

## CZY TY

## WIERCISZ

## INTELIGENTNIE?

**SUMOCHAM**



**SPADECHAM**



**LOGIQUICK**

# OPRZYRZĄDOWANIE DO OBRÓBK

wyroby standardowe lub wykonane na indywidualne potrzeby klienta

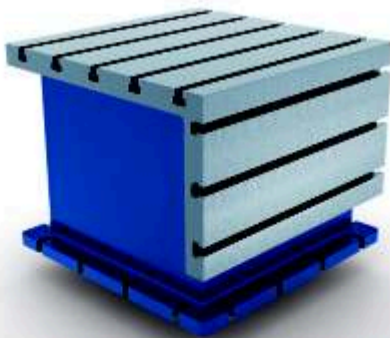
01



## 01 KĄTOWNIKI

WYSOKOŚĆ DO 4000 mm

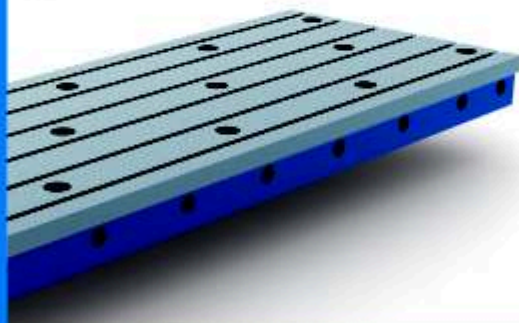
02



## 02 STOŁY ROBOCZE

DŁUGOŚĆ DO 2500 mm

03



## 03 PŁYTY MONTAŻOWE TRASERSKIE SPAWALNICZE

STANDARDOWE PŁYTY MONTAŻOWE  
SZEROKOŚĆ DO 3000 mm  
DŁUGOŚĆ DO 9000 mm  
NOŚNOŚĆ DO 30 t/m<sup>2</sup>

## 5-osiowy multisensoryczny system pomiarowy REVO®

- ✓ Szybki pomiar wieloma sondami
- ✓ Niezrównana dokładność
- ✓ Elastyczność systemu - pomiar w pięciu osiach

Odwiedź nas na targach  
**CONTROL-STOM**  
25-28.03.2025 Kielce  
Hala nr 6, stanowisko 01!

Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologicznie głowic, sond i sterowania, 5-osiowe rozwiązania pomiarowe Renishaw oferują niezrównaną prędkość i elastyczność pomiaru.

Pomiary w pięciu osiach charakteryzują się większą dynamiką dzięki jednoczesnemu wykorzystaniu trzech osi liniowych maszyny (X,Y,Z) oraz dwóch osi obrotowych głowicy (A,B). Pozwala to wyeliminować wpływ błędów dynamicznych związanych z przemieszczaniem elementów maszyny w trakcie pomiaru skomplikowanych geometrycznie detali.



**speed • accuracy • flexibility**

[www.renishaw.com/revo](http://www.renishaw.com/revo)





Szanowni Państwo,

Obróbka Metalu ukazuje się już od 15 lat, a to wydanie jest pierwsze w kolejnym okresie, oby także 15-letnim. Czasy są coraz trudniejsze, jednak dzięki operatywności szefa wydawnictwa (nie mylić z redaktorem naczelnym, bo to byłaby autoreklama) jakoś sobie radzimy. Młodsze roczniki naszych PT Czytelników coraz rzadziej sięgają po źródła drukowane, częściej korzystają z internetu, jednak jest jeszcze spora grupa osób preferujących tradycyjną, „papierową” formę źródeł informacji, dlatego też kontynuujemy naszą działalność wydawniczą. Staramy się przy tym unowocześniać formę naszego kwartalnika, np. w internecie na naszej stronie jest link do elektronicznej

wersji OM. Ponadto, na stronie tytułowej od pewnego czasu umieszczany jest kod matrycowy, po zeskanowaniu którego można dowiedzieć się więcej o elementach na okładce jedynie zasygnalizowanych.

Bloki tematyczne które zawarte są w naszym czasopiśmie są w zasadzie stałe, co nie oznacza, że nie można czegoś zmienić, dodać. Jeżeli macie Państwo jakieś propozycje, sugestie to chętnie weźmiemy je pod uwagę.

W części zawierającej artykuły naukowo-badawcze zamieszczamy jak zazwyczaj cztery pozycje. Pierwsza z nich dotyczy sfery organizacyjnej procesów wytwórczych. Autorzy przeanalizowali możliwości automatyzacji procesów produkcyjnych w zakresie transportu wewnętrznego stosowanego w przedsiębiorstwach produkcyjnych. W szczególności, analizie poddano automatyczne systemy sterowania wózków wysokiego składowania.

Drugi artykuł w bloku naukowo-technicznym opracowany został przez Autorów ze Stanów Zjednoczonych, a dotyczy jonowej odmiany obróbki azotowania, obróbki która w bardzo dużym stopniu poprawia cechy użytkowe elementów poddanych tej obróbce. Autorzy porównują rezultaty uzyskane za pomocą dwóch wersji tej obróbki.

Kolejny artykuł dotyczy kinematyki docierania powierzchni płaskich i walcowych realizowanych na obrabiarkach różnych typów. Warunki kinematyczne docierania maszynowego mają zasadniczy wpływ na intensywność obróbki oraz jakość obrabianych powierzchni, a więc dogłębna informacja o procesie ułatwia niewątpliwie właściwy dobór odmiany i parametrów tej metody obróbki wykończeniowej.

Ostatni artykuł w tym bloku zawiera informacje o ciekawych badaniach dotyczących oceny odporności korozyjnej stopów magnezu AZ31 z wytworzonymi na ich powierzchniach węglowymi warstwami ochronnymi z dużą zawartością diamentu i dla porównania – bez tych warstw.

Z okazji wspomnianego wyżej 15-lecia naszego kwartalnika policzono, że w tym czasie opublikowaliśmy ok 240 artykułów, a więc sporą ich liczbę. Za ich opracowanie oraz recenzowanie Autorom i Recenzentom w imieniu Redakcji bardzo dziękuję.

W każdym wydaniu zamieszczamy informacje o imprezach, które już odbyły się i o tych planowanych w przyszłości. O tych pierwszych w tym numerze nie ma informacji, gdyż był to okres świąteczno-noworoczny, w którym nie są one organizowane. Zamieszczamy natomiast informacje o zbliżających się imprezach, a więc STOM (Salon Technologii Obróbki Metalu) – koniec marca, w Kielcach, ITM Industry Europe – początek czerwca w Poznaniu oraz TOOLEX – październik w Katowicach. Warto zapoznać się z zapowiedziami.

Zamieszczamy także wiadomości opracowane przez współpracujące z nami firmy: krajowe i zagraniczne. W materiałach firmy ECOCLEAN znajdziecie Państwo informacje dotyczące mycia międzyoperacyjnego produkowanych elementów, gdyż jest to czynnik poprawiający ich jakość. Potentat w branży narzędziowej – firma ISCAR, prezentuje swoje najnowsze osiągnięcia w zakresie produkcji wiertel składanych, natomiast firma Vollmer proponuje swoje usługi w zakresie projektowania i wytwarzania narzędzi specjalnych, zarówno w formie programów jak i maszyn.

