Rok założenia 1909

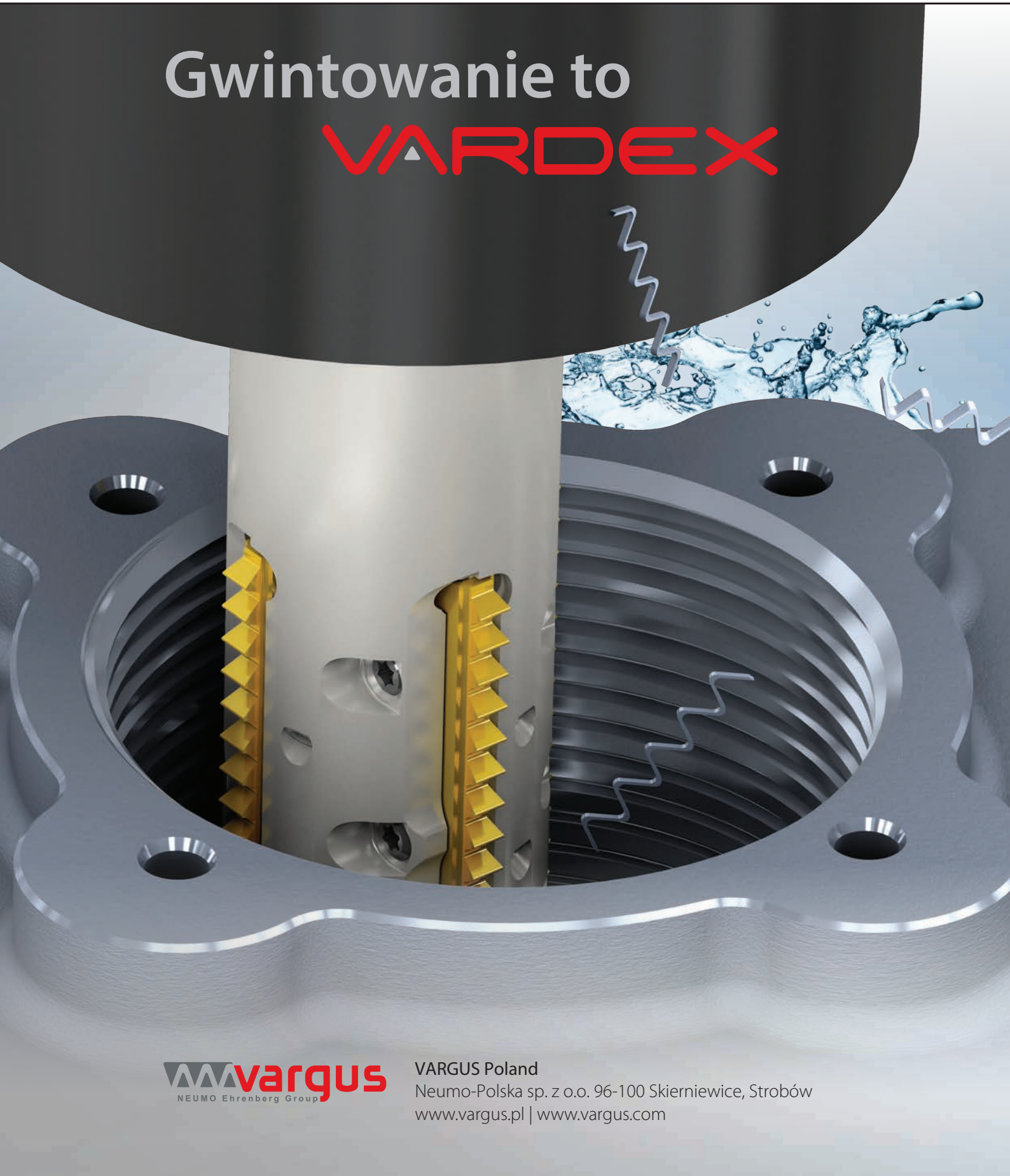
PL ISSN 0025-6552
Index 36522X
Cena 36,00 zł (w tym 8% VAT)

mechanik

8-9

Miesięcznik Naukowo-Techniczny • www.mechanik.media.pl • NR 8–9/2017

Gwintowanie to
VARDEX



vargus
NEUMO Ehrenberg Group

VARGUS Poland
Neumo-Polska sp. z o.o. 96-100 Skierniewice, Strobów
www.vargus.pl | www.vargus.com

GF Machining Solutions

+GF+

AgieCharmilles
CUT P 350/550/800/1250

Nieograniczone Możliwości

Krótsze czasy realizacji i redukcja ilości błędów wymagają szybszej i bardziej efektywnej obróbki. Nasze inteligentne rozwiązania wraz z automatyzacją pozwolą zmaksymalizować twoją wydajność, zapewniając jednocześnie pełną elastyczność. Kwestia jakości części również jest dla nas najważniejsza. Jakość powierzchni i dokładność wymiarowa są kluczem do zagwarantowania długiej żywotności narzędzi, zmniejszają zużycie wkładów formujących i konieczność ręcznego ustawiania. Z dokładnością konturu poniżej 2 µm, dokładnością kątową poniżej 10'' i inteligentnymi systemami eksperckimi do pracy w trudnych warunkach, seria maszyn AgieCharmilles CUT P jest odpowiedzią na te wymagania.

www.gfms.com/pl

600+ DEDYKOWANYCH PROCESÓW

PRECYZYJNE CIĘCIE POD KĄTEM DO 30°

INTELIGENTNE ROZWIĄZANIA

20% SZYBSZA PRĘDKOŚĆ CIĘCIA



THE NEW VALUE FRONTIER

KYOCERA

EMO Hannover
18-23·9·2017
Stoisko E44, Hala 005

MagicDrill DRA



NOWOŚĆ

1.5D

Zaawansowana wydajność wiertła Magic Drill DRA

- Doskonała precyzja otworu dzięki niskiej sile skrawania
- Optymalna grubość rdzenia ogranicza wyginanie
- Drobny wiór i gładkie wiercenie głębokich otworów
- Łatwa wymiana płytki

www.kyocera-unimerco.pl

Więcej informacji skanuj

Przemysł wytwórczy · Wytwarzanie energii · Motoryzacja · Usługi regeneracyjne · Narzędzia specjalne



Wydawca

Redakcja *Mechanik*
– Agenda Wydawnicza SIMP

Adres redakcji

ul. Świętokrzyska 14a, pok. 534 (V piętro)
00-050 Warszawa
tel. 22 827 16 37, 22 336 14 76
mechanik@mechanik.media.pl
www.mechanik.media.pl

Zespół redakcyjny

prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c.
(redaktor naczelny)
mgr Monika Kaczmarek
(zastępca redaktora naczelnego)
mgr Danuta Kowalczyk (redaktor)
mgr inż. Małgorzata Pilewicz (redaktor)
Anna Wojewódzka (redaktor)

Korekta

Barbara Karczmarczyk

Skład

DARTEXT

Druk

Zakłady Graficzne TAURUS Roszkowscy Sp. z o.o.

Miesięcznik *Mechanik* jest notowany na liście czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (11 pkt) oraz indeksowany w bazach BAZTECH i INDEX COPERNICUS (5.98).

Pierwotną wersją miesięcznika jest wersja drukowana.

Materiały publikowane w miesięczniku *Mechanik* są chronione prawem autorskim.

Redakcja nie odpowiada za treść materiałów reklamowych.

WYDARZENIA I AKTUALNOŚCI

658 Panorama
669 TOOLEX – narzędzie biznesowego sukcesu!
682 *E. Weiss*: AWK 2017 – Akwizgrańskie Kolokwium Obrabiarkowe
694 *J. Burek*: Szkoły obróbki skrawaniem i obróbki ściernej
694 Nominacje profesorskie – Czesław Kundera
695 KOMPOZYT-EXPO – co słychać w branży?
696 *D. Kowalczyk*: Światowy rynek obrabiarek
724 *M. Kaczmarek*: Gotowi na wyzwania Przemysłu 4.0. Konferencja prasowa firmy Makino

NARZĘDZIA

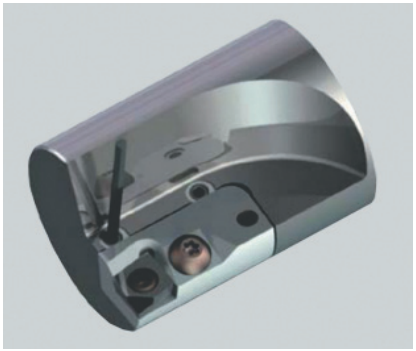
660 *P. Cichosz, M. Kuzinovski, M. Tomov*: Narzędzia skrawające z materiałów supertwardych. Cz. I. Ostrza diamentowe*
671 Nowe narzędzia do toczenia rowków, frezowania uzębień oraz obróbki małych otworów z firmy Vargus (VARGUS)
672 Narzędzia firmy ISCAR – nie tylko do obróbki metalu (ISCAR)
674 *J. Cieloszyk, B. Fabisiak*: Narzędzia z obrotowymi krawędziami skrawającymi – klasyfikacja i terminologia*
678 ANDRE: polska marka – nowe możliwości (ANDRE ABRASIVE ARTICLES)
680 Linia narzędzi SMARTCUT Pafana (PAFANA)
684 Oprawki narzędziowe firmy SCHUNK – optymalizacja mocowania narzędzi (SCHUNK INTEC)
686 YG-1 Poland. Centrum Badawczo-Rozwojowe. Narzędzia z wymiennymi płytkami YG-1 Universal Line (YG-1)
689 Dwustronne płytki okrągłe – nowa jakość i wydajność w asortymencie frezów firmy Seco (SECO TOOLS)
690 *A. Kawalec, A. Bazan, M. Krok*: Wpływ prędkości szlifowania na zużywanie się ściernicy z nasypem z cBN, ze spoiwem nanoszonym galwanicznie*

OBRABIARKI

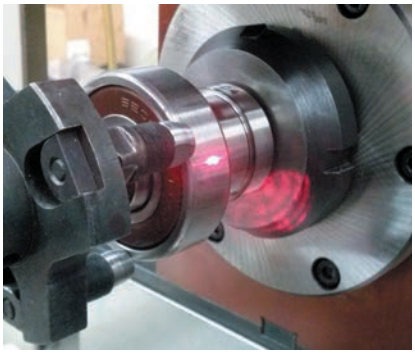
698 Makino a500Z: efektywna produkcja z gwarancją pięcioosiowej elastyczności (MAKINO)
700 TruBend Center – bardzo wydajne, automatyczne centrum gnące (TRUMPF)
702 AXILE – pięcioosiowe centra obróbkowe do wymagających zadań (ROMATEX)
704 Obrabiarki laserowe Yamazaki Mazak – nieodzowny element środowiska produkcyjnego w erze Przemysłu 4.0 (YAMAZAKI MAZAK)
742 VLC 200 GT od EMAG. Nowe rozwiązanie toczenia i szlifowania kół zębatych do samochodów osobowych (EMAG)

Z DZIAŁALNOŚCI IRF

708 *K. Jemielniak*: Porównanie ciekłego azotu i dwutlenku węgla jako mediów wykorzystywanych w chłodzeniu kriogenicznym



Narzędzia z materiałów supertwardych
▶ s. 660



Metody pomiaru drgań łożysk tocznych
▶ s. 734

OBRÓBKA SKRAWANIEM

710 *M. Gdula, J. Burek, M. Żółkoś*: Metoda sterowania kątem prowadzenia osi frezu w pięcioosiowej obróbce łopatki turbiny*
714 *J. Burek, Ł. Żyłka, P. Żurek, K. Żurawski, M. Sałata*: Badania symulacyjne warstwy skrawanej frezem baryłkowym*
718 *J. Burek, K. Żurawski, P. Żurek, M. Sałata*: Badania symulacyjne strefy styku w pięcioosiowej obróbce powierzchni prostokreślnych frezem stożkowym*
726 *P. Bałon, E. Rejman, R. Smusz, B. Kiełbasa*: Obróbka z wysokimi prędkościami skrawania cienkościennych konstrukcji lotniczych*
730 *H. Podsiadło, T. Szmurło*: Uzdatnianie i utylizacja chłodziwa w obróbce skrawaniem*

RÓŻNE

721 *S. Adamczak:* Wybrane prace habilitacyjne dotyczące problematyki miesięcznika *Mechanik*
756 *S. Adamczak*: Przegląd patentów odnoszących się do problematyki miesięcznika *Mechanik*

METROLOGIA TECHNICZNA

734 *S. Adamczak, M. Wrzochal, P. Zmarzły*: Metody pomiaru drgań łożysk tocznych*
738 Na targach EMO Hannover 2017 firma Renishaw przedstawi koncepcję zintegrowanych pomiarów (RENISHAW)
740 Zaawansowane systemy metrologiczne firmy Renishaw w duchu koncepcji Przemysłu 4.0 na targach EMO 2017 (RENISHAW)
744 Szybki i zautomatyzowany pomiar łopatek turbin. Wywiad ze Stefanem Mahrem, menedżerem ds. sprzedaży w firmie WENZEL, oddział ScanTec (WENZEL)
746 Idealne szczeliny i łączenia dzięki wykorzystaniu skanera ręcznego ZEISS T-SCAN (CARL ZEISS)
748 *E. Bachtiak-Radka, S. Dudzińska, D. Grochała, S. Berczyński*: Wpływ warunków otoczenia i sposobu akwizycji chmury punktów z wykorzystaniem optycznych systemów pomiarowych na wartości parametrów SGP*
754 Przełomowa technologia pomiarowa w nowej fabryce VW (LENSO)
759 Skaner H120. Nowa generacja przenośnych skanerów laserowych (SMART SOLUTIONS)

OBRÓBKA – INNE RODZAJE

760 *A. Bazan, A. Kawalec, R. Babiarz, K. Krupa*: Pomiar temperatury za pomocą termopary naturalnej podczas szlifowania ściernicą jednowarstwową*
763 *J. Burek, A. Szajna, J. Lisowicz, T. Rydzak*: Dokładność i chropowatość powierzchni po pięcioosiowym szlifowaniu ściernicą kulistą*
766 *A. Barylski*: Analiza możliwości docierania dwutarczowgo wałków w aspekcie kinematyki*
769 *J. Porzycki, W. Habrat, M. Krok, M. Żółkoś, M. Sałata*: Wpływ drgań ultradźwiękowych na siłę i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V*



Kontrola jakości w fabryce BMW

► s. 746



Farma drukarek na PW

► s. 796

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Prof. dr hab. inż. Piotr Cichosz – narzędzia
Prof. dr hab. inż. Ryszard Dindorf – napędy i sterowanie
Prof. dr hab. inż. Marek Dobosz – redaktor statystyczny
Prof. dr hab. inż. Wit Grzesik – obróbka skrawaniem
Dr hab. inż. Maciej Heneczkowski – przetwórstwo tworzyw sztucznych
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak – automatyzacja produkcji
Prof. dr hab. inż. Jan Kosmol – obrabiarki
Prof. dr hab. inż. Edward Lisowski – CAD/CAM, MES, informatyka
Dr hab. inż. Witold Pawłowski – systemy technologiczne
Prof. dr hab. inż. Maciej Pietrzyk – obróbka plastyczna
Prof. dr inż. Eugeniusz Ratajczyk – metrologia techniczna
Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj – niekonwencjonalne metody obróbki
Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski – inżynieria materiałowa

RADA PROGRAMOWA

Przewodniczący
Prof. dr hab. inż. Józef Gawlik – Politechnika Krakowska

Członkowie
Dr hab. inż. Jan Burek – Politechnika Rzeszowska

Prof. dr hab. inż. Edward Chlebus – Politechnika Wrocławska
Dr hab. inż. Lucjan Dąbrowski – Politechnika Warszawska
Prof. dr hab. inż. Andrzej Gołąbczak – Politechnika Łódzka
Prof. dr hab. inż. Adam Hamrol – Politechnika Poznańska
Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak – Politechnika Koszalińska
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Marchelek – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Niezgoda – Wojskowa Akademia Techniczna
Prof. dr hab. inż. Jarosław Plichta – Politechnika Koszalińska
Prof. dr inż. Włodzimierz Przybylski – Politechnika Gdańska
Prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski – Politechnika Poznańska

Mgr inż. Henryk Zawistowski – Plastech
Dr Maria Zybura-Skrabalak – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania
Prof. dr hab. inż. Jan Żurek – Politechnika Poznańska
Prof. Marek Balazinski, Ing., M.Sc.A., Ph.D. – École Polytechnique Montréal (Kanada)
Prof. Dariusz Ceglarek – University of Warwick (Wielka Brytania)
Prof. Dr. Franc Čuš – Univerza v Mariboru (Słowenia)
Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. M. Numan Durakbasa – Technische Universität Wien (Austria)
Prof. Dr. habil. Kurt Frischmuth – Universität Rostock (Niemcy)
Doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph. D. – Technická univerzita Ostrava (Czechy)
Prof. Dr. Ing. František Holešovský – Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem (Czechy)
Prof. Ing. Antonín Kazda, CSc. – Žilinská univerzita (Słowacja)
Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke – Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT (Niemcy)
Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll – Technischen Universität Chemnitz (Niemcy)
Prof. Janos Kundrak – University of Miskolc (Węgry)
Prof. Masanori Kunieda – School of Engineering The University of Tokyo (Japonia)
Prof. Ing. Jan Mádl, CSc. – Česká Vysoké Učení Technické v Praze (Czechy)
Dr. Thomas G. Mathia (MSc PhD DSc) – École Centrale de Lyon (Francja)
Prof. Dr. Ing. Milan Sága – Žilinská univerzita (Słowacja)
Associate Professor Sławomir (Swavik) A. Spiewak – University of Calgary (Kanada)
Prof. dr hab. inż. Antonín Víteček – Technická univerzita Ostrava (Czechy)
Prof. Ing. Jozef Zajac, CSc. – Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so Sídlom v Prešove (Słowacja)

772 *J. Burek, M. Sałata, M. Żółkoś, K. Żurawski, P. Żurek*: Wpływ typu ściernicy i kąta pochylenia spirali na kształt rowka wiórowego i siłę szlifowania*

NAPĘDY I STEROWANIE

776 *R. Dindorf, P. Woś*: Rozwój energooszczędnych napędów hydrostatycznych z odzyskiem energii*
786 Motoreduktory Simogear – droga do spójnych rozwiązań napędowych (SIEMENS)

HYDRAULIKA I PNEUMATYKA

784 „Potrzebujemy inteligentnych układów hydraulicznych” – wywiad z profesorem Ludgerem Frerichsem (BOSCH REXROTH)

PRZETWÓRSTWO TWORZYW SZTUCZNYCH

789 Spółka igus – szybki rozwój na polskim rynku (IGUS)
790 *P. Poszwa, M. Szostak*: Wpływ zastosowania stopów wysokoprzewodzących na proces wtryskiwania tworzyw sztucznych*

BIULETYN IBS

793 *E. Bączek, P. Putyra, M. Podsiadło, B. Staniewicz-Brudnik*: Badania odporności na zużycie ścierne segmentów metaliczno-diamentowych otrzymanych metodą SPS*

DRUK 3D

796 *P. Skawiński, P. Siemiński*: Farma drukarek 3D – założenia funkcjonalne i techniczne oraz wykorzystanie w dydaktyce*

CAD/CAM

801 Autodesk PowerMill 2018. Najbardziej zaawansowane oprogramowanie do obróbki wieloosiowej i wysokowydajnej (AUTODESK)
802 *A. Olejnik, Ł. Kiszkowiak, A. Dziubiński*: Badania aerodynamiczne samolotów klasy General Aviation z wykorzystaniem metod numerycznej mechaniki płynów*

ORGANIZACJA PRODUKCJI

805 *I. Rojek*: Komputerowe metody wspomagania projektowania procesu technologicznego*

NOWOŚCI WYDAWNICZE

670 Środowiska programowania robotów (W. Kaczmarek, J. Panasiuk)
670 AutoCAD 2018/LT2018/360+ (A. Jaskulski)
808 Edgecam – Wieloosiowe toczenie CNC (P. Kochan)

* Artykuły recenzowane

Miesięcznik mechanik zaprasza na targi

TOOLEX

3–5 października 2017 r., Sosnowiec

SPIS REKLAM

ANDRE Abrasive Articles – s. 679
APX Technologie – s. 717
Bosch Rexroth – s. 783
Centrum Kompetencji Metrologicznych – s. 755
Faba – s. 658
Fanuc – s. 713
Fatpol Tools – s. 695
Galika – s. 709
GF Machining Solutions – II okł.
Hermle – s. 697
Hexagon Manufacturing Intelligence – s. 757
Hiwin – s. 659
Igus – s. 789
INMET-BTH – s. 693
ISCAR – IV okł.
ITA – s. 753
Jazon – s. 699
Kyocera Unimerco Tooling – s. 653
Makino – s. 723
MAPAL Narzędzia Precyzyjne – s. 663
Mitsubishi Materials – s. 657
narzedziownia.org – s. 688
Pro3D – s. 799
RANDS Obrabiarki CNC – s. 721
Renishaw – s. 737
Schunk Intec – s. 683
Seco Tools – III okł.
staleo.pl – s. 688
TaeguTec – s. 677
Targi EUROTOOL, Kraków – s. 670
Targi FASTENER, Kraków – s. 668
Targi Maintenance, Kraków – s. 683
Targi Warsaw Industry Week, Nadarzyn k. Warszawy – s. 688
VARGUS – I okł.
WHM – s. 775
Yamazaki Mazak – s. 703
ZOLLER – s. 669

DIAEDGE

MIRACLE SIGMA

KOLEJNA GENERACJA FREZÓW Z TECHNOLOGIĄ SIGMA MIRACLE DLA NAJWYŻSZEJ WYDAJNOŚCI I NIEZAWODNOŚCI



C4LATB: C4LATB: Nowy stożkowy frez kulisty do wydajnej obróbki stopów aluminium.

VFR: Nowy frez trzpieniowy do materiałów hartowanych z powłoką Impact Miracle Revolution dla najwyższej trwałości narzędzia.

AHX475S: Nowy frez czołowy do obróbki z wysokim posuwem i 14-krawędziowymi płytkami.

Zapraszamy na
stoisko Mitsubishi
Sosnowiec 3-5.10.2017
Stoisko A-118

Międzynarodowe Targi Obrabiarek Narzędzi i Technologii Obróbki
TOOLEX
International Fair of Machine Tools, Tools and Processing Technology



MITSUBISHI MATERIALS
www.mmc-hardmetal.com

„SUR SESSION" W ZAKŁADZIE PRODUKCYJNYM PILKINGTON AUTOMOTIVE

Mutibranżowe Forum Służb Utrzymania Ruchu, organizowane przez firmę MOVIDA, odbędzie się w dniach 3–5 października 2017 r. w zakładzie produkcyjnym Pilkington Automotive w Chmielowie. Podczas forum będą poruszane tematy związane z trendami w obszarze utrzymania ruchu i ewolucją modelu optymalnego utrzymania ruchu, ze strategiami zarządzania oraz optymalizacją systemów, procesów, kosztów i rozwiązań technicznych.



Zakład produkcyjny Pilkington Automotive

Zostaną zaprezentowane studia przypadków nie tylko z branży automotive, lecz także spożywczej, elektroenergetycznej i innych.

Po merytorycznej prelekcji i dyskusji uczestnicy forum będą mieli okazję poznać funkcjonowanie zakładu Pilkington Automotive w Chmielowie. Spotkanie uzupełnią kolacje networkingowo-integracyjne. Więcej informacji znajduje się na stronie internetowej: www.movida.com.pl.

Źródło: **MOVIDA**

CADMAT 2018 – SPOTKANIE DLA BRANŻY PROJEKTOWEJ

Firma MAT, autoryzowany partner Autodesk, zaprasza do udziału w kolejnym spotkaniu dla projektantów z cyklu CADMAT, które odbędzie się 6 października 2017 r. w Centrum Konferencyjnym Best Western Premier w Krakowie.

Podczas konferencji zostaną zaprezentowane najnowsze funkcje programów Autodesk oraz inne oprogramowanie niezbędne w pracy każdego projektanta, a także plotery, stacje robocze i wiele nowinek technicznych dla branży projektowej. Udział w spotkaniu będzie też świetną okazją do nawiązania relacji biznesowych.



Spotkanie CADMAT w 2016 r.

Uczestnictwo w konferencji jest bezpłatne. Więcej szczegółowych informacji znajduje się na stronie: www.mat.net.pl.

Źródło: **MAT**

VII WARSZAWSKIE DNI TECHNIKI

W tym roku Warszawskie Dni Techniki odbędą się w dniach 18–20 października. Tradycyjnie hasło imprezy brzmi: „Warszawa – Technika wczoraj, dziś, jutro". Jako tematy wiodące zaproponowano:

- kosmos,
- cyberprzestrzeń,
- drony,
- motoparalotnie.

Wydarzenie jest organizowane przez Oddział Warszawski Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich.

Na wszystkie imprezy odbywające się w ramach Warszawskich Dni Techniki wstęp wolny! Więcej informacji znajduje się na stronie: www.dni-techniki.waw.pl.

Źródło: **SIMP**

REKLAMA



ARTYKUŁY NAUKOWE W JĘZYKU ANGIELSKIM

Już wkrótce na naszej stronie www.mechanik.media.pl będą dostępne również anglojęzyczne wersje wszystkich artykułów naukowych opublikowanych od początku tego roku w miesięczniku *Mechanik*. Naszym celem jest nie tylko podniesienie poziomu naukowego oraz poziomu umiędzynarodowienia czasopisma, lecz także rozpowszechnienie poza granicami naszego kraju informacji o wynikach badań naukowych i prac rozwojowych tematycznie związanych z technologią obróbki maszyn, w tym o innowacjach z tej dziedziny.

Translacja artykułów naukowych na język angielski, skład komputerowy i umieszczanie ich w formacie pdf na stronie www obok dostępnych już artykułów w języku polskim jest zadaniem finansowanym w ramach umowy nr 732/P-DUN/2017 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego



22. MIĘDZYNARODOWE TARGI OBRABIAREK, NARZĘDZI I URZĄDZEŃ DO OBRÓBKI MATERIAŁÓW – EUROTOOL®

Do targów EUROTOOL® pozostały niespełna trzy miesiące. Impreza odbędzie się w dniach 28–30 listopada 2017 r. na terenach EXPO Kraków. To wydarzenie cieszy się niesłabnącym zainteresowaniem wystawców i odwiedzających je specjalistów. Równocześnie z targami EUROTOOL® odbędą się targi BLACH-TECH-EXPO oraz Międzynarodowe Targi Elementów Złącznych i Technik Łączenia FASTENER POLAND.

Oprócz dużej liczby wystawców, którzy prezentują bogatą i zróżnicowaną ofertę dla branży obrabiarek i narzędzi, niebagatelną zaletą wystawy EUROTOOL® jest interesujący program wydarzeń towarzyszących. Ważną częścią 22. edycji targów będzie Salon Kooperacji Przemysłowej, organizowany z myślą o firmach usługowych poszukujących partnerów biznesowych. Inżynierowie nie powinni natomiast przegapić Salonu Automatyki i Robotyki oraz Salonu Technologii CAx.

Oprócz seminariów i warsztatów w ramach targów odbędą się: panel dyskusyjny Speakers Corner poświęcony zagadnieniom nowoczesnego rozwoju przedsiębiorstw oraz Forum Techniczne Branży Stalowej, zorganizowane przez Polską Unię Dystrybutorów Stali.

Dla specjalistów z branży obróbki metali przygotowano bezpłatne zaproszenia na targi. Aby wziąć udział w imprezie, wystarczy dokonać rejestracji na stronie: www.eurotool.krakow.pl.

Źródło: **Targi w Krakowie**

REKLAMA

HIWIN®
Motion Control & Systems

reddot award 2016
winner

DESIGN AWARD 2016



OSIE LINIOWE

Wprawiamy w ruch.

www.hiwin.pl

Narzędzia skrawające z materiałów supertwardych. Cz. I. Ostrza diamentowe

Cutting tools from superhard materials. Part I. Diamond blades

PIOTR CICHOSZ
MIKOLAJ KUZINOVSKI
MITE TOMOV*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.99

Przedstawiono właściwości materiałów supertwardych, takich jak diament i regularny azotek boru, oraz ich zastosowanie na ostrza skrawające. Omówiono przykłady narzędzi z ostrzami z tych materiałów oraz wskazano na efektywność technologiczną i ekonomiczną technologii wykorzystujących te narzędzia. Pierwsza część artykułu dotyczy materiałów i narzędzi z ostrzami diamentowymi, a druga – z ostrzami z regularnego azotku boru.
SŁOWA KLUCZOWE: diament, azotek boru, narzędzia, skrawanie

The properties of super-hard materials such as diamond and regular boron nitride, and their application on cutting blades. Discussed are examples of blade tools from these materials in the aspects of production process efficiency and economical advantages gained by using these tools. The first part of the article deals with materials and tools with diamond blades and the other – with the blades of a regular boron nitride.
KEYWORDS: diamond, boron nitride, tools, cutting

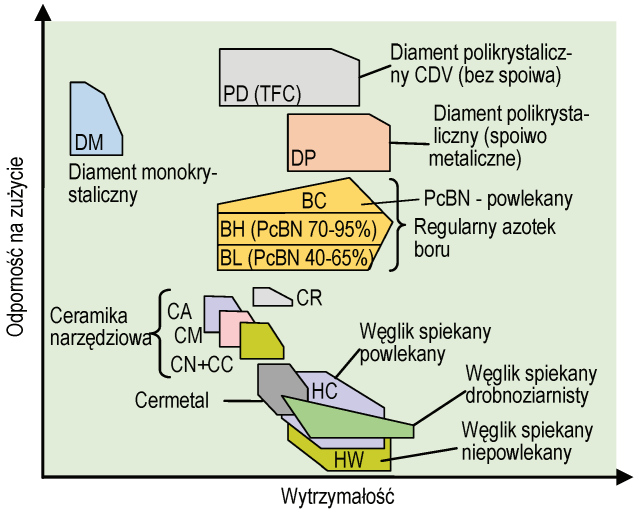
Do materiałów supertwardych zalicza się diament i regularny azotek boru. Zgodnie z obowiązującą normą PN-ISO 513:1999 diament polikrystaliczny oznacza się jako DP, a regularny azotek boru jako BN. Jednak w powszechnym użyciu, nie tylko w środowiskach przemysłowych, ale także akademickich, stosowane są oznaczenia odpowiednio: PKD i CBN (cBN). Zgodnie z przytoczoną normą monokryształ diamentu oznacza się DM.

W artykule będą stosowane oznaczenia zgodne normą. Trzeba jednak nadmienić, że w publikacjach i materiałach informacyjnych wielu firm narzędziowych coraz częściej można spotkać oznaczenia z normy DIN ISO 513:2014-05, które odnoszą się do rodzajów węglików spiekanych oraz regularnych azotków boru (rys. 1). Przykładowo: oznaczenie BN zastąpiono trzema symbolami: BL (spieki z małą zawartością azotku boru), BH (spieki z dużą zawartością azotku boru) i BC (spieki z dużą zawartością azotku boru, ale powlekane). Wprowadzono też nowe oznaczenie PD na diament polikrystaliczny bez fazy wiążącej.

Omawiane materiały są znacznie twardsze od pozostałych materiałów narzędziowych stosowanych na ostrza skrawające. Do tego są bardzo odporne na ścieranie i w związku z tym narzędzia z tych materiałów mają długie okresy trwałości. Niestety ostrza z materiałów supertwardych są zazwyczaj kilkadziesiąt razy droższe od ostrzy z innych, popularniejszych materiałów, takich jak: węgliki spiekane, cermetale czy ceramika.

Mimo wysokiej ceny w pewnych warunkach obróbki mogą się one wykazywać dobrymi efektami technologicznymi kształtowania, a ich zastosowanie jest uzasadnione ekonomicznie. Dlatego narzędzia z ostrzami z materiałów supertwardych są coraz chętniej stosowane, zwłaszcza produkcji o znacznej skali i dużym stopniu zautomatyzowania, gdzie trwałość jest bardzo pożądana.

Źródła podają, że materiały supertwarde stanowią zaledwie kilka procent ogółu materiałów narzędziowych. Jednakże gdyby wziąć pod uwagę procentowy udział w objętości zdejmowanego skrawaniem materiału, byłby on z pewnością znacznie większy.



Rys. 1. Oznaczenia materiałów narzędziowych według normy DIN ISO 513: 2014-05: CR – ceramika tlenkowa Al_2O_3 wzmacniana wiskerami, CA – ceramika tlenkowa Al_2O_3, CM – ceramika mieszana, CN – ceramika krzemowa Si_3N_4, CC – ceramika powlekana

Materiał supertwardy – diament

Diament naturalny monokrystaliczny osiąga twardość rzędu 8000÷10000 HV i jest najtwardszym znanym materiałem. Bardzo ważną cechą diamentu jest też sztywność. Moduł sprężystości diamentu przewyższa moduł sprężystości innych znanych materiałów. Jest ok. trzy razy większy od modułu sprężystości węglika krzemu i węglika boru, a także znacznie większy niż węglików spiekanych [1].

Diament jest czystym węglem skrystalizowanym w regularnej siatce przestrzennie centrowanej. Pierwotnie na ostrza skrawające i obciągacze do ściernic wykorzystywano monokryształy diamentu mające skazy dyskwalifikujące je w zastosowaniach jubilerskich. Najstarsze przypadki zastosowania diamentu datuje się na 300 rok p.n.e. Diament wykorzystywano wtedy do celów grawerskich. Dzisiaj monokryształy diamentu naturalnego stosowane są sporadycznie na ostrza skrawające z uwagi na rzadkość ich występowania, wysoką cenę oraz dużą podaż diamentów syntetycznych, a głównie ze względu na pojawienie

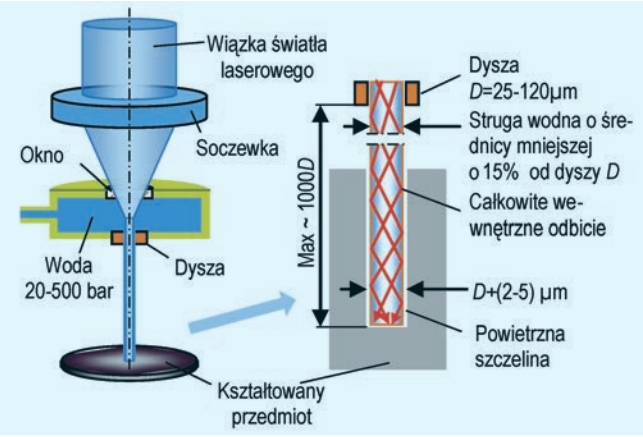
* Prof. dr hab. inż. Piotr Cichosz (piotr.cichosz@pwr.edu.pl) – Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej; prof. dr inż. Mikolaj Kuzinovski (mikolaj.kuzinovski@mf.edu.mk), doc. dr inż. Mite Tomov (mite.tomov@mf.edu.mk) – Faculty of Mechanical Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Macedonia

się spieków diamentowych, które mają wiele właściwości znacznie korzystniejszych niż monokryształy, zwłaszcza w obszarze ich kształtowalności.

Diament jako materiał narzędziowy ma takie zalety, jak:
- bardzo duża twardość i odporność na ścieranie;
- mała rozszerzalność cieplna, mniej więcej o rząd mniejsza niż węglików spiekanych, co ma znaczenie przede wszystkim w obróbkach precyzyjnych i dokładnych, w których ma on główne zastosowanie;
- bardzo dobra przewodność cieplna, powodująca znaczne obniżenie maksymalnej temperatury, jaka może się pojawić na powierzchniach roboczych ostrza skrawającego (zmniejsza to tym samym intensywność niemal wszystkich mechanizmów zużywania się narzędzi, choćby takich jak: dyfuzja, adhezja, utlenianie, ścieranie czy grafityzacja); jednak dobra przewodność cieplna ma też złe strony, a mianowicie powoduje intensywniejsze nagrzewanie się narzędzia, a to może rzutować na jego wydłużenie cieplne i utrudniać kontrolowanie dokładności obróbki; temu niekorzystnemu zjawisku przeciwdziała w znacznym stopniu wspomniana bardzo mała rozszerzalność cieplna diamentu;
- możliwość uzyskiwania bardzo gładkich powierzchni roboczych ostrza i krawędzi skrawających o małej szczerbatości, nawet dla dużych dodatnich kątów natarcia, co jest istotne w obróbkach precyzyjnych, a zwłaszcza w nanotechnologiach, a także obróbce kompozytów;
- łatwość kształtowania powierzchni przedmiotów bardzo gładkich, w tym o walorach estetycznych, i to zachowywana przez długi okres trwałości narzędzi; jest to spowodowane m.in. złą zwilżalnością większości metali nieżelaznych, małą skłonnością do sczepień adhezyjnych, co ogranicza tworzenie się narostów i zapobiega tzw. zaciąganiu powierzchni.

Diament ma także wiele wad, które znacznie ograniczają jego zastosowanie w skrawaniu, np.:
- silne powinowactwo z żelazem, niklem, kobaltem i ich stopami, co powoduje, że atomy węgla dość intensywnie się w nich rozpuszczają, nasilając zjawisko zużycia dyfuzyjnego (z tego powodu obróbka tych materiałów ostrzami diamentowymi jest niezalecana; jednak kobalt, który łatwo zwilża większość składników stosowanych na materiały narzędziowe, w tym diament, ze względu na wysoką temperaturę topnienia – 1495°C – doskonale się nadaje do spajania spieków); monokryształy i spieki diamentowe stosuje się do obróbki materiałów bardzo twardych, kompozytów z twardymi frakcjami cząstek lub włókien wzmacniających, a także do obróbki materiałów nieżelaznych lub ich stopów, zwłaszcza gdy jest silna potrzeba zachowania bardzo długich okresów trwałości narzędzi;
- grafityzacja, w zależności od czystości diamentu, może zachodzić już w temperaturze powyżej 700°C, co ogranicza zakres dopuszczalnych prędkości skrawania;
- niska odporność diamentu na utlenianie się, mimo że temperatura jego topnienia wynosi ~3750°C (w atmosferze czystego tlenu spala się on w temperaturze ok. 720÷800°C, a w atmosferze powietrza – w temperaturze ok. 850÷1000°C, tworząc dwutlenek węgla); niezależnie od warunków skrawania temperatura pracy narzędzia nie powinna przekraczać 700÷800°C [18];
- zależność właściwości mechanicznych od płaszczyzn największego upakowania atomów węgla, w których kryształ jest wyjątkowo twardy, a jednocześnie bardzo kruchy i łatwo łupliwy – stąd konieczność takiego orientowania kryształu w ostrzu, aby siły skrawania nie działały w tej płaszczyźnie;
- bardzo duża kruchość i związana z nią mała odporność na szoki mechaniczne;
- mała wytrzymałość na zginanie (~300 MPa) może uniemożliwiać stosowanie dużych przekrojów warstw skrawanych, wywołujących powstawanie dużych, dynamicznie oddziałujących sił skrawania; może to ograniczać uzyskiwanie dużej wydajności objętościowej obróbki;
- trudna kształtowalność spowodowana głównie twardością i kruchością diamentu, niemal wykluczającą oddziaływania mechaniczne w fazie obróbek zgrubnych i kształtujących; brak przewodnictwa elektrycznego diamentu eliminuje obróbki elektroerozyjne i elektrochemiczne; dobra przewodność cieplna i przeźroczystość jego kryształów utrudniają zastosowanie do jego kształtowania laserów.

W ostatnich latach pojawiły się obrabiarki hybrydowe, łączące obróbkę laserową i strumieniem wody, przeznaczone do wydajnego kształtowania diamentów. Schemat działania takiej obrabiarki przedstawiono na rys. 2. Główna idea polega na tym, że spójna, równoległa struga wody wykorzystywana jest – jak swego rodzaju światłowód – do przekazywania wiązki fotonów w strefę ich oddziaływania na kształtowany przedmiot.



Rys. 2. Schemat działania obróbki hybrydowej diamentów (według SYNOVA)

Obróbka hybrydowa diamentów ma szereg zalet, do których należą:
- znacznie większa wydajność kształtowania niż samym laserem,
- stała szerokość cięcia nawet stosunkowo głębokiego, co wynika z „równoległości" wiązki światła spowodowanej całkowitym wewnętrznym odbiciem od ścianek strugi wody,
- brak wymagań co do precyzyjnego ogniskowania wiązki,
- głębokość cięcia do kilku centymetrów,
- możliwość wycinania 3D,
- chłodzenie wodą pozwala uniknąć uszkodzeń termicznych i zmian w materiale oraz uzyskiwać dobrą jakość kształtowanych powierzchni,
- rezonator lasera generuje odpowiednią długość fali, która jest korzystnie absorbowalna przez diament,
- dzięki wysokiej energii kinetycznej strumienia wody stopiony materiał jest łatwo usuwany ze szczelin, nawet głębokich i o równoległych ściankach.

Wadą tej metody jest stosunkowo wysoka cena obrabiarek.

Diament syntetyczny jest silnym konkurentem diamentów naturalnych, nie tylko w obszarze proszków i uzyskiwanych z nich spieków, ale także monokryształów o znacznych rozmiarach. Diamenty syntetyczne mają porównywalne właściwości użytkowe do diamentów naturalnych, ale są znacznie tańsze. Współczesne techniki

wytwarzania diamentów pozwalają na syntetyzowanie kryształów o wymiarach nawet rzędu 10×10 mm. Podejmowane są próby powrotu do stosowania monokryształów diamentu, tym razem syntetycznego, w ostrzach skrawających. Dość szeroką gamę ostrzy z DM oferuje firma TIZ TOOLS [16]. Monokryształy lutowane są próżniowo do podłoży z węglików spiekanych.

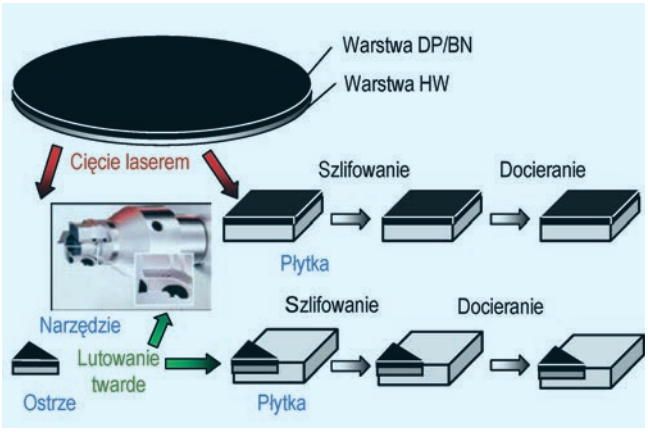
Pierwszej syntezy diamentu dokonano na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Dzisiaj znanych jest kilkanaście metod jego wytwarzania i spiekania. Dość szczegółowo omówiono te zagadnienia w [8]. W zależności od zastosowanej metody, a zwłaszcza spoiwa, można uzyskać istotnie różniące się od siebie właściwościami materiały narzędziowe.

Spieki diamentowe mają wiele odmian różniących się zawartością ziaren diamentowych, wielkością i zróżnicowaniem frakcji tych ziaren, fazą wiążącą, a nawet jej brakiem. Wiele firm oferujących półfabrykaty na ostrza, płytki wieloostrzowe, a także gotowe narzędzia ma bogaty asortyment tych wyrobów.

Najczęściej stosowaną fazą wiążącą do spiekania diamentu jest kobalt. Odznacza się on dobrą zwilżalnością, polepsza właściwości wytrzymałościowe i – nawet dodany do spieku zaledwie w kilkuprocentowej objętości – jako metal powoduje, że spiek zaczyna przewodzić prąd. Ma to dość istotne znaczenie z uwagi na możliwość zastosowania do wycinania i kształtowania tych niezwykle twardych i trudnoobrabialnych materiałów nie tylko laserów, ale także obróbek elektroerozyjnych i elektrochemicznych albo obu jednocześnie.

Spieki diamentowe są zazwyczaj w procesie kształtowania spajane na stałe z płytką podkładową z węglika spiekanego. Oferowane są krążki z węglika spiekanego o średnicach nawet powyżej 100 mm z nałożoną warstwą diamentową o grubości w przedziale od 0,3 do 1,5 mm. Przy czym łączna grubość krążka może mieć wartość 1,6÷8 mm. Powierzchnia zewnętrzna warstwy diamentowej jest najczęściej polerowana, aby zapewnić lepszy spływ wiórów i dobrą jakość kształtowanych powierzchni. Spiek diamentowy nie pozwala na uzyskiwanie tak dobrych jakościowo pod względem szczerbatości krawędzi skrawających jak monokryształ. Dlatego tam, gdzie potrzebne są bardzo gładkie powierzchnie i duża dokładność obróbki, np. w nanotechnologiach, stosuje się ostrza z monokryształów diamentu lub bardzo drobnoziarnistych jego spieków [17].

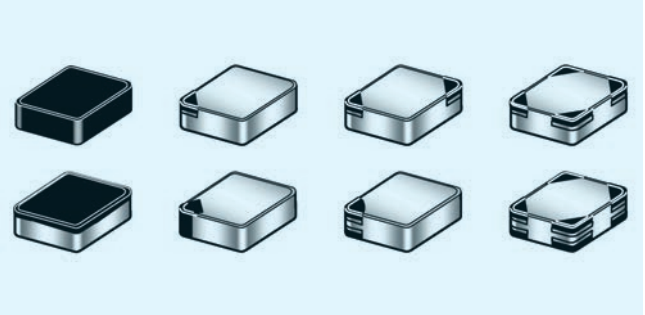
Zastosowanie na podłoże warstwy diamentowej węglika spiekanego daje wiele korzyści (rys. 3). Po pierwsze jest on ok. trzykrotnie bardziej wytrzymały na zginanie niż sam spiek diamentowy, przez co także ostrze jest bardziej wytrzymałe. Po drugie węglik ma o połowę mniejszy od stali współczynnik rozszerzalności cieplnej, co zmniejsza naprężenia styczne po lutowaniu ostrza. Trzeba pamiętać, że spiek diamentowy w stosunku do węglika spiekanego ma również kilka razy mniejszy współczynnik rozszerzalności liniowej. Po trzecie lutowanie węglika ze stalą jest znacznie prostsze i pewniejsze niż diamentu ze stalą.



Rys. 3. Wytwarzanie narzędzi z ostrzami z materiałów supertwardych

Lutowanie do korpusu narzędzia samego ostrza z diamentu lub jego spieku, także z powodu znacznych różnic w rozszerzalności cieplej, jest dość trudne i może powodować dużą liczbę braków [8]. Dlatego do lutowania tych materiałów stosuje się bardzo kosztowne urządzenia próżniowe z laserem i specjalne luty na bazie srebra, zawierające ind i tytan, które poprawiają lutowność, pozwalając uzyskiwać trwalsze i wytrzymalsze połączenie diamentu z korpusem narzędzia [8].

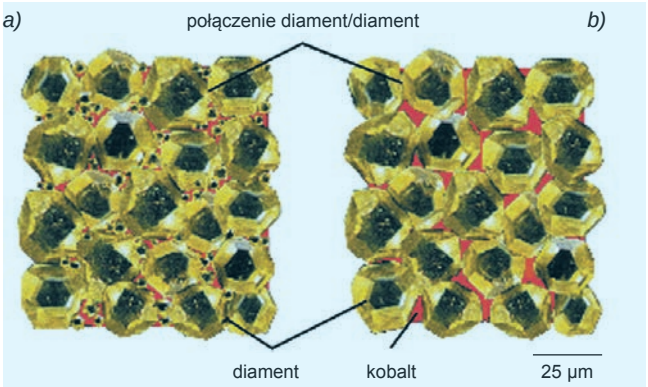
Ostrza z materiałów supertwardych są w rozmaity sposób umieszczane w wymiennych płytkach skrawających wykonanych w standardach ISO (np. rys. 4).



Rys. 4. Przykłady rozmieszczenia ostrzy z materiałów supertwardych w płytkach wymiennych [6]

Dzięki temu, że spieki diamentowe są kształtowane z losowo zorientowanych kryształów, to ostrza nie wykazują silnej anizotropowości właściwości mechanicznych.

Na spieki stosowane są różnego rodzaju frakcje diamentów o wielkości ziarna 2, 10 i 25 µm, miesza się także ziarna większe z najmniejszymi, aby uzyskać lepszą koncentrację diamentu (rys. 5).



Rys. 5. Możliwości upakowania diamentów w spieku: *a*) frakcje dwuziarniste ~2/25 µm, *b*) frakcja jednoziarnista ~25 µm

Spieki o mniejszej wielkości ziarna (2 µm) i koncentracji diamentu diamentu ~90% odznaczają się większą twardością oraz nieco mniejszą wytrzymałością krawędzi skrawających. Są przeznaczane do obróbek wykończeniowych. Znajdują zastosowanie w wiertłach, a w mniejszym stopniu – we frezach [11, 13].

Spieki o średniej ziarnistości (10 µm) i koncentracji diamentu ~92% są uniwersalne i stosuje się je w obróbkach średnio dokładnych.

Gdy między Państwem a nami powstaje coś więcej:
nazywamy to efektem MAPAL

Państwo

wymagacie najwyższego
stopnia precyzji,
bezpieczeństwa i jakości

Sukces w produkcji seryjnej

My

poznajemy specyfikę
Państwa procesu produkcji,
aby dostarczyć odpowiednich
rozwiązań narzędziowych



Poznajcie Państwo narzędzia i usługi zwiększające produktywność:
www.mapal.com | Państwa partner w technologii obróbki skrawaniem

MAPAL

Spieki o dużej ziarnistości (~25 μm) i koncentracji ~94% są bardzo odporne na ścieranie, mogą pracować w ciężkich warunkach obróbki zgrubnej, z dużymi prędkościami, bez stosowania płynów obróbkowych. Nadają się do frezowania.

Spieki o ziarnistości mieszanej (2 i 25 μm) mogą mieć koncentrację diamentu ≥95%. Łączą one dużą odporność na ścieranie oraz bardzo dobrą jakość krawędzi skrawającej. Dobrze znoszą ciężkie warunki pracy. Mogą być stosowane na frezy. Dobrze zdają egzamin podczas frezowania stopów aluminium z zawartością krzemu >14%.

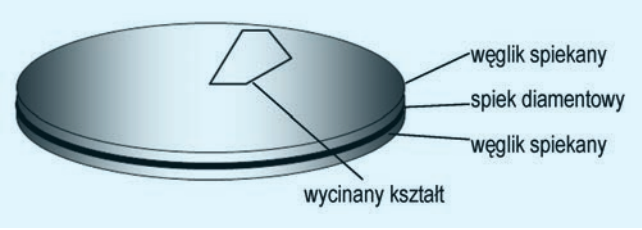
W zależności od potrzeb z krążka z nałożoną warstwą spieku diamentowego wycina się półfabrykaty ostrza, które wlutowuje się w korpus narzędzia, w wymienną kasetkę lub płytkę wieloostrzową (rys. 3 i 4). Wycinanie z pełnego krążka kilkudziesięciu ostrzy przez elektroerozyjne drążenie drutowe trwa nawet kilkanaście godzin. Proces cięcia można kilkunastokrotnie przyśpieszyć, jeśli zastosuje się do tego celu wiązkę lasera. Jednakże zbyt intensywne parametry kształtowania mogą doprowadzić do znacznego zdefektowania temperaturowego stref cięcia spieku, co trzeba później usuwać z zastosowaniem niższych parametrów obróbkowych czy innych technologii. Odnosi się to do obu odmian cięcia. Elementy narzędzia z przytwierdzonymi półfabrykatami ze spieków poddawane są obróbce wykończeniowej nadającej im zadany kształt, wymiar, a także właściwą gładkość powierzchni roboczych i szczerbatość krawędzi skrawających.

Ze względu na złą lutowność stopów tytanowych stosowanych czasami na korpusy narzędzi, aby zmniejszyć ich masę, do przytwierdzania segmentów ostrzy stosuje się klejenie i dodatkowo mocowanie mechaniczne [13].

Przykłady narzędzi z ostrzami ze spieków diamentowych

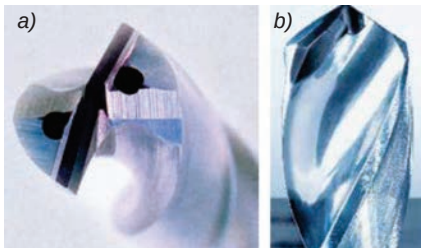
Wiertła z ostrzami ze spieków diamentowych wykonuje się w ten sposób, że półfabrykat na ostrze wycina się z warstwowego krążka, w którym spiek diamentowy znajduje się między dwiema płytkami z węglika spiekanego (rys. 6). Wycięty kształt ostrza wlutowuje się w korpus stalowy, a następnie zeszlifowuje się warstwę węglikową z miejsc stanowiących przyszłą powierzchnię natarcia, odsłaniając materiał spieku DP (rys. 7*a*). Obustronne podparcie warstwy spieku płytką z węglika spiekanego wzmacnia ją i ułatwia lutowanie.

Inną technologią umieszczania spieku diamentowego, stosowaną np. w firmie Mapal, jest spiekanie bezpośrednie warstwy diamentu do korpusu z węglika spiekanego (rys. 7*b*) lub też wyposażanie wiertła w segmenty ze spiekiem tylko w narożach. Sam ścin i jego okolice są wykonane z takiego materiału jak korpus wiertła, czyli z węglika spiekanego, który w mniejszych prędkościach skrawania, jakie występują w pobliżu osi wiertła, spełnia swoją rolę nie gorzej niż znacznie bardziej kruchy spiek diamentowy.



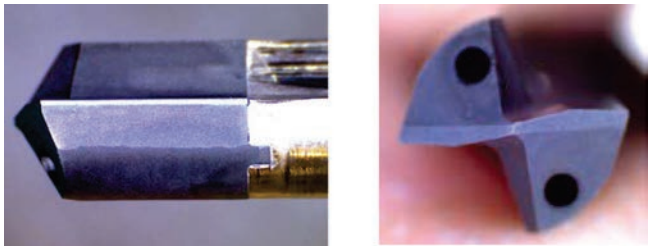
Rys. 6. Przykład wycinania segmentu ostrza wiertła z przekładkowego krążka ze spiekiem diamentowym

Podczas lutowania spieków diamentowych do podłoży z węglików spiekanych należy zwrócić uwagę nie tylko na znaczne różnice wartości ich współczynników rozszerzalności cieplnej α, ale także na to, że wzajemne proporcje tych współczynników zmieniają się w różnej temperaturze [17]. Dla DP w temperaturze 20°C współczynnik $\alpha = 1{,}3 \times 10^{-6}$/K, a w 700°C $\alpha = 3{,}9 \times 10^{-6}$/K; dla węglika spiekanego w 20°C $\alpha = 4{,}5 \times 10^{-6}$/K, w 700°C $\alpha = 5{,}2 \times 10^{-6}$/K. Może to być przyczyną powstawania naprężeń cieplnych na etapie lutowania. Naprężenia te mogą się niekorzystnie sumować z naprężeniami powstającymi podczas kształtowania ostrza i/lub procesu skrawania, powodując rozwarstwianie się materiału oraz pęknięcia. Dlatego też do lutowania stosuje się urządzenia próżniowe z laserem i specjalne spoiwa lutujące na bazie srebra, zawierające ind i tytan, które gwarantują prawidłowe i wytrzymałe połączenie diamentu z korpusem narzędzia [17]. Problem ten staje się marginalny, gdy lutuje się do korpusu narzędzia elementy ostrzy wycięte z DP spieczone z podłożem z węglików spiekanych (rys. 7*a*).



Rys. 7. Wiertła z ostrzami ze spieków diamentowych: *a*) firmy JEL, *b*) firmy Mapal

W narzędziach trzpieniowych o niewielkich średnicach bardzo trudno jest wlutować ostrza wykonane z wyciętych segmentów z warstwą diamentową, głównie z powodu znacznego osłabienia rdzenia korpusu narzędzia. Dlatego niektóre firmy zamiast lutowania ostrzy bezpośrednio spiekają część diamentową z korpusem z węglika spiekanego (rys. 8). Można wówczas wykonywać narzędzia o bardzo małych średnicach. Podobnie postępuje się z ostrzami z regularnego azotku boru, o czym będzie mowa w drugiej części artykułu.

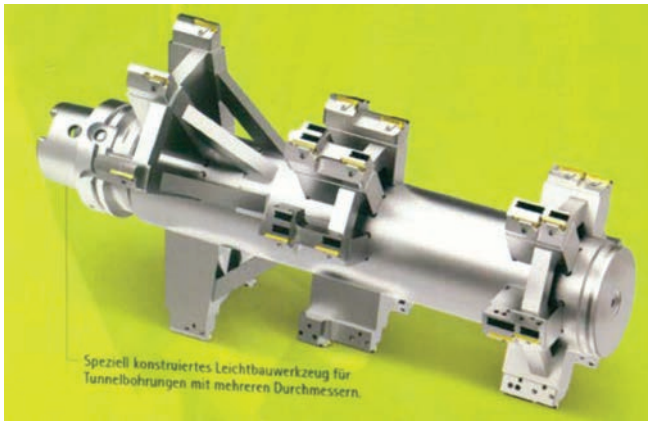


Rys. 8. Wiertło wyposażone w końcówkę ze spieku diamentowego bezpośrednio przypiekaną do korpusu narzędzia, $D = 2{,}5 \div 6$ mm (Mapal)

Wytwarzane są też ostrza z polikrystalicznego diamentu uzyskanego technologiami chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD z zastosowaniem palników plazmowych. Otrzymuje się warstwę czystego diamentu, bez użycia spoiwa, w postaci cienkich płatków (*thick film diamond* – TFD) o grubościach rzędu nawet 0,5 mm [4]. Lutuje się je potem próżniowo w wymienne płytki o standardach ISO/ANSI. Uzyskane tym sposobem ostrza odznaczają się lepszą jakością i ostrością krawędzi skrawających od ostrzy z DP, możliwością kształtowania powierzchni o mniejszej chropowatości oraz z mniejszymi oporami skrawania korzystnymi podczas obróbki wiotkich, cienkościennych przedmiotów. Nie bez znaczenia jest też deklarowana przez producentów znacznie większa trwałość narzędzi w stosunku do tych z ostrzami ze spieków DP.

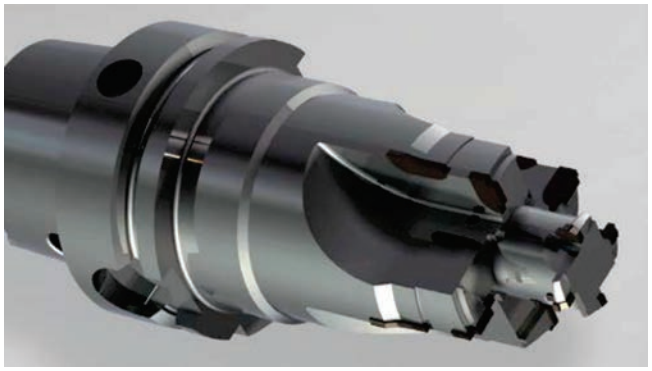
Aby zmniejszyć masę narzędzi, zwłaszcza tych do obróbki zespołowej otworów o dużych rozmiarach (rzędu 200÷350 mm), firma Mapal zastosowała spawaną konstrukcję korpusu **rozwiertaka wielostopniowego**, w którego gniazdach osadzone zostały mocowane mechanicznie ostrza ze spieków diamentowych (rys. 9), a także listwy prowadzące, również ze spieków diamentowych. Lekka konstrukcja narzędzia w wielu przypadkach ułatwia lub umożliwia automatyczną wymianę narzędzia między magazynem a wrzecionem obrabiarki.

Mimo dużych gabarytów narzędzie gwarantuje bardzo wysoką dokładność wykonania otworów (walcowość, okrągłość < 0,005 mm, klasa dokładności IT6÷7).



Rys. 9. Rozwiertak zespołowy o lekkiej konstrukcji do obróbki dużych, wielostopniowych otworów (Mapal)

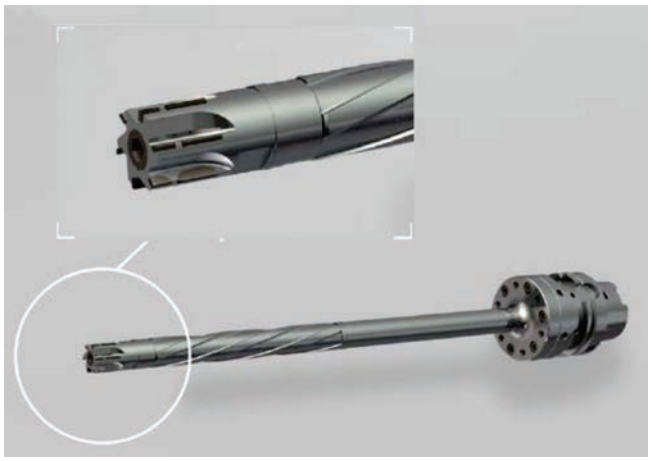
Na rys. 10 pokazano narzędzie z ostrzami z DP do obróbki złożonego otworu pokrywy głowicy silnika spalinowego.



Rys. 10. Narzędzie zespołowe do obróbki pokrywy głowicy silnika (Gühring)

Na rys. 11 przedstawiono narzędzie z ostrzami z DP do precyzyjnej obróbki wielostopniowego otworu do mocowania łożysk wałka rozrządu. Głowiczka kształtująca otwór umiejscowiona jest na przedłużaczu z węglika spiekanego, wyposażonym w śrubowe prowadnice zapewniające nie tylko dużą sztywność, ale także bardzo dobre prowadzenie. Narzędzie to ma centralnie położoną specjalną śrubę do sprężystego ustawiania średnicy położenia ostrzy, a także listew prowadzących. Można też precyzyjnie korygować drugi stopień średnicy narzędzia za pomocą zmiany położenia kątowego sprężyście zamocowanych segmentów z ostrzami skrawającymi.

Na rys. 12 pokazano narzędzie zespołowe do obróbki wielostopniowego otworu o średnicach rzędu 280 mm. Jest ono wyposażone w ostrza ze spieków diamentowych, znajduje się w kasetkach zapewniających bardzo



Rys. 11. Narzędzie z ostrzami DP (Gühring)

precyzyjne ustawianie ostrzy. Łącznie z listwami prowadzącymi pozwala to na wykonywanie wymiarów w klasie IT6. Należy zwrócić uwagę na to, że umieszczanie ostrzy nie bezpośrednio w korpusie narzędzia, a poprzez nastawialne kasetki nie wymusza niezwykle precyzyjnego kształtowania krawędzi skrawających względem części chwytowej narzędzia, bo można to zrealizować za pomocą ustawiania. Kasetki takie mogą też być ułatwieniem podczas regeneracji narzędzia.

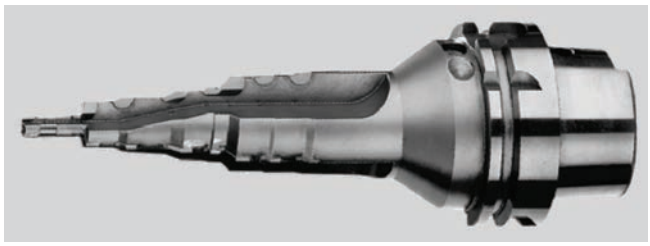


Rys. 12. Narzędzie z ostrzami DP (Gühring)

Na rys. 13 przedstawiono narzędzie zespołowe z ostrzami z DP do obróbki wielostopniowego otworu. Otwory wykonywane są w klasie H7, z prędkością obrotową 11 600 obr/min. Liczba obrobionych przedmiotów między regeneracjami narzędzia to 250 000 szt.

W wielu przypadkach stosowane są narzędzia o budowie dzwonowej z ostrzami umiejscowionymi we wnętrzu. Narzędzia takie mogą frezować obiegowo powierzchnie zewnętrzne osiowo-symetryczne lub np. kształtować powierzchnie czopów, pracując jako pogłębiacze/rozwiertaki zewnętrzne. Przykład tego drugiego rodzaju narzędzia pokazano na rys. 14.

Ostrza z DP takich narzędzi pozwalają obrabiać stopy aluminiowe z bardzo dużymi prędkościami skrawania.

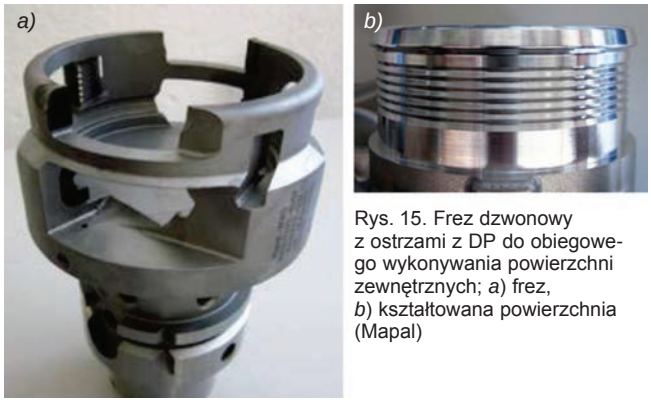


Rys. 13. Narzędzie zespołowe z ostrzami DP (Mapal)



Rys. 14. Pogłębiacz zewnętrzny z ostrzami DP (Gühring)

Duże obroty wywołują znaczne siły odśrodkowe narażające korpusy tych narzędzi na odkształcenia, które mogą utrudniać zachowanie zazwyczaj dość ciasnych pól tolerancji obróbkowych. Można temu przeciwdziałać za pomocą wzmocnień pierścieniowych (rys. 15).



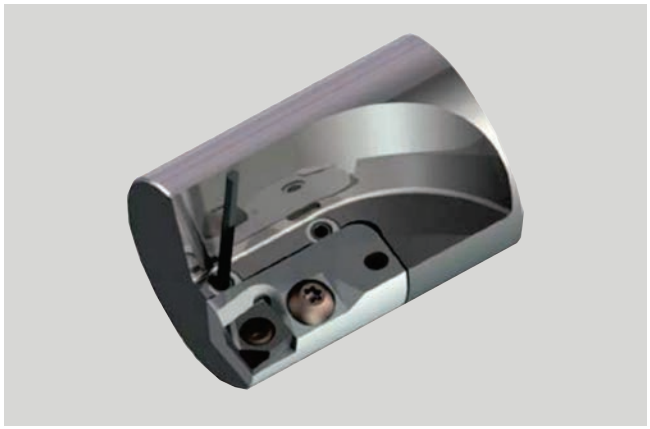
Rys. 15. Frez dzwonowy z ostrzami z DP do obiegowego wykonywania powierzchni zewnętrznych; *a*) frez, *b*) kształtowana powierzchnia (Mapal)

Na rys. 15 zaprezentowano frez dzwonowy z umieszczonymi wewnątrz ostrzami z DP w „zamkniętej konstrukcji". Narzędzia takie odznaczają się dużą sztywnością, pozwalającą na zwiększenie parametrów obróbki, pracę bez drgań i zachowanie bardzo dobrej jakości powierzchni (rys. 15 *a*).

Narzędzia dzwonowe z wewnętrznymi ostrzami, czasami o zwielokrotnionej ich liczbie, mogą znacznie skomplikować technologię precyzyjnego kształtowania krawędzi i powierzchni roboczych. Zazwyczaj eliminowana jest z niej obróbka elektroerozyjna drążeniem drutowym i szlifowanie z uwagi na trudną dostępność miejsca.

Niektóre firmy, np. Mapal, opanowały technikę precyzyjnego kształtowania wykończeniowego powierzchni z materiału supertwardego za pomocą wiązki lasera padającej na nią nie stycznie, a prostopadle. Taką technologią wykonano przedstawione narzędzie.

Na rys. 16 pokazano przykład mocowania i regulacji kasetki w korpusie narzędzia. Sama regulacja może być wykonywana na różne sposoby [6, 12], np.: tak jak na rysunku, za pomocą klinów wsuwanych między korpus narzędzia a kasetkę, za pomocą czopów z powierzchniami mimośrodowymi oraz – bardzo często – odchylanych sprężyście kasetek z ostrzami. Takie rozwiązanie jest szczególnie korzystne w przypadku niezwykle ciężkich warunków pracy narzędzi i koniecznych częstych wymian ostrzy.



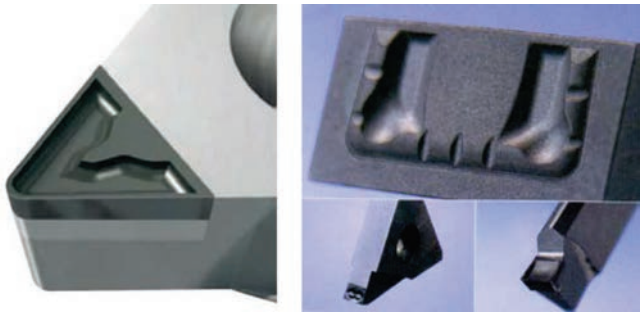
Rys. 16. Narzędzie z kasetką do mocowania płytek wymiennych z ostrzami z materiałów supertwardych (Gühring)

Łamacze wiórów

Ostrza ze spieków diamentowych mają zazwyczaj bardzo gładką, płaską powierzchnię natarcia usytuowaną pod dodatnim bądź zerowym kątem natarcia. Większość materiałów obrabianych takimi ostrzami to metale nieżelazne, o małym oporze właściwym skrawania, które można kształtować z bardzo dużymi prędkościami. Te oba czynniki powodują, że z jednej strony następuje bardzo dobre oddzielenie wiórów, a z drugiej strony mogą one mieć niekorzystną postać.

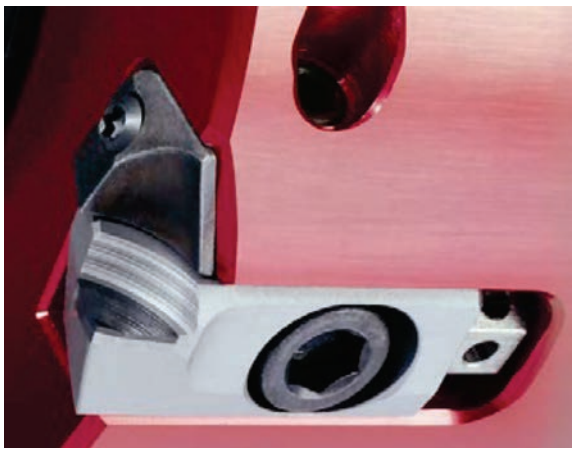
Wiór wstęgowy, uderzający z bardzo dużą prędkością w obrabianą powierzchnię, może ją uszkodzić, a nawet wbić się w nią i ulec przypawaniu. Ponadto wiór ciągły skłębiony może znacznie utrudniać, a nawet uniemożliwiać obróbkę, zwłaszcza gdy jest ona realizowana bez nadzoru lub z ograniczonym nadzorem pracownika. Wyjściem z tej sytuacji mogłoby być ukształtowanie łamacza na powierzchni natarcia w postaci rowka. Jednak spiek diamentowy jest jednym z najgorzej obrabialnych materiałów. Zatem takie łamacze wiórów formuje się jedynie w razie konieczności, a dokonuje się tego najczęściej za pomocą drążenia laserowego.

Przykłady ostrzy płytek wymiennych z takimi łamaczami przeznaczonych do przecinania i wykonywania kanałków przedstawiono na rys. 17.



Rys. 17. Ostrza ze spieków diamentowych z ukształtowanymi laserem zwijaczami wiórów [10, 16]

Czasami łamacze wiórów wykonuje się w wersji nakładanej, mogą one wówczas jednocześnie pełnić funkcję ochrony korpusu narzędzia przed ściernym oddziaływaniem wiórów (rys. 18).



Rys. 18. Kaseta/wkładka z ostrzem ze spieków diamentowych do głowic frezowych z nakładanym łamaczem wiórów (Mapal WSS)

Interesujące rozwiązanie problemów z usuwaniem wiórów ze strefy skrawania, a zwłaszcza z wąskiej szczeliny między głowicą frezu a obrabianą powierzchnią, zaproponowały firmy Mapal (rys. 19*a*) oraz Gühring (rys.19*b*). Wióry, które pierwotnie dostawały się w strefę pod czoło głowicy, powodowały rysowanie i zacieranie obrabianej powierzchni. W obecnym rozwiązaniu są one kierowane do specjalnie ukształtowanych kieszeni znajdujących się w kasetkach mocujących ostrza diamentowe. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest ochrona korpusu narzędzia przed wycieraniem przez trące o nią z dużą prędkością wióry. W komorach na wióry w pobliżu krawędzi skrawających znajdują się kanały doprowadzające płyn obróbkowy bezpośrednio w strefę oddzielania materiału. Wirująca głowica wywołująca siłę odśrodkową zwiększa skuteczność podawania płynu obróbkowego, a także wyrzuca wióry z komór na zewnątrz powierzchni bocznych narzędzia.

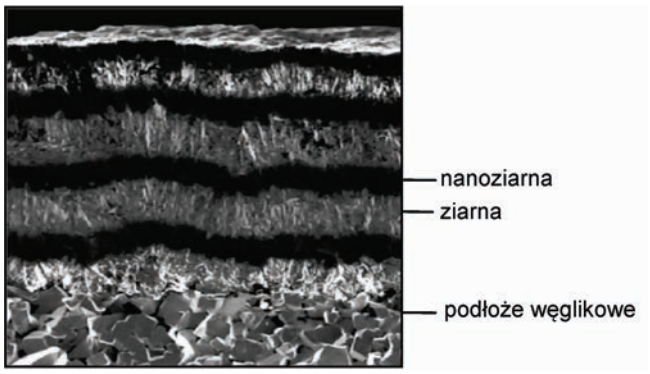


Rys. 19. Głowica frezu z kasetkami z komorami do odprowadzania wiórów: *a*) rozwiązanie firmy Mapal, *b*) rozwiązanie firmy Gühring-Hollfelder

Powłoki diamentowe

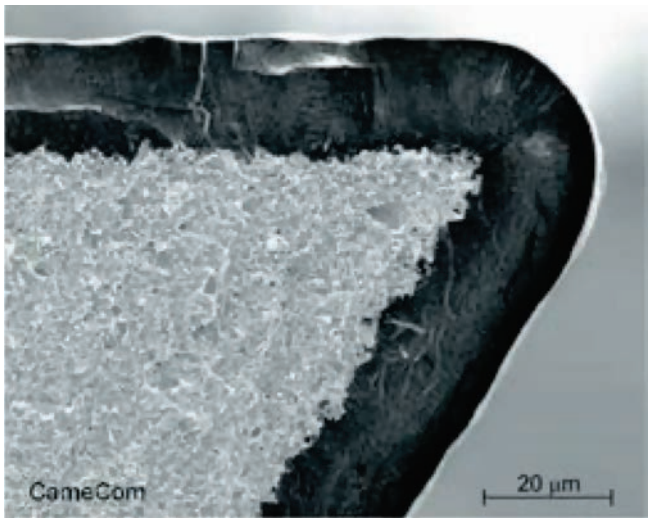
Powłoki diamentowe są wytwarzane z wykorzystaniem technologii CVD (*chemical vapour deposition*), zazwyczaj w wysokiej temperaturze, dlatego nie nanosi się ich na stale szybkotnące, które mogłyby ulec odpuszczeniu. Powłoki diamentowe powstają w wyniku rozpadu $C_2H_4 \rightarrow C_2+H_4$ w warunkach bardzo niskiego ciśnienia, strumienia plazmy i pulsującego pola elektrycznego. Wodór jest odpompowywany z komory, natomiast węgiel krystalizuje się na powierzchniach roboczych ostrzy w sieci regularnej przestrzennie centrowanej.

Obecnie wytwarza się też powłoki wielowarstwowe, charakteryzujące się naprzemiennymi strukturami nano- i średnioziarnistymi (rys. 20). Przyczynia się to do większej relaksacji naprężeń między warstwami nakładanego diamentu, mniejszej ich wrażliwości na pękanie, a także pozwala na otrzymanie bardzo drobnoziarnistej struktury na powierzchni zewnętrznej. Taka struktura poprawia spływ wiórów i umożliwia uzyskanie mniejszej szczerbatości krawędzi. Ponieważ powłoka jest z czystego diamentu, to konsekwencją tego jest brak przewodnictwa elektrycznego, co wyklucza obróbki wspomagane prądem.



Rys. 20. Widok przełomu wielowarstwowej powłoki diamentowej CC Dia®Tiger (CameCon)

Pewną niedogodnością ostrzy z powłoką diamentową jest – podobnie jak przy innych powłokach przeciwzużyciowych – zwiększenie promienia zaokrąglenia krawędzi skrawających (rys. 21). Tymczasem od ostrzy diamentowych wymaga się zazwyczaj ostrych krawędzi, co można dość łatwo osiągnąć na spiekach diamentowych, a znacznie trudniej na ostrzach węglikowych z powłoką o określonej grubości. Tam, gdzie stosuje się narzędzia o złożonych kształtach, np. w wiertłach i frezach trzpieniowych, zalecane jest więc wykonanie ich jako pełnowęglikowych i naniesienie na ostrza powłok diamentowych o bardzo małej grubości, nawet rzędu 1 µm. Jest to kompromis między łatwiejszym wytwarzaniem narzędzi a zapewnieniem im dobrych możliwości oddzielania materiału i odporności na zużycie.



Rys. 21. Zwiększone zaokrąglenie krawędzi skrawającej po nałożeniu powłoki diamentowej (CameCon)

REKLAMA

FASTENER POLAND

Międzynarodowe Targi Elementów Złącznych i Technik Łączenia

28-30.11.2017, Kraków



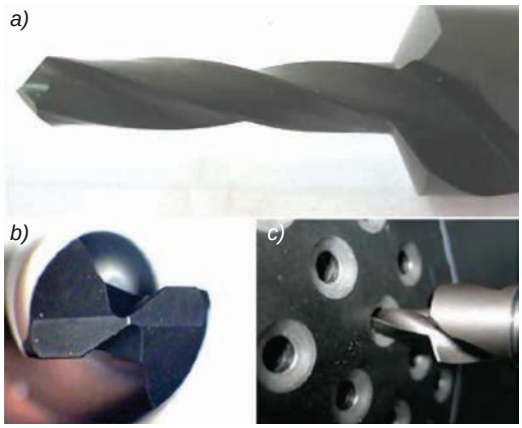
ZŁĄCZĄ NAS TARGI

Organizatorzy:

Targi w Krakowie

RYNEK ELEMENTÓW ZŁĄCZNYCH FASTENER

www.fastenerpoland.pl



Rys. 22. Wiertłopogłębiacz pełnowęglikowy z powłoką diamentową: *a*) widok z boku, *b*) widok od czoła, *c*) proces wiercenia kompozytu (Mapal)

Wiertłopogłębiacz pełnowęglikowy o zoptymalizowanej geometrii, z powłoką diamentową (rys. 22), do obróbki otworów pod nity w materiałach kompozytowych zapewnia:

- bardzo dobrą jakość obrabianych powierzchni,
- dokładność wykonania średnicy otworu w klasie IT8,
- stosowanie dwukrotnie większych posuwów w porównaniu z klasycznymi wiertłami,
- dziesięciokrotnie większą trwałość,
- możliwość obróbki na sucho.

Narzędzia z ostrzami ze spieków diamentowych mimo wysokiej ceny jednostkowej są coraz częściej stosowane w wysoko wydajnych procesach obróbki skrawaniem w różnych gałęziach przemysłu. Wynika to nie tylko z ich bardzo dobrych właściwości skrawnych, wyrażających się wysoką jakością kształtowanych powierzchni, dokładnością obróbki i niezwykle długimi okresami trwałości, ale także z efektywności technicznej i ekonomicznej ich zastosowania.

LITERATURA

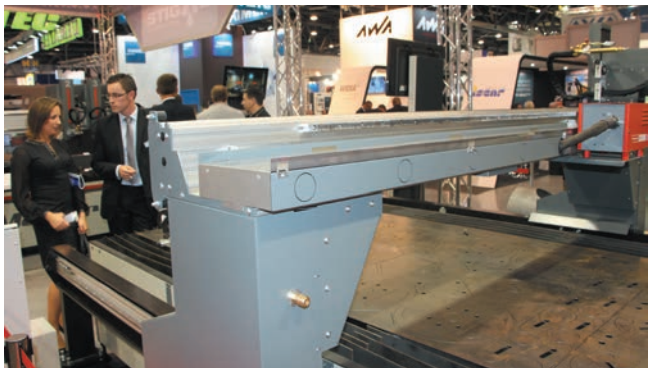
1. Bakul W.N., Zacharienko I.P., Kunikin J.A., Milszttejn M.Z. „*Ostrzenie narzędzi ściernicami diamentowymi*”. Warszawa: WNT, 1975.
2. Dobrzański L.A. „*Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe*”. Warszawa: WNT, 2006.
3. Dobrzański L.A. „*Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo – Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*”. Warszawa: WNT, 2002.
4. Dopierała A. „KD1405 – czysty diament polikrystaliczny”. *Mechanik*.12 (2004): s. 804–805.
5. Cichosz P. „*Efektywność kształtowania skrawaniem przedmiotów osiowosymetrycznych w zintegrowanym wytwarzaniu*”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza PWr, 1998.
6. Cichosz P. „*Narzędzia skrawające*”. Warszawa: WNT, 2006.
7. Cichosz P., Kuzinovski M. „*Ekonomiczne aspekty doboru narzędzi skrawających do zadania produkcyjnego. Obróbka skrawaniem – wysoka produktywność*”. Wocław: Oficyna Wydawnicza PWr, 2007.
8. Jaworska L. „*Diament – Otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*”. Warszawa: WNT, 2009.
9. Legutko S. „Materiały narzędziowe w obróbce skrawaniem”. *Mechanik*. 12 (2004): s. 835–841.
10. Materiały informacyjne firmy DMG MORI.
11. Materiały informacyjne firmy Element Six.
12. Materiały informacyjne firmy Gühring.
13. Materiały informacyjne firmy Mapal.
14. Materiały informacyjne firmy Sandvik Coromant.
15. Materiały informacyjne firmy SECO.
16. Materiały informacyjne firmy TIZ TOOLS.
17. Stobierski L. (red). „*Spiekane materiały narzędziowe przeznaczone na ostrza narzędzi do obróbki z wysokimi prędkościami skrawania*”. Kraków: Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, 2014.
18. Wysiecki W. „*Nowoczesne materiały narzędziowe*”. Warszawa: WNT, 1997.

TOOLEX – narzędzie biznesowego sukcesu!

Po raz dziesiąty w Expo Silesia w Sosnowcu (3–5 października 2017 r.) będzie można zobaczyć najważniejsze polskie i światowe firmy z branży obróbki. Już dopinane są szczegóły programu wydarzeń towarzyszących, który z okazji jubileuszu zapowiada się szczególnie atrakcyjnie. Tradycyjnie razem z targami TOOLEX odbędą się Targi Olejów, Smarów i Płynów Technologicznych dla Przemysłu OILexpo oraz Targi Metod i Narzędzi do Wirtualizacji Procesów WIRTOTECHNOLOGIA. Takie połączenie tematów tworzy doskonałą platformę wymiany informacji, doświadczeń i opinii oraz pozyskiwania zamówień w jednym miejscu i czasie.

Wystawcy cenią targi TOOLEX, ponieważ tutaj zawierają transakcje, pielęgnują relacje ze swoimi klientami oraz nawiązują kontakty biznesowe. Imprezę wzbogacają liczne prezentacje nowości na polskim rynku.

Zeszłoroczna 9. edycja targów TOOLEX zajęła dwie hale – w sumie 15 tys. m^2 powierzchni. Wzięło w niej udział 500 wystawców z 18 krajów, reprezentujących prawie 600 światowych marek. Na program dodatkowy złożyły się wykłady, seminaria i konsultacje dla specjalistów. Targi odwiedziło blisko 10 tys. ekspertów z branży. Można było obejrzeć 450 maszyn w ruchu.



Wszystko wskazuje na to, że targi TOOLEX 2017 będą jeszcze bogatsze. Większość powierzchni wystawienniczej została już zarezerwowana.

Warto więc przyjechać w październiku do Sosnowca – jeżeli nie w charakterze wystawcy, to na pewno jako zwiedzający. Trzeba sprawdzić, co nowego dzieje się w branży. Organizatorzy z Expo Silesia serdecznie zapraszają!



REKLAMA

ZOLLER
Erfolg ist messbar®

»smileCompact«

„Mini-must-have“ do profesjonalnego pomiaru i ustawiania narzędzi.

Odwiedź nas na targach TOOLEX w Sosnowcu, 3–5.10.2017 r., pawilon A-101



ZOLLER Polska Sp. z o. o.
ul. Wiejska 24
63-100 Śrem
biuro@zoller.net.pl

www.zoller.net.pl

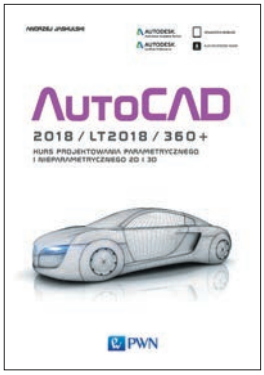
Nowości wydawnicze



Wojciech Kaczmarek, Jarosław Panasiuk: *Środowiska programowania robotów.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017

To pierwsza książka z przygotowanego przez Wydawnictwo Naukowe PWN cyklu ROBOTYKA, wprowadzająca czytelnika w arkana nowoczesnej wiedzy dotyczącej jednej z najbardziej rozwijających się technologii XXI w. W podręczniku scharakteryzowano dostępne na rynku wirtualne środowiska programowania robotów – ze szczególnym uwzględnieniem produktów oferowanych przez firmy: ABB, FANUC, KUKA i Mitsubishi. Zawarty w nim materiał zapoznaje z zasadami pracy w tych środowiskach oraz zasadami tworzenia i symulowania działania zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych.

Książka jest skierowana nie tylko do studentów automatyki i robotyki czy mechatroniki, lecz także do praktyków – programistów robotów, integratorów automatyki, inżynierów i wielu innych.



Andrzej Jaskulski: *AutoCAD 2018/LT2018/360+. Kurs projektowania parametrycznego i nieparametrycznego 2D i 3D.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017

Podręcznik zawiera kompletny kurs projektowania parametrycznego i nieparametrycznego 2D/3D oraz drukowania dokumentacji wyrobów, dla dowolnej branży i o dowolnym stopniu złożoności, za pomocą programów: AutoCAD 2018 lub AutoCAD LT 2018 (tylko 2D) i wersji mobilnej AutoCAD 360 oraz nowszych, w polskiej lub angielskiej wersji językowej.

Czytelnik znajdzie w tej książce starannie przemyślane ćwiczenia, dzięki którym nauczy się samodzielnego projektowania w programie AutoCAD i przygotuje się do egzaminu certyfikacyjnego AutoCAD Certified Professional.

Integralną częścią publikacji są przykłady i zadania, które można nieodpłatnie pobrać ze strony internetowej: www.pwn.pl.

REKLAMA



Nowe narzędzia do toczenia rowków, frezowania uzębień oraz obróbki małych otworów z firmy Vargus

Linia narzędzi Vargus VG-Cut

Kompletna linia narzędzi do odcinania oraz toczenia:
- głębokich rowków promieniowych,
- rowków czołowych,
- gwintów, także między kołnierzami,
- wzdłużnego,
- profilowego.

Narzędzia z linii VG-Cut są dostępne w wersjach:
- monoblok do toczenia zewnętrznego i wewnętrznego,
- modułowej, opcjonalnie z wewnętrznym podawaniem chłodziwa bezpośrednio do strefy obróbki,
- jako listwy z płytkami,
- lewych i prawych.

Koncepcja VG-Cut opiera się na założeniu, że kieszeń w oprawce jest uniwersalna i można w niej instalować płytki do każdej operacji, takie same do obróbki wewnętrznej i zewnętrznej. Oprawki umożliwiają podawanie w strefę obróbki chłodziwa pod wysokim ciśnieniem.

Płytki są dwustronne. Standardowe szerokości płytek wynoszą: 2, 3, 4, 5 i 6 mm.

Trzy podstawowe geometrie pokrywają wszystkie rodzaje materiałów; superdrobnoziarnisty węglik z najnowszej generacji powłokami gwarantują trwałość oraz najwyższą produktywność.

Linia narzędzi do frezowania uzębień

Narzędzia do obróbki kół zębatych, wielowypustów i zębatek (alternatywa dla innych metod obróbki, zwłaszcza frezowania obwiedniowego):
- frezy monolityczne z węglika – precyzyjnie szlifowane, gwarantują dokładność, sztywność oraz wydajność dzięki wielu krawędziom skrawającym i dużym prędkościom skrawania; nadają się do uzębień o bardzo małych modułach (do 2,5 mm); możliwość obróbki blisko kołnierza oraz bardzo twardych materiałów;
- system narzędzi składanych – o unikalnej konstrukcji, przeznaczonych do uzębień o większych modułach (do 6 mm); dostępne są płytki projektowane do konkretnej aplikacji w wersji jedno- oraz trzykrawędziowej, precyzyjnie szlifowane i powlekane z zastosowaniem najnowszej technologii PVD; możliwość obróbki bardzo twardych materiałów.

Bogata oferta głowic (tarczowych, nasadzanych, palcowych) z możliwością dowolnej modyfikacji przez użytkownika wymiarów i liczby płytek, z unikalną metodą pozycjonowania pozwalającą na osiągnięcie doskonałej precyzji i powtarzalności.

Narzędzia można stosować na tokarkach CNC.

Linia mikronarzędzi Vargus MicrOscope

Ulepszony system do obróbki otworów od średnicy ∅1 mm umożliwia:
- toczenie wzdłużne,
- toczenie kształtowe wewnętrzne (kilka wersji kształtu ostrza),
- toczenie rowków promieniowych i czołowych,
- toczenie gwintów (bogata oferta standardów, wersje pełnoprofilowe),
- fazowanie,
- toczenie wsteczne,
- podcinanie wstępne.

Zalety narzędzi MicrOscope:
- cztery rozmiary nominalne: 4, 5, 6, i 7 mm,
- doskonałe pozycjonowanie wkładek z wysoką powtarzalnością, umożliwiającą pracę bez ponownego ustawiania przy wymianie wkładek,
- pewne i stabilne mocowanie wkładki – prosta i szybka wymiana,
- superdrobnoziarnisty węglik oraz najnowszej generacji powłoki PVD w dwóch gatunkach,
- dostępne wersje lewe,
- wkładki także w wersji z łamaczami wiórów i różnymi promieniami naroży,
- wydajny sposób doprowadzenia chłodziwa do strefy obróbki,
- bogata oferta oprawek umożliwiająca pracę na każdej obrabiarce, zwłaszcza na automatach tokarskich typu Swiss Turning.







vargus NEUMO Ehrenberg Group

Vargus Polska
Neumo-Polska Sp. z o.o.
96-100 Skierniewice
Strobów

tel. +48 46 834 99 04
kom. +48 603 888 064
vargus@neumo.pl
www.vargus.pl

Narzędzia firmy ISCAR – nie tylko do obróbki metalu

Na całym świecie producenci nieustannie poszukują sposobów na udoskonalenie produkcji poprzez wykorzystanie nowych materiałów, aby zwiększyć konkurencyjność i atrakcyjność swojej oferty. W dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości niezbędna jest elastyczność oraz gotowość do wprowadzania zmian.

Obecnie coraz popularniejsze stają się materiały niemetaliczne. Tym samym zwiększa się paleta zastosowań, w których te tworzywa wypierają tradycyjne rozwiązania materiałowe. Rośnie udział materiałów kompozytowych w rynku.

Firma ISCAR – jeden z liderów rynku producentów narzędzi do obróbki skrawaniem – kładzie duży nacisk na rozwój zaawansowanych materiałów narzędziowych do obróbki kompozytów. Inwestycje w dział badań i rozwoju pozwoliły na dostarczenie na rynek nowoczesnych rozwiązań gwarantujących produktywną obróbkę tej trudnoobrabialnej grupy.

Przez ostatnie trzy dekady kompozyty, tworzywa sztuczne i ceramika, należące do grupy materiałów typu CFRP, stały się dominującymi materiałami „wschodzącymi". Nowoczesne kompozyty stanowią znaczną część rynku inżynierii materiałowej i są stosowane nie tylko w produktach codziennego użytku, lecz także w bardziej niszowych obszarach.

Liderzy przemysłu – np. firmy z branży motoryzacyjnej, lotniczej i energetycznej – podążają za nowym trendem. Przykładowo, w produkcji nowoczesnych turbin wiatrowych zazwyczaj wykorzystuje się trójłopatkowe konstrukcje. Łopatki są wytwarzane z poliestru wzmocnionego włóknem szklanym z żywicą epoksydową. Stale pojawiają się jednak nowe materiały, takie jak włókno węglowe, które mają odpowiedni stosunek wytrzymałości do wagi, co jest szczególnie ważne w przypadku turbin wiatrowych. Typowa łopatka turbiny wiatrowej o mocy 5 MW może dziś mieć długość nawet 60 m.

Wysoki stosunek wytrzymałości do ciężaru powoduje, że CFRP jest preferowanym materiałem w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym

Dla światowych producentów i ich technologów z niemal każdej branży niezwykle ważne jest, aby się przygotować na nowe wymagania rynku i być elastycznym. Materiały kompozytowe służą do produkcji sprzętu sportowego, samochodów, motocykli, towarów konsumenckich i produktów medycznych. Przykładowo: do odtwarzania dużych lub złożonych ubytków kości czaszkowych wykorzystywane są prefabrykowane, generowane komputerowo, indywidualne implanty medyczne z CFRP (tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknami węglowymi).

Firma ISCAR oferuje szeroką gamę wysoko wydajnych, precyzyjnych narzędzi z wlutowanymi ostrzami diamentowymi (PCD) lub borazonowymi (CBN). Ma również szereg zaawansowanych narzędzi monolitycznych z powłoką diamentową w różnych geometriach, aby sprostać oczekiwaniom branży metalurgii drewna, materiałów CFRP i kompozytów.

Produkty te obejmują: płytki wymienne, pogłębiacze, frezy walcowo-czołowe i kuliste, frezy kształtowe, wiertła stopniowe itp. ISCAR dostarcza również rozwiązania specjalne, odpowiadające na konkretne wymagania klienta.



Stale rosnące zapotrzebowanie na bardziej wydajną obróbkę nowoczesnych materiałów – takich jak metale kolorowe, tworzywa sztuczne, materiały kompozytowe (grafitowe) i inne trudnoobrabialne lub trudnościerne – zwiększa stosowanie narzędzi PCD w przemyśle. Do obróbki utwardzonych stali (>45 HRC), żeliwa, superstopów niezbędne są narzędzia z CBN.

Wysokiej jakości narzędzia zwiększają wydajność i obniżają koszty produkcji

Duże inwestycje w dział badań i rozwoju służą udoskonalaniu produktów do obróbki tych wymagających materiałów i tworzeniu szerokiej gamy rozwiązań narzędziowych.

Obróbka materiałów wykorzystywanych obecnie w produkcji zaawansowanych typów samolotów wymaga nowych procesów technologicznych, ponieważ trudnoobrabialne materiały są lekkie, ale bardzo wytrzymałe. Narzędzia powszechnie stosowane do obróbki CFRP mają wlutowane ostrza z PCD o wysokiej trwałości.

Przy obróbce kompozytów, takich jak CFRP, nie ma praktycznie typowych wiórów. Mechanizm usuwania naddatku mógłby być lepiej opisany jako „rozpadanie się materiału". Wpływ krawędzi skrawającej powoduje łamanie włókien węglowych, a nie odcinanie materiału. Podczas tego procesu krawędzie narzędzia ścierają się, co prowadzi do szybkiego zużycia. W obróbce materiałów kompozytowych, jak również każdym innym zastosowaniu narzędzia skrawającego, jego geometria decyduje o wydajności procesu. Jednak w przypadku kompozytów materiał narzędziowy staje się także głównym czynnikiem sprawczym. Jeśli materiał ostrza narzędzia nie będzie odporny na ścieranie, tak aby utrzymać geometrię i zachować ostrość, to będzie następowało gwałtowne zużywanie się narzędzia i zmiana jego geometrii. Aby skutecznie obrabiać materiały CFRP, w firmie ISCAR opracowano ostre, monolityczne narzędzia na bazie twardych gatunków węglika, które są dodatkowo powlekane diamentem, aby zwiększyć ochronę przed ścieraniem.

Zastosowano powłokę z polikrystalicznego diamentu (PCD). Tylko powłoka diamentowa stosowana w chemicznym procesie osadzania (CVD) w 100% wykorzystuje prawdziwy kryształ diamentowy. Główną zaletą powłok nakładanych metodą CVD jest to, że zmniejszają ciepło i tarcie generowane przez bardzo ścierny materiał kompozytowy.

Chociaż obróbka elementów kompozytowych może być prosta (czasami tylko wiercenie i cięcie), to systemy mocowania przeznaczone do obsługi tych często skomplikowanych części mogą stanowić małe cuda techniki. Tak więc osprzęt do obróbki elementu kompozytowego może się wiązać ze znaczną inwestycją inżynieryjną. Czyste skrawanie bez przebijania, rozwarstwiania lub oddzielania warstw materiału w inny sposób wymaga, aby część była trwale zabezpieczona przed możliwością wystąpienia drgań.

Wysokiej jakości, precyzyjne narzędzia z wlutowanymi ostrzami z PCD i CBN firmy ISCAR zmniejszają koszty produkcyjne i poprawiają jakość wytwarzanych produktów. W porównaniu z rozwiązaniami z węglików spiekanych te narzędzia są gwarancją podniesienia wydajności, uzyskania lepszej jakości powierzchni i dokładniejszej obróbki materiałów kompozytowych i typu CFRP.

Firma ISCAR jest dobrze znana na świecie dzięki doskonałemu poziomowi obsługi klienta oraz dostarczaniu jakościowych i produktywnych rozwiązań narzędziowych, nie tylko w zakresie obróbki metali, ale także w dziedzinie obróbki materiałów typu CFRP i kompozytów.







Nie zgadzaj się na mniej, używaj oryginalnych produktów firmy ISCAR!

ISCAR Poland Sp. z o.o. • 40-432 Katowice • ul. Gospodarcza 14

tel. +48 32 735 77 00 • faks +48 32 735 77 01 • iscar@iscar.pl • www.iscar.pl

Member IMC Group

Więcej informacji u naszych lokalnych przedstawicieli:

Bielsko-Biała	Bydgoszcz	Elbląg	Gliwice	Jarocin	Kalisz	Kielce	Kraków
605 613 988 601 542 856	661 961 116	603 784 606	663 774 603	665 912 277	693 339 246 721 550 075	603 701 192	601 571 171
Krosno	**Nowy Sącz**	**Poznań**	**Rzeszów**	**Szczecin**	**Warszawa**	**Wrocław**	**Zawiercie**
601 547 727	721 348 885	601 519 322	785 204 255	601 328 355	601 259 371 601 383 431	691 394 448 601 542 821	603 780 920

Narzędzia z obrotowymi krawędziami skrawającymi – klasyfikacja i terminologia

Tools with rotary cutting edges – classification and terminology

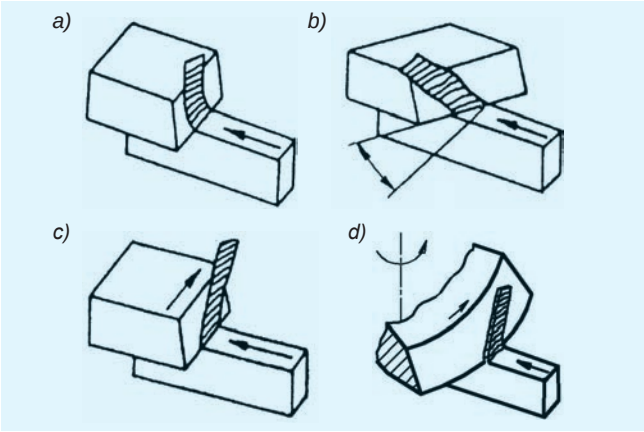
JANUSZ CIELOSZYK
BOLESŁAW FABISIAK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.100

Na tle stanu wiedzy, analizy literatury i własnych doświadczeń w badaniach narzędzi z ostrzami obrotowymi przedstawiono stosowaną terminologię i klasyfikację tych narzędzi w procesach obróbki frezowaniem, toczeniem, rozwiercaniem i powiercaniem. Na podstawie tej analizy zaproponowano skorygowaną i ujednorodnioną terminologię i klasyfikację.
SŁOWA KLUCZOWE: narzędzia z ostrzami obrotowymi, narzędzia z ostrzami samoobrotowymi, narzędzia z wymuszonym obrotem płytki

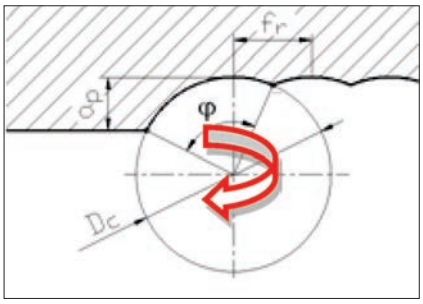
Research focuses on unconventional tools with the rotary edges (RET – rotary edges tools) type self-propelled rotary edges tool (SPRET) and driven rotary edges tools (DRET). Based on the analysis, corrected terminology and ***classification are presented.***
KEYWORDS: rotary edges tools, SPRET, DRET

W ostatnich latach w wiodących technologicznie krajach z sukcesem wraca się do koncepcji obróbki narzędziami ze zmienną czynną krawędzią skrawającą, zwłaszcza w zakresie obróbki materiałów trudnoobrabialnych [1–4]. W przypadku procesów obróbki takich materiałów za pomocą tradycyjnych metod napotyka się bowiem wiele trudności. Narzędzia te mają określoną liczbę krawędzi skrawających (np. 3, 4, 6, 8 lub 12), niezmiennych w czasie skrawania (rys.1*a* i *b*).



Rys. 1. Odmiany skrawania z niezmienną krawędzią: ortogonalne (*a*) i skośne (*b*); skrawanie ze zmienną czynną krawędzią skrawającą: prostoliniową (*c*) i obrotową (*d*)

W przypadku skrawania ze zmienną czynną krawędzią skrawającą kolejne fragmenty krawędzi skrawającej wchodzą w strefę obróbki w sposób ciągły w całym procesie skrawania, aż do osiągnięcia stanu stępienia – w przypadku wkładki z pojedynczą krawędzią skrawającą jest to równoznaczne z jej żywotnością, a w przypadku wkładki dwustronnej – z podwójną trwałością. Tak realizowany proces obróbki można więc określić jako skrawanie ze zmienną aktywną krawędzią skrawającą (rys. 1*c* i *d*). Dla tego sposobu obróbki i tego rodzaju narzędzi charakterystyczne są dwa czynniki: wkładka (płytka) okrągła, stosowana we wszystkich przypadkach bez względu na sposób i odmianę realizowanej obróbki, oraz jej obrót (rys. 2).



Rys. 2. Czynna krawędź skrawająca

Za twórcę narzędzi z obrotowymi ostrzami skrawającymi uchodzi James Napier [10]. Nie zachowały się żadne jego projekty ani konstrukcje, jednak w 1868 r. w swoich pismach przewidział i przedstawił ogromne możliwości takich narzędzi w zastosowaniach przemysłowych.

Klasyfikacja omawianych narzędzi, która adekwatnie oddawałaby obecny stan ich rozwoju i zastosowań, w zasadzie nie istnieje. Zaproponowano więc, jako efekt badań własnych [1, 2], studium literatury przedmiotu i patentów [3–9] oraz wprowadzenie systematyki w dziedzinie konstrukcji tych narzędzi i ich zastosowań. Wydaje się to uzasadnione również w kontekście ich historycznego rozwoju. Początkowo występowały one jako narzędzia specjalne, a w ostatnich latach stają się narzędziami handlowymi.

Narzędzia obrotowe czy narzędzia z ostrzami obrotowymi?