Mam nadzieję, że tematyka naszego kwartalnika jest na tyle różnorodna, że każdy znajdzie coś interesującego dla siebie, a tym samym przyczyni się do poprawy efektywności działania naszych PT Czytelników.

Michał STYP-REKOWSKI  
Redaktor Naczelny



#### Kwartalnik Naukowo-Techniczny „Obróbka Metalu”

Adres Redakcji  
ul. Szymborska 56, 88-100 Inowrocław  
redakcja@obrobkametalu.tech  
www.obrobkametalu.tech  
tel. +48 52 52 43 580, kom. +48 608 188 255

#### ZESPÓŁ REDAKCYJNY

Przewodniczący (redaktor naczelny)  
Prof.dr hab.inż. Michał STYP-REKOWSKI  
(PBS Bydgoszcz)

#### REDAKTORZY DZIAŁOWI

**Metrologia, jakość**  
Dr hab. inż. Monika MADEJ (PŚ Kielce)  
**Obróbki ubytkowe i przyrostowe**  
Dr inż. Wojciech ŻYŁKA (URZ Rzeszów)  
**Obróbki bezubytkowe, obróbka cieplna**  
Dr inż. Paweł LONKWIC (PWSZ Chełm)  
**Obrabiarki, materiały eksploatacyjne**  
Dr hab. inż. Maciej MATUSZEWSKI  
(z-ca redaktora naczelnego, PB Bydgoszcz)  
**Procesy technologiczne, CAx, jakość**  
Dr hab. inż. Marcin GOŁĄBZAK (PŁ Łódź)  
**Narzędzia, oprzyrządowanie**  
Dr hab. inż. Norbert RADEK (PŚ)

#### REDAKTOR STATYSTYCZNY

Dr inż. Robert KOSTEK (PB Bydgoszcz)

#### MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA

Prof. dr hab. inż. Tomasz LIPIŃSKI (PL – UW-M)  
przewodniczący  
Dr hab. inż. Tomasz BABUL (PL – SIMP)  
Dr.hab. inż. Olaf CISZAK, prof. PP (PL – PP)  
Prof. dr hab. inż. Eugene FELDŠTEIN (PL – UZ)  
Ph.D.eng. Horst HERMSDORF (D)  
Prof. Ph.D.eng. Josef JURKO (SK)  
Ass. Prof. Sylvia KUSMIERCZAK (CZ)  
Dr hab. inż. Mieczysław MARCINIĄK (PL – PW)  
Prof. Ph.D.eng. Hamdi METE (TR)  
Prof.Ph.D.eng. Ivan NAZRENKO (UA)  
Prof.Ph.D.eng Ivan OBORSKY (UA)  
Dr hab. inż. Andrzej PEREC (PL – AJP)  
Ph.D.eng. Edward ROLINSKI (USA)  
Dr hab.inż. Krzysztof ROŻNIATOWSKI,  
prof. PW (PL – PW)  
Dr hab.inż. Tadeusz SAŁACIŃSKI, prof. PW (PL – PW)  
Prof.Ph.D.eng Jan SUCHANEK (CZ)  
Ph.D.eng. Emil ŠPIŠAK (SK)

#### WYDAWCA AWART MEDIA

Skład i łamanie: Tymon Kokoszyński

Redakcja nie odpowiada za treść reklam, artykułów promocyjnych oraz ogłoszeń. Przedruk całości lub części materiałów bez zgody wydawcy, jest zabroniony. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania oraz dokonywania zmian w przesłanych materiałach.

spis treści

8 Szybkie wykonywanie otworów  
ISCAR

12 Specjalne kształtowe narzędzia skrawające – technologie  
i nowoczesne rozwiązania  
VOLLMER

15 Automatyzacja produkcji poprzez zastosowanie  
wózków podnośnikowych  
z inteligentnymi systemami sterowania  
*Andrzej Wojciechowski, Maciej Matuszewski,  
Małgorzata Słomion, Oleg Polishchuk*

20 Ecoclean – pionierska technologia mycia  
dla wszystkich sektorów przemysłu  
ECOCLEAN

22 Przemysłowa Wiosna 2025 – to prawdziwy hit!

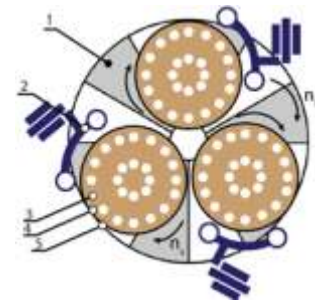
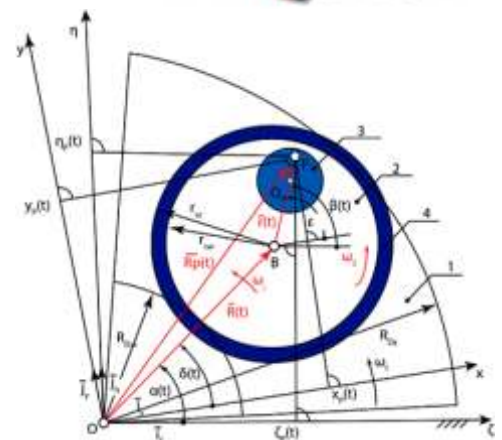
24 Przemysłowe azotowanie jonowe elementów  
ze stali stopowej mikro TMS 80  
przy różnych gęstościach mocy plazmy  
*Edward Roliński, Chad Clark, Mikel Woods*

32 Strefy specjalne i branżowa rywalizacja  
na ITM INDUSTRY EUROPE 2025

34 Warunki kinematyczne obróbki powierzchni płaskich  
i walcowych na docierarkach tarczowych  
*Adam Barylski*

43 Badania odporności korozyjnej warstw węglowych  
na stopach magnezu  
*Marcin Gołąbczak*

50 Przemysł jutra – najważniejsze branżowe wydarzenia  
już w październiku



## contents

**Page 15**

Mgr inż. Andrzej Wojciechowski, dr hab. inż. Maciej Matuszewski, dr inż. Małgorzata Słomion, prof. Oleg Polishchuk

### **Production automation through the use of lifting trucks with intelligent control systems**

**Summary:** In this paper the automation of production processes in the field of internal transport used in manufacturing enterprises are analyzed. In particular, the analysis is focused on automatic control systems for high-bay trolleys. The types of automatic trolleys are presented and the methods of automatic control of these trolleys are characterized. The characteristic features of AGV and AMR trolleys are indicated.

**Key words:** production process, lifting truck, automatic control systems.

**Page 43**

Dr hab. inż. Marcin Gołąbczak

### **Plasma nitriding mechanisms of low-density sintered metal products**

**Summary:** In this paper the performance properties of Mg-Al-Zn magnesium alloys were characterized. Selected results of studies evaluating the corrosion resistance of AZ31 magnesium alloys with carbon-rich protective layers produced on their surface and comparatively, without these layers, were also presented. The research results presented include a comparative evaluation of electro-chemical resistance and corrosion resistance in the salt chamber of samples of AZ31 magnesium-alloy secured with carbon-rich layers produced under optimal PACVD (Plasma Activated Chemical Vapour Deposition) process conditions, and samples without this layer. A current flow model based on a nonlinear electrical circuit, containing elements responsible for individual physical phenomena occurring during the measurement of the potential, was used to determine the

current flow in a wide range of corrosion potential changes. An optical microscope and SEM analysis were used to observe the corrosion changes.

**Keywords:** carbon layers, magnesium alloys, corrosion resistance, electrochemical tests, salt chamber.

**Page 34**

Prof. dr hab. inż. Adam Barylski

### **Kinematic conditions of flat and rolling surface treatment on disk lappers**

**Summary:** Lapping, as a very precise abrasive treatment, is used not only in the production of metal and non-metal parts, but also in the process of preparing samples for testing of the surface layer. Lapping of flat surfaces is performed on single-disk flappers, and flat-parallel on dual-disk machines. Lapping, on roller surfaces, is also carried out between two rotating disks, but with a different kinematic system. Kinematic conditions of machine lapping, have a fundamental influence on the processing intensity and quality of the shaped surface. Discussion of the kinematics of disc lappers is the main aim of the article.

**Key words:** lapping, single-disk lapper, double-disk lapper, kinematics of the lapping process.

**Page 24**

Edward Roliński, Chad Clark, Mikel Woods

### **Industrial ion nitriding of TMS 80 micro alloyed steel elements at various plasma power densities**

**Summary:** In this paper there were presented investigations in which Authors confirm the thesis that in industrial conditions and in the tested range, plasma power/current density has no effect on the case depth, when the other remaining nitriding parameters are kept constant.

**Keywords:** nitriding, plasma assisted nitriding, ion nitriding, plasma power density.

## index firm

ECOCLEAN	s.	20
ISCAR	s.	1, 8
ITM INDUSTRY EUROPE	s.	22, 42
LASERSTAL	s.	31
MITSUBISHI MATERIALS	s.	7
NARZEDZIOWNIA.ORG	s.	41
ODLEWNIA RAFAMET	s.	2
RENISHAW	s.	3
STALEO	s.	41
TEMREX	s.	52
TOOLEX Katowice	s.	50
STOM KIELCE	s.	11, 22
VOLLMER	s.	12

## recenzenci artykułów rocznika 2024

Lucjan Dąbrowski	Politechnika Warszawska
Andrzej Gołąbczak	emeryt, Politechnika Łódzka
Henryk Holka	emeryt, Bydgoska Szkoła Wyższa
Tomasz Lipiński	Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn
Tadeusz Mikołajczyk	Politechnika Bydgoska
Dariusz Ozimina	Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa
Norbert Radek	Politechnika Świętokrzyska, Kielce
Michał Styp-Rekowski	emeryt, Bydgoska Szkoła Wyższa
Maciej Woropay	Kujawska Szkoła Wyższa, Włocławek

# DIA EDGE

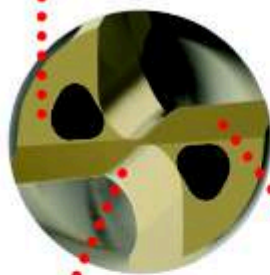
## WIERTŁA MINI DVAS

BEZKONKURENCYJNA WYDAJNOŚĆ

WIERTŁA PEŁNOWĘGLIKOWE DO WIERCENIA  
OTWORÓW O MAŁEJ ŚREDNICY

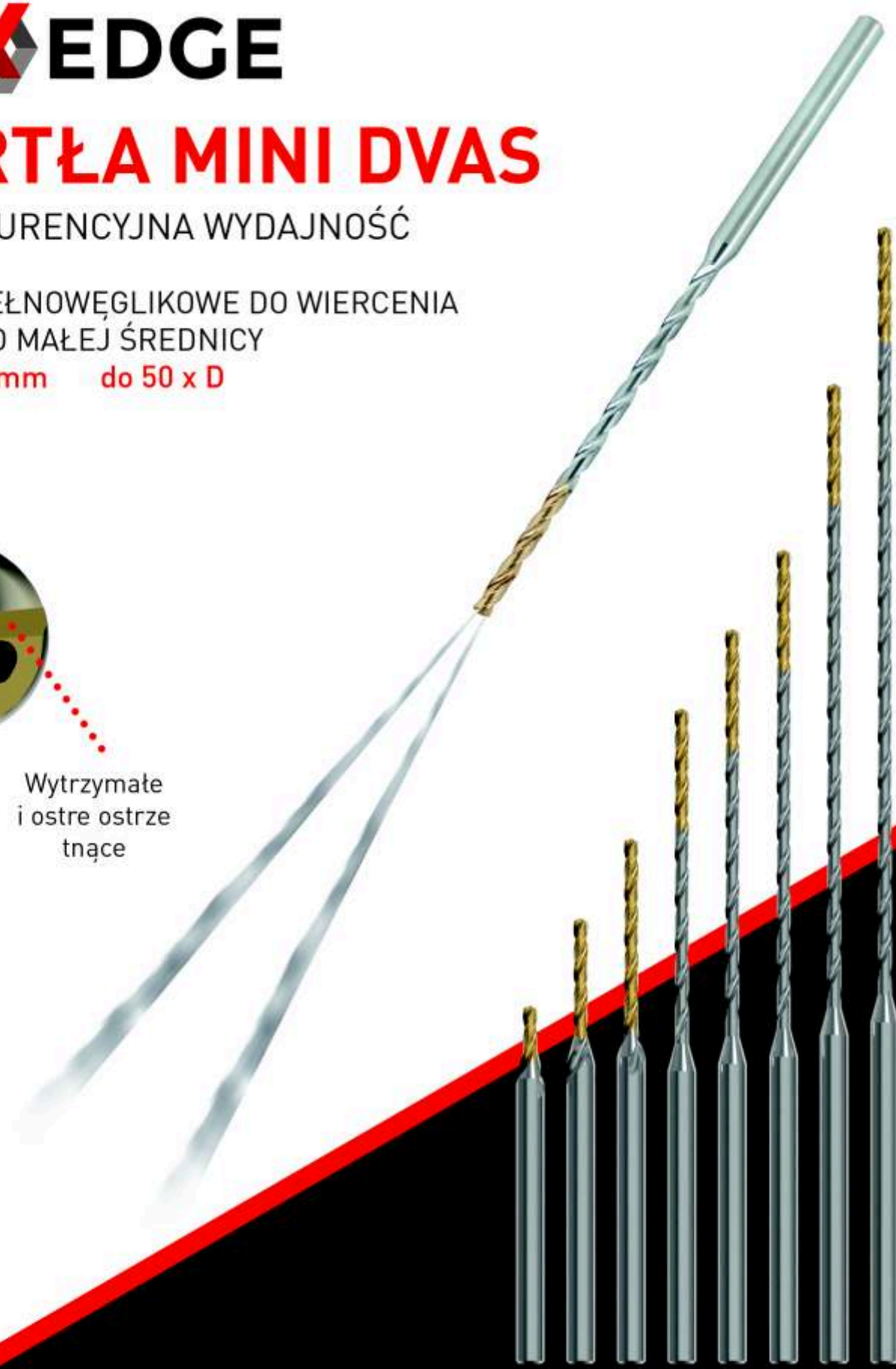
Ø1.0 ~ Ø2.9 mm do 50 x D

Otwór  
chłodzący



Szlif  
krzyżowy XR

Wytrzymałe  
i ostre ostrze  
tnące



**B267**

[www.mhg-mediastore.net](http://www.mhg-mediastore.net)