W badaniach doświadczalnych i praktyce przemysłowej narzędzia te określa się często jako narzędzia obrotowe, a procesy z ich użyciem – obróbką narzędziami obrotowymi. Wynika to głównie z prostego tłumaczenia naukowych publikacji, opisów patentowych i opracowań wdrożeniowych. Przykładowo, w języku rosyjskim pojęcia te brzmią: *ротационное резание, ротационное инструменты,* a w języku angielskim: *rotary tools* (RT), *rotary cutting* [4–6]. Najbardziej popularna grupa narzędzi z ostrzami obrotowymi to narzędzia tokarskie, tradycyjnie realizujące ruch posuwowy, nieobrotowy (tabl. I). Ich nazwa w języku angielskim i akronimy (*self-propelled rotary tools* – SPRT) wskazywałaby, że mamy do czynienia z narzędziami obrotowymi. W rzeczywistości jedynie samo ostrze obraca się na skutek działania siły wywołanej tarciem wióra o powierzchnię natarcia. Ruch ten jest możliwy dzięki różnym rozwiązaniom łożyskowania wkładki skrawającej.

Potrzeba poprawnego określenia tych narzędzi wynika również z konieczności uproszczenia i przyspieszenia wyszukiwania treści w katalogach, artykułach czy opisach

* Dr hab. inż. Janusz Cieloszyk (janusz.cieloszyk@zut.edu.pl), dr inż. Bolesław Fabisiak – Instytut Technologii Mechanicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

patentowych dostępnych w sieci internetowej. Wpisanie w wyszukiwarce internetowej hasła *rotary tools*, *rotary cutting*, *ротационное резание* czy *ротационное инструменты* zazwyczaj naprowadza na treści dotyczące typowych procesów skrawania i typowych obrotowych narzędzi skrawających, jak frezy, wiertła i rozwiertaki. Wydaje się więc, że bardziej precyzyjna nazwa to: narzędzia z ostrzem obrotowym/ostrzami obrotowymi. W języku angielskim odpowiednie nazwy i akronimy brzmią: *rotary cutting edge tools* – RCET, *rotary edge tools* – RET, *tools with rotary cutting edge* – TRCE. Jednakże w literaturze anglojęzycznej (np. w Japonii, Chinach, Korei, USA) spotyka się uproszczony, niedoskonały skrót RT (*rotary tools*), mimo że bardziej czytelny byłby akronim RET (*rotary edge tools*) lub RE (*rotary edge* – w domyśle: *tool*).

Klasyfikacja narzędzi z ostrzami obrotowymi

Ogólnym wyróżnikiem klasyfikującym narzędzia z ostrzami obrotowymi (tabl. I) jest mechanizm uzyskiwania obrotu płytki skrawającej. Obrót płytki w odmianie kinematyki przedstawionej na rys. 1*d* można uzyskać następującymi sposobami:

- obrót „samoczynny” – pod wpływem układu sił działających podczas skrawania na powierzchnie czynne ostrza. Narzędzia tego rodzaju będą nazywane narzędziami z ostrzami samoobrotowymi i oznaczane akronimem SPRET (*self-propelled rotary edge tool*);
- obrót wymuszony – przez zastosowanie zewnętrznego mechanizmu napędowego. Narzędzia tego rodzaju będą oznaczane akronimem DRET (*driven rotary edges tool*) lub DRE.

Możliwy jest również wariant z okresowym obrotem płytki, odbywającym się poza strefą obróbki. Ten wariant roboczo oznaczono jako SPRET-Interrupt. Obrót płytki realizowany byłby w odstępach czasu pomiędzy wyjściem ostrza z materiału obrabianego i kolejnym wejściem w materiał (w operacjach frezarskich) lub pomiędzy kolejnymi przejściami noża (w operacjach tokarskich). Mechanizm wymuszający okresowy obrót płytki można zbudować z wykorzystaniem mediów stosowanych powszechnie w obróbce skrawaniem, takich jak sprężone powietrze lub płyn chłodząco-smarujący podawany pod wysokim ciśnieniem (np. przez wrzeciono frezarki).

TABLICA I. Wybrane konstrukcje narzędzi tokarskich z ostrzami obrotowymi – RET (*rotary edge tools*)

a)	Nóż SPRT japońskiej firmy Mitsubishi Carbide, prawy, typu RRSDR3232P12. Płytki wymienne o średnicy D_c = 12,7 mm, np. RDGH120400-M4 TF15	
b)	Nóż SPRT japońskiej firmy Mitsubishi Carbide, lewy, typu RRNL3232 P19. Płytki wymienne o średnicy D_c = 19,05 mm, np. RNGJ190600-M5 US735	
c)	Nóż SPRT firmy Rotary Technologies Corporation (USA) typu CLT-15RH z wymienną kasetą rotacyjną. Płytki wymienne o średnicy D_c = 27 mm. Narzędzie w wersji handlowej pojawiło się na rynku w 2008 r.	
d)	Wytaczadło SPRT własnej konstrukcji, przystosowane do badań doświadczalnych z wymiennymi kasetami rotacyjnymi lub stacjonarnymi	

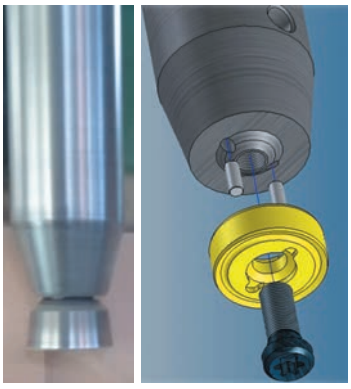
Wprowadzenie wymuszonego napędu płytki skrawającej (DRET) komplikuje i podraża konstrukcję narzędzia, jednak pozwala na celowe sterowanie ważnym parametrem kinematycznym, a mianowicie obrotami płytki skrawającej. Wymuszony napęd w narzędziach DRET może poprawiać niektóre efekty eksploatacyjne narzędzi [4–6] i jest niezbędny w obróbce złożonych geometrycznie zarysów, a więc wtedy, gdy istnieje możliwość wystąpienia niestabilnego obrotu płytki skrawającej. Ze względów technicznych i ekonomicznych narzędzia DRET były dotychczas badane i stosowane sporadycznie.

We wszystkich wariantach narzędzi RET istotnym elementem jest łożyskowanie obrotowego ostrza. Sposób rozwiązania węzła łożyskującego jest wyróżnikiem klasyfikującym narzędzia na łożyskowane: ślizgowo, tocznie i w sposób mieszany. Studiując historię rozwoju tych narzędzi, można jednoznacznie stwierdzić, że właśnie problem łożyskowania był główną przeszkodą w ich rozwijaniu. Narzędzia RET z układem łożyskowania pracują w warunkach dynamicznie zmiennych sił, wysokiej temperatury i często w środowisku chłodziwa oraz różnych postaci wiórów. Zapewnienie spełnienia wymagań dotyczących wytrzymałości, odporności termicznej i chemicznej, a zwłaszcza wysokiej dokładności geometrycznej (bicia) i bezluzowej pracy łożysk, było i jest zadaniem trudnym technicznie. Dodatkową trudnością jest ograniczona przestrzeń, w której węzeł łożyskowy powinien się mieścić. Narzędzia lub kasety rotacyjne, które w wystarczającym stopniu spełniają stawiane im wymagania, są obecnie konstruowane na bazie łożysk wałeczkowych, odbierających stopnie swobody zarówno w kierunku promieniowym, jak i osiowym. Inne odmiany łożyskowań są akceptowalne jedynie w narzędziach RET, przeznaczonych do obróbki materiałów łatwo obrabialnych, niemetalowych.

Od niedawna przed narzędziami z wymuszonym obrotem ostrza typu DRET, przeznaczonymi do centrów tokarskich CNC sterowanych w wielu osiach, otworzyły się zupełnie nowe perspektywy [2, 8, 9]. Tym samym pojawiła się możliwość zastąpienia złożonego mechanizmu napędzającego płytkę skrawającą, montowanego w korpusie każdego narzędzia z osobna, mechanizmem napędowym odpowiedniej osi – sterowanej numerycznie – nowoczesnej obrabiarki.

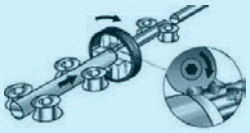
Narzędzia z obrotowym ostrzem napędzane przez wrzeciono obrabiarki

Jest to szczególna grupa narzędzi DRET (roboczo nazwana przez autorów nożami czołowymi obrotowymi), w której nie występuje problem trudnego łożyskowania krawędzi skrawającej (rys. 3), a to upraszcza konstrukcję narzędzi zarówno jednolitych (tabl. II pkt *d*), jak i składanych.



Rys. 3. Noże czołowe napędzane – DRET (*driven rotary edge tools*)

TABLICA II. Konstrukcje jedno- i wieloostrzowych narzędzi z ostrzami obrotowymi (RET)

a)	Głowica frezowa SPRET o oznaczeniu C80-4 firmy RTC (USA) z wymiennymi kasetami rotacyjnymi, również z możliwością stosowania dodatkowej kasety z płytką wygładzającą o krawędzi prostoliniowej	
b)	Narzędzie SPRET do powiercania firmy RTC (USA), wykonywane na specjalne zamówienie	
c)	Głowica łuszczarska z kasetami rotacyjnymi w wersji specjalnej	
d)	Nóż czołowy własnej konstrukcji do zastosowań na tokarkach CNC wieloosiowych lub na specjalnych przystawkach do obrabiarek konwencjonalnych. Wersja z geometrią przystosowaną do obróbki drewna i innych materiałów miękkich	

Obróbka tymi narzędziami przypomina proces frezotoczenia. W obu przypadkach przedmiot i narzędzie wykonują ruch obrotowy, a dodatkowo narzędzie albo przedmiot wykonuje ruch posuwowy. Istnieje jednak zasadnicza różnica w kształtowaniu powierzchni: nóż czołowy charakteryzuje stała, nieprzerwana obecność tego samego ostrza w materiale.

Zaproponowana nazwa noża jest również akceptowalna w innych językach. Stanowi analogię do frezowania czołowego (*face milling*) – *face rotary turning tools* (FRTT).

W ostatnich latach w literaturze anglojęzycznej [2, 8, 9] tej technologii przypisano indywidualną nazwę *spinning* – *turning spinning tool technology*. Obie nazwy mogą funkcjonować równolegle także w języku polskim: toczenie nożem czołowym (FRTT) lub toczenie spinowe. W przyszłości – wraz z rozwojem tej technologii oraz zwiększaniem częstotliwości i obszaru jej zastosowania – może utrwalić się jedna z tych nazw.

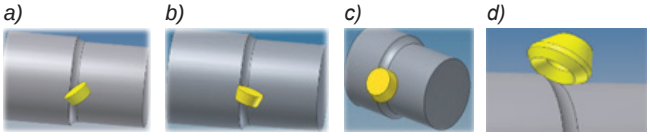
Należy podkreślić, że w wariancie wykorzystania tokarek CNC sterowanych w wielu osiach narzędzie może pracować zarówno jako SPRET, jak i DRET. Jedyny warunek zmiany z wariantu SPRET na DRET jest taki, że opory obrotu wrzeciona przy odłączonym napędzie muszą być mniejsze niż moment jego obrotu spowodowany siłą tarcia wióra na powierzchnię natarcia. Dodatkowo siłę tarcia można zwiększać lub zmniejszać przez zmianę kąta ustawienia osi narzędzia.

Narzędzia z obrotowym ostrzem w różnych rodzajach obróbki

Podstawowym wyróżnikiem klasyfikującym narzędzia z ostrzami obrotowymi jest rodzaj obróbki, do której są przeznaczone. Rozwijane są konstrukcje narzędzi RET do operacji:

- toczenia powierzchni zewnętrznych i czół (tabl. I pkt *a*–*c*),
- wytaczania (tabl. I pkt *d*),
- frezowania (tabl. II pkt *a*),
- powiercania (tabl. II pkt *b*),
- łuszczenia (tabl. II pkt *c*).

Ważnym wyróżnikiem narzędzi RET, charakteryzującym ich kinematyczne właściwości skrawania, jest orientacja płytki skrawającej względem przedmiotu obrabianego, określająca położenie powierzchni natarcia, przyłożenia oraz położenie osi obrotu płytki. Na rys. 4*a* i *b* pokazano najczęściej stosowane warianty ustawień płytki skrawającej względem przedmiotu obrabianego, różniące się znakiem kąta pochylenia osi płytki skrawającej względem płaszczyzny podstawowej. Przyjęcie pobocznicy stożka (lub walca) jako powierzchni natarcia mniej ogranicza przestrzeń, w której można umieścić węzeł łożyskowy. Ten wariant stosowany był w konstrukcjach narzędzi o dużych gabarytach, budowanych z wykorzystaniem łożysk kulkowych. Odmiana płytki skrawającej pokazana na rys. 4*d* (tzw. *frustum*), obecnie rozwijana i badana w firmie RTC (USA), charakteryzuje się korzystniejszym odprowadzaniem wiórów ze strefy skrawania oraz dobrą wytrzymałością ostrza.



Rys. 4. Wybrane warianty położeń płytki skrawającej względem przedmiotu obrabianego: *a*–*b*) powierzchnią natarcia jest podstawa stożka (lub walca), *c*) powierzchnia natarcia jest pobocznicą stożka, *d*) odmiana geometrii płytki skrawającej nazywana *frustum*

Podsumowanie

Proponowana terminologia i klasyfikacja stanowi jedynie próbę usystematyzowania znanych (lub możliwych) rozwiązań konstrukcyjnych narzędzi o obrotowej krawędzi skrawającej, które są stale rozwijane i doskonalone.

Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych wraz z ich charakterystyką może być cenną inspiracją zarówno dla konstruktorów narzędzi, jak i technologów planujących wykorzystanie tych narzędzi (RET) w nowoczesnych procesach obróbki.

LITERATURA

1. Cieloszyk J., Zasada M. “The Self-Propelled Rotary Tools-Future Conception In Metal Cutting?”. *The 15th DAAAM International Symposium Intelligent Manufacturing & Automation: Globalisation – Technology – Men – Nature*, 3–6th November 2004, Vienna, Austria, s. 075–077.
2. Cieloszyk J., Zasada M., Wieloch G. „Właściwości i perspektywy zastosowań aktywnie napędzanych noży obrotowych ADRT na wieloosiowych centrach obróbkowych”. *Innovative Manufacturing Technology 2*. Ed.: Rusek P. Kraków: IZTW, 2012, ISBN 978-80-228-2385-2, s. 29–39.
3. Dessoly V., Melkote S.N., Lescalier C. “Modeling and verification of cutting tool temperatures in rotary tool turning of hardened steel”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 44 (2004): s. 1463–1470.
4. Ezugwu E.O. “High speed machining of aero-engine alloys”. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, ABCM*. XXVI, 1 (2004): s. 532–539.
5. Ezugwu E.O. “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 45 (2005): s. 1353–1367.
6. Kishawy H.A., Becze C.E., Mcintosh G.G. “Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools”. *Journal of Materials Processing Technology*. 152 (2004): s. 266–271.
7. Kishawy H.A., Wilcox J. “Tool wear and chip formation during hard turning with self propelled rotary tools”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 43 (2003): s. 433–439.
8. Nakajima K. et al. “Effect of rotary cutting tool posture on machining performance utilizing multi-tasking lathe”. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 2, 2 (2008): s. 532–539.
9. Sasahara H., Kato A. et al. “High-speed rotary cutting of difficult-to-cut materials on multi tasking lathe”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 48, 7–8 (2008): s. 841–850.
10. Shaw M.C., Smith P.A., Cook N.H. “The rotary cutting tool”. *Transactions of the ASME*. 1952, s. 1065–1076.



TaeguTec Polska Sp. z o.o.
ul. Nenckiego 136, 52-223 Wrocław
☎ +48 71 785 40 85 🖷 +48 71 785 40 86 🏠 www.taegutec.pl

TaeguTec
Member IMC Group

ANDRE: polska marka – nowe możliwości

Firma ANDRE Abrasive Articles powstała w 1987 r. i od tego czasu projektuje, produkuje i dostarcza stały asortyment narzędzi ściernych oraz wyroby przygotowane na zamówienie klientów. Firma – będąca spółką komandytową w całości z polskim kapitałem – jest zlokalizowana w Kole, w Wielkopolsce. Marka ANDRE zawdzięcza rozpoznawalność 30-letniemu doświadczeniu, wysokiej jakości oraz indywidualnemu podejściu do wymagań klienta.

Na podstawie analizy zapotrzebowania rynku narzędzi ściernych firma ANDRE rozpoczęła realizację kolejnej inwestycji, która otwiera nowy etap w historii spółki. W produkcji wdrażane są właśnie dwie innowacyjne technologie wytwarzania narzędzi ściernych, a jednocześnie poszerzany jest asortyment o wymiary i kształty, których dotychczas nie było w ofercie. Przykładowo: warto wymienić specjalizowane ściernice wielkogabarytowe o średnicach do 1140 mm, wykorzystywane w przemyśle samochodowym do obróbki wałów korbowych czy wałków rozrządu.

Nowa inwestycja, której kluczowym elementem jest prasa o nacisku 2000 T, pozwoli również na formowanie ściernic o mniejszych średnicach zewnętrznych, ale o wysokości aż do 300 mm. Dzięki temu firma zaoferuje klientom szerszy asortyment ściernic monolitycznych – niewymagających klejenia czy składania z części – są one używane do szlifowania bezkłowego w wielu branżach.

Nowe będą nie tylko wymiary. Projekt – dofinansowany z funduszy Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój na lata 2014–2020, Działanie 3.2., Poddziałanie 3.2.1. „Badania na rynek" – zakłada bowiem wdrożenie dwóch innowacyjnych technologii wytwarzania ściernic z zastosowaniem mikroagregatów ściernych oraz ściernic na bazie specjalnej kompozycji żywic syntetycznych. Obie koncepcje zostały opracowane przez dział badawczo-rozwojowy firmy ANDRE we współpracy z Politechniką Koszalińską, Politechniką Łódzką i Politechniką Rzeszowską.

Jakie korzyści płyną z zastosowania mikroagregatów w ściernicach? Przede wszystkim pozwala ono na skokowy wzrost możliwości dopasowania narzędzia ściernego do wymagań operacji technologicznych. Dostępne obecnie narzędzia mogą być różnicowane jedynie poprzez zmiany rodzaju i wielkości ziaren ściernych, spoiwa oraz struktury. W nowych narzędziach możliwe będzie dodatkowo różnicowanie cech poprzez dobór wielkości mikroagregatów, ziaren i spoiw tworzących te mikroagregaty, a także poprzez różnicowanie typów mikroagregatów i ich udziału w ściernicy.

Takie ściernice będą przydatne zwłaszcza w operacjach szlifowania, które obecnie są uważane za trudne do realizacji, czego przykładem może być obróbka szlifierska materiałów kompozytowych, materiałów o wysokiej plastyczności, materiałów wrażliwych na wysokie temperatury, stopów metali lekkich, nowych materiałów mineralno-żywicznych czy też tworzyw stosowanych w optyce.

Zastosowanie mikroagregatów pozwoli także na uzyskanie adaptacyjnych struktur ściernic, gdyż ich mechanizm samoostrzenia może być wykorzystany do samoczynnego tworzenia na powierzchni czynnej ściernicy podwyższonej porowatości w postaci wgłębień. Możliwe jest również lokalne (strefowe) różnicowanie udziału i rodzaju mikroagregatów w objętości narzędzia i wprowadzanie dodatków zmniejszających energię właściwą szlifowania oraz ograniczających oddziaływanie otoczenia na obrabianą powierzchnię, a także dodatków sprzyjających uzyskiwaniu specjalnych struktur w postaci regularnej makrogeometrii, o określonym znaczeniu eksploatacyjnym lub dekoracyjnym.

Zatem nowe ściernice marki ANDRE umożliwiają widoczne zmniejszenie chropowatości szlifowanych powierzchni, przyczyniają się do obniżenia sił występujących podczas szlifowania oraz istotnie ograniczają zalepianie się powierzchni roboczej ściernicy wiórami obrabianego materiału.

Druga koncepcja dotyczy wytwarzania ściernic na bazie specjalnej kompozycji żywic syntetycznych. Występuje tu połączenie właściwości narzędzi ściernych ze spoiwem gumowym i spoiwem epoksydowym przez sprasowanie na zimno masy ściernej i utwardzenie surowego wyrobu.

Rozwiązanie to ma szereg zalet w porównaniu z konwencjonalnymi spoiwami fenolowo-formaldehydowymi. Redukuje się emisję szkodliwych substancji gazowych w procesie produkcyjnym, a ściernice nie tracą jakości podczas przechowywania. Takie narzędzia są bardzo odporne na alkaliczne chłodziwa i umożliwiają wykończenie szlifowanych powierzchni na poziomie zbliżonym do uzyskiwanego za pomocą ściernic ze spoiwem gumowym, z zachowaniem wysokiej wydajności i szybkości szlifowania, zwłaszcza przy usuwaniu większych naddatków. Na podkreślenie zasługuje też bardzo dobra wytrzymałość mechaniczna tych ściernic w podwyższonej temperaturze występującej w operacjach intensywnego szlifowania.

Innowacyjne ściernice znajdą zastosowanie przede wszystkim w operacjach szlifowania bezkłowego i równoległego w produkcji łożysk, w branży motoryzacyjnej i narzędziowej.

Zachęcamy klientów poszukujących innowacyjnych narzędzi ściernych o korzystnej relacji jakości do ceny do zapoznania się z nową, rozszerzoną ofertą firmy ANDRE.





30 LAT DOŚWIADCZENIA

ANDRE ABRASIVE ARTICLES

PRODUCENT PROFESJONALNYCH NARZĘDZI ŚCIERNYCH



NOWY SZERSZY ASORTYMENT

ANDRE®
abrasive articles

INNOWACYJNA TECHNOLOGIA PRODUKCJI:

z wykorzystaniem **mikroagregatów ściernych:**

- ogranicza zalepianie się powierzchni roboczej ściernicy wiórami obrabianego materiału,
- pozwala uzyskać bardzo dobrą jakość obrabianej powierzchni,
- wpływa na obniżenie sił szlifowania.

z zastosowaniem **specjalnej kompozycji żywic syntetycznych:**

- łączy zalety spoiw gumowych i epoksydowych,
- pozwala uzyskać bardzo dobrą jakość obrabianej powierzchni przy zachowaniu wysokiej wydajności i szybkości szlifowania.

SZERSZY ASORTYMENT ŚCIERNIC WIELKOGABARYTOWYCH:

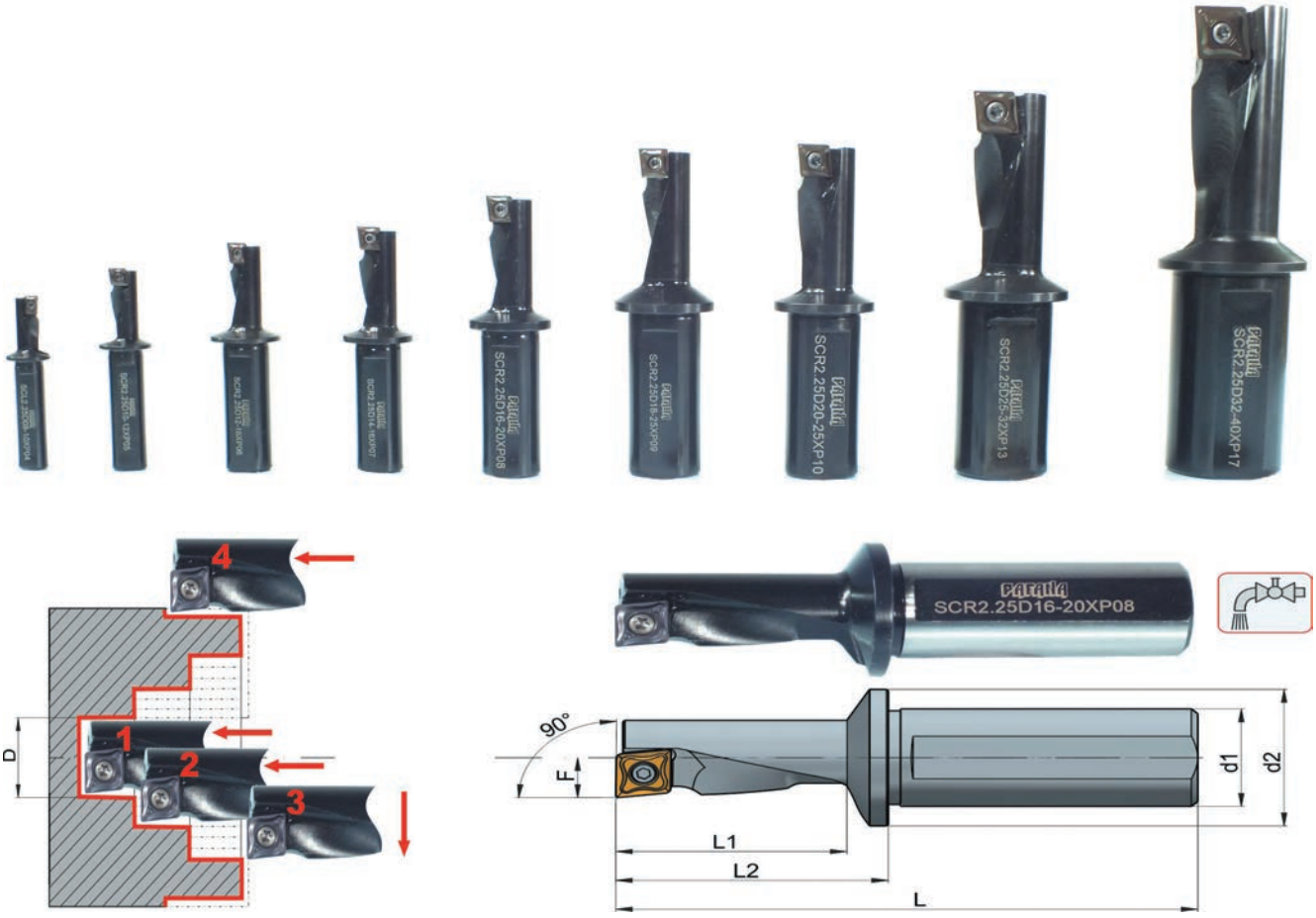
- **średnice do 1140 mm,**
- **wysokości do 300 mm (dla Ø≤760mm).**

BIURO OBSŁUGI KLIENTA
tel.: +48 63 26 26 312,-317,-345
e-mail: zamowienia@andre.com.pl

www.andre.com.pl

Linia narzędzi SMARTCUT Pafana

Firma Pafana rozszerza ofertę o narzędzia łączące funkcje wiercenia i toczenia. Linia SMARTCUT Pafana obejmuje nowoczesne, uniwersalne narzędzia jednoostrzowe z wymienną płytką, przeznaczone do centrów tokarskich CNC. Innowacyjna konstrukcja narzędzi umożliwia wiercenie w pełnym materiale i toczenie tym samym ostrzem. Kierunkowe doprowadzenie chłodziwa przez narzędzie poprawia usuwanie ciepła i wiórów ze strefy skrawania. Jednym narzędziem można wiercić, roztaczać, toczyć wzdłużnie i poprzecznie. Taka uniwersalność pozwala zmniejszyć koszty narzędziowe i skrócić czas przezbrajania obrabiarki.



SMARTCUT – uniwersalne, jednoostrzowe narzędzie tokarskie do: *1* – wiercenia w pełnym materiale z możliwością: *2* – roztaczania, *3* – toczenia poprzecznego i *4* – toczenia wzdłużnego

Linia SMARTCUT to inteligentne rozwiązanie umożliwiające wiercenie w pełnym materiale otworów o średnicach 8÷32 mm; otwory mogą mieć płaskie dno. Narzędzia efektywnie pracują w stali, stali nierdzewnej oraz żeliwie.

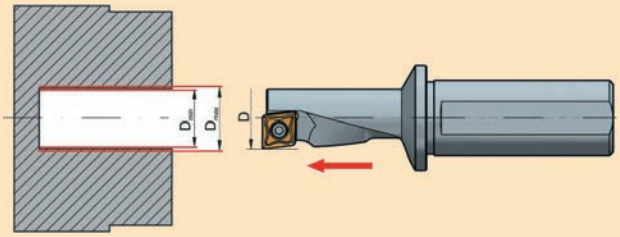
Unikalna konstrukcja linii SMARTCUT oraz zastosowanie płytek wieloostrzowych o dodatniej geometrii zmniejszają opory skrawania podczas obróbki, dzięki czemu znacząco spada zużycie energii elektrycznej i emisja hałasu.

	Oznaczenie	Waga [kg]	Wymiary							PAFANA X	Części zamienne	
			D	d1	d2	L1*	L2	L	F		Śruba	Klucz
1.	SCR2.25D08-10XP04	0,032	8	10	15	18	22	60	4	XPNT04...ER	M1,8x3,4	T6
2.	SCL2.25D08-10XP04	0,032	8	10	15	18	22	60	4	XPNT04...EL	M1,8x3,4	T6
3.	SCR/L2.25D10-12XP05	0,040	10	12	18	22,5	27,5	69,5	5	XPNT05...EN	M2,0x4,0	T6
4.	SCR/L2.25D12-16XP06	0,090	12	16	24	27	33	78	6	XPNT06...EN	M2,2x5	T7
5.	SCR/L2.25D14-16XP07	0,100	14	16	24	31,5	38,5	83,5	7	XPNT07...EN	M2,5x7	T7
6.	SCR/L2.25D16-20XP08	0,175	16	20	28	36	44	94	8	XPNT08...EN	M3x7,5 D-9	T9
7.	SCR/L2.25D18-25XP09	0,290	18	25	34	40,5	53,5	109,5	9	XPNT09...EN	M3x7,5 D-9	T9
8.	SCR/L2.25D20-25XP10	0,300	20	25	34	45	55	111	10	XPNT10...EN	S-3509	T15
9.	SCR/L2.25D25-32XP13	0,540	25	32	42	57	69	129	12,5	XPNT13...EN	S-4511	T20
10.	SCR/L2.25D32-40XP17	1,020	32	40	50	72	88	158	16	XPNT17...EN	M4,5x14 A-6	T20

* L1 = 2,25×*D*

Narzędzia SMARTCUT zostaną zaprezentowane na Międzynarodowych Targach Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki TOOLEX w Sosnowcu, w dniach 3–5 października 2017 r. – stoisko PAFANA: A-413.

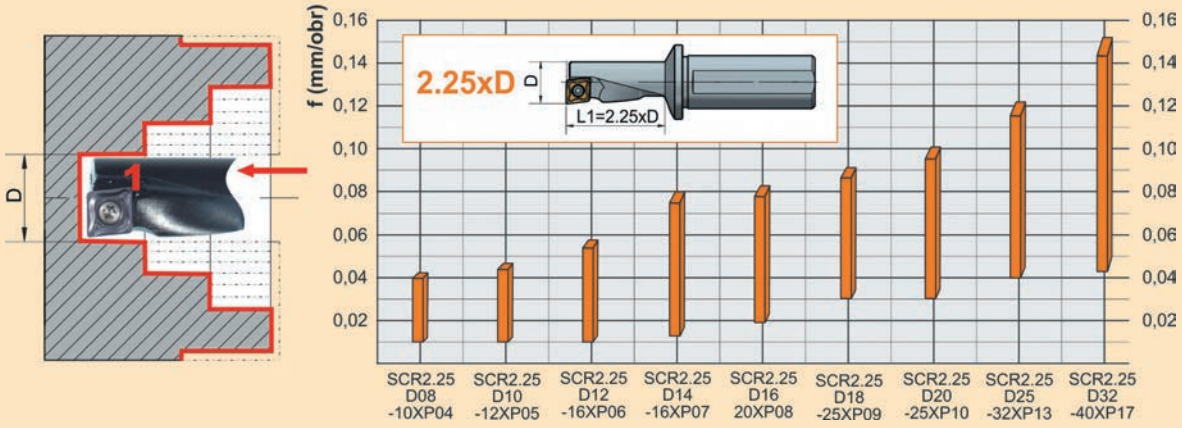
Możliwe jest wykonywanie otworów o średnicy nieznacznie mniejszej lub większej od średnicy nominalnej *D* poprzez wiercenie pozaosiowe.



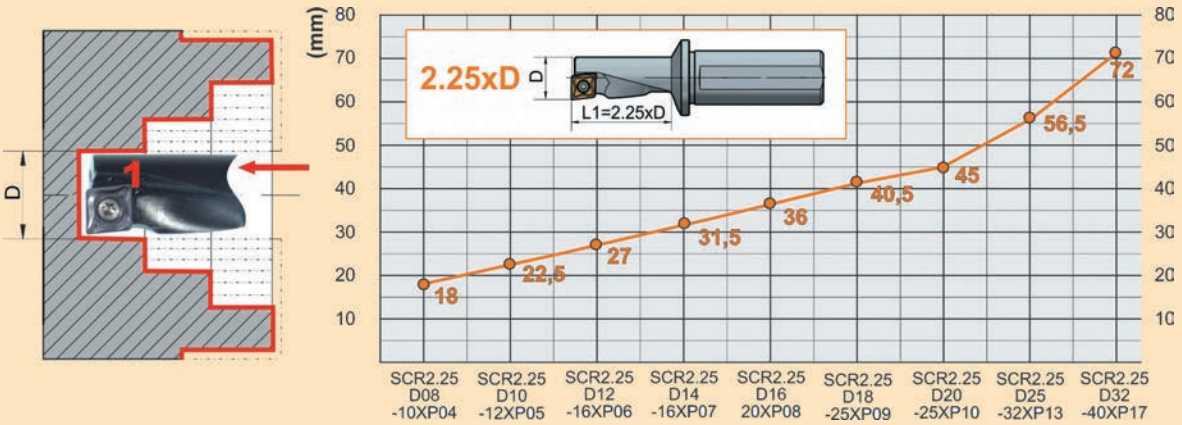
Typ narzędzia	Średnica nominalna	Średnica po obróbce	
	D (mm)	D_{min} (mm)	D_{max} (mm)
1. SCR2.25D08-10XP04	8	7,85	8,30
2. SCR2.25D10-12XP05	10	9,85	10,50
3. SCR2.25D12-16XP06	12	11,85	12,50
4. SCR2.25D14-16XP07	14	13,85	14,50
5. SCR2.25D16-20XP08	16	15,85	16,50
6. SCR2.25D18-25XP09	18	17,85	18,50
7. SCR2.25D20-25XP10	20	19,80	20,50
8. SCR2.25D25-32XP13	25	24,80	25,80
9. SCR2.25D32-40XP17	32	31,80	33

Wiercenie

Wartość posuwu dla wiercenia

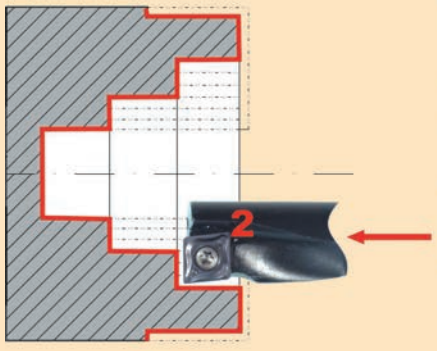


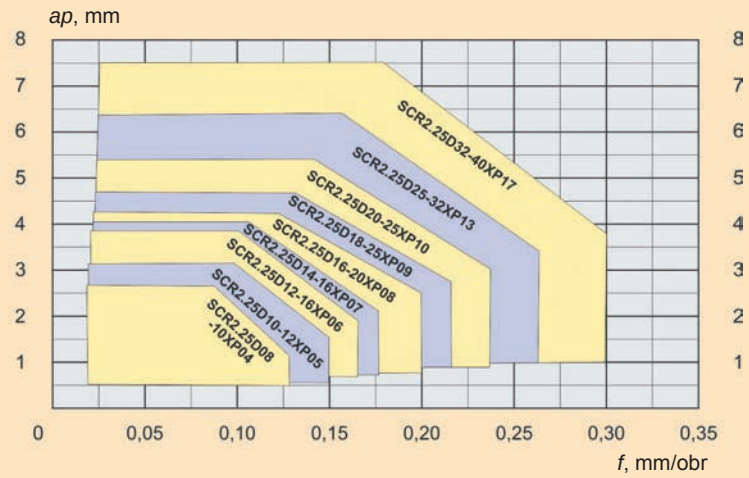
Głębokość wiercenia



Głębokość skrawania na posuw: 2,25 × *D*

Roztaczanie





AWK 2017 – Akwizgrańskie Kolokwium Obrabiarkowe

Pod hasłem „Internet produkcyjny dla sprawnego przedsiębiorstwa" w dniach 18–19 maja br. odbyło się w Akwizgranie 29. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. Jest to największa w Europie konferencja poświęcona problemom wytwarzania. Przedmiotem spotkania, w którym wzięło udział ponad 1000 osób z Niemiec i innych krajów, były zagadnienia informatyzacji procesów wytwarzania, umożliwiającej rozwój wyrobów i aktywne nadzorowanie produkcji seryjnej.

Kolokwium jest organizowane od 65 lat przez Laboratorium Obrabiarek (WZL) Nadreńsko-Westfalskiej Wyższej Szkoły Technicznej (RWTH) oraz Instytut Technologii Produkcyjnych Fraunchofera (IPT). Są to uznane jednostki badawcze ściśle ze sobą współpracujące, znajdujące się pod wspólnym kierownictwem.

70% uczestników tegorocznego kolokwium stanowili przedstawiciele przemysłu, ok. 20% to wystawcy, a 10% – pracownicy wyższych uczelni. Od lat rozszerza się charakter kolokwium, który obejmuje obecnie ogół problemów związanych z wytwarzaniem: od badań i przygotowania produkcji, poprzez jej realizację, serwis, po aspekty ekonomiczne, ocenę rynku i jego potrzeb.

Konferencja miała na celu podsumowanie stanu techniki i znalezienie odpowiedzi na pytanie, jak realizować program Przemysłu 4.0 w obecnych warunkach rynkowych i przy dostępnych możliwościach wytwarzania. Głównym problemem współczesnego wytwarzania jest uzyskiwanie pewnych informacji o procesach i wyrobach w każdym momencie i w każdych warunkach. Umożliwia to precyzyjna i stała analiza danych podczas produkcji. Internet produkcyjny ma pozwolić na systematyczne uczenie się systemu wytwarzania na podstawie uzyskiwanych informacji, co niewątpliwie będzie dawać przedsiębiorstwom dodatkowe możliwości szybkiej i efektywnej adaptacji do potrzeb współczesnego rynku.

Na kolokwium przedstawiono sześć referatów plenarnych oraz tuzin referatów sesyjnych. Tematy sesji ujmowały najważniejsze pytania stojące dzisiaj przed przedsiębiorstwami:

- Sprawny rozwój wyrobu,
- Uczące się systemy produkcyjne,
- Połączona w sieć i adaptująca się produkcja,
- Nauka w praktyce produkcyjnej.

Prelegenci z różnych obszarów produkcji wspólnie z naukowcami z WZL oraz IPT prezentowali wyniki badań i rozwiązania przemysłowe w zakresie rozwoju produktu i produkcji, strategii dla przedsiębiorstw oraz doświadczeń związanych z wprowadzaniem nowych koncepcji.

Dr S. Hartung w referacie „Sprawne przedsiębiorstwo" na podstawie doświadczeń firmy Robert Bosch przedstawił kluczowe elementy transformacji firmy w sprawne przedsiębiorstwo. Zwrócił uwagę na współpracę, finansowanie i wykorzystanie pomysłów start-upów.



Dr J.M. Mrosik z firmy Siemens AG w referacie „Cyfrowe przedsiębiorstwo dla dyskretnego przemysłu" omówił wirtualny system umożliwiający symulację wszystkich etapów wytwarzania, a więc integrację istniejących rozwiązań w ramach PLM (*product lifecycle management*), MOM (*manufacturing operations management*) i TIA (*totally integrated automation*) w jedną platformę. Umożliwia to bezkolizyjny przepływ danych pomiędzy kolejnymi etapami tworzenia wartości dodanej produktu, a także – w razie konieczności – powrót do wcześniejszych etapów.

Prof. S. Jeschke, dyrektor Laboratorium Cybernetycznego i Uniwersyteckiego Centrum Obliczeniowego w RWTH w referacie „Sztuczna inteligencja w Internecie produkcyjnym" przedstawiła możliwości wykorzystania AI (sztucznej inteligencji) w rozwoju procesów wytwarzania. Omówiła różne systemy nauczania: podstawowe nadzorowane i nienadzorowane, procesy uczenia metodą prób i błędów oraz zaawansowane systemy pozwalające na objęcie w całość zindywidualizowanych procesów.

Prof. C. Eckert, dyrektor Instytutu Stosowanego i Zintegrowanego Bezpieczeństwa (AISEC) omówił bezpieczeństwo rozwiązań Przemysłu 4.0. Przeanalizował ryzyko związane ze stosowaniem Internetu i technik cyfrowych oraz sposoby zapobiegania atakom hakerskim.

Innowacyjność gospodarki jako motor jej wzrostu była przedmiotem wystąpienia prof. C.M. Schmidta z Instytutu Leibniza ds. Badania Gospodarki w Essen. Mówił on o powolnym spadku produkcyjności wskutek niewłaściwej polityki gospodarczej państwa. Sporo uwagi poświęcił wyzwaniom przyszłości z podkreśleniem roli państwa w zapewnieniu stałej innowacyjności gospodarki.

Referat prof. A.-K. Achleitner z Uniwersytetu Technicznego w Monachium dotyczył wykorzystania doświadczeń organizacyjnych do rozwoju sprawnego przedsiębiorstwa. Silne i stałe struktury organizacyjne muszą być zastąpione nowymi, sprawnymi formami. Należy efektywnie wykorzystywać istniejące procesy i produkty, ale jednocześnie wdrażać innowacje, zdobywać nowe rynki i wykorzystywać osiągnięcia wiedzy.

Uczestnicy konferencji mogli się zapoznać z ponad 130 stanowiskami badawczymi w WZL oraz IPT, wziąć udział w otwarciu obiektów klastra „Techniki Produkcyjne", a w jego ramach w 11 *break-out sessions* dotyczących m.in. samochodów elektrycznych, sprawnego nisko kosztowego montażu i logistyki przyszłości.

Autor składa serdeczne podziękowanie prof. F. Klocke z WZL w Akwizgranie za udostępnienie materiałów konferencyjnych i informacyjnych oraz za wyrażenie zgody na ich opublikowanie.

Dr hab. inż. Edmund Weiss prof. nadzw., PWSZ w Kaliszu

LITERATURA

"AWK'2017, Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. Internet of Production für agile Unternehmen". Aachen: Apprimus Verlag, 2017.

REKLAMA

Maintenance

8. Międzynarodowe Targi Utrzymania Ruchu, Planowania i Optymalizacji Produkcji

18-19.10.2017
EXPO Kraków

Miejsce:
EXPO KRAKOW

Organizator:
Targi w Krakowie

www.mtc.krakow.pl



targom towarzyszy konferencja

JESIENNA SZKOŁA UTRZYMANIA RUCHU

REKLAMA



SCHUNK®
Superior Clamping and Gripping

300% dłuższa żywotność narzędzia*

Wysokowydajny program do ciężkiej obróbki. Sprawdzona od 1978 r.
TENDO – oryginalna hydrauliczna oprawka narzędziowa SCHUNK. Łatwa obsługa i wymiana narzędzi w ciągu kilku sekund.



Moment obrotowy do **2 000 Nm**
TENDO E compact
Najwydajniejsza dla początkujących

* Na podstawie badań przeprowadzonych w Instytucie Inżynierii Produkcji w Karlsruhe Institute of Technology (KIT).



Jens Lehmann, legendarny bramkarz niemiecki, od 2012 r. ambasador marki SCHUNK, reprezentuje bezpieczne i precyzyjne chwytanie i trzymanie.

TOOLEX Sosnowiec, 03–05 października 2017 r.
Zapraszamy na stoisko 215 w hali A

Oprawki narzędziowe firmy SCHUNK – optymalizacja mocowania narzędzi

Oprawka narzędziowa spełnia w obróbce skrawaniem bardzo ważną rolę, a mianowicie stanowi połączenie między narzędziem i maszyną. Podczas dokonywania wyboru elementu mocującego, który byłby najlepszy do konkretnego zastosowania, należy uwzględnić: dokładność wymiaru, jakość powierzchni, czasy przestojów, zużycie narzędzi, a także oczekiwaną jakość obrabianej części i koszty.

W każdym procesie inne są wymagania dotyczące mocowania narzędzi i nie ma na rynku jednego, uniwersalnego systemu, który sprawdzałby się w każdym przypadku. Dlatego firma SCHUNK stworzyła kompleksowy program różnych systemów mocowania do całego spektrum zastosowań. Spośród tych innowacyjnych i precyzyjnych rozwiązań klienci zawsze mogą dobrać system idealny do danego zadania obróbki skrawaniem. Dalej podano najważniejsze kryteria wyboru optymalnej oprawki.

Małe bicie promieniowe = dokładność wymiarów obrabianych przedmiotów

Oferowane przez firmę SCHUNK nowoczesne systemy precyzyjnych oprawek narzędziowych – jak np. oprawka TENDO – oraz technika mocowania poligonalnego TRIBOS charakteryzują się (podobnie jak oprawki termokurczliwe i precyzyjne tuleje zaciskowe) bardzo dużą dokładnością obrotową. Podczas gdy tanie oprawki tulejkowe wykazują większe bicie promieniowe, oprawki precyzyjne umożliwiają dokladną obróbkę przedmiotów i zapewniają ich idealne wymiary. Przeprowadzone próby potwierdziły, że pod wpływem działania temperatury oprawki termokurczliwe z czasem tracą wysoką dokładność obrotową, natomiast hydrauliczne oprawki narzędziowe TENDO, zapewniające mocowanie za pomocą ciśnienia oleju, a także oprawki poligonalne TRIBOS zachowują bicie promieniowe <0,003 mm nawet po wielokrotnej wymianie narzędzi.



Oprawka TENDO



Oprawka TRIBOS

Tłumienie drgań = ochrona narzędzi i gwarancja uzyskania gładkiej powierzchni

Poszczególne oprawki narzędziowe różnią się pod względem tłumienia drgań. W przypadku oprawek termokurczliwych narzędzie i oprawka stanowią całość niewykazującą żadnego tłumienia drgań. Z kolei oprawki TRIBOS-R, które mają komorową budowę i są wyposażone w tłumiące wkładki umieszczone w komorach wokół otworu mocującego, zapewniają spokojną i równą obróbkę. Podobne właściwości wykazują hydrauliczne oprawki narzędziowe TENDO. Nie ma wątpliwości, że zastosowanie mocowania z technologią tłumiącą drgania jest opłacalne. Dzięki redukcji drgań znacznie polepsza się praca narzędzia – m.in. zmniejsza się jego zużycie, co wpływa na wydłużenie żywotności nawet o 47%. Oprawki narzędziowe z tłumieniem drgań wydłużają też żywotność wrzeciona i chronią je przed uszkodzeniem.



Oprawka TRIBOS-R

Duża siła dzięki wysokiej sztywności promieniowej = stabilność parametrów obróbki

Podczas obróbki skrawaniem na oprawkę narzędziową działają duże siły promieniowe. Technika termokurczliwa CELSIO i poligonalna oprawka TRIBOS-R firmy SCHUNK mają bardzo dobrą sztywność promieniową i utrzymują parametry obróbki na wymaganym poziomie nawet podczas bardzo trudnych zadań.

Szybka wymiana narzędzia = krótsze przestoje maszyny

Dla użytkownika maszyny bardzo ważny jest czas jej przezbrajania. Uniwersalne oprawki hydrauliczne TENDO można mocować bez dodatkowych przyrządów. Wystarczy zwyczajny klucz sześciokątny lub hakowy, aby w ciągu pół minuty wymienić narzędzie. Nieco bardziej pracochłonna, lecz mimo to dość szybka, jest wymiana narzędzia w oprawce poligonalnej TRIBOS. Najdłuższy jest czas przezbrajania oprawek termokurczliwych – łącznie z czasem ochłodzenia nagrzanej oprawki wynosi do 10 min.

Możliwość obróbki elementów o skomplikowanych kształtach i małych gabarytach

Im części obrabiane są mniejsze i im bardziej skomplikowane mają kształty, tym większą rolę odgrywają wielkość i rodzaj systemu mocowania narzędzi. Oprawka poligonalna TRIBOS-S i oprawka hydrauliczna TENDO LSS szczególnie nadają się do zadań wykonywanych na bardzo ograniczonej przestrzeni. Obie oprawki sprawdzają się w obróbce HSC, przebiegającej z wysoką prędkością obrotową. Bardzo wąska przedłużka TRIBOS-SVL w połączeniu z różnymi oprawkami umożliwia natomiast dotarcie do najtrudniej dostępnych obszarów w obrabianych przedmiotach. Dodatkowo dzięki małemu biciu promieniowemu (<0,003 mm) przedłużka ta w wielu przypadkach eliminuje konieczność zastosowania drogich narzędzi specjalnych.



Oprawka TRIBOS mini



Przedłużka TRIBOS

Cena – tani produkt nie zawsze przynosi oszczędności

Firma SCHUNK, należąca do czołówki producentów techniki mocowań, przeprowadziła test wytrzymałościowy różnego rodzaju oprawek narzędziowych. Test dowiódł, że rodzaj oprawki ma znaczący wpływ na żywotność narzędzi i obciążenie wrzeciona maszyny. Ponadto wykazał, że choć koszt zakupu oprawki termokurczliwej jest niższy, to jednak oprawka hydrauliczna TENDO zapewnia znacznie niższe koszty obróbki po 19 h pracy. Różnica kosztów obróbki, trwającej 100 h, prowadzonej z użyciem najtańszego i najdroższego testowanego systemu mocowania wyniosła aż 771 euro.

Wsparcie ze strony producenta

Aby wybrać optymalny system mocowania, trzeba uwzględnić wiele czynników, w tym zadania obróbki skrawaniem. Firma SCHUNK oferuje pomoc doradców technicznych w doborze oprawek narzędziowych. Dzięki temu ich przyszły użytkownik będzie mógł przygotować proces produkcji zoptymalizowany pod względem kosztów i oczekiwanej jakości. W ramach programu TOTAL TOOLING firma SCHUNK oferuje swoim klientom możliwość bezpłatnego przetestowania produktów, aby mieli oni pewność, że wybierają narzędzie najbardziej odpowiednie do konkretnych zadań.

W celu dokonania wstępnego wyboru systemu mocowania narzędzi zapraszamy na naszą stronę internetową www.pl.schunk.com, gdzie znajdą Państwo obszerne informacje o oferowanych przez nas produktach.

SCHUNK Intec Sp. z o.o.
ul. Puławska 40A
05-500 Piaseczno
tel. 22 726 25 00 • faks 22 726 25 25
info@pl.schunk.com • www.pl.schunk.com
SCHUNK

YG-1 Poland

CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE

► Centrum R&D w Chungju jest wyposażone w najnowocześniejsze maszyny i urządzenia do projektowania, produkowania i testowania narzędzi.

► Celem nadrzędnym tego centrum jest unowocześnianie i tworzenie innowacyjnych technologii projektowania i produkcji narzędzi YG-1.



Rozwijamy innowacyjność w narzędziach skrawających YG-1:

- **tworząc nowe narzędzia**
- **tworząc nowe i ulepszając stosowane dotychczas geometrie narzędzi**
- **ulepszając wytwarzane produkty**
- **stosując nowe materiały na narzędzia**
- **stosując nowe powłoki**





NARZĘDZIA Z WYMIENNYMI PŁYTKAMI

YG-1 UNIVERSAL LINE



Firma YG-1 z dumą przedstawia Państwu nową linię produktów Universal Line o unikalnym asortymencie narzędzi z mikroziarnistego węglika o różnorodnej geometrii, z powłokami PVD i CVD, o uniwersalnym zastosowaniu, zaprojektowanych, by wspierać proces frezowania, wiercenia i toczenia wielu typów materiałów na potrzeby wszystkich obszarów przemysłu.

Universal Line jest specjalnie stworzona dla klientów, którzy pracują z szerokim zakresem produktów i materiałów, zarówno do produkcji mało-, jak i wielkoseryjnej. YG-1 Universal Line łączy unikalną różnorodność geometrii i rodzajów węglików, by zaproponować optymalne parametry obróbki, które korzystnie wpłyną na obniżenie kosztów produkcji.

FREZOWANIE

WIERCENIE

TOCZENIE

Zapytania prosimy kierować do naszych doradców techniczno-handlowych oraz do dystrybutorów.

ZMIANA ADRESU: YG-1 Poland Sp. z o.o., ul. Gogolińska 29, 02-872 Warszawa

e-mail: info@yg-1.pl
tel.: +48 22 622 25 87 ♦ faks: +48 22 622 25 86
www.yg-1.pl

REKLAMA

staleo.pl
portal branży metalowej

Przeliczniki
Ogłoszenia
Video
Firmy
Newsletter

PROBLEMY Z OBRÓBKĄ CNC?
WEŹ UDZIAŁ W BEZPŁATNYCH WARSZTATACH TECHNOLOGICZNYCH ABPLANALP LUB ODWIEDŹ NAS PODCZAS DYŻURÓW CNC.

Siła INTERNETU

REKLAMA

narzedziownia.org
Portal branży narzędziowej

Baza firm
Katalog produktów
Wiadomości
Księgarnia
Reklama

Zostaw nam swoją ofertę
Daj się znaleźć...

Skontaktuj się z nami:
www.narzedziownia.org
e-mail: redakcja@narzedziownia.org
85-766 Bydgoszcz, ul. Fordońska 393
tel. 52 343 73 35, fax 52 561 02 37

VERTICA.PL
Technologie internetowe

REKLAMA

WWW.INDUSTRYWEEK.PL

WARSAW INDUSTRY WEEK

14-16 LISTOPADA 2017

II EDYCJA
MIĘDZYNARODOWYCH
TARGÓW INNOWACYJNYCH
ROZWIĄZAŃ PRZEMYSŁOWYCH

PTAK WARSAW EXPO
MIĘDZYNARODOWE CENTRUM TARGOWO - KONGRESOWE

organizator

NOWE STREFY

STREFA MASZYN I NARZĘDZI
STREFA SPAWALNICTWA
STREFA LAKIERNICTWA
STREFA HYDRAULIKI & PNEUMATYKI
STREFA AUTOMATYKI I ROBOTYKI
STREFA LUTOWANIA PRZEMYSŁOWEGO
STREFA LASERY 4.0
STREFA DRUKU 3D
STREFA INŻYNIER 4.0
PAWILON POLSKICH INSTYTUTÓW
PRZEMYSŁOWY INTERNET RZECZY
STREFA BIZNESU

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI:

PIOTR SOKOŁOWSKI
MENADŻER PROJEKTU
TEL. | +48 513 031 742
MAIL | p.sokolowski@warsawexpo.eu

PAULINA SAWICKA
SPECJALISTA DS. ORGANIZACJI
TEL. | +48 507 664 777
MAIL | p.sawicka@warsawexpo.eu

Dwustronne płytki okrągłe – nowa jakość i wydajność w asortymencie frezów firmy Seco

Firma Seco Tools zaprezentowała frezy z rodziny R217/220.28 o całkowicie nowym kształcie korpusu. Zastosowano w nich dwustronne płytki okrągłe, by zwiększyć produktywność i wydajność przy zachowaniu niskich kosztów. Nowy gatunek płytek stanowi uzupełnienie asortymentu R217/220.29I.

Podwójne negatywne gniazda we frezach z rodziny R217/220.28 zapewniają więcej miejsca na zastosowanie dodatkowej płytki na średnicy frezu, a to z kolei oznacza zwiększenie możliwości i wydajności w porównaniu z głowicami z rodziny R217/220.29I. Gniazda te umożliwiają również bezpieczne i łatwe indeksowanie, co pozwala oszczędzać czas i zapewnia bezproblemową eksploatację narzędzia.

Frezy R217/220.28 są przeznaczone do planowania, rowkowania i konturowania w materiałach z grupy ISO M i ISO S, a także w niektórych trudnych w obróbce materiałach z grupy ISO P, takich jak martenzytyczne stale nierdzewne. Znakomicie sprawdzają się w obróbce po stałej osi *Z* oraz idealnie nadają się do kształtowania łopatek do turbin dla przemysłu lotniczego i energetycznego.

Asortyment R217/220.28 obejmuje korpusy o średnicach w zakresie Ø32÷80 mm oraz gatunki płytek z powłoką PVD lub CVD. Są one dostępne w dwóch geometriach, w wersji z normalną i gęstą podziałką i wielkością płytki 12.

Więcej informacji na temat serii R217/220.28 można uzyskać u lokalnego przedstawiciela firmy Seco lub na stronie internetowej: www.secotools.com.



Frezy na dwustronne płytki okrągłe R217/220.28

* * *

Siedziba firmy Seco znajduje się w miejscowości Fagersta w Szwecji, ale zasięg firmy obejmuje 45 krajów, co sprawia, że jest to jeden z największych dostawców kompleksowych rozwiązań z zakresu skrawania metali: frezowania, toczenia, wiercenia otworów i gwintowania. Od ponad 80 lat firma Seco współpracuje z producentami ze wszystkich branż i opracowuje narzędzia, procesy oraz usługi niezbędne do maksymalizacji produktywności i dochodowości.

Seco Tools (Poland) Sp. z o.o.
ul. Naukowa 1, 02-463 Warszawa
tel. +48 22 637 53 83, 637 53 85, 637 53 86
faks +48 22 637 53 84
seco.pl@secotools.com ■ www.secotools.com

Wpływ prędkości szlifowania na zużywanie się ściernicy z nasypem z cBN, ze spoiwem nanoszonym galwanicznie

Influence of grinding wheel velocity on the wear of electroplated cBN grinding wheel

ANDRZEJ KAWALEC
ANNA BAZAN
MAREK KROK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.101

Zaprezentowano wyniki badań zmian składowych siły szlifowania oraz wybranych parametrów topografii CPS pod wpływem zużycia czynnej powierzchni ściernic z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, pracujących z różną prędkością obrotową.
SŁOWA KLUCZOWE: zużycie ściernic, ściernice z nasypem z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną

Presented are the results of research on changes of the grinding force components and selected topography parameters of grinding wheel active surface during grinding wheel life. Electroplated cBN grinding wheels working with different rotation speeds were examined.
KEYWORDS: grinding wheel wear, electroplated cBN grinding wheels

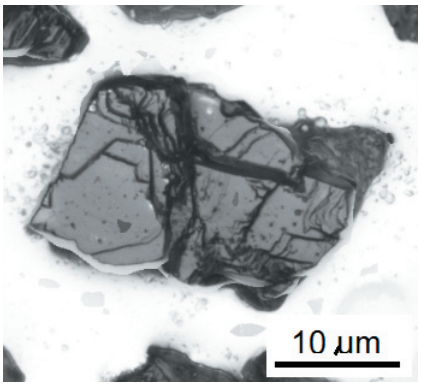
Prędkość szlifowania v_s może wpływać na efekty obróbki w różny sposób. Wzrost wartości v_s podnosi temperaturę w strefie szlifowania, co prowadzi do obniżenia twardości materiału i jego wytrzymałości na ścinanie. Zmniejsza się również zagłębienie ziarna w materiale obrabianym, co z jednej strony przekłada się na mniejsze obciążenie ziaren, ale z drugiej niekorzystnie wpływa na efektywny kąt natarcia i może prowadzić do wzrostu wytrzymałości na ścinanie na skutek umocnienia materiału przy formowaniu wióra [1].

W przypadku ściernic jednowarstwowych z nasypem z cBN częściej obserwuje się sytuację, w której wzrostowi prędkości szlifowania towarzyszy obniżenie wartości siły szlifowania [2–6]. Poza pracą [2] publikacje nie omawiają jednak kwestii zmian zachodzących na czynnej powierzchni ściernicy (CPS) pod wpływem zużycia przy różnej prędkości szlifowania.

W artykule zaprezentowano wyniki badań zmian siły szlifowania oraz topografii CPS pod wpływem zużycia czynnej powierzchni ściernic z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, pracujących z różną prędkością obrotową.

Metodyka badań

Szlifowanie stali wysokostopowej Pyrowear 53 w stanie utwardzonym prowadzono na szlifierce Fortis firmy Michael Deckel, z wykorzystaniem ściernicy jednowarstwowej ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, ze ścierniwem z cBN o numerze ziarna B35. Producent ściernic (firma Shinhan Diamond) określił zastosowane ziarna jako monokrystaliczne, na wpół bryłowate (*semi-blocky*) (rys. 1).



Rys. 1. Monokrystaliczne ziarno cBN typu *semi-blocky* na nowej ściernicy

Ściernica miała kształt stożkowy o maksymalnej średnicy d_s = 100 mm i kącie stożka 140°. Minimalna twardość szlifowanej warstwy wynosiła 81 HRA.

W badaniach użyto trzech ściernic, które pracowały z innym zestawem parametrów nastawnych. W każdym z trzech przypadków prędkość posuwu wynosiła v_w = 4250 mm/min, głębokość szlifowania a_e = 20 µm, natomiast prędkość obrotową n zmieniano i była ona równa: 4000, 6000 oraz 8000 obr/min. Ze względu na dostępną ilość materiału obrabianego każda ze ściernic mogła usunąć jednostką szerokości ściernicy (1 mm) do 2850 mm^3 .

Podczas szlifowania składowe siły szlifowania mierzono za pomocą dynamometru obrotowego Kistler 9123C, połączonego ze wzmacniaczem 5223B i kartą pomiarową NI USB-6009. Rejestrację sygnałów prowadzono w programie LabVIEW Signal Express 2012 z częstotliwością próbkowania 5 kS/s. Do dalszego przetwarzania sygnałów, w tym wyznaczenia wartości siły stycznej (F_t) i normalnej (F_n), wykorzystano środowisko programistyczne Python.

Cel badań zakładał, że pomiary topografii CPS będą prowadzone na różnym etapie zużycia ściernic. Przerywanie procesu szlifowania daną ściernicą, aby zmierzyć jej mikrogeometrię, okazało się jednak za bardzo czasochłonne, dlatego topografię CPS zdecydowano się odwzorowywać za pomocą replik.

Repliki wykonano z wykorzystaniem systemu RepliSet firmy Struers. Materiałem replik była guma silikonowa barwy czarnej, o możliwościach reprodukcji szczegółów powyżej 0,1 µm. Do pomiarów topografii replik odwzorowujących CPS wykorzystano mikroskop InfiniteFocus firmy Alicona oraz obiektyw 20×. Po usunięciu danej objętości materiału mierzono sześć obszarów w każdej ściernicy o wymiarach 2,35 × 2,59 mm. Rozdzielczość pionowa wynosiła 0,1 µm, rozdzielczość pozioma: 5 µm, krok próbkowania: 0,44 µm × 0,44 µm. Analizę danych pomiarowych z wyznaczeniem parametrów topografii powierzchni przeprowadzono w programie SPIP 6.4.2.

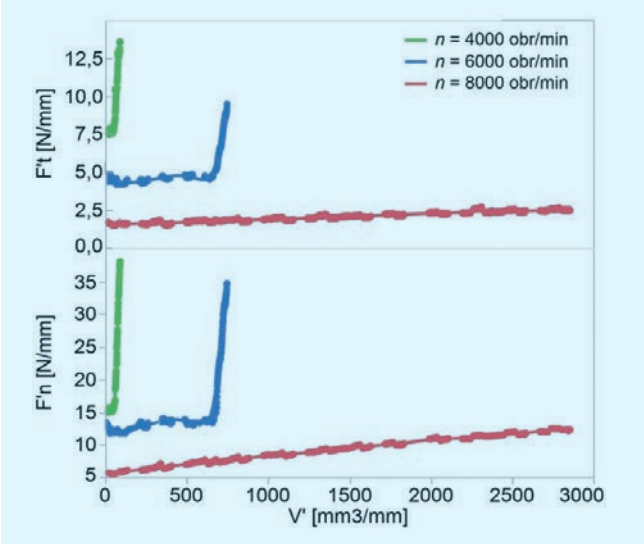
Mikroskop InfiniteFocus posłużył również do wykonania wszystkich zdjęć CPS przedstawionych w artykule.

* Dr hab. inż. Andrzej Kawalec (ak@prz.edu.pl), mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Krok (mkrok@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

Przebieg wartości składowych siły szlifowania

Prędkość szlifowania, która zależy m.in. od prędkości obrotowej ściernicy, miała bardzo istotny wpływ na żywotność ściernicy oraz wartość i przebieg składowych siły szlifowania (rys. 2). Większa prędkość szlifowania była związana z mniejszymi wartościami właściwej siły stycznej (F'_t) i normalnej (F'_n) oraz większą trwałością ściernicy.

W przypadku wszystkich trzech ściernic można zauważyć okres stabilnego zużycia charakteryzujący się w przybliżeniu równomiernym wzrostem wartości składowych siły szlifowania wraz z objętością usuniętego materiału. W badaniu ściernic przy prędkościach obrotowych 4000 obr/min oraz 6000 obr/min zaobserwowano także fazę intensywnego zużycia ściernicy objawiającego się bardzo gwałtownym wzrostem siły szlifowania. W przypadku ściernicy o najmniejszej prędkości szlifowania faza intensywnego zużycia rozpoczęła się po zeszlifowaniu właściwego ubytku materiału V' wynoszącego ok. 58 mm^3/mm. Faza stabilnego zużycia ściernicy o prędkości obrotowej n = 6000 obr/min zakończyła się przy wartości właściwego ubytku materiału ok. V' = 680 mm^3/mm. Ściernica o prędkości obrotowej n = 8000 obr/min zeszlifowała całą założoną objętość materiału V' = 2850 mm^3/mm bez wkroczenia w fazę intensywnego zużycia.

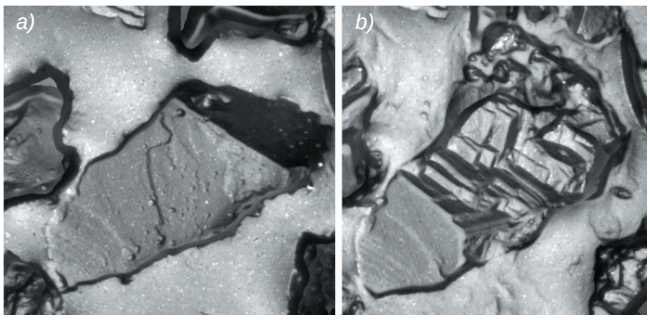


Rys. 2. Przebieg wartości właściwej siły stycznej szlifowania (F'_t) oraz właściwej siły normalnej szlifowania (F'_n) w zależności od właściwego ubytku materiału V'

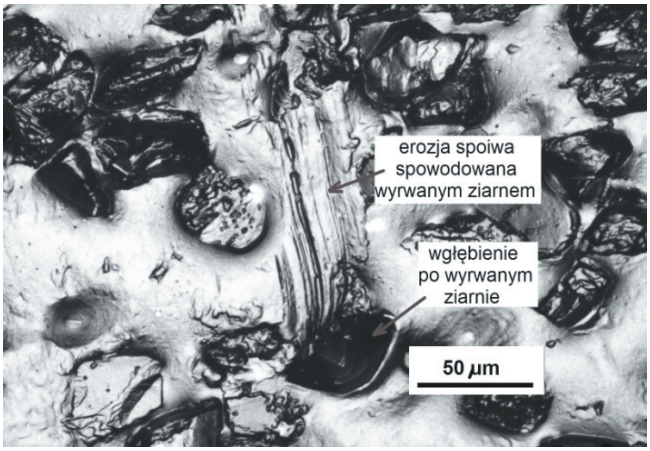
Obserwowane formy zużycia CPS

Bezpośrednia obserwacja mikroskopowa CPS wszystkich ściernic po zakończeniu procesów szlifowania pozwoliła na rozpoznanie następujących form zużycia:

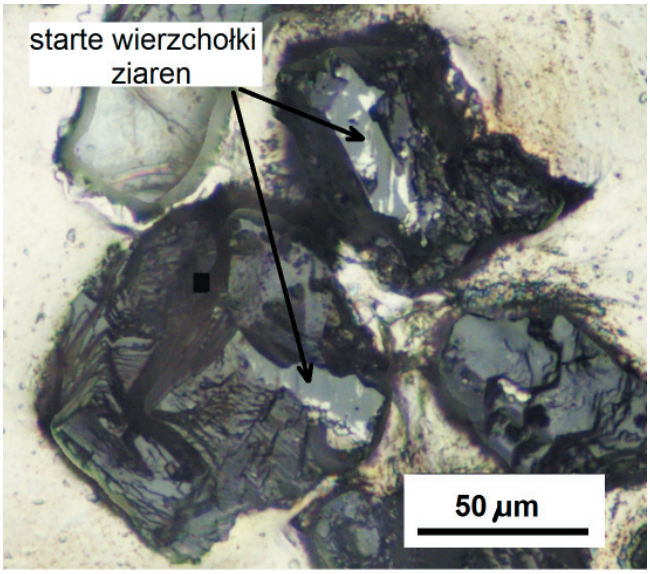
- wykruszania ziaren (rys. 3) – dominująca forma zużycia wszystkich badanych ściernic. Ze względu na nieregularny kształt ziaren nowych oraz zbyt małe powiększenie uzyskiwane za pomocą mikroskopu nie było możliwe zaobserwowanie mikrowykruszeń,
- wyrywania ziaren (rys. 4) – forma zużycia ściernic obserwowana na wszystkich ściernicach; najrzadziej występująca na ściernicy o prędkości obrotowej 8000 obr/min,
- ścierania ziaren (rys. 5) – stosunkowo rzadko obserwowana forma zużycia ziaren na ściernicy o największej prędkości obrotowej,
- zalepiania CPS (rys. 6) – występującego na wszystkich badanych ściernicach.



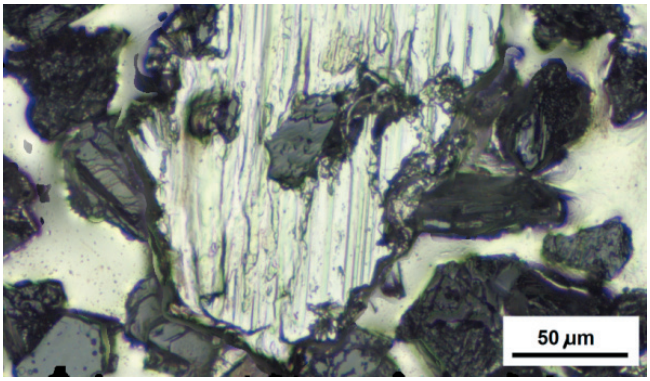
Rys. 3. Przykład wykruszenia ziarna: *a*) ziarno nowe, *b*) ziarno z makrowykruszeniami



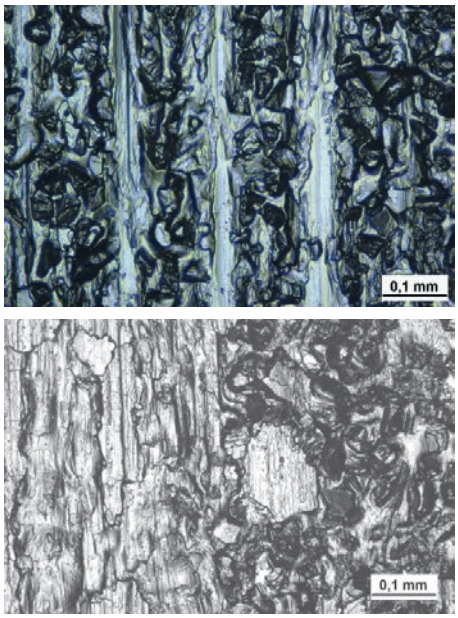
Rys. 4. Przykład wyrwania ziarna



Rys. 5. Przykład starcia ziaren cBN



Rys. 6. Zalepienie na czynnej powierzchni ściernicy



Rys. 7. Zdzieranie ściernika: *a*) początkowa faza z wąskimi pasami zdartego ściernika, *b*) rozległy ubytek ściernika (po lewej)

W przypadku ściernicy o najmniejszej prędkości obrotowej testy prowadzono na tyle długo, że pojawiły się pasma z całkowicie usuniętym ścierniwem, rozłożone równolegle do wektora prędkości szlifowania (rys. 7).

Zmiana parametrów topografii CPS wraz ze zużyciem

Do analizy topografii CPS wybrano parametry, które w innych badaniach poświęconych ściernicom z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną wykazały największą zdolność klasyfikacyjną między ścierniczą nową a zużytą oraz największą „czułość" na zużycie, tj.: *Vmp*, *Sbi*, *Sci* oraz *Ssk* [7]. Na rys. 8 przedstawiono przebieg wartości tych parametrów w zależności od objętości usuniętego materiału. Każdy punkt pomiarowy na wykresie powstał po uśrednieniu wartości wyznaczanego parametru dla sześciu powierzchni na określonej ściernicy.

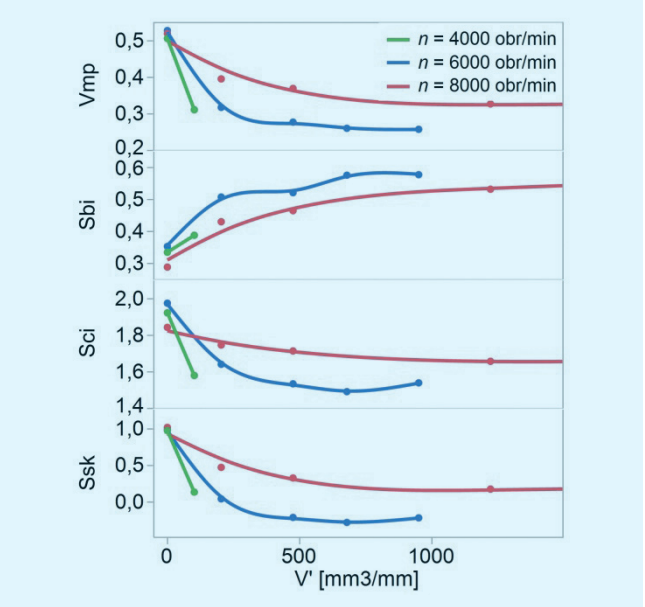
Dla wszystkich ściernic wraz z objętością usuniętego materiału wartości parametrów *Vmp*, *Sci* oraz *Ssk* spadają. W przypadku ściernic pracujących z prędkościami obrotowymi 6000 i 8000 obr/min widoczne jest, że intensywność zmian wartości parametrów jest większa w początkowej fazie testów. Dla ściernicy z $n = 4000$ obr/min nie można zweryfikować tej obserwacji ze względu na zbyt małą liczbę zbadanych stanów CPS ze względu na jej bardzo szybkie zużycie. Można jednak ustalić, że mniejsza prędkość szlifowania jest związana z większą intensywnością spadku wartości omawianych parametrów.

Parametr *Vmp* informuje o objętości najwyższych wzniesień. Jego zmniejszenie może być spowodowane wyrywaniem najwyższych ziaren, wykruszaniem wierzchołków ziaren lub ich ścieraniem.

Wskaźnik zatrzymania cieczy przez rdzeń *Sci* jest związany z objętością pustek w strefie rdzenia oraz średnią kwadratową nierównością powierzchni. Jego zmniejszenie wynika prawdopodobnie z występowania zalepień, a przede wszystkim ze zmniejszenia wysokości strefy rdzenia spowodowanego wykruszaniem lub ścieraniem ziaren.

Wartość parametru *Ssk* (wskaźnika asymetrii powierzchni) wskazuje na dominowanie wzniesień ($Ssk > 0$) lub wgłębień ($Ssk < 0$) na powierzchni. Zmniejszenie tego parametru sugeruje, że na ściernicy dominują procesy związane z ubywaniem materiału ścierniwa.

Wartość parametru *Sbi* rosła wraz z objętością usuniętego materiału. Może to być związane tak z obniżaniem najwyższych wzniesień, jak i z ogólnym spłaszczaniem topografii, objawiającym się zmniejszeniem parametru *Sq*. To z kolei wiąże się ze zużywaniem się ściernicy i wyraża w kategoriach parametrów wysokościowych i objętościowych.



Rys. 8. Wartości wybranych parametrów topografii czynnych powierzchni ściernic szlifujących dla różnych prędkości obrotowych *n* w zależności od właściwego ubytku materiału *V'*

Podsumowanie

Prędkość obrotowa ściernicy podczas badań miała znaczący wpływ na wartości składowych siły szlifowania. Różne warunki obciążenia ziaren wpływały na intensywność zużycia.

Zużycie CPS odzwierciedla się w zmianach topografii powierzchni, które można śledzić za pomocą parametrów ilościowych. Dla żadnego z analizowanych parametrów topografii CPS nie można było określić, że ściernice wchodzą w fazę intensywnego zużycia po przekroczeniu jakiejś granicznej wartości tego parametru.

LITERATURA

1. Ghosh S., Paul S., Chattopadhyay A. "Experimental investigations on grindability of bearing steel under high efficiency deep grinding (HEDG)". *International Journal of Abrasive Technology*. 2, 2 (2009): s. 154÷172.
2. Shi Z. "*Grinding with electroplated cubic boron nitride (CBN) wheels*". Praca doktorska. Amherst: University of Massachusetts, 2004.
3. Ding W. i in. "Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels". *Journal of Aeronautics*. 23, 4 (2010): s. 501÷510.
4. Pal A. i in. "Performance study of brazed type cBN grinding wheel on hardened bearing steel and high speed steel". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. 13, 5 (2012): s. 649÷654.
5. Ichida Y. i in. "Formation mechanism of finished surface in ultrahigh-speed grinding with cubic boron nitride (cBN) wheels". *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*. 49, 1 (2006): s. 100÷105.
6. Burrows J. i in. "Grinding of Inconel 718 and Udimet 720 using superabrasive grinding points mounted on a high speed machining centre". *Proceedings of the 33rd International MATADOR Conference: Formerly The International Machine Tool Desisgn and Research Conference* (2000).
7. Kawalec A., Bazan A., Krok M., Chmielik I. „Porównanie wyników badań stykowych dotyczących parametrów topografii CPS ściernic z CBN zmieniających się wraz z jej zużyciem". *XXXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Mechanik*. 87, 8–9 (2015): CD s. 190÷193. ■

INMET®

ROEMHELD
HILMA ▪ STARK

KOMPONENTY I SYSTEMY MOCUJĄCE - SUKCES W OBRÓBCE!

Siłowniki uniwersalne | Siłowniki ukierunkowane | Siłowniki podporowe
Dociski skrętne | Dociski dźwigniowe | Dociski kompaktowe | Siłowniki centrujące
Siłowniki adaptacyjne | Zasilacze hydrauliczne | Akcesoria przyłączeniowe
Imadła precyzyjne | Systemy mocujące z punktem zerowym | Technika magnetyczna





Doradztwo techniczne i dystrybucja w Polsce:
INMET-BTH®
43-190 Mikołów, ul. Jasna 1-5
☎ +48 32 738 49 49 | +48 32 793 93 70 | +48 32 793 93 46
🖷 +48 32 726 18 70 | 🌍 www.inmetbth.pl | @ biuro@inmetbth.pl

Zapraszamy na nasze
stoisko **A 225**
na targach Toolex!

Nominacje profesorskie – Czesław Kundera

Obszary działalności profesora dr hab. inż. Czesława Kundery dr h.c. obejmują technologię, konstrukcję elementów maszyn, tribologię oraz modelowanie i dynamikę układów fizycznych. W ostatnich latach zajmował się dynamiką układu hydrodynamicznego oraz technologiami zaawansowanymi, a zwłaszcza szybkim prototypowaniem.

Profesor jest absolwentem Politechniki Świętokrzyskiej. W 1985 r. otrzymał stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie budowy i eksploatacji maszyn, a w 1999 r. – habilitację na Wydziale Inżynierii Materiałowej AGH w Krakowie. Tytuł profesora nauk technicznych nadał mu prezydent w 2015 r.

Po ukończeniu studiów w 1978 r. profesor Kundera był technologiem w Fabryce Łożysk Tocznych w Kielcach. Od 1984 r. pracuje na Politechnice Świętokrzyskiej, a od 1986 r. jest adiunktem w Katedrze Sprzętu Mechanicznego. Od 2001 r. jest zatrudniony na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.

Profesor jest autorem bądź współautorem 139 artykułów naukowych i 50 referatów konferencyjnych. Jest także autorem 4 i współautorem 6 patentów z zakresu konstrukcji uszczelnień i techniki uszczelniania. Wypromował dwóch doktorów nauk technicznych.

Aktywnie współpracuje z uczelniami krajowymi, m.in.: Politechniką Śląską, Politechniką Warszawską i Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie, a także z ośrodkami zagranicznymi, m.in. z Państwowym Uniwersytetem w Sumach na



Ukrainie (w 2014 r. otrzymał tytuł doktora *honoris causa* tego uniwersytetu), VSB Technická Univerzita Ostrava w Czechach i Żylińskim Uniwersytetem na Słowacji. ■

Szkoły obróbki skrawaniem i obróbki ściernej

W bieżącym numerze *Mechanika* rozpoczynamy publikację artykułów prezentowanych na konferencjach „Obróbka Skrawaniem – Badania i Rozwój” oraz „Obróbka Ścierna – Badania i Rozwój”, w dniach 12–14 września 2017 r. w Łańcucie. Znajdą się one w różnych działach miesięcznika – zgodnie z tematyką.

Organizatorem obu konferencji jest Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Odbywają się one pod patronatem Komitetu Budowy Maszyn PAN. Udział w nich biorą ośrodki naukowe z kraju i zagranicy, które prezentują dorobek naukowy i wyniki współpracy z przemysłem. Przedstawiciele przemysłu pokazują przykłady prac wdrożeniowych, a pracownicy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju omawiają możliwości pozyskania środków UE na realizację projektów naukowo-badawczych i rozwojowych nauka–przemysł. Są to więc fora służące rozwojowi technologii obróbki skrawaniem i obróbki ściernej.

Obróbka skrawaniem jest nadal podstawową techniką wytwarzania w budowie maszyn i według prognoz jej udział w przyszłości jeszcze wzrośnie. Dotyczy to zwłaszcza obróbki wysokowydajnej (HPC) i szybkościowej (HSC). Podstawowymi czynnikami stymulującymi zastosowanie tych metod jest rozwój nowoczesnych maszyn i narzędzi, pozwalających na zwiększenie wydajności obróbki, co umożliwia wykonywanie gotowego wyrobu z pełnego materiału.

Obie metody są coraz powszechniej stosowane, zwłaszcza do obróbki tzw. materiałów trudnoskrawalnych, do których zaliczane są wysoko wytrzymałe stopy lotnicze niklu i tytanu oraz materiały kompozytowe. Specjalne materiały kompozytowe znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Towarzyszą temu nowe wymagania dotyczące wydajności i dokładności obróbki oraz jakości powierzchni.

Publikowane artykuły konferencyjne będą dotyczyły m.in.:

- analizy i modelowania procesów skrawania,
- zużycia i trwałości narzędzi skrawających,
- narzędzi, oprzyrządowania i obrabiarek w procesie skrawania,
- technologii obróbki skrawaniem,
- diagnostyki i optymalizacji procesów skrawania,
- metrologii w obróbce skrawaniem,
- technologii warstwy wierzchniej.

Metody obróbki ściernej również ciągle się rozwijają. Naciski na innowacyjne rozwiązania mają źródło w dążeniu do zwiększania produktywności, dokładności i ekonomiczności wytwarzania. Nowe materiały ścierne, konstrukcje narzędzi, obrabiarek i ich części, jak też nowe systemy napędowe i inteligentne układy sterowania stwarzają możliwość realizacji wysoko wydajnych i precyzyjnych procesów.

W rozwoju narzędzi ściernych można zauważyć tendencję do ich stosowania w warunkach wyższej wydajności ubytkowej. Ważną alternatywą są narzędzia zespolone, umożliwiające zarówno szlifowanie zgrubne, jak i wykończeniowe. Zupełnie nowym wyzwaniem badawczym jest obróbka materiałów kompozytowych – obróbka narzędziami z geometrycznie nieokreślonymi ostrzami współzawodniczy tutaj z obróbką narzędziami z geometrycznie określonymi ostrzami.

Publikowane artykuły omawiają:

- analizy i modelowanie procesów obróbki ściernej,
- narzędzia, oprzyrządowanie i obrabiarki w procesie obróbki ściernej,
- zagadnienia technologiczne obróbki ściernej,
- diagnostykę i optymalizację procesów obróbki ściernej,
- technologię warstwy wierzchniej.

Mam nadzieję, że artykuły opracowane przez specjalistów ze środowisk naukowych i przemysłowych wzbogacą czytelników o nową wiedzę z zakresu obróbki skrawaniem i obróbki ściernej.

dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz

kompozyt-expo – co słychać w branży?

Materiały kompozytowe znajdują zastosowanie niemal w każdej dziedzinie życia: budownictwie, motoryzacji, w branży lotniczej, kolejowej, sportowej, spożywczej, a nawet w medycynie. Mają olbrzymi potencjał rozwoju, o czym świadczy rosnąca liczba wystawców z Polski i zagranicy na Międzynarodowych Targach Materiałów, Technologii i Wyrobów Kompozytowych KOMPOZYT-EXPO®.

Liczny udział międzynarodowych firm, a także niezwykłe wydarzenia towarzyszące potwierdzają rangę krakowskich targów kompozytowych w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej. Ósma edycja tradycyjnie obfituje w premiery i nowinki technologiczne.

W tym roku pojawi się strefa Active Zone, gdzie firmy zaprezentują sprzęt sportowy wyprodukowany z użyciem innowacyjnych materiałów kompozytowych oraz w oparciu o nowoczesne technologie.

Kolejny raz podczas targów będzie zorganizowana Strefa Start-up z młodymi, prężnymi firmami, które za jakiś czas będą stanowić o sile polskiej gospodarki.

Jak co roku udział w wystawie będzie okazją do poznania nowoczesnych materiałów – od żywic i włókien poprzez żelkoty i wypełniacze, po półprodukty i produkty kompozytowe oraz maszyny do ich obróbki. To także okazja do spotkania przedstawicieli tej gałęzi przemysłu, zainteresowanych poprawą efektywności energetycznej w swoich zakładach. Wszystko po to, by pokazać, jak szerokie zastosowanie mają kompozyty.

Tegorocznej edycji targów KOMPOZYT-EXPO® będą towarzyszyły 3. Międzynarodowe Targi Izolacji Przemysłowych 4INSULATION oraz 2. Targi Efektywności Energetycznej w Przemyśle EFE.

Zapraszamy branżowych specjalistów na 8. targi KOMPOZYT-EXPO® w Międzynarodowym Centrum Targowo-Kongresowym EXPO Kraków, w dniach 11–12 października 2017 r. Wystarczy zarejestrować się na stronie: **www.kompozyty.krakow.pl**, aby odebrać bezpłatny bilet wstępu.



REKLAMA

rok zał. 1973
FATPOL TOOLS
Producent oprzyrządowania technologicznego
do obrabiarek CNC i automatów tokarskich

FATPOL TOOLS
Oficjalny dystrybutor w Polsce:
SAUTER
Made in Germany
ZENTRA

NOWOŚCI W OFERCIE:
- **Sprzedaż, regeneracja i serwis głowic rewolwerowych SAUTER Feinmechanik GmbH**
- Oprawki napędzane BMT od SAUTER Feinmechanik GmbH
- Wysokiej jakości frezy pełnowęglikowe VHM
- Tuleje zaciskowe DIN6343 SUPERGRIP
- Tuleje podające do podajników: FMB, LNS, TURBO, TRAUB, INDEX
- Tuleje gumowo-stalowe BZI do automatów wielowrzecionowych INDEX oraz SCHUTTE
- Kły tokarskie



Zapraszamy do odwiedzenia naszego stoiska na jesiennych targach:
3 - 5.10 TOOLEX, Sosnowiec - **Pawilon A-318** oraz 14 - 16.11 WARSAW INDUSTRY WEEK, Warszawa - **Stoisko 77B**

POSTAW NA JAKOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ!



FATPOL TOOLS
ul. Powstania Wielkopolskiego 1
88-320 Strzelno

Tel.: +48(52) 318 94 07
Fax: +38(52) 318 38 46
E-mail: handel@fatpol.pl

www.fatpol.pl

EMO Hannover 18-23·9·2017

Światowy rynek obrabiarek

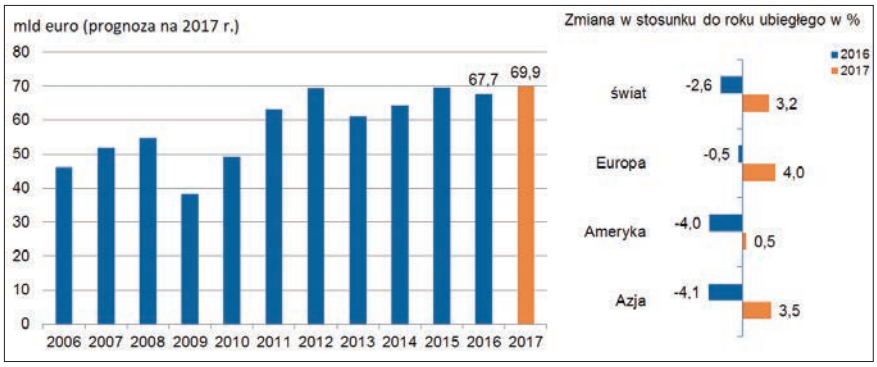
Międzynarodowe targi obróbki metali EMO Hannover 2017 odbędą się pod hasłem „Connecting systems for intelligent production" w dniach 18–23 września. Podczas ostatnich targów w Hanowerze, cztery lata temu, swoje produkty i rozwiązania prezentowało ponad 1900 wystawców z Europy, Ameryki i Azji. W tym roku zgłosiło się już ponad 2000 firm z 44 krajów. Ma to związek z rosnącym zapotrzebowaniem na obrabiarki.

Według VDW (Stowarzyszenia Niemieckich Producentów Obrabiarek) w ubiegłym roku światowy rynek obrabiarek kształtował się na poziomie 67,7 mld euro, co oznacza spadek o 2,6 punktów procentowych w stosunku do 2015 r. Firma Oxford Economics – zajmująca się badaniami gospodarki – prognozuje, że w tym roku wzrośnie produkcja przemysłowa, a zapotrzebowanie na obrabiarki osiągnie poziom 69,9 mld euro. Największy wzrost (o 4%) przewidywany jest w Europie, gdzie koniunkturę napędzają Włochy, Hiszpania i Francja.

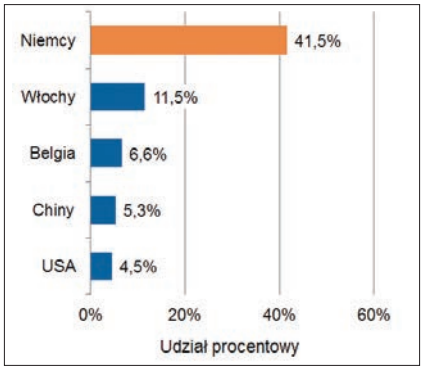
Dla Polski wzrost gospodarczy w 2017 r. – prognozowany przez Oxford Economics – wynosi 3,1%. Inwestycje pozostaną natomiast na dosyć słabym poziomie, co wpłynie również na krajowy rynek obrabiarek. Polski rząd uruchomił programy branżowe, które przede wszystkim mają wspierać innowacje i modernizacje w przemyśle stalowym i samochodowym. Przewiduje się, że spośród ośmiu najważniejszych dla polskiej gospodarki branż to właśnie producenci wyrobów metalowych oraz mechaniki precyzyjnej i optyki poczynią ponadprzeciętne inwestycje.

Jak wynika z danych VDW, Polska pokrywa niemal całe swoje zapotrzebowanie na obrabiarki produktami importowanymi. W 2016 r. były to maszyny o wartości 615 mln euro. Najważniejszymi dostawcami obrabiarek są: Niemcy (42%), Włochy, Belgia, Chiny i USA. W ubiegłym roku Niemcy wyeksportowały do Polski maszyny wraz z częściami i osprzętem o wartości ok. 415 mln euro. Największym powodzeniem cieszyły się centra obróbkowe, części i osprzęt, a także tokarki i maszyny laserowe.

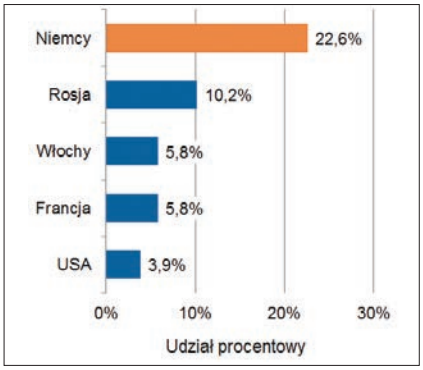
Niemieccy producenci obrabiarek mają w Polsce silną pozycję i cieszą się bardzo dobra opinią, gdy chodzi o specjalne rozwiązania w produkcji samochodowej, budowie maszyn oraz przemyśle elektronicznym – wyjaśnia dr Wilfried Schäfer, ekspert z VDW. *Pragniemy zachęcić przede wszystkim małych i średniej wielkości przedsiębiorców – użytkowników obrabiarek z Polski – aby skorzystali z oferty informacyjnej EMO Hannover i przekonali się, co jeszcze ma do zaoferowania światowa branża obróbki metali* – dodaje.



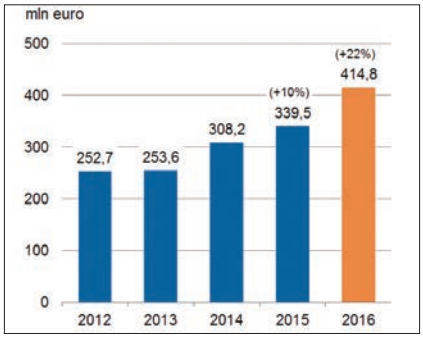
Światowy rynek obrabiarek (źródło: VDW – dane do 2016 r.; Oxford Economics, Global Machine-Tool Outlook – prognoza na 2017 r.)



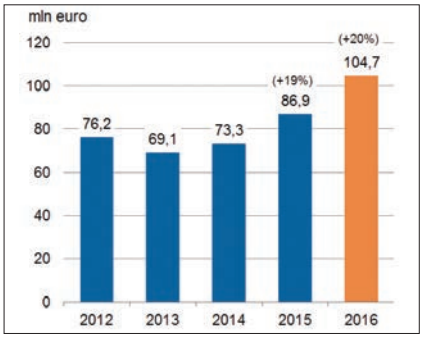
Import obrabiarek (wraz z częściami/osprzętem) przez Polskę w 2016 r. – najważniejsi dostawcy (źródło: EMO Hannover)



Polski eksport obrabiarek w 2016 r. – najważniejsi odbiorcy (źródło: EMO Hannover)



Niemiecki eksport obrabiarek do Polski (źródło: międzynarodowe źródła statystyki handlu zagranicznego, VDW, EMO Hannover)



Niemiecki import obrabiarek (wraz z częściami/osprzętem) z Polski (źródło: międzynarodowe źródła statystyki handlu zagranicznego, VDW, EMO Hannover)

Polscy wytwórcy powinni wziąć na celownik międzynarodowe rynki, ponieważ są na nich konkurencyjni. W 2016 r. Polska z obrotami rzędu 241 mln euro zajmowała 20. miejsce w rankingu największych producentów obrabiarek. Nasz kraj eksportuje prawie całą swoją produkcję i zajmuje 19. miejsce wśród czołowych eksporterów. W ostatnim czasie polski eksport wzrósł o 14%. Najważniejszymi dla naszego kraju rynkami zbytu są: Niemcy, Rosja, Włochy, Francja oraz USA. Dostawy do Niemiec wzrosły w 2016 r. o 20% i wyniosły ok. 105 mln euro. Zagraniczni kontrahenci sprowadzali z Polski głównie części i osprzęt.

Danuta Kowalczyk



EMO Hannover
18–23.09.

Szanse na przestoje? Zerowe.

Centra obróbkowe o najwyższym stopniu niezawodności.

Inaczej niż w sporcie, w przemyśle najlepsze wyniki nie mogą zależeć od formy w danym dniu. Muszą być osiągane każdego dnia. Dlatego dobrze wiedzieć, że centra obróbkowe Hermle – aż po najdrobniejszą część – gwarantują maksymalne bezpieczeństwo procesu przy minimalnych tolerancjach.

Więcej o niezawodności naszych centrów obróbkowe na stronie:
hermle2.de

HERMLE
Polska

Maschinenfabrik Berthold Hermle AG, marek.majewski@hermle.pl, pawel.kabala@hermle.pl

Makino a500Z: efektywna produkcja z gwarancją pięcioosiowej elastyczności

Podczas corocznej konferencji prasowej w Kirchheim unter Teck, która odbyła się 27 czerwca 2017 r., firma Makino zapowiedziała rozszerzenie oferty pięcioosiowych centrów obróbkowych o kolejny produkt – a500Z. Na bazie sprawdzonych technologii wykorzystanych w serii Makino a1 opracowano nowe, poziome centrum obróbkowe, przeznaczone do produkcji złożonych części.



Makino a500Z od przodu (źródło: Makino)

Bardzo sztywna konstrukcja maszyny a500Z oraz niski współczynnik bezwładności zapewniają taki sam poziom efektywności tego pięcioosiowego poziomego centrum obróbkowego, jakiego zazwyczaj oczekuje się od maszyn czteroosiowych.

Jednorodne żeliwne łoże z trzypunktowym podparciem i ukośnym stołem decyduje o dużej sztywności i doskonałej stabilności. Symetryczna, ukośna konstrukcja – podobna do tej zastosowanej w maszynach z serii a1 – gwarantuje zminimalizowaną pętlę siły i tym samym większą efektywność. Dzięki innowacyjnej technologii Makino stół obrotowy ma minimalny wysięg i wyjątkową sztywność.

Większa produktywność

Centrum a500Z jest wyposażone we wrzeciono Makino 303 Nm HSK-A63 o wysokim momencie obrotowym. Najlepsze zakłady zajmujące się produkcją na zlecenie stawiają czoła takim wyzwaniom, jak: częste zmiany modeli, krótki czas na przeprogramowanie oraz liczne operacje pozycjonowania, indeksowania i ręcznej kontroli detali na maszynie. W przypadku a500Z dużą dokładność pozycjonowania osiągnięto dzięki niewielkiej odległości pomiędzy punktem obrotu osi *A* a miejscem, w którym znajduje się detal. Minimalizacja różnic poziomów na szwach w obróbce indeksowanej, zdolność do przemieszczania ciężkich detali oraz doskonały współczynnik przyspieszenia i zatrzymania podczas równoczesnej obróbki pięcioosiowej – wszystko to pozwala na dalszą redukcję czasu skrawania i przygotowania.

Nowe centrum obróbkowe oferuje posuw 730 mm w osi *X*, 750 mm w osi *Y* oraz 700 mm w osi *Z*. Umożliwia obróbkę detalu o maksymalnych wymiarach ⌀630 × 500 mm i masie do 400 kg. Szybki automatyczny zmieniacz palet (APC) maszyny i pozioma funkcja ładowania to dodatkowe cechy zwiększające efektywność.

Dokładność operacyjna i kontrola termiczna

Maszyny Makino słyną z technologii kontroli termicznej – a500Z nie jest tu wyjątkiem. Termicznie symetryczna konstrukcja w połączeniu z efektywnym usuwaniem ciepła z wrzeciona, elementami wsporczymi (takimi jak śruby toczne) i silnikami zapewnia stabilność maszyny i niezwykłą dokładność obróbki nawet podczas wielogodzinnej pracy. Śruby toczne i nakrętki kulkowe mają chłodzony rdzeń, co zapobiega wzrostowi temperatury i powstawaniu odkształceń termicznych oraz związanych z nimi błędów. Silniki z bezpośrednim napędem na osi *B*/*C* są również wyposażone w płaszcze chłodzące, aby ograniczyć generowanie ciepła.

Doskonały system zarządzania chłodziwami i usuwania materiału

Efektywne zarządzanie chłodziwami i procesem usuwania wiórów jest niezbędne w przypadku maszyn, od których oczekuje się wysokiej produktywności, ponieważ generują one duże ilości wiórów na minutę. W odróżnieniu od pięcioosiowego układu z tradycyjnym stołem uchylno-obrotowym centrum a500Z ma szerokie korytko umieszczone pod stołem. Obfity strumień chłodziwa z górnego



Sztywny i dynamiczny pięcioosiowy stół (źródło: Makino)

systemu chłodzenia przestrzeni roboczej zapobiega gromadzeniu się wiórów, które spadają bezpośrednio do korytka i są stamtąd efektywnie usuwane. System załadunku palet (PLS) także ma funkcję mycia powierzchni i bardzo dobry system spłukiwania, co sprzyja sprawnej ewakuacji wiórów.

Najnowszy sterownik Makino: Professional 6

Kolejny element wyposażenia a500Z, istotny w kontekście zwiększonej produktywności, to sterownik Makino Professional 6 (PRO 6). Jest on prosty w obsłudze, co pozwala na znaczące skrócenie okresu przyuczania się mniej doświadczonych operatorów.

Nowe, zaawansowane funkcje kontroli ruchu, określane jako inteligencja geometryczna (GI), skracają całkowity czas cyklu w przypadku typowych komponentów produkcyjnych, takich jak zawory hydrauliczne i skrzynki z układem elektronicznym. GI wiercenie umożliwia ruch wrzeciona i narzędzia po łuku od otworu do otworu zamiast wzdłuż kwadratowej ścieżki posuwu. Skutkuje to ograniczeniem czasu przygotowania w porównaniu ze zwykłym procesem wiercenia według schematu otworów. GI frezowanie stworzono natomiast z myślą o poprawie wydajności procesu frezowania 2D. Dzięki tej funkcji użytkownik może określić przedział tolerancji zaokrąglania rogów dla każdej ścieżki posuwu w procesie frezowania.

W celu zwiększenia efektywności sterownik Makino PRO 6 połączono z technologią aktywnego sterowania bezwładnościowego (IAC). IAC uzyskuje informacje zwrotne z systemu serwonapędu oraz ustala optymalny współczynnik przyspieszenia i zatrzymania dla poszczególnych palet.

Automatyzacja

Centrum a500Z jest przygotowane do automatyzacji obsługi zarówno palet, jak i części. Umożliwia prostą integrację inteligentnych rozwiązań do automatyzacji stworzonych przez firmę Makino, m.in. złożonych systemów MMC2 i VIP z sześcioosiowymi robotami, oraz dostępnych na rynku standardowych systemów automatyzacji. Maszynę a500Z można również łatwo włączyć do dotychczasowych systemów.

O firmie Makino

Firma Makino Milling Machine Co., Ltd. należy do liderów technologii i czołowych usługodawców w przemyśle obrabiarkowym. Spółka jest notowana na tokijskiej giełdzie papierów wartościowych i zatrudnia ok. 4600 pracowników w obu Amerykach, Europie i Azji. Jej przychody za rok finansowy zakończony 31 marca 2017 r. osiągnęły 1,3 miliarda euro. Szeroka paleta oferowanych przez firmę Makino rozwiązań do wytwarzania najwyższej jakości produktów obejmuje centra obróbkowe do wykonywania precyzyjnych detali oraz do produkcji form i matryc o szerokim spektrum zastosowania w: przemyśle lotniczym i astronautycznym oraz motoryzacyjnym, maszynach oraz pojazdach budowlanych i rolniczych, komponentach przemysłowych i mikrotechnologii. Makino Europe zatrudnia 300 osób w centrach technologicznych i biurach w Niemczech, we Włoszech i Francji, w Hiszpanii, Słowacji, Polsce i Rosji, które koncentrują się na marketingu, sprzedaży, inżynierii zastosowań i usługach.