[www.mmc-carbide.com](http://www.mmc-carbide.com)

 **MITSUBISHI MATERIALS**

Tworzenie dobrych narzędzi dla innych ludzi  
daje ogromną satysfakcję  
(Freeman Dyson)



## Szybkie wykonywanie otworów

Przyjęta przez firmę ISCAR na przełomie wieków koncepcja wiertel składanych z wymienną głowicą z węgliką spiekanego znacząco zmieniła schemat produktów firmy przeznaczonych do wykonywania otworów. W koncepcji tej precyzyjna, węglkowa głowica mocowana jest samozaciskowo do stalowego korpusu, bez używania dodatkowych elementów mocujących, jedynie z wykorzystaniem mechanizmu elastycznego odkształcania korpusu. To charakterystyczne rozwiązanie znane jest z wielu udanych produktów firmy ISCAR, np. linii SELF-GRIP czy MULTI-MASTER, które nie tylko znacznie poprawiły wydajność obróbki mechanicznej, ale również zrewolucjonizowały tradycyjne spojrzenie na projektowanie narzędzi.

Węglkowa głowica ma specjalnie ukształtowaną powierzchnię natarcia, aby zoptymalizować spływ wióra, obszar centralny zapewniający wysoką dokładność obróbki oraz stopery odpowiedzialne za prawidłowe i bezpieczne mocowanie w korpusie wiertła. Wykonany z wysokiej jakości stali korpus wiertła charakteryzuje się innowacyjnym kształtem gniazda pod głowicę wierzącą, skrętnymi rowkami wiórowymi oraz wewnętrznymi kanałami doprowadzającymi chłodziwo. Wszystko to stało się możliwe dzięki postępowi technicznemu, zwłaszcza w dziedzinie metalurgii proszków oraz obróbce CNC.

**Koncepcja wiertel składanych z wymienną węglkową głowicą ma kilka kluczowych zalet:**

❶ Dzięki wytrzymałej i sztywnej konstrukcji, niezawodnemu mocowaniu głowicy, unikalnej geometrii oraz zaawansowanemu gatunkowi węgliku wiertła gwarantują dużą produktywność, znaczącą redukcję czasów cykli oraz wysoką jakość wykonywanych otworów. Wiertła można wykorzystać do wiercenia w różnych materiałach, takich jak: stале, stале nierdzewne, żeliwa, tytan i stopy wysoko temperaturowe.

❷ Wysoka powtarzalność mocowania i zasada ISCAR „no-setup time” (bez czasów przebrożeń) sprawiają, że zużytą głowicę można wymienić bez wyciągania wiertła z wrzeciona

Rodzina SUMOCHAM (rys. 1)





## Nowy korpus z wymienną 3-ostrzową głowicą



### Rodzina LOGIQUICK (2)

obrabiarki, co eliminuje dodatkowe czasy ustawiania narzędzi, a tym samym przestoje maszyny. Łatwa wymiana głowicy wiercącej czyni wiertło prostym w obsłudze.

- ③ Wiertła są dostępne w szerokim zakresie średnic oraz długości, aby sprostać różnym aplikacjom.
- ④ Możliwość wymiany samych głowic wierzących eliminuje konieczność posiadania dużego zapasu wiertel.

Wiertła firmy ISCAR z wymienną, węglową głowicą pozwalają na podniesienie rentowności operacji wiercenia. W ciągu minionych 20 lat przeszły one znaczące przemiany. Poczynając od rodziny CHAMDRILL, ich koncepcja była nieustannie udoskonalana. Dzisiejsza rodzina SUMOCHAM (rys. 1) to najpopularniejsza linia wiertel z wymienną głowicą, ceniona przez klientów. Ciągłe poszukiwania sposobu zwiększenia wydajności wiercenia, zwłaszcza materiałów dających krótki wiór, zaowocowało powstaniem nowej rodziny wiertel 3-ostrzowych LOGIQ-3-CHAM, wykorzystującej tę samą zasadę samozaciskowego mechanizmu mocowania głowicy wiercącej.

Rozwój firmy ISCAR w dziedzinie wiertel z wymiennymi głowicami trwa. Nie dziwi więc fakt, iż wraz z najnowszą kampanią narzędziową LOGIQUICK zaprezentowano innowacyjne produkty, które nie tylko rozszerzają istniejące

rodziny produktów, ale również torują drogę do nowych zastosowań.

Nowy korpus z wymienną 3-ostrzową głowicą pozwala wiercić na głębokość  $10 \times D$  (rys. 2). Jego kluczową cechą jest specyficzny kształt rowków wiórowych, w minimalny sposób wpływający na strukturalną sztywność narzędzia.

Kolejną innowacją jest rozszerzenie rodziny LOGIQ-3-CHAM o głowice do pogłębiania. Specjalnie zaprojektowane 3-ostrzowe głowice (rys. 3) są moco-

wane do istniejących korpusów, zmieniając je w wysoko wydajne narzędzia do pogłębiania. Unikalne cechy głowic do pogłębiania – takie jak faza na narożu, specjalne deflektory do lepszego formowania wióra, unikalna tyśinka do lepszego prowadzenia narzędzia – w znaczący sposób zwiększają produktywność przy skrawaniu takich materiałów, jak: klejące się stale, stale nierdzewne, stopy wysokotemperaturowe (HTSA). Konstrukcja głowicy umożliwia realizowanie szerokiego zakresu operacji pogłębiania, zapewniając wysoką jakość wykonywanych otworów, nawet przy przecinających się otworach lub skośnych powierzchniach.

Wiertła BEAM DRILL to nowa linia narzędzi z wymiennymi głowicami do wiercenia otworów. Rodzina wprowadzona jako część kampanii LOGIQUICK dostarcza rozwiązania do obróbki stalowych profili budowlanych. Wiercenie profili często odbywa się w mało korzystnych warunkach. Prawdziwym wyzwaniem dla producentów narzędzi jest na przykład brak sztywności układu. Rozwiązaniem problemu jest dostarczenie narzędzia z odpowiednią geometrią adaptacyjną, która zrekompensuje braki sztywności.