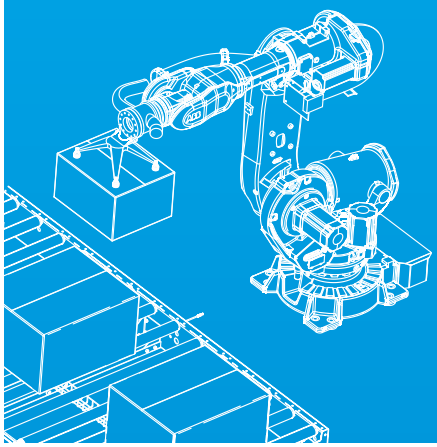
REKLAMA

JAZON®

JAZON

OBRABIARKI
I
MASZYNY SPECJALNE

AUTOMATYZACJA
ROBOTYZACJA
PROCESÓW
WYTWÓRCZYCH



SZLIFIERKI CNC



TOOLEX

stoisko nr B-558
03-05.10.2017
Expo Silesia, Sosnowiec

JAZON Sp. z o.o.
ul. Wysockiego 164 A
15-167 Białystok
85 654 46 20
obrabiarki@jazon.com.pl
www.jazon.com.pl

TruBend Center – bardzo wydajne, automatyczne centrum gnące

Firma TRUMPF – ceniony producent maszyn do obróbki blach (m.in.: wykrawania, gięcia i cięcia laserowego) – od 1989 r. jest dostawcą technologii gięcia z zastosowaniem nowoczesnych pras krawędziowych. W maszynach TruBend z serii 3000, TruBend z serii 5000, TruBend z serii 7000 i TruBend z serii 8000 wykorzystano najnowsze rozwiązania konstrukcyjne oraz wieloletnie doświadczenie z zakresu technologii gięcia. Wybrane prasy krawędziowe dostępne są także jako kompleksowe, zautomatyzowane centra gnące – TruBend Cell 5000 oraz TruBend Cell 7000. Aby zwiększyć możliwości gięcia, firma TRUMPF oferuje centrum gnące TruBend Center 7030, w którym proces produkcji jest realizowany automatycznie. Jako jeden ze światowych liderów w produkcji pras krawędziowych oraz innowacyjnych rozwiązań w zakresie technologii gięcia firma TRUMPF oferuje maszynę, narzędzia, oprogramowanie i wsparcie technologiczne oraz serwis od jednego, kompetentnego dostawcy.

Zastosowanie technologii gięcia w produkcji umożliwia kształtowanie produktów wytwarzanych z arkuszy blach. Gięcie znajduje zastosowanie praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu, gdzie występuje przetwórstwo metali. W ten sposób kształtowane są zarówno elementy maszyn w przemyśle ciężkim, jak i wszelkiego rodzaju produkty ozdobne, np. elementy meblowe, dekoracyjne, wystroju wnętrz, reklamy czy obudowy. Obecnie gięcie prowadzone jest zazwyczaj na wysoko wydajnych, sterowanych numerycznie prasach krawędziowych, zapewniających dużą powtarzalność operacji.

Centrum gnące TruBend Center 7030 różni się w sposobie działania od standardowych pras krawędziowych. W trakcie operacji detal jest trzymany stabilnie przez układ chwytaków, a dwa narzędzia – górne i dolne – wykonują gięcia w dwóch kierunkach (dodatnie i ujemne), w dowolnej sekwencji, z bardzo małymi odstępami. Układ chwytaków wyposażony jest w dwie osie, które pozwalają manipulować detalem między gięciami. Chwytaki mają uchwyt szczękowy lub ssawki podciśnieniowe. W rezultacie można wykonać pełną sekwencję gięć z jednej strony detalu bez udziału operatora. Zmiana strony detalu jest z kolei realizowana przez manipulator obrotowy, który dokładnie pozycjonuje detal z prędkością do 3 m/s. Działania operatora są ograniczone do położenia detalu na stole. Nie jest potrzebne podpieranie detalu w trakcie gięcia ani jego obracanie przy zmianie krawędzi gięcia. Upraszcza to obsługę maszyny, eliminuje błędy operatora, zapewnia dokładność i powtarzalność oraz zwiększa wydajność.

Narzędzia zamocowane są na dwóch osiach liniowych ustawionych skośnie. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest przemieszczanie narzędzi w dwóch osiach z dużą dokładnością. Narzędzia nie przesuwają się względem siebie, co zapobiega kolizji z materiałem.

Gięcia dodatnie wykonuje dolne narzędzie (ruch do góry), a gięcia ujemne – górne narzędzie (ruch w dół). Przy takiej metodzie gięcia możliwe jest uzyskanie bardzo wąskiej półki. Poprzez wielokrotne zaginanie połączone z niewielkimi przesunięciami materiału uzyskuje się gięcia w kształcie łuku o zadanym promieniu i dużej dokładności kształtu, bez widocznych śladów na powierzchni materiału. Z wykorzystaniem uchwytów mocujących można realizować pełne doginanie.

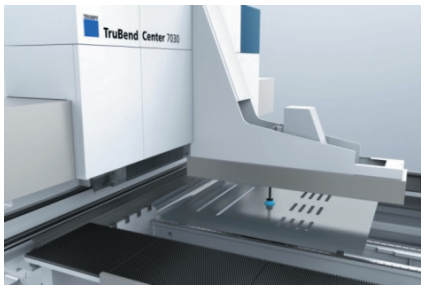
Maszyna TruBend Center jest wyposażona w laserowy system ustawiania kąta gięcia. Wiązka laserowa pada na zagiętą powierzchnię, a kamera określa rzeczywisty kąt. Dzięki temu można skorygować ruch narzędzia, by uzyskać zadany kąt z uwzględnieniem sprężystości materiału. Dlatego już pierwszy detal jest wykonywany prawidłowo.

TruBend Center umożliwia zaginanie blach ze stali zwykłej i nierdzewnej oraz aluminium. Maksymalne grubości blach wynoszą 3 mm dla stali zwykłej, 2,2 mm dla stali nierdzewnej oraz 4 mm dla aluminium. Dolną granicą grubości jest 0,5 mm dla wszystkich materiałów. Maksymalna długość gięcia wynosi 3123 mm.

Możliwości TruBend Center najlepiej ilustrują detale wykonywane na tej maszynie. Niektórych z nich nie da



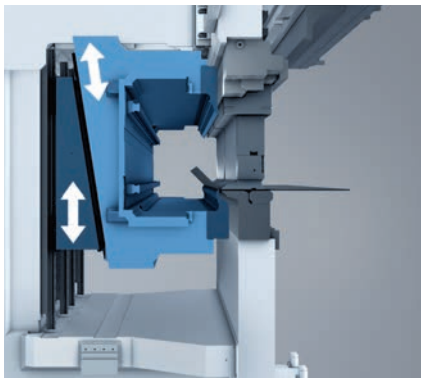
TruBend Center 7030



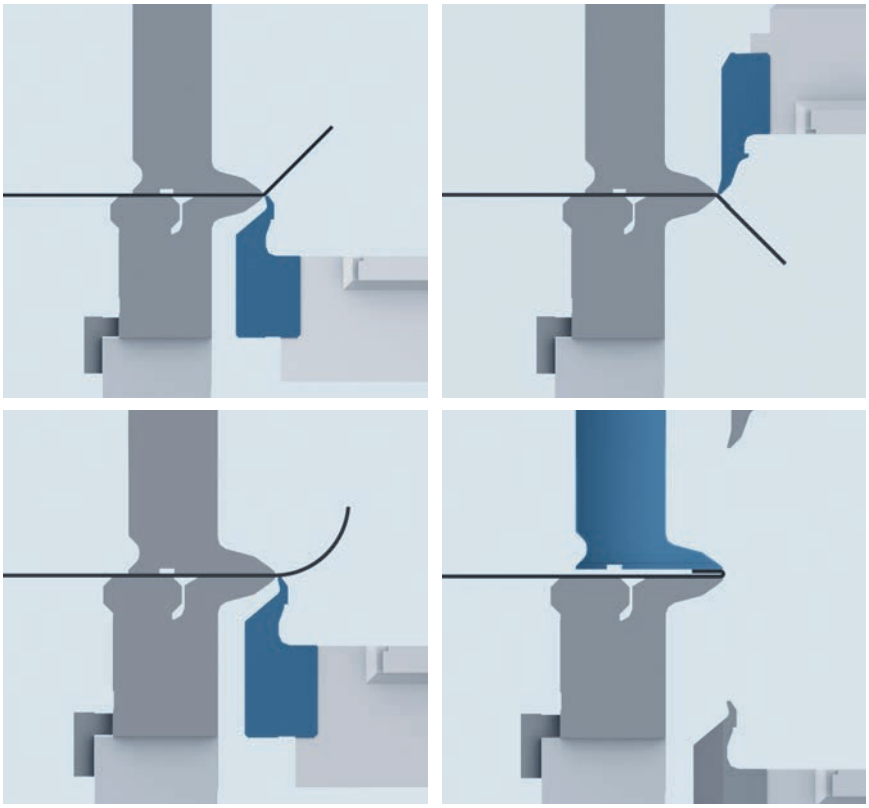
Manipulator obrotowy pozycjonuje detal z prędkością do 3 m/s

się wykonać na zwykłej prasie krawędziowej lub jest to trudne. Warto podkreślić, że na TruBend Center można produkować detale niewykonalne na innych zautomatyzowanych centrach gnących. Dokładność gięcia umożliwia uzyskanie detali z tolerancjami dopuszczalnymi przy spawaniu laserowym. Dlatego maszyna stanowi istotne uzupełnienie łańcucha produkcyjnego urządzeń firmy TRUMPF, realizującego wycinanie, gięcie i spawanie laserowe.

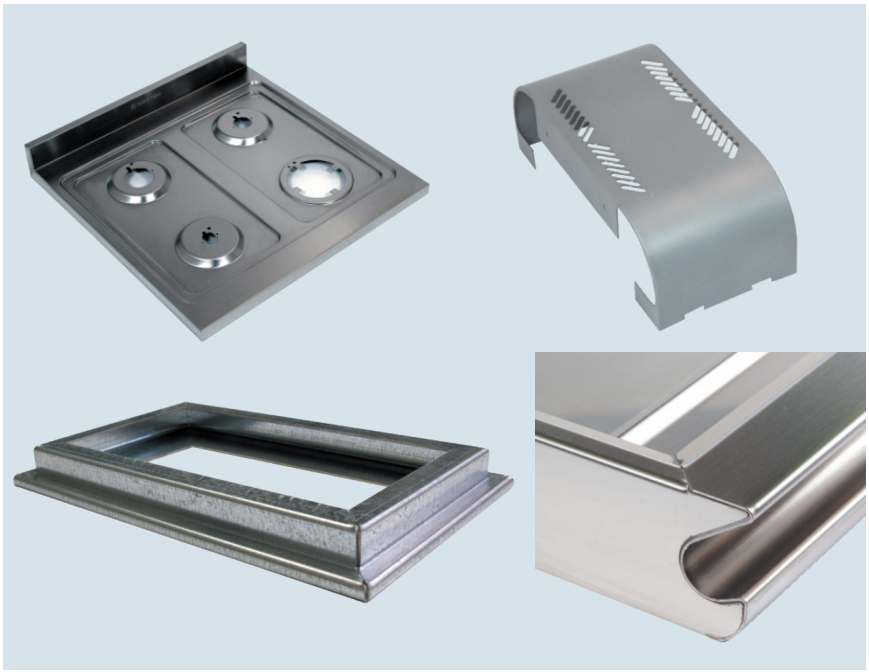
TruBend Center jest urządzeniem automatycznym, które doskonale się sprawdza w różnorodnej produkcji małych i średnich serii. Może też pracować jako element autonomicznego systemu produkcyjnego z automatycznym załadunkiem i rozładunkiem. Operacje manipulacji detalami realizuje wówczas, zamiast operatora, robot zsynchronizowany z TruBend Center. System może pracować bez udziału operatora.



Skośny układ osi napędów górnego i dolnego narzędzia



Warianty zaginania: gięcie dodatnie i ujemne, łuki, doginanie



Detale wykonywane na maszynie TruBend Center

W razie jakichkolwiek pytań – jesteśmy do Państwa dyspozycji!

TRUMPF POLSKA

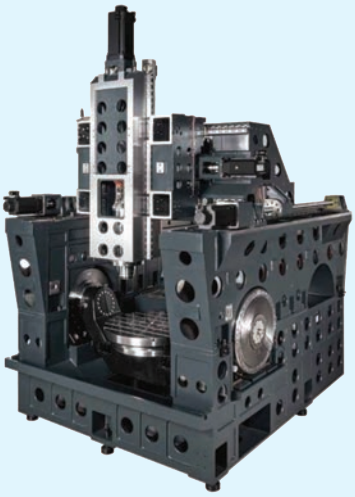
ul. Połczyńska 111, 01-303 Warszawa

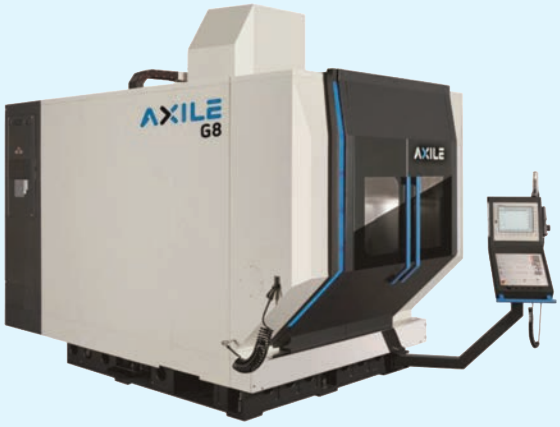
tel.: 22 57 53 900, faks: 22 57 53 901, e-mail: info@pl.trumpf.com

kanał Youtube: https://www.youtube.com/user/TRUMPFtube

AXILE – pięcioosiowe centra obróbkowe do wymagających zadań

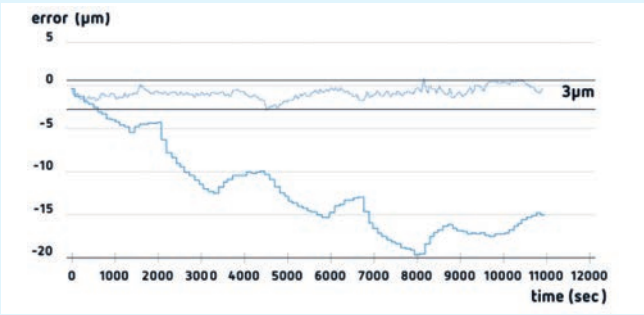
Pod marką AXILE oferowane są maszyny o najwyższej jakości i niezawodności, zaprojektowane w technologii high-tech, zbudowane z wykorzystaniem wysokiej klasy komponentów od renomowanych dostawców. Podstawą asortymentu firmy są pięcioosiowe centra obróbkowe o budowie gantry, przystosowane do skomplikowanych zadań. Dzięki zastosowaniu silników momentowych w osiach *A* i *C* (a więc dzięki wyeliminowaniu przekładni) osiągnięto dużą powtarzalność i zapewniono możliwość długiej, nieprzerwanej pracy w pięciu osiach symultanicznie. Pierwsza generacja obrabiarek tego typu została zaprezentowana w 2008 r. Ich producent, który ma już niemal dziesięcioletnie doświadczenie, ciągle rozwija zastosowane rozwiązania, a także opracowuje nowe.

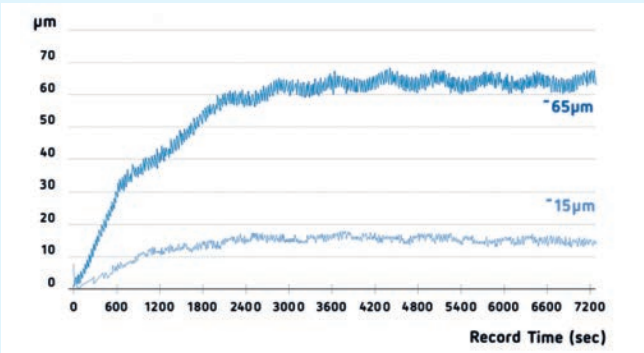




Aby uzyskać wysoką dokładność i powtarzalność, nieodzowne jest zastosowanie odpowiednich systemów. Przykładowe rozwiązania, w które standardowo są wyposażone obrabiarki marki AXILE, to:

- AAC-Axial Accuracy Control – system kompensacji temperaturowej w osiach, oparty na czujnikach temperatury (w liczbie 24 dla maszyn pięcioosiowych i 18 dla maszyn trzyosiowych) oraz odpowiednim algorytmie obliczeniowym,
- TPC-Tool Tip Positioning Control – system ciągłego, bezpośredniego pomiaru wydłużenia wrzeciona i automatycznej kompensacji,





- SVS-Spindle Vibration Supervision – system nadzorowania wibracji wrzeciona, pozwalający na wydłużenie żywotności łożysk oraz narzędzi. Umożliwia uzyskanie lepszej jakości powierzchni obrabianej.

Ponadnormatywne wibracje zapisywane są w pamięci sterownika, aby ułatwić późniejszą optymalizację technologii obróbki.

Producent jest w trakcie wdrażania rozwiązań Industry 4.0, polegających m.in. na samodiagnozie maszyny. Krytyczne podzespoły – takie jak łożyska i silniki – będą więc wyposażane w odpowiednie czujniki (np. wibracji), a informacje z nich będą odczytywane przez kontroler i analizowane przez producenta.

Użytkownik maszyny otrzyma informację o potrzebie wymiany danego podzespołu, zanim nastąpi jego zużycie. Dzięki temu radykalnie skróci się czas obsługi serwisowej maszyny.

Asortyment firmy AXILE obejmuje również obrabiarki trzyosiowe wyposażone w opisane wcześniej systemy zwiększające dokładność i powtarzalność.

TOOLEX EMO Hannover

Zapraszamy na targi TOOLEX w Sosnowcu w dniach 3–5 października 2017 r., podczas których odbędzie się polska premiera modelu G6 firmy AXILE (stoisko 310, pawilon A), oraz na targi EMO w Hanowerze w dniach 18–23 września (stoisko A46, hala 27).

ROMATEX
ul. Nałęczowska 7, 02-922 Warszawa
tel. 22 400 23 42
romatex@romatex.pl
www.romatex.pl ● www.axilemachine.com

Mazak

Your Partner for Innovation



OPTIPLEX 3015 DDL

Laser Direct Diode łączy w sobie wysoką wydajność i jakość krawędzi ciętego materiału.

Mazak rewolucjonizuje technologię cięcia laserowego debiutując, jako pierwszy na rynku światowym, z maszyną Direct Diode Laser (w skrócie DDL), która został stworzona na potrzeby cięcia blach płaskich.

Maszyna OPTIPLEX 3015 DDL to kolejna generacja laserów opartych o źródło laserowe na ciele stałym do zastosowania przemysłowego. Maszyna oferuje najwyższą wydajność wraz z niezaprzeczalnie wysoką jakością obrabianej krawędzi.

Maszyny nowej generacji posiadają najnowsze, przyjazne użytkownikowi i ergonomiczne sterowniki PreviewG.



Zastosowanie rezonatora w technologii DDL zwiększa produktywność w porównaniu do źródeł Fiber o 15%.



Nowy sterownik MAZATROL PreviewG posiada duży 19" ekran dotykowy umożliwiający pracę podobną do tej znanej ze smartfonów lub tabletów.



Głowica tnąca Multi Control i różnorodność dostępnych dzięki niej funkcji pozwala na wyjątkową łatwość oraz optymalną wydajność pracy maszyny.

It's all about you



YAMAZAKI MAZAK CENTRAL EUROPE SP. Z O.O., ODDZIAŁ W POLSCE

Centrum Technologiczne
Trasa Renców 33
40-865 Katowice

T: +48 32 350 04 60, -61
F: +48 32 350 04 62

W: www.mazakeu.pl

Centrum Techniczne
Pokrzywno 4A
61-315 Poznań

T: +48 61 877 17 33, -28
F: +48 61 875 20 67

INTELLIGENT MACHINE™

eco-friendly

ergonomics

Mazak
DIRECT DIODE LASER

Obrabiarki laserowe Yamazaki Mazak – nieodzowny element środowiska produkcyjnego w erze Przemysłu 4.0

Obróbka laserowa – technologia otwierająca nowe możliwości

Firma Yamazaki Mazak rozpoczęła produkcję obrabiarek laserowych w latach 80. ub.w. Obecnie jej szeroka i zróżnicowana oferta rozwiązań stanowi punkt odniesienia dla całej branży. Od 1984 r., gdy na rynku pojawiły się pierwsze wycinarki laserowe Yamazaki Mazak, maszyny te są wciąż doskonalone i wzbogacane o: specjalistyczne systemy automatyzacji, rozwiązania 3D, zaawansowane technologie CNC, innowacyjne źródła laserowe oraz oprogramowanie. Konstruktorzy nie zapominają przy tym o ergonomii, bezpieczeństwie, efektywności energetycznej, a także o znakomitym wzornictwie. Wycinarki Mazak to w pełni funkcjonalne systemy laserowe: precyzyjne, wytrzymałe i niezawodne, a jednocześnie gotowe do wielu różnych zastosowań. Nie narzucają żadnych ograniczeń co do materiału i geometrii obróbki. Obróbka laserowa otwiera przed przemysłem cały świat nowych możliwości – pozwala na wytwarzanie detali o cechach powtarzalnych i unikalnych oraz oferuje rozwiązania wpisujące się w nurt Przemysłu 4.0. W środowisku biznesu trwają historyczne przemiany, a ekonomiczne uwarunkowania produkcji przemysłowej układają się w zupełnie nową konfigurację. Nie ulega wątpliwości, że dla wszystkich przedsiębiorstw coraz większe znaczenie ma zdolność do wykorzystywania rewolucyjnych technologii. W erze globalizacji rynków użytkownicy obrabiarek oczekują doskonałych produktów i wysokiej jakości usług. Pojęcie jakości należy zaś postrzegać szerzej, ponieważ jest ono bardzo pojemne i dotyka każdego aspektu działania organizacji. Aby sprostać wymaganiom tak złożonego rynku, Yamazaki Mazak – firma należąca do niekwestionowanych liderów branży inżynierii mechanicznej – stworzyła strukturę organizacyjną, w której każdy rodzaj działalności jest traktowany kompleksowo, tak aby małe firmy operujące na rynkach lokalnych również mogły korzystać z najbardziej zaawansowanych rozwiązań technicznych dostępnych na świecie. W ten sposób Mazak ma dla klientów działających na różnych rynkach spójną ofertę będącą kwintesencją inżynierii mechanicznej, a każdy klient może dziś mieć inteligentną maszynę.

Nowa generacja wycinarek laserowych – wydajność i elastyczność

Trzecia generacja wycinarek laserowych Yamazaki Mazak jest gotowa na wyzwania, z jakimi mają do czynienia zakłady bazujące na technologiach cyfrowych, w tym zakłady z branży obróbki blach.



Możliwość powstawania przedsiębiorstw inteligentnych i działających w sieci zgodnie z paradygmatem nowoczesnego wytwarzania (którego fundament stanowią Internet Rzeczy oraz systemy cybernetyczno-fizyczne) ściśle zależy od dostępności zaawansowanych technicznie rozwiązań.

Co więcej, dostęp do takich rozwiązań muszą mieć wszyscy producenci, niezależnie od wielkości. W Polsce zdecydowana większość firm należy do kategorii małych i średnich – trzeba im zapewnić możliwość inwestowania w nowoczesne technologie, pozwalające na wytwarzanie krótkich partii produktów w sposób elastyczny i na żądanie.

Od kilku lat firma Yamazaki Mazak angażuje się w opracowywanie i produkcję inteligentnych maszyn oraz oprogramowania, które wspiera produkcję o takim charakterze oraz daje się zintegrować z zakładowymi systemami produkcyjnymi i logistycznymi. Jednym z elementów tej wizji jest projekt Mazak iSMART Factory™, stanowiący solidną przemysłową platformę internetową, obejmującą sprzęt i oprogramowanie monitorujące podłączone bezpośrednio do maszyn. Od pojedynczych komórek produkcyjnych po cały zakład – system umożliwia nadzór nad wszystkimi etapami produkcji i danymi, a także porównywanie ich z zapisami historycznymi lub oczekiwanymi, a tym samym przyczynia się do minimalizacji przestojów i ułatwia szybkie podejmowanie działań w sytuacjach krytycznych.

Laser Optiplex: ewolucja wydziałów produkcyjnych

Maszyna Optiplex 3015 DDL, wyposażona w lasery Direct Diode, została opracowana samodzielnie przez firmę Yamazaki Mazak i zapoczątkowała erę nowych źródeł laserowych. Urządzenie łączy ideę Przemysłu 4.0 z najbardziej innowacyjną z dostępnych obecnie w tej branży technologią cięcia laserowego.



Źródło typu Direct Diode składa się z zestawu pasków diodowych emitujących fale o różnych długościach, a ich wiązki po skolimowaniu mają długość fali jeszcze mniejszą niż tradycyjne lasery, wynoszącą ok. 975 nm. To przekłada się na większą moc pochłanianą przez metal, a wiązka laserowa staje się szczególnie skuteczna w przypadku obróbki materiałów odblaskowych (np. aluminium, miedzi, mosiądzu czy stali nierdzewnej). Dodatkowo powierzchnia cięcia charakteryzuje się wyjątkowo niską szorstkością, co oznacza wyższą jakość wykończenia detalu.

W porównaniu z laserami poprzedniej generacji źródła DDL charakteryzują się większą sprawnością (ok. 50%, podczas gdy sprawność laserów światłowodowych wynosi 30%, a laserów CO_2 – 10%) oraz elastycznością: system Multi-Control Torch firmy Mazak umożliwia regulację ogniskowania i szerokości wiązki laserowej, a więc pozwala na cięcie blach o różnej grubości taniej i szybciej niż za pomocą laserów światłowodowych.

Maszyna w najpopularniejszym wariancie (3015 ze skokami 3110 × × 1595 mm) jest wyposażona w źródło o mocy 4 kW. Optiplex 3015 DDL ma zmodyfikowany silnik o lepszych właściwościach dynamicznych, przez co osiąga prędkości posuwu w osiach *X* i *Y* rzędu 120 m/min oraz przyspieszenie 1,8g. Jednocześnie zapewnia wysoką dokładność pozycjonowania (0,05 mm na 500 mm, ±0,03 mm).

Intuicyjność obsługi Optiplex 3015 DDL pozwala na uzyskanie optymalnej szybkości cięcia, jakości wykończenia powierzchni i dokładności, przy czym najważniejsze zadania realizowane są za pomocą funkcji inteligentnych. Inteligentne funkcje ustawcze umożliwiają: automatyczną kalibrację wiązki, wykrywanie ogniska, pozycjonowanie ogniska, kalibrację oraz wymianę i czyszczenie dysz.

Obrabiarki laserowe oferują znacząco udoskonalone inteligentne funkcje monitoringu służące do monitorowania danych operacyjnych, co jest istotne zwłaszcza z punktu widzenia fundamentalnej roli tych maszyn w łańcuchu produkcyjnym.

Im bardziej autonomiczna jest maszyna i im większą ma zdolność do osiągania odpowiedniej wydajności na każde żądanie, tym bardziej znaczące korzyści odnosi użytkownik. Obrabiarki laserowe od dawna wyposaża się w inteligentne układy sterowania, które monitorują przebieg procesu (np. wykrywają plazmę podczas cięcia stali nierdzewnej czy zapłon w procesie cięcia stali czarnej), aby do minimum ograniczyć zakres niezbędnych interwencji operatora i maksymalnie zwiększyć wydajność obróbki. Inteligentne funkcje cięcia zapewniają wysoką skuteczność i jakość cięcia laserowego. Optiplex 3015 DDL z technologią Direct Diode integruje wszystkie urządzenia w środowisku produkcyjnym i staje się ważnym składnikiem inteligentnego zakładu przemysłowego.

Obok komunikacji z innymi systemami produkcji, planowania i automatyki najnowsza maszyna Mazak oferuje nową generację interfejsu sterowania Preview G – intuicyjną w obsłudze i zbieżną z ideą Przemysłu 4.0, a przez to korzystnie wpływającą na integrację i zmniejszającą ryzyko popełnienia błędu. Integracja



systemów IT z korporacyjnymi procesami logistyki i produkcji oraz zaawansowaną automatyką pozwala na zbudowanie supernowoczesnego rozwiązania, które w pełni wykorzysta potencjał Przemysłu 4.0.

Wspomniane wcześniej trzy funkcje inteligentne, które wydajnie zarządzają całym procesem cięcia laserowego – od ustawiania maszyny po właściwą obróbkę, w połączeniu z interfejsem sterowania numerycznego Preview G skutecznie wspomagają więc interakcję pomiędzy człowiekiem i maszyną.

Opracowując maszynę Optiplex 3015 DDL ze źródłem laserowym trzeciej generacji, specjaliści firmy Mazak czerpali z ponad 30-letniego doświadczenia w budowaniu wycinarek laserowych. Pozwoliło to na stworzenie systemu o wyjątkowo wysokiej sprawności. Wychodząc od potrzeby ograniczenia zużycia energii, co jest istotne zwłaszcza dla zakładów obróbki blach, firma Mazak udoskonaliła sterowanie silnikami napędowymi i sterowanie numeryczne.

Zoptymalizowane układy elektroniczne, napędowe i komunikacyjne umożliwiają szybką wymianę danych, przyczyniając się do optymalizacji jakości wyrobów i wydajności produkcji. Dopełnieniem tych zalet jest intuicyjny interfejs sterowania, który upraszcza obsługę skomplikowanej maszyny i pozwala nawet najmniejszym firmom wdrażać idee Przemysłu 4.0.

Dla dużego przedsiębiorstwa, które stosuje już zaawansowane systemy automatyki, wdrożenie nawet tak nowoczesnej maszyny jak Optiplex 3015 DDL nie stanowi problemu. Firma Mazak dostrzegła jednak wyzwanie, jakim jest udostępnienie podobnych technologii mniejszym firmom. Jest to ważna kwestia, jeśli weźmie się pod uwagę strukturę polskiego przemysłu, w którym małe, zorientowane na klienta firmy muszą walczyć o maksymalną elastyczność i redukcję kosztów produkcji, by móc zaoferować produkcję małoseryjną w atrakcyjnej cenie. W takich przedsiębiorstwach nawet jedna maszyna może bardzo wiele zmienić pod względem jakości. Dlatego systemy nowej generacji, takie jak Optiplex 3015 DDL, są projektowane z myślą o wdrożeniu obok już używanych, starszych systemów automatyki firmy Mazak.

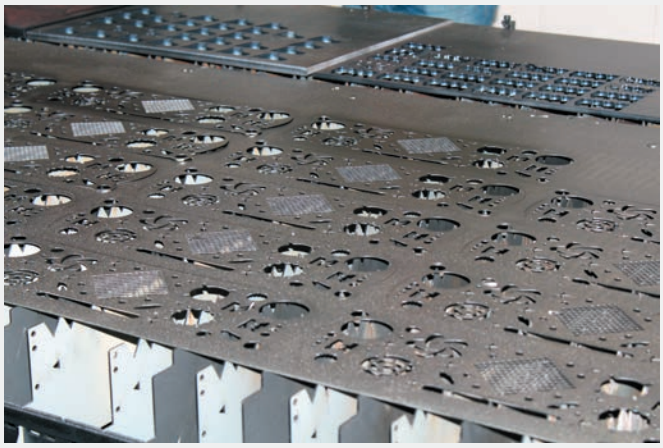


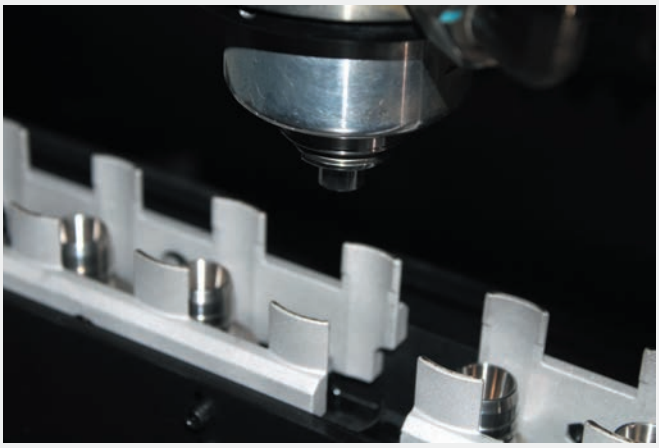


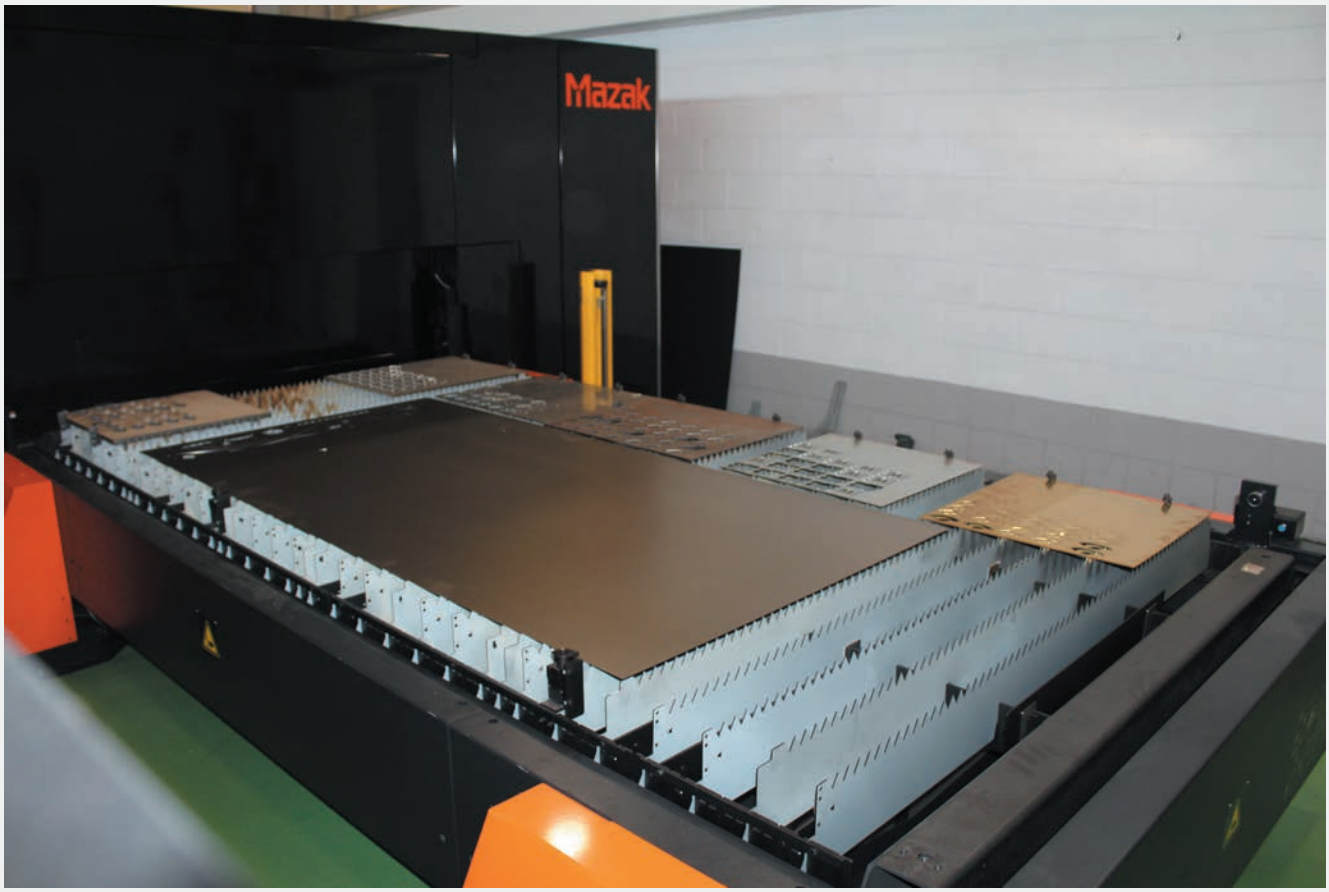
Integracja i wsparcie

Jednym z fundamentów koncepcji Przemysłu 4.0 oraz polityki firmy Mazak jest udostępnianie technologii, które można bardzo łatwo włączyć









w istniejące systemy produkcyjne. W tym przypadku słowo „łatwo” odnosi się nie tylko do integracji z istniejącymi maszynami, lecz także do wsparcia przed- i posprzedażowego oferowanego klientom. Zespół serwisu i aplikacji firmy Mazak wspomaga doradców handlowych w identyfikacji i wyborze docelowych rozwiązań oraz maszyn, które jak najlepiej spełnią postawione cele. Udziela także użytecznych wskazówek co do sposobu ulokowania instalacji w zakładzie, z uwzględnieniem ewentualnej przyszłej rozbudowy. Ponadto firma Mazak pomaga w załatwianiu formalności potrzebnych do uzyskania dofinansowania ze środków unijnych dla firm inwestujących m.in. w Przemysł 4.0.

Kluczową funkcją inteligentnego zakładu jest zdalne monitorowanie warunków pracy i możliwość uzyskiwania informacji z urządzeń w celu wykrycia i wyeliminowania ewentualnych usterek. Firma Mazak oferuje klientom bezpłatny zdalny serwis, który pozwala rozwiązać 85% wykrytych problemów. Taka strategia serwisowania do minimum ogranicza przestoje, a gdy interwencja zdalna nie wystarczy, inżynier może odwiedzić zakład, by na podstawie pełnego obrazu sytuacji jak najszybciej przywrócić sprawność urządzeń.

Mazak
Your Partner for Innovation

Z DZIAŁALNOŚCI

THE INTERNATIONAL ACADEMY FOR PRODUCTION ENGINEERING
MIĘDZYNARODOWA AKADEMIA INŻYNIERII PRODUKCJI

Porównanie ciekłego azotu i dwutlenku węgla jako mediów wykorzystywanych w chłodzeniu kriogenicznym

Ważnym współczesnym trendem w obróbce skrawaniem jest stosowanie zasad zrównoważonego rozwoju, w tym ograniczenie do minimum: zatruwania środowiska, kosztów wytwarzania i zużycia energii. Te cele można osiągnąć dzięki wyeliminowaniu chłodzenia obfitego, zalewowego, i zastąpieniu go np. chłodzeniem kriogenicznym.

Do chłodzenia kriogenicznego strefy obróbki przez wrzeciono obrabiarki i narzędzie wykorzystuje się ciekły azot LN_2 (*liquid nitrogen*) oraz dwutlenek węgla CO_2. Te substancje różnią się znacząco pod względem mechanizmu chłodzenia, dlatego warto sobie uświadomić, że przy ich stosowaniu należy uwzględnić odmienne wymagania.

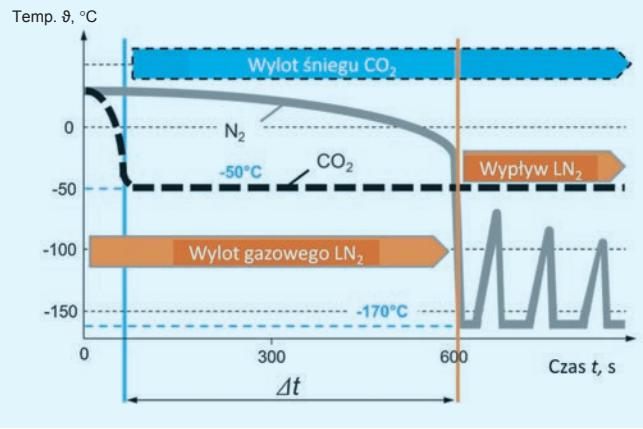
Dwutlenek węgla jest przechowywany jako ciecz pod umiarkowanym ciśnieniem (ok. 57 bar) w temperaturze pokojowej. Do narzędzia jest dostarczany przewodami ciśnieniowymi. Elementy obrabiarki i przewody nie są poddawane oddziaływaniu cieplnemu, dopóki CO_2 jest pod wysokim ciśnieniem. Gdy płynny dwutlenek węgla opuszcza kanały chłodzące w narzędziu, rozpręża się, ciśnienie spada i następuje przemiana fazowa z cieczy w mieszaninę gazu i stałego CO_2 (tzw. suchy lód). Efekt chłodzący w postaci temperatury sięgającej −78,5°C jest uzyskiwany dzięki przemianie fazowej i efektowi Joule'a–Thomsona. Ponieważ suchy lód sublimuje w temperaturze otoczenia, chłodzenie kriogeniczne z zastosowaniem CO_2 nie pozostawia śladów.

Chłodząca charakterystyka LN_2 jest zupełnie inna. Azot musi być przechowywany w izolowanych zbiornikach, ponieważ przy ciśnieniu otoczenia zamienia się z ciała stałego w ciecz przy −210°C, a zaczyna wrzeć przy −196°C. Z tego względu ciekły azot jest bardziej przydatny do chłodzenia w bardzo niskiej temperaturze, jednak sprawia poważne problemy. Po pierwsze przewody doprowadzające, elementy obrabiarki oraz kanały chłodzące w narzędziu muszą być izolowane, aby wyeliminować zagrożenia i zapobiec pogorszeniu właściwości chłodzących. Po drugie ciekły azot gwałtownie paruje w momencie zetknięcia się z powierzchnią o znacznie wyższej temperaturze. To prowadzi do wytworzenia na powierzchni izolującej warstewki gazowej, która redukuje efekt chłodzący.

Czas rozruchu systemu wykorzystującego ciekły azot jest znacznie dłuższy w porównaniu z systemem, w którym stosuje się dwutlenek węgla (patrz rysunek). Zastosowanie CO_2 pozwala na rozpoczęcie skrawania już po ok. 60 s od uruchomienia systemu chłodzącego. Po tym czasie osiągana jest temperatura minimalna, wynosząca ok. −50°C.

W systemie wykorzystującym LN_2 na początku w przewodach i kanałach chłodzących znajduje się duża ilość gazowego azotu, który musi zostać wypchnięty, zanim zacznie się wydobywać ciekły azot. Nawet po osiągnięciu temperatury wylotowej rzędu −170°C proces chłodzenia nie jest stabilny ze względu na gazowy azot powstający w systemie chłodzącym.

Zasadnicze różnice między systemami chłodzącymi wykorzystującymi ciekły azot i dwutlenek węgla zestawiono w tablicy.



Przebieg temperatury wylotowej przy zastosowaniu LN_2 i CO_2

TABLICA. Właściwości CO_2 i LN_2 istotne z punktu widzenia wykorzystania tych substancji jako chłodziw w procesie skrawania

Chłodziwo	Dwutlenek węgla CO_2	Ciekły azot LN_2
Temperatura minimalna, °C	−78,5	−196
Efekt chłodzący	Niska temperatura uzyskiwana w wyniku rozszerzania się medium u wylotu dyszy	Chłodzony zbiornik, przewody i narzędzie
Obsługa/integracja z obrabiarką	Nie jest potrzebna izolacja	Konieczna izolacja wszystkich elementów systemu chłodzącego
Narzędzia	Standardowe, z niewielkimi modyfikacjami	Specjalne z przewidzianą izolacją termiczną

Opracował dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak

LITERATURA

Jawahir I.S., Attia H., Biermann D., Duflou J., Klocke F., Meyer D., Newman S.T., Pusavec F., Putz M., Rech J., Schulze V., Umbrello D. "Cryogenic manufacturing processes". *CIRP Annals – Manufacturing Technology.* 65 (2016): s. 713–736.

GALIKA

Sprzedaż maszyn CNC, serwis, części zamienne



REIDEN SWISS
HIGH PERFORMANCE MACHINE TOOLS

5-osiowe frezarskie centra obróbkowe

INDEX

Automaty tokarskie, jedno- i wielowrzecionowe; centra: tokarsko-frezarskie, tokarsko-szlifierskie

TRAUB

Tokarki, automaty tokarskie; centra tokarsko-frezarskie

MILLUTENSIL

Prasy: do tuszowania/ /sprawdzania form oraz tłoczników

ONA WE ARE EDM

Elektrodrążarki wgłębne; wycinarki drutowe

UNITED GRINDING

STUDER
SCHAUDT
MIKROSA
BLOHM
JUNG

Szlifierki cylindryczne

Szlifierki płaskie i profilowe

CODERE
INDUSTRIAL FURNACES FOR HEAT TREATMENT

Piece przemysłowe do obróbki cieplno-chemicznej

Daetwyler Industries
microwaterjet®

Urządzenia do precyzyjnego cięcia strumieniem wody

Leistritz

Obrabiarki do profili ślimakowych; dłutownice CNC





MIKRON

5-osiowe, 2-wrzecionowe centra do produkcji wielkoseryjnej; automaty obrotowo-taktujące

GALIKA

GALIKA Sp. z o.o.
ul. Spacerowa 12/4; 00-592 Warszawa; tel. +48 22 848 24 46
ul. Kolista 25; 40-486 Katowice; tel. +48 32 735 0 376
www.galika.pl • www.galika.com • galika-wars@galika.pl

TOOLEX Expo Silesia, SOSNOWIEC 3 - 5 października 2017

Pawilon A, Stoisko 312

Metoda sterowania kątem prowadzenia osi frezu w pięcioosiowej obróbce łopatki turbiny

Method of controlling the lead angle of the toroidal cutter axis in 5-axis machining of the turbine blade

MICHAŁ GDULA
JAN BUREK
MARCIN ŻÓŁKOŚ*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.102

Przedstawiono koncepcję metody sterowania kątem prowadzenia osi frezu toroidalnego w zależności od promienia krzywizny obrabianego profilu powierzchni złożonej. Metodę zweryfikowano na przykładzie obróbki łopatki turbiny. Aby porównać efekty zastosowania tej metody z metodą klasyczną (bez adaptacji kąta prowadzenia), badania przeprowadzono obu metodami.
SŁOWA KLUCZOWE: obróbka pięcioosiowa, powierzchnie złożone, łopatka turbiny

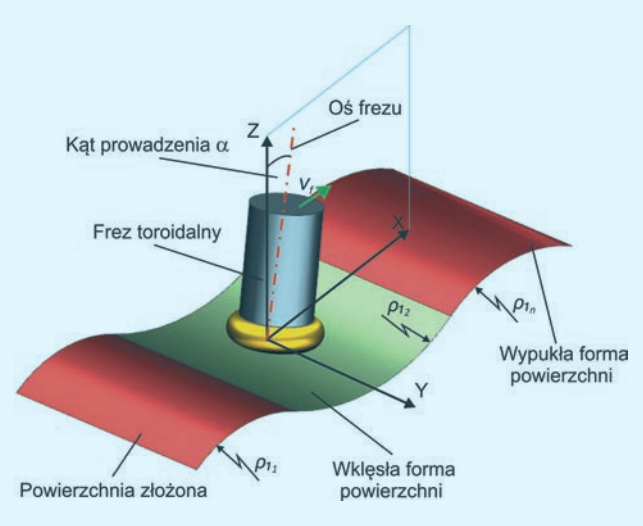
Presented is the own concept control method an lead angle axis of the toroidal cutter, depending on the radius of curvature of the machined sculptured surface profile. The method verified on the example machining of the turbine blade. In order to compare the effects of this method, to the classical method (without adaptation lead angle), tests were performed for both these methods.
KEYWORDS: 5-axis machining, sculptured surfaces, turbine blade

Frezowanie pięcioosiowe z użyciem frezu toroidalnego jest szeroko stosowane w obróbce powierzchni złożonych, takich jak łopatki turbin [1–3]. Ten sposób wieloosiowej obróbki, poprzez połączenie trzech przemieszczeń liniowych oraz dodatkowych dwóch obrotowych, umożliwia realizowanie ruchu narzędzia w przestrzeni w sposób ciągły względem wektora normalnego do obrabianej powierzchni. Proces ten pod względem technologicznym pozwala na [2]:

- uzyskanie wysokiej jakości powierzchni poprzez dobór najlepszych warunków styku między narzędziem a powierzchnią obrabianą,
- skrócenie czasu obróbki dzięki zastosowaniu geometrii narzędzia odpowiedniej do obrabianej powierzchni, a tym samym zwiększeniu szerokości skrawania,
- uzyskanie wzrostu wydajności obróbki oraz większej sztywności narzędzia dzięki zmniejszeniu jego wysięgu.

W praktyce przemysłowej podstawową (klasyczną) strategią obróbki części typu łopatka turbiny jest symultaniczne, pięcioosiowe frezowanie czołowe ze stałym kątem prowadzenia α osi frezu toroidalnego, niezależnie od zmian promienia krzywizny ρ_{1n} (rys. 1) [1]. Jednym z głównych problemów jest właśnie dobranie orientacji osi narzędzia względem aktualnej krzywizny profilu obrabianej powierzchni [3, 4, 6].

* Dr inż. Michał Gdula (gdulam@prz.edu.pl), dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Żółkoś (markos@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza



Rys. 1. Pięcioosiowe frezowanie czołowe powierzchni złożonych

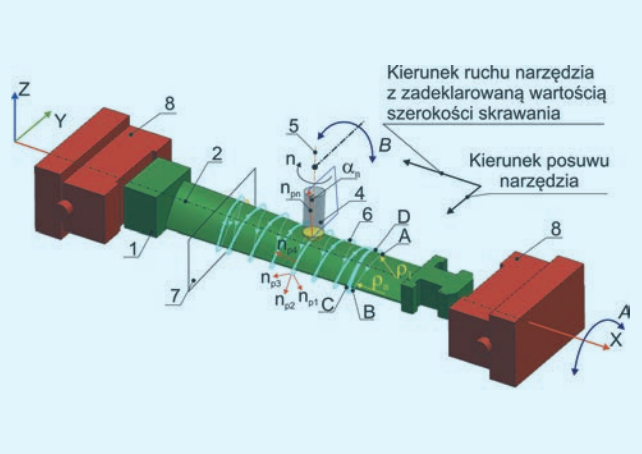
Wartość kąta prowadzenia α osi frezu toroidalnego jest definiowana na etapie programowania obróbki w systemie CAM, względem wektora normalnego obrabianej powierzchni. Zasadniczą wadą tej strategii jest nieuwzględnienie ciągłych zmian promienia krzywizny ρ_1 obrabianego profilu powierzchni. Wynikiem tego są ciągłe zmiany przekroju warstwy skrawanej, w następstwie czego dochodzi do ciągłych zmian wartości składowych siły skrawania i kierunku ich działania. Prowadzi to z kolei do zmiennego odkształcenia sprężystego narzędzia oraz przedmiotu obrabianego, powstawania błędów kształtu oraz zwiększania się chropowatości powierzchni [2].

W niniejszej pracy przedstawiono nową koncepcję adaptacyjnej metody (strategii) pięcioosiowego frezowania powierzchni złożonych, która została zastosowana do obróbki łopatek turbin.

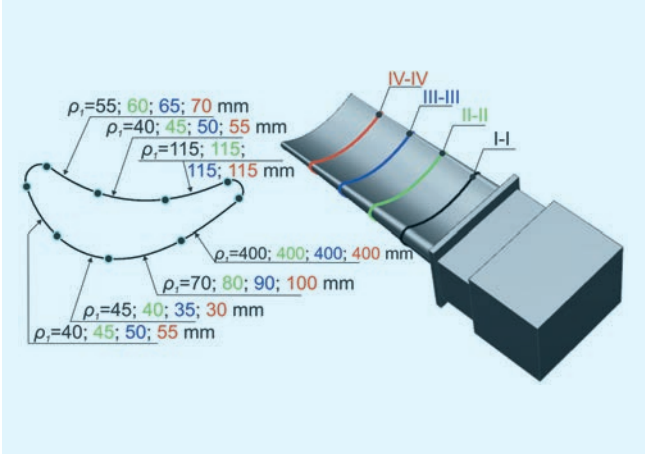
Adaptacyjna metoda pięcioosiowej obróbki łopatek turbin

Koncepcję adaptacyjnej metody pięcioosiowej obróbki powierzchni złożonych przedstawiono na rys. 2. Zilustrowano ruchy narzędzia (frezu toroidalnego) i jego położenie względem przedmiotu obrabianego (łopatki turbiny).

Łopatka turbiny (*1*) jest zamocowana w szczękach podzielnicy (*8*) realizującej ruch obrotowy sterowanej osi *A*. Podzielnica usytuowana jest na stole pięcioosiowej frezarki, który realizuje ruch sterowanej osi liniowej *Z*.



Rys. 2. Adaptacyjna strategia pięcioosiowej obróbki łopatki



Rys. 3. Model łopatki turbiny

Oś wzdłużna (*2*) przedmiotu obrabianego położona jest równolegle do sterowanej osi *X*, natomiast przekroje poprzeczne łopatki leżą w płaszczyznach równoległych (*7*) do płaszczyzny *ZY*.

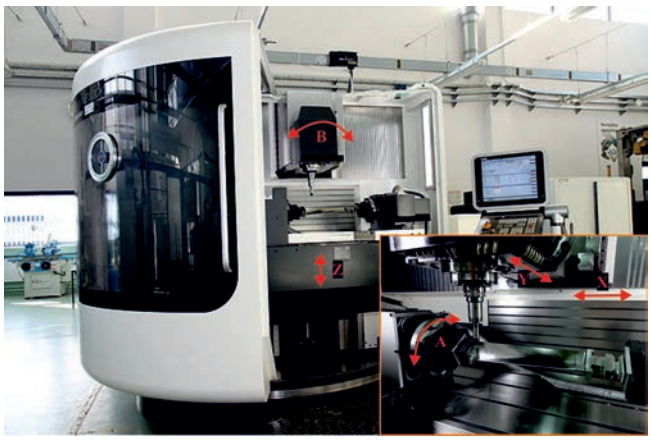
Frez toroidalny (*4*) jest zamocowany we wrzecionie frezarki pięcioosiowej, które realizuje ruch obrotowy sterowanej osi *B*. W początkowym położeniu oś obrotu frezu (*5*) pozostaje równoległa do osi *Z*, natomiast w ruchu roboczym oś ta jest orientowana w przestrzeni względem wektora normalnego do obrabianej powierzchni krzywoliniowej n_{pn}. Frez toroidalny w ruchu roboczym porusza się po pięcioosiowej trajektorii (*6*) w stosunku do wektora normalnego n_{pn} obrabianej powierzchni z adaptacją wartości parametru kąta prowadzenia α_n, w zależności od zmian promienia krzywizny obrabianego profilu powierzchni ρ_n. Wartość tego kąta jest dobierana z wykorzystaniem procedury, którą opisano w pracach [1, 2].

W czasie obróbki frez toroidalny (*4*) przemieszcza się względem przedmiotu (*1*) w ten sposób, że pokonuje ruchem roboczym odcinek pięcioosiowej trajektorii (*6*) między punktami *A* i *B* z adaptacją parametru kąta prowadzenia: α_1 dla promienia ρ_1, α_n dla promienia ρ_n itd. Następnie z punktu *B* pokonuje odcinek pięcioosiowej trajektorii (*6*) ze stałą wartością kąta prowadzenia α_n, przesuwając się jednocześnie ruchem roboczym o odcinek równy zadeklarowanej szerokości skrawania do punktu *C*. Z tego miejsca frez toroidalny (*4*) porusza się ruchem roboczym do punktu *D* z adaptacją parametru kąta prowadzenia α_n, a następnie z punktu *D* pokonuje odcinek pięcioosiowej trajektorii (*6*) ze stałą wartością kąta α_n, przesuwając się jednocześnie ruchem roboczym o odcinek równy zadeklarowanej szerokości skrawania do następnego punktu, od którego cały cykl ruchów frezu (*4*) powtarza się od początku.

Weryfikacja doświadczalna metody

Aby zweryfikować efekty zaproponowanej metody, przeprowadzono obróbkę łopatki wirnika turbiny strategią klasyczną (bez adaptacji kąta α) oraz strategią adaptacyjną (z adaptacją kąta α). Weryfikacyjny model łopatki wirnika turbiny zamodelowano na podstawie czterech przekrojów profilu pióra (I-I÷IV-IV). Przekroje te utworzono z łuków o różnych promieniach krzywizny ρ_1 (rys. 3).

Obróbkę łopatki przeprowadzono z wykorzystaniem pięcioosiowego centrum frezarskiego 100 DMU MonoBlock (rys. 4).



Rys. 4. Pięcioosiowe centrum frezarskie 100 DMU MonoBlock

Do badań weryfikacyjnych wykorzystano frez toroidalny R300-016B20L-08L Sandvik Coromant oraz okrągłe płytki skrawające R300-0828E-PL z węglika S30T. Łopatkę turbiny wykonano ze stopu Inconel 718. Parametry skrawania ustalono na podstawie zaleceń producenta narzędzia użytego do badań (tabl. I).

TABLICA I. Parametry skrawania według zaleceń producenta frezu toroidalnego

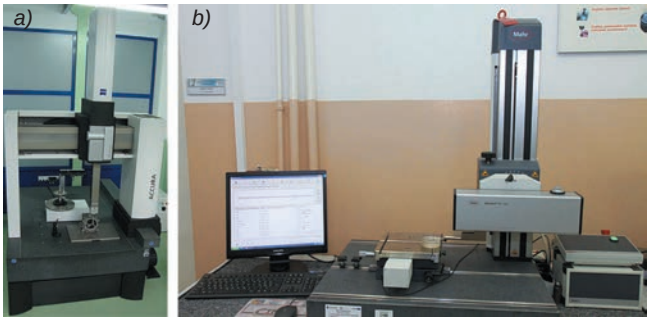
Parametry	Obróbka powierzchni wklęsłej oraz wypukłej łopatki turbiny
Dosuw osiowy a_p	0,25 mm
Dosuw promieniowy a_e	1,5 mm
Posuw na ostrze f_z	0,26 mm/ostrze
Prędkość skrawania v_c	40 m/min

Kryterium oraz ograniczenie doboru kąta prowadzenia α przedstawiono za pomocą zależności, które zestawiono w tabl. II.

TABLICA II. Założone dopuszczalne wartości odchyłki kształtu Δ_k oraz parametru *Ra* chropowatości powierzchni

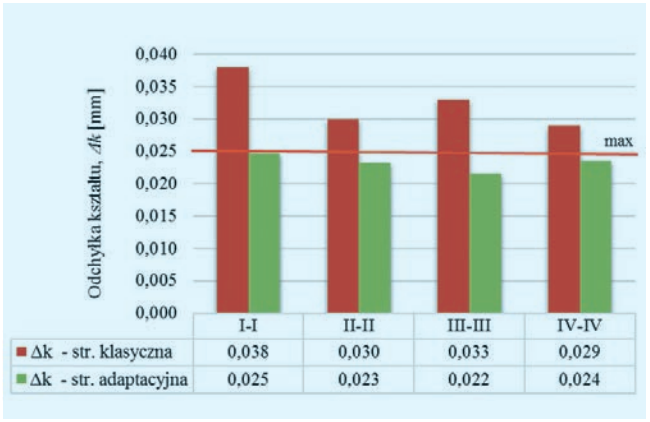
	Strona wklęsła łopatki turbiny	Strona wypukła łopatki turbiny
Kryterium	$\Delta_k \leq 0{,}025$ mm	$\Delta_k \leq 0{,}040$ mm
Ograniczenie	$Ra \leq 0{,}45$ µm	$Ra \leq 0{,}55$ µm

W ramach badań zmierzono odchyłki kształtu Δ_k oraz parametru *Ra* chropowatości powierzchni w weryfikacyjnych przekrojach profilu łopatki. Pomiary te przeprowadzono z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej Accura II Zeiss (rys. 5*a*) oraz profilogarfometru MahrSurf XR 20 (rys. 5*b*).

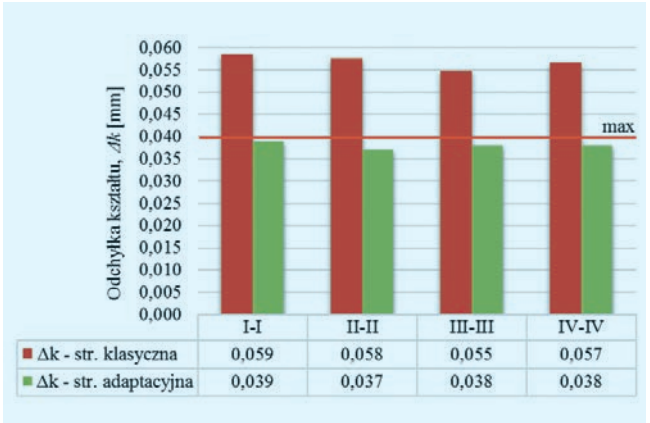


Rys. 5. Aparatura użyta do badań: *a*) współrzędnościowa maszyna pomiarowa Accura II Zeiss, *b*) profilografometr MahrSurf XR 20

■ **Odchyłka kształtu.** Wyniki pomiaru odchyłki kształtu Δ_k analizowanych przekrojów poprzecznych pióra łopatki przedstawiono na rys. 6 oraz 7.

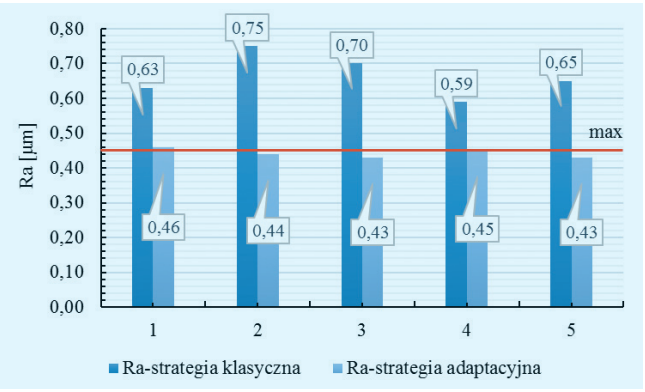


Rys. 6. Odchyłki kształtu Δ_k analizowanych profili strony wklęsłej pióra łopatki

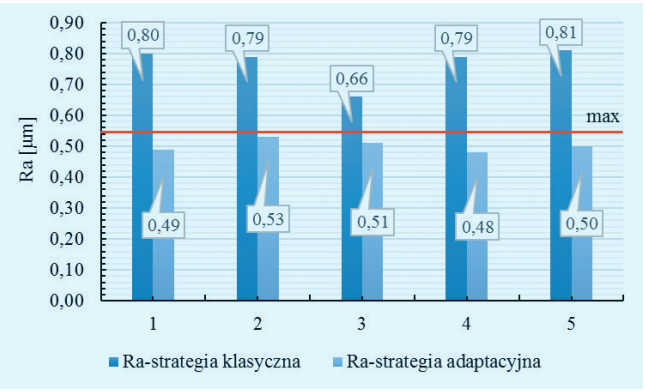


Rys. 7. Odchyłki kształtu Δ_k analizowanych profili strony wypukłej pióra łopatki

■ **Chropowatość powierzchni.** Średnie wartości z pomiarów parametrów *Ra* chropowatości powierzchni strony wklęsłej przedstawiono na rys. 8. Natomiast średnie wartości z pomiarów parametru *Ra* chropowatości powierzchni strony wypukłej łopatki przedstawiono na rys. 9.



Rys. 8. Wartości parametru *Ra* chropowatości powierzchni strony wklęsłej



Rys. 9. Wartości parametru *Ra* chropowatości powierzchni strony wypukłej

Podsumowanie

W wyniku zastosowania proponowanej nowej metody sterowania (adaptacji) kąta prowadzenia α w zależności od zmian promienia krzywizny ρ_1 obrabianego profilu powierzchni udało się zmniejszyć odchyłki kształtu Δ_k pióra łopatki w zakresie 25÷30% w stosunku do obróbki tego samego pióra strategią klasyczną (bez adaptacji kąta α). Ponadto uzyskano zmniejszenie wartości parametru *Ra* i równomierny ich rozkład na obrabianej powierzchni.

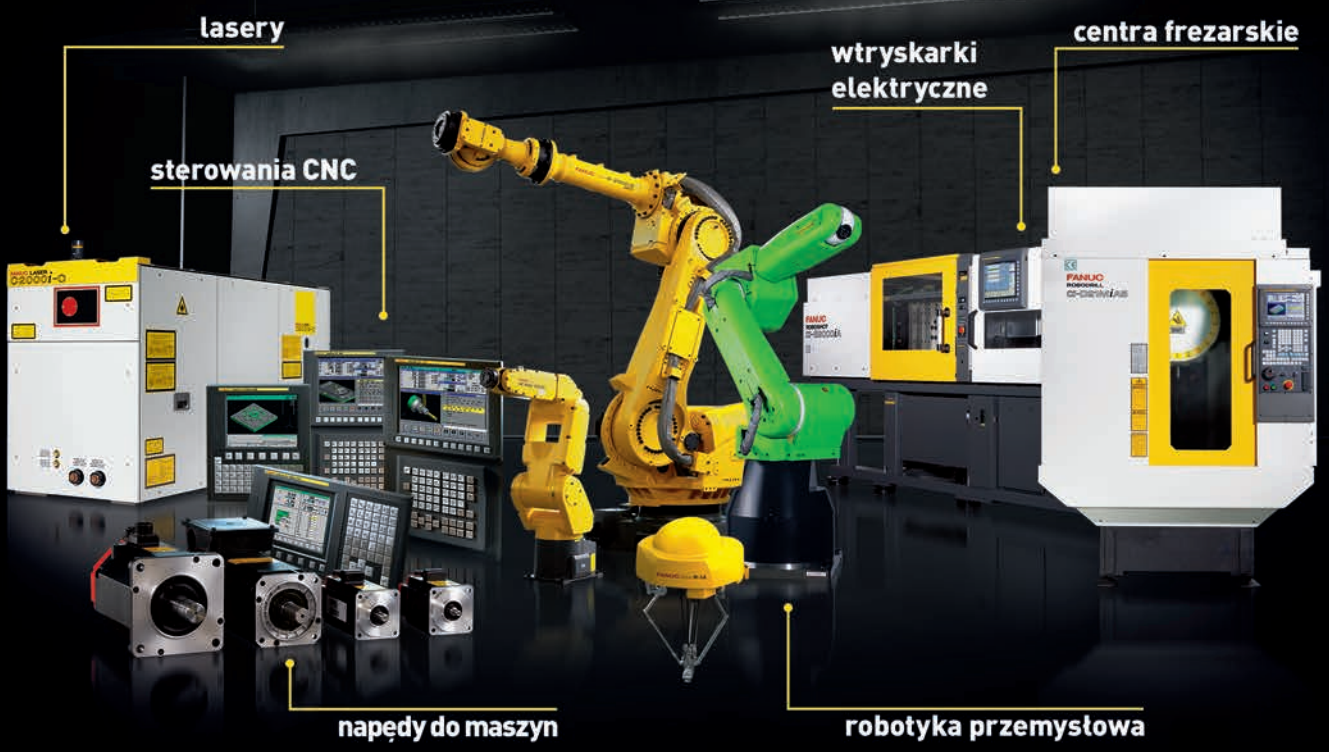
Podsumowując, można stwierdzić, że opracowana koncepcja metody sterowania kątem prowadzenia α osi frezu toroidalnego umożliwia zwiększenie dokładności pięcioosiowej obróbki powierzchni złożonych.

LITERATURA

1. Burek J., Gdula M., Sułkowicz P., Żurek P. „Strategia 5-osiowej obróbki łopatek turbin uwzględniająca zmiany krzywizny obrabianego profilu”. *Mechanik*. 12 (2016): s. 1892–1893.
2. Gdula M. „Proces symultanicznego pięcioosiowego frezowania powierzchni złożonych frezem toroidalnym”. *Praca doktorska.* Rzeszów 2017.
3. Gilles P., Cohen G., Monies F. “Torus cutter positioning in five-axis milling using balance of the transversal cutting force”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 66, 5 (2013): s. 965–973.
4. He Y., Chen Z. “Optimising tool positioning for achieving multi-point contact based on symmetrical error distribution curve in sculptured surface machining”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 73, 5 (2014): s. 707–714.
5. Li L.L., Zhang Y.F. “Optimal tool-path generation for 5-axis milling of sculptured surfaces”. *IEEE International Conference on Control and Automation.* ThB3-4, s. 1207–1212.
6. Plathonik D., Lauwres B. “Computing of the actual shape of removed material for five-axis flat-end milling”. *Computer Aided Design*. 44, 11 (2012): s. 1103–1114. ■

FANUC

roboINNOWACJE dla konkurencyjności produkcji



Nowy wymiar procesów wytwarzania

MANUFACTURED EFFICIENCY

www.fanuc.pl



systemy wizyjne
FANUC iRVision 2D/3D



czujniki siły
FANUC Force Sensor



roboty współpracujące
FANUC CR

Badania symulacyjne warstwy skrawanej frezem baryłkowym

The analysis of barrel mill's cut-layer cross section

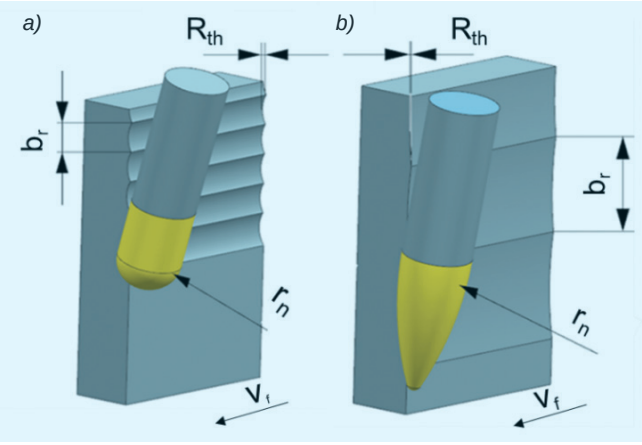
JAN BUREK
ŁUKASZ ŻYŁKA
PIOTR ŻUREK
KAROL ŻURAWSKI
MARCIN SAŁATA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.103

Przedstawiono badania symulacyjne pola przekroju warstwy **skrawanej frezem baryłkowym. Badania dotyczyły obróbki powierzchni złożonych wklęsłych oraz wypukłych.**
SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie pięcioosiowe, frez baryłkowy

The article presents the analysis of barrel mill's cut-layer cross section. A methodology of performing a machining simulation as well as its results during machining of concave and convex surfaces is presented.
KEYWORDS: five-axis milling, barrel mill

Złożone powierzchnie najczęściej obrabia się frezami kulistymi. Jednak ze względu na stosunkowo małą szerokość ścieżki obróbkowej praca tymi frezami jest mało wydajna. Małe szerokości ścieżek obróbkowych b_r wynikają z małego promienia zarysu krawędzi skrawającej r_n. Dlatego poszukuje się nowych geometrii frezów, które umożliwią stosowanie znacznie szerszych ścieżek obróbkowych. Do tych narzędzi należą frezy o baryłkowym zarysie krawędzi skrawającej (rys. 1) [2–4].



Rys. 1. Obróbka frezem: *a*) kulistym oraz *b*) baryłkowym [2, 3]

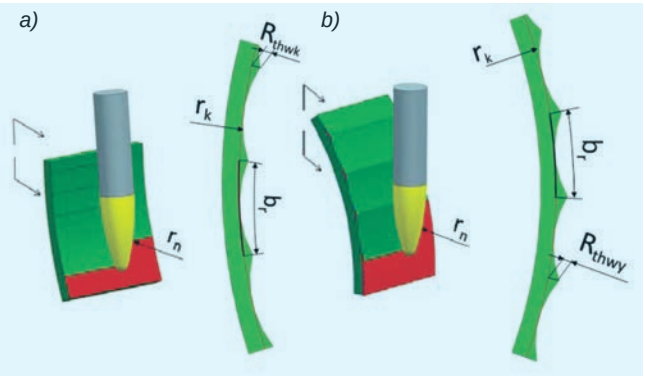
Zastosowanie tych frezów wiąże się z zupełnie innym nakładaniem się ścieżek obróbkowych, co istotnie wpływa na wydajność powierzchniową i maksymalną teoretyczną wysokość profilu R_{th}, którą określa się wzorem [2–4]:

$$R_{\mathrm{th}} = r_{\mathrm{n}} + \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \frac{b_{\mathrm{r}}^2}{4}}$$

gdzie: r_n – promień zarysu krawędzi skrawającej, b_r – szerokość ścieżki.

Wraz z poszerzaniem ścieżki obróbkowej b_r zwiększeniu ulega pole przekroju warstwy skrawanej. Ma to wpływ na rozkład oraz wartość siły skrawania, co z kolei skutkuje odkształceniami sprężystymi układu OUPN i przekłada się na błędy wymiaru oraz kształtu obrabianej powierzchni. Stąd bardzo ważna jest analiza pola przekroju warstwy skrawanej [1, 9].

Ponadto w przypadku obróbki powierzchni złożonych oprócz promienia r_n istotny wpływ na maksymalną wysokość profilu ma promień krzywizny powierzchni obrabianej r_k – zarówno powierzchni wklęsłych, jak i wypukłych (rys. 2) [5, 7].



Rys. 2. Obróbka frezem baryłkowym powierzchni: *a*) wklęsłych, *b*) wypukłych

W obróbce powierzchni wklęsłej wraz ze zmniejszaniem promienia krzywizny r_k powierzchni obrabianej maleje maksymalna wysokość profilu R_{thwk}, zgodnie z zależnością:

$$R_{\mathrm{thwk}} = r_{\mathrm{k}} - (r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \cos\frac{b_{\mathrm{rwk}}}{2r_{\mathrm{k}}} - \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \left[(r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \sin\frac{b_{\mathrm{rwk}}}{2r_{\mathrm{k}}}\right]^2}$$

gdzie: b_{rwk} – szerokość ścieżki obróbkowej dla powierzchni wklęsłej (wartość łukowa).

Natomiast w przypadku obróbki powierzchni wypukłych wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny rośnie maksymalna wysokość profilu R_{thwy} według zależności:

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

$$R_{\mathrm{thwy}} = (r_{\mathrm{n}} + r_{\mathrm{k}}) \cos\frac{b_{\mathrm{rwy}}}{2r_{\mathrm{k}}} - \sqrt{r_{\mathrm{n}}^2 - \left[(r_{\mathrm{k}} + r_{\mathrm{n}}) \sin\frac{b_{\mathrm{rwy}}}{2r_{\mathrm{k}}}\right]^2} - r_{\mathrm{k}}$$

gdzie: b_{rwy} – szerokość ścieżki obróbkowej dla powierzchni wypukłej (wartość łukowa).

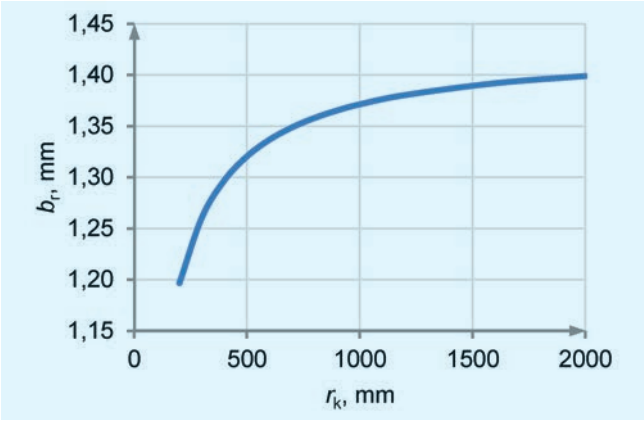
Jeśli założy się zachowanie stałej maksymalnej wysokości profilu (R_{th} = const) poprzez zmianę szerokości ścieżek obróbkowych b_{r}, można obliczyć szerokość tych ścieżek dla powierzchni wklęsłej b_{rwk} oraz dla powierzchni wypukłej b_{rwy} według zależności:

$$b_{\mathrm{rwk}} = 2r_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{acos}\left[\frac{2r_{\mathrm{k}}^2 - 2r_{\mathrm{k}} \cdot r_{\mathrm{n}} - 2 \cdot r_{\mathrm{k}} \cdot R_{\mathrm{thwk}} + R_{\mathrm{thwk}}^2}{2(r_{\mathrm{k}} - r_{\mathrm{n}}) \cdot (r_{\mathrm{k}} - R_{\mathrm{thwk}})}\right]$$

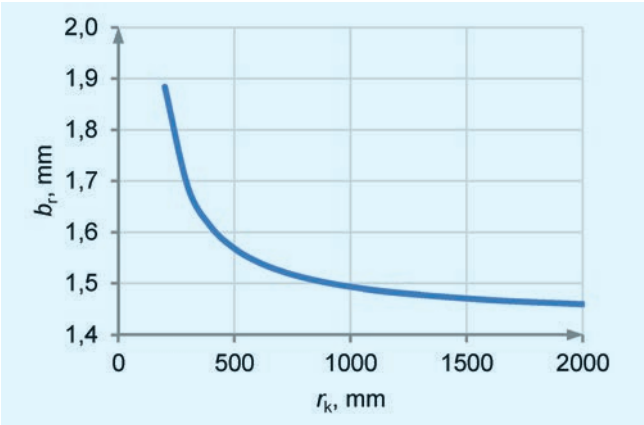
$$b_{\mathrm{rwy}} = 2r_{\mathrm{k}} \cdot \mathrm{acos}\left[\frac{2r_{\mathrm{k}}^2 + 2r_{\mathrm{k}} \cdot r_{\mathrm{n}} + 2r_{\mathrm{k}} \cdot R_{\mathrm{thwy}} + R_{\mathrm{thwy}}^2}{2(r_{\mathrm{k}} + r_{\mathrm{n}}) \cdot (r_{\mathrm{k}} + R_{\mathrm{thwy}})}\right]$$

Badania symulacyjne

W oparciu o te zależności wyznaczono szerokości ścieżek obróbkowych dla promieni krzywizny od 200 do 2000 mm. Obliczenia były prowadzone dla stałego parametru R_{th} = 3 µm. Zakres szerokości ścieżek wyniósł b_{r} = 1,46÷1,88 mm dla powierzchni wklęsłej (rys. 3) oraz 1,20÷1,44 mm dla powierzchni wypukłej (rys. 4).



Rys. 3. Szerokości ścieżki obróbkowej w funkcji promienia krzywizny obrabianej – powierzchnia wypukła



Rys. 4. Szerokości ścieżki obróbkowej w funkcji promienia krzywizny obrabianej – powierzchnia wklęsła

Szerokość ścieżki b_{r} w zależności od promienia r_{k} w przypadku obu typów powierzchni jest zmienna. Widać dużo większe różnice szerokości ścieżki b_{r} w małych zakresach promieni powierzchni obrabianych poniżej r_{k} = 500 mm.

Następnie przeprowadzono badania symulacyjne warstwy skrawanej podczas obróbki powierzchni wklęsłej oraz wypukłej frezem baryłkowym. Przyjęto stałe parametry geometryczne i technologicznie (tablica). Analizę wykonano dla szerokości ścieżek otrzymanych w wyniku przeprowadzonych obliczeń. Celem analizy było wyznaczenie maksymalnego pola przekroju warstwy skrawanej w zależności od promienia krzywizny powierzchni obrabianej przy założeniu stałej maksymalnej wysokości profilu R_{th}.

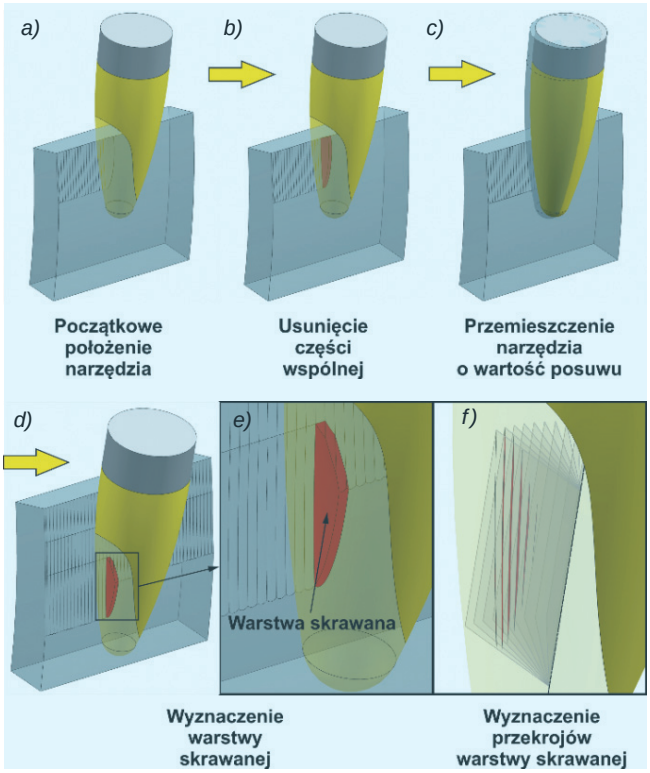
TABLICA. Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy

Maksymalna wysokość profilu R_{th}, µm	3
Promień zarysu krawędzi skrawającej r_{n}, mm	85
Średnica narzędzia d, mm	10
Posuw na ostrze f_{z}, mm	0,1
Zakres szerokości ścieżek b_{r}, mm	1,2÷1,9
Zakres promieni krzywizny powierzchni obrabianej r_{k}, mm	200÷2000

Metodyka badań

Analiza została przeprowadzona w oparciu operacje boolowskie. Uproszczeniem było przyjęcie braku pochylenia krawędzi skrawającej [6, 8].

Utworzono dwa typy modeli powierzchni obrabianej – oddzielne dla powierzchni wklęsłej oraz wypukłej. Promień krzywizny r_{k} oraz szerokość ścieżki b_{r} były sparametryzowane. Następnie zamodelowano frez baryłkowy o średnicy d = 10 mm i promieniu zarysu krawędzi skrawającej r_{n} = 85 mm. Przebieg analizy przedstawiono na rys. 5.



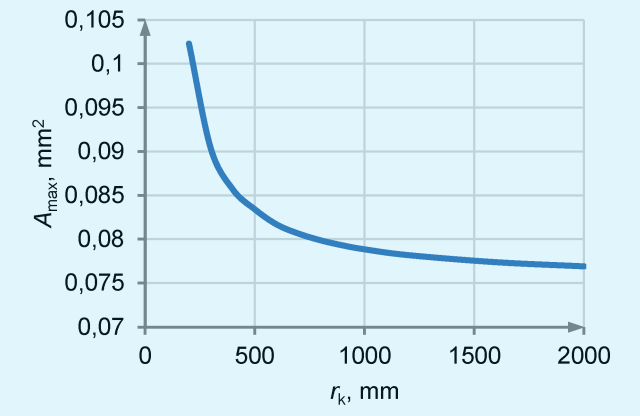
Rys. 5. Metoda wyznaczania pola powierzchni warstwy skrawanej

W pierwszym kroku ustalono położenie narzędzia względem obrabianej powierzchni (rys. 5*a*). Odjęto bryłę modelu narzędzia od powierzchni obrabianej (rys. 5*b*). Kolejnym etapem było ponowne przesunięcie modelu narzędzia z poprzedniej pozycji o wartość posuwu (rys. 5*c*).

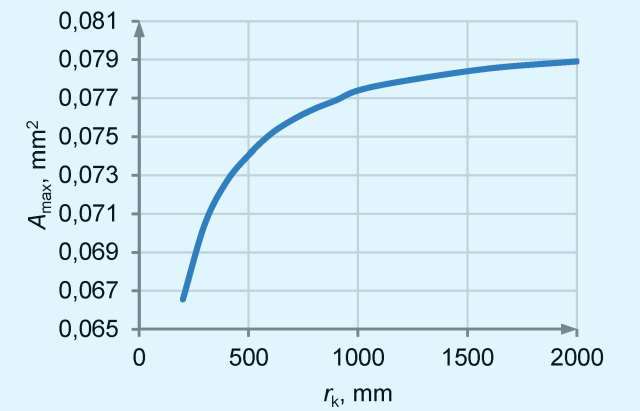
Te czynności były powtarzane do momentu wykonania założonej liczby ścieżek (rys. 5*d*). Następnie wyznaczono iloczyn modelu powierzchni obrabianej oraz bryły narzędzia i otrzymano model warstwy skrawanej (rys. 5*e*). Na etapie końcowym wyznaczono przekroje warstwy i odczytano pola powierzchni (rys. 5*f*) [10].

Analiza wyników

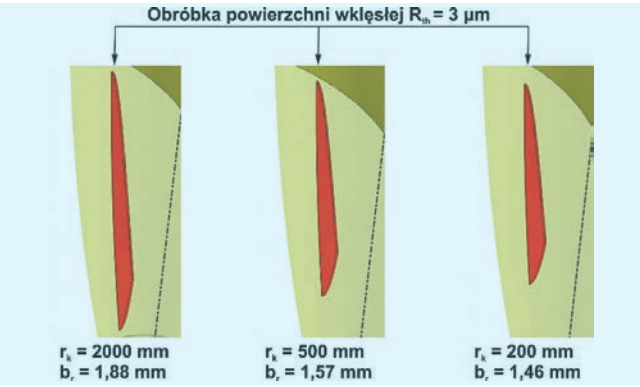
W przypadku obróbki powierzchni wklęsłej o promieniu krzywizny r_k = 200 mm pole przekroju warstwy skrawanej A_{max} wyniosło 0,103 mm^2 (rys. 6). Jest to wartość o ok. 30% większa w porównaniu z polem przekroju warstwy skrawanej w obróbce powierzchni wklęsłej o promieniu r_k = 2000 mm. Zmienność pola przekroju warstwy skrawanej była znacznie większa w zakresie promieni krzywizny r_k poniżej 500 mm. Ponadto wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny powierzchni obrabianej wydłużał się styk narzędzia. Widoczna jest zmiana ukształtowania warstwy skrawanej, zwłaszcza przy najmniejszych promieniach krzywizny powierzchni obrabianej (rys. 8).



Rys. 6. Maksymalne pole powierzchni warstwy skrawanej A_{max} w funkcji promienia krzywizny powierzchni obrabianej r_k dla powierzchni wklęsłej przy R_{thwk} = const

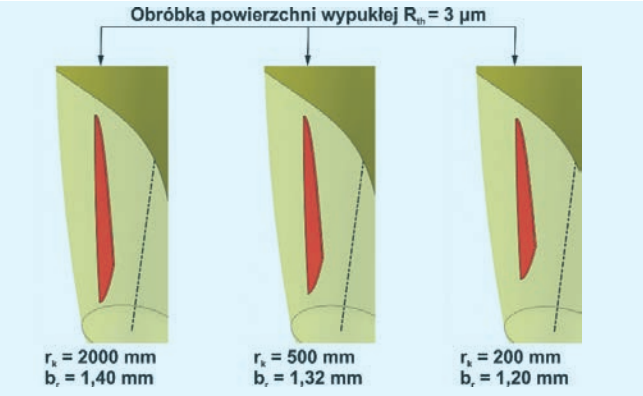


Rys. 7. Maksymalne pole powierzchni warstwy skrawanej A_{max} w funkcji promienia krzywizny powierzchni obrabianej r_k dla powierzchni wypukłej przy R_{thwy} = const



Rys. 8. Modele warstwy skrawanej powierzchni wklęsłej

Natomiast w przypadku obróbki powierzchni wypukłych wraz ze zmniejszaniem się promienia krzywizny powierzchni obrabianej zmniejszało się pole przekroju warstwy skrawanej. Różnica w przypadku obróbki powierzchni o promieniu krzywizny r_k = 200 mm wyniosła ok. 20% względem powierzchni o promieniu krzywizny r_k = 2000 mm. Podobnie jak w przypadku powierzchni wklęsłych, zmienność pola przekroju była znacznie większa dla promieni krzywizny r_k mniejszych od 500 mm.



Rys. 9. Modele warstwy skrawanej powierzchni wypukłej

Podsumowanie

W obróbce powierzchni złożonych frezem baryłkowym ważnym parametrem jest promień krzywizny powierzchni obrabianej. Aby uzyskać stałą jakość powierzchni, niezbędna jest zmiana szerokości ścieżek obróbkowych, co przekłada się na zmiany pola przekroju warstwy skrawanej. Ponieważ różnice są znaczne i przekraczają 20%, powinny być one uwzględniane podczas projektowania procesu obróbkowego.

LITERATURA

1. Boz Y., Erdim H., Lazoglu I. „A comparison of solid model and three--orthogonal dexelfield methods for cutter-workpiece engagement calculations in three- and five-axis virtual milling". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2013).
2. Burek J., Żurek P., Sułkowicz P., Żurawski K. „Programowanie procesu 5-osiowej symultanicznej obróbki frezem baryłkowym w programie HyperMILL". *Mechanik.* 89, 5–6 (2016): s. 470÷471.
3. Burek J., Żurek P., Żurawski K. „Porównanie chropowatości powierzchni złożonych po obróbce frezem baryłkowym oraz kulistym". *Mechanik*. 10 (2016).
4. Chaves-Jacob J., Poulachon G., Duc E. „Optimal strategy finishing impeller blades using 5-axis machining". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 58 (2012): s. 5731÷5830.
5. Gong H., Fang F.Z., Hu X.T., Cao L.–X., Liu J. „Optimization of tool positions locally based on the BCELTP for 5-axis machining of free--form surfaces". *Computer-Aided Design*. 42 (2010): s. 558÷570.
6. Iwabe H., Shimizu K. "Analysis of cutting mechanism by ball end". *3D-CAD JSME International Journal.* C, 49 (2006).
7. Meng F.-J., Chen Z.-T., Xu R.-F., Li X. „Optimal barrel cutter selection for the CNC machining of blisk". *Computer-Aided Design*. 53 (2014): s. 36÷45.
8. Urban B. "*Kinematische und mechanische wirkungen des Kugelkopf-frasens*". Hannover: Gottfried Wilhelm Leibnitz Universitat Hannover, 2009.
9. Yang Y., Wan M., Zhang W., Ma Y. „Extraction of cutter-workpiece engagement for multi-axis milling". *Materials Science Forum*. 770 (2014): s. 357÷360.
10. Yang Y., Zhang W., Wan M., Ma Y. "A solid trimming method to extract cutter-workpiece engagement maps for multi-axis milling". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2013).



OBRABIARKI CNC

APX Technologie Sp. z o.o. jest przedstawicielem 15 producentów obrabiarek CNC z całego świata.
Czołowymi dostawcami są:

- japońskie firmy: FANUC, MATSUURA, TOSHIBA MACHINE oraz TAKISAWA
- tajwańscy producenci: HARTFORD, GOODWAY, QUASER, PROTH
- niemiecka firma ZIMMER&KREIM
- włoskie firmy: FPT i MANDELLI

W szerokiej ofercie APX znajdują się m.in.: frezarskie centra obróbkowe, obrabiarki hybrydowe (spiekanie laserowe oraz frezowanie metalu), tokarskie centra obróbkowe, wytaczarki, obrabiarki elektroerozyjne, szlifierki, systemy wielopaletowe, systemy magazynujące, systemy zrobotyzowane, systemy do obróbki wykończeniowej.

www.apx.pl

apx@apx.pl

Zapraszamy do współpracy kooperacyjnej







Oferujemy naszym klientom produkcję wysokiej jakości części mechanicznych oraz pomoc w przygotowaniu projektu detalu według dostarczonej dokumentacji lub wzorca.

Zapraszamy na stoisko APX Technologie A-405



APX TECHNOLOGIE

Badania symulacyjne strefy styku w pięcioosiowej obróbce powierzchni prostokreślnych frezem stożkowym

The analysis of cutter-workpiece engagement of conical ballmill during five-axis machining of ruled surfaces

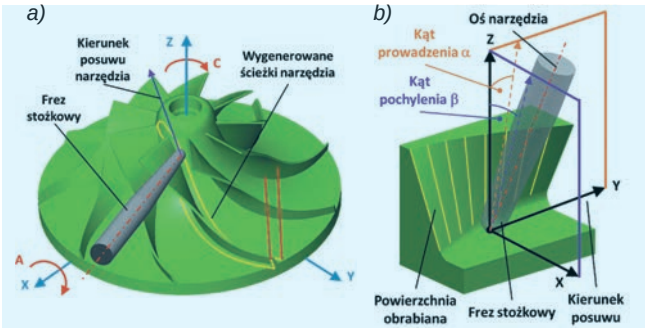
JAN BUREK
KAROL ŻURAWSKI
PIOTR ŻUREK
MARCIN SAŁATA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.104

Przedstawiono badania symulacyjne wpływu kąta prowadzenia frezu stożkowego na strefę styku narzędzia przy obróbce powierzchni prostokreślnych nierozwijalnych o różnych kątach skręcenia.
SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie pięcioosiowe, frez stożkowy, powierzchnia prostokreślna

The article presents the analysis of the influence of a conical mill's lead angle on cutter-workpiece engagement. A methodology of performing a machining simulation as well as its results during machining of ruled surfaces with varying angles of torsion is presented.
KEYWORDS: five-axis milling, conical ballmill, ruled surface

Powszechnie stosowaną strategią obróbki wirników jest wierszowanie frezem kulistym. Narzędzie wykonuje wiele przejść z małą szerokością skrawania. Strategia ta pozwala na wykonanie powierzchni o dowolnym kształcie, jednakże jest mało wydajna. Alternatywą dla tej metody jest frezowanie obwodowe frezem stożkowym (rys. 1) [2, 3, 8].



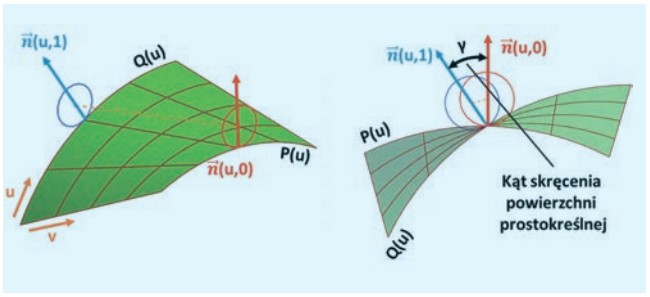
Rys. 1. Schemat: *a*) frezowania obwodowego wirnika, *b*) pięcioosiowych parametrów pozycjonowania osi narzędzia [3]

Podczas frezowania obwodowego frezem stożkowym obróbka odbywa się w jednym przejściu, w którym powierzchnia obwodowa narzędzia skrawa na całej linii styku. To pozwala na wielokrotne skrócenie czasu obróbki w porównaniu z obróbką wierszowaniem [2, 3, 8].

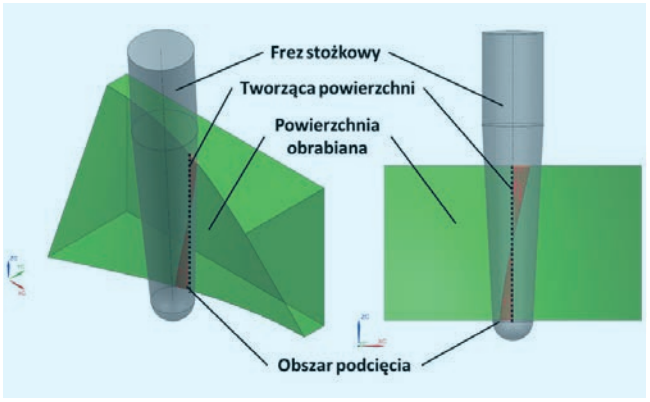
Metoda ta może być zastosowana wyłącznie do obróbki powierzchni prostokreślnych (rys. 2). Ograniczenie to wynika z liniowego kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym [2–5].

Ponadto przy obróbce powierzchni prostokreślnych nierozwijalnych istnieje ryzyko podcięć lub pozostawienia resztek naddatku obróbkowego (rys. 3). Aby tego uniknąć, niezbędna jest ciągła zmiana kąta prowadzenia α narzędzia w czasie obróbki [2–5].

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza



Rys. 2. Kąt skręcenia γ powierzchni prostokreślnej nierozwijalnej [3]



Rys. 3. Schemat powstawania podcięć podczas obróbki powierzchni prostokreślnej nierozwijalnej [3]

Analiza strefy styku narzędzia stanowi podstawę do przewidywania siły skrawania. Natomiast zmiana wartości oraz kierunek działania siły skrawania mają decydujący wpływ na odkształcenia sprężyste układu OUPN, co skutkuje błędami wymiaru oraz kształtu [1, 6, 7]. Ponadto metoda ta umożliwia wyznaczenie maksymalnej odchyłki kształtu modelu powierzchni obrabianej względem powierzchni nominalnej [5, 6].

Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu kąta prowadzenia frezu α oraz kąta skręcenia powierzchni prostokreślenej γ na pole powierzchni styku A_S frezu stożkowego oraz objętość warstwy skrawanej V w procesie pięcioosiowego frezowania obwodowego.

Badania symulacyjne

Na potrzeby badań symulacyjnych zostały utworzone sparametryzowane modele 3D powierzchni prostokreślnej nierozwijalnej o stałym kącie skręcenia γ oraz frezu stożkowego.

Możliwe było modyfikowanie wymiarów geometrycznych powierzchni testowej, m.in. długości, szerokości, wysokości, kąta skręcenia γ oraz wartości pozostawionego naddatku obróbkowego.

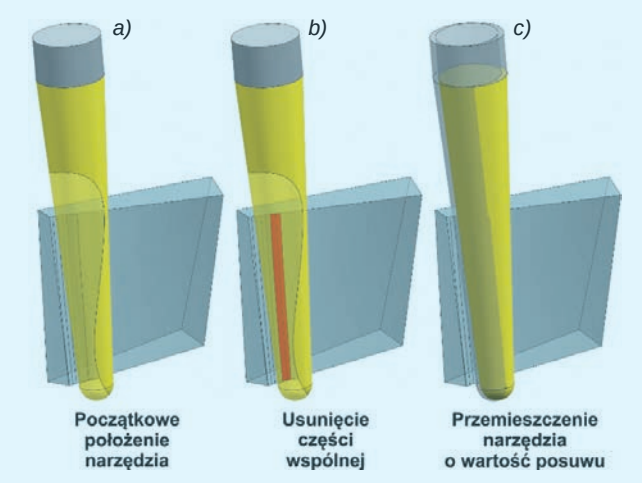
Natomiast w modelu frezu stożkowego możliwa była zmiana wymiarów geometrycznych, tj. średnicy frezu, długości części roboczej, długości całkowitej, kąta pochylenia stożka oraz pięcioosiowych parametrów pozycjonowania osi narzędzia, tj. kąta prowadzenia α i kąta pochylenia β.

Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy przedstawiono w tablicy.

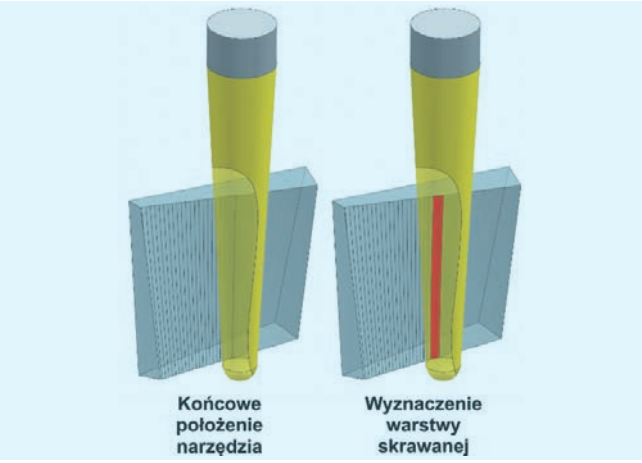
TABLICA. Parametry geometryczne i technologiczne przyjęte do analizy

Średnica narzędzia d	4 mm
Kąt stożka	6°
Posuw na ostrze f_z	0,05 mm
Głębokość skrawania a_p	0,2 mm
Szerokość skrawania a_e	20 mm
Kąt prowadzenia α	0°÷3°
Kąt pochylenia β	0°
Kąt skręcenia powierzchni γ	0°÷30°

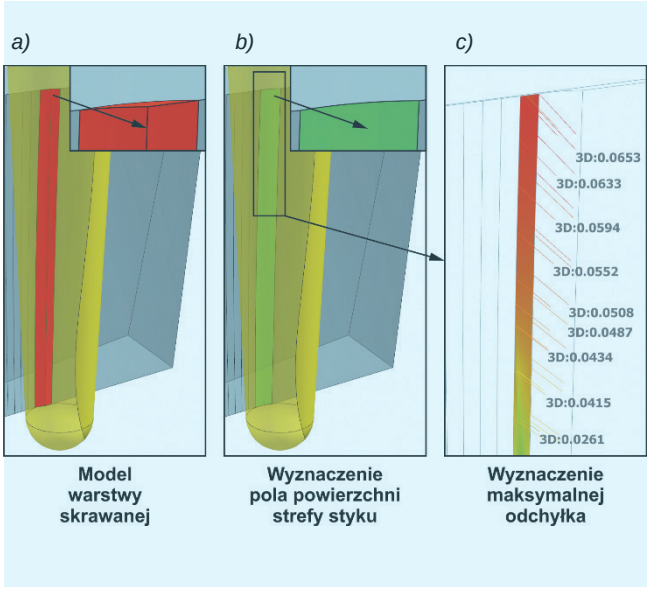
W pierwszej fazie ustalono wstępne położenie narzędzia względem obrabianej powierzchni (rys. 4*a*). Następnie wykonano operację odejmowania bryły narzędzia od modelu powierzchni obrabianej (rys. 4*b*). W kolejnym kroku przemieszczono model frezu z poprzedniej pozycji o wartość posuwu. Tę procedurę wykonano w pętli iteracyjnej do momentu zrealizowania założonej długości ścieżki (rys. 4*c*) [9, 10].



Rys. 4. Metoda wyznaczania modelu warstwy skrawanej – etap 1



Rys. 5. Metoda wyznaczania modelu warstwy skrawanej – etap 2



Rys. 6. Metoda wyznaczania strefy styku i maksymalnej odchyłki od modelu nominalnego

Na kolejnym etapie wyznaczono część wspólną modelu narzędzia i powierzchni obrabianej (rys. 5). W rezultacie uzyskano model warstwy skrawanej. Posłużył on do wyznaczenia objętości usuwanego materiału (rys. 6*a*) oraz pola powierzchni strefy styku A_S (rys. 6*b*). Dodatkowo, w oparciu o uzyskany model powierzchni obrabianej, wyznaczono wartość maksymalnej odchyłki względem modelu nominalnego (rys. 6*c*) [9, 10].

Analiza wyników

Na rys. 7–9 przedstawiono wykresy zależności wartości objętości warstwy skrawanej V, pola powierzchni strefy styku A_S oraz maksymalnej odchyłki od kąta skręcenia powierzchni γ dla różnych kątów prowadzenia α.

Z analizy rys. 7 wynika, że kąt skręcenia γ obrabianej powierzchni prostokreślnej oraz kąt prowadzenia narzędzia α mają znaczny wpływ na objętość warstwy skrawanej.

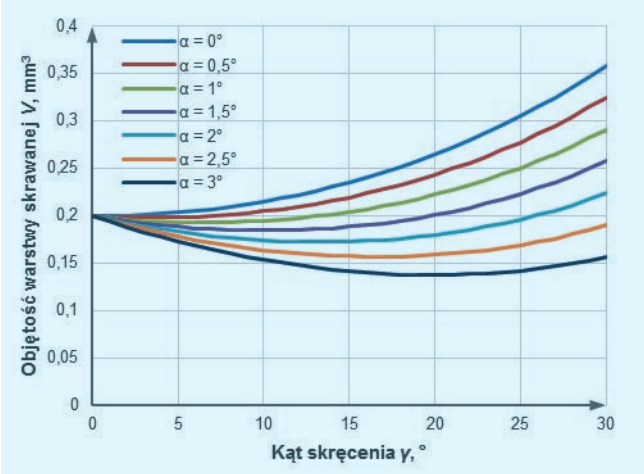
Przy obróbce z zerowym kątem prowadzenia α objętość warstwy skrawanej mieści się w zakresie od 0,20 do 0,36 mm^3. W tym przypadku objętość warstwy skrawanej V wzrasta wraz ze zwiększaniem się kąta skręcenia γ powierzchni obrabianej. Natomiast po wprowadzeniu kąta prowadzenia α = 3° uzyskano najmniejszą objętość warstwy skrawanej V, która mieściła się w przedziale od 0,14 do 0,19 mm^3. Należy zaznaczyć, że maksymalna wartość została osiągnięta przy zerowym kącie skręcenia powierzchni obrabianej γ natomiast najmniejsza – przy γ = 20°.

Na podstawie analizy rys. 8 można stwierdzić, że zarówno kąt skręcenia powierzchni prostokreślnej γ, jak i kąt prowadzenia α wywierają wpływ na wartość pola powierzchni strefy styku narzędzia A_S.

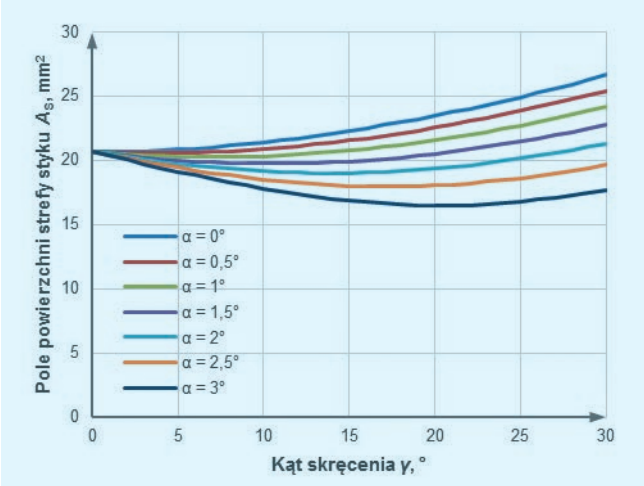
Największe wartości uzyskano przy zerowym kącie prowadzenia α i mieściły się one w zakresie od 20 do 26,7 mm^2. Podobnie jak w przypadku objętości warstwy skrawanej V, wartość pola powierzchni strefy styku A_S wzrastała wraz ze zwiększaniem się kąta skręcenia γ powierzchni obrabianej. Dla kąta prowadzenia α = 3° następuje zmniejszenie pola powierzchni strefy styku narzędzia do zakresu od 16,5 do 20 mm^2, przy czym wartość minimalna jest osiągana dla kąta skręcenia γ = 20°.

Ponadto zmiana wartości kąta prowadzenia α wypływa na ukształtowanie strefy styku narzędzia. Jest to widoczne zwłaszcza przy dużych wartościach kąta skręcenia powierzchni prostokreślnej (rys. 10).

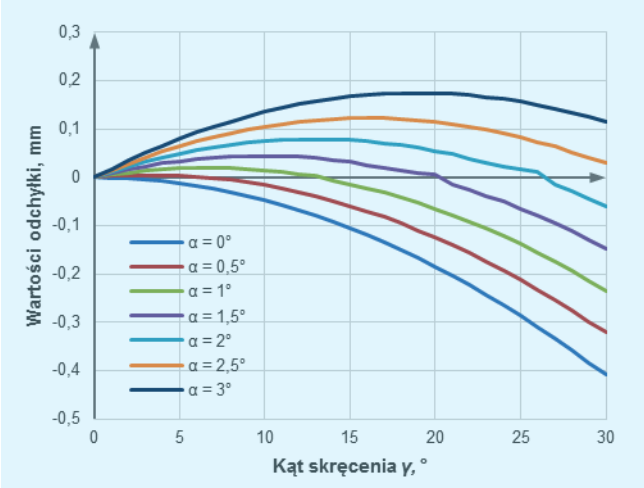
Na podstawie rys. 9 można stwierdzić, że w zależności od kąta skręcenia *γ* powierzchni prostokreślnej zmienia się wartość maksymalnej odchyłki wynikającej z podcięć



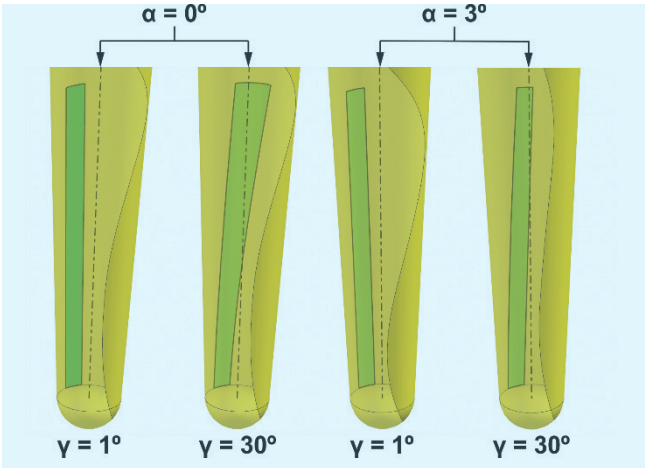
Rys. 7. Objętość warstwy skrawanej *V* w funkcji kąta skręcenia *γ* dla różnych kątów prowadzenia α



Rys. 8. Pole powierzchni strefy styku narzędzia A_S w funkcji kąta skręcenia *γ* dla różnych kątów prowadzenia *α*



Rys. 9. Wartości maksymalnej odchyłki od modelu nominalnego w funkcji kąta skręcenia γ dla różnych kątów prowadzenia *α*



Rys. 10. Strefy styku narzędzia

obróbkowych czy też pozostawienia naddatku. Widać, że rozkład odchyłek jest różny w zależności od kąta prowadzenia narzędzia. Szczególnie należy zwrócić uwagę na fakt, że dla każdego kąta skręcenia odchyłka minimalna osiągana jest przy różnym kącie prowadzenia narzędzia.

Podsumowanie

Z badań symulacyjnych można wywnioskować, że wartości kąta prowadzenia frezu α oraz kąt skręcenia *γ* powierzchni prostokreślej mają bardzo duży wpływ zarówno na objętość warstwy skrawanej *V*, jak również na pole powierzchni strefy styku A_S w procesie pięcioosiowego frezowania obwodowego.

Duża rozpiętość wartości badanych parametrów w rozpatrywanym zakresie kątów skręcenia *γ* implikuje zmienność składowych siły skrawania, które z kolei znajdują odzwierciedlenie w dokładności wykonania obrabianej powierzchni.

W celu utrzymania stałej wartości objętości warstwy skrawanej *V* i pola powierzchni strefy styku A_S konieczna jest ciągła zmiana kąta prowadzenia *α* w czasie obróbki.

LITERATURA

1. Boz Y., Erdim H., Lazoglu I. “A comparison of solid model and three--orthogonal dexelfield methods for cutter-workpiece engagement calculations in three- and five-axis virtual milling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2013).
2. Burek J., Żurawski K., Żurek P. „Wpływ kąta prowadzenia frezu na dokładność wymiarowo-kształtową powierzchni prostokreślnych”. *Mechanik*. 87, 8–9 (2014): s. 729.
3. Burek J., Żurawski K., Żurek P. „Wpływ kąta pochylenia freza na dokładność kształtową powierzchni prostokreślnych”. *Mechanik*. 89, 10 (2016): s. 1472–1473.
4. Chu C.-H., Chen J.-T. „Tool path planning for five-axis flank milling with developable surface approximation”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 29 (2006): s. 707–713.
5. Ferry W. ”*Virtual Five-axis Flank Milling of Jet Engine Impellers*”. Vancouver: The University of British Columbia, 2008.
6. Lazogul I., Boz Y., Erdim H. “Five-axis milling mechanics for complex free form surfaces”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 60 (2011): pp. 117–120.
7. Li Z.-H., Wang X.-Z., Zhu L.-M. „Arc-surface intersection method to calculate cutter-workiepce engagements for generic cutter in five--axis milling”. *Computer-Aided Design*. 73 (2016): s. 1–10.
8. Waldt N. „*NC-Programmierung fur das funfachsige Flanken-frasen von Feriformflachen*”. Universitat Hannover, 2005.
9. Yang Y., Wan M., Zhang W., Ma Y. „Extraction of cutter-workpiece engagement for multi-axis milling”. *Materials Science Forum*. 770 (2014): s. 357–360.
10. Yang Y., Zhang W., Wan M., Ma Y. „A solid trimming method to extract cutter-workpiece engagement maps for multi-axis milling”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2013).

Wybrane prace habilitacyjne dotyczące problematyki miesięcznika *Mechanik*

Magdalena Julia Kopernik: Fizyczne i matematyczne modelowanie zagadnień materiałowych dla części mechanicznej komory wspomagania pracy serca o podwyższonej biozgodności

Dyscyplina naukowa stopnia: inżynieria materiałowa. Data uzyskania habilitacji: 25 kwietnia 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Recenzenci: prof. dr hab. inż. czł. koresp. PAN Romuald Jerzy Będziński, prof. dr hab. inż. Mirosława Helena El Fray, prof. dr hab. inż. Jan Józef Marciniak.

Przedstawiono numeryczny model komory wspomagania serca z naniesioną nanopowloką TiN, która poprawia biozgodność. Model został opracowany w dwóch skalach – makro i mikro – w celu optymalizacji zarówno całego kształtu komory, jak i parametrów powłoki TiN. Stworzenie modelu wymagało zaawansowanych badań eksperymentalnych do walidacji obliczanego stanu odkształceń. Do rozwiązania tego problemu w skali makro wykorzystano metodę DIC. Do kalibracji i walidacji modelu w postaci układu powłoka–podłoże użyto wyników eksperymentów rozciągania i ścinania próbek w mikrokomorze SEM (*in situ*). Praca obejmuje także szeroki zakres badań materiału, niezbędnych do stworzenia modelu MES komory sztucznego serca. W skali makro wykonano badania wytrzymałościowe polimeru, będącego podstawowym materiałem komory. Natomiast w skali mikro do uzyskania własności TiN wykorzystano próbę wciskania wgłębnika oraz analizę odwrotną do jej interpretacji. W wyniku pracy powstało narzędzie numeryczne do optymalizacji i analizy porównawczej pneumatycznych komór wspomagania serca wytwarzanych w Polsce.

Słowa kluczowe: analiza odwrotna, analiza wrażliwości, cyfrowa korelacja obrazu (DIC), komora serca lewa, metody modelowania, modelowanie wieloskalowe, własności mechaniczne

Mariusz Krupiński: Nadeutektyczne stopy Zn-Al-Cu modyfikowane La, Ce, Sr oraz Ti-B

Dyscyplina naukowa stopnia: inżynieria materiałowa. Data uzyskania habilitacji: 18 maja 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Mirosław Cholewa, dr hab. inż. Dariusz Kopyciński, dr hab. Lidia Krystyna Lityńska-Dobrzyńska.

Określenie wpływu stężenia modyfikatorów w postaci La, Ce, Sr i Ti-B oraz szybkości chłodzenia na strukturę i własności nadeutektycznych stopów Zn-Al-Cu.

REKLAMA



Skuteczność modyfikacji oceniono na podstawie stopnia rozdrobnienia składników strukturalnych oraz zmian własności modyfikowanego materiału, a także przez analizę krzywych stygnięcia badanych stopów. Do opisania zjawisk zachodzących w materiale w trakcie krzepnięcia w różnych warunkach spowodowanych zmienną szybkością chłodzenia, ale również w wyniku stosowania modyfikatorów, które stanowią podłoże do heterogenicznego zarodkowania, wykorzystano metody analizy termiczno-derywacyjnej. Omawiana metoda pozwala w dokładny sposób opisać i zinterpretować kinetykę krystalizacji badanych materiałów. Umożliwia ustalenie zależności pomiędzy kinetyką krystalizacji i własnościami odlewniczych stopów cynku z dodatkiem aluminium i miedzi zarówno niemodyfikowanych, jak i modyfikowanych lantanem, cerem, strontem oraz tytanem i borem w celu uzyskania stopów cynku z aluminium o korzystniejszych i stabilnych zespołach własności użytkowych.

Słowa kluczowe: krzepnięcie stopu, modyfikacja, Zn, stop Zn-Al-Cu

Marek Adam Galewski: Rozwiązania mechatroniczne w nadzorowaniu drgań w procesie frezowania smukłymi narzędziami

Dyscyplina naukowa stopnia: budowa i eksploatacja maszyn. Data uzyskania habilitacji: 5 lipca 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Andrzej Buchacz, prof. dr hab. inż. Krzysztof Jemielniak, prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl.

Prezentowany cykl prac dotyczy problemów nadzorowania drgań występujących podczas frezowania, a zwłaszcza drgań samowzbudnych typu *chatter*, oraz metod identyfikacji parametrów modelu modalnego, które są wykorzystywane w procedurach nadzorowania drgań. W badaniach skupiono się na:

- zastosowaniu zmiennej prędkości obrotowej wrzeciona do nadzorowania drgań przedmiotów podatnych,
- tworzeniu mapy optymalnych prędkości obrotowych wrzeciona,
- aktywnej redukcji drgań przedmiotów podatnych, w tym wykorzystaniu metod symulacji *Hardware-in-the-Loop* do prototypowania algorytmu sterowania,
- modyfikacji własności dynamicznych przedmiotu obrabianego poprzez zmianę sztywności zamocowania przedmiotu w uchwycie,
- opracowaniu uniwersalnego kontrolno-pomiarowo-symulacyjnego systemu czasu rzeczywistego umożliwiającego realizację badań w tym zakresie,
- identyfikacji parametrów modelu modalnego przedmiotu z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji.

Słowa kluczowe: drganie samowzbudne, prędkość obrotowa wrzeciona, frezowanie smukłymi narzędziami

Leszek Marek Chybowski: Ważność elementów w strukturze złożonych systemów technicznych

Dyscyplina naukowa stopnia: budowa i eksploatacja maszyn. Data uzyskania habilitacji: 12 sierpnia 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Andrzej Buchacz, dr hab. inż. Sylwester Bogumił Kłysz, prof. dr hab. inż. Tadeusz Stanisław Smolnicki.

Przedstawiono syntezę zagadnień oceny ważności elementów złożonych systemów technicznych na przykładzie siłowni okrętowej statku morskiego. Dokonano krytycznej analizy aktualnych osiągnięć naukowych w tej dziedzinie. Przybliżono problemy związane z modelowaniem struktury niezawodnościowej złożonych systemów technicznych oraz praktycznym zastosowaniem znanych w teorii niezawodności miar opisujących tolerancję systemu na proces powstawania uszkodzeń jego elementów. Zaproponowano wykorzystanie autorskich metod modelowania zmiany struktury niezawodnościowej systemów w czasie ich eksploatacji poprzez wykorzystanie wektora zdarzeń zewnętrznych oraz zastosowanie płaszczyzny liczb zespolonych do analizy rezerwowania strukturalnego elementów systemu. Przedstawiono metody i miary wielokryterialnej oceny ważności elementów złożonych systemów technicznych. Szczegółowo opisano wraz z przykładami obliczeniowymi jakościowe i ilościowe metody oceny ważności elementów systemów technicznych. Omówiono analityczne i symulacyjne niezawodnościowe i ekonomiczne miary ważności. Przedstawiono autorską metodykę oceny ważności opartą na opiniach eksperckich i teorii podejmowania decyzji. Przeprowadzono wielokryterialną analizę ważności bazującą na hierarchicznym procesie decyzyjnym. Egzemplifikacji metod dokonano z wykorzystaniem wybranych podsystemów siłowni okrętowej statku. Porównano rankingi ważności uzyskane w oparciu o różne miary i kryteria. Pracę zamyka podsumowanie wraz z nakreśleniem kierunków dalszych badań tej tematyki.

Słowa kluczowe: struktura niezawodnościowa, słabe ogniwa

Roman Dyga: Wymiana ciepła i hydrodynamika przepływu przez piany metalowe

Dyscyplina naukowa stopnia: budowa i eksploatacja maszyn. Data uzyskania habilitacji: 6 lipca 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Wydział Mechaniczny Politechniki Opolskiej. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Tadeusz Bohdal, prof. dr hab. inż. Janusz Tadeusz Cieśliński, prof. dr hab. inż. Mieczysław Edward Poniewski.

Przedmiotem pracy były zjawiska hydrodynamiczne oraz cieplne zachodzące podczas przetłaczania płynów jednofazowych i dwufazowych typu gaz–ciecz przez przestrzeń wypełnioną pianami metalowymi o strukturze otwartej, jak również mechanizmy transportu ciepła w zamkniętym układzie piana–płyn. Zjawiska te opisano na podstawie informacji literaturowych oraz wyników własnych badań eksperymentalnych. Dokonano oceny wpływu parametrów geometrycznych pian, właściwości płynów i warunków przepływu na charakter przepływu płynów w przestrzeni komórkowej, dyssypację energii oraz zjawiska wymiany ciepła, zarówno przy przetłaczaniu płynu przez piany, jak i w zamkniętym, ograniczonym układzie piana–płyn. W odniesieniu do przepływów dwufazowych określono wpływ pian oraz warunków przepływu na rodzaj kształtujących się struktur przepływu gaz–ciecz. Obserwowane struktury przepływu powiązano z warunkami wymiany ciepła oraz stratami ciśnienia w przepływie dwufazowym. Opracowano mapę przepływu gaz–ciecz przez kanały wypełnione pianami metalowymi. Przygotowano model matematyczny opisujący podstawowe wielkości charakteryzujące zjawiska cieplne i hydrodynamiczne występujące podczas przepływu jedno- i dwufazowego przez kanały wypełnione pianami metalowymi

oraz w układzie piana–płyn. Zaproponowany model jest pierwszym tego typu narzędziem umożliwiającym wyznaczanie przewodności cieplnej pian metalowych wypełnionych płynami podlegającymi cyrkulacji oraz współczynnika wnikania ciepła w przepływie dwufazowym przez piany metalowe.

Słowa kluczowe: efektywne przewodzenie ciepła, hydrodynamika przepływu, piana metalowa, przepływ dwufazowy gaz–ciecz, struktury przepływu, wnikanie ciepła

Piotr Osiński: Wysokociśnieniowe i niskopulsacyjne pompy zębate o zazębieniu zewnętrznym

Dyscyplina naukowa stopnia: budowa i eksploatacja maszyn. Data uzyskania habilitacji: 20 kwietnia 2016 r. Jednostka nadająca stopień: Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Zdzisław Jan Kabza, prof. dr hab. inż. Andrzej Kęsy, dr hab. inż. Leszek Osieck.

Konstrukcja pompy zębatej jest rozwijana od ponad czterech wieków. Długi okres rozwoju mógłby wskazywać, że współczesne jednostki zębate są dopracowane w każdym detalu, a opatentowane i wdrożone rozwiązania konstrukcyjne zapewniają najwyższą szczelność wewnętrzną i minimalną pulsację wydajności. Przedstawione w niniejszej monografii rozważania teoretyczne i wyniki pomiarów otrzymanych dla jednostek prototypowych zaprzeczają jednak tej tezie. Opracowane innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne z kompensacją luzów obwodowych, modyfikacją zarysu zęba oraz z kołami typu *split* wytyczają nowe kierunki rozwoju, a co za tym idzie i zastosowań jednostek zębatych. Przykładowo: badania jednostek prototypowych wykazały, że możliwe jest uzyskanie ciśnień roboczych znacznie przekraczających ciśnienia wytwarzane przez konstrukcje konwencjonalne z kompensacją luzów osiowych i promieniowych. Dodatkowo zastosowanie kompensacji luzów obwodowych znacząco zwiększa sprawność wolumetryczną i całkowitą. Oprócz tego przeprowadzono rozważania wskazujące na możliwość obniżenia pulsacji wydajności do 2%, a nawet mniej. Zaprezentowano nowe metody poprawiające odciążenia przestrzeni zasklepionej poprzez modyfikację zarysów zęba w rejonie stopy i wierzchołka. Przedstawiona synteza wiedzy w zakresie projektowania i modelowania wysokociśnieniowych i niskopulsacyjnych jednostek zębatych stanowi nowe ujęcie problemu podnoszenia ciśnień roboczych i redukcji pulsacji wydajności na tle obecnego stanu wiedzy. Łącznie zaprezentowano siedem autorskich zgłoszeń patentowych. Publikacja skierowana jest do konstruktorów, pracowników naukowych, ale również studentów. Materiał jest wynikiem wieloletnich badań w obszarze projektowania i eksploatacji pomp zębatych prowadzonych w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. Prace realizowane były w ramach grantów badawczych, rozwojowych i celowych oraz w wyniku kooperacji z przemysłem krajowym i zagranicznym.

Słowa kluczowe: koła zębate, kompensacja, kompensacja luzów osiowych, kompensacja luzu obwodowego, ochrona przed hałasem, pompa zębata, pompy, pulsacja, pulsacja ciśnienia, sprawność pompy

Wyboru dokonał
prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c.
we współpracy z OPI – PIB

REKLAMA



Gotowi na wyzwania Przemysłu 4.0

Konferencja prasowa firmy Makino

Japoński producent obrabiarek Makino Milling Machine zamknął rok finansowy stabilnymi obrotami w skali globalnej. Istotny wzrost eksportu zrekompensował spadek popytu na krajowym rynku. Pomimo niepewności politycznej na świecie udało się osiągnąć rekordowo wysoki poziom obrotów w obydwu Amerykach, Europie i Azji. Wolumen zamówień z Europy wzrósł o ponad 70%, głównie za sprawą klientów z sektorów lotniczego i komponentów przemysłowych.

Skonsolidowane obroty za rok finansowy 2016 w skali globalnej wyniosły 153 641 mln jenów (-5,1% w porównaniu z rokiem ubiegłym i +1,7% w lokalnych walutach). Choć obroty grupy w Japonii spadły o 7,9%, osiągnęła ona jednak rekordowe wyniki w innych regionach – w obydwu Amerykach wzrost na poziomie 10,3%, w Europie o 8,5% i w Azji (z wyłączeniem Japonii) o 4,2% w porównaniu z rokiem poprzednim (w lokalnych walutach). Dochód operacyjny grupy wyniósł 9660 mln jenów, a dochód netto: 7596 mln jenów.

Korzystna sytuacja w Europie

Liczba zamówień w Europie zwiększyła się o ponad 70% dzięki zleceniom z sektora lotniczego i koniunkturze w branży produkcji komponentów przemysłowych. Szczególnym optymizmem napawała sytuacja we Francji, Włoszech, w Hiszpanii i Polsce. *Inwestycje w rozbudowę załogi i infrastrukturę przynoszą efekty, a rok finansowy 2017 zapowiada się obiecująco* – podsumował Dr.P. Anders Ingemarsson, prezes i CEO Makino Europe. Sprzyjające warunki rynkowe oraz prezentacja szerokiej palety nowych technologii podczas wrześniowych targów EMO 2017 będą siłą napędową w drugiej połowie bieżącego roku finansowego.

Dalszy wzrost w Chinach i Indiach

Spadek obrotów w Japonii przypisuje się w głównej mierze sytuacji w branży matryc i form. Dodatkowo odczuwalne było wahanie nakładów kapitałowych. W obecnym roku finansowym przewiduje się zwiększenie inwestycji, zwłaszcza w sektorze motoryzacyjnym, gdzie na rynku ma się pojawić wiele nowych modeli. Ogromne zaangażowanie firmy Makino w nowe centra obróbkowe przeznaczone dla przemysłu motoryzacyjnego oraz do produkcji matryc i form także powinno zaowocować zwiększeniem wolumenu zamówień. W styczniu zeszłego roku grupa otworzyła centrum technologii w Nagoyi z myślą o dalszej intensyfikacji działań związanych ze wsparciem technicznym w regionie.



Korzystna sytuacja w pozostałej części Azji to głównie zasługa rynku maszyn produkcyjnych. Także w Chinach udało się znacząco zwiększyć liczbę zamówień w związku z możliwościami, jakie pojawiły się w branżach IT i motoryzacyjnej, podobnie jak w Indiach, gdzie odnotowano wzrost produkcji pojazdów dwu- i czterokołowych oraz w przemyśle rolniczym. Przewiduje się, że trendy widoczne w Chinach i Indiach będą się utrzymywać. Również poszerzenie funkcjonalności smartfonów będzie stymulować popyt na wysoko wyspecjalizowane obrabiarki. Aby sprostać zwiększonemu zapotrzebowaniu na centra obróbkowe w Azji, firma Makino realizuje znaczącą inwestycję w Singapurze.

W tym roku amerykańska spółka Makino wykonała dwa istotne kroki w kierunku wzmocnienia swojej pozycji w Ameryce Północnej: w styczniu otwarto nowe centrum technologii w Monterrey w Meksyku, a nieco później ogłoszono fuzję z dostawcą materiałów eksploatacyjnych EDM – Global EDM Supplies. Fuzja przyczyni się do rozszerzenia działalności Makino w dziedzinie materiałów eksploatacyjnych SST, gwarantując klientom szerszy zasięg geograficzny, większe zróżnicowanie produktów oraz lepszą dostępność obsługi i wsparcia technicznego.

Choć obroty w Stanach Zjednoczonych jeszcze nigdy nie były tak wysokie, liczba zamówień zmalała w porównaniu z rokiem ubiegłym ze względu na pogorszenie się sytuacji na rynku motoryzacyjnym i opóźnienia dużych zamówień w branży lotniczej i kosmicznej. Perspektywy rozwoju sektora produkcji półprzewodników oraz odroczone w czasie możliwości realizacji transakcji w branży lotniczej pozwalają jednak przewidywać, że liczba zamówień powróci do poziomu z lat ubiegłych.

Podczas konferencji przedstawiciele firmy Makino zapowiedzieli poszerzenie rodziny pięcioosiowych centrów obróbkowych o kolejny produkt – a500Z. Nowe poziome centrum obróbkowe opracowano w oparciu o sprawdzone technologie serii Makino a1, specjalnie z myślą o produkcji złożonych części. Bardzo sztywna konstrukcja a500Z i jej niski współczynnik bezwładności zapewniają efektywność na poziomie maszyn czteroosiowych. Jednorodne żeliwne łoże z trzypunktowym podparciem, o ukośnej konstrukcji stołu, gwarantuje stabilność. Symetryczna ukośna konstrukcja, podobna do stosowanej w maszynach z serii a1, minimalizuje pętlę siły, aby zagwarantować większą efektywność. Dzięki zastosowaniu innowacyjnej technologii stół obrotowy ma minimalny wysięg i doskonałą sztywność.

W a500Z wykorzystano wrzeciono Makino 303 Nm HSK-A63 o wysokim momencie obrotowym. Najlepsze zakłady zajmujące się produkcją na zlecenie stawiają czoła takim wyzwaniom, jak: częste zmiany modeli, krótki czas na przeprogramowanie, rozliczne operacje pozycjonowania i indeksowania oraz krótki czas ręcznej kontroli detali na maszynie. Obrabiarka a500Z zapewnia dużą dokładność pozycjonowania dzięki niewielkiej odległości pomiędzy punktem obrotu osi *A* a miejscem, w którym znajduje się detal. Minimalizacja różnic poziomów na szwach



W roku jubileuszu 80-lecia istnienia firma Makino spogląda w przyszłość, skupiając się na przełomowych, innowacyjnych technologiach idealnie dopasowujących się do potrzeb klientów z najróżniejszych branż. *Podczas wrześniowych targów EMO firma Makino przedstawi nowe rozwiązania zastosowane w poziomych i pionowych centrach pięcioosiowych oraz elektrodrążarkach do obróbki komponentów przemysłowych, a także w produkcji matryc i form oraz w sektorze lotniczym, w pełni przygotowane do automatyzacji i spełniające wymogi Przemysłu 4.0* – zapowiedział Dr.P. Anders Ingemarsson, prezes i CEO firmy Makino Europe, podczas konferencji, która odbyła się pod koniec czerwca w Kirchheim. *Zaprezentujemy m.in. elastyczne a jednocześnie sztywne pięcioosiowe poziome maszyny do produkcji części, nadzwyczaj dynamiczne pionowe pięcioosiowe maszyny do produkcji wirników, pionowe pięcioosiowe centra obróbkowe do wysoko wydajnej obróbki form do części motoryzacyjnych oraz nową generację elektrodrążarek* – dodał.

w obróbce indeksowanej i zdolność do przemieszczania ciężkich detali oraz doskonały współczynnik przyspieszenia i zatrzymania podczas równoczesnej obróbki pięcioosiowej pozwalają na dalszą redukcję czasu skrawania.

Podczas tegorocznych targów EMO w Hanowerze Makino pokaże także nowe pięcioosiowe pionowe centra obróbkowe L2, doskonałe do wielkoseryjnej produkcji części. Charakteryzują się one wysoką precyzją i dużą sztywnością oraz kompaktową budową dzięki niewielkiej podstawie. Dwa modele, przeznaczone do zastosowań z indeksowaniem oraz obróbki wirników, zostały zaprojektowane z myślą o wielkoseryjnych procesach produkcji niewielkich części i są przystosowane do automatyzacji.

Kompaktowa budowa tych maszyn pozwala na ich efektywne wykorzystanie w każdym układzie produkcji detali, począwszy od ręcznego przenoszenia części aż po ich automatyczne przesuwanie w systemach obsługiwanych przez roboty. Wyposażone w wysoko wydajne wrzeciono centra obróbkowe doskonale sobie radzą z operacjami frezowania, wiercenia i gwintowania różnych części, a jednocześnie spełniają rygorystyczne wymogi oraz gwarantują szybkość i przyspieszenie pozwalające na wielokrotne skrócenie cyklu obróbki części. L2 mogą się poszczycić podwójnym silnikiem z bezpośrednim napędem (DD) i hamulcem na osi *A* oraz pojedynczym silnikiem z bezpośrednim napędem i hamulcem na osi *C*, co gwarantuje nadzwyczajną szybkość i dokładność pięcioosiowej obróbki.

Monika Kaczmarek



Nowości Makino – a500Z i L2 – będą prezentowane na tegorocznych targach EMO

Obróbka z wysokimi prędkościami skrawania cienkościennych konstrukcji lotniczych

High speed machining of the thin-walled aircraft constructions

PAWEŁ BAŁON
EDWARD REJMAN
ROBERT SMUSZ
BARTŁOMIEJ KIEŁBASA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.105

Przedstawiono strategię obróbki przedmiotów cienkościennych, która stwarza szereg problemów technologicznych związanych ze zmianą kształtów i wymiarów przedmiotu obrabianego, oraz sposoby przeciwdziałania drganiom podczas obróbki skrawaniem, aby nie następowało pogorszenie struktury geometrycznej powierzchni obrabianej – chropowatość powierzchni. Z kolei odkształcenia plastyczne mogą być przyczyną błędów kształtu oraz źródłem naprężeń własnych w warstwie wierzchniej, trudnych do usunięcia, powodujących deformację przedmiotu po obróbce. Podnosi to koszty wytwarzania, zwłaszcza przedmiotów cienkościennych, z uwagi na powstawanie braków i wydłużanie czasu produkcji. W celu poprawy jakości wykonania przedmiotów cienkościennych zastosowano kilka sposobów minimalizacji odchyłek kształtu i chropowatości powierzchni, takich jak: optymalizacja strategii obróbki, podwyższanie prędkości skrawania v_c, optymalizacja parametrów skrawania, zwłaszcza posuwu na ostrze f_z oraz promieniowej głębokości skrawania a_p i szerokości warstwy skrawanej a_e ze względu na minimalizację składowej siły skrawania prostopadłej do powierzchni frezowanej ścianki.
SŁOWA KLUCZOWE: obróbka z wysokimi prędkościami skrawania, frezowanie, konstrukcje cienkościenne

Machining operations of thin-walled elements generate a lot of production process issues related to deformations and elastic and plastic displacements of the workpiece. Due to displacements of the milled workpiece, vibrations can occur, and thus, geometric errors may occur on surface in the structure of the workpiece. Furthermore, plastic deformation can also cause shape problems and be a source of internal stresses in the ***surface layer, which are highly difficult to remove and lead to*** *deformation of the workpiece after machining. Consequently, this leads to an increase in the manufacturing costs of machining operations, especially of thin-walled elements, due to shortages and increased manufacturing time. It is recommended that multiple methods for minimizing machining errors be utilized to improve the quality of thin walled elements, such as: optimization of the machining strategy, increase of the cutting speed v_c, optimization of cutting parameters, especially feed per blade f_z, the radial depth of cut a_e due to the minimization of the cutting force component perpendicular to the surface of the milled wall.*
KEYWORDS: high speed machining, milling, thin-walled constructions

* Dr inż. Paweł Bałon (p.balon@szel-tech.pl), mgr inż. Bartłomiej Kiełbasa (bartek.kielbasa@gmail.com) – Szel-Tech Szeliga Grzegorz; dr inż. Edward Rejman (erejman@prz.edu.pl), dr inż. Robert Smusz (robsmusz@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Frezowanie z dużą prędkością skrawania HSM (*high speed machining*) jest stosowane w przemyśle lotniczym, zwłaszcza podczas obróbki stopów aluminium [6]. Czynnikiem odróżniającym HSM od innych technik frezowania jest taki dobór parametrów – szerokości frezowania, głębokości skrawania, posuwu oraz prędkości skrawania – który zapewnia dobrą jakość oraz dokładność wymiaru i kształtów przedmiotu obrabianego, a równocześnie wysoką wydajność, aby skrócić proces wytwarzania elementów integralnych.

Wprowadzenie metody HSM umożliwia wykonywanie z pełnego materiału bardzo skomplikowanych integralnych części lotniczych o cienkich ściankach. Obecnie w projektowaniu struktury samolotów dąży się do tego, aby składała się ona głównie z elementów integralnych, które we wcześniej stosowanych technologiach wytwarzane były poprzez łączenie części za pomocą spawania, zgrzewania lub nitowania. Można do tej grupy zaliczyć: żebra, podłużnice, dźwigary i wręgi, a także pokrycia kadłuba i skrzydła. Po frezowaniu części te są montowane w większe zespoły.

Stosowanie dużych prędkości obróbki skrawaniem umożliwia ekonomiczne wytwarzanie elementów integralnych, poprzez skracanie czasu obróbki, ale również poprawia jakość powierzchni obrabianej, ponieważ siły skrawania są znacznie mniejsze niż w klasycznych sposobach obróbki [1, 5].

Jednym z podstawowych czynników decydujących o wprowadzeniu metody HSM w przemyśle lotniczym jest wydajność procesu skrawania Q w mm^3/min, zależna od głębokości i szerokości skrawania a_p i a_e oraz prędkości posuwu V_f [4, 8]. Stosowanie nadmiernych parametrów skrawania, zwłaszcza posuwu i głębokości, powoduje wystąpienie niekorzystnego zjawiska, jakim są drgania samowzbudne (*chatter*). Zakresy dopuszczalnej, stabilnej pracy obrabiarki prezentowane są za pomocą tzw. krzywej workowej przedstawiającej zależność głębokości skrawania od prędkości obrotowej narzędzia dla ustalonych pozostałych parametrów procesu.

W przypadku obróbki konstrukcji cienkościennych reprezentatywnym parametrem jest stosunek wysokości do grubości frezowanej ścianki; może on być [7]:
- mały < 15:1,
- umiarkowany od > 15:1 do < 30:1,
- wysoki > 30:1.

Ten współczynnik wpływa na sztywność giętną obrabianego elementu, a co za tym idzie – na deformacje powstające podczas obróbki. Aby zmniejszyć ugięcie ścianki, stosuje się odpowiednią liczbę przejść narzędzia i skraca czas kontaktu narzędzia z przedmiotem obrabianym przez

zastosowanie wysokiej prędkości skrawania oraz małego stosunku głębokości skrawania a_p do szerokości warstwy skrawanej a_e. Istotną rolę odgrywa stabilność narzędzia i obrabianej ścianki. W przypadku mało sztywnego podparcia frezowanego fragmentu przedmiotu cienkościennego należy stosować frezowanie przeciwbieżne. Przy stosunku wysokości do grubości poniżej 15:1 obrabia się jedną stronę ścianki w niezachodzących na siebie przejściach. Frezowanie należy powtórzyć dla drugiej strony. Celowy jest również podział naddatku obróbkowego na część przeznaczoną do obróbki zgrubnej i wykończeniowej, z zachowaniem odpowiednich proporcji głębokości skrawania.

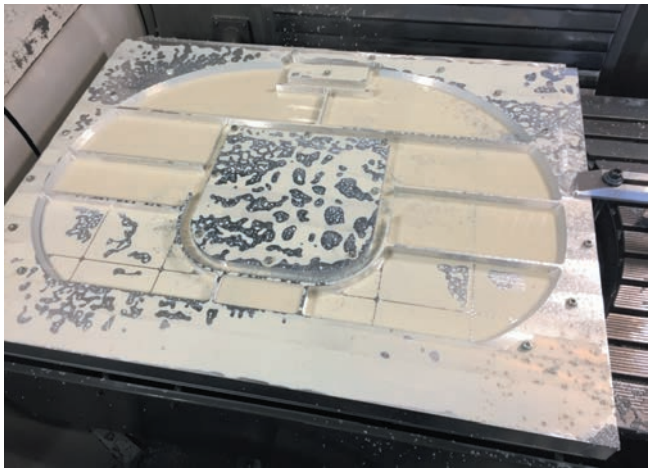
Przedmiot badań

Przedmiotem prac była wręga samolotu wykonana ze stopu aluminium 7075 (EN 10204) o składzie chemicznym: Al 89,72%; Cu 0,09%; Mn 0,11%; Mg 1,6%; Zn 0,03%; Si+Fe 2,5%. Jako półfabrykaty wykorzystano dwie płyty o wymiarach 60 × 1190 × 1215 mm i masie 243 kg, dostarczone w stanie przesyconym. Wymiary gabarytowe obrabianego przedmiotu były następujące: 1012 × 1354 × 55,8 mm. W konstrukcji występowały ścianki o grubościach 1, 2 i 3 mm. Największe swobodne powierzchnie płaskie (bez żeber) to 393 × 385,4 × 1 mm. Stosunek wysokości żeber do ich grubości *h*/*g* zawierał się w zakresie 10÷12,9. Promienie przejść między ściankami i żebrami wynosiły 2 mm.

Wręgę frezowano na obrabiarkach firmy DMG MORI DMU 75 (obróbka zgrubna). Zrealizowano dwie wersje obróbki. Obróbka ubytkowa zgrubna odbywała się z prędkością obrotową wrzeciona n = 15 000 obr/min i miała na celu przygotowanie baz obróbkowych do kolejnych operacji. Przedmiot zamocowano na stole obrabiarki za pomocą łap dociskowych.

Detale wykonano w dwóch fazach: obróbki kształtującej i obróbki wykończeniowej. Prace prowadzono na dwóch detalach (i dwóch obrabiarkach) równocześnie, zastosowano obróbkę symetryczną i niesymetryczną kieszeni. Dla obróbki niesymetrycznej frezowanie kieszeni prowadzono naprzemiennie w stosunku do osi symetrii wręgi. Po zakończeniu obróbki oceniono odkształcenia wręgi.

Dwustronne wykonanie kieszeni wręgi wymagało przygotowania baz obróbkowych i baz koniecznych do ustalenia i zamocowania przedmiotu obrabianego na obrabiarce (rys. 1). W tym celu zaproponowano i wykonano z półfabrykatu kołnierz z otworami walcowymi, stanowiący bazę obróbkową, a otwory pozwalały na mocowanie przedmiotu na stole obrabiarki. Bazy te zostały usunięte w ostatniej operacji obróbki wręgi, po wykonaniu jej na gotowo.



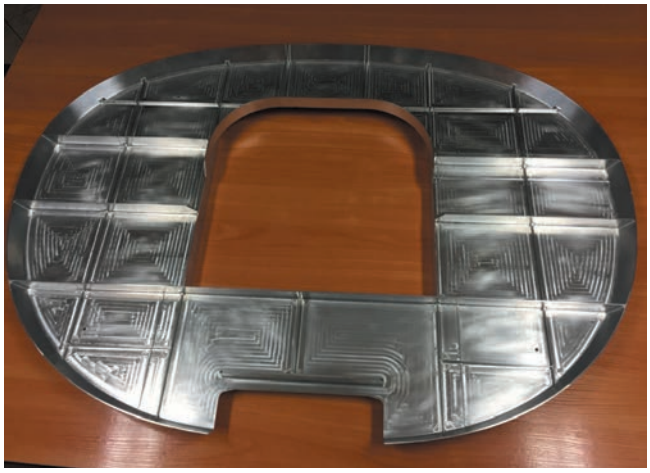
Rys. 1. Mocowanie wręgi z wykorzystaniem baz technologicznych i dodatkowych otworów wykonanych przy frezowaniu kieszeni

Zgodnie z założeniami dokumentacji konstrukcyjnej tolerancja wymiarów liniowych wręgi określana jest przez normę BN-85/3813-79 – Odchyłki wymiarów nietolerowanych, kształtu i położenia dla wyrobów lotniczych. Dla ścianek wręgi tolerancje te wynoszą g = 1÷3 mm, odchyłki: od 0 do −0,25 mm. Dla wysokości żeber: h = 20÷25,8 mm, odchyłki: od 0 do −0,52 mm. Dla wymiarów gabarytowych według dokumentacji konstrukcyjnej 1012 × 1354 mm odchyłki wynoszą: od 0 do −2,6 mm.

Obróbka skrawaniem wręgi obejmowała dwa etapy: obróbkę wstępną i wykończeniową. Liczba przejść we wszystkich przypadkach była uwarunkowana wymiarami ścianki i osiową głębokością skrawania. Podstawowym wymogiem było zapewnienie takiego przebiegu procesu obróbkowego, aby zwłaszcza w odniesieniu do żeber zapewnić jak najmniejsze ugięcie, a przy obróbce wykończeniowej uzyskać dodatkowo odpowiednią chropowatość powierzchni. W obrabianej wręgze pozostawiono naddatki na obróbkę wykończeniową na poziomie 2 mm dla dużych powierzchni czołowych oraz ok. 0,2 mm na ściankach żeber o grubości 1÷3 mm. Aby zmniejszyć ugięcie ścianki w trakcie obróbki, należało zmniejszyć siły występujące podczas skrawania. Efekt ten uzyskano poprzez pracę z dużą prędkością skrawania oraz dużym posuwem na ostrze narzędzia.

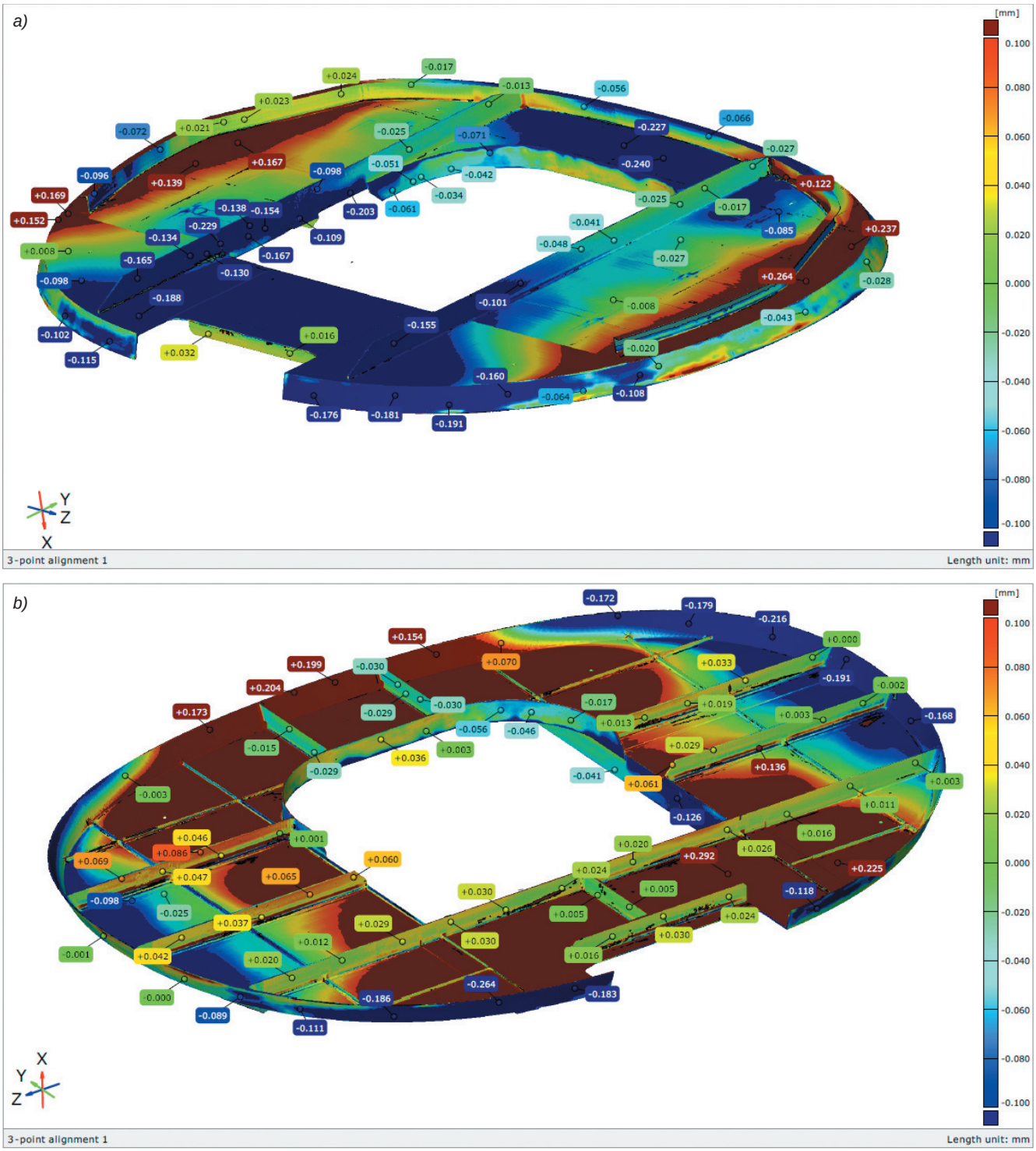
Kolejnym zabiegiem zapewniającym wysoką dokładność obróbki smukłych ścianek wręgi (stosunek wysokości do grubości wynosił ok. 13) było zachowanie odpowiedniej strategii. Najlepsze efekty uzyskano poprzez przemienną obróbkę kieszeni, ze zmianą stron obróbki i obróbką do jednakowych poziomów w każdej kieszeni [14]. W przypadku cienkich ścianek stosowano frezowanie przeciwbieżne. Największą wydajność frezowania uzyskano z zastosowaniem frezu ∅16 mm, a najniższą chropowatość i falistość powierzchni uzyskano frezem o ∅8 mm, z prędkością obrotową 20 000 obr/min.

W wyniku obróbki otrzymano wręgę zgodną z dokumentacją konstrukcyjną (rys. 2).



Rys. 2. Gotowa wręga samolotu wytworzona w procesie frezowania

Masa gotowej wręgi wynosiła 3,15 kg, a masa materiału wyjściowego – 243 kg, czyli masa wyrobu stanowiła 1,3% materiału wsadowego. Na wióry zostało zmienione 98,7% półfabrykatu. Stąd współczynnik stosowany w przemyśle lotniczym *buy-to-fly* (stosunek masy materiału wyjściowego do masy gotowej części) wyniósł 77,1. Na tej podstawie można stwierdzić, że zastosowanie frezowania HSM



Rys. 3. Mapy przemieszczeń elementów wręgi po frezowaniu metodą HSM: *a*) widok z góry, *b*) widok z dołu

do wykonywania konstrukcji cienkościennych – chociaż masa wiórów może stanowić nawet 95% materiału wsadowego – jest jak najbardziej uzasadnione. Należy podkreślić, że masa oryginalnej wręgi stosowanej dotychczas w samolocie wynosi 3,85 kg.

W celu sprawdzenia przede wszystkim kształtu, wymiarów i przemieszczeń przestrzennych wręgi dokonano jej pomiaru optycznego za pomocą skanera typu GOM (rys. 3). Badania te umożliwiają określenie wymiarów liniowych poszczególnych elementów wręgi oraz stworzenie map cyfrowych i warstwicowych obrazujących stereometrię wręgi. Mapy pozwalają wyznaczyć przemieszczenia, jakim ulega duża powierzchnia wręgi, będące następstwem naprężeń własnych powstających w konstrukcji podczas obróbki mechanicznej [2, 3]. Analiza wyników pomiarów wskazuje, że występujące odchyłki wymiarów liniowych mieszczą się w przewidzianych tolerancjach. Płyta ulega deformacji przede wszystkim względem krótszej osi symetrii. Współrzędne przemieszczenia są symetryczne względem dłuższej osi. Największe przemieszczenia osiągają wartość 0,57 mm. Uzyskane wyniki należy jednak traktować jako preferencje występujących przemieszczeń i oceniać je w kontekście stosowanej metody pomiarowej. Skaner typu GOM zapewnia dokładność pomiarów na poziomie ±0,25 mm, a co za tym idzie, takim błędem mogą być obarczone wyniki. Metoda ta jednak w sposób jakościowy pokazuje, jakich deformacji należy się spodziewać podczas obróbki wyrobów o podobnej strukturze.

TABLICA. Wymiary grubości wybranych ścianek wręgi

Nr punktu	Wymiar u podstawy	Wymiar na wierzchołku	Nr punktu	Wymiar u podstawy	Wymiar na wierzchołku	Nr punktu	Wymiar u podstawy	Wymiar na wierzchołku
1	2,00	2,02	11	3,01	3,01	21	2,01	2,02
2	2,01	2,02	12	2,05	2,01	22	2,05	2,02
3	2,01	1,95	13	2,01	2,01	23	1,99	2,00
4	1,95	2,02	14	2,01	2,01	24	1,05	
5	2,00	2,02	15	2,00	2,02	25	1,07	
6	2,05	2,00	16	2,00	2,00	26	1,06	
7	1,96	1,95	17	2,00	2,00	27	2,00	2,02
8	1,95	1,96	18	1,98		28	2,00	2,01
9	2,00	2,05	19	2,00		29	2,01	2,02
10	3,01	3,01	20	1,95		30	2,01	2,01

Aby dokładnie ocenić grubość ścianek żeber, które są najbardziej istotne z punktu widzenia wytrzymałości konstrukcji, zmierzono je mikrometrem. Pomiary prowadzono w tych punktach, gdzie spodziewano się powstania największych przemieszczeń podczas obróbki mechanicznej: u podstawy żeber oraz na ich wierzchołkach. Wyniki pomiarów podano w tablicy.

Aby ocenić kształt, wymiary i przemieszczenia przestrzenne wręgi jako podzespołu gotowego do montażu, sprawdzono ją na przyrządzie wykorzystywanym do kontroli wręg w samolotach. Badania wykazały, że wymiary wręgi mieszczą się w granicach tolerancji przewidzianych w dokumentacji technicznej i zgodnych z normą BN-85/3813-79.

Uwagi końcowe i wnioski

Zastosowanie frezowania z dużymi prędkościami skrawania zapewnia wykonanie cienkościennych wręg konstrukcji lotniczych o odpowiedniej dokładności i z uwzględnieniem możliwości obróbkowych stopów aluminium 7075. Właściwy dobór parametrów skrawania zapewnia chropowatość i falistość powierzchni obrabianej wymagane dla tej klasy wyrobów. W przypadku obróbki ścianek o stosunku wysokości do grubości <15 wpływ odkształcenia konstrukcji na dokładność wymiarową obrobionego elementu jest mało istotny. Przy większej smukłości ścianek wpływ ten zaczyna być widoczny i należy go zminimalizować przez dobór parametrów skrawania (posuwu, głębokości skrawania) [9, 10].

Zapewnienie dokładności wymiarowo-kształtowej w trakcie obróbki wymaga poprawnego wyboru baz obróbkowych i sposobu mocowania przedmiotu. W złożonych przestrzennie konstrukcjach należy przewidzieć dodatkowe bazy gwarantujące sztywność mocowania i usuwane w operacjach końcowych.

Zastosowanie metody HSM zarówno do obróbki zgrubnej, jak i wykończeniowej pozwala na skrócenie czasu wytworzenia przedmiotu. Czas wykonania prototypu wręgi, łącznie z przygotowaniem oprogramowania, wyniósł ok. 320 h. W przypadku produkcji seryjnej dzięki doświadczeniu zdobytemu podczas wytwarzania prototypu oraz sprawdzonemu programowi sterującemu czas wykonania wręgi może ulec skróceniu do 15 h.

Frezowanie z wysokimi prędkościami skrawania HSM jest obecnie jedną z kluczowych metod frezowania stosowanych w przemyśle lotniczym. Czynnikiem odróżniającym ją od innych technik frezowania jest dobór parametrów skrawania, głębokości warstwy skrawanej, posuwu oraz prędkości skrawania [11, 13].

Prace i badania zostały przeprowadzone w ramach projektu „699757/SAT-AM", temat: JTI-CS2-2015-CPW02-AIR-02-07. More Affordable Small Aircraft Manufacturing; Airframe itd. Grant Agreement No: CS2-AIR-GAM-2014-2015-01 (annex III), współfinansowanego przez Horyzonty 2020 Clean Sky 2. Specjalne podziękowania kierowane są do następujących podmiotów: Instytutu Lotnictwa, firmy Szel-Tech Szeliga Grzegorz, Zakładów Lotniczych Margański & Mysłowski, PZL Mielec, CIRA, firm Eurotech, Metrol i Ultratech.

LITERATURA

1. Lundblad M. "Influence of Cutting Tool Geometry on Residual Stress in the Workpiece". *Proc. Third Wave AdvantEdge User's Conferece*. GA. Paper 7. Atlanta 2002.
2. Shet C., Deng X. "Residual Stresses and Strains in Orthogonal Metal Cutting". *Int. J. Machine Tools Manuf*. 43, 6 (2003): s. 573–587.
3. Shih A.J., Yang H.T.Y. "Experimental and Finite Element Predictions of Residual Stresses Due to Orthogonal Metal Cutting". *Int. J. Num. Meth. Eng*. 36 (1993): s. 1487–1507.
4. Adamski W. "Manufacturing development strategies in aviation industry". *Advances in Manufacturing Science and Technology*. 34, 3 (2010): s. 73–84.
5. Mativenga P.T., Hon K.K.B. "An experimental study of cutting force in high speed end milling and implications for dynamic force modelling". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 127, 2 (2005): s. 251–261.
6. Kuczmaszewski J., Pieśko P., Zawada-Michałowska M. "Influence of milling strategies of thin-walled elements on effectiveness of their manufacturing". *Procedia Engineering*. 182 (2017): s. 381–186.
7. Zębala W. „Minimalizacja błędów przedmiotów cienkościennych". *Inżynieria Maszyn*. 15, 3 (2010): s. 45–54.
8. Oczoś K. „Obróbka wysoko wydajna HPC (*High Performance Cutting*)". *Mechanik*. 11 (2004).
9. Oczoś K. „Postęp w obróbce skrawaniem. Część III. Obróbka z dużymi prędkościami". *Mechanik*. 3 (1998).
10. Olearczyk K. „Obróbka z dużymi prędkościami skrawania (HSM)". *Mechanik*. 3 (2001).
11. Adamski W. „*Wybrane problemy projektowania i wytwarzania CAD/CAM w przemyśle maszynowym*". Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2012, ISBN 978-83-7199.
12. Adamski W. „Analiza przyczyn zmiany kształtu części lotniczych podczas obróbki skrawaniem na maszynach CNC i skuteczne przeciwdziałanie tym zjawiskom". *Mechanik*. 1 (2012).
13. Włodarczyk M. „Analiza wpływu sił skrawania oraz zamocowania na poziom naprężeń w aspekcie grubości ścianek wybranej konstrukcji kieszeniowej". *Postępy Nauki i Techniki*. 8 (2011). Politechnika Lubelska.
14. Grzesik W. „Wykorzystanie modelowania numerycznego i technik VR do doskonalenia procesów technologicznych części silnie obciążanych cieplnie i mechanicznie". *Mechanik*. 10 (2012): s. 803–817.

Uzdatnianie i utylizacja chłodziwa w obróbce skrawaniem

Treatment and disposal of coolant in machining operations

HALINA PODSIADŁO
TOMASZ SZMURŁO*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.106

W obróbce skrawaniem chłodziwa pełnią bardzo ważną rolę. Z czasem ulegają one zużyciu i w takiej postaci są szkodliwe dla ekosystemu. Ze względów ekonomicznych warto zadbać o ich uzdatnienie do ponownego użycia. Z kolei z powodu dbałości o środowisko naturalne należy je odpowiednio utylizować. Te zagadnienia są przedmiotem artykułu.
SŁOWA KLUCZOWE: ciecze chłodzące, obróbka skrawaniem, uzdatnianie chłodziwa, utylizacja, ekonomia, ekologia

Coolant plays a very important role in machining operations. Over time, coolants become worn out and, as such, they would be corruptive for the ecosystem. For economic reasons, it is worthwhile to treat them for reuse. Then for the environment protection reasons they should be properly disposed of. These issues are closing the subject of the article.
KEYWORDS: cooling liquids, machining, coolant conditioning, utilization, economics, ecology

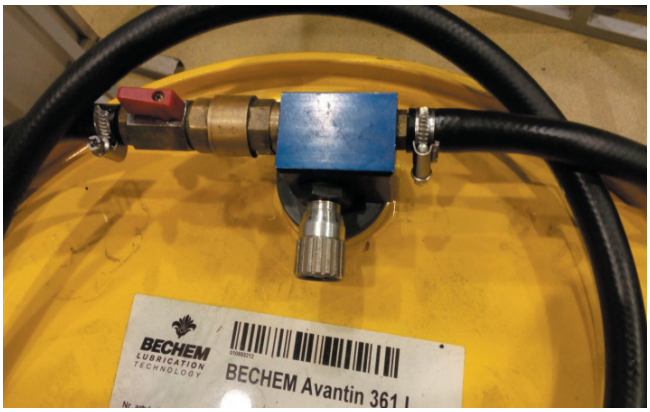
Ciecze chłodzące grają kluczową rolę w obróbce skrawaniem. Bez nich takie zabiegi, jak: wiercenie, gwintowanie czy szlifowanie, byłyby trudne do wykonania. Do zadań płynów obróbkowych należą:
- obniżenie temperatury narzędzia i przedmiotu obrabianego, co korzystnie wpływa na dokładność wymiarową wytwarzanego detalu i trwałość ostrza,
- zmniejszenie tarcia pomiędzy narzędziem a materiałem obrabianym i wiórami, co wpływa na redukcję siły i mocy skrawania, a więc zmniejszenie ilości wytwarzanego ciepła, oraz poprawę jakości obrobionej powierzchni,
- ułatwienie usuwania wiórów ze strefy skrawania,
- przeciwdziałanie powstawaniu narostu,
- zabezpieczenie antykorozyjne przedmiotu i obrabiarki.

Aby spełnić podstawowe wymagania funkcjonalne, płyn obróbkowy powinien:
- dobrze odprowadzać ciepło, za co odpowiada woda,
- mieć dobre właściwości smarne, co z kolei sprawia olej.

Płyny obróbkowe można podzielić na emulsje olejowe i czyste oleje. **Emulsje olejowe** to mieszaniny oleju, zwykle mineralnego, z wodą (w proporcji od 1:10 do 1:60) z dodatkiem emulgatorów, inhibitorów korozji i środków bakteriobójczych. Mają lepsze właściwości chłodzące od wody i znacznie wyższe od niej zdolności smarne. Poprawiają właściwości smarne, które można uzyskać dzięki dodaniu olejów roślinnych lub zwierzęcych. Dostarczane są w postaci koncentratów, które należy zmieszać z wodą, najczęściej za pomocą specjalnych mieszalników (rys. 1).

Jako **oleje** można stosować tłuszcze roślinne i zwierzęce, mineralne lub mieszane. Najczęściej wykorzystywane są oleje mineralne, jako najtańsze i najbardziej efektywne. W porównaniu z emulsjami oleje mają:
- znacznie słabsze właściwości chłodzące,
- lepsze właściwości antykorozyjne i smarne dzięki dodatkom aktywnym lub domieszkom olejów tłuszczowych.

* Prof. dr hab. inż. Halina Podsiadło (h.podsiadlo@onet.pl), inż. Tomasz Szmurło (szmurlotomasz@gmail.com) – WIP, IMiP, Politechnika Warszawska



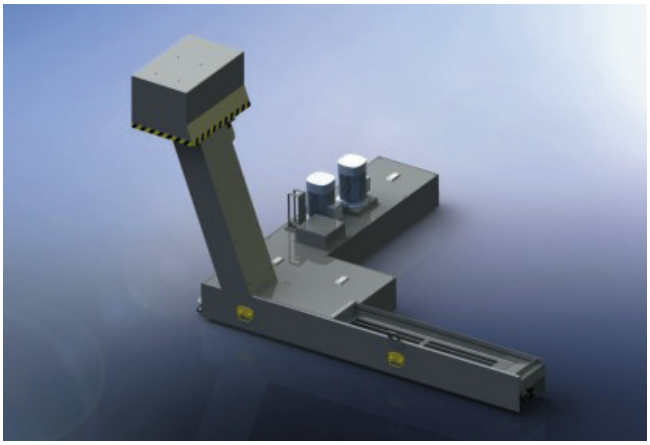
Rys. 1. Mieszalnik do dozowania koncentratu oleju z wodą [1]

Płyny oparte na olejach tłuszczowych są bardzo efektywne, także pod względem właściwości chłodzących, i łatwo ulegają biodegradacji [10].

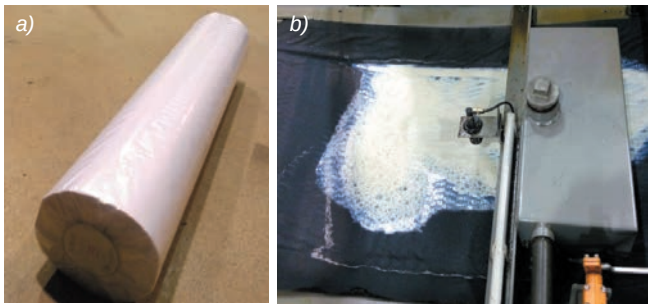
Poza emulsjami olejowymi i olejami stosuje się **syntetyczne płyny obróbkowe**. Są to roztwory wodne np. glikolu bez oleju. Wykazują właściwości podobne do emulsji olejowych, a ich przezroczystość ułatwia obserwowanie strefy obróbki [8].

Odzyskiwanie chłodziwa w skali pojedynczej firmy

Odzyskiwanie chłodziwa jest jednym ze sposobów na redukcję kosztów i świadczy o dbałości o ochronę środowiska. Najbardziej rozpowszechnione jest stosowanie układu zamkniętego, co pozwala na wielokrotne wykorzystanie tego samego płynu chłodząco-smarującego. Proces polega na tym, że chłodziwo podane w strefę skrawania spływa po detalu i stole obróbkowym razem z wiórami do szuflady bądź transportera wiórów (rys. 2). Transporter/szuflada pełnią dwie funkcje: usuwają wióry z przestrzeni maszyny oraz odseparowują chłodziwo od pozostałości po obróbce. Od tego momentu rozpoczyna się proces odzysku chłodziwa. Przepływa ono przez sita,



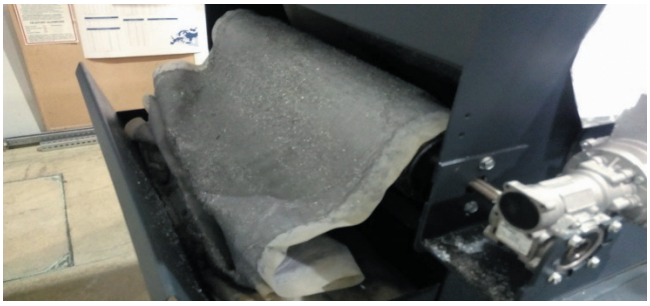
Rys. 2. Transporter wiórów [2]



Rys. 3. Zapasowa rolka materiału filtrującego [1] (*a*); proces filtracji chłodziwa z użyciem fizeliny z domieszką węgla aktywnego [1] (*b*)

na których osadzają się grubsze frakcje wiórów, a następnie jest przepompowywane do głównego zbiornika [11]. Zanim jednak tam trafi, jest filtrowane przez specjalny materiał (rys. 3*a* i *b*). Fizelina występuje w dwóch rodzajach: zwykła biała oraz czarna, zawierająca węgiel aktywny, który zapobiega rozwojowi pleśni w emulsjach pochodzenia naturalnego. Przesiąkając przez materiał, chłodziwo pozostawia na nim drobne wióry, tzw. szlam (rys. 3*b*).

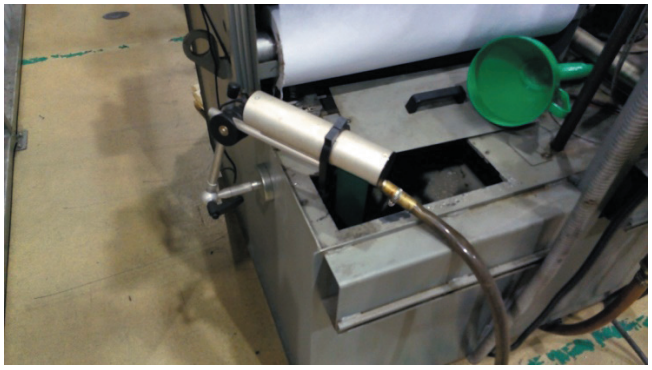
Oczyszczanie chłodziwa z drobnej zawiesiny metalicznej jest bardzo istotne ze względu na przedłużenie żywotności pomp wysokiego ciśnienia oraz zapewnienie drożności kanalików doprowadzających płyn bezpośrednio w strefę skrawania. Chłodziwo po filtracji jest z powodzeniem wykorzystywane w procesie skrawania, w obiegu zamkniętym. Zużyta fizelina z osadzonym na niej szlamem zbierana jest do przeznaczonego na nią pojemnika, a następnie utylizowana (rys. 4).



Rys. 4. Zużyta fizelina [1]

Oczyszczanie cieczy chłodząco-smarującej

Kolejnym zabiegiem przywracania własności użytkowych chłodziwa jest zebranie oleju gromadzącego się na powierzchni cieczy. Olej rozprowadzany przez układ centralnego smarowania maszyny jest dostarczany do wszystkich jej ruchomych elementów pracujących pod obciążeniem.



Rys. 5. Urządzenie do separacji oleju [1]

Nadmiar oleju spływa do przestrzeni roboczej maszyny, gdzie miesza się z cieczą chłodzącą. Za pomocą chropowatej taśmy obracanej na rolkach nagromadzony olej jest zbierany z powierzchni emulsji chłodzącej (rys. 5). Do taśmy dociśnięta jest aluminiowa rynienka, która odprowadza z niej olej, następnie olej spływa przez wężyk do oddzielnego pojemnika.

W przemyśle używane są również odolejacze na większą skalę (rys. 6), bardziej wydajne, wykorzystywane w większych zbiornikach.



Rys. 6. Odolejacz przemysłowy [3]

Systemy oczyszczania i regeneracji chłodziwa na potrzeby firmy

W odpowiedzi na coraz bardziej restrykcyjne normy ochrony środowiska oraz politykę oszczędności na rynku pojawiają się nowoczesne urządzenia do oczyszczania i regeneracji chłodziwa (rys. 7*a*). Takie urządzenia mogą być instalowane przy każdej maszynie (rys. 7*b*) korzystającej z olejowego systemu chłodzenia. Olej oraz inne unoszące się substancje są separowane od chłodziwa, w wyniku czego chłodziwo nadaje się do ponownego użytku.

Urządzenia uzdatniające chłodziwo:

- oczyszczają i regenerują chłodziwo,
- filtrują zanieczyszczenia (filtr 0,4 mm),
- dezynfekują i dezodoryzują (usuwają przykry zapach),
- separują i odzyskują olej,
- są przyjazne dla środowiska,
- są samoczyszczące,
- oferują wysoką efektywność i niskie koszty utrzymania,
- redukują ryzyko podrażnienia skóry pracownika,
- mają sterowniki PLC nadzorujące pracę,
- mogą wykonywać pomiar odczynu pH (dodatkowa opcja),
- umożliwiają połączenie kilku maszyn (obrabiarek) w jeden system.

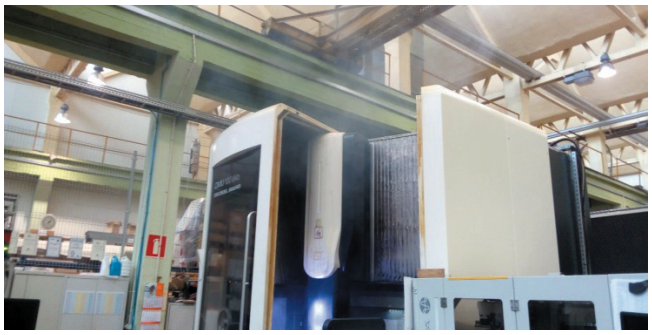
Systemy tego typu pozwalają znacznie ograniczyć wydatki na nowe chłodziwo i utylizację starego. Odseparowany olej jest zbierany w większe zbiorniki i odbierany przez wyspecjalizowane firmy, następnie jest ponownie przetwarzany i służy jako baza pod kolejne produkty.



Rys. 7. Przykładowe urządzenie uzdatniające chłodziwo [3] (*a*), urządzenie zespolone z układem chłodzenia obrabiarki [1] (*b*)

Mgła olejowa, czyli chłodziwo w postaci aerozolu

Podczas obróbki z wysokimi parametrami z chłodziwa powstaje aerozol, który wydostaje się z przestrzeni obróbkowej maszyny. Powstała chmura unosi się nad maszyną i miesza z powietrzem. Jest wdychana przez operatorów, osiada na elementach wyposażenia warsztatu, wydostaje się na zewnątrz budynku przez otwarte okna bądź wentylację (rys. 8).



Rys. 8. Chmura unoszącego się nad maszyną aerozolu z chłodziwa [1]

Aby zapobiegać tego typu zjawiskom, firmy powinny się zaopatrzyć w separatory mgły olejowej, dymów i oparów powstających podczas obróbki mechanicznej z użyciem pełnych lub emulgowanych chłodziw. Przykładem takiego rozwiązania może być filtr do systemów centralnych (rys. 9). Zaprojektowano go do większych maszyn. Może być również wykorzystywany jako minisystem centralny do połączenia kilku maszyn, tak aby zapewnić optymalną wydajność oraz łatwiejsze sterowanie.

Takie urządzenie:

- ma minisystemy filtracji nadające się zwłaszcza do parku maszynowego,
- umożliwia filtrowanie dużych ilości powietrza pochodzącego od dużych obrabiarek,
- jest uniwersalne – można je podłączać do różnych maszyn i dołączać kolejne,
- jest wyposażone w wysoko wydajne moduły, dzięki którym oczyszczone powietrze może być zwracane do pomieszczenia, co prowadzi do redukcji kosztów ogrzewania.

Kolejnym przykładem może być separator typu CMC, będący połączeniem samooczyszczającego się systemu wirówki oraz systemu mechanicznych filtrów z powiększoną powierzchnią filtracji. Separator jest wyposażony w zintegrowany filtr wstępny, zalecany w ciężkich warunkach, przy dużej ilości pyłów i wiórów lub gdy miejsce zasysania znajduje się blisko wrzeciona (rys. 10).



Rys. 9. Urządzenie typu UF – filtr do systemów centralnych [4]

Dzięki dodatkowemu modułowi filtra – POST-FILTER typ P – można osiągnąć efektywność do 99,98% H 13 Hepa-Filter (według norm DIN 53438, EN 1822) [6]. Koncentracja wyjściowa zanieczyszczeń jest rzędu ≤0,1 mg/m^3. Separatorów można użyć do takich zanieczyszczeń, jak mgła olejowa, dym i mikromgła z obrabiarek narzędziowych, centrów obróbkowych, tokarek, urządzeń regeneracyjnych, laserów, wiertarek, frezarek, gwinciarek, szlifierek, z obróbki iskrowej, urządzeń kuźniczych, przemysłowych urządzeń myjących oraz maszyn transferowych [6].



Rys. 10. Separator typu CMC [4]

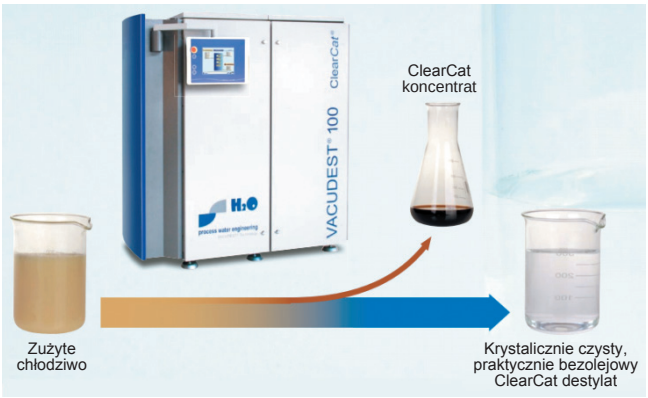
Utylizacja chłodziwa przez destylację

Jedną z metod utylizacji chłodziwa jest destylacja próżniowa. Można tak oczyszczać ścieki olejowe, takie jak zużyte chłodziwa, emulsja wykorzystywana w odlewnictwie lub woda płucząca. Węglowodory i oleje przenikające do destylatu są bardzo problematyczne. Dotychczas tego rodzaju zanieczyszczenia musiały być oddzielane za pomocą dodatkowych metod. Dzięki niskiej zawartości oleju w destylacie może on zostać ponownie wykorzystany, zapewniając tym samym bezściekową pracę warsztatu, lub może zostać usunięty do kanalizacji. Takie rozwiązania dostarcza firma VACUDEST® produkująca urządzenia ClearCat (rys. 11) [5].

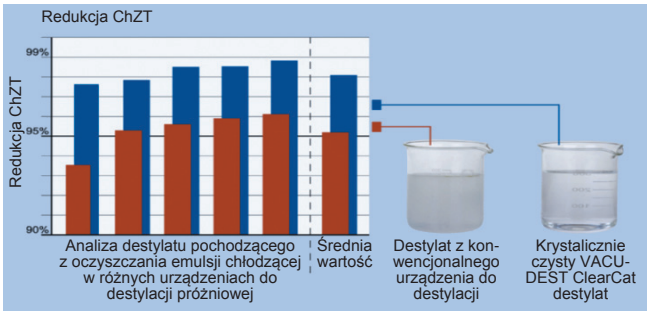
Destylacja próżniowa (rys. 12) umożliwia otrzymanie krystalicznie czystego destylatu, usunięcie metali ciężkich i soli oraz sterylność dzięki temperaturze pary powyżej 120 °C. Maszyna ClearCat z innowacyjnym systemem destylacji próżniowej pozwala uzyskać krystalicznie czysty destylat, praktycznie wolny od olejów [9]. Ponadto jest wyposażona w samoczyszczący się wymiennik ciepła (rys. 13), co w znacznym stopniu poprawia efektywność procesu.

Efektami użycia wymiennika są:

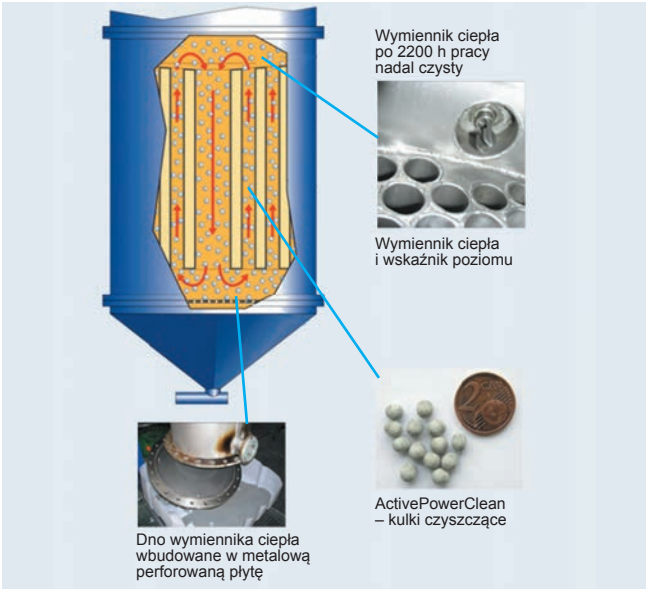
- poprawa wymiany ciepła – co wpływa na większą wydajność destylacji i mniejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną,
- czysta powierzchnia wymiennika ciepła – co przyczynia się do redukcji kosztów czyszczenia, dłuższego czasu bezobsługowej pracy, wyższego stężenia mediów oraz zredukowania powstawania piany.



Rys. 11. Urządzenie do destylacji w próżni [5]



Rys. 12. Porównanie efektu destylacji w próżni z destylacją konwencjonalną [5]



Rys. 13. Wymiennik ciepła [5]

Wnioski

Negatywne oddziaływanie substancji ropopochodnych na środowisko naturalne jest problemem, z którym zakłady walczą od lat. Coraz surowsze przepisy mają wymuszać właściwe postępowanie w tym zakresie. Wzrasta też świadomość ekologiczna całego społeczeństwa.

Pod nazwą olejów przepracowanych rozumie się często oleje odpadowe pochodzące z motoryzacji: zużyte oleje silnikowe, oleje przekładniowe i hydrauliczne. Oleje odpadowe pochodzące z przemysłu to głównie zanieczyszczone oleje hydrauliczne, przekładniowe, maszynowe, turbinowe, sprężarkowe, transformatorowe i grzewcze. Wśród nich są też oleje odpadowe pochodzące z odzyskanych olejów używanych do obróbki metali – w tym emulgujących i nieemulgujących, olejów procesowych, olejów ochronnych wykorzystywanych do zapobiegania korozji oraz do innych zastosowań. Takie oleje pozyskuje się też na drodze odolejania, np. w separatorach. W zakładach przemysłowych są również odpady zanieczyszczone olejami, takie jak: szlamy z separatorów olejowych i odstojników, szlamy z obróbki metali zawierające oleje, zużyte filtry olejowe, zaolejone zużyte sorbenty, trociny, czyściwo oraz opakowania po olejach. Odpady olejowe dzieli się na: oleje odpadowe, emulsje wodno-olejowe, szlamy zawierające oleje oraz inne odpady olejowe. Należy pamiętać, że zgodnie z ustawą o odpadach (Dz.U. z 2001 r. nr 62, poz. 628 ze zm.), art. 11 i 39 ust. 5 [7], odpady olejowe powinny być zbierane selektywnie. W Polsce jest z tym duży problem, gdyż bardzo często dochodzi do zanieczyszczenia olejów odpadowych innymi odpadami.

Oszczędności w zakładach można uzyskać poprzez poszukiwanie firm recyklingujących oleje przepracowane, gotowych zapłacić za odpady, które są dla nich surowcem przerobowym. Utylizacja olejów przynosi oszczędności dla wielu stron. Klient, sprzedając zużyty materiał, odnosi korzyści finansowe, odliczając te kwoty od pierwotnej kwoty zakupu, czyli kupuje je taniej. W wypadku np. olejów transformatorowych daje to nierzadko niebagatelne kwoty. Odbiorca, odsprzedając odpady, również zarabia, a rafineria odbierająca zarabia ponownie, pierwszy raz – sprzedając świeży olej, drugi raz – gdy po oczyszczeniu odpadu stosuje go jako komponent do produkcji olejów o niższej jakości, ale również o niskiej cenie [12].

LITERATURA

1. Materiały własne.
2. www.google.pl/search?q=transporter+do+wi%C3%B3r%C3%imgrc=s_uwWKbL
3. odolejacze.com/tag/destylacja-cleaning/
4. www.technika.pl
5. Materiały firmy VACUDEST®.
6. www.tripleairtechnology.co.uk/downloads/The-new-series-of-BS--EN-1822.pdf
7. isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010620628
8. portalnarzedzi.pl/artykul/prawidlowe-wykorzystanie-chlodziw/
9. produkty.totalpolska.pl/wiedza/rozdzial%2012.pdf
10. www.abplanalp.pl/wiedza/dobor-chlodziwa-i-jego-wplyw-na-produktywnosc/
11. www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artykul/article/utylizacja-zuzytego-chlodziwa-do-obrabiarek/
12. public.sds.tiktalik.com/patenty/pdf/171402.pdf

Metody pomiaru drgań łożysk tocznych

Measurement of vibrations occurring in rolling bearings

STANISŁAW ADAMCZAK
MATEUSZ WRZOCHAL
PAWEŁ ZMARZŁY*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.107

Metody pomiaru drgań, stosowane na każdym etapie żywotności łożysk tocznych, można sklasyfikować według trzech kryteriów. Analiza tych metod pozwala na lepsze zrozumienie nie tylko problematyki łożysk tocznych, lecz także zagadnień związanych z miernictwem dynamicznym.
SŁOWA KLUCZOWE: łożyska toczne, pomiary drgań

There are three criteria the vibration measurement methods as applied at each stage of the rolling-element bearing life period could be classified to. Analysis of these methods is suggested for better understanding of the rolling bearing operating problems and of the issues related to dynamic measurements.
KEYWORDS: rolling bearings, vibration measurements

Łożyska toczne są bardzo ważnymi elementami części maszyn, a ponieważ decydują o trwałości i niezawodności urządzeń mechanicznych, powinny być kontrolowane pod względem generowanych drgań na każdym etapie swojej żywotności. Drgania łożyska tocznego podlegają pomiarom przez firmę produkcyjną – po skompletowaniu wszystkich części łożyska, a następnie przez użytkownika – po nabyciu łożyska (pomiar jeszcze niezamontowanego lub już zabudowanego łożyska) i w trakcie jego eksploatacji (okresowe pomiary do momentu utraty przez łożysko własności użytkowych) [1]. Pomiar drgań może być realizowany różnymi metodami, które można podzielić ze względu na:

- wielkość mierzoną – pomiar przemieszczenia drgań, pomiar prędkości drgań, pomiar przyspieszenia drgań;
- odniesienie: pomiar drgań względnych (relatywnych), pomiar drgań bezwzględnych (absolutnych);
- kontakt: pomiar stykowy, pomiar bezstykowy.

Wpływ wielkości mierzonej drgań na wynik pomiaru

Tak jak w przypadku każdego rodzaju ruchu drgania charakteryzuje się przemieszczeniem, prędkością lub przyspieszeniem – ich przebiegi czasowe można rejestrować za pomocą systemów pomiarowych. Termin „pomiar drgań" należy więc rozumieć jako pomiar jednej z tych wielkości. Teoretycznie wystarczy dokonać pomiaru jednej z nich, a pozostałe dwie można otrzymać na drodze całkowania lub różniczkowania. Operacje te są łatwe do zrealizowania metodą analityczną. Całkowanie czy różniczkowanie najczęściej przeprowadza się bezpośrednio w trakcie pomiarów, wykorzystując do tego elektroniczne układy, co jednak skutkuje błędem amplitudy uzyskanej wielkości (zwłaszcza gdy zabieg całkowania lub różniczkowania przeprowadza się dwukrotnie). Pojawia się także określone przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem mierzonym a uzyskanym na wyjściu z układu pomiarowego [2]. Łożysko toczne jest wzbudnikiem drgań emitującym bardzo szerokie widmo amplitudowe. Czujniki powinny wykrywać drgania, które mogą powstać w rezultacie pracy łożyska lub jego późniejszego zużycia. Najlepiej wykrywalna dla zakresów niskich częstotliwości jest amplituda przemieszczenia. Metoda oparta na pomiarze przemieszczenia znajduje więc zastosowanie np. w pomiarach drgań łożysk wolnoobrotowych oraz w pomiarach okrągłości i falistości elementów łożysk. Impulsy o bardzo wysokich częstotliwościach można łatwo wykryć dzięki metodzie rejestrowania sygnału proporcjonalnego do przyspieszenia drgań w czasie. Podczas pomiarów drgań o wysokich częstotliwościach przyspieszenie ma największą amplitudę mierzalną, podczas gdy amplitudy prędkości, a zwłaszcza przemieszczenia, zanikają ze względu na szumy aparatury. Najlepszym rozwiązaniem w przypadku pośrednich zakresów częstotliwości jest zastosowanie metody opartej na pomiarze prędkości drgań. Oprócz tego, że pomiar prędkości jest swego rodzaju kompromisem, istnieje jeszcze jeden argument przemawiający na korzyść stosowania takich czujników – wywołane u człowieka wrażenie dźwiękowe jest proporcjonalne do prędkości powierzchni drgającej [3].

Względne i bezwzględne metody pomiaru drgań łożysk

Metody pomiaru drgań łożysk tocznych można sklasyfikować w zależności od tego, czy mierzone są drgania względne (relatywne) czy bezwzględne (absolutne). Drgania względne to drgania łożyska mierzone względem nieruchomego punktu odniesienia – np. względem zespołu mocowania czujnika elektrodynamicznego stosowanego w kontroli jakości przez zakłady produkujące łożyska toczne.

Innym przykładem punktu odniesienia jest ustawiona nieruchomo na stojaku głowica dopplerowskiego wibrometru laserowego, której wiązka rejestruje drgania łożyska zamontowanego w konstrukcji.

Na rys. 1 (a także na rys. 3 i 5) pokazano głowicę anderometru STPPD [4] opracowanego na Politechnice Świętokrzyskiej. Przedstawione stanowisko badawcze można przystosować do pomiarów drgań łożysk tocznych różnymi metodami, w tym do pomiaru względnej prędkości drgań. Badane łożysko (niezabudowane lub umieszczone w specjalnej obudowie) jest osadzane na obracającym się wale. Na zewnętrzny pierścień łożyska działa obciążenie osiowe, zadawane przez trójpunktowy docisk. Zespół dociskowy obciążenia osiowego łożysk jest chroniony patentem [5]. Powstałe podczas pracy łożyska drgania promieniowe są rejestrowane za pomocą różnych czujników.

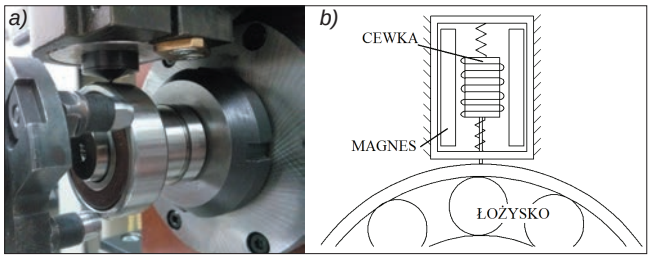
Głowica stanowiska badawczego STPPD jest wyposażona w czujnik elektrodynamiczny, w którym ruchomy trzpień, na który nawinięta jest cewka, styka się z pracującym łożyskiem. Obudowa czujnika jest ulokowana w układzie mocowania (nieruchomym), będącym układem odniesienia. Wewnątrz czujnika znajduje się magnes trwały

* Prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c. (adamczak@tu.kielce.pl), mgr inż. Mateusz Wrzochal (mwrzochal@tu.kielce.pl), dr inż. Paweł Zmarzły (pzmarzly@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

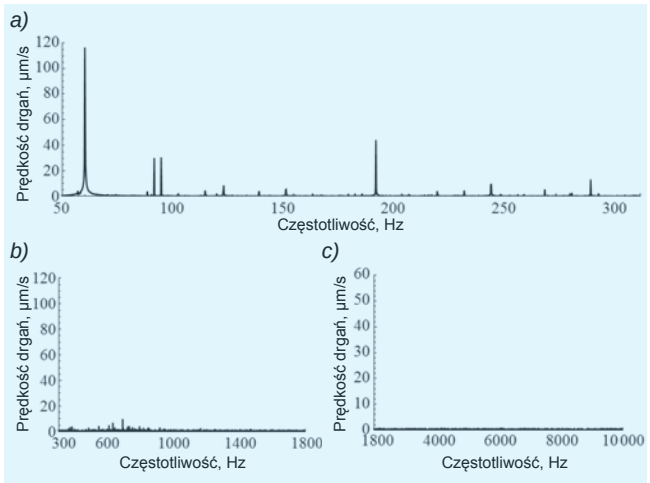
– w jego polu, pod wpływem drgań łożyska, uzwojenie porusza się i powoduje powstanie siły elektromotorycznej. Jeżeli długość cewki i indukcja wytwarzana przez magnes stały pozostają niezmienne, wówczas powstająca siła jest proporcjonalna wyłącznie do prędkości drgającego obiektu [6].

Na rys. 2 zamieszczono przykładowy wynik pomiaru łożyska 6204 czujnikiem elektrodynamicznym SG 4.3 (prędkość obrotowa pierścienia wewnętrznego wynosiła 1800 obr/min).

Drgania bezwzględne łożyska tocznego można rejestrować bezpośrednio przez czujnik drgań, zamocowany np. na obudowie badanego łożyska. Czujnik drga w ten sam sposób co łożysko i umożliwia pomiar drgań bez żadnego punktu odniesienia. Do czujników realizujących metodę pomiaru drgań bezwzględnych należą czujniki elektrodynamiczne z masą sejsmiczną, rejestrujące sygnał proporcjonalny do prędkości drgań łożyska, a także akcelerometry piezoelektryczne, rejestrujące sygnał proporcjonalny do przyspieszenia drgań. Przykładem czujnika piezoelektrycznego jest czujnik 608A11 firmy PCB Piezotronics, którego wybrane dane techniczne zestawiono w tabl. I.



Rys. 1. Anderometr STPPD wyposażony w czujnik elektrodynamiczny (*a*) oraz schemat pomiaru względnej prędkości drgań (*b*)



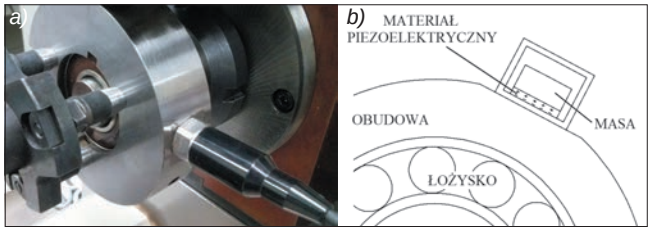
Rys. 2. Widmo prędkości drgań łożyska tocznego typu 6204 – pomiar czujnikiem elektrodynamicznym SG 4.3: *a*) niskie pasmo częstotliwości, *b*) średnie pasmo częstotliwości, *c*) wysokie pasmo częstotliwości

TABLICA I. Wybrane dane techniczne czujnika piezoelektrycznego 608A11 [6]

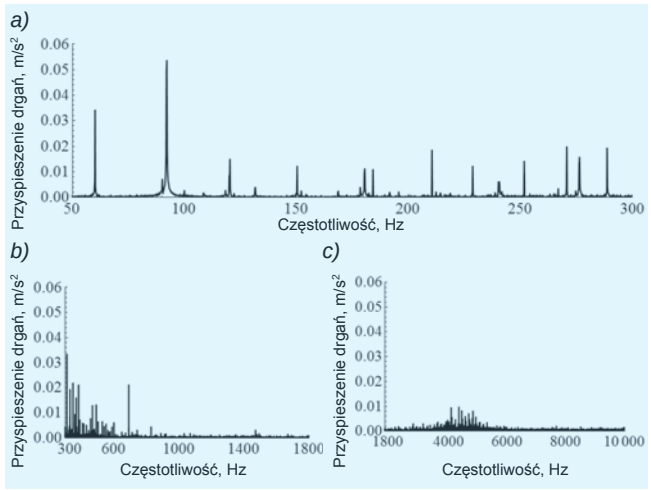
Wielkość mierzona	Przyspieszenie
Czułość, mV/(m/s²)	10,2
Częstotliwość rezonansowa, Hz	22 000
Zakres mierzonych częstotliwości, Hz	0,5÷100 000
Rozdzielczość, µm/s²	3,434
Maksymalna mierzalna amplituda, m/s²	490

Na rys. 3 przedstawiono łożysko osadzone na wale, zamontowane w specjalnej obudowie pomiarowej, do której przymocowany jest akcelerometr piezoelektryczny. Czujnik ten pozwala na rejestrację drgań bezwzględnych. Zasada działania akcelerometrów jest następująca: drgania łożyska przenoszone są na obudowę ze sztywno zamocowanym czujnikiem. W akcelerometrze znajdują się płytki piezoelektryczne, na których spoczywa określona masa. Przyspieszenie działające na czujnik jest proporcjonalne do ładunku powstałego w piezoelektrykach na skutek działania siły bezwładności masy [7].

Przykładowy wynik pomiaru łożyska 6204 czujnikiem piezoelektrycznym 608A11 (prędkość obrotowa pierścienia wewnętrznego wynosiła 1800 obr/min) pokazano na rys. 4.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe STPPD wyposażone w akcelerometr piezoelektryczny (*a*) oraz schemat pomiaru bezwzględnego przyspieszenia drgań (*b*)



Rys. 4. Widmo prędkości drgań łożyska tocznego typu 6204 zamontowanego w obudowie – pomiar czujnikiem piezoelektrycznym 608A11: *a*) niskie pasmo częstotliwości, *b*) średnie pasmo częstotliwości, *c*) wysokie pasmo częstotliwości

Największą zaletą czujników do pomiaru metodą absolutną jest to, że mierzone przez nie drgania są identyczne jak drgania łożyska. Wadę stanowi zaś sposób montażu czujników, wpływający w znacznym stopniu na wynik pomiaru. Czujniki służące do pomiaru metodą względną są znacznie prostsze w montażu, jednak mogą wykrywać nie tylko sygnały generowane przez łożysko, lecz także pochodzące z układu, w jakim to łożysko pracuje.

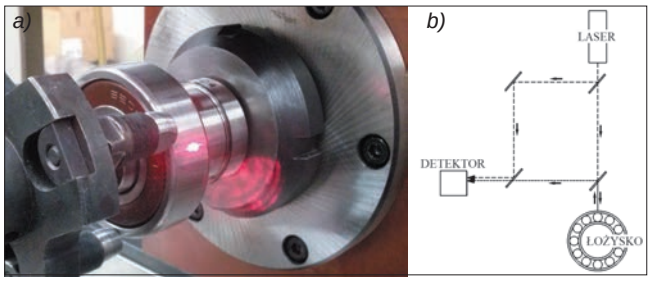
Charakterystyka metod stykowych i bezstykowych

Metody stykowe pomiaru drgań łożysk tocznych polegają na tym, że czujnik drgań ma bezpośredni kontakt z pierścieniem zewnętrznym niezabudowanego łożyska lub z oprawą łożyska zabudowanego. Do czujników realizujących pomiar metodą stykową można zaliczyć np. omówione już czujniki elektrodynamiczne i akcelerometry piezoelektryczne, a ponadto czujniki transformatorowe

różnicowe, mierzące względne przemieszczenia. Jak wspomniano, pomiary przemieszczeń drgań są bardzo rzadko stosowane do pomiarów drgań łożysk.

Do metod bezstykowych pomiaru drgań łożysk tocznych zalicza się takie metody, w których urządzenie rejestrujące sygnał drgań nie ma fizycznego kontaktu ani z żadnym elementem łożyska tocznego, ani z jego obudową. Pomiar metodą bezkontaktową można przeprowadzić np. za pomocą wibrometru laserowego, który stanowi konkurencję dla typowych czujników elektrodynamicznych.

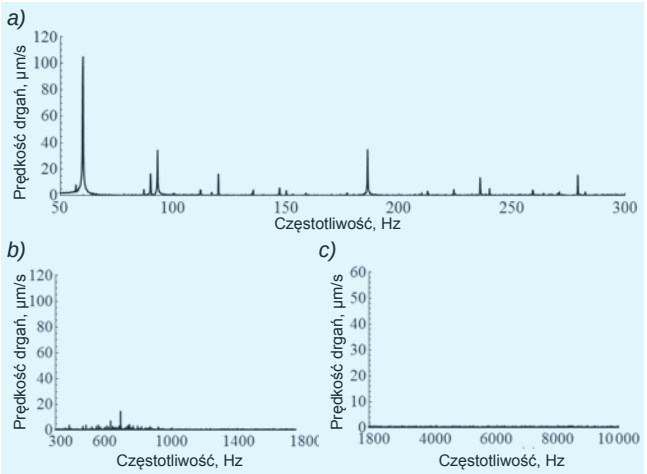
Na rys. 5 przedstawiono łożysko zamontowane na anderometrze. Prędkość drgań łożyska jest rejestrowana przez ustawiony obok wibrometr laserowy. Pomiar wibrometrem laserowym polega na porównaniu – przez precyzyjny interferometr – wiązki lasera generowanej przez urządzenie z wiązką odbitą od obiektu drgającego. W przypadku gdy badany przedmiot się porusza, częstotliwość światła odbitego od powierzchni przedmiotu ulega zmianie wskutek efektu Dopplera. Częstotliwość fali rośnie, gdy badany obiekt zbliża się do źródła, a maleje wraz z oddalaniem się obiektu. Gdy znana jest różnica częstotliwości, można bezpośrednio określić prędkość drgań obiektu [8]. W tabl. II przedstawiono wybrane dane techniczne wibrometru laserowego PSV-500, a na rys. 6



Rys. 5. Bezstykowy pomiar prędkości drgań wibrometrem laserowym, którego wiązka widoczna jest na pierścieniu zewnętrznym badanego łożyska tocznego (*a*), oraz schemat zasady pomiaru (*b*)

TABLICA II. Wybrane dane techniczne wibrometru laserowego PSV-500 [9]

Wielkość mierzona	Prędkość
Typ lasera	He-Ne (633 nm)
Odległość pomiaru, m	0,125÷100
Zakres mierzonych częstotliwości, Hz	0÷50 000
Rozdzielczość, μm/s	0,02
Maksymalna mierzalna amplituda, m/s	10



Rys. 6. Widmo prędkości drgań łożyska tocznego typu 6204 – pomiar wibrometrem laserowym PSV-500: *a*) niskie pasmo częstotliwości, *b*) średnie pasmo częstotliwości, *c*) wysokie pasmo częstotliwości

– przykładowy wynik pomiaru tym urządzeniem łożyska 6204 (prędkość obrotowa pierścienia wewnętrznego wynosiła 1800 obr/min).

Interesującą alternatywą dla pomiaru przemieszczeń drgań przez czujniki transformatorowe różnicowe mogłoby być zastosowanie bezstykowych czujników przemieszczenia konfokalno-chromatycznych, które są przydatne np. w pomiarach cech geometrycznych warstwy wierzchniej [10]. Jak pokazuje praktyka przemysłowa, pomiary stykowe szeroko wykorzystuje się zarówno do kontroli, jak i diagnostyki łożysk tocznych. Metody stykowe umożliwiają zmierzenie wszystkich wielkości określających ruch drgający, a także pomiary drgań względnych i bezwzględnych.

Użycie czujników realizujących pomiar kontaktowy często wymaga dobrego dostępu do łożyska i zastosowania dokładnego układu mocującego. Wszystkie czujniki kontaktowe są narażone na zużycie.

Bezstykowe metody pomiaru drgań łożysk tocznych rzadko są stosowane w kontroli łożysk tocznych, za to częściej w ich diagnostyce. Zaletą tych metod jest to, że układ pomiarowy nie wpływa na badane łożysko (brak obciążenia masą czujnika), a procedura pomiarowa nie wymusza precyzyjnego i pracochłonnego instalowania czujnika. Coraz większa popularność nowoczesnych metod pomiarów drgań może w przyszłości spowodować zastąpienie metod stykowych metodami bezkontaktowymi.

Podsumowanie

Wynik pomiaru jest silnie uzależniony od zastosowanej metody. Przedstawiona klasyfikacja pokazuje, jak bardzo ogólny jest termin „pomiar drgań". Za każdym razem, gdy wybiera się określoną metodę, trzeba uwzględnić związane z nią ograniczenia. Badania w kierunku metod i parametrów określających wielkość drgań łożysk są bardzo ważne. Wynik pomiaru drgań zawiera kluczowe informacje na temat innych cech łożyska, takich jak jego trwałość czy moment oporowy. Warto również podkreślić, że wibracje łożysk tocznych są nieuniknione i nie są spowodowane wyłącznie błędami wykonania czy uszkodzeniami. Obok wytwórczych i eksploatacyjnych źródeł drgań wyróżnia się jeszcze drgania konstrukcyjne, których przyczyny tkwią w samej budowie łożyska tocznego.

LITERATURA

1. Cempel C., Tomaszewski F. „*Diagnostyka maszyn: zasady ogólne, przykłady zastosowań*". Radom: Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, 1992, s. 146–147.
2. Szumilewicz B., Słomski B., Styburski W. „*Pomiary elektroniczne w technice*". Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1982, s. 98–105.
3. „*SPECTRUM: Displacement, Velocity Acceleration. Vibration Principles*" (materiały firmy SKF). Austria, 1992.
4. Adamczak S., Domagalski R., Sender E., Zmarzły P., Gorycki Ł. "Research methods and testing stand developed to examine vibrations generated by rolling bearing". *Diagnostyka*. 17, 1 (2016): s. 41–49.
5. Adamczak S., Galant M., Kolczyński H., Domagalski R. Patent polski PL 221 624 B1, 31 maja 2016 r.
6. Marynowski K. (red.). „*Laboratorium drgań mechanicznych*". Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2002, s. 3–13.
7. "*608A11 Submersible ICP Accelerometer Data Sheet*" (materiały firmy PCB Piezotronics).
8. Dwojak J., Rzepiela M., Struzik I. „Wykorzystanie wibrometru laserowego do diagnostyki eksploatacyjnej silników elektrycznych na podstawie własnych doświadczeń". *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne*. 89, 201 (2011): s. 57–63.
9. "*PSV-500 Scanning Vibrometer Full-Field Vibration Measurement at Low and Mid Frequencies. Datasheet*" (materiały firmy Polytec).
10. Wieczorowski M., Majchrowski R., Jakubowicz M. „Pomiary cech geometrycznych warstwy wierzchniej za pomocą laserowego czujnika konfokalnego". *Mechanik*. 11 (2016): s. 1650–1651.



RENISHAW
apply innovation™

Poznaj najnowsze osiągnięcia w dziedzinie metrologii i zintegrowanej kontroli procesów produkcyjnych

Zapraszamy na stanowisko firmy Renishaw B46 w hali 6 podczas największej wystawy przemysłu obrabiarkowego – EMO Hannover 2017. Będzie to również okazja, aby zaznajomić się z najnowszymi systemami druku 3D na stanowisku A72 w hali 27. Dowiedz się, jakie korzyści może przynieść współpraca z naszym centrum wytwarzania przyrostowego.

Dzięki tej wizycie przekonasz się, dlaczego klienci wybierają Renishaw jako zaufanego partnera dla swojego biznesu.

Serdecznie zapraszamy!

EMO Hannover
18-23·9·2017

Aby uzyskać więcej informacji, odwiedź: www.renishaw.pl/emo2017

Renishaw Sp. z o.o. ul. Osmańska 12, 02-823 Warszawa, Polska
T +48 22 577 11 80 F +48 22 577 11 81 E poland@renishaw.com
www.renishaw.pl

RENISHAW
apply innovation™

Na targach EMO Hannover 2017 firma Renishaw przedstawi koncepcję zintegrowanych pomiarów

Firma Renishaw, światowy ekspert w dziedzinie precyzyjnych technologii, przedstawia bogatą ofertę sprzętu pomiarowego oraz systemów wytwarzania przyrostowego, które będzie można obejrzeć na dwóch stoiskach podczas wystawy EMO w Hanowerze (Niemcy, 18–23 września 2017 r.). Na głównym stoisku (B46 w hali 6) firma zaprezentuje zalety najnowszych rozwiązań pomiarowych przeznaczonych dla przedsiębiorstw prowadzących obróbkę skrawaniem. Ekspozycja powinna zainteresować przedsiębiorstwa, dla których procesy obróbki inteligentnej mają kluczowe znaczenie w kontekście wdrażania koncepcji Przemysłu 4.0.

Na stoisku A72 w hali 27 znajdzie się natomiast nowa Strefa Wytwarzania Przyrostowego, gdzie firma Renishaw przedstawi oprogramowanie i systemy do wytwarzania części metalowych, w tym najnowszą wersję oprogramowania do przygotowywania plików QuantAM 2017, opracowaną specjalnie do zastosowania z systemami wytwarzania przyrostowego z użyciem proszku metalicznego RenAM 500M i RenAM 400.

Oto produkty, które będzie można zobaczyć w hali 6:

- stykowy system skanujący do obrabiarek CNC,
- oprogramowanie do uniwersalnego sprawdzianu Equator, które umożliwia pełną integrację systemu z obrabiarkami CNC,
- aplikacje do pomiarów na obrabiarce oraz aplikacje mobilne, które upraszczają użycie pomiarów obrabiarkowych,
- rozbudowany bezdotykowy system do ustawiania narzędzi do centrów obrabiarkowych,
- system interfejsu optycznego dla wielu sond oraz nową sondę do pomiarów chropowatości powierzchni do maszyn współrzędnościowych (CMM),
- oprogramowanie, które zwiększa funkcjonalność kalibratora wieloosiowego XM-60.

Ponadto firma Renishaw zademonstruje nową koncepcję gniazda produkcyjnego ze zintegrowanym sterowaniem procesem, aby uświadomić publiczności, jak technologie, które się wzajemnie uzupełniają, mogą zwiększyć wydajność i możliwości produkcyjne.

Nowością na targach EMO będzie **system SPRINT** z funkcją SupaScan, przeznaczony do łatwej integracji z obrabiarkami wymagającymi wyjątkowo szybkiego ustawiania przedmiotu obrabianego i znajdujący zastosowanie w przypadku, gdy całkowity czas cyklu ma krytyczne znaczenie. System ma zaawansowane funkcje skanowania, np. monitorowanie stanu powierzchni mierzonego przedmiotu.



System SPRINT z funkcją SupaScan

Technologia SupaScan oferuje z kolei cykle ustawiania przedmiotu obrabianego, zapewniające dokładny pomiar nawet przy posuwie z dużą prędkością (G0) – w efekcie uzyskuje się najszybsze ustawianie przedmiotu obrabianego sondą montowaną na wrzecionie. Testy przeprowadzone na typowych częściach przemysłowych wykazały skrócenie czasu cyklu o ponad 70% w porównaniu ze standardowymi, szybkimi cyklami elektrostykowymi.