Najnowsza linia narzędziowa firmy ISCAR, przeznaczona do wiercenia pro-

## 3-ostrzowa głowica do pogłębiania



### Rodzina LOGIQ-3-CHAM (3)



## MULTI-MASTER

Nowy korpus  
wiertła  
ze złączem (4)

fili, zawiera nowe, dwuostrzowe, wymienne głowice wierzące oraz wzmocnione stalowe korpusy wiertel. Głowicę cechują samocentrująca geometria stabilizująca pracę narzędzia oraz ostre naroża redukujące grat wypychany z otworu. Wytrzymała, wzmocniona konstrukcja korpusu wiertła maksymalizuje dynamiczną stabilność przy wierceniu do głębokości 8×D.

Nowe korpusy wiertel ze złączem MULTI-MASTER z wymiennymi głowicami łączą zalety dwóch udanych rodzin narzędzi: SUMOCHAM oraz MULTI-MASTER (rys. 4). Wiertła te są częścią wszechstronnego, modularnego systemu, który umożliwia montaż głowic wierzących na szerokiej gamie narzędzi

MULTI-MASTER, co ułatwia nie tylko szybką wymianę głowic, ale także korpusów wiertel. Ponadto modułowa koncepcja ułatwia konfigurację i zapewnia elastyczność pod względem optymalnej długości całkowitej oraz średnicy narzędzia.

Innowacje w dziedzinie wykonywania otworów przedstawione w kampanii LOGIQUICK to nie tylko wiertła z wymiennymi głowicami. Warto wspomnieć również o kilku innych produktach. Jednym z nich są trzyostrzowe wiertła VHM z płaskim czołem, z wewnętrznymi kanałami doprowadzającymi chłodziwo. Wiertła mają mały czubek na czole poprawiający prowadzenie narzędzia w otworze, zakrzywiony kształt

krawędzi skrawającej poprawiający kontrolę wióra, zoptymalizowany rdzeń w celu zapewnienia jak największej sztywności oraz optymalnie dobraną szerokość łysinek, aby zredukować tarcie i uzyskać odpowiednią jakość powierzchni. W połączeniu z wewnętrznym doprowadzeniem chłodziwa wydłuża to trwałość narzędzia i poprawia odprowadzenie wiórów. Wspomniane atrybuty pozwalają obiecująco patrzeć na perspektywy rozwoju tej linii produktów.

Z kolei w linii wytaczania pojawiła się nowa seria głowic wytaczarskich z bardzo dokładnym, cyfrowym systemem regulacji, które zastąpią starszej generacji cyfrowe głowice ze złączem MB. W linii frezarskiej natomiast portfolio zostało rozszerzone o nową rodzinę QUICK-D-MILL – multifunkcyjny frez na wymienne płytki. Te uniwersalne frezy „wszystko w jednym” są przeznaczone do szerokiego zakresu aplikacji obejmujących: frezowanie płaszczyzn, frezowanie przy ścianie, frezowanie kieszeni oraz wiercenie otworów z płaskim dnem.

Przegląd nowych produktów wskazuje na to, że koncentracja na wykonywaniu otworów w dalszym ciągu napędza firmę ISCAR do rozwoju. Jednocześnie branża obróbki metali nieustannie poszukuje rozwiązań zwiększających produktywność wiercenia. To wszystko sprawia, że ISCAR jest pewny, że najnowsze rozwiązania z tej dziedziny, zaprezentowane podczas kampanii narzędziowej LOGIQUICK, skutecznie spełnią oczekiwania branży. ■



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

tel. + 48 (32) 735 77 00 / fax + 48 (32) 735 77 01 / [iscar@iscar.pl](mailto:iscar@iscar.pl) / [www.iscar.pl](http://www.iscar.pl)



Więcej informacji u naszych lokalnych przedstawicieli:

<b>Białystok</b> 697 221 724	<b>Bielsko-Biała</b> 605 613 988 601 542 856	<b>Bydgoszcz</b> 661 961 116	<b>Elbląg</b> 603 784 606	<b>Gliwice</b> 663 774 603	<b>Jarocin</b> 665 912 277	<b>Kalisz</b> 693 339 246 693 658 717 723 610 041	<b>Kielce</b> 603 701 192	<b>Krotoszyn</b> 721 550 075	<b>Nowy Sącz</b> 721 348 885
<b>Krosno</b> 601 547 727	<b>Ostrów Wielkopolski</b> 697 440 251	<b>Poznań</b> 601 519 322	<b>Rzeszów</b> 723 610 041	<b>Sędziszów Małopolski</b> 607 469 114 697 550 780	<b>Stalowa Wola</b> 785 204 255	<b>Szczecin</b> 601 328 355	<b>Warszawa</b> 601 383 431	<b>Wrocław</b> 691 394 448 601 542 821 723 140 231	<b>Zawiercie</b> 603 780 920



**ST  
CM**

Salon Technologii  
Obróbki Metali

Marka  
sama w sobie!

**25-28 | 03 | 2025**

**#Lider targów przemysłowych!**



Już teraz pobierz  
bezpłatną wejściówkę





# Specjalne kształtowe narzędzia skrawające – technologie i nowoczesne rozwiązania

Współczesna obróbka skrawaniem wymaga narzędzi o najwyższej precyzji i wytrzymałości, zwłaszcza w przypadku skomplikowanych operacji frezowania, wiercenia czy toczenia. W odpowiedzi na rosnące wymagania przemysłu powstają specjalne kształtowe narzędzia skrawające, które umożliwiają realizację najbardziej zaawansowanych procesów obróbczych. Nowoczesne technologie, takie jak projektowanie narzędzi w oprogramowaniu NUMROTO oraz zastosowanie szlifierek pięcioosiowych, pozwalają osiągnąć niezrównaną jakość i efektywność produkcji.