Uniwersalny sprawdzian produkcyjny Equator firmy Renishaw jest teraz dostępny z oprogramowaniem IPC (*intelligent process control*) do inteligentnej kontroli procesu, które umożliwia w pełni automatyczną aktualizację offsetu narzędzia podczas procesów produkcyjnych na obrabiarkach CNC. Zwiększona wydajność precyzyjnej obróbki przedmiotów, skrócony czas ustawiania i regulacji procesu, a także integracja z systemami automatyki to tylko niektóre korzyści, jakich mogą się teraz spodziewać użytkownicy tego rozwiązania. **Nowe oprogramowanie IPC** pozwala na stałe monitorowanie i dostosowywanie procesu obróbki tak, aby utrzymać kontrolowane wymiary w zadanym polu tolerancji. To oznacza, że każda zmienność procesu zostanie szybko skorygowana, dzięki czemu poprawi się jakość przedmiotów oraz zwiększą się możliwości produkcyjne, a jednocześnie zmaleje ilość braków. Bliskość sprawdzianu Equator i obrabiarki CNC umożliwia szybki pomiar oraz regulację procesu w miejscu produkcji, a to oznacza brak opóźnień lub konieczności polegania na kontroli gotowego wyrobu.

Aplikacja Set and Inspect – obsługująca kalibrację sondy, ustawianie przedmiotu obrabianego, ustawianie narzędzia i kontrolę przedmiotu obrabianego – jest tak prosta, że praktycznie nie wymaga żadnego szkolenia. Wystarczy kliknąć ikonę żądanego cyklu pomiarowego i odpowiednio wypełnić pola danych. **Reporting** to uzupełniająca aplikacja do monitorowania procesu w czasie rzeczywistym. Jest idealnym narzędziem do podstawowego raportowania trendów. Umożliwia przygotowanie bogatych, graficznych reprezentacji danych pomiarowych oraz wskazuje stan powodzenia lub niepowodzenia albo ostrzeżenia dla każdego pomiaru.

Firma Renishaw stale rozszerza ofertę **aplikacji na smartfony do obsługi sond obrabiarkowych i systemów do ustawiania narzędzi.** GoProbe to technologia wbudowana w najnowszych pakietach oprogramowania firmy Renishaw z makropoleceniami. Pakiet obejmuje materiały szkoleniowe i narzędzia wzorcowe, aby maksymalnie uprościć korzystanie z sond obrabiarkowych i systemów do ustawiania narzędzi.

Sondy obrabiarkowe firmy Renishaw charakteryzują się takimi ustawieniami, że można je dopasować do konkretnego zastosowania. Ta technika ustawień nosi nazwę Trigger Logic. Dzięki aplikacji Trigger Logic użytkownicy mogą dostosowywać ustawienia sondy Renishaw o wiele szybciej, niż gdyby musieli się zapoznać z tradycyjnymi, drukowanymi instrukcjami. Proces konfigurowania przedstawiono na wbudowanych ilustracjach i filmach.

Na targach w Hanowerze nie zabraknie też ulepszonej i rozbudowanej wersji **rozwiązania NC4 do bezdotykowego ustawiania narzędzi dla centrów obróbkowych**. Obejmuje ono bezdotykowy, sprawdzony system do ustawiania narzędzi NC4 oraz interfejs NCi-6 i umożliwia szybkie, a przy tym precyzyjne wyznaczanie geometrii narzędzia, sprawdzanie jego stanu i śledzenie zmian termicznych w trzy- i pięcioosiowych centrach obróbkowych.



Udoskonalona wersja rozwiązania NC4 do bezdotykowego ustawiania narzędzi dla centrów obróbkowych

Kolejną nowością na EMO będzie **system interfejsu optycznego sond wielokrotnych do obrabiarek**. Montowany na wrzecionie odbiornik OMM-2C jest elementem rozbudowującym bardzo udany system interfejsu sond optycznych OSI/OMM-2. To miniaturowe i wygodne urządzenie umożliwia zamontowanie maksymalnie trzech stykowych sond obrabiarkowych Renishaw z optyczną transmisją sygnałów oraz ich obsługę za pośrednictwem pojedynczego interfejsu. Wytrzymała konstrukcja pozwala na pracę systemu w każdym środowisku roboczym. Dzięki zastosowaniu modulowanej transmisji optycznej Renishaw uzyskuje się niezrównaną odporność na zakłócenia świetlne, natomiast opcjonalna, wbudowana funkcja przedmuchu powietrzem utrzymuje okienko odbiornika w czystości, co zapewnia nieprzerwaną komunikację z systemem.

Firma Renishaw pochwali się również nową, **udoskonaloną sondą do pomiaru chropowatości powierzchni**, współpracującą z pięcioosiowym systemem pomiarowym REVO. Sonda SFP2 umożliwia użytkownikom systemu multisensorycznego REVO integrację pomiaru chropowatości powierzchni i kontroli wymiarów (wykonywane na maszynie współrzędnościowej), co stanowi istotną przewagę nad tradycyjnymi metodami, wymagającymi zastosowania oddzielnych procesów. System SFP2 składa się z sondy i gamy modułów. Można go automatycznie wymieniać ze wszystkimi opcjami sond dostępnymi w systemie REVO: elektrostykowymi, szybkiego skanowania dotykowego i bezdotykowego pomiaru wizyjnego. Dodatkowym usprawnieniem jest automatyczna synchronizacja danych z wielu czujników względem wspólnej bazy wymiarowej.

Po wprowadzeniu **kalibratora wieloosiowego XM-60** we wrześniu 2016 r. aktualna wersja oprogramowania CARTO 2.1 zyskała nową, cenną funkcję. Dzięki zmodyfikowanemu trybowi pracy swobodnej użytkownicy systemu kalibracyjnego XM-60 mogą od razu przystąpić do zbierania danych, bez konieczności definiowania pozycji czy liczby punktów docelowych. Oprogramowanie wyznacza błędy prostoliniowości (w płaszczyźnie poziomej i pionowej), a także rotacje (jak skok, schodzenie z kursu czy beczka). Rejestracja punktów może być manualna (poprzez naciśnięcie przycisku), automatyczna (na podstawie osiągnięcia stabilności docelowego położenia) lub ciągła (punkty zbierane w trakcie ruchu w zdefiniowanym przez użytkownika przedziale czasowym).



Nowa sonda SFP2 do systemu REVO



Kalibrator wieloosiowy XM-60

Uczestnicy targów EMO Hannover 2017 będą mieli okazję do zapoznania się z **nową koncepcją gniazda produkcyjnego**, w której przedstawiono, w jaki sposób możliwość monitorowania kluczowych wielkości wejściowych procesu, analizowania danych i ciągłego doskonalenia procesów produkcyjnych przyczynia się do zwiększenia produktywności i dokładności. Zwykły pomiar efektów wyjściowych produkcji (czyli kontrola gotowego wyrobu) nie wystarcza i na ogół odbywa się zbyt późno, aby móc sterować wszystkimi zmiennymi w procesie produkcyjnym. Bardzo ważne jest wykonywanie kontroli i pomiarów na każdym etapie tego procesu, aby wyłapać odchyłki, które występują stale lub w sytuacjach wyjątkowych.

Serdecznie zapraszamy do odwiedzenia stoiska firmy Renishaw podczas targów EMO Hannover 2017.

Aby uzyskać więcej informacji, odwiedź witrynę www.renishaw.pl/emo

Zaawansowane systemy metrologiczne firmy Renishaw w duchu koncepcji Przemysłu 4.0 na targach EMO 2017

Przed zbliżającymi się targami EMO 2017 w Hanowerze Tomasz Rżysko – general manager i członek zarządu Renishaw Sp. z o.o. – opowiedział redakcji miesięcznika *Mechanik* o ofercie firmy w kontekście koncepcji Przemysłu 4.0, zintegrowanych pomiarów w gnieździe produkcyjnym oraz zaawansowanych metod wytwarzania przyrostowego z proszków metali.

Firma Renishaw prezentuje swoje rozwiązania na licznych wystawach. Ostatnio otrzymaliście Złoty Medal Targów Poznańskich za wieloosiowy kalibrator do obrabiarek. Jakie są plany wobec targów branżowych EMO w Hanowerze?

Tomasz Rżysko: Firma Renishaw jest obecna na wszystkich zaawansowanych technologicznie rynkach od wielu lat. Staramy się być blisko naszych klientów, dlatego bierzemy udział w wystawach i seminariach. Nasze produkty są nagradzane za innowacyjność i funkcjonalność. Podczas targów EMO, wyjątkowo na dwóch stoiskach, pokażemy systemy metrologiczne i oddzielnie – urządzenia do wytwarzania przyrostowego.

Na czym polega koncepcja zintegrowanych pomiarów, którą Renishaw przedstawi na EMO?

T.R.: Inteligentne procesy obróbki stanowią krytyczny element zaawansowanej techniki produkcji. Szeroko omawiane trendy, takie jak: Przemysł 4.0, Internet Rzeczy, przetwarzanie w chmurze czy mobilność danych, rozszerzają możliwości, ale także stanowią wyzwanie związane ze zwiększaniem produktywności i zdolności procesu. Połączenie w sieć urządzeń produkcyjnych i automatyzacja ułatwiają wykorzystanie tych nowych procesów i technologii przez przedsiębiorstwa.

Specjaliści z firmy Renishaw pokażą, jak monitorowanie kluczowych danych wejściowych, analizowanie danych i ciągłe usprawnianie procesu prowadzą do poprawy produktywności, lepszej dokładności i jakości. Rozpowszechnione podejście polegające na inspekcji końcowej jest niewystarczające, aby skutecznie kontrolować zmienność procesu produkcyjnego. Należy diagnozować, sprawdzać i mierzyć przed, w czasie i po obróbce, aby zapobiegać, a nie tylko dowiadywać się o wynikach. Do tego służą demonstrowane na wystawie urządzenia, sondy i systemy pomiarowe, które mogą wymieniać informacje z układami sterowania i systemami nadzoru produkcji.

Na jakich przykładach zostanie to pokazane?

T.R.: Zaprezentujemy gniazdo produkcyjne, aby zademonstrować efekty pracy obrabiarek, wysoką jakość wytwarzanych części, rolę naszych sond obrabiarkowych polegającą na ustawianiu i pomiarach narzędzi oraz bazowaniu i pomiarach obrabianej części. Obraz ten dopełni maszyna współrzędnościowa odpowiednio wyposażona w sondę do pomiaru chropowatości SFP2 oraz system Equator z nowym oprogramowaniem IPC (Intelligent Process Control). Części będą podawane przez roboty.

W jaki sposób zostanie zapewniona integracja waszych urządzeń w gnieździe produkcyjnym?

T.R.: Urządzenia pracujące poza obrabiarką będą skomunikowane ze sobą, zastosujemy robota, który podaje i odbiera części po wykonaniu poszczególnych operacji. Zapewniamy automatyczną aktualizację offsetu dla narzędzi obrabiarkowych, kontrolę jakości w miejscu produkcji, na maszynie oraz oczywiście mierzymy części i na tej podstawie zyskujemy pewność, że są odpowiedniej jakości, zanim przejdziemy do następnego etapu produkcji. Po zakończeniu

> „Odwiedzenie naszego stoiska metrologicznego na targach będzie okazją, aby się zapoznać z bogatym wyborem technologii pomiarowych do monitorowania jakości procesu obróbki skrawaniem. Warto również zobaczyć nowości z zakresu techniki wytwarzania przyrostowego prezentowane na odrębnym stoisku tematycznym."
>
> *– Tomasz Rżysko, general manager i członek zarządu Renishaw Sp. z o.o.*





Sprawdzian Equator i program IPC – aktualizacja danych w sterowniku Mazak HQR Smooth G

wszystkich operacji obróbkowych zastosujemy maszynę współrzędnościową, aby dokonać ostatecznej weryfikacji. Pokażemy przy tym, jak nasz 5-osiowy system Revo – wyposażony w różne czujniki i sondy – pozwala zaoszczędzić czas potrzebny na ostateczną inspekcję. Ważną rolę będą odgrywać systemy Equator umożliwiające szybką kontrolę części.

W jaki sposób można wykorzystać Equator w gnieździe produkcyjnym?

T.R.: Uniwersalny sprawdzian produkcyjny Equator, wyposażony w oprogramowanie IPC, może być podłączony do jednej lub wielu obrabiarek CNC. Oznacza to, że przedmioty obrabiane na różnych maszynach mogą być kontrolowane na jednym Equatorze, a aktualizacje offsetu są wysyłane do odpowiedniej maszyny. Wymagana jest oczywiście identyfikacja obrabiarki i przedmiotu. Połączenie z wieloma obrabiarkami wymaga zastosowania Ethernetu lub istniejącej sieci zakładowej. Bezobsługowa kontrola procesu w gnieździe produkcyjnym, w zamkniętej pętli, jest możliwa i często wykorzystywana w przypadku połączenia z zakładowymi systemami automatyki.



Oprogramowanie IPC umożliwia aktualizację offsetów w module Process Monitor

Czy można monitorować stan narzędzia skrawającego?

T.R.: Funkcje oprogramowania IPC umożliwiają stałe monitorowanie procesu i wykrywanie nadmiernych wartości aktualizacji offsetów narzędzia, które są oznaką uszkodzenia lub szybkiego zużycia, a także automatyczne sygnalizowanie maszynie, które narzędzie wymaga zmiany.

Gdzie warto zastosować oprogramowanie IPC?

T.R.: Oprogramowanie IPC sprawdza się zwłaszcza w wypadku tokarek CNC lub obrabiarek z głowicą przesuwną, w których integracja systemu pomiarowego może być utrudniona ze względu na konfigurację maszyny lub dostępność stanowiska narzędzi. Wykorzystanie sprawdzianu Equator przynosi efekty również tam, gdzie pomiar elementu na obrabiarce jest utrudniony ze względu na jego rozmiar lub lokalizację. Kontrola elementu poza obrabiarką i zastosowanie oprogramowania IPC jest rekomendowanym rozwiązaniem, gdy krytycznym czynnikiem jest czas cyklu produkcyjnego. Pamiętajmy, że alternatywą jest pomiar na maszynie współrzędnościowej, co zwykle trwa znacznie dłużej.

Jak najkrócej zachęcić do zapoznania się z prezentacją Renishaw na EMO?

T.R.: Wizyta na naszym stoisku metrologicznym na targach będzie okazją, aby się zapoznać z bogatym wyborem technologii pomiarowych do monitorowania jakości procesu obróbki skrawaniem.

Zapraszamy również na drugie stoisko, na którym pokażemy możliwości naszych systemów do wytwarzania przyrostowego z proszków metali, zwanych popularnie drukarkami 3D. Także w tej dziedzinie Renishaw pokaże szereg nowości i ciekawe przykłady produkcyjne. Zapraszamy!

Dziękujemy za rozmowę. ■

VLC 200 GT od EMAG

Nowe rozwiązanie toczenia i szlifowania kół zębatych do samochodów osobowych

Bardzo duża liczba sztuk i wysoka jakość elementów to od dziesięcioleci główne cechy produkcji przekładni samochodowych. Rozwój rynku i technologii jest coraz szybszy. Przykładowo: rośnie liczba biegów w samochodach. To wpływa na zwiększanie produkcji. Jednocześnie coraz silniejsza jest konkurencja ze strony nowych uczestników rynku z Azji. Co producenci przekładni (OEM) i ich dostawcy robią, aby dostosować się do tak dynamicznej sytuacji? Odpowiedzi na to pytanie udzielają eksperci z EMAG Maschinenfabrik: seria VLC to wielofunkcyjne obrabiarki, które szybko wykonują obróbkę na twardo elementów przekładni. Firma – która ma siedzibę w Salach w Niemczech – dodała kolejny, ważny element do swojego portfolio: nowa tokarko-szlifierka VLC 200 GT została opracowana z myślą o produkcji samochodowych kół zębatych. Przy tym jest oferowana z zachowaniem doskonałej relacji ceny do wydajności.

Branża motoryzacyjna wydaje coraz większe środki na badania – ich wzrost z 7 do 8% stał się już standardem. Według Niemieckiego Stowarzyszenia Przemysłu Motoryzacyjnego producenci OEM i dostawcy wydali w Niemczech w ubiegłym roku ponad 34 mld euro na rozwój.

Innowacje objęły m.in. projekty przekładni – dzisiejsze przekładnie są mniejsze (a więc lżejsze), ale jednocześnie oferują więcej przełożeń, a tym samym mają więcej kół zębatych i elementów. To umożliwia osiąganie optymalnych zakresów prędkości i redukcję zużycia paliwa.

Każde koło przekładni musi być wyprodukowane maksymalnie szybko i dokładnie. Ze względu na bardzo dużą produkcję głównym problemem planistów jest technologia. Starają się oni znaleźć rozwiązania, które skrócą czas wytwarzania i ograniczą koszty jednostkowe oraz podniosą jakość elementów.

Specjaliści z EMAG odnoszą w tym sukcesy. Przełom nastąpił prawie 20 lat temu, kiedy opracowano pierwszą *pick-up* obrabiarkę, łączącą operacje toczenia i szlifowania przedmiotów uchwytowych. Jej największą zaletą było inteligentne zintegrowanie dwóch procesów obróbki następujących szybko po sobie, zależnie od kształtu obrabianego przedmiotu i wymaganej jakości. Zaprezentowana na tegorocznych targach AMB w Stuttgarcie obrabiarka VLC 200 GT umożliwia zwiększenie wydajności, zwłaszcza w obróbce samochodowych kół zębatych.

Dr Guido Hegener, dyrektor zarządzający EMAG Maschinenfabrik, wyjaśnia: *Nasze rozwiązanie odpowiada na potrzeby produkcji masowej i wysokie wymagania wobec jakości kół zębatych. Oferujemy obrabiarkę dostosowaną w każdym szczególe do produkcji tych elementów*.

Kompletny proces wraz z profilowaniem

Dzięki VLC 200 GT udało się osiągnąć postęp w wydajności. Najpierw obrabiarka jest szybko ładowana za pomocą zintegrowanego wrzeciona *pick-up* – klasycznego rozwiązania EMAG. Aby skrócić czas nieprodukcyjny, zoptymalizowano konstrukcję, np. mechanizmu drzwi strefy obróbki. Gdy wrzeciono z przedmiotem obrabianym osiągnie odpowiednią pozycję, proces zaczyna się od wstępnego toczenia na twardo kołnierza i szybko po nim wiercenia otworu. Pozostaje tylko kilka mikrometrów materiału do usunięcia z koła zębatego. Oznacza to, że kolejny proces szlifowania za pomocą tarczy korundowej lub z CBN jest znacznie krótszy. Jednocześnie jakość obróbki również zyskuje na połączeniu toczenia i szlifowania, ponieważ po toczeniu do zeszlifowania jest tylko niewielka ilość materiału, przez co charakterystyka tarczy szlifierskiej może być dokładniej dobrana, aby uzyskać wymaganą jakość końcową. W rezultacie na VLC 200 GT można otrzymać powierzchnie o średniej chropowatości $Rz < 1{,}6$ µm.

Ta wielofunkcyjna technologia oferuje wiele dodatkowych możliwości przez zastosowanie zależnie od potrzeb: wrzeciona do szlifowania wewnętrznego i zewnętrznego, bezrowkowego narzędzia tokarskiego, blokowego uchwytu narzędzi albo rewolweru narzędziowego na 12 pozycji.



Kompaktowa konstrukcja obrabiarki VLC 200 GT oznacza, że wymaga ona niewielkiej przestrzeni. Może być szybko zintegrowana z istniejącym systemem produkcyjnym



Przestrzeń obróbkowa VLC 200 GT: połączenie toczenia i szlifowania pozwala na znaczne skrócenie obróbki kół zębatych



VLC 200 GT wyposażono w oddzielną rolkę obciągającą z diamentową powłoką



W zależności od potrzeb można zainstalować: wrzeciona do szlifowania wewnętrznego i zewnętrznego, narzędzia tokarskie bez rowkowania, blokowe uchwyty narzędzi oraz 12-pozycyjny rewolwer narzędziowy



Zintegrowany czujnik pomiarowy gwarantuje stałą, wysoką jakość obróbki

Mniejsze koszty narzędzi

Kolejna zaleta obrabiarki jest związana z kosztami narzędzia – ponieważ ściernica wolno się zużywa, nie musi być tak często profilowana. Do obciągania w VLC 200 GT zamontowano rolkę z diamentową powłoką. Dzięki oddzielnemu obrotowemu systemowi obciągania i monitorowaniu szczeliny obrabiarka pozwala w pełni docenić korzyści ze szlifowania CBN.

Aby zapewnić niezawodność procesu i wysoką jakość obróbki, zastosowano zintegrowany czujnik pomiarowy do sprawdzania średnicy i długości zamocowanego, obrobionego przedmiotu. Komfort obsługi był priorytetem konstruktorów. Duże drzwi ułatwiają dostęp do strefy obróbki, a narzędzia i uchwyty można wygodnie zmieniać.

Spływ zamówień na nowe obrabiarki

Choć od prezentacji obrabiarki VLC 200 GT na targach AMB minęło niewiele czasu, firma otrzymała już na nią kilka zamówień wstępnych od producentów OEM i dostawców. Pewną rolę w tym sukcesie odegrała niewielka powierzchnia potrzebna do ustawienia maszyny oraz możliwość elastycznego zintegrowania VLC 200 GT z systemami fabrycznymi. Może ona być sprawnie włączona w proces produkcyjny za pomocą różnych systemów automatyzacji, np. TrackMotion. System ten został opracowany przez EMAG i realizuje transport przedmiotów z obrabiarki na obrabiarkę, ich chwytanie, pozycjonowanie oraz obracanie.

VLC 200 GT może także być wykorzystywana jako samodzielna obrabiarka z prostą automatyzacją taśmową typu „O”. Jest to atrakcyjna alternatywa, zwłaszcza dla klientów na rynkach azjatyckich.

To ostatecznie przesądza o przewadze tej maszyny: oferujemy producentom kół zębatych dostosowane do indywidualnych potrzeb, elastyczne, a przede wszystkim bardzo wydajne rozwiązanie; nie mniej ważne, że jest to rozwiązanie bardzo opłacalne. To właśnie pozwala wygrać na rynku – komentuje Hegener.

EMAG GmbH & Co.KG
Austrasse 24, D-73084 Salach, Niemcy
+49 7162/17-4658
communications@emag.com
www.emag.com

EMAG Oddział w Polsce
ul. Jana Kazimierza 60/65, 01-248 Warszawa
Jerzy Tomczak: kom. 601 371 353,
jtomczak@emag.com
Adam Rak: kom. 728 389 989,
arak@emag.com

Szybki i zautomatyzowany pomiar łopatek turbin

Wywiad ze Stefanem Mahrem, menedżerem ds. sprzedaży w firmie WENZEL, oddział ScanTec



Stefan Mahr,
menedżer ds. sprzedaży
WENZEL ScanTec

Często widuje się urządzenia CORE dokonujące pomiaru łopatek turbin. Czy może pan opowiedzieć nam o zaletach systemu szybkiego skanowania optycznego CORE D w kontekście pomiaru łopatek turbin?

Łopatkę mocuje się w zacisku urządzenia, wciska przycisk i zaczyna pomiar! Oferowany przez nas system CORE odznacza się zwartą budową, dużą wytrzymałością oraz dynamiką. Został opracowany z myślą o pomiarze przeprowadzanym bezpośrednio w warunkach produkcyjnych. System obejmuje czujnik optyczny zapewniający wysoko precyzyjny pomiar nawet błyszczących powierzchni odbijających światło.

Jakie są typowe zastosowania urządzenia CORE?

Poza pomiarem łopatek turbin może być ono wykorzystywane na mnóstwo sposobów. Otrzymujemy coraz więcej zapytań z branży inżynierii medycznej, np. jesteśmy w stanie dokonać pomiaru błyszczących powierzchni sztucznych stawów kolanowych. Właśnie tego rodzaju powierzchnie – silnie odbijające światło – stanowią problem dla innych systemów.

Wspomniał pan, że urządzenie CORE doskonale się spisuje w hali produkcyjnej. Z jakich powodów?

CORE ma bardzo solidną budowę. Duże, stabilne łożyska liniowe zapewniają długotrwałą wytrzymałość i niezawodne działanie nawet w warunkach produkcyjnych. Ponadto urządzenie CORE D ma niewielką powierzchnię podstawy i nie potrzebuje przyłącza powietrza, dlatego jest ono stosunkowo mobilne.

Obecnie w kontekście maszyn pomiarowych często pojawia się kwestia pełnej automatyzacji załadunku i rozładunku oraz pomiaru. Czy zwiększa się liczba zapytań w związku z integrowaniem maszyn pomiarowych tak, aby utworzyć zautomatyzowaną komórkę produkcyjną?

Zapytania projektowe dotyczące automatyzacji są coraz częstsze, także w związku z pozostałymi produktami firmy WENZEL, zwłaszcza w odniesieniu do współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Technologie pomiarowe i odpowiadające im oprogramowanie mają coraz większe znaczenie w procesach integracji. Automatyczny załadunek i wyładunek części oraz zautomatyzowany pomiar są dość często spotykane. Teraz również dane uzyskane z pomiaru przekazywane są do przetworzenia na innych maszynach.

Czy może pan przybliżyć nieco szczegółów na temat któregoś z projektów automatyzacyjnych?

Dokonaliśmy integracji dwóch urządzeń CORE D, tworząc elastyczny system produkcyjny w zakładzie firmy Starrag AG położonym w Rorschacherbergu w Szwajcarii. System ten obejmuje cztery frezarki ze specjalnym mechanizmem



Komórka produkcyjna w firmie Starrag AG (fot. Starrag AG)

zaciskowym, które obrabiają łopatki, do tego dwa systemy czyszczące i dwa urządzenia pomiarowe CORE. Poszczególne stacje są ładowane przez roboty. Maszyny pomiarowe CORE są sterowane komputerowo.
O wyborze naszego urządzenia zdecydowała ścisła procedura wyboru. Istotnym czynnikiem działającym na korzyść naszego rozwiązania pomiarowego było to, że byliśmy w stanie sprostać wyśrubowanym wymogom dotyczącym okresu cyklu.

Nowa generacja urządzeń CORE D ma zintegrowaną osłonę przed światłem. Czy wprowadzono też zmiany w kontekście projektów automatyzacji?

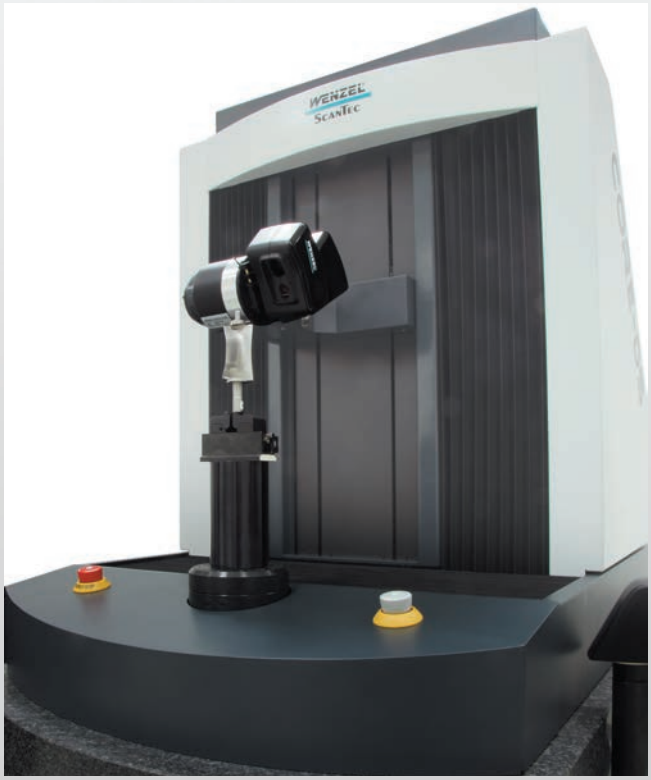
Zintegrowana osłona przed światłem stanowi niezaprzeczalną zaletę w przypadku pomiarów wyjątkowo błyszczących powierzchni. Zapewnia precyzyjny pomiar nawet w suboptymalnych warunkach oświetlenia, co jest normą w środowisku produkcyjnym. Nowa osłona jest automatycznie otwierana, co zapewnia doskonały dostęp z trzech kierunków. Dlatego urządzenie CORE świetnie się nadaje do zautomatyzowanego załadunku i wyładunku.

Jakimi jeszcze zaletami charakteryzuje się nowa generacja urządzeń pomiarowych CORE?

Ciągłemu ulepszaniu poddawana jest technologia sprzętowa i sensorowa. Nowa kamera z podwójnym czujnikiem światła białego charakteryzuje się lepszą rozdzielczością, większą wydajnością świetlną i solidniejszą konstrukcją. Maszyna otrzymała też formę odpowiadającą formie innych maszyn firmy WENZEL, takich jak dotykowe współrzędnościowe maszyny pomiarowe czy też maszyny do pomiaru kół zębatych.

Czy możliwe jest zastosowanie innych czujników optycznych oprócz podwójnego czujnika punktowego światła białego w urządzeniu CORE D?

Tak, można zastosować również czujnik WENZEL PHOENIX, który wykorzystuje metodę przesunięcia fazowego i projekcję światła strukturalnego. Główną zaletą tego rozwiązania jest pomiar powierzchni połączony z szybkim porównaniem z danymi CAD do celów kontroli jakości. Może to mieć formę porównania poszczególnych cech albo oznaczenia kolorami odchylenia od danych nominalnych. Połączenie urządzenia CORE z czujnikiem PHOENIX można też zainstalować na liniach produkcyjnych. Co więcej, połączenie urządzenia CORE z czujnikiem PHOENIX doskonale się sprawdza w inżynierii odwrotnej. Umożliwia użytkownikom uzyskanie danych STL, które można potem przetwarzać w normalnie stosowanych programach CAD.



Pomiar łopatki turbiny (fot. WENZEL Group GmbH & Co. KG)



WENZEL Präzision GmbH – Werner-Wenzel-Straße – D-97859 Wiesthal
T: +49 6020 201-0 – info@wenzel-group.com – www.wenzel-group.com



Idealne szczeliny i łączenia dzięki wykorzystaniu skanera ręcznego ZEISS T-SCAN

Dziennie z linii produkcyjnej w fabryce BMW w Monachium schodzi 1000 pojazdów. W stolicy Bawarii produkowane są modele z serii BMW 3 i BMW 4, w tym BMW 3 Touring, BMW 4 Coupé i M4 Coupé – jest to jedyne miejsce montażu tych modeli i stąd są eksportowane na cały świat. Teraz, dzięki wykorzystaniu skanera ręcznego ZEISS T-SCAN, fabryka BMW zwiększa niezawodność procesu spasowania karoserii.

Wyzwanie

Przednia część pojazdu decyduje o jego wyglądzie. Z tego powodu perfekcyjny montaż i ścisłe przestrzeganie planu montażowego mają dla BMW duże znaczenie. Wcześniej pomiar szczelin był wykonywany z użyciem sprawdzianów. W procesie tym skutecznie wychwytuje się odstępstwa od tolerancji, jednak bez wskazania ich przyczyny.

Dotychczas w celu wykrycia tego rodzaju błędów pojazdy należało dostarczyć do laboratorium pomiarowego, gdzie były mierzone. Dział kontroli jakości poszukiwał takiego systemu digitalizacji, który zoptymalizowałby proces montażu i pomiarów. Miejsce pomiaru zostało wyznaczone bezpośrednio przy stanowisku montażu końcowego. Przyjęto założenie, że wyniki pomiaru nie mogą odbiegać swoją jakością od uzyskiwanych w laboratoriach pomiarowych.

Rozwiązanie i produkt

ZEISS T-SCAN to ręczny skaner laserowy, który umożliwia szybkie, intuicyjne i precyzyjne skanowanie 3D. Skaner ręczny, system śledzący i sonda pomiarowa, które wchodzą w skład tego zestawu, tworzą idealnie dopasowany układ. Jest to system modułowy i ma wiele zastosowań wszędzie tam, gdzie liczy się wyjątkowa szybkość skanowania i precyzyjne wyniki pomiarów.

Taką szybkość i precyzję uzyskuje się dzięki bezstykowemu skanowaniu powierzchni za pomocą linii laserowej generowanej w skanerze ręcznym, który pozwala zebrać 210 000 punktów na sekundę. Jest to wynik lepszy w porównaniu z wynikami osiąganymi za pomocą innych konwencjonalnych technik zbierania danych 3D. Dane powierzchni 3D wyliczane są za pomocą triangulacji, dzięki odczytywaniu położenia skanera przez system śledzący. Skaner umożliwia również wykonanie pomiarów stykowych – służy do tego opcjonalny trzpień pomiarowy, który stosuje się np. w celu zebrania danych z krawędzi otworu lub niewidocznych elementów. Dane ze skanera ZEISS T-SCAN dokładnie opisują stan rzeczywisty. Można je łatwo porównać z odpowiednimi specyfikacjami, takimi jak model CAD. System w sposób przyjazny dla użytkownika obrazuje odchyłki na całej zeskanowanej powierzchni za pomocą raportów chromatycznych.

ZEISS T-SCAN umożliwia skanowanie nawet dużych elementów. Dzięki lekkiej i kompaktowej budowie skanera system ZEISS pozwala na łatwe pozyskiwanie danych z obszarów trudno dostępnych. Kolejną ważną cechą tego zestawu jest intuicyjna i łatwa obsługa zarówno samego urządzenia, jak i dołączonego oprogramowania.

Efekty – korzyści dla klienta

W zakładach BMW od marca 2016 r. proces kontroli jakości wykonania karoserii wspiera trzech pracowników



ZEISS T-SCAN spełnia najwyższe wymagania, a jednocześnie jest rozwiązaniem ekonomicznym – za pomocą tego samego urządzenia bez problemu mogą być zeskanowane również większe komponenty



ZEISS T-SCAN precyzyjnie zbiera dane służące do określenia bieżącego stanu. Odchyłki są natychmiast widoczne na kolorowych schematach chromatycznych

mierzących przednie i tylne spasowania klap aut. Codziennie testom za pomocą urządzenia ZEISS T-SCAN poddawanych jest sześć zmontowanych kompletnych pojazdów. W trakcie kontroli pomiarom podlegają połączenia oraz szczeliny pomiędzy częściami, tj. zaokrąglenia grilla chłodnicy, tzw. nerki BMW, światła przednie czy zderzak. Proste szkolenie wystarczy do tego, aby wykonać zadanie polegające na zebraniu 80÷90 punktów pomiarowych na przodzie i 40 punktów pomiarowych na tyle różnych modeli aut. Zmierzone wartości rzeczywiste są porównywane z zadanymi wartościami z modelu CAD. W ciągu dwóch godzin można ustalić, czy auto ma jakiekolwiek wady montażowe. W ten sposób inżynierowie jakości mogą im przeciwdziałać znacznie szybciej.

Reasumując: dla inżynierów jakości procesów system ZEISS warunkuje skuteczniejszą kontrolę procesów wewnętrznych i dostaw. Dzięki mobilności skanera ZEISS T-SCAN pomiary mogą być wykonywane bezpośrednio w hali produkcyjnej.

Zalety ZEISS T-SCAN

- Natychmiastowe wykrywanie błędów dzięki szybkim i precyzyjnym pomiarom.
- Prostota obsługi, umożliwiająca użycie skanera przez pracowników działu montażu.
- Mobilność systemu, pozwalająca na stosowanie go w hali produkcyjnej.



Skaner laserowy zbiera 210 000 punktów na sekundę. Optyczny system śledzenia, czyli traker (widoczny po prawej części zdjęcia) wykrywa położenie skanera. Dzięki zasadzie triangulacji możliwe jest wyliczenie parametrów 3D skanowanej powierzchni

Carl Zeiss Sp. z o.o.
Dział Metrologii Przemysłowej
ul. Łopuszańska 32, 02-220 Warszawa
tel. +48 22 205 55 25
info.metrology.pl@zeiss.com
www.zeiss.pl/imt

ZEISS

Centrum Pomiarów
Współrzędnościowych ZEISS
ul. Wyzwolenia 26, 43-190 Mikołów
tel. +48 32 720 93 54
pomiary.pl@zeiss.com
www.zeiss.pl/centrumpomiarowe

Wpływ warunków otoczenia i sposobu akwizycji chmury punktów z wykorzystaniem optycznych systemów pomiarowych na wartości parametrów SGP

Susceptibility of SPG parameters to the environment conditions and the method of acquisition of cloud of points with optical measuring systems applied

EMILIA BACHTIAK-RADKA
SARA DUDZIŃSKA
DANIEL GROCHAŁA
STEFAN BERCZYŃSKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.108

Cyfrowa obróbka chmury punktów zarejestrowanej na współcześnie wytworzonej powierzchni daje operatorowi duże możliwości kreowania schematów postępowania metrologicznego oraz pewną swobodę w końcowej ocenie stanu struktury geometrycznej powierzchni (dalej: SGP). Wartości parametrów SGP wyznaczone w specjalnych (niestandardowych) warunkach mogą być trudne do walidacji. Brak powtarzalności wyników pomiarów często bywa przyczyną eskalacji problemów dotyczących jakości we współczesnym przemyśle, a w przypadku prac naukowych budzi wątpliwości co do rzetelności badań. Autorzy przedstawili w artykule wyniki badań wpływu warunków otoczenia oraz wybranych parametrów nastawczych w trakcie pomiarów SGP przeprowadzonych z użyciem aparatury opartej na chromatycznej mikroskopii konfokalnej. Za pomocą analizy wariancji ANOVA określono istotność oddziaływania wybranych parametrów w trakcie akwizycji i cyfrowej obróbki chmury punktów, co w praktyce przekłada się na powtarzalność i odtwarzalność wartości parametrów najczęściej wykorzystywanych w ocenie stanu SGP.
SŁOWA KLUCZOWE: topografia powierzchni, mikroskopia konfokalna, wpływ parametrów nastawczych na pomiar, analiza wariancji (ANOVA)

*Digital processing of a point cloud as measured on a concurrently produced surface would offer many opportunities for the operator to plan metrological process and to give more freedom to assess geometric structure (SGP) of the surface. **SGP parameters when estimated in specific (non-standard) conditions could be difficult to validate. Non-repeatability of** measurement results can often be the reason for escalation of quality problems in today's industry and can arise doubts **about reliability of scientific research work. Presented by the** authors in the article are the results of studies on how the SGP measurements, when carried out by means of devices based on chromatic confocal microscopy, could be distorted by ambient conditions and by the selected parameter settings. **It was ANOVA analysis of variance used to determine effect of** interaction of the selected parameters during acquisition and digital processing of the measured cloud of points. Which in practice is related to the repeatability and reproducibility of the parameters values as most frequently used in the assessment of SGP status.*
KEYWORDS: surface topography, confocal microscopy, influence of setting parameters on measurement, analysis of variance (ANOVA)

* Mgr inż. Emilia Bachtiak-Radka (emilia.bachtiak-radka@zut.edu.pl), mgr inż. Sara Dudzińska (sara.dudzinska@zut.edu.pl), dr inż. Daniel Grochała (daniel.grochala@zut.edu.pl), prof. dr hab. inż. Stefan Berczyński (stefan.berczynski@zut.edu.pl) – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Chmura punktów zarejestrowana bez błędów kształtu nierówności i wysokości powierzchni pozwala na rezygnację z jej cyfrowej obróbki, dzięki czemu wyznaczone wartości parametrów SGP mogą być wolne od losowego wpływu operatora [1–3]. Ponadto metodyka określania wartości parametrów SGP staje się znacznie prostsza. Wartości parametrów SGP rejestrowane bez filtracji powinny być odtwarzalne i powtarzalne dla różnych systemów pomiarowych oferowanych na rynku przez różnych producentów, a jednocześnie pozwalać na łatwą klasyfikację dostępnych urządzeń pomiarowych.

W celu zidentyfikowania wpływu warunków otoczenia i parametrów nastawczych na topografię powierzchni przeprowadzono eksperyment, w trakcie którego w kontrolowanych warunkach wykonano serię skanów powierzchni za pomocą mikroskopu konfokalnego.

Badania wykonywano na wzorcach chropowatości. W eksperymencie uwzględniono zmienny wpływ temperatury otoczenia oraz ekstremalne, możliwe do zrealizowania nastawy pracy multisensorycznej maszyny Altisurf 520 do badań SGP. Zbadano istotność wpływu poszczególnych czynników na zróżnicowanie najczęściej wykorzystywanych (w przemyśle i nauce) amplitudowych parametrów SGP na podstawie analizy wariancji ANOVA.

W ostatnich latach na rynek wprowadzane są różne optyczne urządzenia do pomiaru topografii powierzchni, których zasada działania opiera się na efekcie przesunięcia fazowego [4] lub efekcie konfokalnym światła chromatycznego [5]. Dostępne są również urządzenia wykorzystujące efekt ogniskowania i odbicia na mierzonej powierzchni światła monochromatycznego [6, 7]. Dokumentacja techniczna, która jest dołączana do tego typu urządzeń, oraz normy [4, 5] niewiele mówią o warunkach akwizycji punktów na mierzonej powierzchni. W normach [8, 9] zdefiniowano jedynie podstawowe reguły i zalecenia. Prawdopodobnie wynika to z bardzo szerokich możliwości wykorzystania tego typu urządzeń oraz z konieczności ich każdorazowego ustawiania odpowiednio do mierzonego obiektu. Wpływ na współrzędne zarejestrowanej chmury punktów może mieć wiele czynników, zależnie od używanego systemu pomiarowego, środowiska czy samego operatora [1–3]. W badaniach prowadzonych w Laboratorium Topografii Powierzchni (LTP) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego (ZUT) w Szczecinie skoncentrowano się na doborze warunków akwizycji chmury punktów dla powierzchni przedmiotów wykonanych z metali.

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono – z wykorzystaniem wielowymiarowej analizy wariancji ANOVA – badania istotności wpływu parametrów nastawczych na zróżnicowanie wartości parametrów amplitudowych SGP. Doświadczenia prowadzono w zmiennych, ale

kontrolowanych warunkach środowiska, z zastosowaniem nowoczesnego urządzenia pomiarowego Altisurf 520 firmy Altimet (rys. 1) oraz wzorca chropowatości z rowkami sinusoidalnymi typu C3 (według PN-EN ISO4536-1) Hommel-Etamic nr 3442.

Altisurf 520 jest multisensorycznym urządzeniem do pomiarów topografii powierzchni. Umożliwia akwizycję danych sensorami optycznymi lub stykowymi (w tym przy zredukowanej sile nacisku ostrza odwzorowującego).

Konstrukcja urządzenia opiera się na stole i bramie, które wykonano z granitu. Ruchy stołu są realizowane w płaszczyźnie *XY* za pomocą zmotoryzowanych napędów o rozdzielczości 0,1 µm. Rozdzielczość mechanizmu wykorzystanego do napędu osi *Z* wynosi 0,5 µm. W zależności od użytego sensora urządzenie wykorzystuje efekt mikroskopii interferometrycznej [4] lub konfokalnej [5]. W prowadzonych badaniach zdecydowano się na wykorzystanie zasady optycznego obrazowania konfokalnego chromatycznego, aby zapewnić wysoką rozdzielczość punktów zbieranych wzdłuż optycznej osi przyrządu. Dzięki specjalnemu układowi przesłon w optycznej osi pomiarowej na przetwornik fotoelektryczny trafia jedynie wiązka światła zogniskowana i odbita w mierzonym punkcie powierzchni. Chromatyczne sensory konfokalne mogą być używane w pomiarach przedmiotów wykonanych z dowolnego materiału o dowolnej barwie, a częstotliwość ich próbkowania może wynosić nawet 2 kHz.

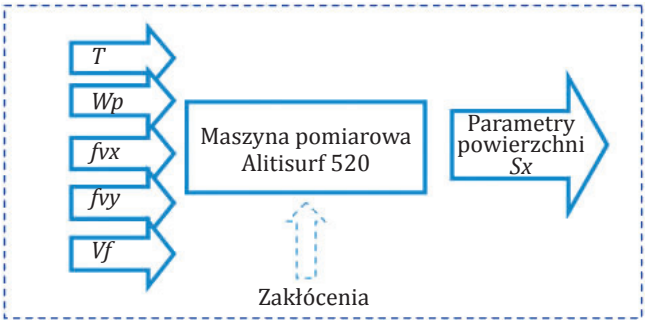


Rys. 1. Profilometr Altisurf 520 o modularnej konstrukcji, umożliwiający pomiary optyczne i stykowe

Metodyka badań

W badaniach uwzględniono pięć czynników wejściowych, do których zalicza się typowe dla pomiarów optycznych parametry skanowania punktów powierzchni, nastawiane przez operatora (bez względu na metodę pomiaru i typ maszyny pomiarowej), i temperaturę (rys. 2, tabl. I). Określona w planie zmienność parametrów nastawczych skanowania jest reprezentatywna dla ogółu dostępnych na rynku urządzeń do badań SGP oraz zgodna z [5].

Badania podzielono na dwie części, tj. ciepłą i zimną, w trakcie których realizowano odpowiednie eksperymenty zgodnie z planem. Za każdym razem odpowiednio przygotowywano laboratorium do badań, gdzie przez ok. 48 h wygrzewano (ochładzano) przyrząd pomiarowy i wzorzec.



Rys. 2. Złożony obiekt badań

TABLICA I. Opis wybranych czynników wejściowych przyjętych w planie eksperymentu

Symbol i nazwa czynnika	Opis czynnika	Zakres
T temperatura	Temperatura otoczenia (w laboratorium badawczym jest zmniejszana bądź zwiększana za pomocą klimatyzatorów)	16÷26°C
Wp jasność diody LED	Jasność diody to ilość światła emitowanego w kierunku próbki. Można ją regulować ręcznie przez zmniejszanie lub zwiększanie jasności LED (gdy ilość światła emitowanego w kierunku próbki maleje, wtedy intensywność światła zmniejsza się na próbce)	25÷100
fv_x próbkowanie w osi *X*	Krok próbkowania w osi *X* określa odległość pomiędzy punktami w każdym z mierzonych profili	0,6÷6 µm
fv_y próbkowanie w osi *Y*	Krok próbkowania w osi *Y* określa liczbę profili mierzonych na powierzchni	0,6÷6 µm
Vf prędkość pomiaru	Prędkość pomiaru może być zmieniana na każdym etapie, przy czym jest ograniczona automatycznie przez zależność $Vf = F \cdot fv_x$, gdzie *F* (w Hz) jest częstotliwością próbkowania optycznego czujnika używanego do akwizycji punktów mierzonej powierzchni, lub przez maksymalną dopuszczalną prędkość na czujniku	120÷1200 µm/s

Przed wykonaniem właściwych pomiarów maszyna realizowała najpierw skanowanie testowe, po którym następowała właściwa sekwencja programu pomiarowego. Pomiar testowy trwał ok. 30 min i miał na celu ustabilizowanie warunków otoczenia po nastawieniu maszyny i wyjściu operatora z laboratorium. Właściwe pomiary prowadzono na wzorcu chropowatości z rowkami sinusoidalnymi typu C3 Hommel-Etamic nr 3442. Maszynę pomiarową Altisurf 520 wyposażono w sensor konfokalny CL2 o zakresie pomiarowym 0÷400 µm. Obszar skanowanej powierzchni wynosił 4 mm × 4 mm. Całą serię pomiarów (16 eksperymentów) przeprowadzono w jednym ustawieniu wzorca na maszynie (bez zdejmowania go z maszyny). Wszystkie podjęte działania miały zapobiec dodatkowym zakłóceniom (na skutek niezamierzonego udziału operatora), mogącym doprowadzić do pogorszenia powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiarów. Obie części planu eksperymentu, tj. ciepłą i zimną, wykonano trzykrotnie na przemian.

Wyniki skanowania każdorazowo opracowywano z zastosowaniem standardowych metod analizy topografii powierzchni. Procedura obejmowała:

- wyznaczanie wartości progowej w celu usunięcia błędnie zebranych punktów powierzchni; usuwane punkty każdorazowo ustawiano jako wartości niemierzone;

- poziomowanie powierzchni (płaszczyzną średnią, aproksymowaną metodą najmniejszych kwadratów);
- filtrowanie chropowatości powierzchni (filtrem gaussowskim, przy długości odcięcia *cutoff* równej 0,8 mm);
- wyznaczanie wartości stereometrycznych parametrów chropowatości według ISO 25178 (wybranych parametrów wysokości powierzchni, parametrów funkcyjnych i cech powierzchni) [7].

Skanowanie powierzchni w każdym punkcie planu eksperymentu powtarzano trzy razy. Aby wyznaczyć wpływ warunków akwizycji danych, po wykonaniu wszystkich eksperymentów zgodnie z planem przeprowadzono analizę wariancji ANOVA w programie STATISTICA 10.

Wyniki badań uzyskano przez określenie istotności wpływu wybranych czynników wejściowych na wartość stereometrycznego parametru *Sq*, tj. na odległość średniokwadratową punktów powierzchni, określaną w stosunku do powierzchni odniesienia jako odchylenie standardowe wysokości nierówności powierzchni [7]. Wartość *Sq* jest definiowana podobnie jak średnie kwadratowe odchylenie profilu odwzorowanego *Rq* w układzie 2D:

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{M} \theta^2(x_i, y_j)}$$

gdzie: $M \cdot N$ – wielkość macierzysta próbkowania, $\theta(x_i, y_j)$ – powierzchnia resztkowa (powierzchnia nośności).

Opracowanie wyników badań

W tabl. II przedstawiono plan eksperymentu oraz wyznaczone wartości parametru *Sq*, w tabl. III – statystyki opisowe (średnie brzegowe, odchylenia standardowe oraz przedział ufności), na rys. 3 – zestawienie parametrów wysokości średniokwadratowej (średniego kwadratowego odchylenia punktów powierzchni *Sq*) otrzymanych w poszczególnych eksperymentach przeprowadzonych zgodnie z planem badań, a na rys. 4 – przykładowe widoki powierzchni uzyskane dla niefiltrowanych chmur punktów.

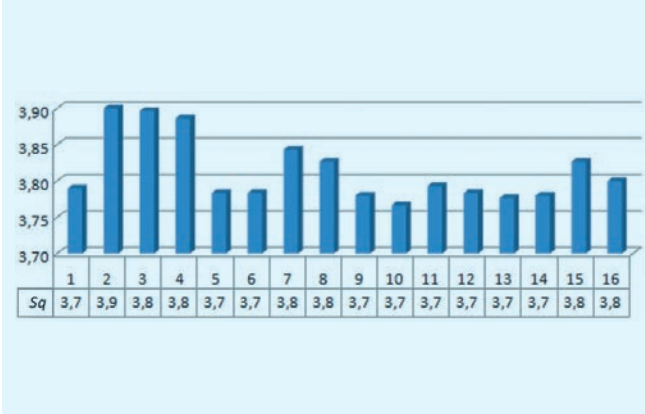
Dla każdego układu eksperymentu bardzo dobrze została odwzorowana regularna powierzchnia wzorca, którą wcześniej wypoziomowano. W żadnym przypadku nie zaobserwowano nienaturalnych struktur powierzchni, będących efektem błędów pomiaru lub innego nieokreślonego (ale systematycznego) oddziaływania. Również liczba punktów niemierzonych była za każdym razem porównywalna i wynosiła mniej niż 0,1% zdefiniowanych punktów powierzchni.

Podstawowe parametry statystyki opisowej dla każdej podklasy układu opracowano za pomocą programu STATISTICA 10. Wygenerowano średnie brzegowe, odchylenia standardowe oraz 95-procentowe przedziały ufności dla średniej wartości rozpatrywanego parametru SGP.

W tabl. III przedstawiono jedynie wyniki dla średniego kwadratowego odchylenia powierzchni *Sq*. Analogiczne obliczenia powtórzono dla pozostałych analizowanych parametrów SGP – wartości średnie zestawiono w tabl. IV.

TABLICA II. Plan eksperymentu z rzeczywistymi wartościami parametrów wejściowych i wyjściowych *Sq* (*Sq* – wysokość średniokwadratowa powierzchni)

Układ eksperymentu	Parametry wejściowe					Parametry wyjściowe			Średnia, µm	Rozstęp, µm	Odchylenie standardowe, µm
	T, °C	*Wp*	fv_x, µm	fv_y, µm	*Vf*, µm/s	Sq_1, µm	Sq_2 µm	Sq_3, µm			
1	16	25	6	6	1200	3,78	3,82	3,77	3,79	0,05	0,026
2	16	100	6	6	120	3,82	4,09	3,79	3,90	0,30	0,165
3	16	100	0,6	6	1200	3,90	3,98	3,81	3,90	0,17	0,085
4	16	25	0,6	6	120	4,05	3,80	3,81	3,89	0,25	0,142
5	16	100	0,6	0,6	120	3,77	3,77	3,81	3,78	0,04	0,023
6	16	25	6	0,6	120	3,79	3,78	3,78	3,78	0,01	0,006
7	16	100	6	0,6	1200	3,78	3,78	3,97	3,84	0,19	0,110
8	16	25	0,6	0,6	1200	3,88	3,80	3,80	3,83	0,08	0,046
9	26	100	6	0,6	120	3,78	3,78	3,78	3,78	0,00	0,000
10	26	100	6	6	1200	3,78	3,76	3,76	3,77	0,02	0,012
11	26	100	0,6	0,6	1200	3,79	3,79	3,80	3,79	0,01	0,006
12	26	25	0,6	6	1200	3,78	3,78	3,79	3,78	0,01	0,006
13	26	25	6	6	120	3,78	3,77	3,78	3,78	0,01	0,006
14	26	100	0,6	6	120	3,79	3,78	3,77	3,78	0,02	0,010
15	26	25	6	0,6	1200	3,81	3,80	3,87	3,83	0,07	0,038
16	26	25	0,6	0,6	120	3,77	3,89	3,74	3,80	0,15	0,079



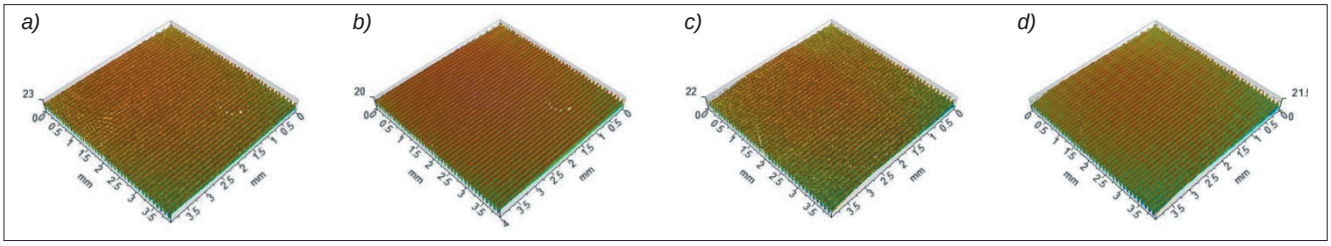
Rys. 3. Zestawienie wartości parametrów *Sq* dla poszczególnych układów planu badań

TABLICA III. Statystyka opisowa wartości parametru *Sq*

Efekt	Statystyki opisowe (*Sq*)						
	Poziom czynnika	Liczba obserwacji *N*	*Sq* średnie	*Sq* odchylenie standardowe	*Sq* błąd standardowy	*Sq* –95%	*Sq* +95%
Ogół		48	3,813542	0,072655	0,010487	3,792445	3,834638
T	16	24	3,838750	0,091903	0,018760	3,799943	3,877557
T	26	24	3,788333	0,031851	0,006502	3,774884	3,801783
Wp	25	24	3,809167	0,062479	0,012753	3,782784	3,835549
Wp	100	24	3,817917	0,082724	0,016886	3,782985	3,852848
fv_x	1	24	3,818750	0,072250	0,014748	3,788241	3,849259
fv_x	6	24	3,808333	0,074230	0,015152	3,776989	3,839678
fv_y	1	24	3,804583	0,049955	0,010197	3,783489	3,825677
fv_y	6	24	3,822500	0,090133	0,018398	3,784440	3,860560
Vf	120	24	3,811250	0,084406	0,017229	3,775608	3,846892
Vf	1200	24	3,815833	0,060427	0,012335	3,790317	3,841350

TABLICA IV. Średnie wartości wybranych parametrów SGP

Układ eksperymentu	*Sa*, µm	*Sz*, µm	*Sq*, µm	*Ssk*	*Sku*	*Sp*, µm	*Sv*, µm
1	3,313	24,867	3,79	0,536	1,97	12,367	12,533
2	3,36	29,867	3,9	0,459	2,09	14,7	15,167
3	3,347	40,3	3,897	0,604	2,217	19,967	20,367
4	3,337	37,433	3,887	0,563	2,13	18,3	19,133
5	3,307	25,067	3,783	0,547	1,967	13,333	11,733
6	3,303	26,533	3,783	0,543	1,97	13,933	12,567
7	3,313	37,8	3,843	0,614	2,153	18,3	19,533
8	3,307	33,533	3,827	0,591	2,09	16,633	17,233
9	3,31	23,1	3,78	0,532	1,953	11,167	11,9
10	3,293	24	3,767	0,54	1,957	12,3	11,7
11	3,283	29,3	3,793	0,625	2,097	15,433	17,133
12	3,283	35,067	3,783	0,618	2,077	17,633	17,433
13	3,307	21,267	3,777	0,535	1,953	10,293	10,967
14	3,303	22,033	3,78	0,535	1,95	11,267	10,733
15	3,297	31,833	3,827	0,6	2,137	15,167	16,667
16	3,297	32,267	3,8	0,606	2,083	15,867	16,4
Zmienność wartości, %	102,3	189,5	103,5	136,2	113,7	194,0	189,8



Rys. 4. Widoki powierzchni dla eksperymentów otrzymanych z planu badań: *a*) nr 1, *b*) nr 13, *c*) nr 2, *d*) nr 14

Analiza wariancji ANOVA

Celem badania była ocena istotności wpływu poszczególnych parametrów wejściowych na wartości wybranych parametrów SGP. W tabl. V zaprezentowano jedynie wyniki analizy wariancji dla weryfikowanej hipotezy o braku istotności wpływu parametrów wejściowych na średniokwadratowe odchylenie współrzędnych punktów powierzchni *Sq*. Analogiczne obliczenia powtórzono dla pozostałych analizowanych parametrów SGP. Określenie istotności wpływu czynników wejściowych na pozostałe wartości parametrów SGP (*Sa*, *Sz*, *Ssk*, *Sku*, *Sp* oraz *Sv*) podano w tabl. VI.

TABLICA V. Arkusz wyników analizy wariancji dla *Sq*

	Suma kwadratów pomiędzy grupami *SS*	Stopnie swobody	Średnia kwadratów pomiędzy grupami *MS*	Wartość testu *F*	Poziom prawdopodobieństwa *p*
Wyraz wolny	698,0688	1	698,0688	138 774,0	0,000000
T	0,0305	1	0,0305	6,1	0,017983
Wp	0,0009	1	0,0009	0,2	0,671293
fv_x	0,0013	1	0,0013	0,3	0,613574
fv_y	0,0039	1	0,0039	0,8	0,386502
Vf	0,0003	1	0,0003	0,1	0,823951
Błąd	0,2113	42	0,0050		

Dla wszystkich analizowanych parametrów wejściowych przyjęto poziom istotności testu $p = 0,05$. W przypadku parametru amplitudowego *Sq* stwierdzono jedynie istotne oddziaływanie temperatury (tabl. V).

W tabl. VI zaprezentowano wynik analizy wzajemnego oddziaływania pomiędzy parametrami wejściowymi na średniokwadratowe odchylenie współrzędnych punktów powierzchni *Sq*.

W odniesieniu do pozostałych parametrów wejściowych nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej.

TABLICA VI. Jednowymiarowe testy istotności dla *Sq*

	Suma kwadratów pomiędzy grupami *SS*	Stopnie swobody	Średnia kwadratów pomiędzy grupami *MS*	Wartość testu *F*	Poziom prawdopodobieństwa *p*
Wyraz wolny	698,0688	1	698,0688	143 071,3	0,000000
T	0,0305	1	0,0305	6,3	0,017725
Wp	0,0009	1	0,0009	0,2	0,667247
fv_x	0,0013	1	0,0013	0,3	0,608994
fv_y	0,0039	1	0,0039	0,8	0,380883
Vf	0,0003	1	0,0003	0,1	0,821637
$T \cdot Wp$	0,0078	1	0,0078	1,6	0,216610
$T \cdot fv_x$	0,0009	1	0,0009	0,2	0,667247
$Wp \cdot fv_x$	0,0046	1	0,0046	0,9	0,338738
$T \cdot fv_y$	0,0204	1	0,0204	4,2	0,049079
$Wp \cdot fv_y$	0,0039	1	0,0039	0,8	0,380883
$fv_x \cdot fv_y$	0,0039	1	0,0039	0,8	0,380883
$T \cdot Vf$	0,0002	1	0,0002	0,0	0,853640
$Wp \cdot Vf$	0,0011	1	0,0011	0,2	0,637827
$fv_x \cdot Vf$	0,0008	1	0,0008	0,2	0,697211
$fv_y \cdot Vf$	0,0117	1	0,0117	2,4	0,131031
Błąd	0,1561	32	0,0049		

Z wykonanej analizy wyłania się interesujący wniosek, że dla wszystkich efektów głównych istotnym parametrem wejściowym jest temperatura (tabl. VII).

W celu doprecyzowania analizy statystycznej przeprowadzono dodatkową analizę z uwzględnieniem wzajemnych interakcji parametrów wejściowych. Interakcje efektów głównych zbadano za pomocą analizy wariancji ANOVA układów czynnikowych.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabl. VI można stwierdzić, że dla parametru *Sq* istotny wpływ mają jedynie temperatura otoczenia oraz interakcja temperatury w połączeniu z próbkowaniem nastawionym przez operatora w osi *Y* (fv_y).

TABLICA VII. Zestawienie istotności wpływu wybranych czynników wejściowych na wyjściowe wartości parametrów SGP

	Sa	*Sz*	*Sq*	*Ssk*	*Sku*	*Sp*	*Sv*
T	■	■	■	■		■	■
Wp							
fv_x		■		■	■	■	■
fv_y							
Vf		■		■	■	■	■
T·*Wp*		■			■	■	■
$T \cdot fv_x$							
$T \cdot fv_y$		■	■	■	■	■	■
T·*Vf*							
$Wp \cdot fv_x$		■				■	■
$Wp \cdot fv_y$							
Wp·*Vf*		■				■	■
$fv_x \cdot fv_y$		■				■	■
$fv_x \cdot Vf$							
$fv_y \cdot Vf$					■		■

Analogiczne obliczenia powtórzono dla pozostałych analizowanych parametrów SGP. Ze względu na bardzo dużą liczbę wyników w tabl. VII istotny wpływ badanego czynnika przedstawiono graficznie – za pomocą znaku ■.

Podsumowanie

Przeprowadzone doświadczenia oraz statystyczna obróbka i analiza danych z analizą wariancji ANOVA pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków.

Okazuje się, że operator, przyjmując podczas skanowania powierzchni określoną temperaturę w laboratorium, może istotnie wpływać na większość badanych parametrów SGP (tabl. VII). Temperatura w powiązaniu z wielkością zastosowanego próbkowania w osi *Y* może spowodować istotną zmianę wartości większości zarejestrowanych parametrów SGP. Różnice wywołane nieświadomie przez operatora w trakcie skanowania powierzchni wynoszą od kilku do kilkudziesięciu procent wartości amplitudowych parametrów SGP.

Do badań wykorzystano multisensoryczną maszynę Altisurf 520. Niektóre spostrzeżenia i obserwacje wydają się słuszne również dla pomiarów wykonywanych przyrządami stykowymi, jednak w LTP nie przeprowadzono szczegółowych badań porównawczych. W literaturze dotyczącej badań dokładności optycznych systemów pomiarowych brak jest podobnych opracowań. W związku z tym stosowne badania należałoby przeprowadzić również dla innych urządzeń pomiarowych różniących się konstrukcją oraz materiałem wykonania. Poszerzenie badań w zbiorze różnych urządzeń do pomiarów SGP powinno doprowadzić do sformułowania szczegółowych wytycznych – jak wykonywać akwizycję punktów powierzchni dla określonych grup materiałów o danych właściwościach, aby wyniki były powtarzalne i odtwarzalne.

Jeden z częściej badanych parametrów SGP, czyli parametr *Sa* (średnie arytmetyczne odchylenie wysokości nierówności powierzchni od płaszczyzny odniesienia), okazał się najmniej wrażliwy na warunki nastawcze maszyny pomiarowej. Poza zidentyfikowanym wpływem temperatury *T* stwierdzono brak interakcji pomiędzy poszczególnymi parametrami nastawczymi.

Z kolei bardzo wrażliwe na nastawy operatora okazały się parametry związane z maksymalną wysokością punktów powierzchni *Sz* oraz maksymalną wysokością pików *Sp* i wgłębień powierzchni *Sv*. Różnice tych parametrów w poszczególnych eksperymentach planu badań sięgały od kilkunastu do nawet 200%. Oprócz wspomnianego już wpływu temperatury zauważalny jest bardzo wysoki wpływ próbkowania w kierunkach *X* i *Y* oraz skojarzony wpływ intensywności oświetlenia emitowanego ze źródła skierowanego na mierzoną powierzchnię. W dokumentacji technicznej często występują parametry *Sz*, *Sp* i *Sv*, a operator nieświadomie może się przyczynić do znaczących rozrzutów (utraty powtarzalności i odtwarzalności) zebranych wartości pomiarowych. Ratunkiem w takiej sytuacji może być odpowiednia metodyka filtracji (cyfrowej obróbki) zarejestrowanych chmur punktów. Wtedy każdorazowo należy podać jej przebieg i warunki akwizycji punktów na powierzchni badanego przedmiotu.

Aby uniknąć konieczności filtracji, najwygodniej byłoby się posłużyć parametrami, których wartości wyznaczane są w sposób uśredniony w stosunku do uśrednionego przebiegu poziomu odniesienia, tj. stosunkowo stabilnych wartości parametrów *Sa* i *Sq*.

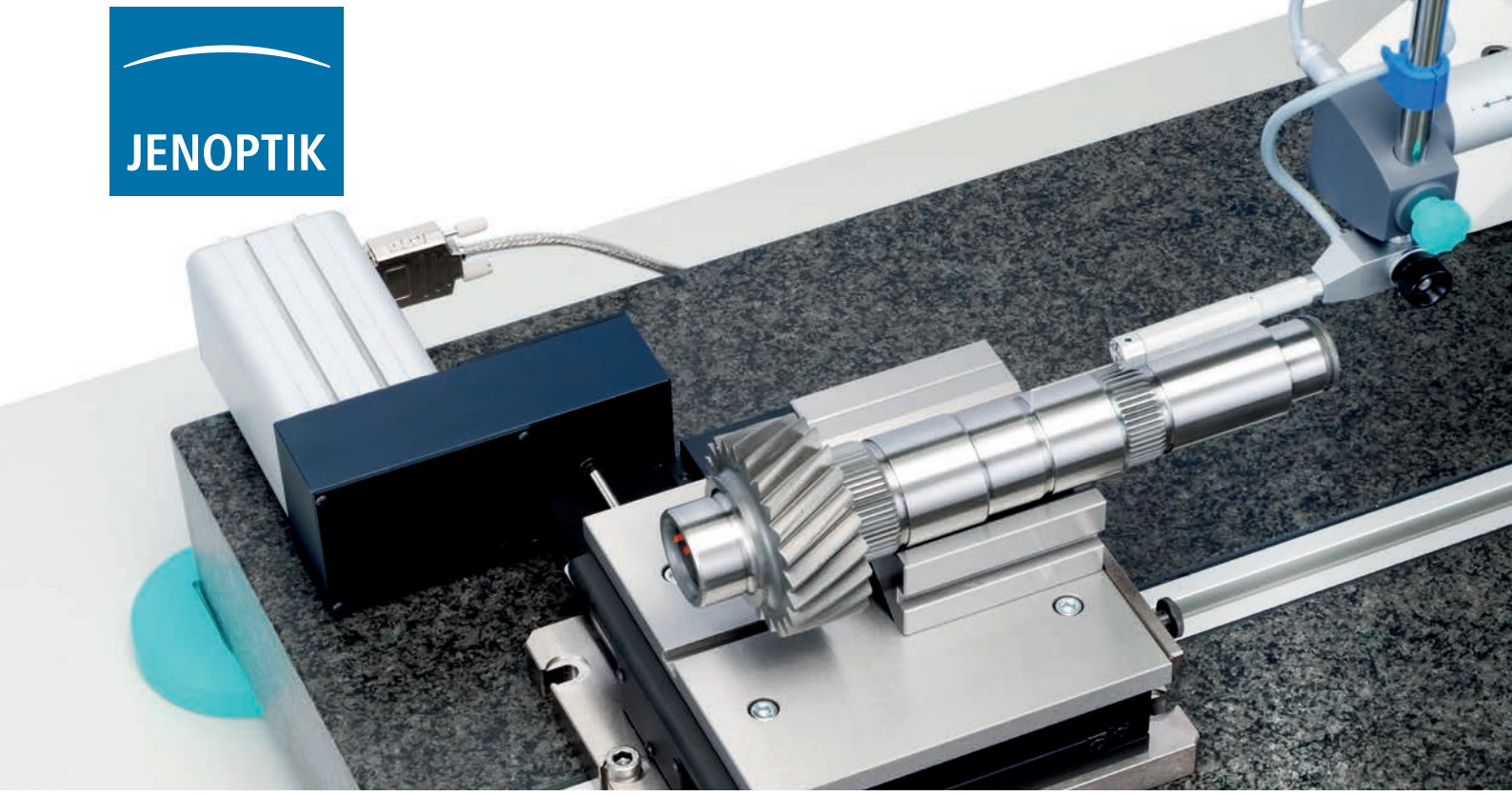
Stwierdzono również wpływ efektów głównych na wartości parametrów rozkładu rzędnych powierzchni, tj. na skośność *Ssk* i kurtozę *Sku*. Operator, dobierając gęstość próbkowania punktów profilu oraz odległość wierszy i prędkość w trakcie skanowania powierzchni, może doprowadzić do powstania różnic sięgających od kilkunastu do kilkudziesięciu procent wartości parametrów. Różnice te są o tyle istotne, że w szczególnych przypadkach mogą prowadzić do błędnej oceny charakteru powierzchni płasko- lub ostrowierzchołkowej.

Zarejestrowany w trakcie badań istotny wpływ temperatury na wszystkie parametry SGP należy tłumaczyć m.in. zmianami wynikającymi z rozszerzalności wzorca. Współczesne urządzenia do badań SGP nie mają funkcji kompensacji temperaturowej mierzonego obiektu, w którą są wyposażone współrzędnościowe maszyny pomiarowe. Obecnie bardzo trudna wydaje się również kompensacja temperatury małych nierówności mierzonej powierzchni (niewielkich długości) na podstawie znanych wartości współczynników rozszerzalności – w przypadku mierzonego obiektu wartość kompensacji była na pograniczu mikro- i nanometrów. Kompensować należy również zmiany wymiarów i geometrii przyrządów pomiarowych wywołane temperaturą. Tych zmian często trudno jest uniknąć (nawet przy współczesnych inwertorowych systemach klimatyzacji), zwłaszcza gdy czas skanowania osiąga 30 h.

LITERATURA

1. Miller T., Adamczak S., Świderski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B. “Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences*. 65 (2017): s. 53–61.
2. Wieczorowski M., Gapiński B., Grochalski K., Miller T. „Teoretyczne aspekty analizy wybranych źródeł błędów w profilowych pomiarach nierówności powierzchni”. *Mechanik.* 4 (2017): s. 335–338. DOI: 10.17814/mechanik.2017.4.53.
3. Miller T. „Źródła niewiarygodności pomiarów topografii powierzchni”. *Mechanik.* 11 (2016): s. 1722–1723. DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.509.
4. PN-EN ISO 25178-603:2013-12. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 603. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (mikroskopów interferometrycznych z korekcją fazy).
5. PN-EN ISO 25178-602:2010. Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 602. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (z czujnikiem chromatycznym konfokalnym).
6. Wieczorowski M. „*Metrologia nierówności powierzchni – metody i systemy*”. Szczecin: ZAPOL Sobczyk Sp.J., 2013.
7. Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. “*The errors of stylus methods in surface topography measurments*”. Szczecin: ZAPOL Sobczyk Sp.J., 2014.
8. PN-EN ISO 25178-2:2012. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
9. ISO 25178-1:2016(en). Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Areal – Part 1. Indication of surface texture. ■

JENOPTIK



PROMOCYJNE CENY

AŻ DO 20 %

MNIEJ

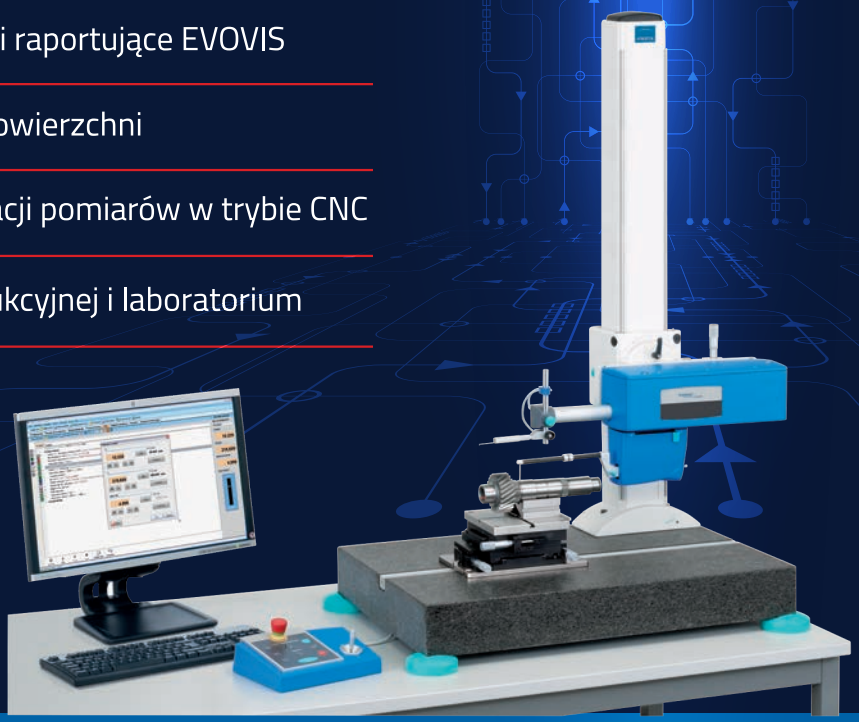
AKCJA TRWA DO 31.10.2017

NA STACJONARNE PRZYRZĄDY

DO POMIARU CHROPOWATOŚCI I KONTURU

Hommel-Etamic: T8000R, T8000C, T8000RC

- duży zakres pomiarowy chropowatości do 1200 µm
- intuicyjne oprogramowanie sterujące i raportujące EVOVIS
- możliwość wykonywania topografii powierzchni
- oszczędność czasu dzięki automatyzacji pomiarów w trybie CNC
- możliwość zastosowania w hali produkcyjnej i laboratorium



Prezentacja urządzenia na targach **TOOLEX**, pawilon A, stoisko 212

Serdecznie zapraszamy!

www.toolex.pl
TOOLEX
MIĘDZYNARODOWE TARGI OBRABIAREK NARZĘDZI I TECHNOLOGII OBRÓBKI
03-05.10.2017
Expo Silesia, Sosnowiec

ITA

ITA spółka z ograniczoną odpowiedzialnością sp. k.
ul. Poznańska 104, Skórzewo, 60-185 Poznań
Tel.: +48 61 222 58 00
e-mail: info@ita-polska.com.pl

www.ita-polska.com.pl

Przełomowa technologia pomiarowa w nowej fabryce VW

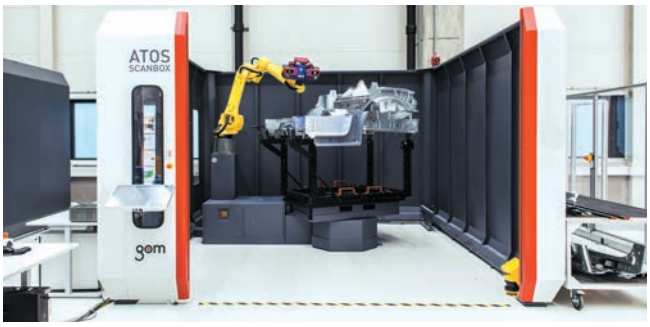
Fabryka VW Commercial Vehicles we Wrześni, której oficjalne otwarcie nastąpiło w październiku 2016 r., to bardzo nowoczesny zakład, który rocznie ma produkować nawet 100 tys. furgonetek VW Crafter. Nadwoziownia, centrum przedmiarowania, lakiernia i zakład montażu końcowego, które zajmują powierzchnię odpowiadającą 300 boiskom piłkarskim, zostały wybudowane zgodnie z energooszczędnym programem VW „Think blue factory".

Zakład we Wrześni jest wzorem dla europejskiej produkcji tego typu pojazdów – wykorzystuje najnowocześniejszą technologię, która jest przyjazna dla środowiska – mówi Jens Ocksen, prezes zarządu VW.

Indywidualnie konfigurowane nadwozia i różne warianty wyposażenia to kluczowe cechy współczesnej produkcji pojazdów, zapewniające przewagę konkurencyjną. Pod tym kątem zaplanowano też proces produkcji w zakładzie we Wrześni. Furgonetki VW Crafter w 70% będą produkowane na miarę. Firma VW jest w stanie to osiągnąć głównie dzięki automatyzacji – 430 robotów wykonuje 68% procedur spawania i klejenia w nadwoziowni oraz ważne zadania transportowe, a poziom zautomatyzowania lakierni ocenia się na 65%.

Produkcja na zamówienie wymagała również nowych koncepcji w zakresie zapewnienia jakości. Z uwagi na 1100 możliwych do skonfigurowania wariantów wyposażenia pojazdu VW Crafter asortyment komponentów podlegających pomiarom jest ogromny i obejmuje: podwozie, przód, nadwozia otwarte i zamknięte, pojedyncze lub podwójne kabiny itp. Z tego względu halę pomiarową o powierzchni 5400 m^2 włączono w obręb linii produkcji nadwozi. Centrum przedmiarowania z systemem Meisterbock, montażem wirtualnym i pełnowymiarowym Powerwall połączono korytarzem z halą pomiarową.

Na potrzeby zapewnienia jakości koncern VW stosuje niemal wyłącznie bezdotykową technologię pomiarów. Wyposażenie hali pomiarowej we Wrześni obejmuje głównie automatyczne, optyczne systemy pomiarowe dostarczone przez firmę GOM: dwa systemy Series 6 ATOS ScanBox oraz trzy podwójne, zrobotyzowane ogniwa pomiarowe i kilka mobilnych, optycznych maszyn pomiarowych. Są one stosowane do precyzyjnej kontroli: modułów montażowych, powłok nadwozia i kompletnie pomalowanych nadwozi. System zaprojektowano pod kątem montażu pojazdów o długości do 7 m i wysokości 3 m. Wyniki pomiarów, uzyskane dzięki systemom optycznym GOM, służą do pełnej inspekcji geometrii 3D, łącznie z liniami granicznymi i układem otworów, na podstawie porównania wymiarów nominalnych i faktycznych.



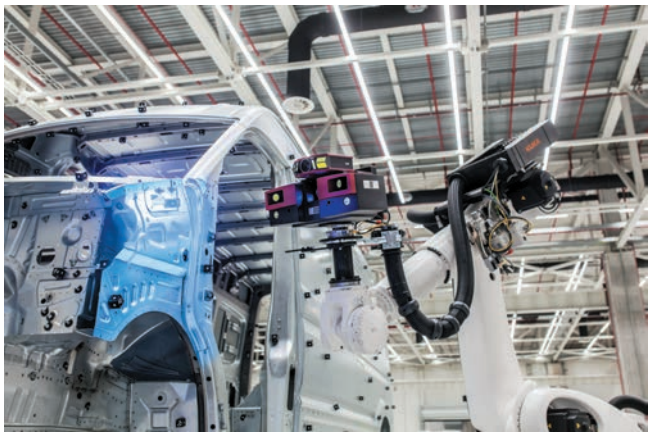
Niezawodna współpraca czujników i oprogramowania, dostarczonych od jednego producenta, to dla firmy VW priorytet

Ze względu na różnorodność przetwarzanych komponentów opracowanie oraz wdrożenie programów pomiarowych i kontrolnych stanowi decydujący aspekt produkcji. Ścieżki robotów i pozycje czujników muszą być wyliczane automatycznie i niezależnie od użytkownika, a przede wszystkim nie mogą blokować pracujących ogniw pomiarowych. Funkcje zintegrowanego oprogramowania GOM, takie jak wirtualna sala pomiarowa (VMR) i AutoNauczanie, są w tym kontekście idealnymi rozwiązaniami.

W VMR symuluje się poszczególne komponenty, czujniki, ogniwa pomiarowe i parametry kinematyki, co umożliwia automatyczne wyliczanie ścieżek i pozycji robota oraz czujnika. Środowisko CAD zapewnia podstawy do określenia pozycji pomiarowych. Jednocześnie planowanie inspekcji odbywa się w formie zdecentralizowanej, niezależnie od systemu pomiarowego. Program pomiaru i inspekcji jest przygotowywany w formie szablonu i wywoływany później przez pracownika fabryki bezpośrednio przy ogniwie pomiarowym.

Myśl szybko

Systemy pomiarowe firmy GOM są określane w fabryce VW jako sprinterzy. Stosują je także współpracujący z fabryką dostawcy wytłoczek i dodatkowych komponentów (nowy zakład we Wrześni nie posiada własnej prasowni).



Wysoki stopień automatyzacji pozwala firmie VW produkować pojazdy „szyte na miarę"



Indywidualnie konfigurowane nadwozia i różne warianty wyposażenia decydują o sukcesie pojazdów WV



Optyczna pomiarownia to pomiarownia przyszłości

Tylko w obrębie linii produkcji nadwozi sześć liniowych, zrobotyzowanych ogniw pomiarowych firmy Zeiss kontroluje poszczególne punkty, pozycje otworów i położenie krawędzi. Precyzyjne wyniki pomiarów optycznych umożliwiają monitorowanie procesu z uwzględnieniem korelacji danych między względnymi pomiarami. Systemy wykrywają nietypowe wahania, choć nie pozwalają na dalszą analizę usterek. Z drugiej strony pomiar bezwzględny komponentów z wykorzystaniem urządzeń GOM jest podstawą do wyciągania wniosków dotyczących faktycznych przyczyn niezgodności procesu.

Volkswagen od wielu lat ściśle współpracuje z wytwórcami systemów pomiarowych. Dla firmy liczy się spójność działania czujników i oprogramowania, a gwarancją tego jest ich pochodzenie od jednego producenta. Precyzja systemów używanych w firmie VW została sprawdzona oraz poddana certyfikacji w niezależnej instytucji i jest na bieżąco kontrolowana.

Przejście z dotykowej do optycznej, kompletnej technologii pomiarowej wynika z możliwości uzyskiwania zrozumiałych wyników. *Pomiarownia optyczna to pomiarownia przyszłości – dla ludzi i technologii* – wyjaśnia Werner Steinert, szef ds. systemów pomiarowych w zakładzie we Wrześni. Dla niego – człowieka z ponad 25-letnim doświadczeniem w dziedzinie budowy pojazdów – jest oczywiste, że technologia pomiarowa musi przynosić korzyści. *W końcu procesy niekontrolowane to złe procesy* – dodaje.

Technologia pomiarów pełnego pola

Świadomość firmy WV, że ludzie muszą dobrze rozumieć i potrafić stosować technologię pomiarową, była ważnym argumentem przemawiającym za optyczną technologią pomiarową pełnego pola. Personel pomiarowni – 56 pracowników – to osoby z okolicy fabryki, które zostały zatrudnione i przeszkolone jeszcze w trakcie jej budowy. Dzięki temu zakład nie ma przestojów spowodowanych szkoleniem użytkowników systemów pomiarowych.

Bezdotykowa technologia pomiarów współrzędnych pola oferuje gęstość informacji nieosiągalną dla metod dotykowych. Wyniki pomiarów 3D zapewniają skuteczną kontrolę informacji zwrotnych z procesu, a przy tym nie wydłużają czasu produkcji. Pod wieloma względami optyczna technologia pomiarów pełnego pola jest przełomowa. W przyszłości każdy komponent powinien przechodzić digitalizację pełnego pola, aby wystarczało jedynie porównanie modeli 3D bez potrzeby sporządzania raportów pomiarowych.

Za wdrożenie maszyn optycznych w produkcji VW Crafter odpowiedzialna jest firma Lenso – wyłączny dystrybutor produktów firmy GOM w Polsce (www.lenso.com.pl).

REKLAMA

CENTRUM KOMPETENCJI METROLOGICZNYCH



Centrum Kompetencji Metrologicznych to innowacyjna platforma integrująca przedsiębiorstwa dostarczające usługi oraz produkty niezbędne dla każdej gałęzi przemysłu w zakresie metrologii, kontroli jakości oraz inżynierii odwrotnej. Głównym celem Centrum Kompetencji Metrologicznych jest kompleksowe i fachowe zaspokojenie wszelkich potrzeb metrologicznych przedsiębiorstw przemysłowych, co jest niezbędne do prawidłowego rozwoju.

3DTEAM
SHAPING THE FUTURE

Firma dostarczająca profesjonalne usługi pomiarów 3D w kontroli jakości oraz inżynierii odwrotnej w przemyśle. Wyłączny certyfikowany partner szkoleniowy firmy 3D Systems w Polsce w zakresie oprogramowania Geomagic do inżynierii odwrotnej.

LENSO
OPTYCZNA TECHNIKA POMIAROWA

Wyłączny dystrybutor niemieckiej firmy GOM, producenta optycznych systemów pomiarowych. Lider w dziedzinie przemysłowych skanerów 3D w Polsce.

3DTOOL
UCHWYTY POMIAROWE

Firma zajmująca się projektowaniem, konstrukcją oraz modernizacją uchwytów pomiarowych. Oficjalny dystrybutor niemieckiej firmy Witte, dostarczającej modułowe systemy mocujące Alufix.

OFERTA CENTRUM KOMPETENCJI METROLOGICZNYCH

SZABLONY I PROGRAMY POMIAROWE | WYNAJEM SYSTEMU I METROLOGÓW
SZKOLENIA METROLOGICZNE | WSPARCIE WDROŻENIOWE | UCHWYTY POMIAROWE

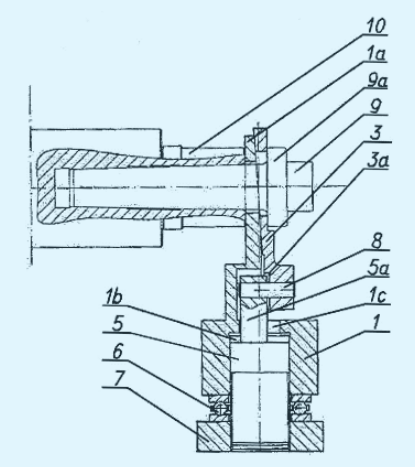
Centrum Kompetencji Metrologicznych, ul. Wschodnia 7B, 62-080 Swadzim k. Poznania, office@centrummetrologiczne.pl, www.centrummetrologiczne.pl

Przegląd patentów odnoszących się do problematyki miesięcznika *Mechanik*

Pat. 224689 – Przyrząd do demontowania trzpieni stożkowych z kołnierzem z gniazd wrzecion maszyn i urządzeń, zwłaszcza z precyzyjnych wrzecion urządzeń pomiarowych i badawczych

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Politechnika Świętokrzyska, twórcy: Henryk Kolczyński, Marian Galant, Stanisław Adamczak, Ryszard Domagalski.

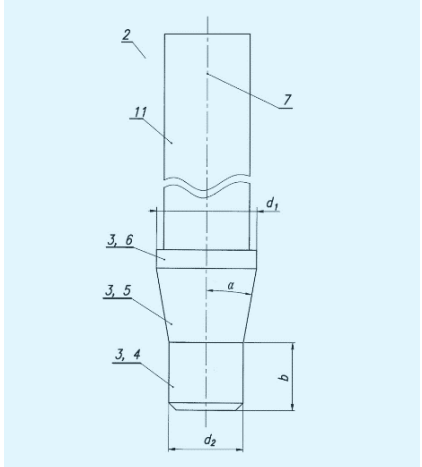
Przyrząd ma korpus (*1*) zakończony odsadzoną płytką (*1a*) o prostokątnym zarysie i pochyleniu w kierunku zakończenia powierzchni płaskiej, z cylindrycznym gniazdem (*1b*), w którym osadzony jest suwliwie prowadnik (*5*), zakończony wspornikiem (*5a*) – najlepiej w postaci prostopadłościanu – usytuowanym w otworze (*1c*) ścianki dna gniazda (*1b*) korpusu (*1*), natomiast we wsporniku osadzony jest kołek (*8*), na który nałożona jest ruchowo płytka (*3*), przylegająca do płytki (*1a*) korpusu (*1*). Płytka (*3*), osadzona na kołku (*8*), jest pochylona o taki sam kąt co płytka (*1a*) korpusu (*1*) i pochylenia te są usytuowane naprzemianlegle względem siebie. Naprzemianległe ustawienie względem siebie pochylonych płaskich powierzchni płytek powoduje, że powierzchnie zewnętrzne kompletu płytek są do siebie równoległe. W płytkach (*1a*, *3*) są wybrania o zarysie litery U, którymi przyrząd jest zakładany na trzpień (*9*). Drugi koniec prowadnika (*5*) ma gwint, na który nakręcone jest pokrętło (*7*) współpracujące z powierzchnią czołową korpusu (*1*). Pomiędzy pokrętłem (*7*) a powierzchnią czołową korpusu (*1*) osadzone jest wzdłużne łożysko (*6*).



Pat. 224541 – Sposób rozpychania tulei grubościennych, zwłaszcza o przekroju kołowym, i narzędzie rozpychające do stosowania tego sposobu

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Politechnika Rzeszowska, twórcy: Stanisław Kut, Feliks Stachowicz, Łukasz Bąk.

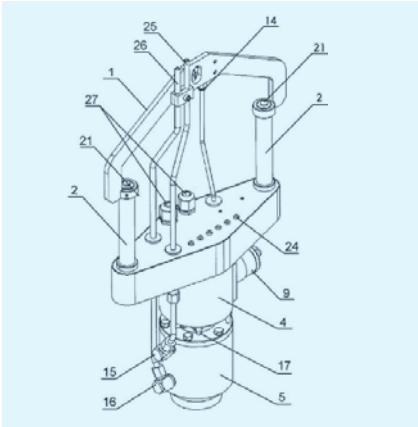
Sposób rozpychania tulei grubościennych, zwłaszcza o przekroju kołowym, polega na tym, że rozpychanie prowadzi się narzędziem rozpychającym (*2*), posiadającym końcówkę roboczą (*3*) z częściami obróbkowymi w postaci części prowadzącej (*4*), połączonej poprzez środkową część kształtującą (*5*) z częścią kalibrującą (*6*) oraz powierzchniami obwodowymi części (*4*, *5*, *6*) końcówki roboczej (*3*) – połączonymi bezstopniowo – i powierzchnią obwodową części kształtującej (*5*), nachyloną do osi wzdłużnej (*7*) narzędzia rozpychającego (*2*) pod ostrym kątem nachylenia (α). Część prowadzącą (*4*) pasuje się suwliwie albo lekko luźno z osiowym otworem początkowym obrabianej tulei. Wielkość kąta nachylenia (α) powierzchni obwodowej w części kształtującej (*5*) dobiera się w zależności od materiału obrabianej tulei. Poprzeczny wymiar części kalibrującej (*6*) dopasowuje się do wymaganego poprzecznego wymiaru dla osiowego otworu końcowego obrabianej tulei, najlepiej z uwzględnieniem zjawiska jej sprężynowania. Przedmiotem wynalazku jest także narzędzie rozpychające do tulei, w tym grubościennych o przekrojach kołowych. Wynalazek znajduje zastosowanie zwłaszcza do rozpychania tulei grubościennych z dużymi naddatkami na obróbkę oraz tulejek metalowo-gumowych ze wstępnym naprężeniem.



Pat. 224542 – Przyrząd do montażu pierścieni uszczelniających

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, twórcy: Tomasz Samborski, Andrzej Zbrowski.

Przyrząd do montażu pierścieni uszczelniających zawiera wieszak (*1*) połączony z dwoma wydrążonymi rękojeściami (*2*), wewnątrz których umieszczone są przyciski blokujący (*21*) i roboczy, a rękojeści (*2*) osadzone są w tulejach kasety, wewnątrz której umieszczone są elementy wchodzące w skład systemu sterowania i z którą połączony jest korpus (*4*) z osiowym otworem, wewnątrz którego osadzona jest obsada pilota, oraz połączony z korpusem (*4*) cylinder (*5*) z wydrążonym tłokiem z dociskiem.

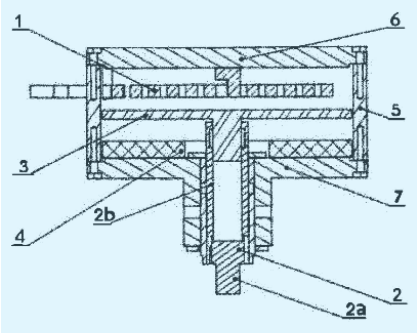


Pat. 224549 – Napęd do kształtowania elektrodynamicznego

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Politechnika Wrocławska, twórcy: Marcin Wiercioch, Monika Marciniak, Zbigniew Zimniak.

Przedmiotem wynalazku jest napęd do kształtowania elektrodynamicznego, zwłaszcza do mikroformowania folii metalowych. Napęd do kształtowania elektrodynamicznego charakteryzuje się tym, że ma odizolowany galwanicznie płaski induktor (*1*) w formie spirali, pod którym jest

umieszczone tłoczysko formujące (*2*), przy czym pomiędzy induktorem (*1*) a tłoczyskiem formującym (*2*) znajduje się przyspieszacz (*3*), a pod nim jest umieszczony elastomerowy dysk (*4*) z wykonanym na środku otworem, przez który przechodzi tłoczysko formujące (*2*). Wszystkie elementy napędu są umieszczone we wspólnej obudowie (*5*) i mają wspólną oś symetrii.

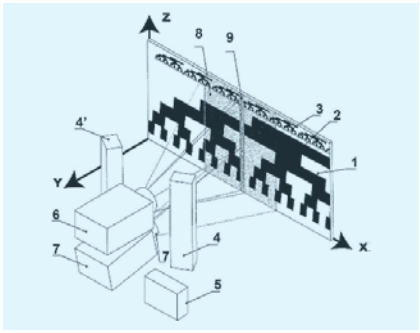


Pat. 224595 – Sposób pomiaru pozycji absolutnej liniowej w maszynach i układ do pomiaru pozycji absolutnej liniowej w maszynach

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, twórcy: Michał Szydłowski, Bartosz Powałka, Stefan Berczyński.

Sposób pomiaru pozycji absolutnej liniowej w maszynach, polegający na odczytaniu absolutnej pozycji elementu maszyny względem wzorca przez czujnik i przekazaniu tego odczytu do układu sterowania maszyny, charakteryzuje się tym, że ze skalibrowanego względem punktu referencyjnego maszyny wzorca (*1*), oświetlonego źródłem światła (*4*), odczytuje się co najmniej dwa sygnały położenia – zgrubny (*2*) i dokładny (*3*) – za pomocą dwóch czujników, tj. liniowego (*6*) i obszarowego (*7*), w postaci kamer wyposażonych w optykę. Tak odczytane sygnały przekazuje się do mikroprocesora (*5*), w którym dekoduje się sygnały (*2*, *3*) położenia, a uzyskaną informację o położeniu przekazuje się do maszyny. Liniowy czujnik (*6*) z matrycą o wymiarach 1 × *n* pikseli ustawia się tak, że w polu widzenia ma wycinek (*8*) wzorca z sygnałami (*2*, *3*), a obszarowy czujnik (*7*) z matrycą o wymiarach *m* × *n* pikseli ustawia się tak, że w środku pola widzenia (*9*) ma wycinek (*8*) wzorca z sygnałami (*2*, *3*), natomiast sygnały położenia (*2*, *3*) stosuje się w postaci graficznej reprezentacji kodu Graya.

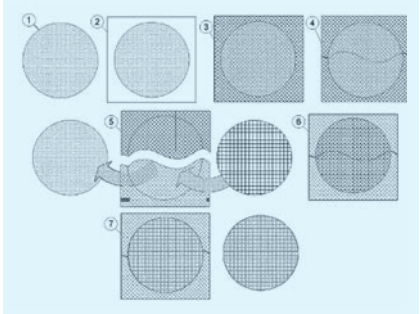
Układ do pomiaru pozycji absolutnej liniowej w maszynach charakteryzuje się tym, że zawiera wzorzec (*1*) z co najmniej dwoma sygnałami położenia – zgrubnym (*2*) i dokładnym (*3*) – oba w postaci graficznej reprezentacji kodu Graya, źródło światła (*4*), mikroprocesor (*5*) połączony z dwoma czujnikami w postaci kamer wyposażonych w optykę, przy czym liniowy czujnik (*6*) ma matrycę o wymiarach 1 × *n* pikseli i ustawiony jest tak, że ma w polu widzenia wycinek (*8*) wzorca z sygnałami (*2*, *3*), a obszarowy czujnik (*7*) ma matrycę o wymiarach *m* × *n* pikseli i ustawiony jest tak, że w środku pola widzenia (*9*) ma wycinek (*9*) wzorca z sygnałami (*2*, *3*).



Pat. 224567 – Sposób wytwarzania kompozytu o osnowie polimerowej zbrojonego w sposób ciągły

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Politechnika Wrocławska, twórcy: Andrzej Pawlak, Edward Chlebus, Robert Dziedzic.

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania kompozytu o osnowie polimerowej zbrojonego w sposób ciągły, który polega na tym, że uprzednio przygotowane w technologii przyrostowej zbrojenie o otwartej porowatości ze stopów metali na bazie tytanu i żelaza zalewa się w silikonowej formie żywicami epoksydowymi w procesie odlewania próżniowego, grawitacyjnego i ciśnieniowego. Po usunięciu odlewu z formy otrzymuje się kompozyt o osnowie polimerowej z regularnym zbrojeniem metalowym.



REKLAMA





HEXAGON
MANUFACTURING INTELLIGENCE

NOWY STANDARD W PROJEKCJI PRĄŻKÓW

AICON STEREOSCAN NEO

„Widzisz Co Mierzysz"- Hexagon Manufacturing Intelligence wchodzi na nowy poziom projekcji prążków. Wykorzystując technologię kolorowej projekcji, pierwszy raz mamy możliwość wizualizacji wyników pomiaru bezpośrednio na obiekcie.

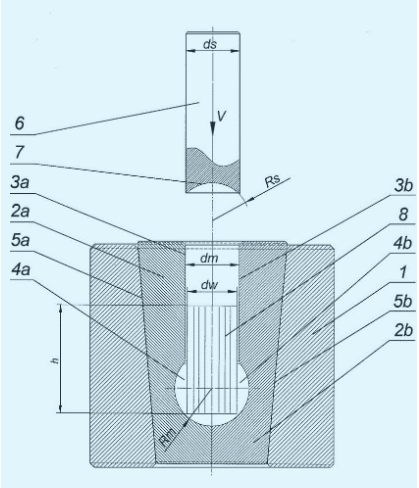
TOOLEX, SOSNOWIEC
3 – 5 PAŹDZIERNIKA 2017
HALA: A, STOISKO 210

HexagonMI.com

Pat. 224684 – Sposób kucia kul

Data publikacji WUP: 31 stycznia 2017 r., uprawnieni: Politechnika Lubelska, twórcy: Zbigniew Pater, Janusz Tomczak, Tomasz Bulzak.

Sposób kucia kul w wykroju zamkniętym, zwłaszcza kul o dużych wymiarach z główek złomowanych szyn, charakteryzuje się tym, że wsad w kształcie główki złomowanej szyny nagrzewa się do temperatury kształtowania na gorąco, która wynosi od 1000°C do 1250°C. Następnie od nagrzanego wsadu odcina się półfabrykat (*8*) na długość $h > d_k$, przy czym długość (*h*) półfabrykatu (*8*) określa się w ten sposób, aby masa półfabrykatu (*8*) była równa masie kształtowanej kuli (*9*). Następnie półfabrykat (*8*) umieszcza się w zamkniętym wykroju, który znajduje się w dzielonej matrycy lewej (*2a*) oraz dzielonej matrycy prawej (*2b*), a dzieloną matrycę lewą (*2a*) oraz dzieloną matrycę prawą (*2b*) zaciska się na powierzchniach stożkowych (*5a* i *5b*) w otworze stożkowym pierścienia oporowego (*1*), po czym stempel (*6*) wprawia się w ruch roboczy i przemieszcza go ze stałą prędkością (*V*) w otworze cylindrycznym, znajdującym się w górnej części dzielonej matrycy lewej (*2a*) oraz w górnej części dzielonej matrycy prawej (*2b*) w kierunku półfabrykatu (*8*), po czym oddziałuje się sferyczną powierzchnią (*7*) stempla (*6*) na półfabrykat (*8*) i spęcza się go, po czym wypełnia się dolną część zamkniętego wykroju o sferycznych powierzchniach roboczych (*4a* i *4b*) i kształtuje się kule (*8*).



Wyboru dokonał prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak dr h.c. we współpracy z Urzędem Patentowym RP



Skaner H120
Nowa generacja przenośnych skanerów laserowych



Z połączenia specjalnie opracowanej optyki Nikon oraz technologii niebieskiego lasera powstał najbardziej wydajny skaner na rynku. H120 zachowuje dokładność podczas skanowania różnego typu powierzchni bez konieczności zmiany jego parametrów. Użytkownicy mogą pewnie skanować części o wyraźnych przejściach kolorów i różnej refleksyjności, ze wszystkich kierunków, bez utraty szybkości skanowania i bez potrzeby przygotowywania części. Zaawansowane narzędzie wskaźnika wiązki pozwala na ciągłe kontrolowanie, czy zbierane punkty znajdują się w zakresie pomiarowym skanera.









W ofercie również:



Tomografy komputerowe



Maszyny pomiarowe



Maszyny do pomiaru kół zębatych

smart SOLUTIONS

Smart Solutions, ul. Kupiecka 11, 03-046 Warszawa
www.smart-solutions.pl

Pomiar temperatury za pomocą termopary naturalnej podczas szlifowania ściernicą jednowarstwową

Temperature measurement using natural thermocouple during grinding with monolayer grinding wheel

ANNA BAZAN
ANDRZEJ KAWALEC
ROBERT BABIARZ
KRZYSZTOF KRUPA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.109

Zaprezentowano przykład pomiaru temperatury podczas szlifowania stali wysokostopowej ściernicami z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną. Wykorzystano termoparę naturalną, której termoelementami były materiał szlifowany oraz taśma niklowa. Zaproponowano metodę wyznaczania charakterystyki termopary naturalnej.
SŁOWA KLUCZOWE: temperatura szlifowania, pomiar temperatury, termopara naturalna, ściernice jednowarstwowe z cBN

Presented is an example of temperature measurement during grinding of high-alloy steels with electroplated cBN grinding wheel. The grinding material and the nickel tape formed a natural thermocouple used for the measurements. A method for gaining the thermal characteristic of natural thermocouple was proposed.
KEYWORDS: grinding temperature, temperature measurement, natural thermocouple, monolayer cBN grinding wheels

Wysokie temperatury występujące w procesie szlifowania mogą prowadzić do uszkodzenia powierzchni obrobionej w postaci np. przypaleń szlifierskich, pęknięć, przemian fazowych w warstwie wierzchniej, zmniejszenia twardości i wytrzymałości zmęczeniowej materiału. Ponadto, ze względu na rozszerzalność cieplną, podczas szlifowania mogą się zmieniać wymiary przedmiotu obrabianego (PO), co jest przyczyną powstawania błędów wymiarowo-kształtowych [1]. Stąd tak istotne są badania termicznych aspektów procesu szlifowania.