## Technologie produkcji specjalnych kształtowych narzędzi skrawających

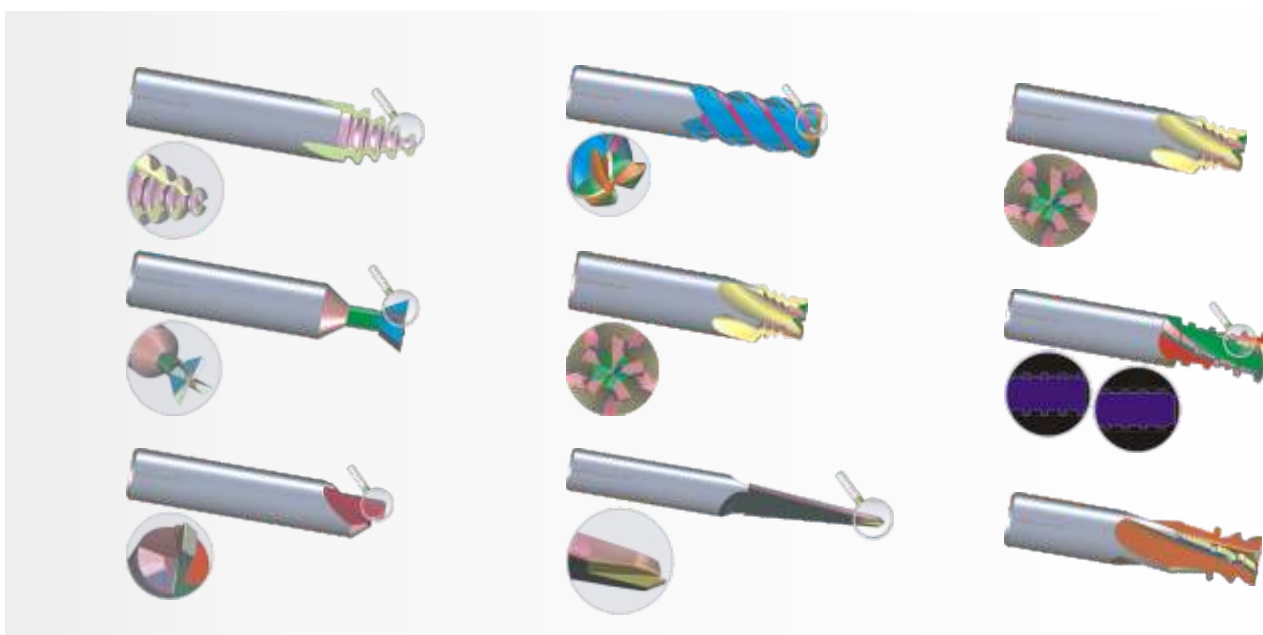
Specjalne kształtowe narzędzia skrawające to często narzędzia wykonywane na zamówienie, dostosowane do indywidualnych potrzeb użytkownika. Ich pro-

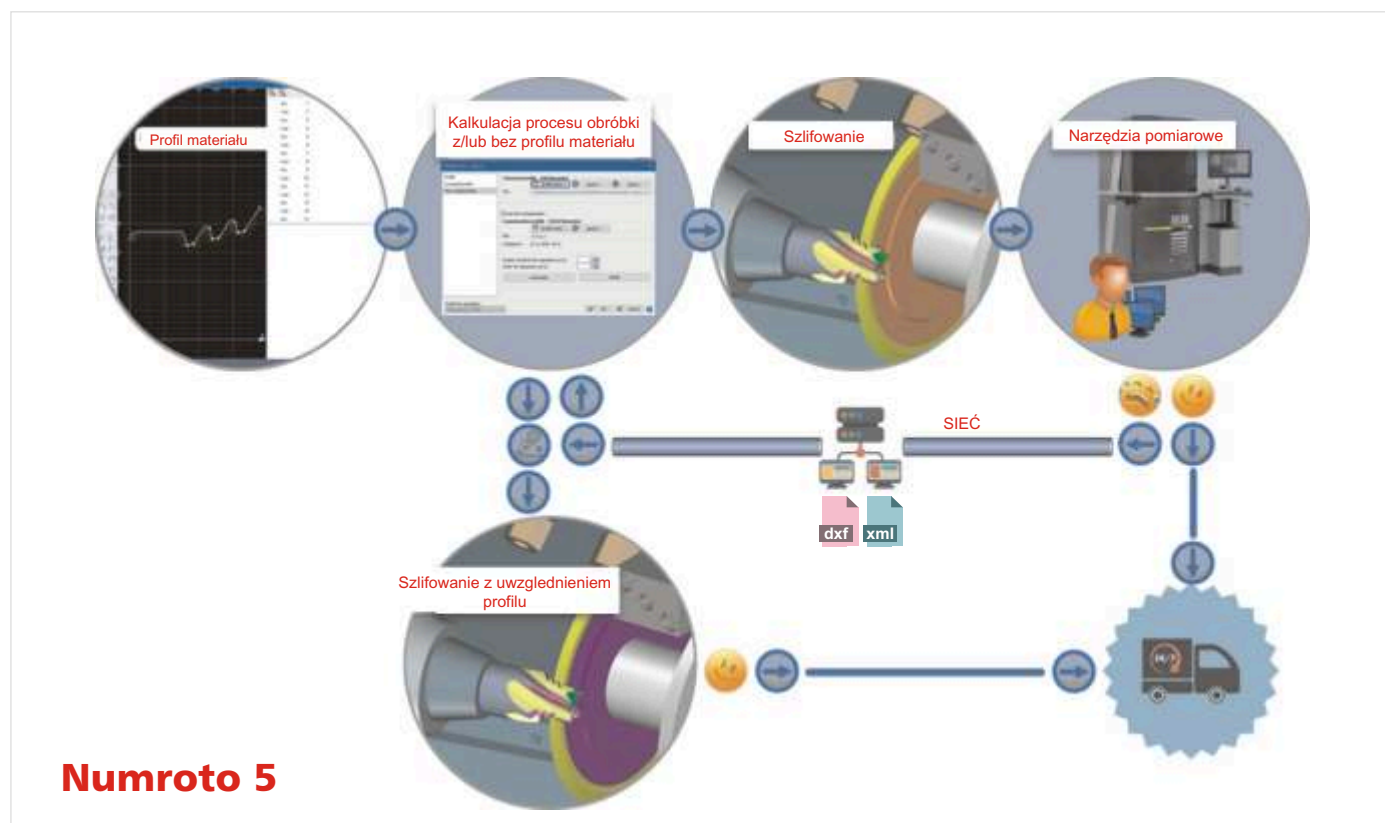
dukcja wymaga zaawansowanych technologii, które pozwalają uzyskać skomplikowane geometrie oraz zapewniają wysoką trwałość narzędzia. Kluczowe technologie stosowane w procesie produkcji obejmują:

**Szlifowanie CNC** – nowoczesne szlifierki numeryczne umożliwiają precyzyj-

ne formowanie krawędzi tnących oraz nadawanie skomplikowanych kształtów narzędziom.

**Obróbka elektroerozyjna** – stosowana w produkcji narzędzi z węgla spiekanego i innych twardych materiałów, pozwala uzyskać skomplikowane kontury.





Źródło: materiały własne

**Powlekanie narzędzi** – zastosowanie powłok PVD i CVD zwiększa trwałość narzędzia oraz jego odporność na zużycie i wysokie temperatury.

**Projektowanie wspomagane komputerowo (CAD/CAM)** – umożliwia precyzyjne zaprojektowanie narzędzi jeszcze przed ich produkcją, co redukuje czas wprowadzania nowych narzędzi do użytku.

### NUMROTO – nowoczesne oprogramowanie do projektowania i szlifowania narzędzi

NUMROTO to jedno z najbardziej zaawansowanych oprogramowań stosowanych w produkcji specjalnych kształtowych narzędzi skrawających. Program ten oferuje kompleksowe możliwości projektowania, symulacji oraz kontroli jakości narzędzi, co pozwala na osiągnięcie wysokiej precyzji i powtarzalności produkcji.

Do kluczowych zalet NUMROTO należą:

**Modelowanie 3D narzędzi** – użytkownik może zaprojektować narzędzie w wirtualnym środowisku, co eliminuje błędy przed rozpoczęciem produkcji.

**Symulacja obróbki** – pozwala sprawdzić, jak narzędzie zachowa się w rze-

czywistych warunkach pracy, co ogranicza ryzyko wad produkcyjnych.

**Automatyczne generowanie ścieżek narzędziowych** – program dobiera optymalne parametry szlifowania, co zwiększa efektywność i dokładność procesu.

**Integracja z szlifierkami CNC** – NUMROTO współpracuje z wieloma nowoczesnymi szlifierkami, zapewniając płynną wymianę danych i precyzyjne wykonanie narzędzi.

### Doskonałe rozwiązanie dla produkcji specjalnych narzędzi skrawających – szlifierka 5-osiowa Vollmer VGrind Argon

Jednym z najlepszych rozwiązań dla precyzyjnej produkcji specjalnych kształtowych narzędzi skrawających jest pięcioosiowa szlifierka Vollmer VGrind Argon. To zaawansowane technologicznie urządzenie oferuje najwyższą jakość szlifowania oraz wyjątkową efektywność pracy.





Dlaczego warto wybrać Vollmer VGrind Argon:

**Pięcioosiowa kinematyka** – maszyna umożliwia obróbkę narzędzi z różnych stron w jednym mocowaniu, co znacząco zwiększa precyzję i skraca czas produkcji.

**Dwa wrzeciona szlifierskie** – Vollmer VGrind Argon posiada unikalne rozwiązanie z dwoma wrzecionami umieszczo-

nymi na różnych poziomach, co pozwala na równoczesne szlifowanie dwóch różnych powierzchni narzędzia.

**Automatyzacja procesu** – możliwość zastosowania systemów załadunku i rozładunku narzędzi oraz automatycznej wymiany ściernic zwiększa wydajność i zmniejsza koszty produkcji.

**Integracja z NUMROTO** – pełna kompatybilność z oprogramowaniem

NUMROTO pozwala na płynną wymianę danych i precyzyjne odwzorowanie zaprojektowanych narzędzi.

**Wysoka jakość szlifowania** – zastosowanie zaawansowanych technologii chłodzenia i minimalizacji drgań pozwala na uzyskanie idealnie gładkich powierzchni narzędzi.

#### PODSUMOWANIE

Produkcja specjalnych kształtowych narzędzi skrawających wymaga stosowania najnowocześniejszych technologii, takich jak zaawansowane szlifierki CNC i oprogramowanie NUMROTO. Wybór odpowiedniej maszyny do produkcji jest kluczowy dla osiągnięcia najwyższej jakości i efektywności. Szlifierka Vollmer VGrind Argon, dzięki swojej pięcioosiowej kinematyce, podwójnemu wrzecionu oraz pełnej automatyzacji, stanowi jedno z najlepszych dostępnych rozwiązań na rynku, pozwalając na precyzyjne i efektywne wytwarzanie skomplikowanych narzędzi skrawających.

**Oferta VOLLMER** 25-28.03.2025 targi STOM TOOL Kielce, hala 1, stoisko 1-A12.

reklama

ZAPRASZAMY  
NA PRECYZYJNY PORTAL  
W BRANŻY OBRÓBK  
I PRZETWÓRSTWA METALU

[www.obrobkametalu.tech](http://www.obrobkametalu.tech)

OBRÓBKAMETALU  
PORTAL NAUKOWO-TECHNICZNY

ObrobkaMetalu.tech  
obrobkametalu.tech

# Automatyzacja produkcji poprzez zastosowanie wózków podnośnikowych z inteligentnymi systemami sterowania

ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, MACIEJ MATUSZEWSKI, MAŁGORZATA SŁOMION, OLEG POLISHCHUK \*

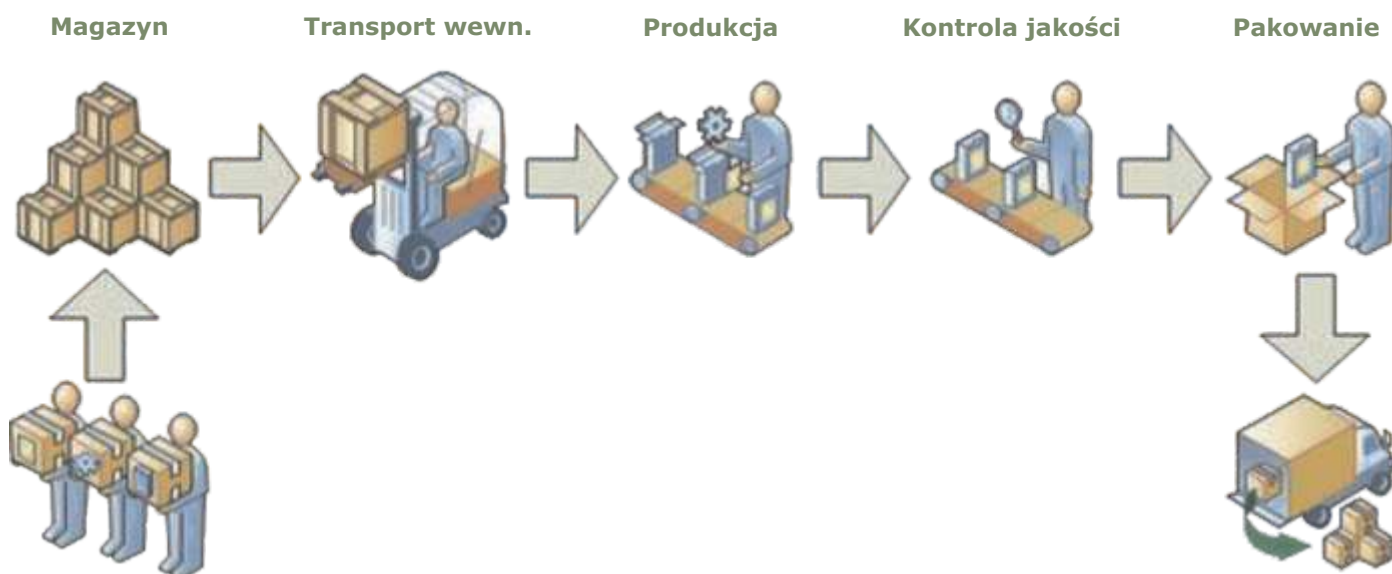
W artykule przeanalizowano automatyzację procesów produkcyjnych w zakresie transportu wewnętrznego stosowanego w przedsiębiorstwach produkcyjnych. W szczególności analizie poddano automatyczne systemy sterowania wózków wysokiego składowania. Przedstawiono typy wózków automatycznych oraz scharakteryzowano metody automatycznego sterowania tymi wózkami. Wskazano cechy charakterystyczne wózków AGV oraz AMR.