Pomiar temperatury w procesie szlifowania, a przede wszystkim interpretacja jego wyników nie są łatwymi zagadnieniami. Trudności w rejestracji sygnału mogą wynikać m.in. z kinematyki procesu oraz ograniczonego dostępu do przestrzeni badawczej [2]. Problemy z analizą danych pomiarowych spowodowane są:

- występowaniem bardzo dużych gradientów temperatury w czasie i przestrzeni w otoczeniu powierzchni styku ściernicy i PO,
- obszarem pomiarowym znacznie większym niż pojedyncze źródło ciepła wokół krawędzi skrawających,
- trudnym do określenia wpływem chłodziwa na wynik pojedynczego pomiaru (w jednym przejściu ściernicy) i jego zmianami w czasie [1, 2].

Z tego względu stosunkowo niewiele prac podejmuje ten temat w kontekście szlifowania ściernicami jednowarstwowymi [3–6]. Znacznie częściej zwraca się uwagę jedynie na skutki zbyt wysokiej temperatury w strefie szlifowania w postaci przypaleń szlifierskich, które mogą być objawem zużycia ściernicy [7, 8].

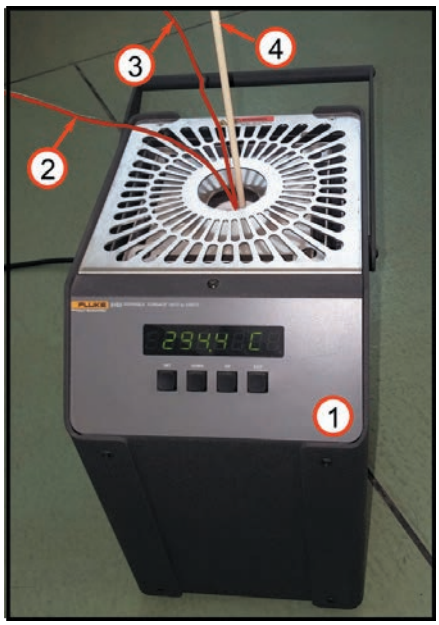
W pracy podjęto próbę wykorzystania termopary naturalnej do wyznaczania temperatur podczas szlifowania stali wysokostopowej ściernicą z cBN ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną.

Wzorcowanie termopary naturalnej

Jednym z termoelementów termopary naturalnej jest szlifowany materiał. Bardzo często nie jest to materiał wykorzystywany do budowy termopar przemysłowych, a zatem istnieje potrzeba określenia charakterystyki stosowanej termopary naturalnej.

W przypadku termopary wykorzystywanej na stanowisku badawczym termoelementami były taśma niklowa oraz szlifowany materiał, tj. Pyrowear 53 po obróbce cieplno-chemicznej (OCC).

Pierwsze próby wzorcowania przeprowadzono za pomocą pieca do wzorcowania termopar Fluke 9150. Poza odczytem z wyświetlacza pieca informacji o temperaturze referencyjnej dostarczała termopara typu *J* (rys. 1).



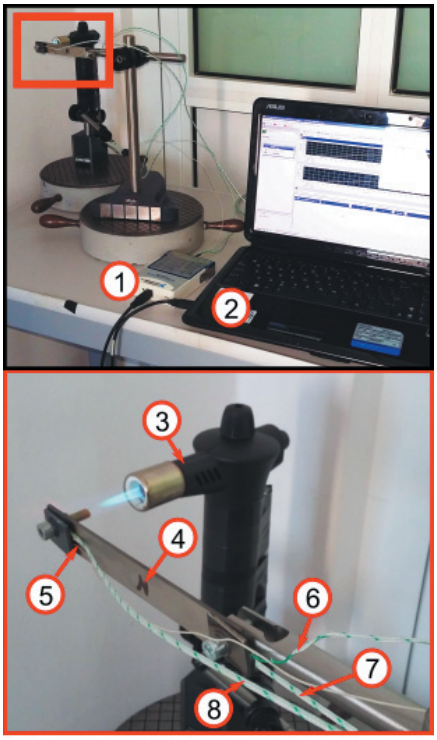
Rys. 1. Piec do wzorcowania termopar (*1*) z umieszczoną w nim termoparą wzorcowaną (przewody *2* i *3*) oraz termoparą referencyjną (*4*)

Ze względu na małą przestrzeń pieca elementy termopary ze stali Pyrowear 53 przygotowano w postaci drutu o przekroju kwadratowym i boku ok. 1 mm, natomiast element niklowy miał postać drutu okrągłego o średnicy 1 mm. Druty stalowe po nawęglaniu stawały się bardzo kruche i często ulegały złamaniu podczas dalszej obróbki cieplnej, transportu oraz łączenia z drugim elementem termopary. Ostatecznie wykorzystywane elementy z Pyrowear 53 miały długość ok. 10 cm, dlatego przedłużono je za pomocą drutu kompensacyjnego, który wyprowadzał sygnał do karty pomiarowej. Element niklowy był na tyle

* Mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), dr hab. inż. Andrzej Kawalec (ak@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl), dr inż. Krzysztof Krupa (krupa@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

długi, że jego wolny koniec można było bezpośrednio podłączyć do karty pomiarowej. Małe wymiary elementów stalowych powodowały ich szybkie nagrzewanie się na całej długości, a tym samym konieczność zmiany konfiguracji stanowiska do wzorcowania, aby możliwe było zachowanie w przybliżeniu stałej temperatury zimnego końca termopary.

Drugą, ostateczną koncepcję stanowiska do wzorcowania termopary naturalnej przedstawiono na rys. 2.

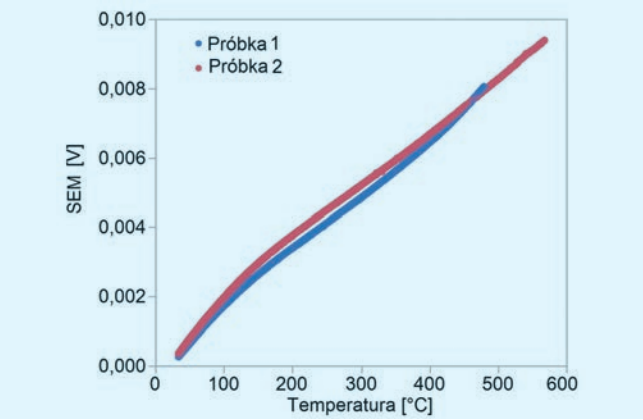


Rys. 2. Stanowisko do wzorcowania termopary naturalnej: karta pomiarowa (*1*), komputer PC (*2*), palnik gazowy (*3*), stalowy element termopary (*4*), niklowy element termopary (*5*), przewód kompensacyjny odprowadzony od zimnego końca elementu stalowego (*6*), termopara mierząca temperaturę zimnego końca elementu stalowego (*7*), termopara referencyjna w stosunku do wzorcowanej (*8*)

Element termopary ze stali Pyrowear 53 był przygotowany w formie płytki o wymiarach 150 × 18 × 3 mm (*4*). Do końców płytki dokręcono mniejsze elementy z tego samego materiału. Na gorącym końcu płytki z Pyrowear 53, który był podgrzewany za pomocą palnika gazowego (*3*), pomiędzy elementy stalowe zaciśnięto drut niklowy (*5*) (termoelement wzorcowanej termopary) oraz referencyjną termoparę typu *K* (*8*). Na zimnym końcu płytki stalowej zaciśnięto drut kompensacyjny odprowadzający sygnał z płytki stalowej (*6*) oraz termoparę typu *K*, mierzącą temperaturę zimnego końca płytki stalowej (*7*). Sygnały ze wszystkich termoelementów wprowadzono do karty pomiarowej NI-9211 i zarejestrowano za pomocą oprogramowania LabVIEW SignalEkspress.

Aby zapewnić większą wiarygodność badań, dwukrotnie powtórzono eksperyment. Proces nagrzewania starano się prowadzić możliwie szybko, aby zminimalizować zmianę temperatury zimnego końca. W trakcie badań nad wzorcowaniem termopary w wyniku nagrzewania płytki stalowej temperatura zimnego końca zmieniła się maksymalnie o 32°C, co stanowiło 5,5% maksymalnej zarejestrowanej temperatury.

Analizę wyników wzorcowania prowadzono dla fazy chłodzenia, które polegało na pozostawieniu próbek w spokojnym powietrzu. Wyniki obydwu powtórzeń przedstawiono na rys. 3.



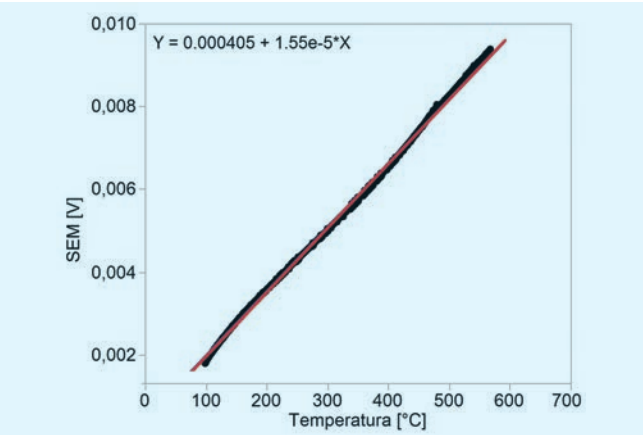
Rys. 3. Wartości siły elektromotorycznej SEM w zależności od temperatury w dwóch próbkach reprezentujących termoparę naturalną

W celu wyznaczenia charakterystyki termopary po uśrednieniu wartości z dwóch prób przeprowadzono analizę regresji.

Na rys. 3 widać, że powyżej temperatury ok. 100°C zależność siły elektromotorycznej (*SEM*) od temperatury jest liniowa. Wówczas charakterystykę termopary można przybliżyć wzorem:

$$T\ [^{\circ}C] = 0{,}000405 + 1{,}55e\text{-}5 \cdot SEM\ [V]$$

Wyniki analizy regresji przedstawiono na wykresie (rys. 4).



Rys. 4. Linia regresji opisująca charakterystykę termopary

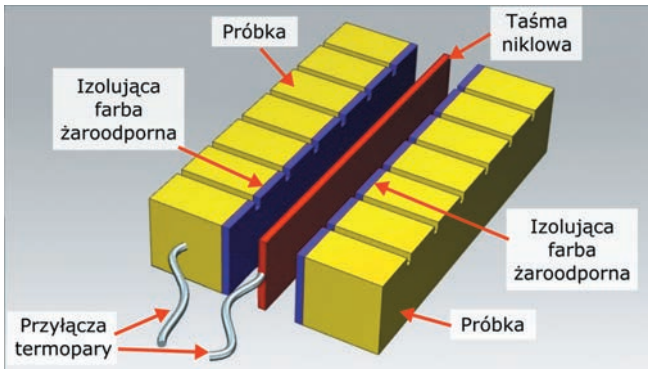
Otrzymane liniowe równania regresji można uznać za istotne dla poziomu istotności $\alpha < 0{,}0001$. Współczynnik korelacji r między danymi reprezentującymi zmienną zależną oraz niezależną spełniał w przypadku obu próbek warunek $r \geq 0{,}99$.

Pomiar temperatury na stanowisku badawczym

Procesy szlifowania stali wysokostopowej Pyrowear 53 w stanie utwardzonym prowadzono na szlifierce Fortis firmy Michael Deckel z wykorzystaniem ściernicy jednowarstwowej ze spoiwem nanoszonym metodą galwaniczną, ze ścierniwem z cBN o numerze ziarna B35. Ściernica miała kształt stożkowy o maksymalnej średnicy d_s = 100 mm i kącie stożka 140°.

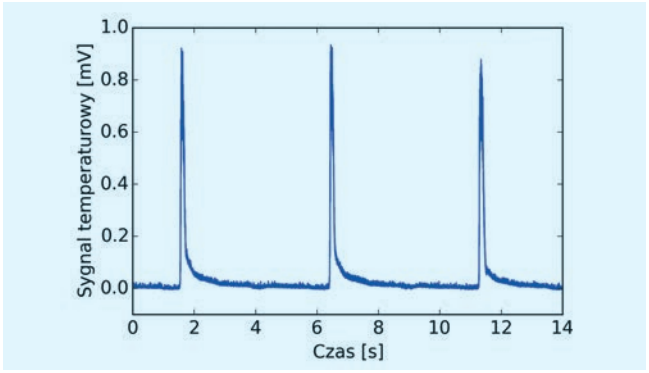
Prędkość obrotowa ściernicy wynosiła n = 6000 obr/min, prędkość posuwu v_w = 1400 mm/min, głębokość szlifowania a_e = 30 µm. Czas szlifowania w jednym przejściu ściernicy wynosił ok. 1,74 s.

Do pomiaru temperatury wykorzystano termoparę naturalną, której schemat przedstawiono na rys. 5. Elementami termopary były materiał obrabiany oraz taśma niklowa. Aby odizolować je od siebie, boki szlifowanych próbek, które przylegały do taśmy Ni, pokryto farbą izolującą. Ponieważ sygnał temperatury okazał się za słaby, w celu odróżnienia go od szumu pomiarowego w torze pomiarowym umieszczono wzmacniacz sygnału ×100. Sygnał temperatury po wzmocnieniu przekazywany był do karty NI USB-6215. Rejestrację danych pomiarowych w postaci plików TDMS prowadzono w programie LabVIEW SignalExpress. Do obróbki plików TDMS wykorzystano środowisko programistyczne Python.

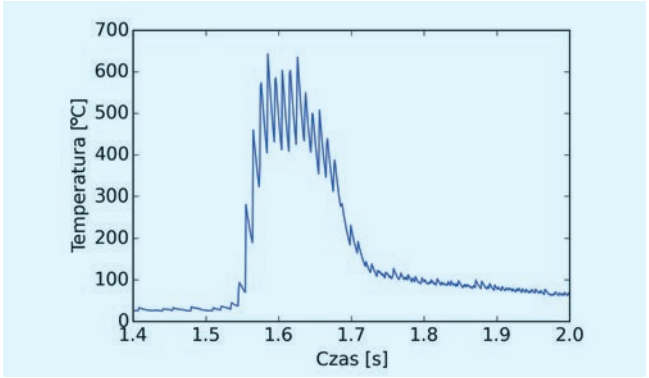


Rys. 5. Schemat budowy termopary naturalnej użytej w badaniach

Przykład sygnału zarejestrowanego dla trzech kolejnych przejść ściernicy przedstawiono na rys. 6. Widoczny jest intensywny wzrost wartości sygnału temperatury przy zwarciu elementów termopary i jego spadek po rozwarciu.



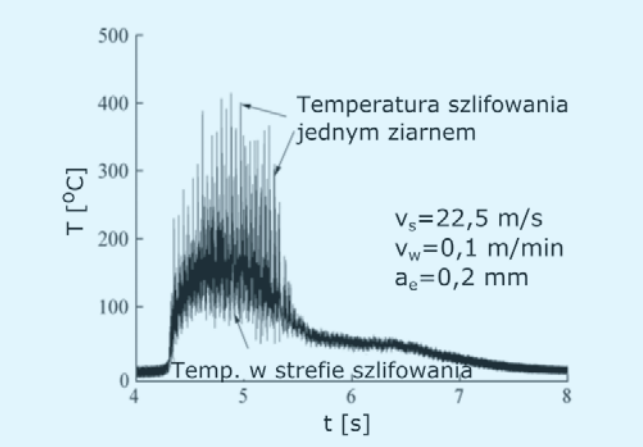
Rys. 6. Przykład zarejestrowanego sygnału pochodzącego z termopary naturalnej dla kolejnych trzech przejść ściernicy.



Rys. 7. Wartości temperatury podczas pojedynczego przejścia ściernicy

Na rys. 7 przedstawiono fragment rejestrowanego sygnału po przeliczeniu jednostek na temperaturę w stopniach Celsjusza, z wykorzystaniem wzoru wyznaczonego podczas wzorcowania termopary. Można zauważyć, że pojawiające się piki, o wartości ok. 600°C, mają taką samą częstotliwość jak obracająca się ściernica.

Podobnych obserwacji dokonał autor [3, 4] (rys. 8), który interpretował maksymalną wartość pików jako temperaturę szlifowania jednym ziarnem, która w cytowanych badaniach wynosiła 500÷600°C.



Rys. 8. Przykładowy zarejestrowany sygnał temperatury podczas szlifowania z posuwem pełzającym ściernicą jednowarstwową z nasypem z cBN [4]

Podsumowanie

Zaproponowana metoda wyznaczania charakterystyki termopary jest obarczona błędem wynikającym z niezachowania stałej temperatury zimnego końca termopary. Można go zniwelować, jeśli umieści się zimne końce termoelementów w zbiornikach z wodą i lodem, ale to skomplikuje budowę stanowiska. Ze względu na stosunkowo niewielką zmianę temperatury zimnego końca płytki stalowej w trakcie próby wzorcowania termopary (ok. 5,5%) autorzy artykułu uznali przyjętą metodykę za wystarczającą do określenia przybliżonej temperatury podczas szlifowania.

Zarówno charakter zarejestrowanego sygnału temperatury, jak i rząd jego wartości zgadzają się z danymi otrzymanymi w innych badaniach [3, 4, 6], co sugeruje poprawność wyników badań.

LITERATURA

1. Malkin S., Guo C. *"Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives"*. Industrial Press, 2008.
2. Pruti F. "*Development of Composite Grinding Wheels for Hard and Soft Metals"*, praca doktorska. London: University of East London, 2011.
3. Ding W. i in. "Wear behavior and mechanism of single-layer brazed CBN abrasive wheels during creep-feed grinding cast nickel-based superalloy". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 51, 1 (2010): s. 541÷550.
4. Ding W. i in. "Grindability and surface integrity of cast nickel-based superalloy in creep feed grinding with brazed CBN abrasive wheels". *Journal of Aeronautics*. 23, 4 (2010): s. 501÷510.
5. Deja M. „Szlifowanie jednostronne z wykorzystaniem ściernic o spoiwie galwanicznym". XXXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. *Mechanik*. 87, 8–9 (2015): CD, s. 84÷89.
6. Zhao Z. i in. "An investigation on high-efficiency profile grinding of directional solidified nickel-based superalloys DZ125 with electroplated CBN wheel". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 83, 1 (2016): s. 1÷10.
7. Aspinwall D., Soo S., Curtis D., Mantle A. "Profiled superabrasive grinding wheels for the machining of a nickel based superalloy"'. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 56, 1 (2007): s. 335÷338.
8. Tawakoli T., Rabiey M., Wegener K. "The effect of special structured electroplated CBN wheel in dry grinding of 100Cr6". *Advances in Abrasive Technology XII, 76, Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, 2009.

Dokładność i chropowatość powierzchni po pięcioosiowym szlifowaniu ściernicą kulistą

Surface accuracy and roughness parameters in free form grinding with the use of an spherical diamond head

JAN BUREK
ARTUR SZAJNA
JOANNA LISOWICZ
TOMASZ RYDZAK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.110

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych pięcioosiowego szlifowania kulistą ściernicą trzpieniową wypukło-wklęsłej powierzchni wykonanej z ceramiki korundowej. Pokazano wpływ posuwu i głębokości skrawania na parametry chropowatości *Ra* i *Rz* oraz dokładność odwzorowania powierzchni.
SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie, ceramika korundowa, dokładność odwzorowania powierzchni, diamentowa trzpieniowa ściernica kulista

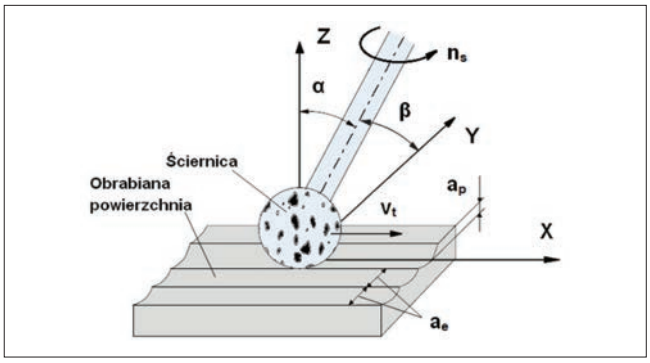
*The article presents the results of experimental research for free form grinding of corundum ceramic with the use of an **spherical diamond head. Article shows the influence of cutting depth and feed on roughness parameters and surface accuracy.***
KEYWORDS: grinding, corundum ceramics, surface accuracy reproduction, spherical head diamond mounted points grinding tool

Ze względu na właściwości materiałów ceramicznych ich obróbka ścierna jest technologicznie trudna. Dotyczy to zwłaszcza szlifowania powierzchni złożonych, w których obróbce stosuje się najczęściej ściernice trzpieniowe z nasypem diamentowym [1–3]. Taki proces wymaga zastosowania wieloosiowych szlifierek wyposażonych w wysokoobrotowe wrzeciona i precyzyjne układy pozycjonowania osi – tylko pod tym warunkiem możliwe jest szlifowanie elementów o skomplikowanych kształtach wykonanych z materiałów ceramicznych lub supertwardych [4].

Materiały ceramiczne są szeroko stosowane w technice, a także w inżynierii medycznej – zwłaszcza korund i cyrkon wykorzystuje się na implanty kostne i zębowe [4, 5]. Takie elementy wykonuje się z użyciem narzędzi o małych rozmiarach, co powoduje, że prędkość skrawania v_c musi się mieścić w przedziale 5÷10 m/s (w przypadku szlifowania konwencjonalnymi ściernicami wynosi ona 30÷45 m/s). Przykładowo: aby prędkość skrawania w przypadku ściernicy o średnicy d_s = 5 mm osiągnęła 10 m/s, prędkość obrotowa wrzeciona obrabiarki powinna wynosić co najmniej n_s = 40 000 obr/min.

Poza tym w szlifowaniu trzpieniowymi ściernicami kulistymi ważne jest odpowiednie ustawienie osi trzpienia ściernicy względem obrabianej powierzchni – tak aby uzyskać wymaganą efektywną prędkość skrawania (rys. 1).

W zależności od kątów wyprzedzenia α i pochylenia β minimalna i maksymalna efektywna prędkość skrawania przyjmuje różne wartości.



Rys. 1. Ustawienie osi trzpienia ściernicy (a_p – głębokość szlifowania, a_e – szerokość szlifowania, α – kąt wyprzedzenia, β – kąt pochylenia, n_s – prędkość obrotowa ściernicy)

Jeżeli α = 0° i β = 0° (oś wrzeciona prostopadła do powierzchni), wtedy prędkości skrawania przyjmują wartości:

$$v_{c\,min} = \frac{\pi \cdot n_s \cdot 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{2}d_s\right)^2 - \left(\frac{1}{2}d_s - a_p\right)^2}}{60\,000}\ [\mathrm{m/s}]$$

$$v_{c\,max} = \frac{\pi \cdot n_s \cdot d_s}{60\,000}\ [\mathrm{m/s}]$$

gdzie: a_p oznacza głębokość szlifowania.

Jeśli natomiast jeden z kątów (α lub β) jest różny od zera, prędkości skrawania są określone równaniami:

$$v_{c\,min} = \frac{\pi \cdot d_{s\,min} \cdot n_s}{60\,000}\ [\mathrm{m/s}]$$

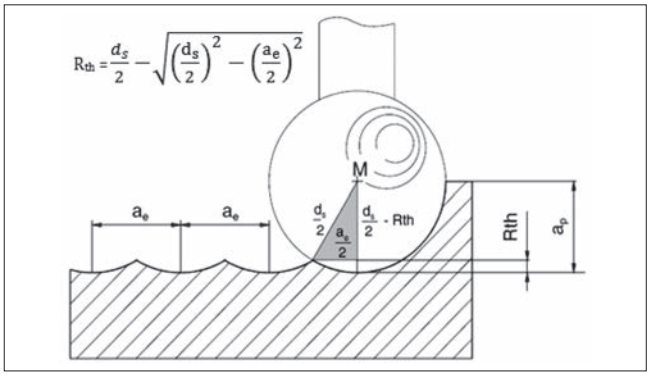
$$v_{c\,max} = \frac{\pi \cdot d_{s\,max} \cdot n_s}{60\,000}\ [\mathrm{m/s}]$$

gdzie:

$$d_{s\,min} = d_s \cdot \sin\left(\beta - \arccos\left(\frac{\frac{1}{2}d_s - R_{th}}{\frac{1}{2}d_s}\right)\right)\ [\mathrm{mm}]$$

$$d_{s\,max} = d_s \cdot \sin\left(\beta + \arccos\left(\frac{\frac{1}{2}d_s - a_p}{\frac{1}{2}d_s}\right)\right)\ [\mathrm{mm}]$$

natomiast R_{th} jest teoretyczną wysokością chropowatości (rys. 2).

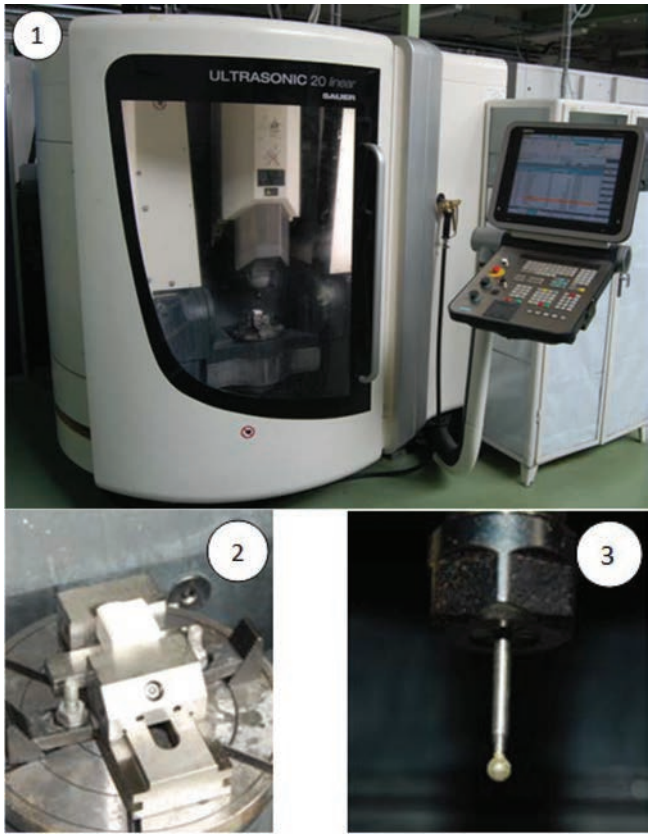


Rys. 2. Określenie maksymalnej chropowatości teoretycznej R_{th} [4]

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Artur Szajna (a.szajna@prz.edu.pl), mgr inż. Joanna Lisowicz (j.lisowicz@prz.edu.pl), mgr inż. Tomasz Rydzak (t.rydzak@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

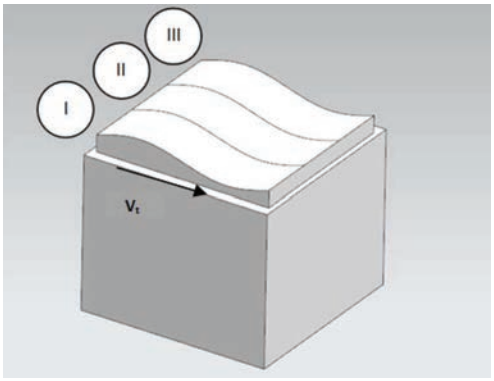
Stanowisko badawcze i przebieg badań

Próby szlifowania zrealizowano na pięcioosiowym centrum obróbkowym Ultrasonic 20 linear firmy Sauer (rys. 3), wyposażonym w układ sterowania Sinumerik 840D. Do obróbki zastosowano diamentowe trzpieniowe ściernice kuliste firmy Dremel (7105), powlekane galwanicznie, o średnicy d_s = 4,4 mm. Materiałem obrabianym była wstępnie spieczona ceramika korundowa o zawartości Al_2O_3 powyżej 98%.



Rys. 3. Stanowisko badawcze: *1* – obrabiarka, *2* – przestrzeń robocza z zamocowaną próbką, *3* – ściernica Dremel 7105

Do badań przygotowano dwie identyczne próbki, których powierzchnie podzielono na trzy strefy o szerokości 10 mm (rys. 4). Dla każdej strefy przyjęto inną wartość naddatku na szlifowanie (tablica). Do obróbki każdej z próbek wykorzystywano nową ściernicę.



Rys. 4. Strefy powierzchni obrabianej

TABLICA. Wartości naddatków na szlifowanie w poszczególnych strefach próbki

Numer strefy	I	II	III
Wartość naddatku, µm	10	20	30

W procesie szlifowania stosowano następujące parametry:

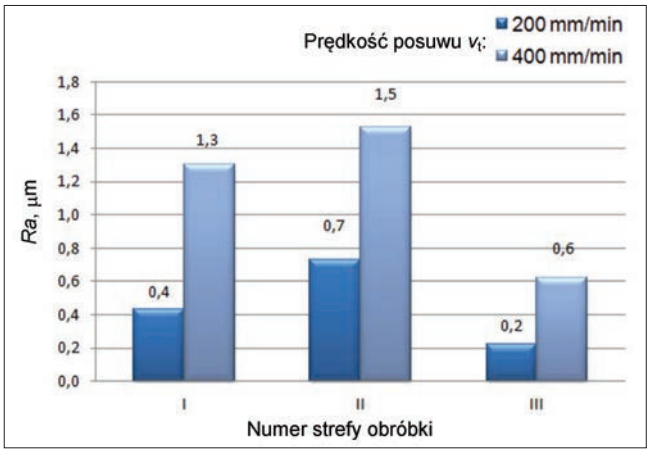
- prędkość skrawania v_c = 5 m/s,
- kąt pochylenia osi trzpienia ściernicy β = 40°,
- głębokość skrawania a_p = 10 µm, 20 µm lub 30 µm – zależnie od strefy obróbki,
- szerokość skrawania a_e zaprogramowaną tak, aby wartość parametru *Rt* chropowatości nie przekroczyła 1 µm.

Model powierzchni przeznaczonej do szlifowania oraz ścieżki obróbkowe wygenerowano za pomocą programu NX9.0. Prędkość posuwu v_t ustalono osobno dla każdej próbki (200 mm/min dla pierwszej i 400 mm/min dla drugiej).

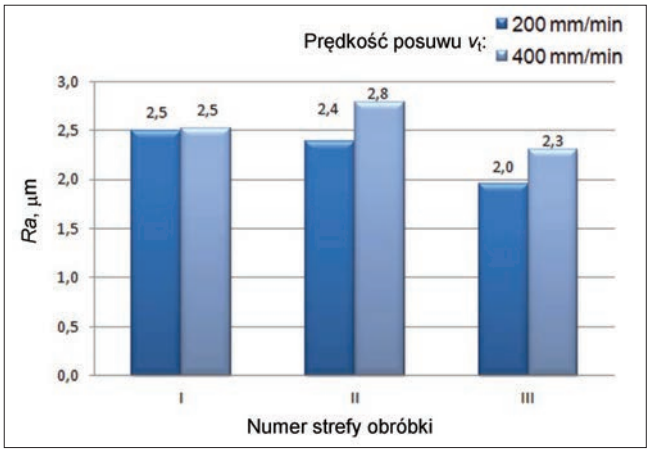
Pomiary chropowatości i falistości powierzchni

Do pomiaru chropowatości obrabianych powierzchni wykorzystano profilograf MarSufr GD 120 firmy Mahr, wyposażony w głowicę pomiarową MFW-250:1 (#6851855). Wykonano pomiary parametrów *Ra* i *Rz* chropowatości powierzchni w kierunku ruchu posuwowego ściernicy i w kierunku prostopadłym do posuwu. Pomiar dokładności odwzorowania powierzchni przeprowadzono na konturografie Mahr XC 20. Podczas pomiaru porównano profil nominalny powierzchni z profilem uzyskanym po szlifowaniu z przyjętymi parametrami. Do pomiaru odchyłki profilu użyto końcówki PCV 350 × 58 mm 6033/1.

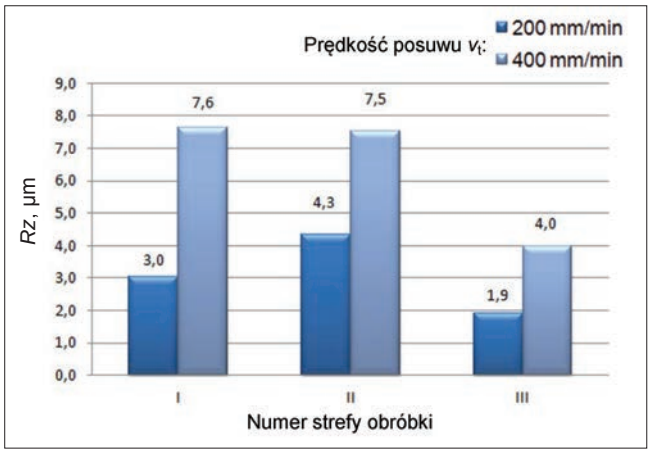
Wartości parametrów chropowatości *Ra* i *Rz* mierzone w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, uzyskane dla różnych prędkości posuwu v_t, pokazano na rys. 5–8.



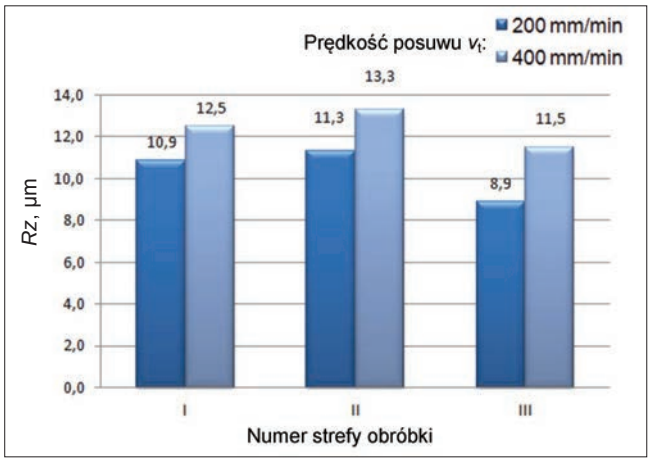
Rys. 5. Wartości parametru chropowatości *Ra* uzyskane podczas pomiaru w kierunku zgodnym z kierunkiem posuwu



Rys. 6. Wartości parametru chropowatości *Ra* uzyskane podczas pomiaru w kierunku prostopadłym do kierunku posuwu

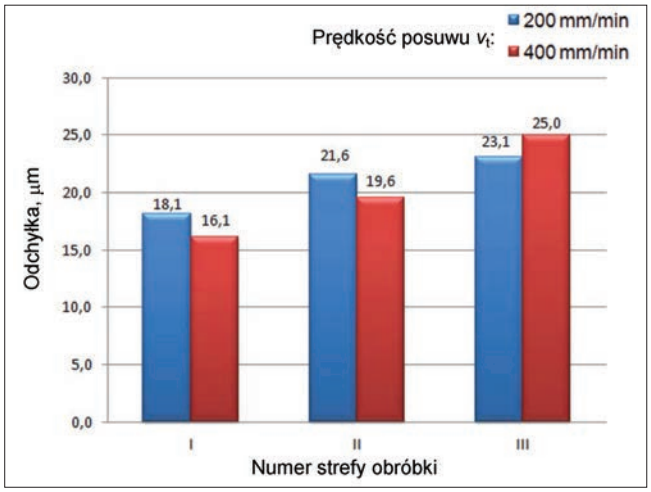


Rys. 7. Wartości parametru chropowatości *Rz* uzyskane podczas pomiaru w kierunku zgodnym z kierunkiem posuwu

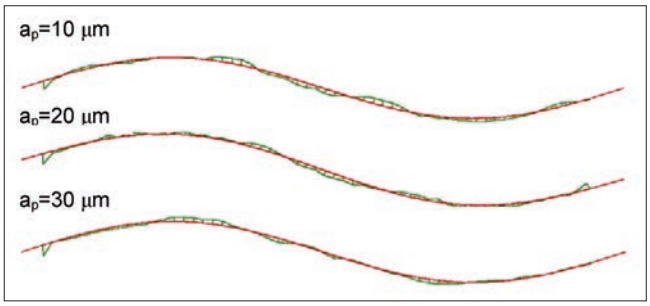


Rys. 8. Wartości parametru chropowatości *Rz* uzyskane podczas pomiaru w kierunku prostopadłym do kierunku posuwu

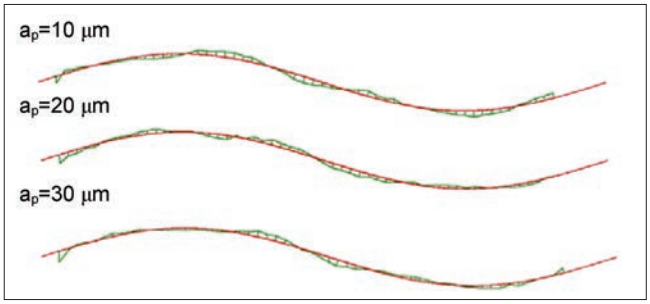
Z uzyskanych wyników pomiaru chropowatości powierzchni wynika, że parametr *Ra* mierzony w kierunku ruchu posuwowego zależy w większym stopniu od prędkości posuwowej niż od głębokości szlifowanej warstwy materiału. Co więcej, podczas szlifowania z głębokością skrawania a_p = 30 µm uzyskano najmniejszą wartość parametru *Ra*. Na kierunku przeciwnym do posuwu ściernicy parametr *Ra* zależy w mniejszym stopniu od prędkości posuwowej, mniej wyraźny jest również wpływ głębokości skrawania. W analogiczny sposób rozkładają się wartości parametru chropowatości *Rz*. Zarówno dla parametru *Ra*,



Rys. 9. Porównanie wartości odchyłek kształtu



Rys. 10. Rozkład odchyłek kształtu profilu rzeczywistego (kolor zielony) wyznaczony względem profilu nominalnego (kolor czerwony) dla posuwu 200 mm/min



Rys. 11. Rozkład odchyłek profilu rzeczywistego (kolor zielony) wyznaczony względem profilu nominalnego (kolor czerwony) dla posuwu 400 mm/min

jak i *Rz*, najlepsze wyniki uzyskano przy prędkości posuwowej v_t = 200 mm/min i głębokości skrawanej warstwy a_p = 30 µm.

Pomiary odchyłek kształtu wzdłuż zarysu mierzonej powierzchni próbki pokazano na rys. 9–11.

Z przedstawionych przebiegów odchyłek profilu wynika, że podczas szlifowania z mniejszą wartością prędkości posuwu w obszarze fragmentu powierzchni wklęsłej osiągnięto mniejszą odchyłkę niż dla posuwu o większej wartości. Analizując odchyłki kształtu uzyskane z porównania profilu nominalnego i profilu rzeczywistego powierzchni, zauważono, że dla wartości a_p = 10 µm i a_p = 20 µm mniejsze odchyłki kształtu profilu wystąpiły przy większej prędkości posuwu. W procesie szlifowania warstwy o grubości a_p = 30 µm odchyłki kształtu były mniejsze dla posuwu 200 mm/min niż dla posuwu 400 mm/min.

Podsumowanie

Z przedstawionych analiz wynika, że dokładność odwzorowania powierzchni oraz jej chropowatość zależą od szeregu parametrów geometrycznych i technologicznych, zwłaszcza od prędkości posuwowej. W dalszych badaniach należałoby również przeanalizować wpływ kątów pochylenia osi trzpienia ściernicy.

LITERATURA

1. Habrat W., Wdowik R., Porzycki J., Świder J. „Określenie granicznych wartości porowatości pozornej ceramiki korundowej i cyrkonowej w stanie białym dla potrzeb obróbki ściernicami z mikrokrystalicznego korundu spiekanego”. *Mechanik.* 9 (2014): s. 143–146.
2. Kriegesmann J. “Einteilung keramischer Werkstoffe”. *Technische Keramische Loseblattausgabe*. Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst, 2004, s. 1–20.
3. Marinescu I.D. “Handbook of Advanced Ceramics Machining”. CRC Press Taylor & Francis Group, 2007, s. 327–353.
4. Schmidt Ch. “Koordinatenschleifen dentalkeramischer Werkstoffe mit kleinen Diamantwerkzeugen”. Aachen: Shaker, 2008.
5. Rodrigues A.C., Franco de Souza R.N., Galisa O.F., Franca T.V., Bianchi E.C., Foschini C.R. “Effect of grinding parameters on surface of advanced ceramics”. *Matéria.* 21, 4 (2016): s. 1517.

Analiza możliwości docierania dwutarczowego wałków w aspekcie kinematyki

Analysis of the possibility of double-disk lapping of rollers in the aspect of the kinematics

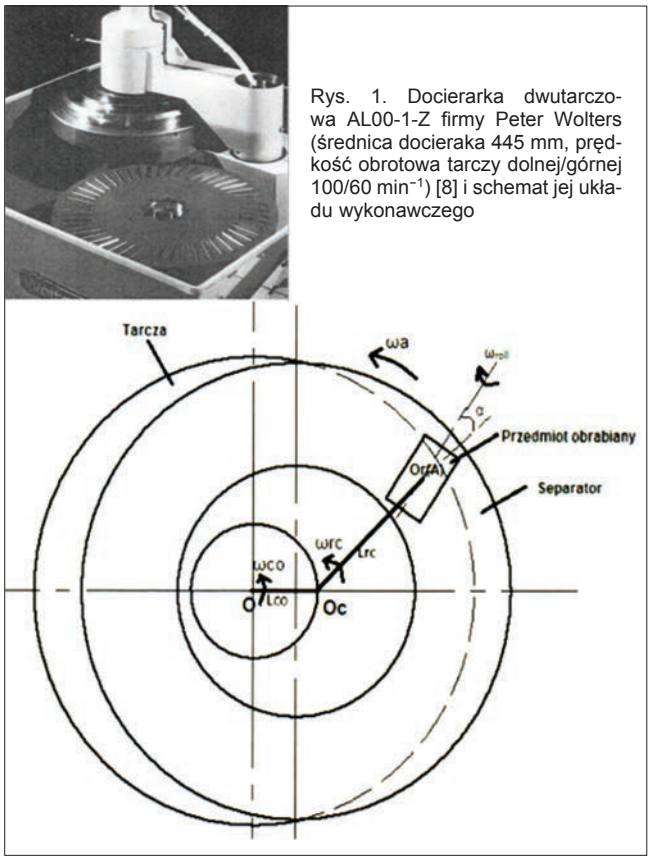
ADAM BARYLSKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.111

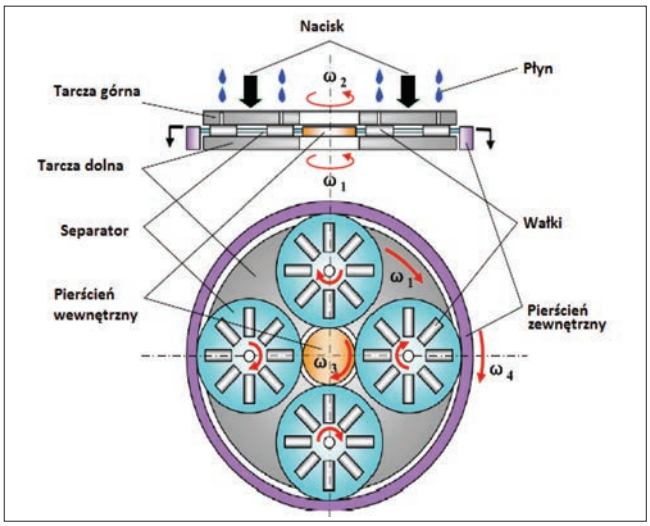
Przedstawiono kinematykę docierania maszynowego wałków. Analizowano mimośrodowy i planetarny układ wykonawczy docierarek dwutarczowych.
SŁOWA KLUCZOWE: docieranie wałków, kinematyka, analiza

Kinematics of shafts machining was described. An eccentric and planetary implementation arrangement of double-disk lapping machines was analyzed.
KEYWORDS: cylindrical lapping process, kinematics, analysis

Technologiczne docieranie zewnętrznych powierzchni walcowych można wykonać ręcznie, maszynowo-ręcznie lub maszynowo [1, 2, 7]. Standardowo w przypadku obróbki maszynowej mamy do czynienia z docierarkami dwutarczowymi i mimośrodowym napędem elementów docieranych [3, 4, 10], rozmieszczonych w jednym separatorze (rys. 1).



Rys. 1. Docierarka dwutarczowa AL00-1-Z firmy Peter Wolters (średnica docieraka 445 mm, prędkość obrotowa tarczy dolnej/górnej 100/60 min^{-1}) [8] i schemat jej układu wykonawczego



Rys. 2. Schemat planetarnego układu wykonawczego w docieraniu wałków (prędkość kątowa: ω_1 – tarczy dolnej; ω_2 – tarczy górnej; ω_3 – napędowego pierścienia wewnętrznego, kołkowego lub zębatego; ω_4 – pierścienia zewnętrznego, zwykle $\omega_4 = 0$)

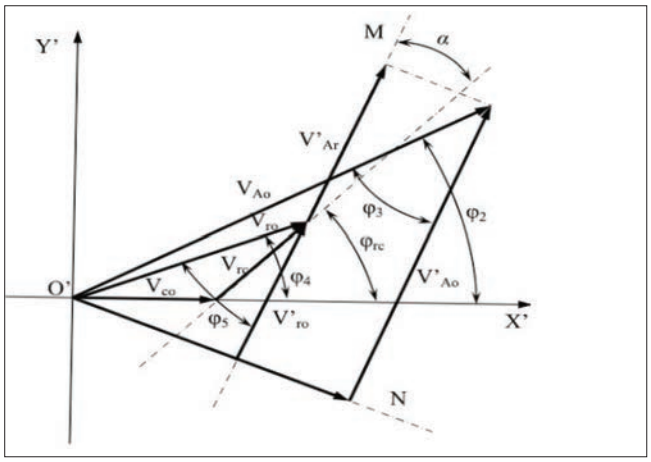
Znane jest także docieranie wałków między obracającymi się walcami [6], np. na docierarkach CLM 150-500 firmy Stähli. W takim przypadku możliwa jest obróbka pojedynczych niestopniowanych wałków lub kilku krótszych o tej samej średnicy [9]. Z uwagi na powszechność stosowania docierarek tarczowych do obróbki elementów płasko-równoległych z układem planetarnym nasuwa się pytanie o możliwość ich wykorzystania w docieraniu wałków niestopniowanych (rys. 2) [5, 10, 11].

Celem niniejszej analizy było porównanie zmienności podstawowych parametrów kinematycznych tych układów.

Analiza układu mimośrodowego

W tym układzie kinematycznym docierania wałków o promieniu r (rys. 1), gdy rozpatruje się punkt $O_r(A)$ położony w połowie długości przedmiotu, można wyróżnić prędkość kątową tarczy docierającej ω_a i separatora ω_{rc} względem jego środka O_c oraz prędkość kątową separatora ω_{co} względem środka układu O, a ponadto: kąt pochylenia osi przedmiotu w gnieździe separatora α, prędkość kątową docieranego wałka ω_{roll}, odległość L_{co} środka separatora O_c od środka tarczy O i odległość L_{rc} punktu $O_r(A)$ od środka separatora O_c. Punkt O_r leżący na osi wałka N jest oddalony od środka tarczy docierającej o wartość L_{ro}. Chwilowe położenie odpowiednich wektorów prędkości w ruchu względnym docierania pokazano na rys. 3.

* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski (abarylsk@pg.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej



Rys. 3. Wektory prędkości w układzie mimośrodowym: M – kierunek ruchu tocznego wałka (prostopadły do jego osi centralnej N), v_{Ao} – wektor prędkości punktu położonego na dolnej tarczy docierającej względem środka O', v_{co} – wektor prędkości środka separatora O_c względem punktu O', v_{rc} – wektor prędkości środka wałka O_r(A) względem środka O_c, v_{ro} – wektor prędkości środka O_r (punktu A) względem O', v_{Ar} – wektor prędkości środka tworzącej wałka względem punktu O_r położonego na osi N docieranego wałka (v'_{Ar}, v'_{Ao} i v'_{ro} – odpowiednio rzuty wektorów na oś M)

Ponieważ prędkość docierania (poślizgu wałka) jest określona wzorem:

$$|V'_{Ar}| = |V_{Ao}|\cos\varphi_3 - |V_{ro}|\cos\varphi_5$$

a ponadto (t oznacza czas):

$$\varphi_{co} = \omega_{co}t,\ \varphi_{rc} = \omega_{rc}t,\ \varphi_1 = 180 - \omega_{co}t$$

$$L_{ro} = [(L_{co})^2 + (L_{rc})^2 + 2L_{co}L_{rc}\cos(\omega_{rc}t)]^{1/2}$$

$$|V_{Ao}| = \omega_a L_{ro}$$

$$|V_{ro}| = [(\omega_{co}L_{co})^2 + (\omega_{rc}L_{rc})^2 + 2\omega_{co}L_{co}\omega_{rc}L_{rc}\cos(\omega_{rc}t)]^{1/2}$$

$$\varphi_2 = \arcsin[L_{rc}\sin(\omega_{rc}t)/L_{ro}]$$

$$\varphi_3 = \alpha + \varphi_{rc} - \varphi_2$$

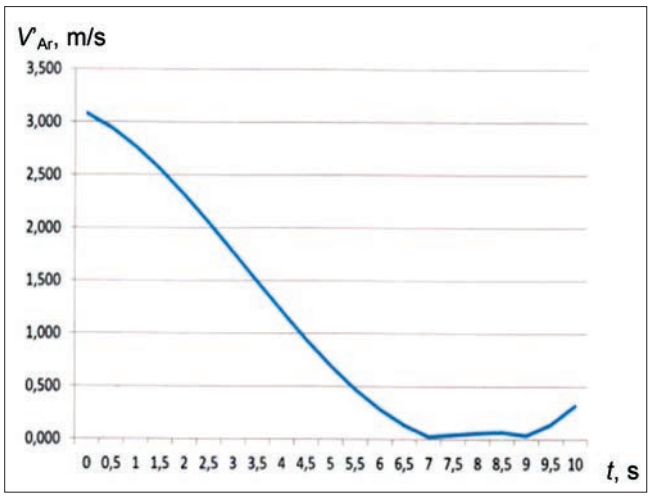
$$\varphi_4 = \arctan[|V_{rc}|\sin\varphi_{rc}/(|V_{co}| + |V_{rc}|\cos\varphi_{rc})]$$

$$\varphi_5 = \varphi_{rc} + \alpha - \varphi_4$$

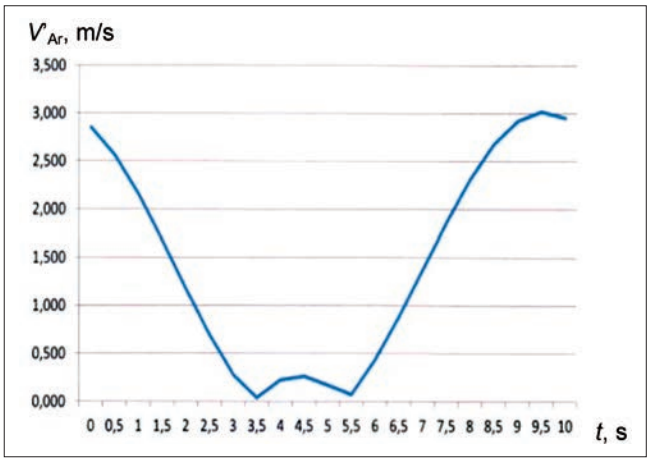
zatem:

$$\omega_{roll} = V'_{Ar}/r$$

Na rys. 4 i 5 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń prędkości docierania na docierarce AL 00-1-Z wałków o średnicy 20 mm i długości 60 mm.



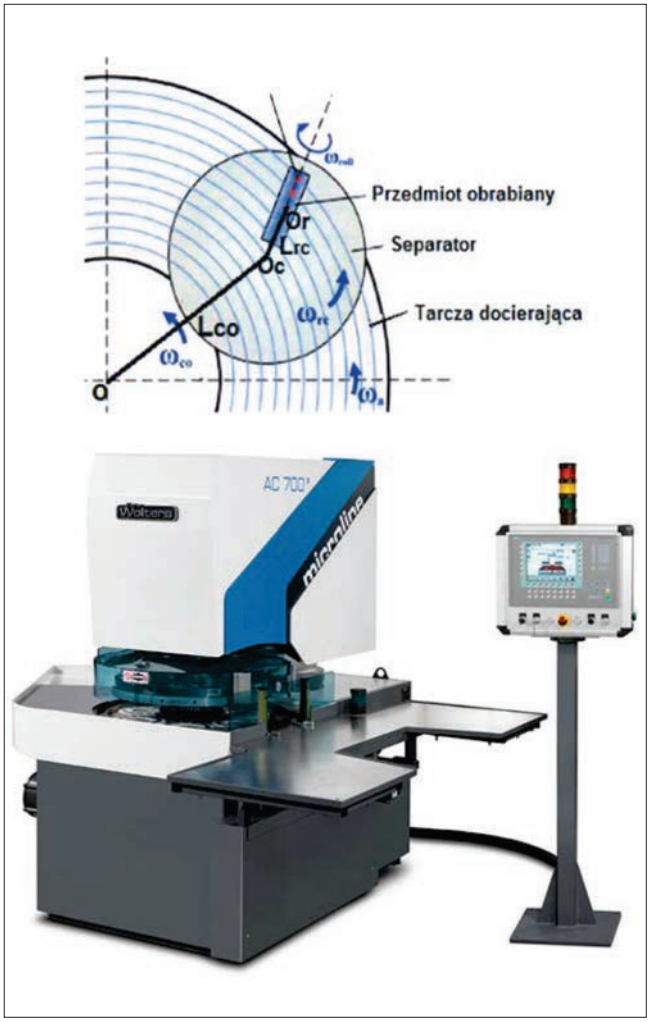
Rys. 4. Zależność prędkości V'_{Ar} w funkcji czasu t (L_{co} = 156 mm, L_{ro} = 160 mm, α = 0,349 rad, ω_a = 10,5 rad/s, ω_{rc} = 0,350 rad/s, ω_{co} = 0,339 rad/s)



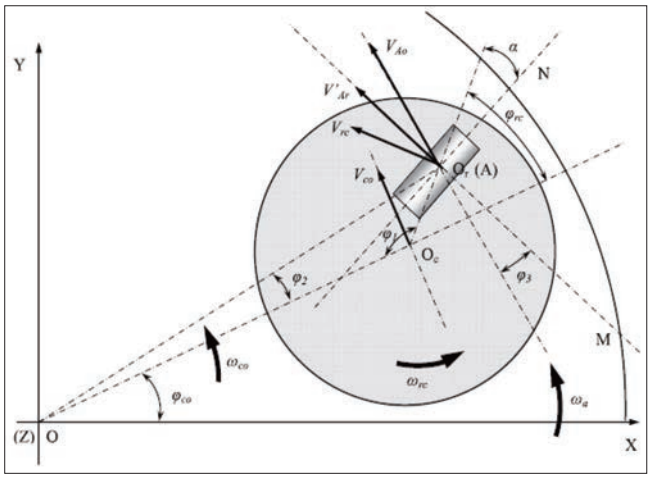
Rys. 5. Zależność prędkości V'_{Ar} w funkcji czasu t (L_{co} = 156 mm, L_{ro} = = 140 mm, α = 0,349 rad, ω_a = 10,5 rad/s, ω_{rc} = 0,628 rad/s, ω_{co} = 0,339 rad/s)

Analiza układu planetarnego

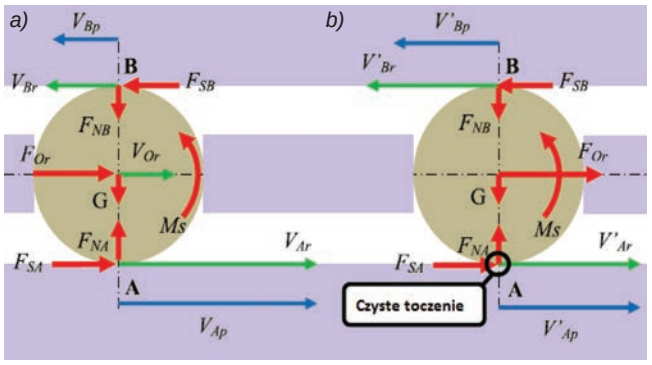
W przypadku układu planetarnego (rys. 6 i 7) schemat występujących sił i prędkości podano na rys. 8. Aby znaleźć pozycję, w której odbywać się będzie „czysty" ruch toczny, należy wektory prędkości (rys. 8*a*) przetransformować z układu związanego z docierakiem do układu współrzędnych związanego ze środkiem docieranego wałka (rys. 8*b*).



Rys. 6. Elementy wykonawczego układu planetarnego i widok docierarki Microline AC700 firmy Peter Wolters [8]



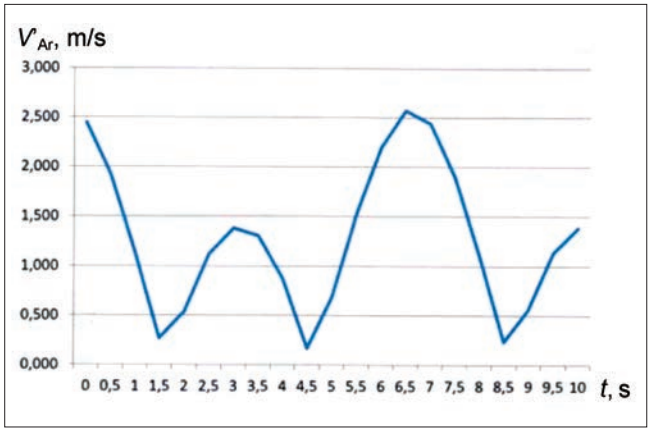
Rys. 7. Schemat układu kinematycznego w napędzie planetarnym (oznaczenia jak na rys. 3)



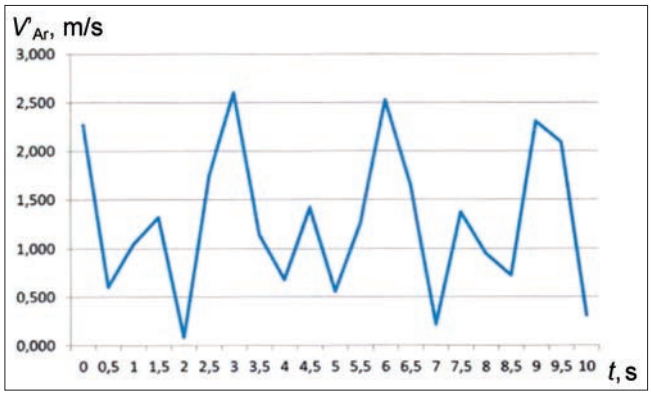
Rys. 8. Schemat sił i prędkości w układzie planetarnym docierania wałków (G – siła ciężkości, M_s – moment tarcia, A – punkt kontaktu wałka z tarczą dolną, B – punkt kontaktu z górną tarczą docierającą, F_{or} – składowa normalna siły oddziaływania wałka i separatora, F_{SA} i F_{SB} – siły tarcia, F_{NA} i F_{NB} – składowe normalne sił odziaływania wałka i tarcz docierających)

Z uwagi na podobieństwo analizowanych układów kinematycznych do wyznaczenia wartości poszczególnych prędkości można się posłużyć podanymi wcześniej równaniami.

Przykładowe wyniki takich obliczeń podano na rys. 9 i 10. Dotyczą one obróbki wałków o średnicy 20 mm i długości 60 mm na docierarce Microline AC700 firmy Peter Wolters (średnica zewnętrzna tarcz docierających 720 mm, średnica wewnętrzna tarcz 320 mm, prędkość obrotowa tarczy dolnej do 100 min^{-1}, a tarczy górnej – do 60 min^{-1}) [8].



Rys. 9. Zależność prędkości V'_{Ar} w funkcji czasu t (L_{co} = 250 mm, L_{rc} = 180 mm, α = 0,314 rad, ω_a = 8 rad/s, ω_{rc} = 0,9 rad/s, ω_{co} = 0,5 rad/s)



Rys. 10. Zależność prędkości V'_{Ar} w funkcji czasu t (L_{co} = 250 mm, L_{rc} = 180 mm, α = 0,436 rad, ω_a = 8 rad/s, ω_{rc} = 2 rad/s, ω_{co} = 0,5 rad/s)

Podsumowanie

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunki kinematyczne docierania maszynowego wałków zależą nie tylko od prędkości i wymiarów tarcz docierających oraz prędkości obrotowych separatorów, lecz także od położenia środka geometrycznego separatora oraz kąta pochylenia wałków α. Przy mniejszych wartościach tego kąta prędkość dla rozpatrywanej docierarki planetarnej zmieniała się od ok. 3 m/s do ok. 0,1 m/s w czasie 6 s. Przy zwiększonym kącie pochylenia przedmiotu trwało to znacznie krócej, bo jedynie ok. 3,5 s. W przypadku układu mimośrodowego występuje nieznaczne zmniejszenie zakresu zmienności prędkości docierania wałków (2,5÷0,2 m/s) dla tych samych prędkości tarcz docierających. W układzie planetarnym zauważalne są też duże gradienty tych zmian. Określenie, jak to będzie wpływało na zużycie tarcz docierających i tym samym na odchyłki kształtu obrabianych wałków, wymaga dalszych analiz modelowych i badań z uwzględnieniem korzystnej dynamiki procesu (innej w docieraniu elementów metalowych i innej w docieraniu elementów ceramicznych). Z uwagi na powszechność stosowania docierarek dwutarczowych do obróbki płasko-równoległej powierzchni płaskich ustalenie zakresu ich potencjalnego wykorzystania również w docieraniu wałków niestopniowanych jest koncepcją zasadną nie tylko w aspekcie technologicznym, lecz także ekonomicznym.

LITERATURA

1. Barylski A. „Analiza kinematyki docierarek tarczowych”. *Inżynieria Maszyn*.18, 2 (2013): s. 97–104.
2. Barylski A. „*Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach”*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2013.
3. “*Cylindrical Lapping and Polishing Machines*”. Materiały nr 06/2017 firmy Stähli.
4. Doi T.K., Ichikawa D. „Lapping and lapping machines”. *Handbook of lapping and polishing*. Eds.: Marinescu L.D., Uhlmann E., Doi T.K. Boca Raton: CRC Press, 2007.
5. Jiang L., Yao W., He Y., Cheng Z., Yuan J., Luo J. “An experimental investigation of double-side processing of cylindrical rollers using chemical mechanical polishing technique”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (2015). doi: 10.1007/s00170-015-7370-1.
6. Materiały informacyjne nr 7200 (a) firmy Hommelwerke.
7. Materiały informacyjne firmy Lapmaster.
8. Materiały informacyjne firmy Peter Wolters.
9. Materiały informacyjne firmy Stähli.
10. Stähli A.W. “*The Technique of Lapping*”. Pieterlen/Bienne (Szwajcaria).
11. Yao W., Yuan J., Zhou F., Chen Z., Zhao T., Zhong M. “Trajectory analysis and experiments of both-sides cylindrical lapping in eccentric rotation”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 88 (2017): s. 2849–2859.
12. Yuan J., Yao W., Zhao P., Lyu B., Chen Z., Zhong M. “Kinematics and trajectory of both-sides cylindrical lapping process in planetary motion type”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 92 (2015): s. 60–71.

Wpływ drgań ultradźwiękowych na siłę i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V

Effect of ultrasonic oscillations on force and surface roughness in grinding process of Ti6Al4V titanium alloy

JANUSZ PORZYCKI
WITOLD HABRAT
MAREK KROK
MARCIN ŻÓŁKOŚ
MARCIN SAŁATA*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.112

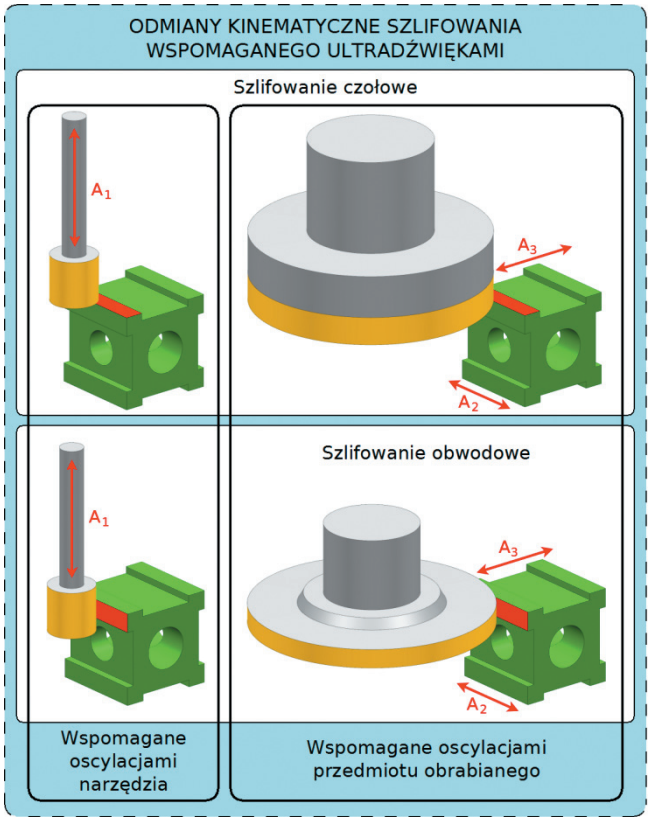
Artykuł przedstawia wyniki wstępnych badań doświadczalnych procesu szlifowania stopu tytanu Ti6Al4V. Ich celem było określenie wpływu wspomagania tego procesu drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego na podstawie analizy składowych siły szlifowania oraz chropowatości powierzchni.
SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie wspomagane ultradźwiękami, UAG, stop tytanu Ti6Al4V, pomiar sił w procesie szlifowania, chropowatość powierzchni

The paper presents the preliminary experimental study results in grinding process of Ti6Al4V titanium alloy. The aim of this study was to determine, through grinding force components and surface roughness analysis, what effect on this process has assisting it with workpiece ultrasonic oscillations.
KEYWORDS: ultrasonic assisted grinding, UAG, Ti6Al4V titanium alloy, measurement of forces in grinding process, surface roughness

Ze względu na dużą ciągliwość i skłonność do samoutwardzania w trakcie skrawania stopy tytanu są materiałami, w przypadku których uzyskanie wysokiej wydajności obróbki jest trudne, jeśli zastosuje się techniki konwencjonalne [1, 2]. Poszukuje się zatem nowych rozwiązań obróbki wykończeniowej (szlifowania) elementów ze stopu tytanu Ti6Al4V. Obiecujące wydają się procesy hybrydowe, w których usuwanie materiału następuje w wyniku połączenia różnych źródeł energii, np. szlifowanie wspomagane ultradźwiękami (UAG) [3, 4].

Proces ten wymaga wprowadzenia do układu OUPN (obrabiarka – uchwyt – przedmiot obrabiany – narzędzie) odpowiedniego układu wzbudzającego i przenoszącego drgania wysokoczęstotliwościowe na narzędzie lub przedmiot obrabiany. W niniejszym artykule rozpatrywano przypadek z oscylującym przedmiotem obrabianym (rys. 1). Pozwala to na stosowanie różnych odmian kinematycznych procesu szlifowania (w przeciwieństwie do układu drgającego narzędzia, gdzie oscylacje przenoszone są tylko w jego osi).

Ze względu na uwarunkowania konstrukcyjne układu wzbudzającego oscylacje (falowodu) wspomaganie procesu szlifowania drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego w każdym przypadku wymaga indywidualnego podejścia. Dotyczy to zwłaszcza elementu wykonawczego zwanego sonotrodą. Sonotroda, mająca kontakt z materiałem obrabianym i będąca ostatnim elementem falowodu, musi zostać przekonstruowana dla każdej nowej części obrabianej [5].



Rys. 1. Odmiany kinematyczne procesu szlifowania ze wspomaganiem ultradźwiękowym: A_1 – drgania wzdłuż osi narzędzia, A_2 – drgania wzdłużne do kierunku posuwu, A_3 – drgania poprzeczne do kierunku posuwu, $A_2 + A_3$ – połączenie drgań wzdłużnych i poprzecznych

Warunki badań

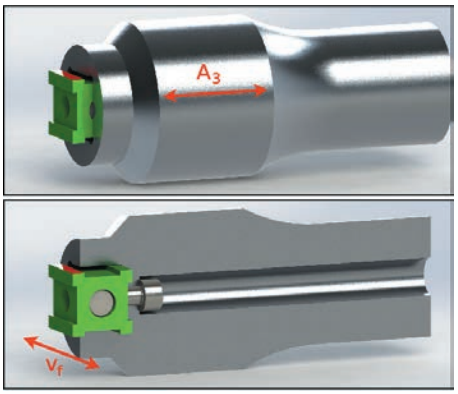
Eksperyment przeprowadzono na stanowisku badawczym CNC, stworzonym na potrzeby projektu PBS2/B6/17/2013 [6] i wyposażonym w centrum obróbkowe HAAS VF-2YT, w którym układ sterujący wymieniono na Sinumerik 840D sl, co było podyktowane koniecznością sterowania parametrami generatora ultradźwiękowego z poziomu programu technologicznego. Do pomiaru składowych siły w procesie szlifowania wspomaganego drganiami ultradźwiękowymi wykorzystano siłomierz zbudowany na bazie czterech czujników piezoelektrycznych

* Prof. nadzw. dr hab. inż. Janusz Porzycki (jpor@prz.edu.pl), dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Krok (mkrok@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Żółkoś (markos@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, Politechnika Rzeszowska

typu 9601A3110000 firmy Kistler, a do pomiarów chropowatości powierzchni – profilometr MarSurf PS 10 firmy Mahr. W skład falowodu, czyli najistotniejszego w tym procesie układu powodującego wzbudzanie drgań ultradźwiękowych o częstotliwościach rzędu 20 kHz, wchodziły: generator wysokonapięciowego prądu przemiennego, wzbudnik drgań ultradźwiękowych (transducer) o nominalnej częstotliwości rezonansowej 20 kHz, wzmacniacz drgań (booster) o współczynniku wzmocnienia amplitudy drgań 1:1,5 oraz element wykonawczy (sonotroda) z zamocowanym przedmiotem obrabianym.

Materiałem obrabianym był stop tytanu Ti6Al4V o mikrostrukturze złożonej z dwóch faz: α i β. Jako narzędzie do obróbki zastosowano czołową tarczę szlifującą firmy Urdiamant 6A2 100-6/4 D151 K100 H20 B-IIIBK o nasypie diamentowym i wielkości ziaren 151 oraz spoiwie żywicznym, a jako czynnik chłodząco-smarujący – 5-procentową emulsję syntetyczną podawaną zalewowo do strefy szlifowania.

Badania przeprowadzono w układzie szlifowania czołowego z oscylującym przedmiotem obrabianym (rys. 1) mocowanym na powierzchni czołowej sonotrody. Przejścia ściernicy wykonywano z posuwem prostopadłym do osi fali mechanicznej wymuszającej drgania ultradźwiękowe (rys. 2). W trakcie projektu badawczego [6] wypracowano specjalną geometrię przedmiotu obrabianego wraz z przystosowaną do niego sonotrodą o częstotliwości rezonansowej 21,093 kHz i mocowaniem mechanicznym próbki od czoła elementu wykonawczego falowodu (rys. 2). Kształt przedmiotu obrabianego umożliwiał szlifowanie płaskiej powierzchni o szerokości 3 mm i długości 20 mm – zapewniono tym samym stały przekrój usuwanej warstwy materiału.



Rys. 2. Widok i przekrój sonotrody z zamocowanym przedmiotem obrabianym: A_3 – kierunek drgań, v_f – kierunek posuwu

Aby zagwarantować niezmienne warunki badań, przed każdym programem badawczym przeprowadzano kondycjonowanie ściernicy ze stałymi parametrami (o wartościach średnich z podanych dalej przedziałów zmienności badanych parametrów technologicznych) – dzięki temu początkowy proces jej docierania nie zaburzał wyników pomiarów. Przed każdym przejściem pomiarowym wykonywano jedno przejście wyrównujące próbkę bez ultradźwięków oraz pięć przejść wyiskrzających, a po każdym przejściu pomiarowym – osiem przejść wyiskrzających.

Jako czynniki wejściowe, mające wpływ na składowe styczną i normalną siły szlifowania oraz chropowatość powierzchni, przyjęto następujące parametry technologiczne:
- prędkość obwodową v_s = 10÷30 m/s,
- posuw v_f = 2000÷4000 mm/min,
- głębokość szlifowania a_e = 0,02÷0,05 mm (maksymalna wartość jest zależna od średniego rozmiaru ziarna ściernego).

W celu zbadania wpływu poszczególnych parametrów na siłę szlifowania i chropowatość powierzchni wykorzystano trzykrotnie program statyczny randomizowany kompletny, w którym wartościami wejściowymi były wymienione parametry technologiczne. Przyjmowały one wartości na trzech poziomach zmienności. Program wymagał wykonania w losowej kolejności pomiarów (powtarzanych pięciokrotnie) dla trzech układów, w których jeden parametr zmieniał swoją wartość, natomiast pozostałe przyjmowały wartości z połowy zakresu zmienności. Wartości wielkości wejściowych dla poszczególnych układów pomiarowych przedstawiono w tablicy. Należy nadmienić, że do celów porównawczych wszystkie pomiary wykonano zarówno bez wspomagania procesu ultradźwiękami, jak i ze wspomaganiem, przy czym amplituda drgań wynosiła 5,8 µm. Wielkościami mierzonymi w tym procesie były siła szlifowania (składowa normalna F_n i składowa styczna F_t) oraz parametr chropowatości powierzchni *Ra* w kierunku prostopadłym i równoległym do posuwu.

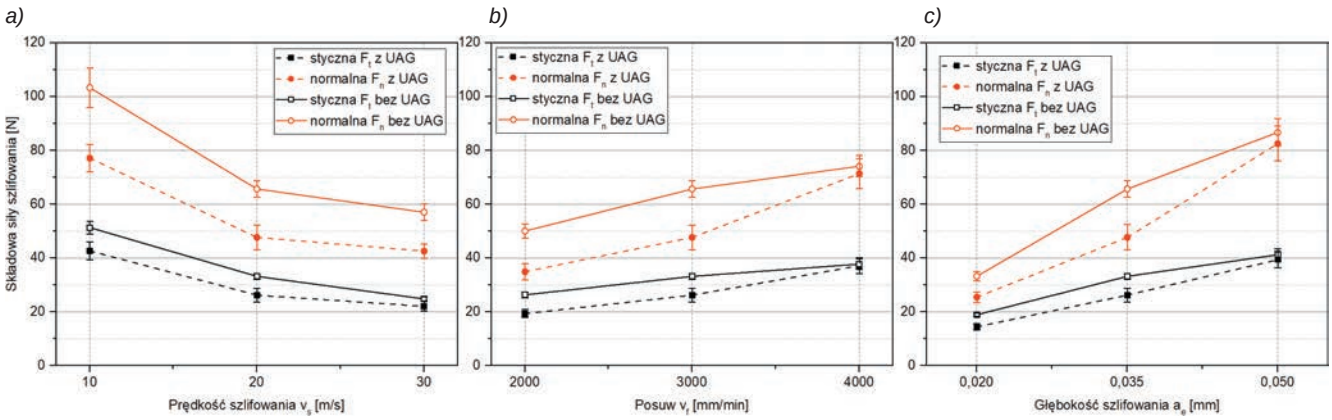
TABLICA. Warunki prowadzenia badań

Obrabiarka	Haas VF-2YT		
Rodzaj obróbki	szlifowanie powierzchni płaskiej		
Wspomaganie szlifowania ultradźwiękami	włączone/wyłączone		
Amplituda drgań *A*, µm	5,8/0		
Mocowanie przedmiotu obrabianego	mechaniczne, czołowe		
Materiał obrabiany	stop tytanu Ti6Al4V		
Narzędzie obróbkowe	ściernica czołowa 6A2 100-6/4 D151 K100 H20 B-IIIBK		
Średni rozmiar ziarna ściernego *D*, µm	151		
Liczba przejść pomiarowych	1		
Liczba przejść wyiskrzających	8		
Liczba powtórzeń pomiarów	5		
Długość szlifowania l_s, mm	20		
Szerokość szlifowania a_p, mm	3		
Chłodzenie procesu	zalewowe		
Chłodziwo	5% emulsja syntetyczna		
Program badawczy	I	II	III
Prędkość obwodowa v_s, m/s	10 20 30	20	20
Posuw v_f, mm/min	3000	2000 3000 4000	3000
Głębokość szlifowania a_e, mm	0,035	0,035	0,02 0,035 0,05

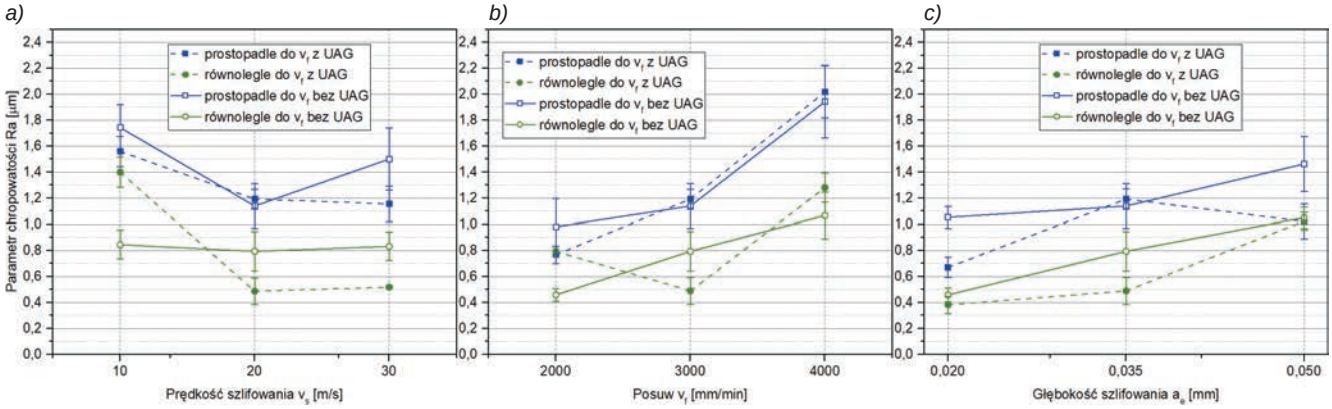
Wyniki badań

Wstępnie zbadano proces szlifowania ze wspomaganiem drganiami ultradźwiękowymi przedmiotu obrabianego (z UAG) oraz – w celach porównawczych – proces szlifowania konwencjonalnego (bez UAG) w tych samych warunkach. Głównym celem badań było określenie wpływu drgań ultradźwiękowych przedmiotu obrabianego ze stopu Ti6Al4V na składowe siły szlifowania oraz chropowatość powierzchni. Na rys. 3 przedstawiono porównanie wartości składowych siły szlifowania w rozpatrywanych procesach. Dla każdej wartości na wykresie zaznaczono przedział ufności obliczony dla pięciu pomiarów i poziomu istotności 0,05.

Przeprowadzone badania potwierdziły korzystny wpływ wspomagania ultradźwiękami procesu szlifowania stopu Ti6Al4V na składową normalną i styczną siły szlifowania. Jak widać na rys. 3, wraz ze wzrostem prędkości



Rys. 3. Zależność składowej normalnej F_n i stycznej F_t od: *a*) prędkości szlifowania v_s, *b*) wartości posuwu v_f, *c*) głębokości szlifowania a_e – w procesach szlifowania wspomaganego ultradźwiękami (z UAG) i szlifowania konwencjonalnego (bez UAG)



Rys. 4. Zależność parametru chropowatości powierzchni *Ra* od: *a*) prędkości szlifowania v_s, *b*) posuwu v_f, *c*) głębokości szlifowania a_e – w procesach szlifowania wspomaganego ultradźwiękami (z UAG) i szlifowania konwencjonalnego (bez UAG)

szlifowania v_s następuje spadek wartości składowych F_n i F_t siły szlifowania, a wzrost – wraz ze zwiększaniem wartości posuwu v_f i głębokości szlifowania a_e. Jednocześnie w każdym przypadku wartości składowych siły szlifowania w procesie wspomaganym ultradźwiękami były mniejsze niż w procesie konwencjonalnym.

Na rys. 4 przedstawiono porównanie wartości parametru chropowatości *Ra* uzyskanych w poszczególnych procesach. Ocena tych wartości nie jest tak jednoznaczna jak w przypadku siły szlifowania, ponieważ otrzymano wyniki z bardzo szerokiego zakresu. Można jednak stwierdzić, że w przypadku szlifowania konwencjonalnego chropowatość mierzona prostopadle do kierunku posuwu była zdecydowanie większa od chropowatości mierzonej równolegle do kierunku posuwu. W procesie wspomaganym ultradźwiękami ta różnica była mniejsza.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania uprawniają do sformułowania następujących wniosków:

- zastosowanie ultradźwięków w badanym procesie pozwoliło na zmniejszenie siły normalnej F_n o 2÷27%, a siły stycznej F_t o 4÷30%;
- korzystny wpływ ultradźwięków na składowe siły szlifowania dla największych wartości posuwu v_f i głębokości szlifowania jest niewielki. Wartości składowych siły w procesie wspomaganym są mniejsze średnio o 4% od analogicznych wartości w procesie konwencjonalnym, co może być spowodowane charakterystyką pracy falowodu. Sterowanie przetwornikiem odbywa się w układzie automatycznej regulacji częstotliwości, zapewniającej stałą wartość amplitudy. Jednak w zależności od obciążenia przyłożonego do części roboczej sonotrody następuje przesunięcie płaszczyzny (zmiana długości fali), w której występuje maksymalna wartość amplitudy. Zwiększenie wydajności objętościowej (zwiększenie wartości posuwu i głębokości szlifowania) może powodować zmniejszenie amplitudy drgań w strefie szlifowania, przy czym wyjaśnienie przyczyn tego zjawiska wymaga przeprowadzenia dokładniejszych badań;
- wprowadzenie oscylacji przedmiotu obrabianego do procesu spowodowało zmianę wartości parametru *Ra*: mierzonego w kierunku prostopadłym do posuwu – od 5-procentowego zwiększenia do 36-procentowego zmniejszenia, mierzonego w kierunku równoległym do posuwu – od 73-procentowego zwiększenia do 39-procentowego zmniejszenia;
- z uwagi na szeroki zakres otrzymanych wartości parametru *Ra* wymagane są dalsze, rozszerzone badania dotyczące wpływu drgań ultradźwiękowych na chropowatość powierzchni w procesie szlifowania stopu Ti6Al4V, wspomaganym drganiami ultradźwiękowymi obrabianego przedmiotu.

LITERATURA

1. Ezugwu E.O., Wang Z.M. “Titanium alloys and their machinability a review”. *Journal of Material Processing Technology*. 68, 3 (1997): s. 262–274.
2. Ezugwu E.O., Bonney J., Yamane Y. “An overview of the machinability of aeroengine alloys”. *Journal of Material Processing Technology*. 134, 2 (2003): s. 233–253.
3. Brehl D.E., Dow T.A. “Review of vibration-assisted machining”. *Precision Engineering*. 32, 3 (2008): s. 153–172.
4. Davim, J. Paulo (ed.). “*Machining of Titanium Alloys*”. Portugal: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.
5. Krok M., Porzycki J., Żółkoś M. „Wybrane zagadnienia projektowania sonotrod na potrzeby obróbki ubytkowej wspomaganej drganiami ultradźwiękowymi obrabianego przedmiotu”. *Mechanik*. 89, 10 (2016): s. 1354–1355.
6. www.ktwia.prz.edu.pl/projekt-badawczy-pbs2b6172013/ (dostęp: 12.06. 2017 r.).

Wpływ typu ściernicy i kąta pochylenia spirali na kształt rowka wiórowego i siłę szlifowania

The effect of the grinding wheel type and helix angle on flute profile and values on the cutting force

JAN BUREK
MARCIN SAŁATA
MARCIN ŻÓŁKOŚ
KAROL ŻURAWSKI
PIOTR ŻUREK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.113

Przedstawiono wpływ kąta pochylenia spirali λ oraz typu wybranej ściernicy 1A1/12V9 na kształt rowka wiórowego oraz składowe siły skrawania w procesie pięcioosiowego szlifowania rowków wiórowych.
SŁOWA KLUCZOWE: kształt rowka wiórowego, pomiar siły szlifowania, kąt spirali λ, typ ściernicy

In the paper the influence of the helix angle λ and grinding wheel type on flute profile and values on the cutting force during 5-axis flute grinding has been presented.
KEYWORDS: flute profile, force measurement, helix angle, grinding wheel type

Proces szlifowania spiralnych rowków wiórowych zajmuje ok. 70% czasu produkcji i jest jedną z podstawowych czynności podczas wytwarzania narzędzi monolitycznych [1, 2]. Kształt uzyskanych powierzchni spiralnych rowka wiórowego ma duży wpływ na wiele właściwości gotowego narzędzia, gdyż rowek wiórowy jest jednym z elementów geometrycznych definiujących krawędź tnącą i kąt natarcia. Ponadto kształt rowka wiórowego wpływa na proces usuwania wiórów oraz stabilność obróbki [3, 4].

Badania symulacyjne

Badania przeprowadzono dla dwóch ściernic diamentowych, których geometryczne parametry przedstawiono na rys. 1:

- **1A1**-100-10-5 20 D64K+1421R C100 H,
- **12V9**-100-2-6 20 D64K +1421R C100 H.

Badania symulacyjne zrealizowano na pięcioosiowej szlifierce narzędziowej FORTIS firmy ISOG, wyposażonej w układ sterowania MTS AG (Mathematisch Technische Software) v. 10,0 Release 13 3D Rev 3163.

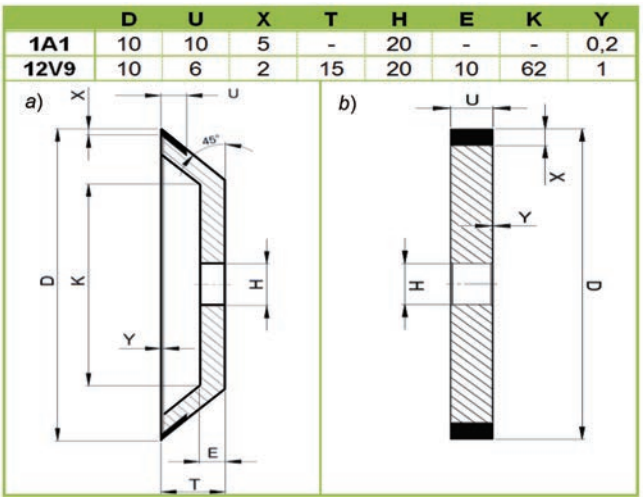
Aby zapewnić przejrzystość wykonywanych badań i analiz, symulacje podzielono na cztery etapy – na każdym przyjmowano dwa zmienne parametry:

typ ściernicy: **1A1** oraz **12V9**,

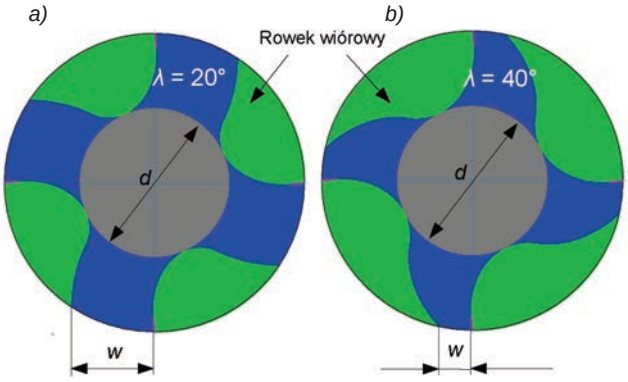
kąt spirali rowka wiórowego: $\boldsymbol{\lambda = 15° \div 45°}$.

Za parametry stałe definiujące rowek wiórowy przyjęto: kąt natarcia $\gamma = 5°$, średnicę rdzenia $d = 5$ mm, średnicę półfabrykatu $D = 10$ mm, liczbę ostrzy $z = 4$.

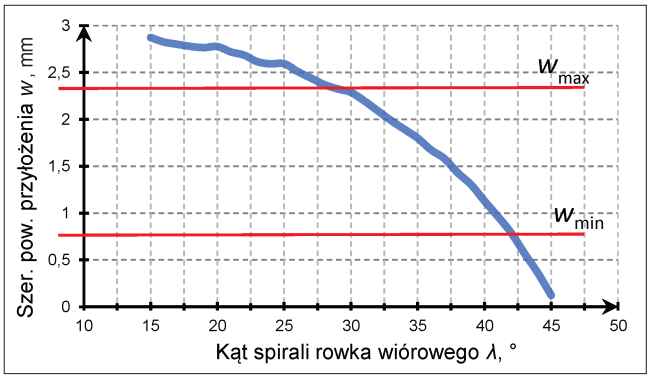
Na pierwszym etapie badań porównywano kształty rowka wiórowego uzyskane za pomocą ściernicy typu 1A1 dla różnych kątów skręcenia spirali λ (rys. 2). Widać, że wraz ze wzrostem wartości λ zwiększa się pole przekroju rowka wiórowego i zmniejsza się szerokość powierzchni przyłożenia w, co dodatkowo zobrazowano na rys. 3.



Rys. 1. Parametry geometryczne ściernicy typu: *a*) 12V9, *b*) 1A1



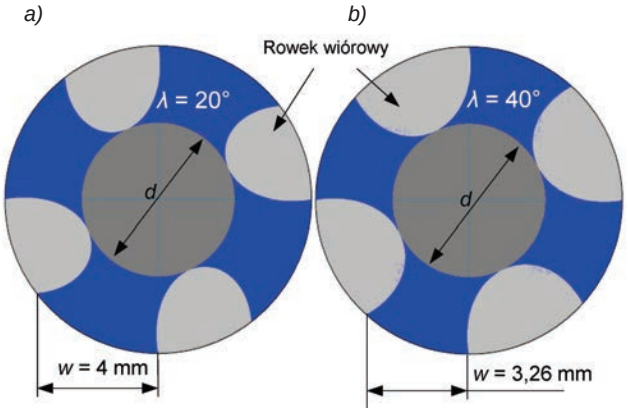
Rys. 2. Symulacja obróbki rowka wiórowego ściernicą typu 1A1 dla kąta spirali rowka wiórowego: *a*) $\lambda = 20°$, *b*) $\lambda = 40$



Rys. 3. Wpływ kąta spirali rowka wiórowego na szerokość powierzchni przyłożenia w (kąt spirali λ analizowano co 1°)

Na drugim etapie badano kształt rowka wiórowego wykonanego ściernicą typu 12V9 w zależności od kąta skręcenia spirali λ (rys. 4).

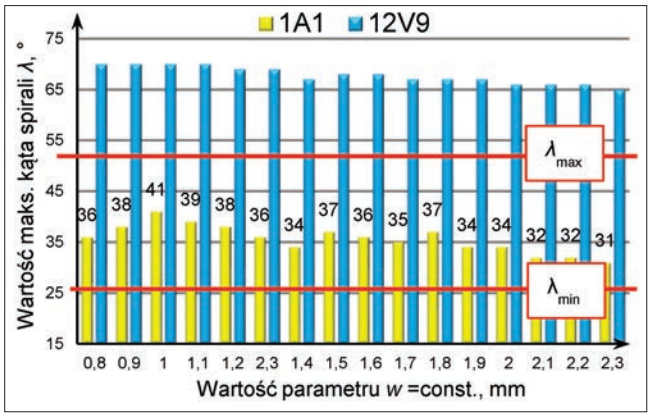
* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Żółkoś (markos@prz.edu.pl), mgr inż. Karol Żurawski (zurawski@prz.edu.pl), mgr inż. Piotr Żurek (p_zurek@prz.edu.pl) – Katedra Technik Wytwarzania i Automatyzacji, Politechnika Rzeszowska



Rys. 4. Symulacja obróbki rowka wiórowego ściernicą typu 12V9 dla zmiennego kąta spirali rowka wiórowego: *a*) $\lambda = 20°$, *b*) $\lambda = 40°$

Z przeprowadzonych badań wynika, że w założonym przedziale kąta spirali $\lambda = 20°\div40°$ nie uzyskano – za pomocą ściernicy typu 12V9 – poprawnego kształtu rowka wiórowego. Jest to spowodowane tym, że uzyskana szerokość powierzchni przyłożenia w dla analizowanego przypadku jest zbyt duża.

Na trzecim etapie przyjęto stałą wartość parametru w = const. Celem badań było określenie maksymalnego kąta spirali λ dla ściernic typu 1A1 i typu 12V9 (rys. 5).



Rys. 5. Wpływ stałej szerokości powierzchni przyłożenia w na wartość kąta spirali rowka wiórowego

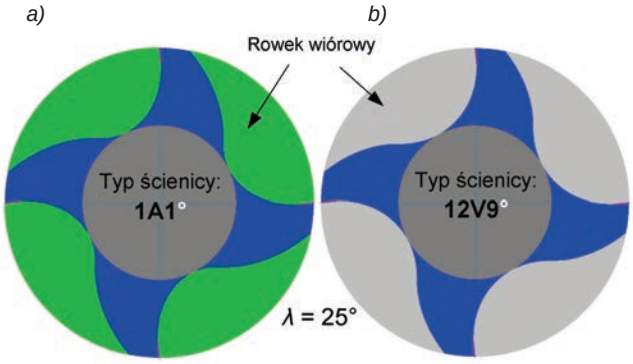
Jak widać, w przypadku ściernicy typu 1A1 występuje ograniczony przedział wartości kąta spirali $\lambda \approx 15\div35°$, w którym można wykonać rowek wiórowy. Zauważono także, że założona stała wartość powierzchni przyłożenia w = const. w zakresie $w = 0{,}8\div2{,}3$ mm wpływa na przedział wartości kąta spirali λ, w którym można wykonać rowek wiórowy. Dla ściernicy typu 1A1 maksymalna wartość kąta spirali w zależności od wartości parametru w zmienia się w zakresie $\lambda = 31\div41°$.

Dla ściernicy typu 12V9 zaobserwowano dużo większy przedział wartości kąta spirali $\lambda \approx 15\div66°$, w którym możliwe jest wykonanie rowka wiórowego.

W praktyce przemysłowej wartość kąta spirali najczęściej zawiera się w przedziale od $\lambda_{min} = 25°$ do $\lambda_{max} = 50°$ [5]. Ściernica typu 12V9 charakteryzuje się zatem większą uniwersalnością w porównaniu ze ściernicą typu 1A1.

Na czwartym etapie badano kształt rowka wiórowego – wykonanego ściernicami typu 1A1 oraz 12V9 – w zależności od kąta skręcenia spirali λ dla stałej wartości szerokości powierzchni przyłożenia wynoszącej w = 1 mm (rys. 6).

Na podstawie wyników badań symulacyjnych stwierdzono, że niezależnie od użytej ściernicy zastosowanie stałej szerokości powierzchni przyłożenia w = const.



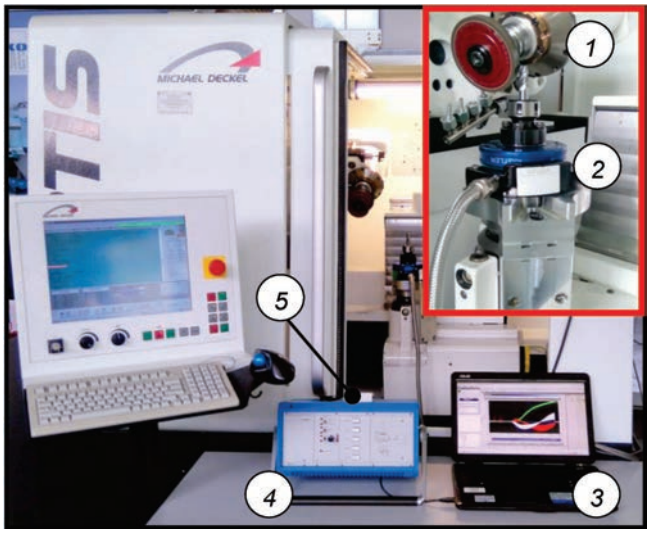
Rys. 6. Symulacja obróbki rowka wiórowego wykonanego ściernicami typu 1A1 (*a*) oraz 12V9 (*b*) przy założonej stałej szerokości powierzchni przyłożenia w = 1 mm

powoduje małe zmiany kształtu oraz pola przekroju rowka wiórowego w założonym przedziale kąta spirali od λ_{min} do λ_{max}. Przyjęcie stałej wartości powierzchni przyłożenia w umożliwia zatem uzyskanie takiego samego kształtu rowka wiórowego bez względu na zastosowaną ściernicę.

Badania doświadczalne

Badania doświadczalne przeprowadzono na pięcioosiowym centrum szlifierskim FORTIS firmy ISOG (rys. 7). Do pomiaru siły szlifowania wykorzystano obrotowy siłomierz typu 9123 firmy Kistler.

Warunki realizacji badań przedstawiono w tablicy.



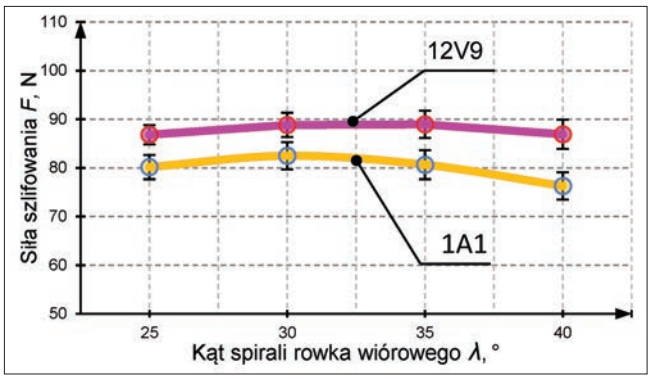
Rys. 7. Stanowisko do badań procesu szlifowania rowków wiórowych: *1* – wrzeciono ściernicy, *2* – siłomierz firmy Kistler, *3* – komputer, *4* – przetwornik sygnału 5223B1, *5* – przetwornik A/C 6009 [6]

TABLICA. Warunki szlifowania

Materiał obrabiany	węglik spiekany K20F
Chłodziwo	olej szlifierski
Prędkość skrawania v_c, m/s	20
Prędkość posuwu v_t, mm/min	40
Dosuw szlifowania a_p, mm	2,5
Długość narzędzia L, mm	10
Średnica półfabrykatu D, mm	10
Średnica rdzenia d, mm	5
Kąt natarcia γ, °	5
Szerokość powierzchni przyłożenia w, mm	1
Kąt spirali rowka λ, °	25, 30, 35, 40

Wyniki badań

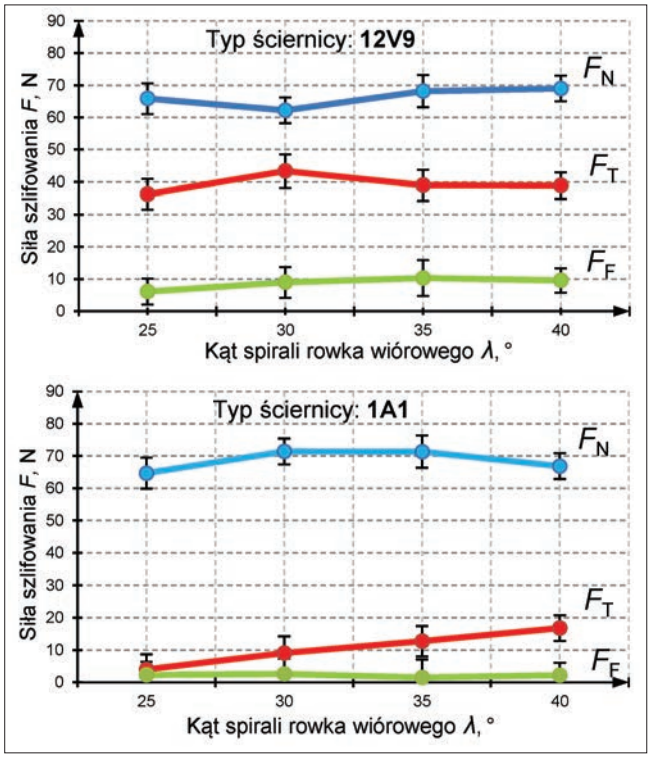
Maksymalne wartości siły szlifowania F dla badanych typów ściernic 1A1 i 12V9 w zależności od kąta skręcenia spirali λ przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Zależność siły szlifowania F od kąta skręcenia spirali λ dla obu typów badanych ściernic 1A1 i 12V9

Całkowitą siłę szlifowania F wyznaczono jako pierwiastek kwadratowy składowych siły szlifowania F_N, F_T i F_F. Uzyskane wyniki pokazują, że mniejsze wartości siły szlifowania, o ok. 10%, uzyskano dla ściernicy typu 1A1. Widać niewielkie różnice zmian wartości siły F w zależności od kąta skręcenia spirali λ – wynoszą one mniej niż 4%.

Maksymalne wartości składowych siły szlifowania F_N, F_T i F_F dla badanych typów ściernic 1A1 i 12V9 w zależności od kąta skręcenia spirali λ przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przebiegi składowych siły szlifowania F (F_N, F_T, F_F) w zależności od kąta skręcenia spirali λ dla obu badanych ściernic 1A1 i12V9

Z wykresów wynika, że dla obu analizowanych ściernic maksymalna wartość składowej normalnej F_N była w przybliżeniu taka sama i wyniosła ok. 70 N. Najmniejsze wartości osiągnęła składowa posuwowa F_F – dla ściernicy typu 1A1 wyniosła ok. 1,5 N, a dla ściernicy typu 12V9 była prawie siedmiokrotnie większa i wyniosła ok. 10 N. Największą różnicę wartości zanotowano dla składowej stycznej F_T, która dla ściernicy 1A1 wyniosła średnio ok. 10 N, a dla ściernicy 12V9 była czterokrotnie większa i wyniosła średnio 40 N. Zauważono, że w przypadku ściernicy 1A1 wraz ze wzrostem wartości kąta spirali λ rośnie wartość składowej stycznej F_T. Podobna zależność nie wystąpiła w przypadku ściernicy typu 12V9.

Podsumowanie

- Na pierwszym i drugim etapie badań symulacyjnych stwierdzono, że zmiana kąta spirali powoduje znaczną zmianę kształtu rowka wiórowego, spowodowaną zmianą szerokości powierzchni przyłożenia w. Okazało się, że wraz ze wzrostem kąta spirali maleje szerokość powierzchni przyłożenia. Uzyskanie odpowiedniego kształtu rowka wiórowego jest zależne od typu użytej ściernicy – 1A1 lub12V9.
- Na trzecim i czwartym etapie badań symulacyjnych udowodniono, że przyjęcie stałej wartości szerokości powierzchni przyłożenia w = const. umożliwia uzyskanie takiego samego kształtu rowka wiórowego niezależnie od wartości kąta skręcenia spirali i typu zastosowanej ściernicy. Dodatkowo zaobserwowano, że zastosowanie stałej wartości parametru w ogranicza możliwości technologiczne ściernicy. W przypadku ściernicy typu 12V9 przedział możliwości wykonania rowka wiórowego jest większy ($\lambda \approx 25 \div 50°$) niż dla ściernicy typu 1A1 ($\lambda \approx 25 \div 35°$). Zauważono też, że zmiana stałej wartości parametru w w przedziale od 0,8 do 2,3 mm znacząco wpływa na ograniczenia technologiczne ściernicy typu 1A1 w przedziale $\lambda = 31 \div 41°$.
- Na podstawie badań symulacyjnych dowiedziono, że możliwe jest uzyskanie takiego samego kształtu rowka wiórowego w przypadku różnych wartości kąta spirali oraz zastosowania różnych ściernic. Badania symulacyjne miały bowiem na celu określenie konkretnej wartości przekroju warstwy skrawanej podczas pięcioosiowego szlifowania rowków wiórowych ściernicami o różnych kształtach, niezależnie od wartości kąta skręcenia spirali.
- Podczas badań doświadczalnych zaobserwowano małe zmiany wypadkowej siły szlifowania F pod wpływem zmiany wartości kąta spirali rowka wiórowego – wynika to z małej zmiany styku pola przekroju ściernicy z przedmiotem obrabianym. Większą redukcję siły szlifowania F – o ok. 10% – zauważono w przypadku zastosowania ściernicy typu 1A1.
- Dla obu analizowanych ściernic największe różnice zanotowano w przypadku wartości składowych siły szlifowania. Składowe posuwowa F_F i styczna F_T osiągnęły największe wartości dla ściernicy typu 12V9.

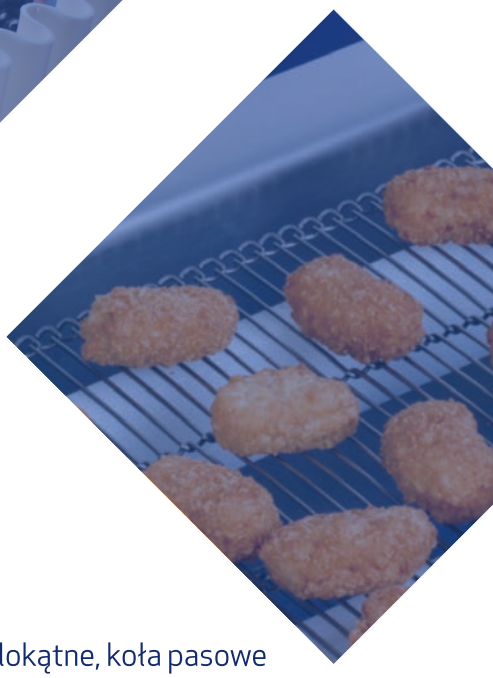
LITERATURA

1. Ren L., Wang S., Yi L., Sun S. “An accurate method for five-axis flute grinding in cylindrical end-mills using standard 1V1/1A1 grinding wheels”. *Precision Engineering*. 43 (2016): s. 387–394.
2. Karpuschewski B., Jandecka K., Mourek D. “Automatic search for wheel position in flute grinding of cutting tools”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 63 (2011): s. 347–350.
3. Hubert Ch. “*Schleifen von Hartmetall-und Vollkeramik -Schaftfrasern”*. Berlin: TU, Diss., 2011.
4. Fujara M. “*Methode zur rechnerunterstutzten Auslegung und Optimierung der Geometrie des Vollhartmetall-Spiralbohrers”*. Darmstadt: TU, Diss., 2011.
5. Christoph H. “*Schleifen von Hartmetal- und Volkeramik-Schaftfasern”*. Berlin: TU, Diss., 2011.
6. Burek J., Sałata M., Bazan A. „Wpływ rodzaju spoiwa ściernic na proces szlifowania rowków wiórowych narzędzi pełnowęglikowych”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1130–1131.



WILHELM HERM. MÜLLER
Polska Sp. z o.o.

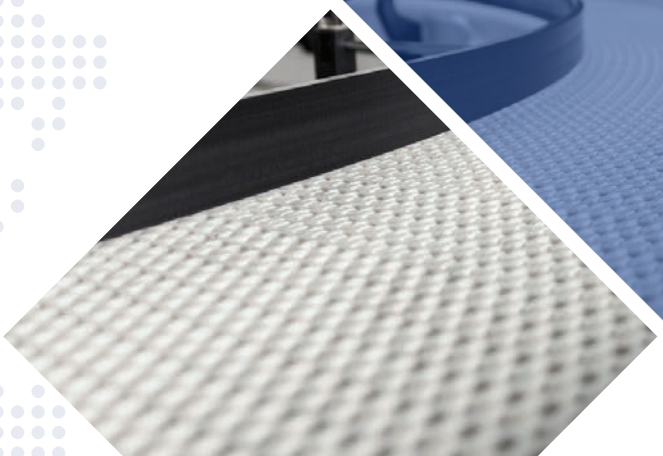
Na pasach znamy się najlepiej



Oferujemy:

- Pasy napędowe klinowe, zębate, płaskie, okrągłe, wielokątne, koła pasowe
- Taśmy transportujące PU, PCV, tkaninowe, gumowe, metalowe plecione
- Doradztwo techniczne
- Specjalne pokrycia
- Serwis 24 h - w każdym oddziale





Siedziba główna
ul. Solna 20
85-862 Bydgoszcz

tel.: +48 52 349 07 15
fax: +48 52 349 00 75
whm@whm.pl

REGION ZACHODNIO-PÓŁNOCNY
tel.: +48 52 349 07 15
fax: +48 52 349 00 75
bydgoszcz@whm.pl

REGION WSCHODNI
oddział Warszawa
ul. Okunin 31
05-100 Nowy Dwór Mazowiecki
tel.: +48 22 751 23 19
fax: +48 22 751 23 39
warszawa@whm.pl

REGION POŁUDNIOWY
oddział Bielsko-Biała
ul. Traugutta 25d
43-300 Bielsko-Biała
tel.: +48 33 821 88 09
fax: +48 33 821 88 13
bielsko@whm.pl

WROCŁAW
ul. Międzyleska 2-4/204
50-514 Wrocław
wroclaw@whm.pl

Rozwój energooszczędnych napędów hydrostatycznych z odzyskiem energii

Development of energy efficient hydrostatic drives with energy recovery

RYSZARD DINDORF
PIOTR WOŚ*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.114

Podczas hamowania odzyskowego możliwy jest odzysk energii kinetycznej i jej magazynowanie w akumulatorach hydraulicznych, a dwukierunkowy przepływ energii pozwala na realizację całego cyklu ruchu pojazdu. Przedstawiono modele dynamiczne, wyniki symulacji i testów eksperymentalnych elektrohydraulicznego układu hydrostatycznego z regulacją wtórną, który nadaje się do zastosowania w hydraulicznych układach napędów hybrydowych. Dobór parametrów regulacji jednostki wtórnej ma kluczowe znaczenie w kwestii poprawy efektywności hydraulicznych napędów hybrydowych. Obecnie napędy hydrostatyczne mają dużo większą moc na jednostkę masy od maszyn elektrycznych, dlatego znacznie korzystniejsze jest ich zastosowanie w szeregowych napędach hybrydowych.

SŁOWA KLUCZOWE: rekuperacja energii, akumulacja energii, hamowanie odzyskowe, hydrostatyczny układ napędowy, hydrauliczny napęd hybrydowy

*Recovery of kinetic energy for its subsequent storage in hydraulic accumulators may be performed due to employment of **regenerative braking. It is due to two-directional energy flow** that the whole cycle of vehicle movement is made possible. Dynamic models, simulation results, and experimental tests of a electro-hydraulic hydrostatic systems with secondary control are presented, which can be used in hydraulic hybrid powertrains. Selection of control parameters of the secondary unit has the decidedly key meaning for improvement of **efficiency of the hydraulic hybrid drives. Today's hydrostatic** drives can handle much more power per unit mass than electric machines, which implies a considerable advantage of series hydraulic hybrids.*

KEYWORDS: energy recuperation, energy accumulation, recuperative braking, hydrostatic powertrains, hydraulic hybrid drives

Od wielu lat trwają poszukiwania energooszczędnych rozwiązań w hydrostatycznych napędach pojazdów osobowych, komunalnych i wojskowych, busów, maszyn roboczych i budowlanych, urządzeń dźwigowych i innych. Rozwiązania te uwzględniają: zmniejszenie masy pojazdu, aerodynamiczny kształt nadwozia, stosowanie elektronicznych urządzeń zapłonowych lub wtryskowych, a także systemów odzysku i akumulacji energii oraz napędów hybrydowych. Takie rozwiązania prowadzą do obniżenia hałasu oraz redukcji zużycia paliwa i emisji szkodliwych składników spalin do otoczenia: tlenków azotu (NOx), tlenku węgla i węglowodorów (CO/HC) oraz cząstek stałych (PM – *particulate matter*).

W konwencjonalnych napędach pojazdów energia hamowania jest bezpowrotnie tracona, a silnik spalinowy musi pokryć zapotrzebowanie na moc w całym cyklu ruchu pojazdu. To wskazuje jednoznacznie na potrzebę uwzględnienia w ruchu pojazdów odzysku (rekuperacji) i magazynowania (akumulacji) energii hamowania, a następnie jej wykorzystania do przyspieszania pojazdu. W takich napędach można wykorzystać silnik spalinowy dostosowany do pokrycia średniego zapotrzebowania na moc podczas ruchu. Przy tym można zmniejszyć moc układu chłodzenia silnika. Głównym celem budowy pojazdów hybrydowych jest poprawa efektywności zużycia paliwa i redukcja emisji spalin z myślą o korzyściach dla środowiska naturalnego.

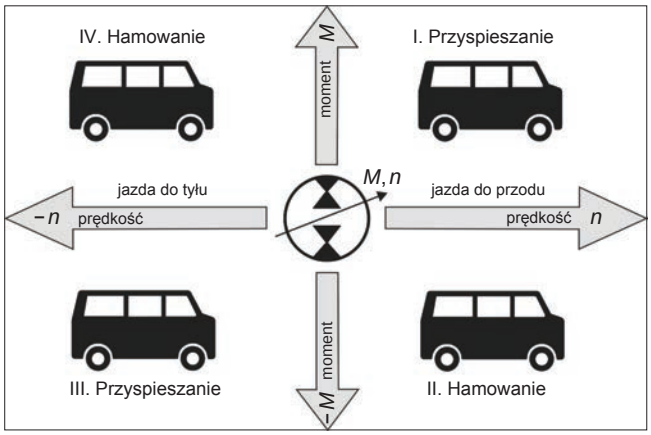
Od 2000 r. – po zaostrzeniu norm dotyczących emisji spalin i wzroście cen paliw – zaczęto dostrzegać zalety takich napędów. Pojazdy hybrydowe klasyfikuje się na podstawie konfiguracji układu przeniesienia napędu i sposobu akumulacji energii. Pierwszy hybrydowy samochód elektryczny na świecie (HEV – *hybrid electric vehicle*) o nazwie Lohnerporsche powstał w 1900 r. Pierwotnie hydrauliczna technologia hybrydowa została zaprojektowana z myślą o pojazdach wojskowych, samochodach ciężarowych, dostawczych i busach. Koncepcja hydraulicznego busa Hydro-Bus pojawiła się w Hanowerze na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, a następnie była badana na Politechnice Łódzkiej [16]. Do ciężkich pojazdów komunalnych (śmieciarek), urządzeń załadowczych i maszyn budowlanych pracujących w krótkich cyklach roboczych (z częstymi zatrzymaniami) firma Bosch Rexroth opracowała równoległy napęd hybrydowy z hydrostatycznym odzyskiem energii hamowania (HRB – *hydrostatic regenerative braking system*) [13].

Historia nowoczesnej technologii hybrydowej w samochodach rozpoczęła się około 30 lat temu – przykładem są napędy hybrydowe zastosowane w Toyocie Prius (1997 r.) i Hondzie Insight (1999 r.). Badania dotyczyły też hydraulicznych napędów hybrydowych w SUV-ach, takich jak: Hummer H3, Nissan Titan, Pathfinder, Dodge Durango, Ford Explorer i GMC Yukon [1]. Jednym z pierwszych hydraulicznych równoległych napędów hybrydowych wprowadzonych do pojazdów miejskich był system CBED (*cumulo brake energy drive*) firmy Parker Hannifin [19]. Natomiast pierwszym hydraulicznym szeregowym napędem hybrydowym tej firmy był system CHD (*cumulo hydrostatic drive*). Najnowsze rozwiązanie hydraulicznego napędu hybrydowego powstało w wyniku współpracy firmy Bosch Rexroth z koncernem PSA Peugeot Citroën [10]. System ten – nazwany *hybrid air* – wykorzystano w samochodzie Peugeot 2008, który był prezentowany podczas salonu samochodowego w Genewie w 2013 r.

Zastosowanie hydraulicznego napędu hybrydowego (HHD – *hydraulic hybrid drive*) w pojazdach jest najbardziej uzasadnione wtedy, gdy pojazd porusza się w powtarzalnym cyklu (przyspieszanie – ruch ustalony – hamowanie – postój), przy tym istnieje możliwość

* Prof. dr hab. inż. Ryszard Dindorf (dindorf@tu.kielce.pl), dr inż. Piotr Woś (wos@tu.kielce.pl) – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej

wykorzystania dużej mocy chwilowej z wysoką sprawnością energetyczną oraz występują małe straty energii. W wielu przypadkach ruch pojazdów samochodowych miejskich, komunalnych i dostawczych charakteryzuje się taką cykliczną jazdą. W energooszczędnych hydrostatycznych układach napędowych wykorzystuje się pompę jako pierwotne źródło energii, a akumulator jako wtórne źródło energii i odwracalną jednostkę napędową z regulacją wtórną, która w zależności od kierunku przeniesienia napędu pracuje jak silnik lub pompa. W takich układach możliwy jest dwukierunkowy przepływ energii: energia przekazywana jest z pompy i akumulatora do odwracalnej jednostki napędowej pracującej jak silnik, a energia odzyskana z hamowania (podczas tzw. hamowania odzyskowego) przekazywana jest z odwracalnej jednostki napędowej, pracującej jak pompa, do akumulatora hydraulicznego, gdzie gromadzona jest energia potencjalna. W zamkniętych układach hydrostatycznych możliwe jest sterowanie prędkością obrotową n i momentem M odwracalnej jednostki napędowej w całym zakresie ruchu pojazdu, czyli podczas przyspieszania i hamowania w trakcie jazdy do przodu i do tyłu. Schemat zakresu regulacji prędkości obrotowej n i momentu M odwracalnej jednostki napędowej w zależności od fazy ruchu pojazdu pokazano na rys. 1.



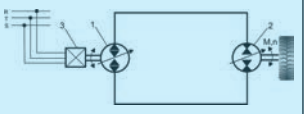
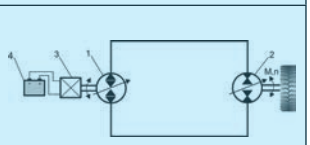
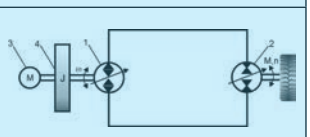
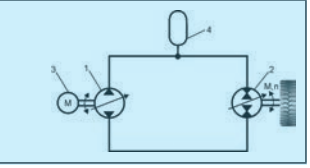
Rys. 1. Schemat zakresu regulacji hydrostatycznego układu napędowego w zależności od fazy ruchu pojazdu

Napędy hydrostatyczne z rekuperacją i akumulacją energii hamowania

Rekuperacja (odzyskiwanie) i akumulacja (gromadzenie) energii hamowania (hamowanie odzyskowe) to najważniejsze cechy układów hydrostatycznych stosowanych w napędach hybrydowych. W tabl. I zestawiono schematy podstawowych zamkniętych układów hydrostatycznych z rekuperacją i oddawaniem energii do sieci trakcyjnych oraz akumulatorów elektrochemicznych, inercyjnych i hydraulicznych.

Napęd hydrostatyczny z rekuperacją energii hamowania i oddawaniem jej przez silnik trakcyjny (pracujący jak prądnica) do sieci trakcyjnej może mieć zastosowanie w pojazdach trakcyjnych (tramwajach, trolejbusach) wykorzystywanych w komunikacji miejskiej. Autobusy i tramwaje ze zdolnością do hamowania odzyskowego mogą zmniejszyć zużycie energii w trakcji miejskiej. Aby przekazać energię hamowania do trakcji elektrycznej, trzeba spełnić dwa warunki [2]: napięcie wygenerowane przez pojazd podczas hamowania musi być wyższe od napięcia sieci trakcyjnej w miejscu zwrotu energii oraz musi istnieć odbiorca energii wygenerowanej podczas hamowania, np. inny pojazd trakcyjny pobierający energię elektryczną.

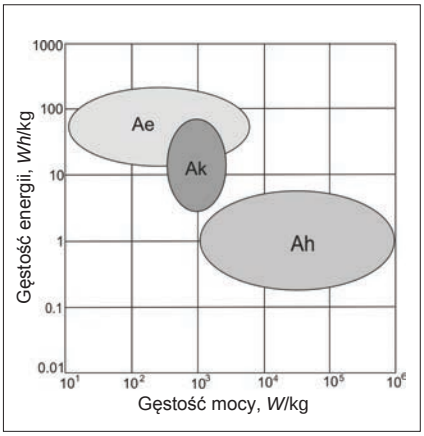
TABLICA I. Zestawienie napędów hydrostatycznych z rekuperacją i akumulacją energii hamowania

Rodzaj napędu	Schemat napędu
Rekuperacja i oddawanie energii hamowania do sieci trakcyjnej: *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – odwracalna jednostka napędowa, *3* – silnik trakcyjny (prądnica)	
Rekuperacja i akumulacja energii hamowania w akumulatorze elektrochemicznym: *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – odwracalna jednostka napędowa, *3* – silnik (generator), *4* – akumulator elektrochemiczny	
Rekuperacja i akumulacja energii hamowania w akumulatorze inercyjnym: *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – odwracalna jednostka napędowa, *3* – silnik elektryczny, *4* – bezwładnik	
Rekuperacja i akumulacja energii hamowania w akumulatorze hydraulicznym: *1* – pompa, *2* – odwracalna jednostka napędowa, *3* – silnik elektryczny, *4* – akumulator hydrauliczny	

Napęd hydrostatyczny z rekuperacją energii hamowania i magazynowaniem energii w **akumulatorach elektrochemicznych** jest uzasadniony wtedy, gdy akumulatory te mają dużą gęstość energii w stosunku do masy (J/kg) [11]. Aby wykorzystać całkowitą pojemność akumulatora i zachować dużą sprawność, potrzebny jest jednak długi czas ładowania. Akumulatory elektrochemiczne mają ograniczoną liczbę ładowań ze względu na zmniejszanie się ich sprawności podczas kolejnego ładowania.

Napęd hydrostatyczny z rekuperacją energii hamowania i akumulacją energii kinetycznej w **akumulatorze inercyjnym** polega na wprawieniu w ruch obrotowy elementu bezwładnikowego [9]. Do zwiększenia gęstości energii akumulatora inercyjnego stosuje się: specjalne bezwładniki i ich obudowy, odpowiednie ułożyskowania oraz urządzenia pomocnicze mające na celu zmniejszenie strat energii. Takie akumulatory stwarzają zagrożenia związane z dużą prędkością mas wirujących.

Napęd hydrostatyczny z rekuperacją energii hamowania i akumulacją energii potencjalnej w **akumulatorze hydraulicznym** (pęcherzowym lub tłokowym) przystosowany jest do magazynowania energii czynnika gazowego (azotu, powietrza) [15]. Akumulacja energii odbywa się przez sprężanie gazu, natomiast oddawanie energii odbywa się przez rozprężanie gazu. Magazynowanie energii w akumulatorach gazowych jest opłacalne tylko wtedy,



Rys. 2. Porównanie gęstości energii i gęstości mocy akumulatorów elektrochemicznych (*Ae*), kinetycznych (*Ak*) i hydraulicznych (*Ah*), według [1]

gdy układ napędowy pracuje w odpowiednim cyklu oraz jest możliwość wykorzystania dużej mocy chwilowej podczas przyspieszania pojazdu. Sprawność akumulatora gazowego zależy od przemian termodynamicznych i strat cieplnych.

Na rys. 2 zestawiono gęstość energii i gęstość mocy akumulatorów elektrochemicznych, kinetycznych i hydraulicznych. Akumulatory hydrauliczne w porównaniu z akumulatorami elektrochemicznymi litowo-jonowymi, stosowanymi w samochodach elektrycznych, mają wprawdzie mniejszą pojemność przekładającą się na mniejszy zasięg pojazdu, ale za to znacznie szybciej się ładują i mogą być bardziej efektywne. Z danych [18] wynika, że sprawność odzysku energii w elektrycznych napędach hybrydowych wynosi $\eta_{Rel} = 0{,}53$, a w hydraulicznych napędach hybrydowych $\eta_{Rhyd} = 0{,}69$. Sprawność odzysku (rekuperacji) energii hamowania dla hydrostatycznego układu napędowego z akumulatorem hydraulicznym oblicza się ze wzoru [8]:

$$\eta_R = \eta_a \, \eta_s^2 \, \eta_n^2 \, \eta_m^2 \tag{1}$$

gdzie: η_a – sprawność akumulatora hydraulicznego, η_s – sprawność systemu sterowania, η_n – sprawność wtórnej jednostki napędowej, η_m – sprawność układu mechanicznego.

Hydrauliczne napędy hybrydowe

Podstawowe rozwiązania hydraulicznych (hydrostatycznych) napędów hybrydowych zamieszczono w tabl. II.

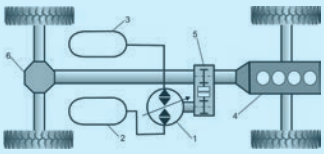
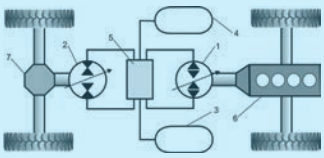
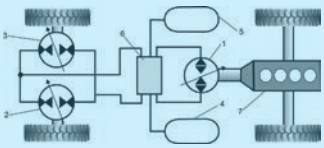
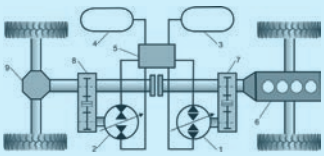
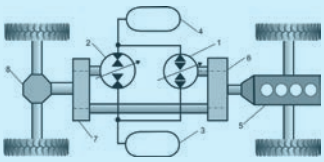
W **równoległym hydraulicznym napędzie hybrydowym** (PHH – *parallel hydraulic hybrid*) silnik spalinowy jest połączony mechanicznie z kołami pojazdu. Gdy potrzebna jest duża moc pojazdu, silnik spalinowy i silnik hydrauliczny mogą pracować równolegle. Podczas hamowania silnik hydrauliczny pracuje jak pompa i przekazuje odzyskaną energię hamowania do wysokociśnieniowego akumulatora hydraulicznego.

W **szeregowym hydraulicznym napędzie hybrydowym** (SHH – *series hydraulic hybrid*) silnik spalinowy cały czas w optymalnym zakresie obrotów napędza pompę hydrauliczną, która przekazuje energię hydrauliczną do silnika połączonego z mechanizmem różnicowym napędu kół pojazdu, a nadmiarowa energia jest gromadzona w akumulatorach gazowych. W razie potrzeby akumulatory mogą wspomagać układ napędowy. Podczas hamowania silnik pracuje jak pompa i przekazuje odzyskaną energię do wysokociśnieniowego akumulatora hydraulicznego.

Szeregowy pełny hydrauliczny napęd hybrydowy (SFHH – *series full hydraulic hybrid*) różni się od układu SHH tym, że koła pojazdu połączone są bezpośrednio z hydraulicznymi jednostkami napędowymi.

Szeregowy zaawansowany hydrauliczny napęd hybrydowy (ASHH – *advanced series hydraulic hybrid*) firmy Parker Hannifin [19] opiera się na koncepcji rozdziału mocy (*powersplit concept*). Przy małych prędkościach pojazdu w zakresie od 0 do 65 km/h wykorzystuje się napęd hydrauliczny. Przy prędkościach od 65 do 100 km/h stosowany jest bezpośredni napęd mechaniczny, a napęd hydrauliczny jest odłączony. Te dwa rodzaje napędów zapewniają wysoką wydajność w całym zakresie prędkości pojazdu. Hydrauliczny system rekuperacji energii hamownia przejmuje energię kinetyczną pojazdu od prędkości 65 do 0 km/h.

TABLICA II. Hydrostatyczne napędy hybrydowe

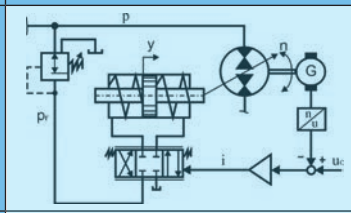
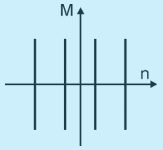
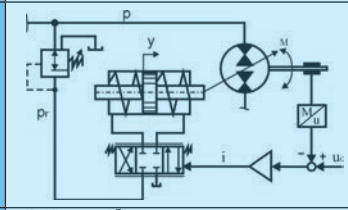
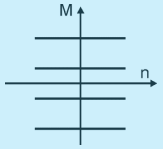
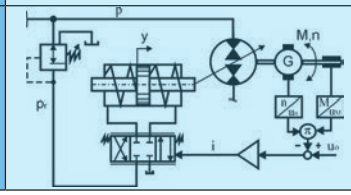
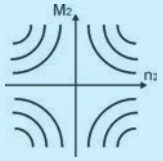
Rodzaj napędu hybrydowego	Schemat napędu hybrydowego
Równoległy hydrauliczny napęd hybrydowy (PHH): *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – wysokociśnieniowy akumulator, *3* – niskociśnieniowy akumulator, *4* – silnik spalinowy, *5* – przekładnia mechaniczna, *6* – mechanizm różnicowy	
Szeregowy hydrauliczny napęd hybrydowy (SHH): *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – odwracalna jednostka silnik–pompa, *3* – wysokociśnieniowy akumulator, *4* – niskociśnieniowy akumulator, *5* – blok zaworowy, *6* – silnik spalinowy, *7* – mechanizm różnicowy	
Szeregowy pełny hydrauliczny napęd hybrydowy (SFHH): *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2*, *3* – wtórna jednostka napędowa (silnik–pompa), *4* – wysokociśnieniowy akumulator, *5* – niskociśnieniowy akumulator, *6* – blok zaworowy, *7* – silnik spalinowy	
Szeregowy zaawansowany hydrauliczny napęd hybrydowy (ASHH): *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – wtórna jednostka napędowa (silnik–pompa), *3* – niskociśnieniowy akumulator, *4* – wysokociśnieniowy akumulator, *5* – blok zaworowy, *6* – silnik spalinowy, *7*, *8* – przekładnia mechaniczna, *9* – mechanizm różnicowy	
Szeregowy hydrauliczny napęd hybrydowy (Hybrid Air): *1* – odwracalna jednostka pompa–silnik, *2* – wtórna jednostka napędowa (silnik–pompa), *3* – akumulator niskociśnieniowy pneumatyczny wyrównawczy, *4* – akumulator wysokociśnieniowy, *5* – silnik spalinowy, *6*, *7* – przekładnia Powersplit, *8* – mechanizm różnicowy	

Szeregowy hydrauliczny napęd hybrydowy (*hybrid air)* składa się z dwóch silników (spalinowego i hydraulicznego) oraz hydropneumatycznego akumulatora ciśnieniowego. Taki układ zapewnia najwyższą możliwą sprawność niezależnie od warunków jazdy [10]. Układ hydrauliczny wspomagany akumulatorami pokrywa zwiększone zapotrzebowanie na energię podczas ruszania i przyspieszania, ale może także całkowicie zastąpić silnik spalinowy. Konstrukcja tego napędu hybrydowego wykorzystuje efekt *boost*, czyli dodatkowego chwilowego zwiększenia mocy przy większym zapotrzebowaniu. Z kolei koncepcja przekładni *powersplit* pozwala na korzystanie z różnych rodzajów napędu: krótkie odcinki można pokonywać tylko z napędem hydraulicznym zasilanym energią z akumulatorów hydraulicznych.

Stałociśnieniowe układy hydrostatyczne

Stałociśnieniowe układy hydrostatyczne – stosowane w energooszczędnych napędach hydrostatycznych – są wyposażone w odwracalne jednostki napędowe z regulacją wtórną. Układy te montuje się w pojazdach kołowych (autobusach miejskich, maszynach roboczych), pojazdach gąsienicowych (ciągnikach, maszynach roboczych, czołgach, sprzęcie wojskowym), pojazdach szynowych (lokomotywach manewrowych, pojazdach górniczych), a także w stacjonarnych urządzeniach roboczych typu

TABLICA III. Elektrohydrauliczne układy regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej

Rodzaj regulacji	Schemat układu regulacji	Charakterystyka regulacji
n = const		
M = const		
P = const		

dźwignice i podnośniki. Zaletą hydraulicznych i elektrohydraulicznych układów regulacji wtórnej jest możliwość sterowania odwracalną jednostką napędową przy stałym ciśnieniu $p = const$ w układzie hydrostatycznym, co jest niemożliwe w napędach konwencjonalnych. W tabl. III [12] zamieszczono schematy podstawowych elektrohydraulicznych układów regulacji wtórnej i ich charakterystyki regulacyjne przy stabilizacji prędkości obrotowej $n = const$, momentu obrotowego $M = const$ i mocy $P = const$ wtórnej jednostki napędowej. Te parametry mechaniczne są przetwarzane na parametry elektryczne u (napięcie z generatora tachometrycznego G i przetworników pomiarowych) oraz i (natężenie prądu ze wzmacniacza na cewkę zaworu regulacyjnego). W takich układach regulacji sygnałem wejściowym jest napięcie u_0 opowiadające zadanemu parametrowi mechanicznemu: n_0, M_0, P_0.

W układach stałociśnieniowych ($p = const$) z regulacją wtórną zmienia się objętość robocza V_r jednostki napędowej w zakresie: $V_{r\min} < V_r < V_{r\max}$. Zależność między momentem obrotowym M a objętością roboczą V_r przy stałej różnicy ciśnień $\Delta p = p - p_T \approx p = const$ (gdzie p_T – ciśnienie w zbiorniku odpowiadające ciśnieniu atmosferycznemu) określa się ze wzoru [7]:

$$M = \frac{p}{2\pi} V_r \tag{2}$$

$$M_{\max} = \frac{p}{2\pi} V_{r\max} \tag{3}$$

Porównując wzory (2) i (3) z uwzględnieniem warunku $\Delta p = const$, otrzymuje się zależność momentu obrotowego od zmiany objętości roboczej:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{V_r}{V_{r\max}} \tag{4}$$

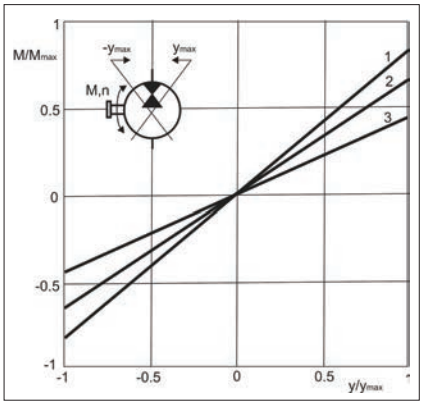
Objętość robocza V_r odwracalnej jednostki napędowej zależy od wielkości nastawy y w zakresie: $y_{\min} < y < y_{\max}$, która jest parametrem regulacji; wtedy:

$$\frac{V_r}{V_{r\max}} = \frac{y}{y_{\max}} \tag{5}$$

Po porównaniu wzorów (4) i (5) otrzymuje się zależność momentu M od nastawy y wtórnej jednostki napędowej:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{y}{y_{\max}} \tag{6}$$

Charakterystyki statyczne $M/M_{max} = f(y/y_{max})$ regulacji wtórnej jednostki napędowej określone ze wzoru (6) dla różnych wartości różnicy ciśnień Δp zamieszczono na rys. 3. Jak widać, regulacja wtórna jednostki napędowej charakteryzuje się tym, że zmiana momentu obrotowego M wynika tylko ze sterowania objętością roboczą $V_r(y)$, czyli jest związana ze sterowaniem objętościowym.



Rys. 3. Charakterystyki statyczne $M/M_{max} = f(y/y_{max})$ regulacji wtórnej jednostki napędowej przy różnych wartościach różnicy ciśnień Δp: *1* – 21 MPa, *2* – 14 MPa, *3* – 7 MPa

Regulacja wtórna wpływa jednocześnie na zamianę natężenia przepływu q_v (chłonność dla silnika lub wydajność dla pompy), którą oblicza się ze wzoru [6]:

$$q_v = V_r\, n \tag{7}$$

Po podstawieniu do wzoru (7) objętości roboczej V_r ze wzoru (2) otrzymuje się:

$$q_v = V_r\, n = 2\pi \frac{n}{\Delta p} M = k_n M \tag{8}$$

gdzie k_n jest współczynnikiem prędkości obrotowej wtórnej jednostki napędowej:

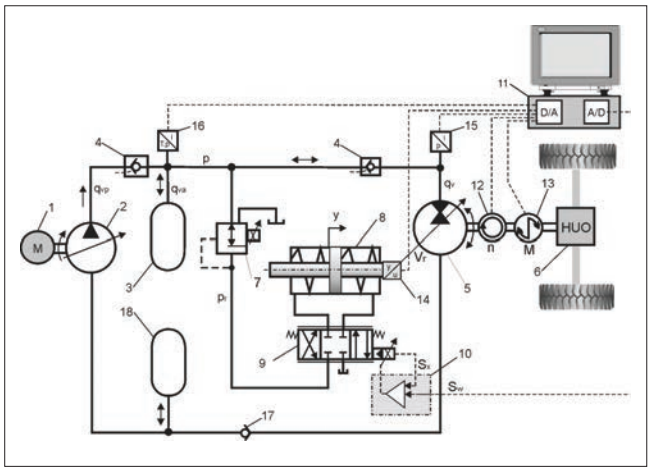
$$k_n = 2\pi \frac{n}{p} \tag{9}$$

Warto zwrócić uwagę, że dla $q_v > k_n M$ występuje tzw. rozbieganie, a dla $q_v < k_n M$ – samohamowanie wtórnej jednostki napędowej. Takie zjawiska mogą wystąpić przy niekontrolowanych zmianach ciśnienia.

Badania modelowe hydrostatycznego układu napędowego

Przeprowadzono badania modelowe (symulacyjne i fizyczne) hydrostatycznego układu z jednostką napędową regulowaną wtórnie, który może mieć zastosowanie w szeregowych napędach hybrydowych z rekuperacją i akumulacją energii hamowania. Jest to układ o dwukierunkowym przepływie strumienia energii (mocy), który umożliwia transformację energii hydraulicznej do układu napędowego podczas ruchu ustalonego i przyspieszania oraz transformację energii kinetycznej podczas hamowania z układu napędowego do układu hydrostatycznego i jej magazynowanie w akumulatorze hydraulicznym.

Na tym etapie badań modelowych symulacyjnych i fizycznych przeanalizowano układ regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej w zamkniętym układzie hydrostatycznym, którego schemat funkcjonalny zamieszczono na rys. 4. Dobór parametrów regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej ma kluczowe znaczenie



Rys. 4. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego układu hydrostatycznego z regulacją wtórną: *1* – silnik elektryczny (M), *2* – pompa hydrauliczna z regulacją ciśnienia, *3* – akumulator hydrauliczny wysokociśnieniowy, *4* – zawór zwrotny sterowany, *5* – odwracalna jednostka napędowa, *6* – hydrauliczny układ obciążający (HUO), *7* – proporcjonalny regulator ciśnienia, *8* – siłownik, *9* – zawór rozdzielający proporcjonalny, *10* – regulator zaworu, *11* – komputerowe karty pomiarowe i sterujące, *12* – czujnik prędkości obrotowej, *13* – czujnik momentu obrotowego, *14* – czujnik przemieszczenia tłoczyska siłownika, *15* – przetwornik ciśnienia, *16* – przetwornik temperatury i ciśnienia w akumulatorze, *17* – zawór zwrotny, *18* – akumulator hydrauliczny niskociśnieniowy

dla poprawy efektywności hydraulicznych układów przeniesienia napędu. Analizowany hydrostatyczny układ napędowy składa się z pompy wielotłoczkowej nastawnej *2* typu A4VG40 napędzanej silnikiem elektrycznym *1*, odwracalnej jednostki napędowej *5* typu A2V107, zespołu akumulatorów hydraulicznych wysokociśnieniowych typu pęcherzowego oraz hydraulicznego układu obciążającego HUO (hamującego i napędowego) składającego się pompy A4VG40 i silnika A6VM28, zbiornika, chłodnicy oraz filtrów. Siłownik *8* sterujący odwracalną jednostką napędową *5* zasilany jest strumieniem cieczy sterowanym zaworem rozdzielającym proporcjonalnym *9*. Ciśnienie p_r przed zaworem rozdzielającym proporcjonalnym *9* ustalone jest proporcjonalnym zaworem regulacyjnym (redukcyjnym) *7*. Na rys. 4 widoczne są również przetworniki pomiarowe i system sterowania [4].

Celem badań modelowych był optymalny dobór parametrów układu hydrostatycznego, parametrów regulacji i akumulatora hydraulicznego. Układ regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej powinien umożliwiać dostosowanie prędkości obrotowej *n* i momentu *M* do obciążenia i cyklu pracy układu napędowego, np. przy przyspieszaniu i ruchu ustalonym odwracalna jednostka napędowa pracuje jak silnik ($M > 0$, $q_v > 0$), a przy hamowaniu pracuje jak pompa ($M < 0$, $q_v < 0$). W przypadku modeli i badań symulacyjnych zamieszczonych w pracach [3] i [5] uwzględniono akumulator hydrauliczny wysokociśnieniowy. W modelowaniu akumulatora hydraulicznego uwzględniono zmiany objętości, temperatury i ciśnienia w zależności od przemian termodynamicznych, ale pomięto wymianę ciepła z otoczeniem (zastosowano tzw. osłonę adiabatyczną).

W modelu dynamicznym elektrohydraulicznego układu regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej przyjęto następujące parametry stanu: ω – prędkość kątowa jednostki napędowej, y – przemieszczenie tłoka siłownika pracującego jak tzw. waga hydrauliczna, x – przemieszczenie suwaka sterującego zaworu proporcjonalnego, Δp – różnica ciśnień w siłowniku, p – ciśnienie w układzie hydrostatycznym, T – temperatura przemian gazowych w akumulatorze.

Model dynamiczny hydrostatycznego układu z regulacją wtórną jednostki napędowej i akumulatorem hydraulicznym zapisano w postaci układu równań różniczkowych zwyczajnych:

$$\begin{cases} \dot{\omega} = a_1\, p\, y - a_2\, \omega - a_3\, M_h - a_4\, p \\ \ddot{y} = -a_{11}\, \dot{y} - a_{12}\, y - a_{13}\, \Delta p - a_{14}\, F_y \\ \ddot{x} = -a_{20}\, S_w - a_{16}\, \dot{x} - a_{17}\, x - a_{19}\, y + a_{18}\, p_r \\ \Delta\dot{p} = -a_{23}\, \Delta p - a_{22}\, \dot{y} + a_{21}\, f_1 \\ \dot{p} = \dfrac{1}{k_a}\left[q_v - q_{vp} + k_r\sqrt{p - p_r}\,\right] \\ \dot{T} = \dfrac{1}{\tau}\left(T_0 - T\right) \end{cases} \tag{10}$$

gdzie: a_i – stałe współczynniki,

$$a_1 = \frac{1}{J}\frac{V_{r\max}}{2\pi y_{\max}},\quad a_2 = \frac{1}{J} f_\omega,\quad a_3 = \frac{M_h}{J},\quad a_4 = \frac{1}{J}\frac{V_r}{2\pi\,\eta_{hm}},$$

$$a_{11} = \frac{f_y}{m_y},\quad a_{12} = \frac{c_y}{m_y} + \frac{K_y}{y_{\max}},\quad a_{13} = \frac{A_y}{m_y},\quad a_{14} = \frac{1}{m_y},$$

$$a_{16} = \frac{f_x}{m_x},\quad a_{17} = \frac{c_x}{m_x},\quad a_{18} = \frac{A_x}{m_x},\quad a_{19} = \frac{c_{xy}}{m_x},\quad a_{20} = \frac{K_m}{m_x}$$

$$a_{21} = \frac{K_x}{C_{hc}},\quad a_{22} = \frac{2A_y}{C_{hc}},\quad a_{23} = \frac{2K_w}{C_{hc}},$$

f_1 – funkcja nieliniowa:

$$f_1 = (x_0 - x)\sqrt{\frac{1}{2}(p_r - \Delta p)} \tag{11}$$

W stałych współczynnikach a_i występują następujące parametry:

- J – moment bezwładności zredukowany na wale odwracalnej jednostki napędowej,
- f_ω – opór na wale odwracalnej jednostki napędowej wynikający z tarcia lepkiego,
- y_{max} – maksymalne położenie nastawcze,
- V_{rmax} – maksymalna objętość robocza odwracalnej jednostki napędowej,
- M_h – moment jednostki hamującej,
- η_{hm} – współczynnik sprawności hydromechanicznej jednostki napędowej,
- m_y – masa zredukowana na tłoku siłownika,
- f_y – współczynnik tarcia lepkiego między tłokiem a cylindrem,
- c_y – całkowita sztywność sprężyny siłownika,
- K_y – współczynnik wzmocnienia wyznaczony z charakterystyki $F_y = f(y/y_{max})$,
- F_y – siła siłownika,
- A_y – powierzchnia tłoka siłownika,
- K_m – współczynnik wzmocnienia sprzężenia od układu pomiarowego,
- c_{xy} – sztywność sprężyny siłowego sprzężenia zwrotnego,
- A_x – powierzchnia suwaka sterującego,
- m_x – masa suwaka serwozaworu,
- f_x – współczynnik tarcia lepkiego pary suwakowej,
- c_x – całkowita sztywność sprężyny serwozaworu,
- K_x – współczynnik przepływu, $K_x = C_d\,\pi\,d_x\sqrt{\frac{1}{\rho}}$,
- x_0 – przekrycie suwaka sterującego,
- C_d – współczynnik oporu przepływu,
- d_x – średnica suwaka sterującego,

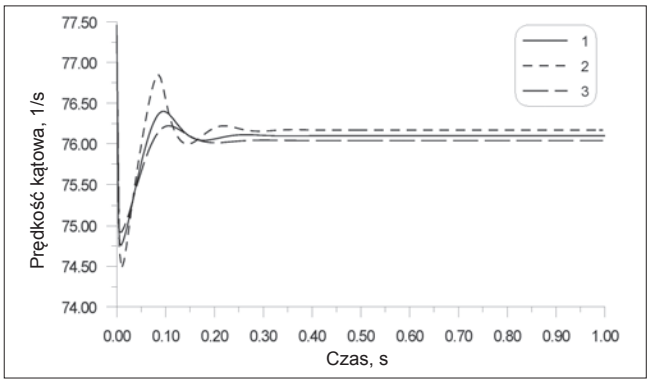
ρ – gęstość cieczy roboczej,
C_{hc} – pojemność hydrauliczna w obszarze między zaworem a siłownikiem,
K – moduł sprężystości cieczy,
V_c – objętość obszaru między zaworem a siłownikiem,
K_w – współczynnik przecieków,
τ – stała czasowa termiczna akumulatora,
T_0 – temperatura otoczenia,
k_a – współczynnik akumulatora gazowego,
p_r – ciśnienie w układzie regulacji,
k_r – współczynnik natężenia przepływu w zaworze regulacyjnym,
q_{vp} – wydajność pompy,
q_v – chłonność/wydajność odwracalnej jednostki napędowej (6).

Wartości stałych współczynników układu regulacji wynoszą:
$a_1 = 0{,}025$ m/(Ns^2), $a_2 = 97{,}006$ 1/s, $a_3 = 0{,}001$ m^2/(Ns^2), $a_4 = 1{,}073 \times 10^{-4}$ m^2/(Ns^2), $a_{11} = 653{,}333$ Ns/(kgm), $a_{12} = 1{,}28 \times 10^4$ N/(kgm), $a_{13} = 4{,}667 \times 10^4$ m^2/kg, $a_{14} = 0{,}667$ 1/kg, $a_{15} = 0{,}667$ 1/kg, $a_{16} = 525$ Ns/(kgm), $a_{17} = 7{,}5 \times 10^5$ N/(kgm), $a_{18} = 0{,}0015$ m^2/kg, $a_{19} = 2{,}85 \times 10^{10}$ N/(kgm), $a_{21} = 1{,}021 \times 10^{10}$ N$^{1/2}$/(m^{2}s), $a_{22} = 9{,}589 \times 10^9$ N/m^3, $a_{23} = 45{,}205$ 1/s, $a_{24} = 45{,}205$ m^2.

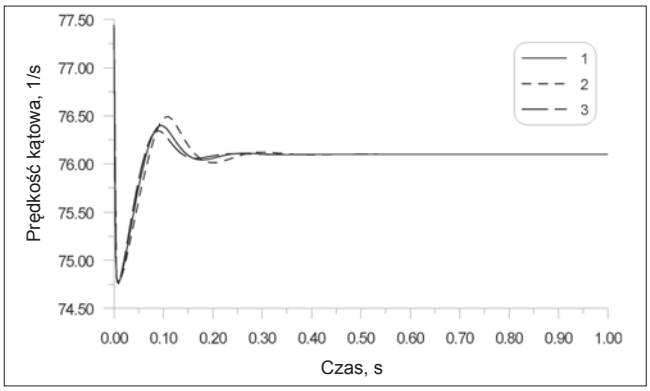
Podczas modelownia dynamicznego wprowadzono początkowe wartości ciśnienia $p_0 = 15$ MPa i momentu jednostki hamującej $M_{h0} = 25$ Nm oraz stałe parametry regulacji: ciśnienie $p_r = 4$ MPa i siłę siłownika $F_y = 85$ N.

W trakcie badań symulacyjnych przeprowadzonych w środowisku Matlab/Simulink analizowano wpływ parametrów napędu hydrostatycznego, wyrażonych współczynnikami a_i, na stabilność układu regulacji po wprowadzeniu skokowego sygnału wymuszającego S_w, odpowiadającego momentowi obciążającemu odwracalną jednostkę napędową. Otrzymywano dwa rodzaje odpowiedzi skokowych: albo silnie tłumione, albo niestabilne. Podczas symulacji zmieniano kolejno tylko jeden współczynnik a_i – zwiększano i zmniejszano go o 30%. Zmiana parametrów układu regulacji skutkowała głównie zmniejszeniem lub wzrostem amplitudy i okresem pulsacji w stanie przejściowym charakterystyk dynamicznych. Po analizie wpływu różnych współczynników na stabilność hydrostatycznego układu napędowego stwierdzono, że niektóre z tych współczynników destabilizują przebieg parametrów stanu układu hydrostatycznego. Do tych współczynników można zaliczyć: a_1, a_2, a_7, a_8, a_9, a_{18} i a_{19}. Inne współczynniki wpływają przede wszystkim na przebieg poszczególnych parametrów układu, np. prędkości kątowej ω(t), dla której największe znaczenie mają współczynniki a_5 ±30% i a_{20} ±30%. Przykładowe charakterystyki dynamiczne ω(t) współczynników a_5 i a_5 ±30% przedstawiono na rys. 5, a współczynników a_{20} i a_{20} ±30% – na rys. 6. Wynika z nich, że po zmniejszeniu współczynnika a_5 o 30% wzrosły przeregulowanie δ_p o 0,46% i oscylacyjność δ_o o 17,6%, natomiast po wzroście współczynnika a_5 o 30% zmniejszyły się przeregulowanie δ_p o 0,3% i oscylacyjność δ_o o 6,33%. Z kolei po zmniejszeniu współczynnika a_{20} o 30% oscylacyjność wzrosła o 6,8%, a po jego zwiększeniu o 30% oscylacyjność spadła o 4,18%.

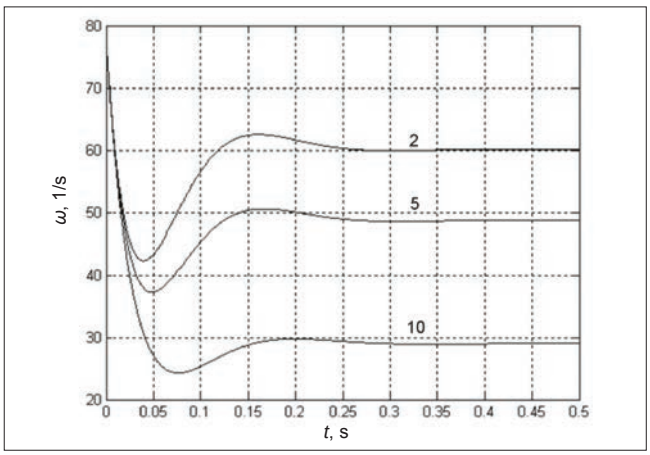
Kolejne badania modelowe na stanowisku badawczym polegały na analizie charakterystyk skokowych prędkości kątowej $\omega(t)$ wtórnej jednostki napędowej przy różnych względnych wartościach sygnałów sterujących S_w/S_{w0} oraz różnych względnych wartościach momentu hamującego M_h/M_{h0}, co pokazano na rys. 7 i 8.



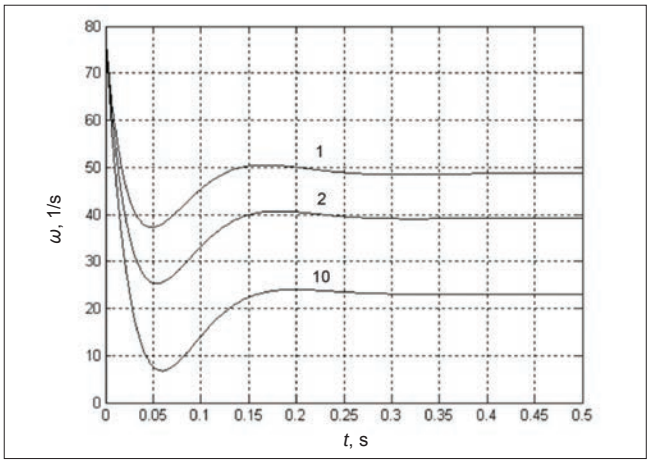
Rys. 5. Charakterystyki prędkości obrotowej $\omega(t)$ dla współczynników: a_5 (*1*), a_5 – 30% (*2*), a_5 + 30% (*3*)



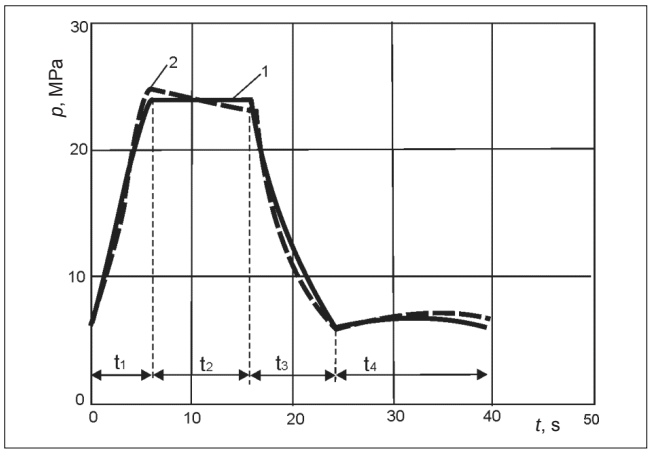
Rys. 6. Charakterystyki prędkości obrotowej $\omega(t)$ dla współczynników: a_{20} (*1*), a_{20} – 30% (*2*), a_{20} + 30% (*3*)



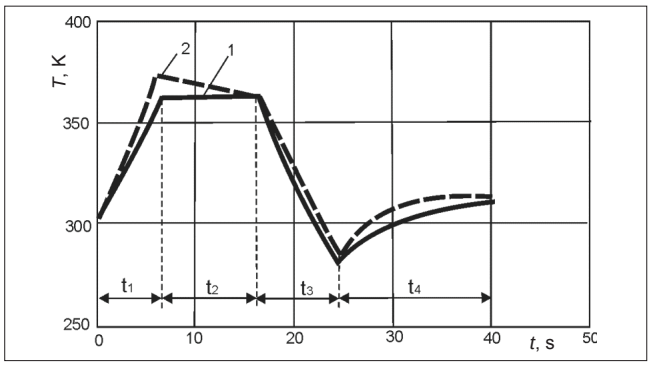
Rys. 7. Charakterystyki skokowe prędkości kątowej $\omega(t)$ wtórnej jednostki napędowej dla różnych wartości $S_w/S_{w0} = 2, 5, 10$ oraz dla $M_h/M_{h0} = 1$



Rys. 8. Charakterystyki skokowe prędkości kątowej $\omega(t)$ wtórnej jednostki napędowej dla różnych wartości $M_h/M_{h0} = 1, 2, 10$ oraz dla $S_w/S_{w0} = 5$



Rys. 9. Zmiana ciśnienia $p(t)$ w akumulatorze hydraulicznym podczas jednego cyklu jazdy: *1* – symulacja, *2* – test eksperymentalny



Rys. 10. Zmiana temperatury $T(t)$ w akumulatorze hydraulicznym podczas jednego cyklu jazdy: *1* – symulacja, *2* – test eksperymentalny

Przeprowadzono także badania modelowe akumulatora hydraulicznego w trakcie jednego cyklu ruchu wirtualnego pojazdu, dla którego założono: odcinek ruchu L = 1,5 km, czas jednego cyklu T_c = 40 s, czas fazy hamowania t_1 = 15%, czas fazy postoju t_2 = 25%, czas fazy przyspieszania t_3 = 20 %, czas fazy jazdy ustalonej t_4 = 40%. Dla tak przyjętego cyklu wyznaczono charakterystyki zmiany ciśnienia $p(t)$ i temperatury $T(t)$ w akumulatorze hydraulicznym (gazowym) pęcherzowym o objętości $V_0 = 10\ 10^{-3}$ m^3, które zamieszczono na rys. 9 i 10. Z przedstawionych charakterystyk wynika stała czasowa termiczna τ = 10 s oraz stosunek ciśnień $p_2/p_1 = 4$ (p_2 = 24 MPa, p_1 = 6 MPa). Rzeczywiste charakterystyki $p(t)$ i $T(t)$ wskazują na straty ciepła występujące w akumulatorze hydraulicznym. Metodę optymalnego doboru akumulatora gazowego zamieszczono w pracy [6].

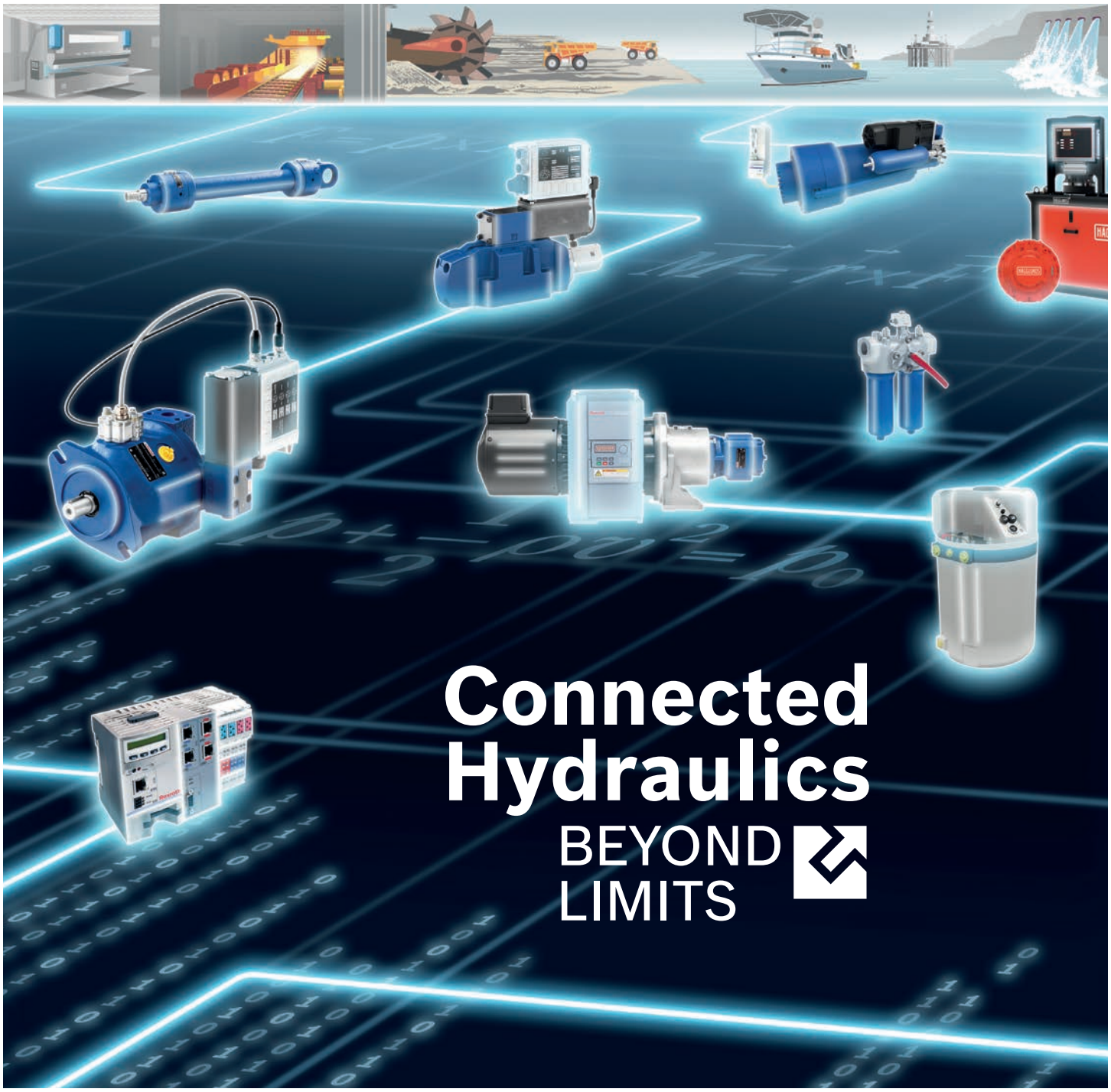
Podsumowanie

Z przeglądu układów przeniesienia napędu oraz sposobów rekuperacji i akumulacji energii hamowania w napędach hybrydowych wynika, że hydrauliczne szeregowe napędy hybrydowe budzą coraz większe zainteresowanie w kontekście ich zastosowania w pojazdach lekkich (samochodach osobowych i środkach transportu bliskiego). Nie ma jeszcze wielu badań układów hydrostatycznych stosowanych w szeregowych napędach hybrydowych, a zwłaszcza badań elektrohydraulicznych układów regulacji odwracalnych jednostek napędowych (jednostek wtórnych – silnik/pompa). Świadczy to o licznych barierach technicznych, które wymagają dokładnego poznania i pokonania. Bariery te występują przede wszystkim w sferze właściwości dynamicznych układów hydrostatycznych z regulacją wtórną jednostek napędowych i akumulacją energii w akumulatorach hydraulicznych, których poznanie ułatwi przedstawiony w pracy model symulacyjny i fizyczny.

Na tym etapie badań skupiono się na analizie dynamicznej elektrohydraulicznego układu regulacji wtórnej odwracalnej jednostki napędowej w zamkniętym układzie hydrostatycznym z akumulatorem wysokociśnieniowym. Podstawowym celem badań symulacyjnych i doświadczalnych było wyznaczenie charakterystyk dynamicznych odwracalnej jednostki napędowej w zależności od parametrów układu hydrostatycznego. Uzyskane wyniki dają podstawę do dalszych badań nad opracowaniem elektrohydraulicznych adaptacyjnych układów regulacji wtórnej w hydrostatycznych szeregowych napędach hybrydowych [20]. Badania będą ukierunkowane także na zastosowanie hydrostatycznego układu przeniesienia napędu w hybrydowych maszynach rolniczych (do układu napędu maszyn i napędu narzędzi rolniczych). Jest to uzasadnione tym, że maszyny rolnicze zużywają dużo paliwa, a w sezonie pracują często nawet po 20 h na dobę. Napędy hybrydowe w tych maszynach nie są jeszcze stosowane, chociaż w Finlandii na uniwersytecie w Aalto podjęto takie badania.

LITERATURA

1. Baseley S., Ehret C., Greif E., Kliffken M. “Hydraulic Hybrid Systems for Commercial Vehicles”. *SAE Technical Paper* (2007).
2. Bartłomiejczyk M., Połom M. „Napięcie sieci trakcyjnej jako wyznacznik możliwości zwiększenia odzysku energii”. *Eksploatacja.* 4 (2013).
3. Dindorf R., Woś P. “Development of hydraulic power systems”. *Monografie, Studia, Rozprawy* M63. Kielce: Politechnika Świętokrzyska, 2016.
4. Dindorf R., Woś P. „Przetworniki i układy pomiarowe w systemach hydraulicznych i pneumatycznych”. *Monografie, Studia, Rozprawy* M63. Kielce: Politechnika Świętokrzyska, 2014.
5. Dindorf R. “Dynamic modelling of hydrostatic transformation with secondary control”. *Monography: Setected Problems of Modeling and Control in Mechanics. Monografie, Studia, Rozprawy* M19. Kielce: Politechnika Świętokrzyska, 2011.
6. Dindorf R. „*Napędy płynowe. Podstawy teoretyczne i metody obliczania napędów hydrostatycznych i pneumatycznych. Podręcznik akademicki*”. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2009.
7. Dindorf R. „*Modelowanie i symulacja nieliniowych elementów i układów regulacji napędów płynowych*”. Monografia 44. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2004.
8. Do H.T., Dinh Q.T., Ahn K.K., Ho T.H. “Development of a novel hydrostatic transmission system for braking energy regeneration”. *Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power*. Okinawa, 25 października 2011.
9. Han T.-R. “On a flywheel-based regenerative braking system for regenerative energy recovery”. *Proceedings of Green Energy and Systems Conference 2013*. Long Beach, CA, USA, 2013.
10. “*Hybrid Air: An innovative full-hybrid patrol solution for the car of the future*”. PSA Group, 2013.
11. Ibrahim M.S.A. “*Investigation of Hydraulic Transmissions for Passenger Cars*”. Aachen: Diss. RWTH Aachen University, Shaker Verlag, 2011.
12. Kordak R. “Hydrostatic drives with secondary control”. *The Hydraulic Trainer.* 6. Lohr am Main: Rexroth, 1996.
13. Lindzus E. “*HRB – Hydrostatic Regenerative Braking System: The Hydraulic Hybrid Drive from Bosch Rexroth*”. www.boschrexroth.com.
14. Murrenhof H. Wallentowitz H. “*Fluidtechnik für mobile Anwedungen*“. Aachen: RWTH, 1995.
15. Nikolaus H.W. “*Hydrostatische Antriebe mit Sekundärgeregelter und Energiegewinnung*“. Lohr am Main: Rexroth, 1996.
16. Pawelski Z. „*Napęd hybrydowy dla autobusu miejskiego*”. Łódź: Politechnika Łódzka, 1986.
17. Petrič J. “Modeling of hydro-pneumatic energy storage system”. *8th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*. Cardiff, Wales UK, 10–13 września 2013.
18. Rydberg K.-E. “Energy efficient hydraulic hybrid drives”. *The 11th Scandinavian International Conference on Fluid Power – SICFP’09.* 2–4 czerwca 2009, Linköping, Sweden.
19. Schärlund L. „*Hydraulic Hybrids, Parker PMDE Trollhättan. Presentation at IFS meeting in Eskilstuna*” 5 listopada 2008.
20. Woś P., Dindorf R. “Adaptive control of the electro-hydraulic servo-system with external disturbances”. *Asian Journal of Control*. 15, 4 (2013).



Firma Bosch Rexroth jest globalnym partnerem w zakresie sprawdzonych rozwiązań z zastosowaniem napędów hydraulicznych. Nieustannie wyznaczamy nowe standardy wydajności, funkcjonalności i długotrwałości eksploatacji. Pomagamy naszym klientom sterować siłą oraz momentem obrotowym.
Nasze produkty i rozwiązania wykorzystywane są zarówno w standardowych aplikacjach, jak i tych bardziej złożonych i wymagających.
Wykorzystując naszą unikalną wiedzę oraz wykraczając poza dotychczasowe granice spełniamy Państwa oczekiwania, a nawet wykraczamy poza nie. Nasze rozwiązania z zakresu usieciowionej hydrauliki doskonale wpasowują się w nowoczesną architekturę sterowania: od małych po wielkie, od seryjnych po duże biznesowe projekty - wszystko przy wsparciu globalnej sieci serwisowej.
Wprawiamy w ruch - sterując siłą i momentem obrotowym

boschrexroth.com/connected-hydraulics

The Drive & Control Company

Rexroth
Bosch Group



„Potrzebujemy inteligentnych układów hydraulicznych” – wywiad z profesorem Ludgerem Frerichsem

Profesor Ludger Frerichs zajmował się samojezdnymi maszynami roboczymi przez cały okres swojej kariery zawodowej. Dyrektor Instytutu na Uniwersytecie Technicznym w Braunschweig spodziewa się, że inteligentne połączenie wszystkich składowych procesu pozwoli na kolejne radykalne zwiększenie produktywności.

Profesorze, czy nie jest pan zmęczony dyskusjami na temat zwiększenia sprawności samojezdnych maszyn roboczych?

Profesor Ludger Frerichs: Absolutnie nie. Jest to ekscytujące zadanie badawcze. Zwłaszcza gdy zadamy sobie kluczowe pytanie: jak wykorzystać zwiększenie sprawności systemu technicznego? W przeszłości kładliśmy nacisk na podnoszenie wydajności rozumianej jako produktywność uzyskiwana przez klienta. Obecnie – i jest to znak czasu – coraz ważniejsza staje się redukcja kosztów z zachowaniem poziomu wydajności, przy czym przez zmniejszenie kosztów rozumiemy w tym kontekście ograniczenie zużycia zasobów ośrodków oraz emisji gazów cieplarnianych.

Dlaczego jest pan zwolennikiem radykalnej zmiany?

L.F.: Jako społeczeństwo zaczynamy sobie zdawać sprawę, że zmiana klimatu faktycznie zachodzi, a przez to coraz wyraźniej nasila się presja na podjęcie skutecznego przeciwdziałania. W przypadku produktów, o których mówimy, czyli samojezdnych maszyn roboczych, oznacza to równoczesne dążenie do dwóch celów: zapewnienia dostatecznej wydajności, np. w rolnictwie, oraz zmniejszenia ilości zasobów zużywanych do wykonania danej pracy. Pomiędzy tymi celami często występuje sprzeczność, którą można rozwiązać tylko poprzez całościowe spojrzenie na system produkcyjny. Musimy zatem w większym stopniu myśleć w kategoriach zastosowania u klienta. Właściciel maszyny potrzebuje inteligentnego wsparcia technicznego, które pozwoli na optymalne wykorzystania jego maszyny i jej możliwości.

Jaką rolę będą odgrywać w przyszłości systemy hydrauliczne?

L.F.: Hydraulika udowodni swoją przydatność w samojezdnych maszynach roboczych, ale potrzebny jest jej dalszy rozwój z ukierunkowaniem na zastosowania. Napędy hydrauliczne i zawory hydrauliczne muszą być bardziej inteligentne oraz precyzyjne. Inteligencja jest potrzebna do przekazywania na bieżąco informacji wszystkim elementom systemu, a dzięki temu do jego błyskawicznej optymalizacji w czasie rzeczywistym. Precyzja działania komponentów przyczynia się do zminimalizowania strat oraz zapewnienia dokładnej informacji w czasie rzeczywistym o wykonywanych działaniach. Oznacza to stworzenie inteligentnych układów hydraulicznych, które generują informacje dla całego układu aplikacyjnego. Ponadto dostawcy komponentów hydraulicznych oraz producenci OEM muszą intensywnie pracować nad rozwiązaniami hybrydowymi i interdyscyplinarnymi.

To brzmi jak postulat koegzystencji różnych systemów?

L.F.: Istotnie. Każda technologia – hydraulika, elektronika i mechanika – ma swoje miejsce w systemie oraz może wykazać swój specyficzny potencjał w rozwiązaniach hybrydowych.

Ale jak znaleźć równowagę pomiędzy systemami?

L.F.: Badacze i konstruktorzy powinni przestać się koncentrować na pojedynczych komponentach, a zacząć patrzeć na system całościowo, w kontekście danego zastosowania. Wymusza to maksymalną otwartość i ścisłą współpracę pomiędzy wszystkimi uczestnikami. Wymaga także uwzględnienia różnych technologii w sposób realistyczny i wolny od uprzedzeń ideologicznych. Nie chodzi ani o to, by utrzymywać na siłę stan istniejący, ani też o to, by rzucać się na kolejne nowinki. Potrzebna jest natomiast wyższa kultura informacji i komunikacji.

W tym kontekście pojawia się kwestia napędu elektrycznego samojezdnych maszyn roboczych. Dlaczego dyskusja na ten temat ucichła?

L.F.: Ponieważ po początkowej wrzawie wróciliśmy do rzeczywistości i do codziennej mozolnej pracy inżynierów, którzy stopniowo odnoszą sukcesy. Trzeba znaleźć odpowiedzi na pytania dotyczące napędów elektrycznych i zastosowań, w których ewentualnie mogłyby być one przydatne. Pytania te dotyczą zarówno poszczególnych funkcji, jak i całej maszyny. Ufnie patrzę w przyszłość, gdyż we wszystkich związanych z tym obszarach – tj. maszyn elektrycznych, elektroniki dużej mocy i technologii magazynowania energii – prowadzone są intensywne prace oraz ponoszone są znaczne nakłady. Siłą napędową postępu jest branża samochodowa. Jak wynika z doświadczenia, oznacza to, że opracowano niewiele komponentów, których moglibyśmy faktycznie użyć w samojezdnych maszynach roboczych, jednak postęp technologiczny jest tu bardzo znaczny.

Jeśli chodzi o napęd elektryczny maszyn, widzimy już wyraźnie przyszłość w sektorze wózków przemysłowych. W wózkach podnośnikowych z przeciwwagą silniki spalinowe są zastępowane napędem elektrycznym z zasilaniem akumulatorowym. Dotyczy to zwłaszcza wózków widłowych używanych częściowo wewnątrz pomieszczeń. To samo dzieje się w obszarze maszyn rolniczych i budowlanych. Należy przyjąć, że wszystkie maszyny używane w pomieszczeniach będą wcześniej czy później napędzane elektrycznie.

Czy, mówiąc o inteligencji systemu, mamy na myśli koncepcję analogiczną do Przemysłu 4.0 w odniesieniu do branży rolniczej i budowlanej?

L.F.: W zasadzie tak, ale nie wyłącznie. Osobiście wolę używać terminu „systemy cyberfizyczne”, gdyż podkreśla on konieczność całościowego spojrzenia na system. Nowoczesne technologie telekomunikacyjne umożliwiają wymianę danych w czasie rzeczywistym. Jednak inteligencja nie wynika z samego podłączenia do sieci, lecz wymaga dokonania następnego kroku, polegającego na inteligentnym wykorzystaniu informacji dostępnej w systemie. Równocześnie rozwija się automatyzacja, która również przyczynia się do rozpowszechnienia inteligentnych rozwiązań i – w zależności od stopnia rozwoju – do poszerzenia możliwości użycia. Ponadto nie należy pomniejszać znaczenia postępu w technologiach mechanicznych i hydraulicznych. Są one często nie mniej „smart” – używając angielskiego określenia, nieco bardziej powściągliwego niż „inteligentne”.

Czy „smart” oznacza, że operator będzie miał coraz mniej do powiedzenia?

L.F.: Nie. To przyniosłoby katastrofalne skutki, ale to również zależy od stopnia automatyzacji w danym zastosowaniu maszyny. Osoba odpowiedzialna na miejscu musi zachować prawo do podejmowania decyzji. W obszarze, o którym przed chwilą mówiliśmy, szybko stanie się oczywiste, jak należy wykorzystać uzyskany wzrost sprawności. Jeśli nadchodzi silna burza, operator lub brygadzista może wyłączyć tryb „eco” i wymusić dokończenie żniw z maksymalną szybkością, zanim spadnie deszcz. Inny przykład: operator wózka podnośnikowego może zdecydować, że dwie ostatnie ciężarówki w piątek po południu zostaną rozładowane z maksymalną wydajnością, co pozwoli na skończenie rozładunku przed weekendem. W takich przypadkach funkcje „smart” ułatwiają wykorzystanie wydajności maszyny.

Mówi się, że samojezdne maszyny robocze stają się „globalne”. Co to znaczy?

L.F.: To oznacza wysoki poziom dyscypliny projektowej przy zaawansowanych konstrukcjach oraz przeciwstawienie się nadmiernym komplikacjom. Potrzebujemy rozwiązań, które spełniają oczekiwania w poszczególnych regionach. Możemy zaprojektować trochę powyżej oczekiwań, aby ułatwić sprzedaż produktu, ale tylko tyle. Kluczowym elementem koncepcji projektowania uzależnionego od regionu jest modularność, gdyż pozwala to na utrzymanie kontroli nad kosztami.

I jeszcze à propos „globalności”: producenci maszyn rolniczych są postrzegani jako prekursorzy nowinek. Dlaczego?

L.F.: Dzieje się tak z co najmniej trzech powodów. Dane finansowe pokazują, że producenci maszyn rolniczych więcej inwestują w prace badawczo-rozwojowe niż inne branże, np. branża logistyki wewnętrznej czy maszyn budowlanych. Po drugie klienci często są równocześnie właścicielami i użytkownikami. I po trzecie rolnik lub robotnik rolny siedzi bezpośrednio na maszynie, przez co wykazuje równocześnie racjonalne podejście i emocjonalne przywiązanie do niej.



Profesor dr Ludger Frerichs studiował inżynierię mechaniczną w Osnabrück i Braunschweig, doktorat uzyskał w Stuttgarcie-Hohenheim. Od roku 1990 zajmował stanowiska kierownicze w renomowanych firmach produkujących maszyny robocze i pracował nad rozwojem maszyn rolniczych oraz ciężarówek przemysłowych. Od stycznia 2012 r. jest dyrektorem Instytutu Maszyn Mobilnych i Pojazdów Użytkowych na Politechnice w Brunszwiku. Od lat związany jest z VDI i VDMA – promuje badania i współpracę między uniwersytetami a przemysłem. Jest redaktorem naczelnym *Rocznika Rolnictwa* (fot. Copyright by prof. dr Ludger Frerichs).

info@boschrexroth.pl • www.boschrexroth.pl • www.facebook.com/BoschRexrothPolska

Motoreduktory Simogear – droga do spójnych rozwiązań napędowych

Efektywność i skuteczność to zalety zastosowania optymalnie dopasowanych do siebie motoreduktorów – od planowania, przez konfigurację i wdrożenie, do systemu sterowania całym układem napędowym. Dlatego w firmie Siemens opracowano nową serię motoreduktorów Simogear, różnego typu i w różnych rozmiarach mechanicznych. Ze względu na kompaktowe wykonanie charakteryzują się one wysoką sprawnością oraz niebywałym przeniesieniem mocy w stosunku do własnej powierzchni.

Aby zapewnić pełną kompatybilność produktów, firma Siemens monitoruje wszystkie obszary technologii związanej z techniką napędową – od planowania do realizacji i obsługi serwisowej – i na tej podstawie systematycznie optymalizuje dostarczane układy napędowe.

Jednym z ważnych aspektów tego procesu jest przygotowanie kompleksowej oferty i dostępność produktów na całym świecie. Nowy motoreduktor Simogear, który zastępuje wycofany z produkcji motoreduktor Motox, jest integralną częścią układów napędowych firmy Siemens. W wielu gałęziach przemysłu – takich jak przemysł samochodowy, logistyka i magazynowanie oraz przemysł spożywczy – to właśnie technologia przenośnikowa kształtuje jednolity i perfekcyjnie działający system. Ten system nie tylko przekłada się na efektywność ekonomiczną wybranych rozwiązań, lecz również ma pozytywny wpływ na koszty operacyjne, dostępność produktów i obsługę serwisową.



Przewaga poprzez standaryzację

Ulepszenia konstrukcyjne wraz ze standaryzacją komponentów przyniosły rezultat w postaci znacząco poszerzonej gamy produktów Simogear w porównaniu z poprzednią, wycofaną serią motoreduktorów Motox. Poza większą opłacalnością przekładnie oferują dokładniejsze stopniowanie wielkości mechanicznych i współczynników redukcji przełożeń, na czym najwięcej zyskują użytkownicy już na etapie projektowania rozwiązań napędowych. Korzyści niesie także wykorzystanie standardowych wymiarów montażowych, co ułatwia zamianę dotychczas stosowanych produktów, modernizację czy przeprojektowanie rozwiązań konstrukcyjnych.

Innowacje dla zwiększenia sprawności

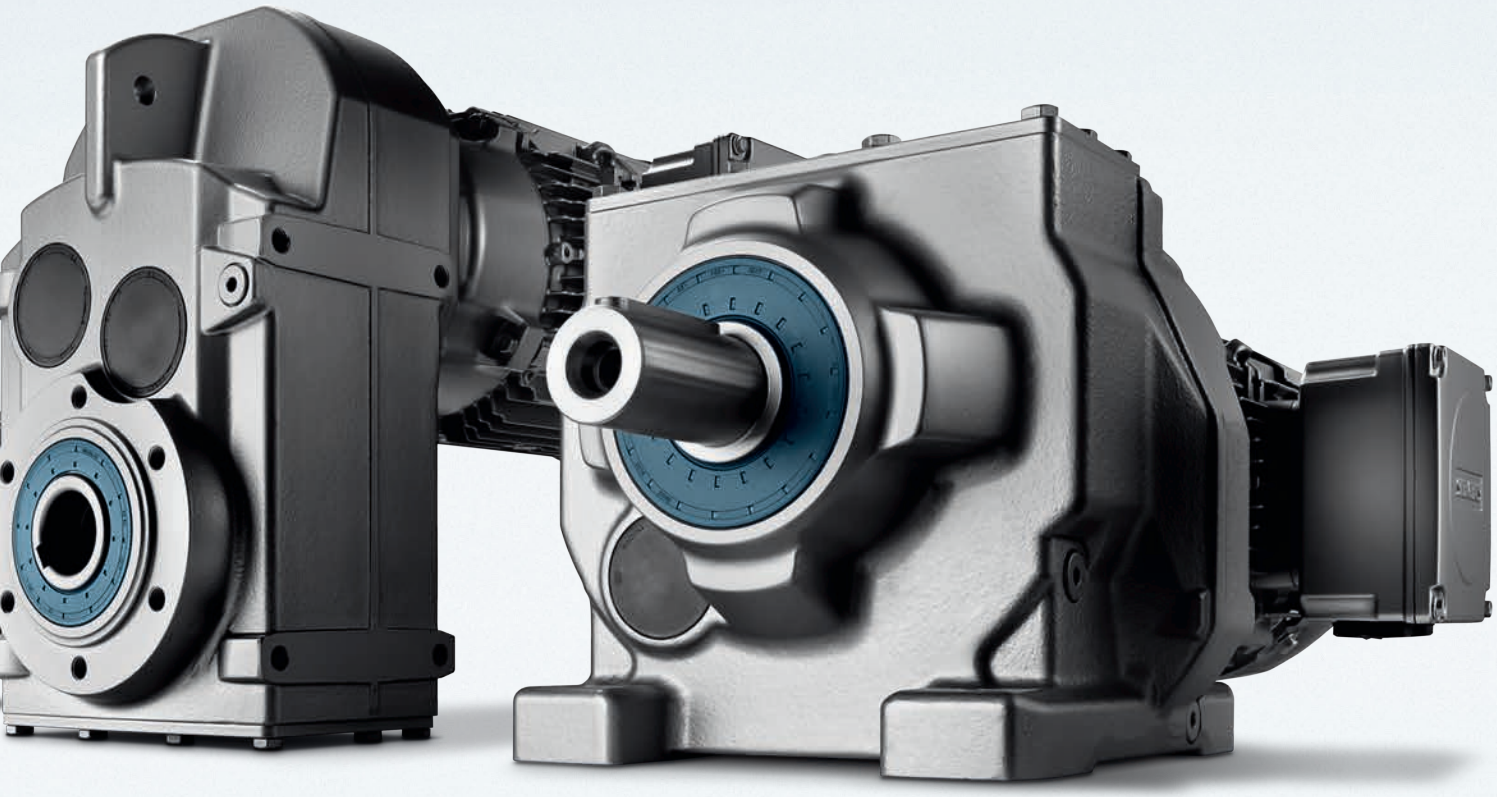
W motoreduktorach Simogear wykorzystano szereg innowacji technicznych, które podwyższają energooszczędność napędów. Przykładowo: mają one bardzo wysokie współczynniki przełożeń *i* już na pierwszym stopniu i osiągają całkowite przełożenie i_{total} pomiędzy 3,5 a 60 w przypadku dwustopniowej konstrukcji o uzębieniu walcowo-stożkowym. Zastosowanie wciskanego zębnika, który jest o wiele mniejszy niż zębnik nakładany na wał silnika, pozwoliło w wielu przypadkach na wyeliminowanie jednego stopnia przełożenia przekładni, zwiększając w ten sposób sprawność. Dodatkowym, godnym uwagi rozwiązaniem jest zintegrowana osłona strony napędowej silnika (strony A), zainstalowna zamiast adaptera na połączeniu z przekładnią.

Takie rozwiązanie skutkuje zmniejszeniem długości motoreduktora dzięki wyeliminowaniu sekcji, która wymagałaby dodatkowego uszczelnienia. W ten sposób uzyskuje się bardziej kompaktową konstrukcję, łatwą w obsłudze i diagnostyce. Ponadto Simogear może być wyposażony w silnik o wysokiej sprawności energetycznej w klasie IE2 lub w wyższej klasie IE3 z zachowaniem tego samego wzniosu wału, a więc bez konieczności powiększenia wielkości mechanicznej silnika.

System modułowy zapewnia elastyczność

Motoreduktor Simogear został zaprojektowany z myślą o silniku, z wykorzystaniem podstawowych założeń konstrukcji modułowej Modulog. Ten system – opatentowany przez firmę Siemens – pozwala na konfigurację motoreduktora zgodnie z oczekiwaniami użytkownika i podstawowymi wymogami projektowymi. Bazą systemu modułowego Modulog jest dwubiegunowy, czterobiegunowy lub sześciobiegunowy silnik o mocy wyjściowej pomiędzy 0,09 a 55 kW, dostosowany do wszystkich możliwych warunków zasilania z sieci elektrycznych na całym świecie. Silniki wspomagane są systemem wałów dającym możliwość rozbudowy o dodatkowe komponenty, które z kolei

SIEMENS
Ingenuity for life



SIMOGEAR - Najlepsze Przełożenie na Zysk

Duży wybór produktów = perfekcyjne dopasowanie do wymagań

Energooszczędność = korzyści z niższego poboru mocy

Praktyczny system modułowy = elastyczność rozwiązań

Integracja z systemem TIA = zwiększona konkurencyjność

Globalny serwis = gotowość w każdej sytuacji

siemens.pl/simogear

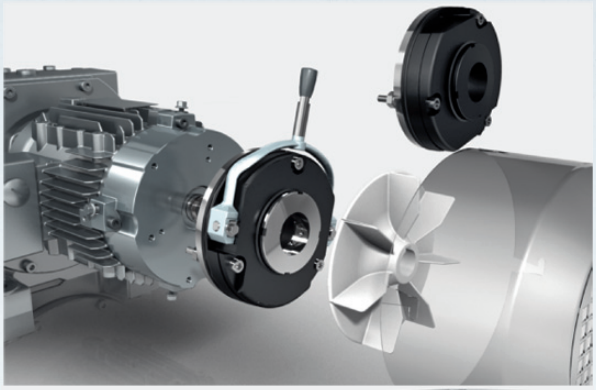
mogą być konfigurowane w zależności od potrzeb. Pozwala to użytkownikowi na uzyskanie najlepszej konfiguracji motoreduktora w najkrótszym czasie, w sposób wygodny i przyjazny.

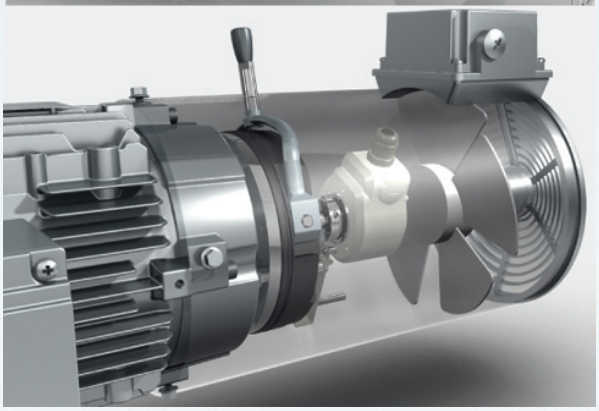
Oprogramowanie uzupełniające

Uzupełnieniem produktów Simogear są narzędzia konfiguracyjne i obliczeniowe. Dobór motoreduktorów z nowej serii jest realizowany za pomocą oprogramowania online o nazwie DT-Konfigurator.

Narzędzie to, dostępne na stronie internetowej firmy **www.siemens.pl/simogear** w zakładce „Konfigurator", pozwala na dopasowanie rozwiązania do wymagań projektowych dotyczących przełożenia, momentu obrotowego, mocy wyjściowej itd. System dostarcza też cennych informacji, takich jak: cena katalogowa, czas dostawy i numer zamówienia. Pozwala na generowanie zwymiarowanych rysunków 2D i modeli 3D w każdym obowiązującym standardzie graficznym dla dowolnego oprogramowania CAD.

Dzięki zintegrowanej bazie danych, obejmującej ofertę firmy Siemens dla wielu branż, DT-Konfigurator umożliwia konfigurację pozostałych produktów, takich jak: przekształtniki częstotliwości, sterowniki czy elementy mechaniczne – przekładnie i sprzęgła.







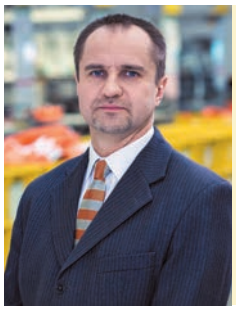
SIEMENS
Ingenuity for life

Siemens Sp. z o.o.
ul. Żupnicza 11
03-821 Warszawa
tel. 22 870 93 79
motoreduktory.pl@siemens.com
www.siemens.pl/simogear

Spółka igus – szybki rozwój na polskim rynku

Polski oddział spółki igus – lidera w branży tworzyw sztucznych w ruchu – planuje dwukrotny wzrost jeszcze w tym roku i trzykrotne zwiększenie obrotów w Polsce (do 100 mln zł) do 2020 r. Te prognozy są efektem zalewu zamówień z rynku polskiego i światowego.

Do końca 2017 r. zostanie rozbudowana hala produkcyjna i magazynowa, podwoi się także załoga igus Polska. Nowi pracownicy pojawią się w działach konfekcjonowania przewodów readycable i jakości.



Bardzo poważnie podchodzimy do kontroli jakości, przez którą przechodzi 100% naszych wyrobów. Polski oddział stosuje standardy igus Production System i Lean Management obowiązujące w niemieckiej centrali, a obecnie kontynuujemy wdrażanie standardów zarządzania 5S – Artur Szmiłyk, menedżer produkcji igus.

Polski igus od kilku lat jest europejskim liderem i przykładem dla innych krajów. Na lokalnym rynku dostarcza produkty i usługi do ponad 6 tys. klientów (na świecie – ponad 200 tys.).

Z innowacyjnych rozwiązań igus korzystają m.in. polskie elektrociepłownie, firmy z branży motoryzacyjnej, producenci drukarek 3D, przemysł maszynowy, stoczniowy i jachtowy, meblowy, kolejowy i drzewny.

Firma realizuje idee przemysłu 4.0: *Inwestujemy w aplikacje na iPady, smartfony i rozwiązania webowe, tak by nasi klienci mieli dostęp do swoich linii produkcyjnych online, w czasie rzeczywistym, a także mogli wygodnie zamawiać i dopasowywać nasze produkty do własnych potrzeb* – zapewnia Marek Wzorek, prezes zarządu igus Polska.

Innowacyjne podejście firmy igus widoczne jest także w jej strukturze, inspirowanej ideą „turkusowych organizacji", czyli budowaniem firmy w oparciu o samoorganizujący się zespół, który nie wymaga przełożonego.



Firma igus stosuje już „solarny" model, który zakłada, że w centrum jest klient, wokół którego „orbitują" pracownicy w elastycznie zmieniających się działach. Chcemy iść dalej i wprowadzać jak najwięcej elementów charakterystycznych dla „turkusowych organizacji" – Marek Wzorek, prezes zarządu igus Polska.

Oceniając ostatnie dziewięć lat działalności igus w Polsce, można powiedzieć, że innowacyjne podejście świetnie się sprawdza na naszym rynku. ■

REKLAMA

Zmień swoje łożyska już teraz

... i zaoszczędź, dzięki prowadnicom liniowym drylin® nawet 40% kosztów



motion? plastics!

Tworzywa sztuczne zamiast metalu: zamień kulkowe prowadnice liniowe i skorzystaj z zalet bezsmarownej techniki liniowej drylin®. Oblicz potencjał wymiany bezpośrednio na naszej stronie on-line i skonfiguruj prowadnice liniowe indywidualnie. Nawet, jeśli Twoja aplikacja została pomyślnie rozwiązana, zapoznaj się również z arkuszem informacyjnym.
www.igus.pl/zamianalozysk

Odwiedź nas:
ENERGETAB, Bielsko-Biała – Hala J Stoisko 22

plastics for longer life®

igus®

Zamów bezpłatne próbki:
Tel. 22 863 36 33

Wpływ zastosowania stopów wysokoprzewodzących na proces wtryskiwania tworzyw sztucznych

Effect of high heat conductive alloys on injection molding process

PRZEMYSŁAW POSZWA
MAREK SZOSTAK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.115

Przedstawiono wpływ wkładek wykonanych z materiałów o dużej przewodności cieplnej na proces wtryskiwania tworzyw sztucznych. Skoncentrowano się na dwóch kluczowych wielkościach: deformacji oraz czasie cyklu. Przeprowadzone analizy wykazały korzystny wpływ zastosowania stopów wysokoprzewodzących na deformację oraz czas chłodzenia, jednak wielkość tego wpływu jest ściśle związana z geometrią produkowanej wypraski.
SŁOWA KLUCZOWE: tworzywa sztuczne, wtryskiwanie, stopy wysokoprzewodzące, chłodzenie, deformacje

Presented in this work is the effect of using the inserts made from materials of high thermal conductivity on molding process of plastics. Authors focused on two key process parameters i.e. deformation and cycle time. Performed analyzes have ***shown beneficial effects of the use of high conductivity alloys*** *on deformation and cooling time, but the extend of these effects is closely related to the geometry of the produced mold.*
KEYWORDS: plastics, injection molding, high conductivity alloys, cooling, deformation

Konstrukcja formy wtryskowej ma bardzo duży wpływ na realizację procesu wtryskiwania. Podstawowym czynnikiem decydującym o długości fazy chłodzenia jest geometria układu chłodzącego. Istotne jest odpowiednie dobranie średnicy kanałów chłodzących D, odległości między kanałami D_{sp} oraz odległości kanałów od powierzchni gniazda form D_h (tabl. I).

TABLICA I. Parametry geometryczne układów chłodzenia (najczęściej stosowane średnice kanałów chłodzących zaznaczono kolorem czerwonym) [1]

D, mm	6	8	10	12	14	16	18	20
D_h, mm	7	10	13	18	22	28	34	40
D_{sp}, mm	10	14	17	20	24	27	30	34

W literaturze oraz materiałach przygotowywanych przez producentów tworzyw spotyka się dane ułatwiające konstruktorom form prawidłowe zaprojektowanie układu chłodzenia [1–3]. Z drugiej strony tego typu informacje są przydatne głównie w przypadku prostych geometrii o równomiernej grubości ściany wypraski. Niestety, w dzisiejszych czasach coraz więcej elementów z tworzyw sztucznych cechuje się bardzo grubymi ściankami – dotyczy to zwłaszcza części dla branży motoryzacyjnej. Skomplikowane kształty oraz grube ścianki utrudniają prawidłową realizację odbioru ciepła. Grube ścianki powodują również wydłużenie fazy chłodzenia.

Drugą równie istotną wielkością są deformacje wyprasek, powodujące problemy z zachowaniem założonych tolerancji wymiarowych. W trakcie zestalania wypraski dochodzi do skurczu tworzywa, lecz jego braki są uzupełniane w trakcie fazy docisku, dzięki czemu skurcz jest minimalizowany. Niestety, finalny wyrób i tak ulega pomniejszeniu, co kompensuje się odpowiednim przeskalowaniem gniazda. Kłopot polega jednak na tym, że z powodu niejednorodnej grubości i skomplikowanego kształtu wypraski dobranie odpowiedniej kompensacji bez narzędzi symulacyjnych jest praktycznie niemożliwe, a poza tym nie zawsze prowadzi do całkowitego rozwiązania problemu deformacji. Pomimo dobrze dobranej kompensacji skurczu wypraska może ulec deformacjom ze względu na jej konstrukcję lub problemy z równomiernym odbiorem ciepła.

Zakładając, że przeznaczenie detalu wymaga ściśle określonej konstrukcji wypraski i nie ma możliwości jej modyfikacji, pozostaje wykorzystanie układu chłodzenia do redukcji deformacji. Jest to możliwe poprzez zwiększenie szybkości odbioru ciepła [4]. Również zwiększenie jednorodności odbioru ciepła pozwala na zmniejszenie deformacji powstających na skutek różnej szybkości chłodzenia poszczególnych fragmentów wypraski [5]. Kolejnym sposobem jest skuteczne schłodzenie newralgicznych miejsc, w których występujący skurcz tworzywa powoduje deformację.

Sprawny odbiór ciepła, pozwalający na redukcję czasu chłodzenia, a także ograniczenie deformacji wyprasek zapewnia się przez zastosowanie stopów o wysokiej przewodności cieplnej, takich jak AMPCO czy Moldmax [6]. Cechują się one przewodnością cieplną 2÷6 razy większą od przewodności typowej stali narzędziowej. Odwrotnością przewodności jest opór cieplny. Materiały wysokoprzewodzące stawiają 2÷6 razy mniejszy opór na drodze transportu ciepła. Odpowiada to sytuacji, gdy kanały chłodzące znajdowałyby się 2÷6 razy bliżej powierzchni niż w przypadku zastosowania stali narzędziowej [7–9].

Symulacje transportu ciepła oraz deformacji wypraski

W celu porównania procesu chłodzenia różnych rozwiązań wykorzystano oprogramowanie Autodesk Moldflow Insight Standard 2017, które umożliwia przeprowadzenie uśrednionej w czasie analizy chłodzenia formy wtryskowej. Analiza uśredniona w czasie przedstawia rozkład średniej temperatury w formie wtryskowej i jest bardzo wygodna przy porównywaniu różnych rozwiązań.

Do określenia wielkości deformacji wypraski również wykorzystano wspomniane oprogramowanie. Po przeprowadzeniu pełnej analizy chłodzenia, wypełniania gniazda oraz fazy docisku pozwala ono przewidzieć deformację wypraski.

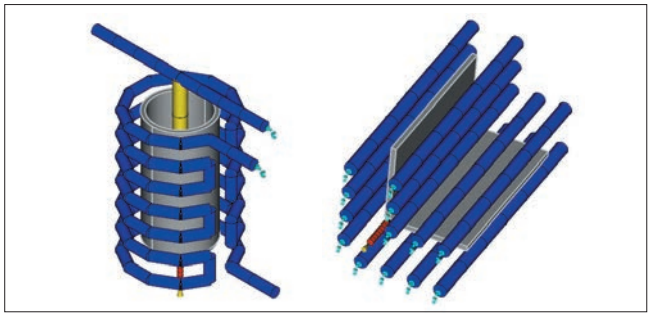
W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki symulacji chłodzenia oraz deformacji dla trzech różnych geometrii wyprasek, tj. dla:

- płaskiej płyty o wymiarach 100 × 100 mm i grubości 3 mm (punkt wtrysku na środku cienkiej ścianki) – przykład P1 bardzo prostej geometrii;

* Mgr inż. Przemysław Poszwa (przemyslaw.b.poszwa@doctorate.put.poznan.pl), dr hab. inż. Marek Szostak (marek.szostak@put.poznan.pl) – Instytut Technologii Materiałów Politechniki Poznańskiej

• tuby zamkniętej z jednej strony, o średnicy zewnętrznej 50 mm, wysokości 100 mm i grubości 3 mm z trzema różnymi zaokrągleniami krawędzi między dnem a ścianą boczną (punkt wtrysku centralnie w środek dna) – przykład P2 geometrii z utrudnionym odbiorem ciepła (rys. 1);
• kątownika o boku 50 mm i długości 100 mm (punkt wtrysku na cienkiej ściance w obszarze krawędzi) – przykład geometrii P3 z dużymi deformacjami (rys. 1).

W każdym przypadku wykorzystano gorącokanałowy układ dolotowy o średnicy 4 mm, przewężce stożkowej o długości 3 mm o średnicy końcowej 1,5 mm.



Rys. 1. Geometrie wyprasek P2 (z lewej) oraz P3 (z prawej) wraz z układami chłodzącymi i dolotowymi

Obliczenia przeprowadzono dla polipropylenu Moplen HP500N. Warunki przetwórstwa tego materiału (temperaturę tworzywa T_{melt}, temperaturę cieczy chłodzącej T_c, czas wtrysku t_{inj}, czas docisku t_p, czas otwarcia formy t_o, względne ciśnienie docisku p_p – względem ciśnienia maksymalnego w formie) wraz z parametrami geometrii układów chłodzących zebrano w tabl. II. W przypadku P2 podano promienie zewnętrzne R_{ext} i wewnętrzne R_{int} zaokrąglenia wypraski. Dla tej wypraski średnica przegrody wyniosła 10 mm oraz była oddalona od dna o D_h. W przypadku analiz deformacji symulacje zostały przeprowadzone dla sytuacji, gdzie czas chłodzenia był równy czasowi potrzebnemu do wyjęcia wypraski z formy.

TABLICA II. Parametry wykorzystane w symulacji

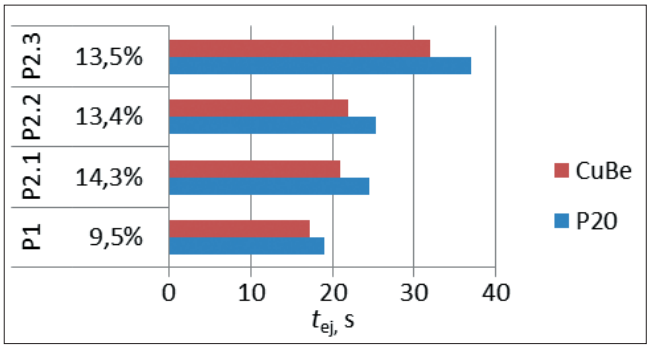
Parametry procesu					
T_{melt}, °C	T_c, °C	t_{inj}, s	t_p, s	t_o, s	p_p, %
235	25	1,2/2,2/2 (P1/P2/P3)	10	1	80
Geometria układu chłodzenia			Promienie P2.1/2.2/2.3		
D, mm	D_h, mm	D_{sp}, mm	R_{int}, mm	R_{ext}, mm	
8	12	18	1,5/1,5/4,5	6/4,5/4,5	
Kryteria usuwania wypraski z formy					
P_s, %		T_p, °C	T_{mold}, °C		
100		107	35		

W tabl. II zawarto również kryteria wyjęcia wypraski z formy, tj. procent zestalonego tworzywa P_s, temperaturę wyjęcia wypraski z formy T_p oraz temperaturę formy T_{mold}. W symulacjach założono, że minimalna prędkość przepływu cieczy chłodzącej w kanałach będzie na tyle duża, że zostanie osiągnięta liczba Reynoldsa równa 10 000. W celu określenia wpływu wysokiej przewodności formy przeprowadzono symulacje, w których przyjęto, że materiałem formy jest nie stal narzędziowa P20 (40CrMnMo9), lecz brąz berylowy (CuBe). W rzeczywistym procesie zostanie użyta forma, której tylko tzw. wkładki formujące będą wykonane ze stopu wysokoprzewodzącego, ponieważ zastosowanie tego materiału na fragmentach formy daleko położonych od powierzchni gniazda formującego nie wpłynie na proces chłodzenia, a jedynie podniesie koszty produkcji.

Wyniki symulacji

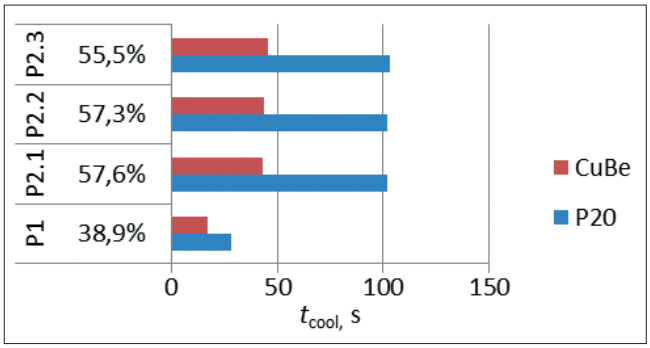
W opracowanych wynikach (rys. 2–6) oprócz nazwy wariantu podano również informację o procentowej zmianie danej wielkości pod wpływem zastosowania stopu o wysokiej przewodności cieplnej.

Pierwszą analizowaną wielkością był czas potrzebny do zestalenia wypraski (rys. 2). Był to minimalny czas, po którym cała wypraska uległa zestaleniu. Na tej podstawie widać, że dla prostej geometrii skrócenie czasu cyklu jest mniejsze niż w przypadku geometrii bardziej złożonych. Ze względu na różną geometrię krawędzi (i tym samym wyraźne różnice grubości w tym trudno dostępnym obszarze) zaobserwowano bardzo duże różnice czasu chłodzenia. Jest to spowodowane tym, że tworzywa sztuczne są izolatorami cieplnymi i bardzo trudno oddają ciepło. Niewielka zmiana grubości wywołuje zatem dużą zmianę czasu chłodzenia.



Rys. 2. Minimalny czas potrzebny do wyjęcia wypraski z formy (t_{ej})

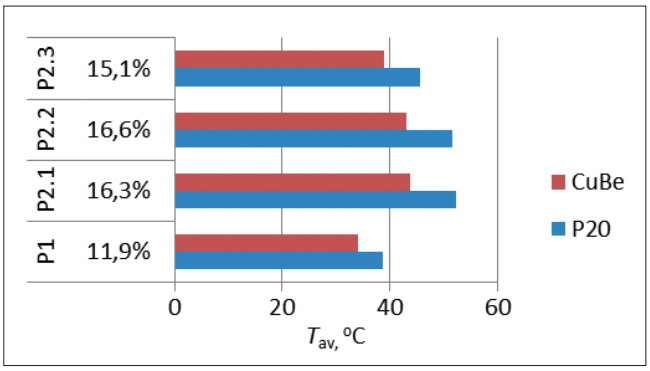
Wyznaczone skrócenie czasu cyklu jest mniejsze niż podawane w literaturze [10]. Wynika to z faktu, że we wspomnianej publikacji autorzy skupili się jedynie na temperaturze formy, a nie na temperaturze wypraski. Oczywiście minimalny czas chłodzenia nie gwarantuje odpowiedniej temperatury formy – z tego powodu przeanalizowano również wariant, w którym forma osiągnęła temperaturę T_{mold} (rys. 3). W tej sytuacji zaobserwowano, że zastosowanie stopu o wysokiej przewodności cieplnej drastycznie skróciło czas cyklu – w przypadku bardziej skomplikowanych wyprasek nawet o ponad 55%.



Rys. 3. Czas chłodzenia wyznaczony z uwzględnieniem założonej temperatury formy wtryskowej (t_{cool})

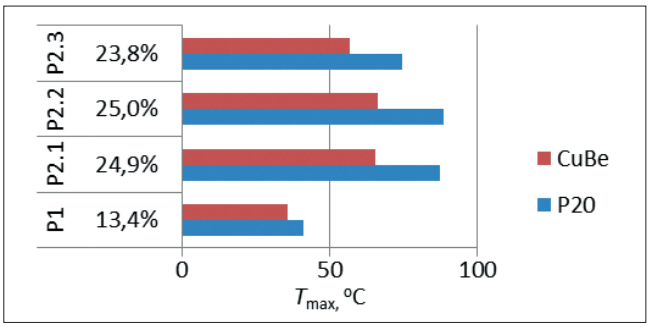
Kolejnymi analizowanymi wielkościami były średnia oraz maksymalna temperatura na powierzchni gniazda formującego dla czasu chłodzenia równego minimalnemu czasowi potrzebnemu do wyjęcia wypraski z formy (rys. 4 i 5). Należy pamiętać, że są to wielkości uśrednione w trakcie całego cyklu. Na podstawie symulacji widać, że w przypadku prostej geometrii P1 obniżenie jednej i drugiej temperatury jest zdecydowanie mniejsze niż w przypadku P2. Warto

zwrócić uwagę, że w obrębie geometrii P2 różnice między poszczególnymi przypadkami są nieznaczne, co jest efektem trudności z odbiorem ciepła z obszaru krawędzi.



Rys. 4. Średnia temperatura na powierzchni gniazda (T_{av})

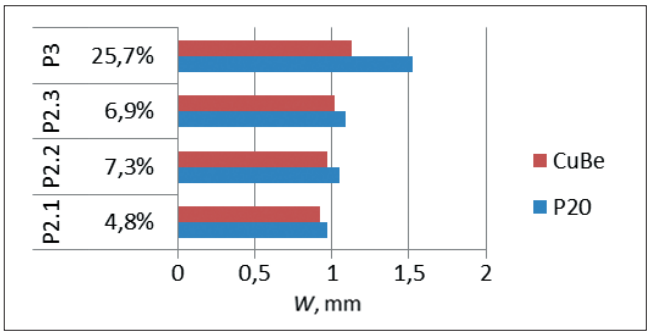
Należy również zauważyć, że zastosowanie CuBe nie tylko przyczyniło się do obniżenia obu temperatur, lecz także wyraźnie zmniejszyło różnicę między średnią i maksymalną temperaturą, a więc spowodowało ujednorodnienie rozkładu temperatury na powierzchni gniazda formującego. Ujednorodnienie rozkładu temperatury jest ważne w przypadku złożonych wyprasek, gdyż wpływa zarówno na naprężenia własne, jak i wielkość deformacji. Ze względu na prostotę geometrii P1 omawiany efekt jest niezauważalny, ponieważ w tym przypadku nie dochodzi do gromadzenia się ciepła. Zastosowanie CuBe spowodowało, że czas potrzebny do wychłodzenia formy wyniósł zaledwie 5 s, lecz z drugiej strony ograniczające było kryterium zestalenia wypraski w 100%, przez co wyznaczony czas chłodzenia był dużo dłuższy.



Rys. 5. Maksymalna temperatura na powierzchni gniazda (T_{max})

Ostatnią analizowaną wielkością była deformacja wyprasek. Ze względu na prostotę kształtu P1 nie poddano go analizie.

W badanych wariantach wypraski P2 zaobserwowano niewielkie zmiany deformacji mierzonej jako skrócenie wymiaru w kierunku osi symetrii. Wynika to z dużej sztywności tej geometrii. Aby lepiej zwizualizować wpływ CuBe na deformację, wykorzystano geometrię P3, która naturalnie ma tendencję do deformowania się tak, że kąt między ścianami będzie mniejszy niż 90°. Przeanalizowano maksymalne przemieszczenie ściany w kierunku prostopadłym do niej. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że nieskompensowane przemieszczenie wynosi aż 1,5 mm, a w przypadku zastosowania CuBe deformacja ulega zmniejszeniu do ok. 1,15 mm. Źródłem tej zmiany jest szybszy odbiór ciepła oraz mniejszy skurcz w obszarze krawędzi powodującej deformacje. Oznacza to, że zastosowanie stopu wysokoprzewodzącego pozwala na bardzo znaczące zmniejszenie deformacji w przypadku geometrii mających tendencje do paczenia.



Rys. 6. Deformacje wyprasek (W)

Podsumowanie

Zastosowanie wkładek ze stopów wysokoprzewodzących istotnie wpływa na proces formowania wtryskowego wyrobów z tworzyw sztucznych. Stopy te umożliwiają zredukowanie czasu cyklu wtryskiwania – zarówno czasu potrzebnego do wyjęcia wypraski z formy, jak i czasu wymaganego do zachowania odpowiedniej temperatury formy. Zastosowanie tych stopów pozwala również na obniżenie średniej temperatury na powierzchni gniazda z jednoczesnym zwiększeniem jej jednorodności, co ma duży wpływ na deformacje wynikające z niejednorodności chłodzenia.

Bardzo duży wpływ na wielkość omawianych zmian ma geometria wypraski. W przypadku prostych geometrii korzyści płynące z zastosowania stopów o wysokiej przewodności cieplnej są zdecydowanie mniejsze.

Przeprowadzone analizy pokazały ponadto, że w przypadku nadmiernego pogrubienia ścian zastosowanie CuBe nie przyczynia się do znaczącego ograniczenia chłodzenia.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że stopy wysokoprzewodzące wpływają również na deformacje wyprasek, a wielkość tego wpływu zależy od geometrii wypraski. W przypadku sztywnych wyprasek, bez miejsc powodujących znaczące deformacje, wpływ CuBe będzie niewielki. Z drugiej strony w przypadku wyprasek łatwo ulegających deformacjom zastosowanie CuBe pozwala wyraźnie ograniczyć wielkość deformacji.

LITERATURA

1. Zawistowski H., Frenkler D. „*Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych*”. Warszawa: WNT, 1984.
2. *Part and Mold Design – A Design Guide.* Pittsburgh: Bayer Corporation, 2000.
3. *Eastman Polymers – Processing and mold design guidelines.* Kingsport: Eastman Chemical Company, 2011.
4. Marques S., Souza A.F., Miranda J., Yadroitsau I. “Design of conformal cooling for plastic injection moulding by heat transfer simulation”. *Polímeros.* 25, 6 (2015): s. 564–574, http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.2047.
5. Bula K., Kucharski D. „Analiza odkształceń wyprasek wtryskowych wytwarzanych w warunkach asymetrii temperatury formy”. *Przetwórstwo Tworzyw*. 3 (2013): s. 155–161.
6. “*11 factors for efficient mold cooling – Balancing speed and quality to reduce cycle time*”. Autodesk Inc., 2016.
7. Bohler-Uddeholm P20 Modified (technical datasheet). Elgin: Ohler-Uddeholm Corporation, 2013.
8. AMPCOLOY® 940 (technical datasheet). AMPCO METAL.
9. MOLDMAX XL® (technical datasheet). Uddeholm, 2004.
10. Kelly A.L., Mulvaney-Johnson L., Coates P.D. “Effect of copper alloy mold tooling on cycle time and product quality”. *67th Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers 2009.* Brookfield, Conn: Society of Plastics Engineers, 2009.

BIULETYN INSTYTUTU ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII WYTWARZANIA
30-011 KRAKÓW, ul. Wrocławska 37a, POLAND, tel. +48 12 63 17 333, 63 17 100, fax +48 12 63 39 490, ios@ios.krakow.pl, www.ios.krakow.pl
dawniej Instytut Obróbki Skrawaniem

Badania odporności na zużycie ścierne segmentów metaliczno-diamentowych otrzymanych metodą SPS

Wear resistance of the diamond-impregnated specimens fabricated using the SPS process

ELŻBIETA BĄCZEK
PIOTR PUTYRA
MARCIN PODSIADŁO
BARBARA STANIEWICZ-BRUDNIK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.116

Przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych materiałów narzędziowych w procesie szlifowania materiałów kamieniarskich. Otrzymane spieki metaliczno-diamentowe homogenizowano w Speed-Mixerze i spiekano metodą SPS (*spark plasma sintering*)**. Materiał osnowy stanowiły proszki: brąz cynowy Cu-Sn (NAM-40 80/20 z zawartością 20% mas. Sn) oraz proszek żelaza z dodatkiem 20% mas. brązu Cu-Sn. Otrzymane materiały poddano badaniom: gęstości pozornej metodą hydrostatyczną, twardości sposobem Rockwella z wykorzystaniem skali B oraz odporności na zużycie ścierne.**
SŁOWA KLUCZOWE: narzędzia metaliczno-diamentowe, osnowa, SPS, odporność na zużycie ścierne

This paper presents the tribological properties of the diamond-impregnated specimens in the grinding process of sandstone materials. Obtained metallic-diamond composites were homogenized in Speed Mixer and sintered by SPS (spark plasma sintering). The matrix was prepared from: Cu-Sn (NAM-40 80/20 containing 20% wt. Sn) and Fe-Cu-Sn powders. After consolidation the diamond-impregnated specimens were tested for density using the hydrostatic method, Rockwell's hardness using B scale and for wear rate on abrasive sandstone using a testing rig specially designed to simulate the tool application conditions.
KEYWORDS: metallic-diamond tools, matrix, SPS, wear resistance

Narzędzia metaliczno-diamentowe znajdują szerokie zastosowanie w procesach kształtowania ubytkowego materiałów inżynierskich, w różnych sektorach przemysłowych. Narzędzia diamentowe do cięcia i szlifowania kamienia naturalnego stanowią grupę wyrobów, której zastosowanie dynamicznie rośnie. Ich podstawowym składnikiem jest materiał ścierny (diament) oraz osnowa metaliczna. Autorzy literatury fachowej podkreślają znaczenie właściwego doboru materiału osnowy i technologii wytwarzania tych narzędzi.

Podstawowymi technologiami wytwarzania narzędzi metaliczno-diamentowych jest spiekanie swobodne oraz prasowanie na gorąco. Segmenty metaliczno-diamentowe można także wytwarzać m.in.: metodą formowania detonacyjnego [1], wtryskowego PIM (*powder injection moulding*) [2] lub też metodą SPS (*spark plasma sintering*) [3, 4].

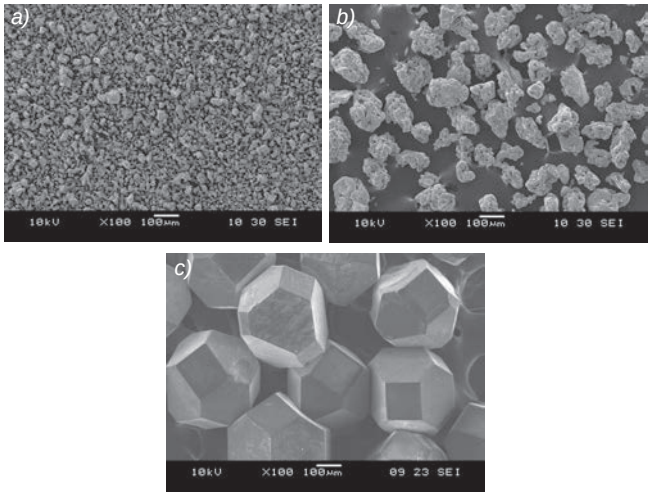
Proces nagrzewania w metodzie SPS jest realizowany w wyniku przepływu prądu przez spiekany materiał. Wokół miejsc kontaktu cząstek kształtują się „szyjki" [5], które stopniowo się rozrastają. Zjawisku temu towarzyszy odkształcenie plastyczne [6]. W metodzie SPS tlenkowe powierzchnie cząstek proszków są znacznie łatwiej redukowane (głównie przez występującą punktowo wysoką temperaturę, która powoduje ich odparowanie). Również szybciej (tzn. w niższych temperaturach) w porównaniu z tradycyjnymi procesami spiekania następuje zjawisko aktywacji spiekania. Pozwala to m.in. na przeprowadzanie procesu w temperaturze niższej o 200÷500°C niż w klasycznych metodach i w znacznie krótszym czasie. Czas nagrzewania materiału wraz z jego izotermicznym spiekaniem w tej metodzie zawiera się zwykle w zakresie 5÷20 min. Pozwala to na spiekanie nanokrystalicznych proszków bez rozrostu ziarna. W porównaniu np. z metodą izostatycznego prasowania na gorąco zapotrzebowanie na energię elektryczną w procesie SPS jest o ok. 20÷30% mniejsze, co jest bardzo istotne ze względów ekonomicznych [7].

Badania przeprowadzono w związku z rosnącym zapotrzebowaniem rynku na narzędzia diamentowe przeznaczone do cięcia i szlifowania materiałów kamieniarskich. Głównym celem prac było określenie mechanizmów zużycia i właściwości materiałów osnowy w warunkach odzwierciedlających ich rzeczywiste funkcjonowanie. Opracowane materiały mogą stanowić alternatywę dla materiałów powszechnie wykorzystywanych do produkcji profesjonalnych narzędzi metaliczno-diamentowych (Co, Ni).

* Mgr inż. Elżbieta Bączek (elzbieta.baczek@ios.krakow.pl), dr inż. Piotr Putyra (piotr.putyra@ios.krakow.pl), inż. Marcin Podsiadło (marcin.podsiadlo@ios.krakow.pl), dr inż. Barbara Staniewicz-Brudnik (barbara.brudnik@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

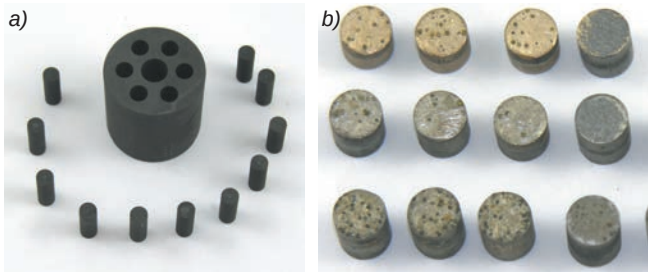
Metodyka i wyniki badań

Próbki do badań wykonano z elementarnych proszków brązu cynowego, żelaza redukowanego i diamentu syntetycznego. Na zdjęciach SEM widać kształt cząstek wykorzystanych proszków (rys. 1).



Rys. 1. Obraz elektronowy proszku: *a*) brązu cynowego Cu-Sn NAM-40 80/20 z zawartością 20% mas. Sn; *b*) żelaza z gatunku NC100.24; *c*) diamentu syntetycznego z gatunku LS4820+ o granulacji 40/50 US mesh

Mieszanki proszków metaliczno-diamentowych przygotowane z dwóch materiałów osnowy: Cu-Sn (mieszanka A1), Fe-Cu-Sn (mieszanka A2) oraz diamentu syntetycznego z gatunku LS4820+ o granulacji 40/50 mesh i koncentracji 20 (5% obj.) ujednorodniano poprzez mieszanie w homogenizatorze Speed-Mixer DAC 400.1 FVZ. Przygotowane mieszanki spiekano metodą SPS w specjalnie zaprojektowanej matrycy (rys. 2*a*) umożliwiającej jednoczesne spiekanie sześciu próbek o nominalnych wymiarach ∅7 × 7 mm (rys. 2*b*). Bez względu na skład mieszanki poddawanej konsolidacji proszek wytrzymywano przez 2 min w maksymalnej temperaturze i pod ciśnieniem 35 MPa. Dla każdego materiału temperaturę prasowania dobierano w taki sposób, aby otrzymać spieki o porowatości nie większej niż 5%. Proces spiekania metodą SPS przeprowadzono w atmosferze argonu z wykorzystaniem urządzenia SPS HP 5 firmy FCT.



Rys. 2. Grafitowa matryca do spiekania segmentów metaliczno-diamentowych o średnicy ∅7 mm (*a*); segmenty otrzymane metodą SPS (*b*)

Skład spieków oraz parametry procesu spiekania przedstawiono w tabl. I.

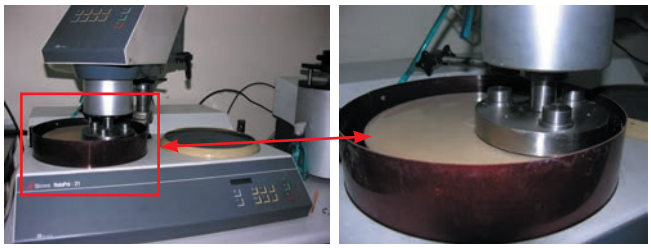
Wszystkie spieki poddano pomiarom gęstości (metodą ważenia w powietrzu i w wodzie), twardości oraz odporności na zużycie ścierne, wykorzystując szlifierko-polerkę RotoPol–21 firmy Struers. Pomiar odporności segmentów metaliczno-diamentowych na zużycie ścierne polegał na jednoczesnym przesuwaniu trzech cylindrycznych próbek względem tarczy ścierającej wykonanej z piaskowca Śmiłów, z zastosowaniem wody jako czynnika chłodzącego i wymywającego ścierne produkty obróbki piaskowca. Segmenty umieszczano w stalowych obejmach, które mocowano w standardowym uchwycie próbek, znajdującym się na wyposażeniu głowicy RotoForce-4. Wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne przedstawiono w tabl. II. Stanowisko do badań odporności na zużycie ścierne segmentów metaliczno-diamentowych przedstawiono na rys. 3.

TABLICA I. Skład mieszanek oraz warunki spiekania metodą SPS

Oznaczenie mieszanki	Skład mieszanki, % obj.	Parametry procesu spiekania			
		Prędkość nagrzewania, °C/min	Temp., °C	Czas, min	Ciśnienie, MPa
Cu-Sn	95% Cu-Sn 5% diamentu syntetycznego	100	550	2	35
Fe-Cu-Sn	95% Fe-Cu-Sn 5% diamentu syntetycznego		750		

TABLICA II. Wyniki pomiarów gęstości i twardości spieków*

Oznaczenie mieszanki	Skład mieszanki, % obj.	Uśredniona wartość gęstości, g/cm^3	Uśredniona wartość twardości, HRB
Cu-Sn	95% Cu-Sn 5% diamentu syntetycznego	8,69 ±0,04	99 ±1,04
Fe-Cu-Sn	95% Fe+Cu-Sn 5% diamentu syntetycznego	7,76 ±0,04	82 ±0,82
* Przedziały niepewności oszacowano dla poziomu ufności 1 – α = 0,9			

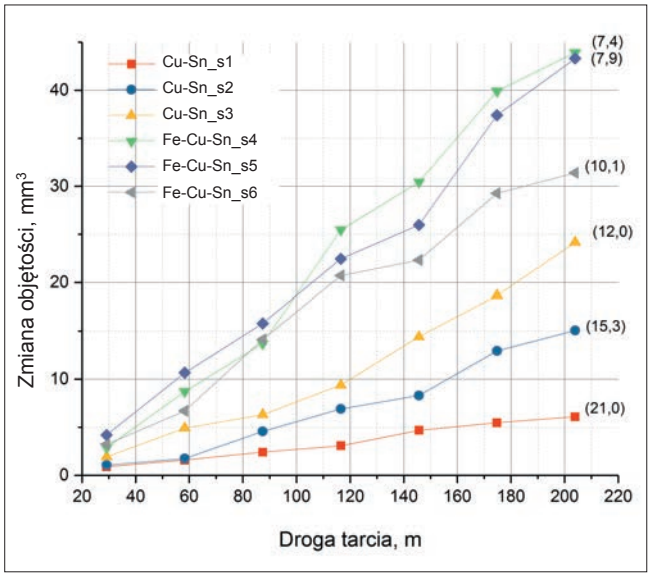


Rys. 3. Stanowisko do badań odporności na zużycie ścierne segmentów metaliczno-diamentowych wraz z kamienną tarczą ścierającą

Podczas każdego dwudziestosekundowego cyklu pomiarowego segmenty indywidualnie dociskano do kamiennej tarczy ścierającej z siłą $F = 20$ N. Prędkość obrotowa tarczy wynosiła 150 obr/min. W ustalonych warunkach testu średnia prędkość liniowa próbki wynosiła 1,72 m/s. Po każdym dwudziestosekundowym cyklu pomiarowym segmenty dokładnie myto w etanolu (w płuczce ultradźwiękowej), suszono i ważono z dokładnością do 0,1 mg. Po obliczeniu utraty objętości poddawano je obserwacji z użyciem mikroskopu cyfrowego Dino Lite Digital Mikroscope Dremler, w powiększeniu 40×, w celu określenia liczby kryształów diamentu na roboczej powierzchni segmentu. Wyniki badań zestawiono w tabl. III i na rys. 4.

TABLICA III. Ubytek objętości segmentu i liczba kryształów diamentu na jego roboczej powierzchni po kolejnych cyklach pomiarowych oraz średnia liczba kryształów diamentu na powierzchni segmentu

Materiał osnowy i numer segmentu		Zmiana objętości (mm^3) i liczba kryształów diamentu – w nawiasie – w funkcji drogi tarcia (m)							Średnia liczba kryształów diamentu $\overline{D}$
		29,13	58,25	87,38	116,51	145,64	174,76	203,89	
Cu-Sn	s1	0,90 (18)	1,60 (17)	2,43 (19)	3,08 (21)	4,69 (23)	5,48 (24)	6,10 (25)	21,0
	s2	1,09 (14)	1,76 (16)	4,59 (15)	6,92 (14)	8,32 (18)	12,95 (16)	15,09 (14)	15,3
	s3	1,94 (11)	4,93 (11)	6,33 (8)	9,40 (12)	14,43 (13)	18,69 (14)	24,18 (15)	12,0
Fe-Cu-Sn	s4	2,90 (7)	8,73 (9)	13,72 (6)	25,48 (9)	30,46 (8)	39,92 (7)	43,92 (6)	7,4
	s5	4,21 (11)	10,68 (10)	15,81 (10)	22,47 (9)	25,98 (8)	37,42 (5)	43,32 (2)	7,9
	s6	3,24 (9)	6,71 (8)	14,15 (9)	20,74 (10)	22,34 (11)	29,29 (12)	31,42 (12)	10,1



Rys. 4. Zmiana objętości segmentów w funkcji drogi tarcia (w nawiasie podano średnią liczbę kryształów diamentu na roboczej powierzchni segmentu)

Analiza wyników

Przyjęte parametry procesu spiekania umożliwiły uzyskanie spieków o wysokiej gęstości, zbliżonej do gęstości teoretycznej (tabl. II). Twardość otrzymanych spieków mieściła się w zakresie 82÷99 HRB. Niższe wartości twardości odnotowano dla spieków na bazie żelaza.

Podczas badań tribologicznych porównano odporność na zużycie ścierne spieków metaliczno-diamentowych na bazie Cu-Sn i Fe-Cu-Sn. Spieki wyprodukowane na bazie miedzi charakteryzowały się wyższą odpornością na ścieranie od spieków na bazie żelaza. Badania postępu zużywania się segmentów metaliczno-diamentowych wskazały na duże znaczenie koncentracji i wielkości kryształów diamentu oraz sposobu ich rozmieszczenia w objętości segmentu, co pośrednio wynikało z wpływu procesu homogenizacji mieszanki.

Z pomiarów wynika, że na chwilową szybkość zużywania się segmentu podczas obróbki materiałów o właściwościach ściernych najsilniej wpływa liczba kryształów diamentu przypadających na jednostkową, roboczą powierzchnię segmentu. Najmniej zużyły się segmenty, w których większa liczba kryształów diamentu brała udział w obróbce piaskowca (tabl. III, rys. 4).

Uzyskane wyniki badań potwierdzają korzyści wynikające z zastosowania metody SPS do otrzymywania narzędzi metaliczno-diamentowych przeznaczonych do cięcia i szlifowania materiałów kamieniarskich. Możliwe jest otrzymanie materiału o lepszych właściwościach fizyko-mechanicznych w niższej temperaturze spiekania (200÷500°C) i w znacznie krótszym czasie (5÷20 min) [8].

Wnioski

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- Wykorzystanie metody SPS pozwoliło uzyskać materiały o gęstości zbliżonej do gęstości teoretycznej i o wysokiej twardości.
- Wyniki badań tribologicznych uwidoczniły wpływ koncentracji ziarna diamentowego na stopień zużycia segmentów.
- Najlepszym połączeniem właściwości fizycznych i mechanicznych charakteryzowały się materiały na bazie brązu cynowego.
- Badane materiały spełniają kryteria zastosowania ich do produkcji narzędzi diamentowych przeznaczonych do materiałów kamieniarskich.

Prace realizowane w ramach badań prowadzonych w IZTW ze środków na rozwój potencjału badawczego – DS.16-1.2 pt.: „Narzędzia (ściernice) metaliczno-diamentowe o nanokrystalicznej osnowie spiekane metodą SPS/FAST”.

LITERATURA

1. Novikov N.V., Maistrenko A.L., Trefilov V.I., Kovtun V. "Structure and properties of shock-wave sintered diamond composites”. *Industrial Diamond Review*. 51, 1 (1991): s. 20–23.
2. Risso L., Vicenzi B., Bernieri S. "Improved cutting performance of diamond beads by means of innovative shape”. *Industrial Diamond Review*. 67, 4 (2007): s. 28–30.
3. Tillmann W., Kronholz C., Ferreira M. "Novel current induced short-time sintering processes for the production of diamond tools”. *Proceedings of Euro PM2009 Congress & Exhibition*. Copenhagen, Denmark, 2009, s. 796–803.
4. Schmidt J., Knote A., Armbrüster M., Weißgärber Th., Kieback B. "Spark Plasma Sintering of diamond impregnated wire saw beads”. *Applicazioni & Tecnologia*. 64 (2011): s. 35–40.
5. Jaworska L., Putyra P., Wyżga P., Figiel P. „Nowoczesne metody spiekania”. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis*. 6 (2013): s. 35–40.
6. Michalski A., Siemaszko D. „Impulsowo plazmowe spiekanie nanokrystalicznych węglików WC-12Co”. *Inżynieria Materiałowa*. 3 (2006): s. 629.
7. Hebda M. „Spark Plasma Sintering – nowa technologia konsolidacji materiałów proszkowych”. *Mechanika. Czasopismo Techniczne*. 6-M, 11 (2012).
8. Sprawozdanie IZTW DS.14-3.1 – praca niepublikowana.

Farma drukarek 3D – założenia funkcjonalne i techniczne oraz wykorzystanie w dydaktyce

The 3D Printer Farm – function and technology requirements and didactic use

PIOTR SKAWIŃSKI
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.117

Opisano laboratorium wydruków 3D uruchomione na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. **Przedstawiono jego założenia funkcjonalne i techniczne oraz obecne i przyszłe wykorzystanie w procesie kształcenia studentów. Omówiono także kilka podobnych rozwiązań integracji drukarek 3D budowanych i testowanych na świecie.**
SŁOWA KLUCZOWE: laboratorium druku 3D, FDM, FFF, techniki przyrostowe, integracja

Described in the article is a 3D print lab, as launched at the Warsaw University of Technology, at the Faculty of Automotive and Machinery Engineering. Presented are its functional and technical requirements and the current and future use for students' education. Also, several similar arrangements of the worldwide installed and tested 3D printers are described.
KEYWORDS: 3D print lab, FDM, FFF, additive manufacturing, integration

W dniu 12 maja 2017 r. na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej (dalej: SiMR PW) uroczyście otwarto rozbudowane laboratorium 3D, zwane potocznie farmą drukarek 3D. Ta nazwa oznacza zgromadzenie w jednym miejscu i zintegrowanie ze sobą znacznej liczby maszyn stosujących technologię przyrostową.

Pomysł na farmę drukarek 3D zaczerpnięto z Politechniki Śląskiej w Gliwicach, która rok temu otworzyła takie laboratorium w zabytkowym budynku, w którym mieściło się Laboratorium Obróbki Skrawaniem [1]. Wtedy maszyny prototypujące w technologii FFF [2] dostarczyła firma 3DGence [1].

Historia druku 3D na Wydziale SiMR PW

Nowo otwarta farma drukarek 3D była pomyślana jako element rozbudowy Laboratorium 3D, działającego od ok. 2008 r. W tamtym czasie w ramach grantu KBN zakupiono profesjonalną drukarkę 3D firmy Stratasys – model Dimension 1200BST (stosujący metodę FDM [2]) oraz optyczny skaner 3D firmy Smarttech, model ScanBright wraz z oprogramowaniem. Laboratorium 3D było i jest wykorzystywane w kształceniu studentów, zwłaszcza na specjalności „Wspomaganie Komputerowe Prac Inżynierskich" na kierunku „Mechanika i Budowa Maszyn". Każdy ze studentów tego kierunku (w ramach zaliczenia przedmiotu „Integracja Projektowania i Wytwarzania Wspomaganego Komputerowo") musiał wykonać projekt części lub mechanizmu, który następnie był wytwarzany za pomocą druku 3D metodą FDM. Ograniczeniem było zużycie maksymalnie kilkunastu cm^3 materiału modelowego i podporowego, co studenci sprawdzali w oprogramowaniu 3D CAM. Tak powstało wiele interesujących obiektów.

Wspomniana maszyna prototypująca była wykorzystywana na potrzeby wielu prac dyplomowych, a niektóre wyniki opisywane w tych pracach doczekały się publikacji w artykułach naukowych, m.in. w [3–5].

Łatwo dostępne w Polsce publikacje stały się impulsem do rozpoczęcia szerszej współpracy z kilkoma lekarzami z Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. W związku z tym w 2014 r. laboratorium 3D zaopatrzono w dwie drukarki 3D: Prime 3D firmy Monkeyfab oraz Builder Dual Feed. Obie maszyny mają otwarte sterowanie i korzystają z oprogramowania 3D CAM, które ma niekomercyjne wersje. Dzięki temu można było zwiększyć liczbę prac studenckich i zakres prac badawczych, a także ograniczyć koszty materiałowe oraz rozpocząć testowanie zmodyfikowanego kodu sterującego i nowych materiałów modelowych, np. polimeru PCL. W tym czasie powstało też kilkanaście modeli fizycznych kości dla dwóch szpitali. Modele zostały wykonane na potrzeby konkretnych operacji chirurgicznych i służyły lekarzom do planowania przedoperacyjnego. Część tych prac opisano w publikacjach naukowych, m.in. w [6, 7].

W połowie 2016 r. prof. Stanisław Radkowski, dziekan Wydziału SiMR PW, podjął decyzję o rozbudowie laboratorium 3D do postaci farmy drukarek 3D oraz włączeniu jej w proces kształcenia studentów na wszystkich kierunkach Wydziału SIMR PW.

Założenia funkcjonalne farmy drukarek 3D

Zdecydowano, że do pracy na maszynach prototypujących będą mogli przystąpić – po odpowiednim przeszkoleniu – studenci, którzy w ramach wybranych przedmiotów projektowych oraz prac semestralnych (tzw. przejściowych) i dyplomowych będą realizować wydruki. Ze względów BHP zdecydowano się na technologię FDM/FFF, ponieważ nie są w niej stosowane niebezpieczne dla operatorów maszyn lasery, lampy UV czy toksyczne żywice. Istotne były również kwestie organizacyjne – metoda FDM/FFF nie wymaga takiej staranności w obsłudze maszyn jak inne technologie przyrostowe, wykorzystujące żywice (SLA, PJM) czy proszki (CJP, SLS) [2], a ponadto nie potrzebuje kosztownego oprzyrządowania dodatkowego, tj. myjek ciśnieniowych, komór pyłoszczelnych, wyciągów czy odkurzaczy. Dla studentów, którzy dopiero poznają technologię druku 3D, widoczny na powierzchni efekt schodkowy oraz niższa dokładność wydruków nie mają decydującego znaczenia, dlatego technologia FDM/FFF jest wystarczająca.

Na Wydziale SiMR PW studiuje ponad 1000 studentów, dlatego ważne było, aby powstająca farma drukarek 3D oferowała dużą wydajność. Postanowiono więc kupić kilkanaście mniejszych maszyn prototypujących zamiast kilku o dużej przestrzeni roboczej. Takie rozwiązania są już testowane (a nawet sprzedawane) przez kilka firm [8–11]. Zwykle są to zintegrowane instalacje osobnych,

* Dr hab. inż. Piotr Skawiński, prof. PW (psk@simr.pw.edu.pl), dr inż. Przemysław Siemiński (psieminski@simr.pw.edu.pl) – Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej



Rys. 1. Ultimaker Print Management System [8]



Rys. 2. Vertical 9 units 3D Printer [9]



Rys. 3. Voodoo Manufacturing [12]



Rys. 4. Continuous Build 3D Demonstrator firmy Stratasys [13]

małych drukarek, np. Ultimaker Print Management System [8] (rys. 1) czy chiński Vertical 9 units 3D Printer [9] (rys. 2). Podejmowane są także próby zautomatyzowania procesu obsługi, np. z zastosowaniem robota (jak w Voodoo Manufacturing [10] – rys. 3). Innym godnym uwagi rozwiązaniem jest zastosowanie druku na arkuszach folii podmodelowych, które są potem wysuwane i odcinane – ContinuousBuild 3D Demonstrator firmy Stratasys [11] (rys. 4). Taki system ciągłego wytwarzania jest w pełni skalowalny. Jedna z instalacji jest właśnie testowana w Szkole Sztuki i Projektowania w Savannah w USA. Wydaje się, że w porównaniu z innymi technologiami metoda FDM lepiej nadaje się do integracji i automatyzacji druku 3D. Takie farmy drukarek 3D pozwalają na produkcję setek lub tysięcy części (w seriach) lub indywidualnych projektów i mogą być jedną z dróg rozwoju druku 3D.

Wykorzystanie druku 3D w dydaktyce

Aby określić wymagania techniczne, jakie ma spełniać farma drukarek 3D, przeanalizowano dotychczasowe zastosowanie maszyn prototypujących w procesie kształcenia studentów na Wydziale SiMR PW.

Od kilku lat druk 3D jest nauczany w ramach przedmiotu „Zaawansowane Modelowanie Geometryczne” (dalej: ZMG), który jest prowadzony w formie laboratorium komputerowego na trzecim semestrze studiów inżynierskich [14], na wszystkich kierunkach studiów. Zwykle grupy studenckie liczą ok. 25–30 osób, więc zajęcia komputerowe są prowadzone przez dwóch nauczycieli akademickich. Na studiach stacjonarnych trwają one trzy godziny lekcyjne tygodniowo i składają się z dwóch części praktycznych: pierwsza odbywa się w sali komputerowej, a druga w farmie drukarek 3D. Dla kilku modeli 3D CAD studenci generują pliki STL i uczą się programowania druku 3D w środowisku 3D CAM – poznają wpływ orientacji modelu STL na układ włókien w warstwach i jakość powierzchni (tzw. efekt schodkowy) oraz rozmieszczenie struktur podporowych, analizują wpływ parametrów druku na czas wydruku oraz zużycie materiału modelowego i podporowego. Prowadzący zajęcia wspólnie ze studentami realizują wydruk dwóch obiektów. Pierwszym obiektem jest mała, lita kolumna (w kształcie litery L), drukowana w trzech podstawowych orientacjach względem stołu maszyny. Każdy student dostaje do ręki trzy takie wydruki i próbuje je złamać. Drugim obiektem jest cienkościenne opakowanie (pojemnik opisany w rozdz. 8.1 w [2]) w dwóch wersjach: z wypustami niepodpartymi (dużo trudnej jest usunąć strukturę podporową z wnętrza obiektu) oraz z fazą 45° (brak potrzeby stosowania podpór). Jego kształt studenci samodzielnie modelują w systemie 3D CAD. W ramach pokazu drukowanych jest kilka obiektów w dwóch wersjach. Docelowo mają być drukowane projekty (i przekazywane autorom) przynajmniej pięciu studentów, którzy najszybciej wykonają zadanie. Ocenia się, że do przeprowadzenia zajęć potrzebne są cztery maszyny o przestrzeni roboczej ok. 200 × 200 × 150 mm. Ze względu na fakt, że w różnych grupach dziekańskich ćwiczenia z druku 3D w ramach zajęć z ZMG odbywają się przez 10 tygodni, pięć maszyn w semestrze zimowym musi być zarezerwowanych do tego celu (patrz tablica).

Od ok. pięciu lat zajęcia pt. „Integracja Projektowania i Wytwarzania Wspomaganego Komputerowo”, prowadzone na III roku w ramach specjalności „Wspomaganie Komputerowe Prac Inżynierskich”, obejmują projekty studenckie. W semestrze letnim ten kurs przechodzą zwykle dwie lub trzy grupy dziekańskie liczące po ok. 25 studentów, a w semestrze zimowym – jedna grupa. Modelowane w 3D CAD i drukowane projekty to w większości proste mechanizmy lub pojedyncze elementy o bardziej skomplikowanych kształtach. Wszystkie podlegają następującym ograniczeniom: maksymalna objętość zużytych materiałów – 25 cm^3, maksymalna przekątna jednego wydruku – 150 mm, maksymalny czas wydruku – 2 h. Dotychczas używano dwóch maszyn o przestrzeni roboczej ok. 200 × 200 × 150 mm. Modele drukowano zazwyczaj z polimeru PLA w ostatnim miesiącu semestru, więc w tym czasie następowało spiętrzenie prac.

W najbliższych latach na Wydziale SiMR PW planuje się wykorzystanie druku 3D także w ramach innych zajęć projektowych. Ponadto za rok lub dwa w każdym semestrze w farmie drukarek 3D będzie prowadzonych kilkanaście prac dyplomowych. Ocenia się, że średnia objętość całkowita elementów wyniesie 1 dm^3, co daje 15 kg materiału PLA, a w sumie z wydrukami testowymi i błędnymi – 40 kg. Zakładany czas procesu wydruku (z uwzględnieniem obsługi maszyny) jednego projektu to 40 h, zatem czasowe obciążenie maszyn w semestrze szacuje się na ok. 600 h. Ponieważ większość projektów w semestrze będzie wykonywana w ostatnich pięciu tygodniach, a tygodniowy czas pracy obsługi to ok. 30 h, na potrzeby prac dyplomowych trzeba będzie zapewnić minimum cztery maszyny. Obecnie zajęcia z ZMG odbywają się w I połowie semestru, więc obiekty do dyplomów można wytwarzać na tych samych maszynach w II połowie semestru (patrz tablica).

TABLICA. Szacowana minimalna liczba drukarek 3D o przestrzeni roboczej 200×200×150 mm potrzebnych do realizacji procesu dydaktycznego w semestrze (15 tygodni zajęć) oraz prognozowane zużycie materiału modelowego

Przedmiot	Minimalna liczba drukarek 3D w poszczególnych tygodniach			Zużycie filamentu, kg
	1.–5. tydzień	6.–10. tydzień	11.–15. tydzień	
Laboratorium ZMG	5	3	0	2
Zajęcia „Integracja Projektowania i Wytwarzania Wspomaganego Komputerowo"	0	0	3	3
Inne zajęcia	0	0	3	3
Prace dyplomowe	1	3	4	20
Rezerwa	1	1	1	2
SUMA	7	7	11	30

Według tablicy prognozowane zużycie materiału modelowego w semestrze może wynieść 30 kg, co oznacza wydatki rzędu kilku tys. zł, a w przypadku zastosowania Dimension 1200 BST – ponad 20 tys. zł. W procesie kształcenia studentów można jednak stosować tańsze materiały modelowe, najlepiej w kilku podstawowych kolorach (białym – ze względu na łatwość pomiaru optycznym skanerem 3D – oraz szarym i czarnym, ponieważ na wydrukach nie widać brudnych śladów obróbki skrawaniem i montażu w budowanych prototypowych urządzeniach). Farmę drukarek 3D należy więc wyposażyć w maszyny, które nie wymagają stosowania specjalnie do nich przeznaczonych, zabezpieczonych elektronicznie materiałów modelowych.

Szersze wykorzystanie farmy drukarek 3D w procesie kształcenia studentów wymaga zmian w programach zajęć. Najlepiej gdyby farma służyła do zajęć projektowych, ponieważ wtedy można zarezerwować osobny czas na konsultacje dotyczące systemów 3D CAD/CAM i technologii przyrostowych.

W najbliższych latach farma drukarek 3D będzie intensywniej wykorzystywana na potrzeby badań naukowych i do wytwarzania części potrzebnych na innych stanowiskach dydaktycznych lub naukowych budowanych na Wydziale SiMR PW. W przypadku badań polimeru PCL dla Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego oprócz specjalnego, wydajnego chłodzenia konieczna jest niższa niż standardowa temperatura druku. Wydajność takiego procesu jest bardzo niska, więc do tego celu należałoby przeznaczyć kilka osobnych maszyn, które nie mogłyby być stosowane do wykonywania wydruków z innych materiałów.

Do wymienionych zadań zwykle wystarczają drukarki 3D z jednym ekstruderem, choć do specyficznych projektów potrzebne są maszyny z dwoma ekstruderami – tak aby w pojedynczym procesie można było wykonywać wydruki z dwóch materiałów – modelowego i podporowego – albo z jednego materiału w dwóch kolorach.

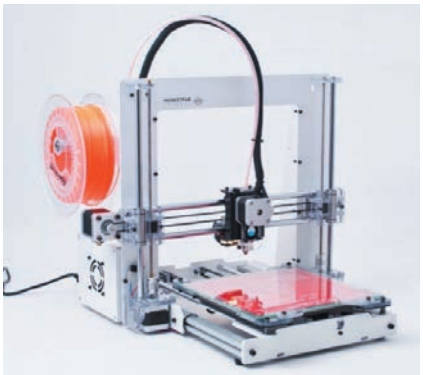
Planując wyposażenie farmy drukarek 3D, zdecydowano się na maszyny prototypujące z otwartym sterowaniem, aby umożliwić ręczną modyfikację kodu sterującego procesem druku 3D oraz zmianę ustawień fabrycznych i tym samym prowadzenie szerszych badań różnych materiałów oraz wpływu parametrów technologicznych na wytrzymałość mechaniczną i dokładność metrologiczną wydruków. Otwarte systemy mają zwykle drukarki 3D ze sterowaniem numerycznym wywodzącym się z projektu RepRap. Maszyny tego typu mogą być programowane za pomocą wielu różnych programów 3D CAM (takich jak: Slic3r, CURA, KISSlicer), pozwalających na modyfikację znacznie większej liczby parametrów technologicznych niż w przypadku zamkniętego oprogramowania, a ponadto są stosunkowo tanie w naprawie i modernizacji.

Zdecydowano, że maszyny powinny być pozbawione osłon (co stanowiłoby ograniczenie w przypadku druku z użyciem polimerów z większym skurczem przetwórczym, np. ABS) bądź wyposażone w osłony przezroczyste, uwidaczniające konstrukcję maszyn, aby ułatwić proces kształcenia.

Wytyczne funkcjonalne i techniczne dotyczące maszyn

Uwzględniając potrzeby Wydziału SiMR PW oraz posiadane fundusze, w 2016 r. rozpisano przetarg na 15 drukarek 3D stosujących technologię FDM/FFF, o otwartym sterowaniu i bez zabezpieczenia zasobników z filamentem. Określono, że każda maszyna powinna umożliwiać wydruki z różnych materiałów modelowych (m.in. z: PLA, ABS, TPE, PET i HIPS), zatem temperatura dyszy musi osiągać 260°C, a filament nie powinien być podawany przez rurkę Bowdena (ze względu na ewentualne zastosowanie TPE). Kilka maszyn musi umożliwiać druk z użyciem PCL, mieć dwie głowice przystosowane do filamentu o średnicy ∅1,75 mm (z opcją dostosowania do ∅3 mm), używanego w pozostałych maszynach, oraz pozwalać na zmianę dyszy w zakresie średnicy 0,1÷1,2 mm. Minimalna przestrzeń robocza maszyny to 200×200×150 mm. Wskazane jest, aby maszyny były zintegrowane i można było nimi sterować z jednego komputera (bez używania kart pamięci lub przepinania kabla USB). Do przetargu stanęły dwie firmy. Wybrano ofertę na drukarki 3D – model Prime 3D – firmy Monkeyfab [15, 16] (rys. 5).

Zakupione maszyny pracują w osobnej, zabezpieczonej sieci komputerowej – skonfigurowanej tak, że spoza



Rys. 5. Drukarka 3D – model Prime 3D firmy Monkeyfab [15]

NOWOŚĆ
PLA drugiej generacji
już w sprzedaży

Filamenty do druku 3D

PRO3D

FILAMENT SERIES

... for professionals

- Najwyższa jakość
- Różne rozmiary szpul (750 g - 8 kg)
- Gwarantowana ciągłość dostaw
- Szeroka paleta kolorów

Podstawowe cechy:

- współpraca z większością drukarek 3D dostępnych na rynku
- zamienniki oryginalnych filamentów: Zortrax i Ultimaker
- dostępne średnice: 1,75 mm i 2,85 mm
- ekologiczne opakowanie

Właściwości filamentów pro3D stosowanych w przemyśle:

- duża wytrzymałość mechaniczna
- odporność na udary
- łatwość w obróbce mechanicznej
- odporność termiczna
- wysoka trwałość
- dopuszczenie do kontaktu z żywnością
- inne



Kontakt:

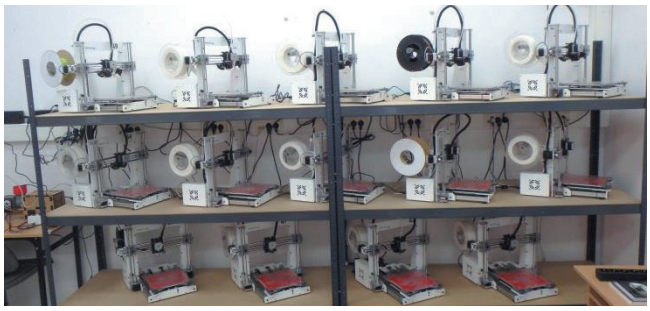
e-mail: biuro@pro3d.info

tel.: +48 669-84-83-84

www.pro3d.info

PRODUKT POLSKI

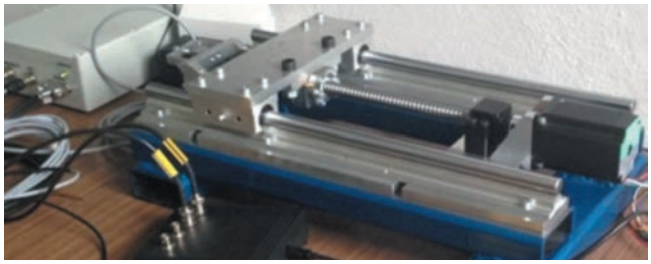
sieci Wydziału SiMR PW można monitorować stopień zaawansowania wydruku lub zatrzymać maszynę. Drukarki umieszczono na dwóch stalowych regałach (rys. 6), zapewniających swobodny dostęp. Obecnie w pomieszczeniu oprócz 20 maszyn prototypujących (w tym profesjonalnej drukarki oraz dwóch konstrukcji zbudowanych przez studentów) znajdują się dwa skanery 3D. Laboratorium 3D ma stałego opiekuna technicznego. W sali zainstalowano wydajną klimatyzację, skutecznie odprowadzającą ciepło wydzielane przez drukarki 3D. Przygotowano też dwa stanowiska warsztatowe do czyszczenia wydruków ze struktur podporowych.



Rys. 6. Farma drukarek 3D na Wydziale SiMR PW

Maszyny są sterowane przez protokół HTTP, czyli przez przeglądarkę internetową z dowolnego komputera w lokalnej sieci LAN (gdzie są podłączone drukarki). W sieć jest włączony router Wi-Fi, umożliwiający sterowanie drukarkami przez smartfony podłączone do sieci bezprzewodowej. Aby zalogować się do danej maszyny, w przeglądarce internetowej należy wpisać jej numer IP. Następnie można sterować parametrami maszyny (np. ustawić bazowanie osi czy wstępne wygrzanie dyszy i stołu) oraz wgrywać programy NC (kody G).

W wydziałowym laboratorium do przygotowywania programów sterujących drukarkami 3D najczęściej używa się programu KISSlicer, a do modelowania 3D CAD – systemu SolidWorks (rzadziej CATIA V5 lub Siemens NX). Do przygotowania filamentów złożonych z różnych materiałów stosuje się wytłaczarkę Filastruder, a wydrukowane struktury są badane na maszynie wytrzymałościowej o zakresie pomiarowym siły od 1 N do 1 kN (rys. 7), zaprojektowanej i wykonanej przez mgr. P. Mężydło w ramach dyplomowej pracy magisterskiej [17].



Rys. 7. Maszyna wytrzymałościowa o zakresie siły od 1 N do 1 kN, wykorzystywana do badania próbek wytwarzanych w technologii druku 3D [17]

Podsumowanie

W najbliższym czasie kilka maszyn z farmy drukarek 3D zostanie wyposażonych w przezroczyste osłony z poliakrylu, aby można było wytwarzać obiekty z ABS. Ponadto planuje się zamontowanie kamery IP (na stałe włączonej do sieci komputerowej) monitorującej przestrzeń roboczą maszyn, aby w razie problemów z wydrukiem umożliwić awaryjne zatrzymanie danej maszyny.

Wyzwaniem wydaje się organizacja działalności farmy drukarek 3D obejmująca: przyjmowanie, rejestrację i akceptację projektów do wytworzenia; wybór materiału modelowego; sprawdzanie poprawności plików STL; ustalanie orientacji drukowanego modelu oraz parametrów technologicznych; uruchomienie procesu druku i jego nadzór; usunięcie obiektu ze stołu roboczego i ewentualne oczyszczenie go ze struktur podporowych po zakończeniu procesu. W tym celu planowane jest uruchomienie pracy semestralnej (przejściowej) lub dyplomowej, w ramach której zostanie zbudowany system bazodanowy uwzględniający wszystkie wymienione czynności. System pozwalałby na generowanie raportów dotyczących każdej maszyny z osobna – czasu jej pracy, zużycia materiałów modelowych, stosowanych parametrów druku, nazw i autorów drukowanych obiektów. System sprawdzałby, czy do rozpoczynanego procesu wystarczy załadowanego filamentu, sugerowałby wykonanie testowych wydruków w celu sprawdzenia powtarzalności kalibracji maszyny, a także przypominałby o terminach działań serwisowych. Docelowo system mógłby raportować całościowe wykorzystanie farmy drukarek 3D w ciągu semestru, aby ułatwić: modyfikację organizacji zajęć, planowanie zaopatrzenia w materiały modelowe, a nawet wnioskowanie o ewentualną rozbudowę farmy o kolejne maszyny.

LITERATURA

1. Ślusarczyk P. „*3DGence tworzy wspólnie z Politechniką Śląską farmę drukarek 3D*”. Centrum Druku 3D: http://centrumdruku3d.pl/3dgence-tworzy-wspolnie-politechnika-slaska-farme-drukarek-3d/ (dostęp: 07.06.2017 r.).
2. Budzik G., Siemiński P. „*Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza PW, 2015.
3. Tomczuk M., Siemiński P. „Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wykonywanych wybranymi metodami szybkiego prototypowania”. *Mechanik*. 2 (2013): s. 1–20.
4. Rajch A., Siemiński P. „Wpływ orientacji warstw i wypełnienia wnętrza na sztywność części wykonywanych techniką FDM z tworzywa ABS oraz wpływ wymiarów geometrii STL na występowanie szczelin we wnętrzu modelu”. *Mechanik*. 2 (2014), CD.
5. Skawiński P., Siemiński P., Błazucki P. „Zastosowanie przyrostowej metody FDM/FFF do wytwarzania kół przekładni zębatych”. *Mechanik*. 12 (2015): s. 173–179.
6. Piękoś J., Dominiak K., Siemiński P. „Zastosowanie bezpłatnych wersji programów do drukowania modeli kości”. *Mechanik*. 4 (2016): s. 320–321.
7. Piękoś J., Siemiński P., Grygoruk R. „Propozycja metody zwiększania dokładności wymiarowej obiektów wykonywanych technikami przyrostowymi”. *Mechanik*. 12 (2016): s. 1910–1911.
8. Ślusarczyk P. “*The Ultimaker Experience*”. Centrum Druku 3D: http://centrumdruku3d.pl/the-ultimaker-experience/ (dostęp: 07.06.2017 r.).
9. Strona http://item.winbo.top/47547.html (dostęp: 07.06.2017 r.).
10. Strona https://voodoomfg.com/ (dostęp: 07.06.2017 r.).
11. “*Continuous Build 3D Demonstrator*” firmy Stratasys, www.stratasys.com/en/demonstrators (dostęp: 07.06.2017 r.).
12. Przychodniak M. „*Kolejna próba automatyzacji procesu druku 3D – tym razem przy zastosowaniu manipulatora robotycznego*”. Centrum Druku 3D: http://centrumdruku3d.pl/kolejna-proba-automatyzacji-procesu-druku-3d-tym-razem-przy-zastosowaniu-manipulatora-robotycznego (dostęp: 07.06.2017 r.).
13. Blog firmy ProSolutions: http://blog.prosolutions.pl/2017/05/16/stratasys-continuous-build-3d-demonstrator-nowy-system-do-masowej-produkcji-3d (dostęp: 07.06.2017 r.).
14. Katalog ECTS Politechniki Warszawskiej: https://ects.pw.edu.pl/ (dostęp: 07.06.2017 r.).
15. Strona www.monkeyfab.com (dostęp: 07.06.2017 r.).
16. Walczak A. „*Monkeyfab PRIME – recenzja drukarki 3D*”. Centrum Druku 3D: centrumdruku3d.pl/monkeyfab-prime-recenzja-drukarki 3d (dostęp: 07.06.2017 r.).
17. Mężydło P. „Projekt i wykonanie maszyny wytrzymałościowej do badań w zakresie obciążeń 1÷1000 N”. Praca dyplomowa magisterska obroniona na Wydziale SiMR PW w czerwcu 2015 r. ■



AUTODESK® POWERMILL® 2018

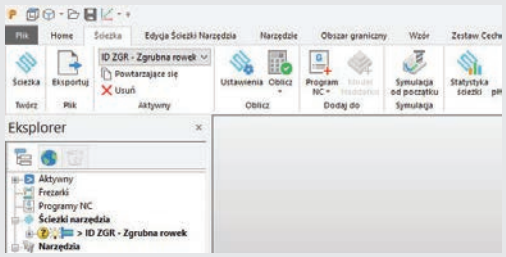
Najbardziej zaawansowane oprogramowanie do obróbki wieloosiowej i wysokowydajnej

Dowiedz się więcej na: **www.powermill.com**

Nowość!

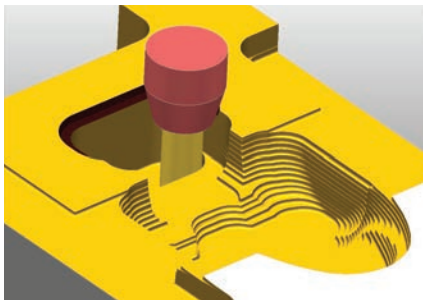
PowerMill 2018 oferuje nową jakość obsługi, która ułatwia programowanie CAM

Wprowadzenie wstążkowego interfejsu pozwala na skrócenie czasu potrzebnego na naukę obsługi oprogramowania, a doświadczonym użytkownikom ułatwia i przyspiesza dostęp do zaawansowanych funkcji. Najnowsza wersja pakietu Autodesk PowerMill została również wzbogacona o kolejne funkcjonalności do programowania maszyn typu *mill-turn* oraz ulepszone narzędzia do symulacji i kontroli pięcioosiowych ścieżek narzędziowych, niezbędne do realizacji wymagających zadań.



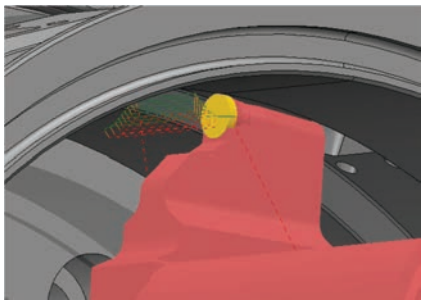
Nowy interfejs wstążkowy

Nowy, dynamiczny wstążkowy interfejs został tak zaprojektowany, aby użytkownik miał bezpośredni dostęp do zaawansowanych opcji PowerMill. Funkcje potrzebne do wykonania konkretnego zadania są łatwiej dostępne. PowerMill uzyskał bardziej przyjazny wygląd, a jednocześnie zachowuje spójność z innymi produktami firmy Autodesk. Możliwość dostosowania pasków użytkownika pozwala na optymalizację pracy w programie.



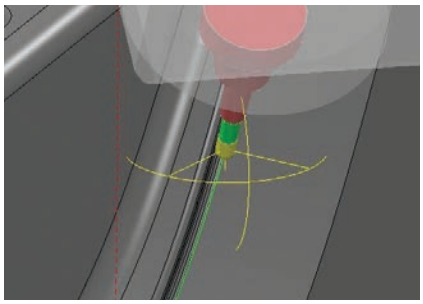
Dynamiczna symulacja ubytkowa

Symulacja ścieżek narzędziowych zapewnia teraz lepszej jakości obraz modelu oraz pozwala na przesuwanie, powiększanie, a nawet obracanie widoku 3D w trakcie symulacji bez utraty jakości modelu ubytkowego. Wykrywanie kolizji między uchwytem a przygotówką podczas symulacji adresuje miejsca kolizji z dynamicznie zmieniającą się resztką materiału i przyspiesza generowanie wysokiej jakości bezpiecznych programów NC



Ulepszone programowanie maszyn typu *mill-turn*

W ścieżkach narzędziowych strategii toczenia pojawiły się nowe możliwości zaawansowanej edycji. Po obliczeniu trajektorii ścieżki mogą być optymalizowane (np. przycinane, dzielone, odwracane) bez konieczności ponownego przeliczania. Weryfikacja maszynowa ścieżek toczenia eliminuje potencjalnie niebezpieczne miejsca. Dzięki temu można skrócić czas potrzebny na zaprogramowanie bezpiecznego i optymalnego procesu.



Dynamiczne sterowanie maszyny w obszarze

Większe możliwości kontroli ścieżki narzędziowej z wykorzystaniem dynamicznego sterowania maszyny w obszarze pozwalają na wielokrotne wykonywanie alternatywnych pochyleń i przechyleń narzędzia w wybranych obszarach ścieżki. Stopniowe wygładzanie skręceń maszyny pomiędzy sąsiednimi obszarami umożliwia zaprogramowanie gładkiego ruchu maszyny i pełne wykorzystanie możliwości pięcioosiowych obrabiarek sterowanych numerycznie.

Więcej informacji na **www.autodesk.com/MAKE**

AUTODESK.

Badania aerodynamiczne samolotów klasy General Aviation z wykorzystaniem metod numerycznej mechaniki płynów

Aerodynamic analysis of General Aviation airplanes using computational fluid dynamics methods

ALEKSANDER OLEJNIK
ŁUKASZ KISZKOWIAK
ADAM DZIUBIŃSKI*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.118

Omówiono badania aerodynamiczne statków powietrznych na **przykładzie samolotów kategorii Very Light Aeroplanes oraz Very Light Jet. Badania numeryczne wykonano metodą objętości skończonych z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania. Przedstawiono metodę przygotowania modelu numerycznego samolotu oraz sposób przeprowadzenia analizy aerodynamicznej. Przeanalizowano m.in. wpływ napędu na charakterystyki aerodynamiczne. Wyniki zaprezentowano w postaci wykresów składowych siły i momentu aerodynamicznego w funkcji kąta natarcia.**
SŁOWA KLUCZOWE: mechanika, aerodynamika, komputerowa mechanika płynów

The problems of an aircraft aerodynamic analysis based on the example of Very Light Aeroplanes and Very Light Jet category airplanes have been presented. A numerical calculations using finite volume method implemented in specialized software were performed. A method of preparing a numerical model of an airplane and the aerodynamic analysis methodology have been presented. An influence of an airplane propulsion on aerodynamic characteristics have been analyzed. A results have been shown in the graphs form of aerodynamic force and moment components as function of angle of attack.
***KEYWORDS: mechanics, aerodynamics, computational fluid** dynamics*

Badania aerodynamiczne z wykorzystaniem metod obliczeniowej mechaniki płynów przeprowadzono w trakcie opracowywania samolotów OSA oraz Flaris LAR-1. OSA jest samolotem kategorii Very Light Aeroplanes (do 750 kg masy startowej) o przeznaczeniu użytkowym. Natomiast Flaris LAR-1 to bardzo lekki odrzutowiec wykonany z nowoczesnych preimpregnatów węglowych do szybkiego i wygodnego transportu czterech dorosłych osób w celach biznesowych lub rekreacyjnych.

Dynamiczny rozwój techniki mikroprocesorowej oraz obliczeniowej mechaniki płynów (*computational fluid dynamics*, CFD) umożliwił symulacje wielu zjawisk zachodzących w trakcie opływu ciał płynami. CFD to dział mechaniki płynów służący do szczegółowej analizy i modelowania przepływów za pomocą metod numerycznych. W teorii mechaniki płynów ruch cieczy i gazów opisywany jest układem równań różniczkowych [1], są to:

- równanie Naviera–Stokesa (równanie zachowania pędu) w postaci:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{v}) + \nabla\cdot(\rho\vec{v}\vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\bar{\tau}}) + \rho\vec{g} + \vec{F} \qquad (1)$$

gdzie: p – ciśnienie statyczne; $\rho\vec{g}$ i $\vec{F}$ – odpowiednio siły grawitacji i siły zewnętrzne, np. narastające w wyniku przepływu przez fazę rozproszoną; $\bar{\bar{\tau}}$ – tensor naprężeń:

$$\bar{\bar{\tau}} = \mu\left[(\nabla\vec{v} + \nabla\vec{v}^T) - \frac{2}{3}\nabla\cdot\vec{v}I\right] \qquad (2)$$

gdzie: μ – lepkość kinematyczna; I – macierz jednostkowa;

- równanie ciągłości przepływu (równanie zachowania masy w odniesieniu do płynu traktowanego jako ośrodek ciągły) w postaci:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\vec{v}) = S_m \qquad (3)$$

gdzie: S_m – źródło masy (np. w wyniku odparowywania fazy rozproszonej);

- równanie zachowania energii w postaci:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i(\rho E + p)\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(k + \frac{c_p\mu_t}{Pr_t}\right)\frac{\partial T}{\partial x_i} + u_i\left(\tau_{ij}\right)_{eff}\right] + S_h \qquad (4)$$

gdzie: k – przewodność cieplna; E – energia całkowita; $\left(\tau_{ij}\right)_{eff}$ – tensor naprężeń ścinających:

$$\left(\tau_{ij}\right)_{eff} = \mu_{eff}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) - \frac{2}{3}\mu_{eff}\left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k}\delta_{ij}\right) \qquad (5)$$

Rozwiązanie tych równań w ogólnym przypadku jest możliwe jedynie z zastosowaniem metod numerycznych, np. metody objętości skończonych. Równania te przekształca się do postaci całkowej:

$$\frac{\partial}{\partial t}\iiint Q\,\mathrm{d}V + \iint F\,\mathrm{d}A = 0 \qquad (6)$$

gdzie: Q – wartości podlegające prawom zachowania masy, pędu, energii wewnątrz komórki; F – wektor wielkości charakteryzujących strumień wymieniany z otoczeniem komórki; V – objętość pojedynczej komórki kontrolnej; A – powierzchnia zewnętrzna pojedynczej komórki kontrolnej.

* Prof. dr hab. inż. Aleksander Olejnik (aleksander.olejnik@wat.edu.pl), kpt. mgr inż. Łukasz Kiszkowiak (lukasz.kiszkowiak@wat.edu.pl) – Instytut Techniki Lotniczej, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie; mgr inż. Adam Dziubiński (adziubinski@ilot.edu.pl) – Zakład Aerodynamiki Instytutu Lotnictwa w Warszawie

Tak rozpisane równania rozwiązuje się metodą iteracyjną (kolejnych przybliżeń). Wielkość komórek w domenie odtwarzającej obszar powietrza wokół badanej geometrii jest tak dobrana, aby dobrze odwzorować nierównomierności pola przepływu. Jest to niestety metoda bardzo wymagająca pod względem zasobów obliczeniowych – zarówno wykorzystywanej pamięci, jak i wydajności obliczeniowej. W przypadku geometrii całych samolotów najczęściej obliczenia wykonuje się na komputerze złożonym z kilku–kilkudziesięciu równolegle pracujących jednostek (węzłów), gdzie każdy analizuje osobny fragment siatki obliczeniowej.

Opracowanie modeli numerycznych samolotów na potrzeby analizy CFD

W obszarze otaczającym dany płatowiec wygenerowano siatkę niestrukturalną. Wielkość siatki obliczeniowej dla samolotu OSA wynosiła ok. 6 mln komórek, a dla samolotu Flaris LAR-1 – ok. 4 mln komórek. Wokół ścian brył samolotów wygenerowano pięć warstw komórek pryzmatycznych symulujących warstwę przyścienną. Grubość pierwszego elementu siatki (0,6 mm) odpowiadała parametrowi turbulencji $y+$ z zakresu $\langle 30 \div 200 \rangle$, co jest zalecane dla zastosowanego modelu turbulencji Spalart–Allmaras. Model ten jest przyjęty za standard w analizach opływów zewnętrznych, zwłaszcza w zakresie liczb Reynoldsa używanych w lotnictwie [1].

W opracowywanych modelach na powierzchni płatowca zastosowano warunek brzegowy WALL – ściana z warunkiem rozwoju turbulencji STANDARD WALL FUNCTION. Na tylnej ścianie domeny założono warunek PRESSURE OUTLET, a na ścianach: przedniej, górnej, dolnej i bocznej – warunek pola dalekiego przepływu: PRESSURE FAR FIELD. Powierzchnię kręgu śmigła w przypadku samolotu OSA oraz powierzchnię wlotu i wylotu z silnika samolotu Flaris LAR-1 przygotowano na potrzeby wyznaczenia wpływu zespołu napędowego na charakterystyki aerodynamiczne samolotu.

W numerycznych analizach aerodynamicznych w opływie symetrycznym przyjęto następujące założenia:

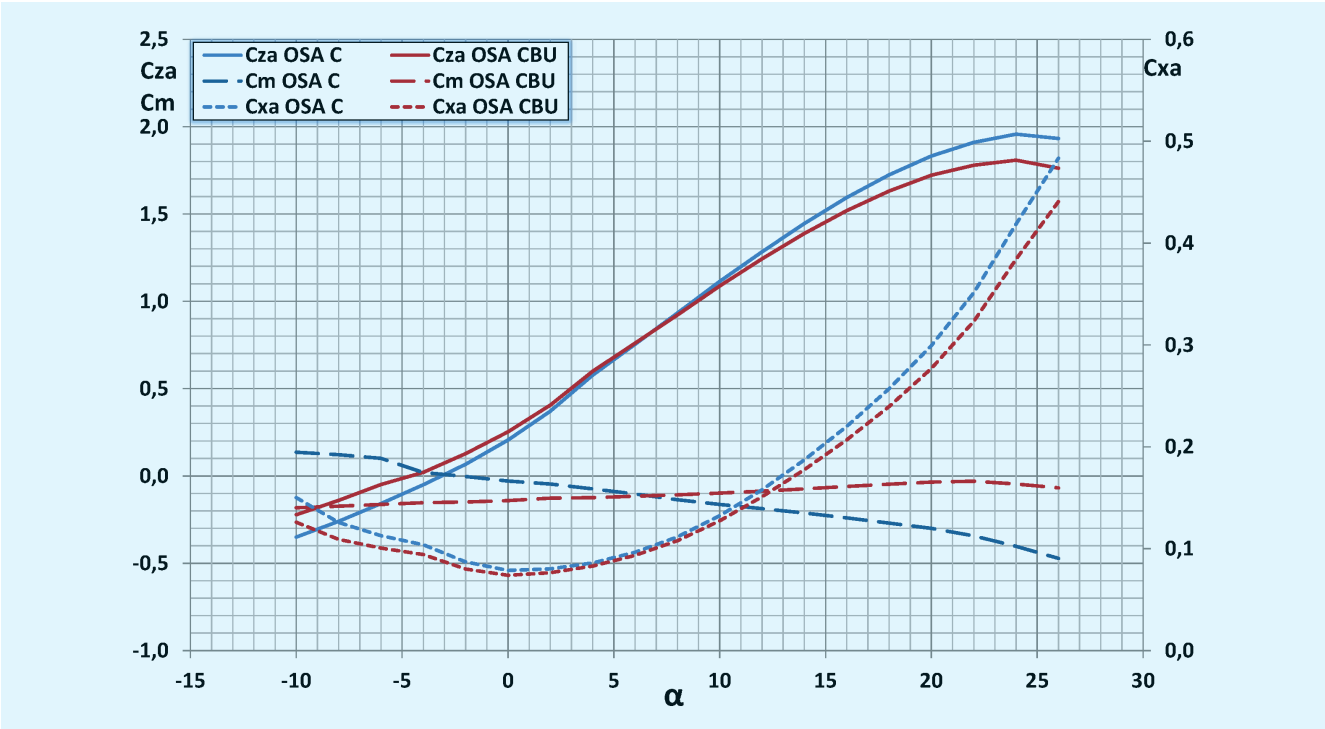
- symetrię pola przepływu,
- symetrię geometrii,
- przepływ jest stacjonarny i ustabilizowany, czyli za płatowcem nie pojawia się ścieżka wirów Karmana ani żadna inna niestacjonarna struktura w przepływie,
- warunki lotu odpowiadają zerowej wysokości (na poziomie morza) według atmosfery wzorcowej: ciśnienie $p = 101\,325$ Pa, temperatura $T = 288{,}15\,^{o}$K, gęstość powietrza $\rho = 1{,}225$ kg/m^3.

Biegun momentu aerodynamicznego leżał na płaszczyźnie symetrii samolotu w punkcie odpowiadającym rzutowi punktu ¼ SCA na tę płaszczyznę.

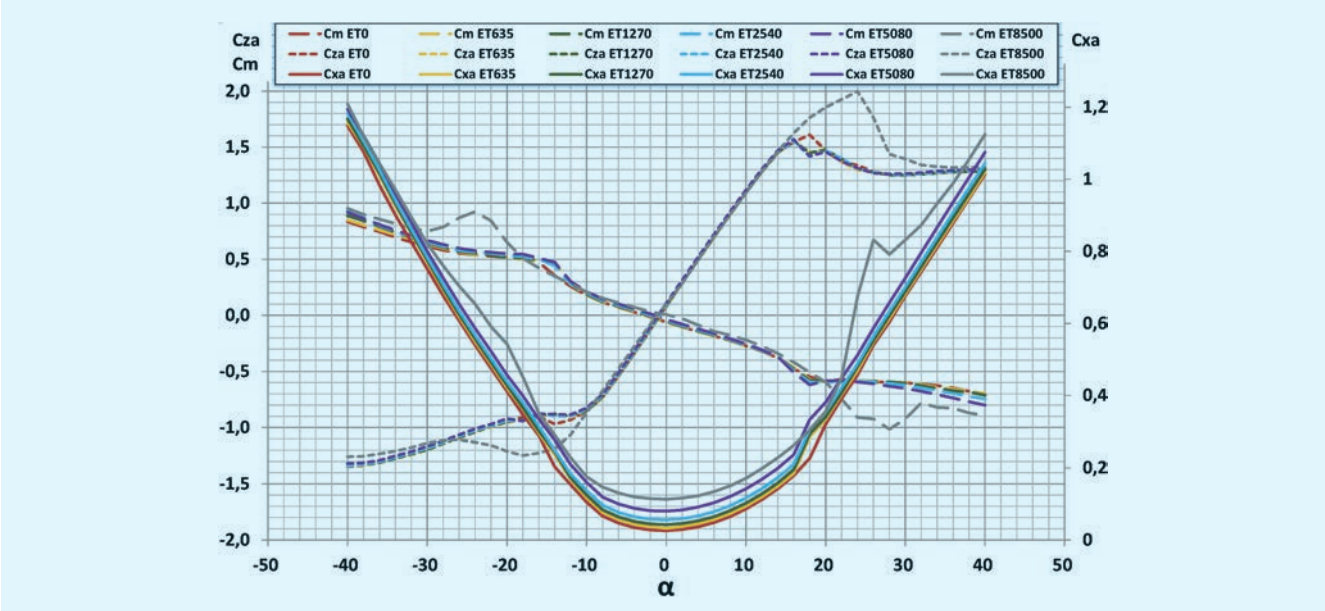
Wyniki ilościowe numerycznej analizy aerodynamicznej samolotu OSA z usterzeniem klasycznym w opływie symetrycznym

Na rys. 1 przedstawiono porównanie charakterystyk aerodynamicznych samolotu OSA w funkcji kąta natarcia dla wersji z usterzeniem poziomym (OSA C) i bez usterzenia poziomego (OSA CBU). Charakterystyki współczynnika siły oporu *Cxa* wyraźnie pokazują, że w przedziale kątów natarcia $\alpha = 3 \div 8°$ wpływ usterzenia poziomego na wartość współczynnika siły oporu jest pomijalnie mały i rośnie wraz ze zwiększaniem kąta natarcia.

Podobną tendencję można zaobserwować na wykresie współczynnika siły nośnej *Cza*. Wraz ze wzrostem kąta natarcia zwiększa się wpływ usterzenia na wartość współczynnika siły nośnej. Natomiast dla kątów natarcia w przedziale $\alpha = 4 \div 9°$ jest on pomijalnie mały. Na charakterystyce współczynnika momentu pochylającego *Cm* widać, że odjęcie usterzenia poziomego powoduje duże zmiany rozstateczniające samolot. Względem analizowanego bieguna momentu pochylającego, który znajduje się w 25% SCA, samolot staje się niestateczny statycznie, aż do kąta natarcia $\alpha = 22°$. Po przekroczeniu tego kąta $dCmy/d\alpha$ przyjmuje wartości ujemne.



Rys. 1. Porównanie charakterystyk aerodynamicznych samolotu OSA z usterzeniem poziomym i bez niego



Rys. 2. Wpływ ciągu silnika na charakterystyki aerodynamiczne samolotu Flaris LAR-1

Analiza wpływu ciągu silnika na charakterystyki aerodynamiczne samolotu Flaris LAR-1

Aby przeanalizować wpływ ciągu silnika na charakterystyki aerodynamiczne samolotu Flaris LAR-1, skorzystano z warunku brzegowego FAN. Na pierwszym stopniu sprężarki silnika przyjęto skok ciśnienia odpowiadający zadanej sile ciągu. Obliczenia prowadzono dla różnych wartości siły ciągu silnika (rys. 2). Poszczególne charakterystyki opisano wartością ciągu silnika, jaką przyjęto w trakcie wykonywania danej analizy. Dla przykładu: charakterystyki opisane jako *ET2540* odpowiadają wynikom analizy uzyskanym dla przypadku, w którym w kanale przepływowym silnika przyjęto przyrost ciśnienia równy sile ciągu wynoszącej 2540 N.

W charakterystyce współczynnika siły oporu można zauważyć, że wraz ze zwiększaniem kąta natarcia wpływ ciągu silnika na jego wartość jest coraz mniejszy. Co więcej, jego minimalne wartości C_{xmin} zbliżone są do wartości C_{x0} uzyskanych dla kąta natarcia $\alpha = 0$. Uwzględnienie w obliczeniach ciągu silnika wpłynęło na zmianę wartości krytycznego kąta natarcia α_{kr}. Nachylenie charakterystyki momentu pochylającego samolot $dCm/d\alpha$ nie uległo zmianie. Wpływ ciągu silnika najbardziej uwidacznia się na charakterystyce współczynnika siły oporu. Największy wpływ obserwujemy dla charakterystyk uzyskanych przy ciągu silnika wynoszącym 8500 N.

Wnioski

Wykonano szereg numerycznych analiz aerodynamicznych samolotów kategorii Very Light Aeroplanes oraz Very Light Jet. Uzyskane wyniki miały znaczący wpływ na decyzje zespołu konstrukcyjnego dotyczące ostatecznego kształtu bryły opracowywanych statków powietrznych. Określone charakterystyki aerodynamiczne zostały wykorzystane na etapie wyznaczania obciążeń działających na strukturę samolotu w trakcie lotu. Ponadto z ich użyciem przeprowadzono badania stateczności samolotów w trakcie lotu. Z analizy wyników obliczeń wyciągnięto następujące wnioski:

- korzystając z metod numerycznej mechaniki płynów (*computational fluid dynamics*), można wyznaczyć charakterystyki aerodynamicznie samolotów klasy General Aviation,
- numeryczne analizy aerodynamiczne można wykonywać dla samolotów w skali rzeczywistej,
- modyfikacje modelu numerycznego są prostsze i szybsze niż modelu skalowanego samolotu przygotowanego do badań doświadczalnych,
- wydajność obliczeniowa współczesnych komputerów pozwala na zastosowanie analiz RANS na dość wczesnym etapie projektowania,
- model numeryczny samolotu może zostać podzielony na strefy, z których łatwiej otrzymać wyniki cząstkowe niż w przypadku badań doświadczalnych w tunelu aerodynamicznym,
- w trakcie analiz numerycznych występowały znaczne problemy z modelowaniem turbulizacji przepływu i procesu oderwania,
- korzystanie z metod numerycznej mechaniki płynów wymaga dużego doświadczenia i umiejętności zarówno w zakresie przygotowania modelu do obliczeń, jak i krytycznej analizy wyników.

Artykuł zawiera wyniki uzyskane w trakcie realizacji projektów:

- **„Nowoczesny środek transportu osobistego Flaris LAR-1" – nr POIG.01.03.01-14-077/12 – dofinansowanego z NCBiR w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego,**
- **„Zwiększenie użyteczności lekkiego samolotu o innowacyjnym układzie aerodynamicznym typowym dla samolotów klasy STOL" – PBS3/B6/35/2015 – dofinansowanego z NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych.**

LITERATURA

1. *"ANSYS Fluent Theory Guide"*. Release 15.0. Ansys Inc. Listopad 2013.
2. *"ANSYS ICEM CFD Tutorial Manual"*. Ansys ICEM CFD 15. Listopad 2013.
3. PN-ISO 1151-1:2004. Dynamika lotu: Pojęcia, wielkości i symbole – Część 1: Ruch statku powietrznego względem powietrza. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny, 2004.
4. Sobieraj W. *„Aerodynamika"*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna, 2014.

Komputerowe metody wspomagania projektowania procesu technologicznego

Computer aided production process design work methods

IZABELA ROJEK*

DOI: https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.8-9.119

Przedstawiono komputerowe metody wspomagania projektowania procesu technologicznego – od najprostszych do bardzo zaawansowanych. **Ideą przeprowadzonych przez autorkę badań było opracowanie metody, modeli oraz systemu ekspertowego, którego funkcjonowanie przypominałoby sposób działania człowieka będącego ekspertem w danej dziedzinie. Cel ten osiągnięto dzięki zastosowaniu sieci neuronowych.**
SŁOWA KLUCZOWE: proces technologiczny, wspomaganie, sieć neuronowa

The article presents the computer aided design methods as applied for arrangement of production processes in the range from the simplest to the most advanced ones. The idea behind the research procedure as conducted by the author was to develop a method, models and expert system that would ***resemble a human expert in the field. This goal was achieved*** *using neural networks.*

KEYWORDS: technological process, support, neural network

Proces technologiczny szczegółowo określa przekształcanie surowego materiału (półwyrobu) w gotowy produkt odpowiadający wymaganiom projektowym. Ten proces jest bardzo trudny do automatyzacji ze względu na istotny udział doświadczenia (wiedzy ukrytej) technologów na poszczególnych etapach projektowania. W tradycyjnym projektowaniu procesów technologicznych dominują czynności, które w dużym stopniu wykorzystują doświadczenie technologa oraz jego umiejętności i intuicję. Od tego doświadczenia zależą przebiegi procesów technologicznych oraz ich koszty [1, 2]. Projektowanie tych procesów utraciło tradycyjny charakter wraz z pojawieniem się możliwości zastosowania technik komputerowych. Powszechne stało się wykorzystanie baz danych gotowych procesów technologicznych [3].

Zastosowanie metod eksploracji danych do odkrywania wiedzy zawartej w bazach danych o gotowych procesach technologicznych jest narzędziem, które pozwala na uzewnętrznienie doświadczenia technologa w postaci baz wiedzy oraz na przeprowadzenie w trakcie projektowania procesu technologicznego wnioskowania zbliżonego do rozumowania człowieka.

Komputerowe wspomaganie projektowania procesu technologicznego – przegląd literatury

Komputerowym wspomaganiem projektowania procesów zajmują się systemy CAPP (*computer aided process planning*). Czynności wykonywane podczas projektowania procesu technologicznego mogą być wspomagane komputerowo w różny sposób, z wykorzystaniem różnorodnych metod i technik informatycznych. Istnieją trzy podejścia [3]:

- planowanie wariantowe, które bazuje na częściach technologicznie podobnych; komputer wykorzystywany jest do identyfikacji części podobnych oraz do edycji planu technologicznego odpowiedniego dla konkretnej części;
- planowanie generacyjne, w którym system syntetyzuje plan procesu technologicznego dla nowej części z procesów technologicznych opracowanych dla powierzchni elementarnych tworzących tę część;
- planowanie automatyczne – proces technologiczny tworzony jest bezpośrednio z modelu geometrycznego (CAD).

Inny podział metod pokazano w pracy [4]. Zautomatyzowane projektowanie procesu technologicznego może:

- być realizowane z zastosowaniem zunifikowanych procesów technologicznych albo na podstawie powtórnego zastosowania indywidualnych procesów technologicznych,
- polegać na syntezie procesu technologicznego,
- być iteracyjne.

Projektowanie z zastosowaniem zunifikowanych procesów technologicznych polega na przyporządkowaniu przez komputer, na bazie kodu klasyfikującego części, odpowiedniego procesu technologicznego obejmującego jego strukturę.

Projektowanie na podstawie powtórnego zastosowania indywidualnych procesów technologicznych polega na wykorzystaniu rozwiązań gotowych, zgromadzonych w bazie danych odpowiedników części i ich procesów technologicznych, na wszystkich poziomach projektowania.

Projektowanie polegające na syntezie procesu technologicznego odbywa się w taki sposób, że proces projektowania jest podzielony na wiele prostych zadań. Na podstawie analizy struktury i charakterystyki procesu technologicznego wyróżnia się poziomy kolejnego uszczegółowienia i optymalizacji rozwiązań projektowych. Na pierwszym poziomie są ustalane warianty podstawowych struktur procesu technologicznego. Na drugim poziomie są realizowane warianty struktury procesu technologicznego oraz określane warianty najbardziej racjonalne. Poziom trzeci obejmuje projektowanie operacji technologicznej z różnymi wariantami zabiegów. Spośród opracowanych wariantów wybierany jest – z uwzględnieniem określonych środków produkcji – racjonalny system obróbki.

Projektowanie iteracyjne jest modyfikacją metody projektowania polegającej na syntezie procesu technologicznego. W projektowaniu iteracyjnym dla każdej powierzchni opracowuje się proces jej obróbki i buduje graf możliwych wariantów przebiegu obróbki powierzchni jednego rodzaju. Projektowanie struktury procesu technologicznego polega na utworzeniu – na podstawie grafów poszczególnych powierzchni występujących w danej części – grafu wszystkich dopuszczalnych jego wariantów, który stanowi podstawę do wyboru wariantu o najmniejszym koszcie.

* Dr inż. Izabela Rojek (izarojek@ukw.edu.pl) – Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

Inteligentne projektowanie procesu technologicznego – badania własne

Ideą przeprowadzonych przez autorkę badań było opracowanie metody, modeli oraz systemu ekspertowego, którego funkcjonowanie przypominałoby sposób działania człowieka będącego ekspertem w danej dziedzinie, mającego zdolność gromadzenia niezbędnej wiedzy, analizowania danych i wyciągania wniosków służących do rozwiązywania problemów. Ten cel osiągnięto, posługując się sieciami neuronowymi (przeprowadzone badania wykazały ich dużą użyteczność i skuteczność w projektowaniu procesu technologicznego). Na podstawie opracowanych już procesów technologicznych zastosowano metody maszynowego uczenia, czyli ML (*machine learning*) – najpierw do nauki projektowania procesów technologicznych, a następnie do projektowania procesów technologicznych dla nowych wyrobów. Projektowanie procesu technologicznego jest zadaniem bardzo złożonym, wymagającym wiedzy i doświadczenia technologa. Na potrzeby opracowywanego systemu ekspertowego projektowanie procesu technologicznego podzielono na mniejsze podzadania:

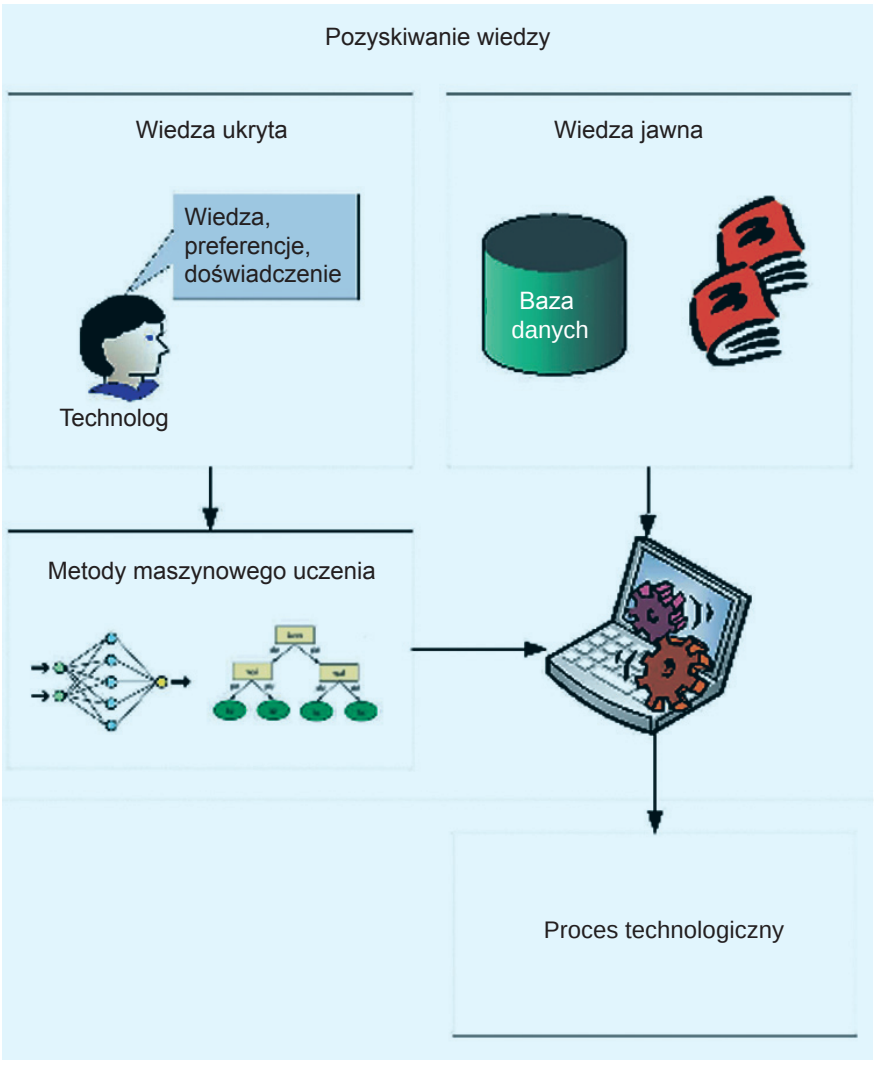
- utworzono plan procesu technologicznego, w którym określono kolejność operacji oraz zabiegów technologicznych;
- dla każdej operacji i każdego zabiegu określono obrabiarkę, narzędzie oraz parametry obróbki.

Tak utworzony system jest polecany technologom, którzy nie mają wystarczającego doświadczenia w projektowaniu procesów technologicznych lub dopiero rozpoczynają pracę w określonym przedsiębiorstwie produkcyjnym i nie znają dobrze jego parku maszynowego czy innych środków produkcji (narzędzi, oprzyrządowania). Należy podkreślić, że taki system pełni rolę doradczą, decyzja zaś zawsze należy do technologa.

Pozyskiwanie wiedzy

Bardzo ważnym etapem tworzenia inteligentnych systemów CAPP, czyli systemów wykorzystujących ML, było pozyskanie wiedzy technologicznej. Ta wiedza pochodzi z wielu źródeł (rys. 1). Dane z katalogów i baz danych można pozyskać w prosty sposób, jednak w przypadku wiedzy, preferencji i doświadczenia technologa proste narzędzia informatyczne nie wystarczają. Należało utworzyć takie modele i narzędzia, które pozwoliłyby zawrzeć tę wiedzę w systemie komputerowym. Dlatego zastosowano metody ML. Do tej pory technolog korzystał z katalogów narzędzi, w tym z katalogów w formie papierowej. W systemach komputerowych nie był ujęty np. stopień zużycia obrabiarki, dlatego często konieczne było określanie innych parametrów obróbki niż wskazane w katalogu. Wtedy technolog korzystał z własnych preferencji, wiedzy.

Na projektowanie procesów technologicznych ma wpływ wiele czynników, które technolog musi wziąć pod uwagę. Są to m.in.: wielkość produkcji, sposób obróbki, materiał obrabianego przedmiotu, typ obrabiarki, rodzaj i dokładność obróbki oraz kształty obrabianych powierzchni. Tworzenie inteligentnych modeli jest niezbędne do tego, aby w systemie komputerowym zawrzeć wiedzę i doświadczenie technologa.



Rys. 1. Pozyskiwanie wiedzy technologicznej

Metody ML w projektowaniu procesu technologicznego

Z definicji wynika, że ML zajmuje się analizą procesów uczenia się oraz tworzeniem systemów, które doskonalą swoje działanie na podstawie doświadczeń z przeszłości [5, 6].

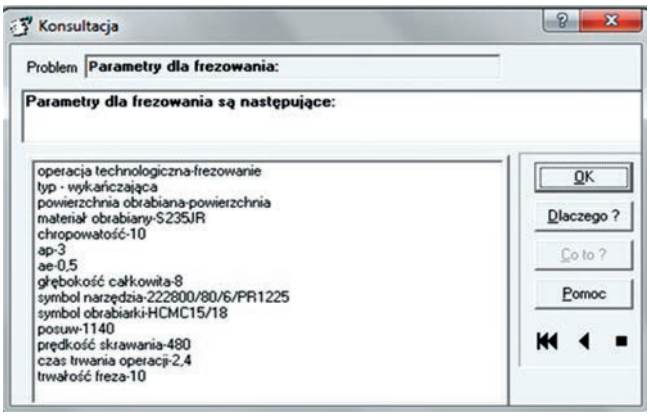
ML umożliwia pozyskiwanie wiedzy na podstawie analizy zachowań ekspertów lub danych doświadczalnych. Dane często mają formę przykładów. Wiedza uzyskana metodami ML czasami jest jedyną drogą budowy modeli, gdy wiedza ekspercka nie jest dostępna lub gdy ekspert nie potrafi wyjaśnić swoich decyzji. Do metod maszynowego uczenia należą m.in. sieci neuronowe oraz drzewa decyzyjne.

Opracowana przez autorkę metoda projektowania procesów technologicznych z użyciem metod ML, zwłaszcza sieci neuronowych, polega na połączeniu trzech bloków wybranych sieci neuronowych w jeden system. Bloki służą do doboru obrabiarek, narzędzi i parametrów obróbki.

Na rys. 2 pokazano system trzech bloków sieci neuronowych, które dobierają po kolei obrabiarkę, narzędzie i parametry obróbki. Sieci te są budowane dla każdej czynności procesowej, czyli oddzielnie dla każdego wyboru tworzony jest zbiór sieci neuronowych. Do budowy modelu stosuje się różne typy sieci neuronowych (MLP, RBF, Kohonen) o różnych strukturach – spośród nich zostały wybrane sieci o najlepszych właściwościach.

Zgodnie z definicją proces technologiczny może być uważany za sekwencję określonych operacji technologicznych, która stanowi ramowy proces technologiczny. Po określeniu ramowego procesu technologicznego dla każdej operacji procesu następuje właściwy dobór maszyn, narzędzi i parametrów obróbki z wykorzystaniem systemu trzech bloków sieci neuronowych.

Wyniki wszystkich trzech sieci neuronowych – tzn. symbol obrabiarki, symbol narzędzia i parametry obróbki – są przekazywane do modułu zbierania informacji dotyczących całego procesu technologicznego. Jego projektowanie kończy się po wykonaniu doborów dla wszystkich operacji ramowego procesu technologicznego [7]. Przykładowy dobór dla operacji frezowania z użyciem systemu ekspertowego wykorzystującego modele w postaci sieci neuronowych pokazano na rys. 3.

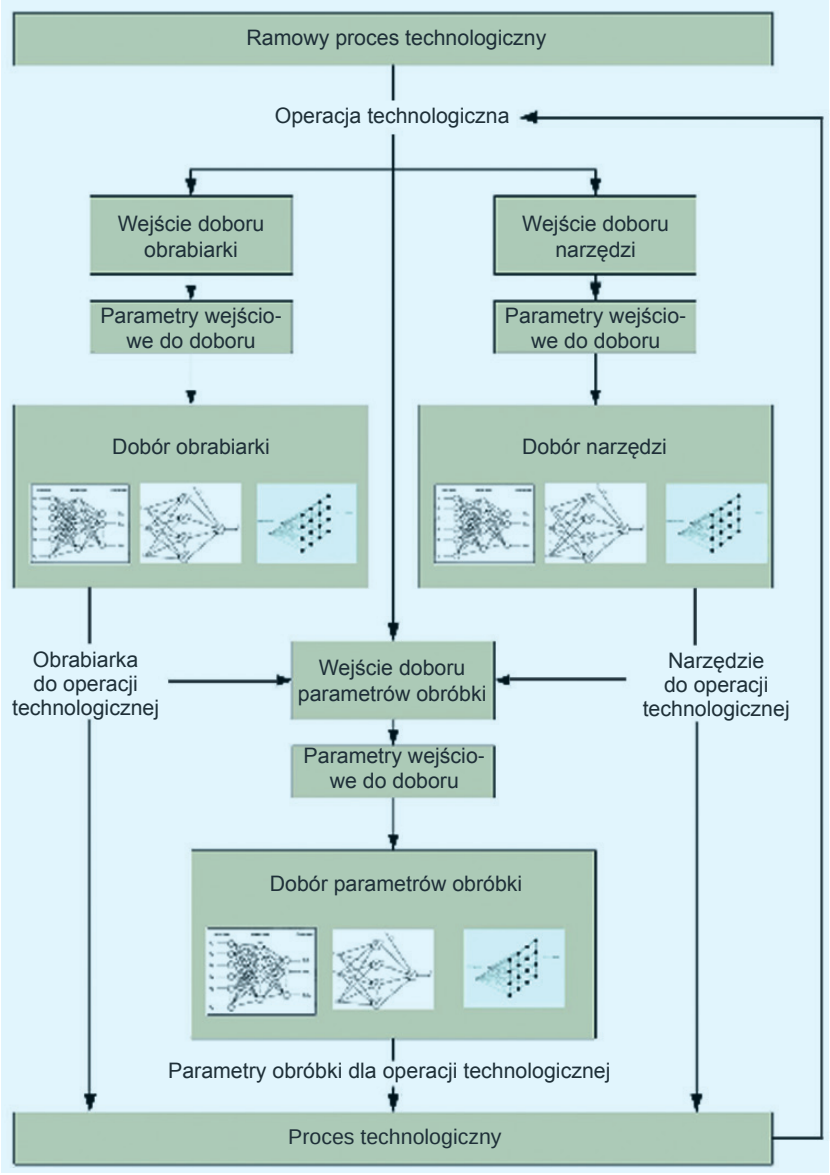


Rys. 3. Wynik działania sieci neuronowych w systemie ekspertowym

Podsumowanie

Zastosowanie metody ML okazało się bardzo cennym narzędziem do pozyskania wiedzy technologicznej. Wynika to z faktu, że technolog często nie potrafi wyjaśnić swojej decyzji, aby na tej podstawie można było utworzyć klasyczne reguły występujące w systemach ekspertowych. Automatyczne korzystanie z przykładów procesów technologicznych już zaprojektowanych i zweryfikowanych podczas produkcji wyrobów jest bardzo dobrym sposobem odkrywania wiedzy wynikającej z doświadczenia technologów. Jest to istotne zwłaszcza w sytuacjach, gdy taka wiedza jest niedostępna bądź trudna do sformalizowania, niepełna i niepewna. System pozyskiwania wiedzy technologicznej, w którym zawarte są modele doboru, może wspomagać mniej doświadczonych technologów w trakcie projektowania procesów technologicznych.

Metody ML wprowadzają nową jakość do systemów CAPP i pozwalają na tworzenie systemu wspomagania, który gromadzi wiedzę automatycznie i ma zdolność do adaptacji. Ma to szczególne znaczenie w przypadku tworzenia systemów CAPP dla złożonych systemów rzeczywistych.



Rys. 2. Metoda projektowania procesu technologicznego z zastosowaniem sieci neuronowych [7]

LITERATURA

1. Pająk E., Klimkiewicz M., Kosieradzka A. *„Zarządzanie produkcją i usługami”*. Warszawa: PWE, 2014.
2. Ociepka P. “Application of the method based on technological knowledge and expertise for adding the design of a technological process”. *MATEC Web of Conferences*. Brasov, Romania: Transilvania Univ Brasov, 2017.
3. Grabownik C., Kalinowski K., Kempa W., Paprocka I. “A Survey on CAPP systems development methods”. *Advanced Materials Research*. 837 (2014): s. 387–392.
4. Gawlik J., Plichta J., Świć A. *„Procesy produkcyjne”*. Warszawa: PWE, 2013.
5. Bandaru S., Ng A.H.C., Deb K. “Data mining methods for knowledge discovery in multi-objective optimization: Part A – Survey”. *Expert Systems with Applications*. 70 (2017): s. 139–159.
6. Bo Z. “Research into technology decision methods of CAPP artificial intelligence”. *ACSR-Advances in Computer Science Research*. 37 (2016): s. 260–263.
7. Rojek I. “Technological process planning by the use of neural networks”. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 31, 1 (2017): s. 1–15.

Przemysław Kochan: *Edgecam – Wieloosiowe toczenie CNC*. Helion SA, Gliwice 2017



Książka autorstwa Przemysława Kochana – Product Managera w firmie Edgecam Polska, jest przeznaczona dla uczniów i studentów kierunków technicznych, a także dla nauczycieli i wykładowców oraz programistów, technologów i operatorów CNC, którzy chcą poznać to środowisko i nauczyć się wykorzystywać je w praktyce.

Dzięki tej książce można szybko nauczyć się przygotowywania elementów do obróbki oraz definiowania i wybierania odpowiednich narzędzi czy strategii. W publikacji wyjaśniono, jak przeprowadzać symulacje ścieżki narzędzia i przygotowywać wizualizacje gotowej powierzchni, wykrywać kolizje, generować kod NC oraz automatyzować programowanie maszyn. W ten sposób książka dostarcza wiedzy nie tylko o samym oprogramowaniu Edgecam, lecz także o współczesnych technologiach produkcyjnych.

Tematyka książki obejmuje takie zagadnienia, jak: instalacja oprogramowania i przegląd środowiska pracy Edgecam Workflow, możliwości modelowania bryłowego w środowisku Edgecam Workflow Solids, przygotowywanie detali do obróbki oraz definicja i wybór narzędzi skrawających, wybór odpowiedniej strategii obróbkowej i przeprowadzanie symulacji ścieżki narzędzia, wizualizacja struktury obrobionej powierzchni, wykrywanie kolizji i generowanie kodu NC, automatyzacja programowania z wykorzystaniem nowoczesnych funkcji programu Edgecam.



Książka „Edgecam – Wieloosiowe toczenie CNC”, *będąca kontynuacją poprzedniej książki pt.* „Edgecam – Wieloosiowe frezowanie CNC”, *wprowadza w warsztat współczesnego programisty NC i daje solidne podstawy do dalszego rozwijania wiedzy na temat technologii CAM oraz profesjonalnego wykorzystania oprogramowania Edgecam. Jest to odpowiedź na oczekiwania czytelników, poszukujących lektury dotyczącej metod wieloosiowego toczenia CNC. Naturalnym wyborem było nawiązanie współpracy z wydawnictwem Helion, specjalizującym się w publikacjach podążających za dynamicznie rozwijającymi się technologiami* – mówi autor książki Przemysław Kochan, Product Manager w firmie Edgecam Polska.

WARUNKI PRENUMERATY

Redakcja przyjmuje zamówienia na prenumeratę przez cały rok.

Prenumeratę można zamawiać w nowym sklepie online:
www.sklep.mechanik.media.pl

lub przez:

- **Redakcja MECHANIK**
Agenda Wydawnicza SIMP
tel. 22 336 14 77, 22 827 16 37
konto: BPH S.A. O. Warszawa
08 1060 0076 0000 3200 0043 1823
www.mechanik.media.pl

- **Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o.**
tel. 22 840 35 89
tel./faks 22 891 13 74

- **RUCH S.A. Oddział Warszawa**
www.prenumerata.ruch.com.pl
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl
tel. 801 800 803, 22 693 70 00

- **KOLPORTER S.A.**
infolinia: 801 404 044

- **GARMOND PRESS S.A.**
Oddział Warszawa
tel. 22 837 30 08

Ceny obowiązujące w 2017 r. (podane ceny zawierają VAT)

Cena za egzemplarz

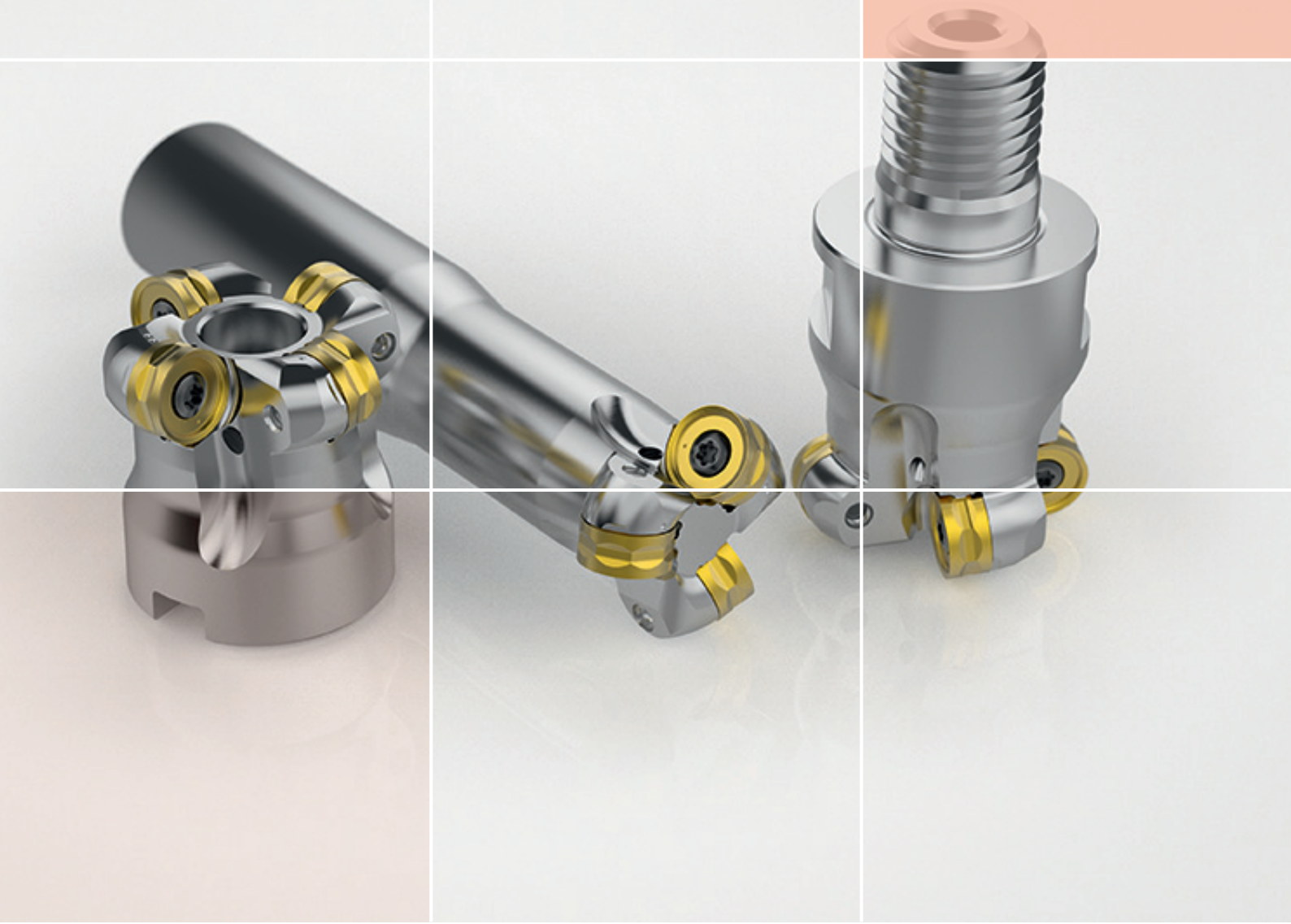
wersja drukowana:	18 zł
PDF online:	14 zł

Cena prenumeraty

	wersja drukowana	wersja PDF online
kwartalnej:	48 zł	
półrocznej:	96 zł	
rocznej:	192 zł	120 zł
	100 zł*	

* Cena prenumeraty dla średnich szkół technicznych i studentów. Prenumerata zamawiana w redakcji.

Nowe frezy R217/220.28 to całkowicie nowy kształt korpusu, w których zastosowano dwustronne płytki okrągłe w celu zwiększenia produktywności i zapewnienia dużej wydajności przy niskich kosztach.



WIĘKSZA WYDAJNOŚĆ I NIŻSZE KOSZTY

WWW.SECOTOOLS.COM/PL

SECO

PENTA IQ GRIP
PARTING LINE

Super ekonomiczne narzędzia z wewnętrznym doprowadzeniem wysokociśnieniowego chłodzenia do operacji dokładnego rowkowania i przecinania!



Obrabiaj inteligentnie

ISCAR HIGH Q LINES

Member IMC Group
ISCAR
www.iscar.pl