## WPROWADZENIE

Współcześnie, implementacja nowoczesnych rozwiązań technologicznych pozwala przedsiębiorstwom z różnych branż uzyskać przewagę konkurencyjną

poprzez budowanie silnej pozycji rynkowej. W struktury systemów produkcyjnych wprowadzane są coraz to bardziej innowacyjne metody, które mogą zwiększyć efektywność działalności, tworząc lepszy jakościowo pro-

dukt wraz z jednoczesną oszczędnością nakładów czasowych, jak również finansowych, związanych z wykorzystywanymi do produkcji zasobami. Opracowywanie wydajnych i efektywnych procesów produkcyjnych jest waż-



Rys. 1. Ogólny schemat funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych [1]

\* Mgr inż. Andrzej Wojciechowski – ODEKA, Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, Bydgoszcz, dr hab. inż. Maciej Matuszewski, dr inż. Małgorzata Słomion – Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania, prof. Oleg Polishchuk – Narodowy Uniwersytet Techniczny, Chmielnicki, Ukraina.

ne, ponieważ mają one bardzo duży wpływ na wyniki biznesowe przedsiębiorstwa. Na rysunku 1 przedstawiono ogólny schemat funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych. Efektem ich działalności jest produkt finalny o określonej wartości użytkowej [1, 7].

W celu optymalnego organizowania przebiegu czynności realizowanych w procesach produkcyjnych powszechnie stosuje się automatyzację procesów produkcyjnych, która jest następnym w kolejności etapem po mechanizacji industrialnej. Automatyzacja procesów w zakresie produkcji, logistyki czy ogólnie pojętego przemysłu to wynik wciąż pojawiających się i rosnących potrzeb związanych z rozwojem technologicznym w skali globalnej. Przedsiębiorstwa, którym zależy na wysokiej pozycji konkurencyjnej oraz rozpoznawalnej marce w danej branży muszą sprawnie implementować innowacyjne rozwiązania w swoje systemy produkcyjne [1, 3, 4]. W artykule przeanalizowano automatyzację procesów produkcyjnych w zakresie transportu wewnętrznego stosowanego w przedsiębiorstwach produkcyjnych. W szczególności analizie poddano automatyczne systemy sterowania wózków wysokiego składowania.

## OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WÓZKÓW PODNOŚNIKOWYCH

Podstawowym środkiem transportu wewnętrznego o ruchu przerywanym i o ograniczonym zasięgu, służącym do pionowego i poziomego transportu ładunku, jest wózek transportowy, a w szczególności wózek jezdniowy podnośnikowy. Dzięki elementom roboczym takim jak: widły, platforma, bądź inny element służący do manipulacji ładunkiem, wózki te umożliwiają pobieranie i składowanie towaru, a transport odbywa się w pionie i poziomie. Umożliwiają również unoszenia ładunku na bardzo duże wysokości. Rozładunek i załadunek odbywa się samoczynnie, za pomocą mechanizmu podnoszenia [2, 5, 6].

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wózek czołowy, który jest najczęściej wykorzystywanym i spotykanym rodza-

jem wózków podnośnikowych w przemyśle.

Na rysunku 3 przedstawiono natomiast przykład wózka wysokiego składowania.

Jak już wskazano, w celu zwiększenia wydajności, efektywności i bezpieczeństwa procesów, wielu przedsiębiorców wprowadza nowe zautomatyzowane rozwiązania w obszarze transportu wewnętrznego. Szacuje się, że jeden zautomatyzowany wózek odpowiada nawet czterem etatom. Organicznie operatorów i wprowadzanie samojezdnych wózków podnośnikowych poprawia wydajność i pewność przebiegu całego procesu. Zautomatyzowane wózki podnośnikowe zmniejszają ryzyko popełnienia błędów przez operatorów. Dzięki zastosowaniu coraz nowszych technologii informatycznych, wózki potrafią wykryć i zidentyfikować przeszkody. Wózki te są bezkolizyjne i bardzo bezpieczne. Koszt eksploatacji



Rys. 2. Wózek czołowy podnośnikowy czterokołowy spalinowy z dachem [14]

## AUTOMATYCZNE SYSTEMY STEROWANIA WÓZKÓW WYSOKIEGO SKŁADOWANIA

Na świecie istnieje bardzo dużo rodzajów automatycznych systemów sterowania wózkami podnośnikowymi. Mają zazwyczaj podobne funkcje, natomiast różnią się nazwą. Zautomatyzowane wózki AGV z angielskiego (*Automated Guided Vehicle*), zostały już wprowadzone w latach 50 XX wieku. Wraz z rozwojem technologii pojawiły się różne rodzaje i typy wózków, które różnią się od siebie metodą nawigacji jak i sposobem transportu i podejmowania ładunków. System AGV stanowi podstawę technologii automatyzacji. Wraz z rozwojem technologii cyfrowych, powstawały nowe typy urządzeń, lecz wszystkie wózki samojezdne (bez operatora), zostały nazwane wózkami AGV (rys. 4).

Dodatkowo, producenci wózków wprowadzają swoje dodatkowe nazewnictwo służące do określenia ich specy-



Rys. 3. Wózek wysokiego składowania z masztem wysuwającym [12]

wózków automatycznych jest o wiele mniejszy niż wózków konwencjonalnych. Automatyczne wózki przeliczają i dostosowują najszybszą trasę przejazdu. Dostosowują odpowiednią prędkość jazdy. Dzięki temu zmniejsza się zużycie potrzebnej energii przez rzadsze ładowanie akumulatorów. Dzięki ograniczeniu ilości pracowników można zmniejszyć zużycie mediów [5, 8].

ficznych właściwości. Poniżej wymieniono stosowane typy wózków w ramach technologii automatycznych wózków AGV [11]:

**AMR** (*Autonomous Mobile Robot*) – automatyczne wózki mobilne,

**AGC** (*Automated Guide Carts*) – automatyczne wózki kierowane o małym prześwicie,





Rys. 4. Wózek typu AGV [12]

**UR (Under Ride)** – automatyczne wózki, które przewożą przedmioty nad sobą,

**Outdoor AGV** – automatyczne wózki stosowane na zewnątrz budynków,

**Tuger AGV** – automatyczne wózki służące do holowania,

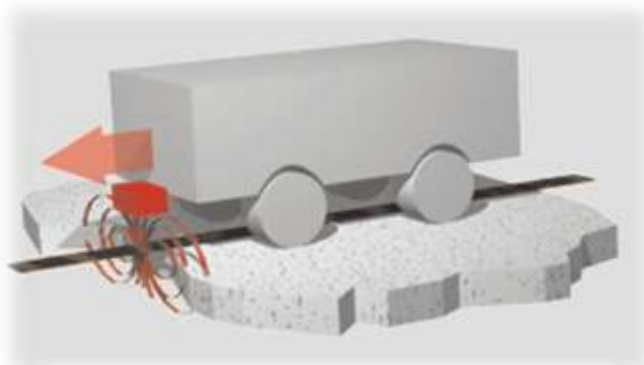
**AF (Automatic Forlift)** – automatyczne wózki widłowe:

– **FOPM AGV (Fork Over Pallet Mover)** – automatyczne wózki służące do transportu palet,

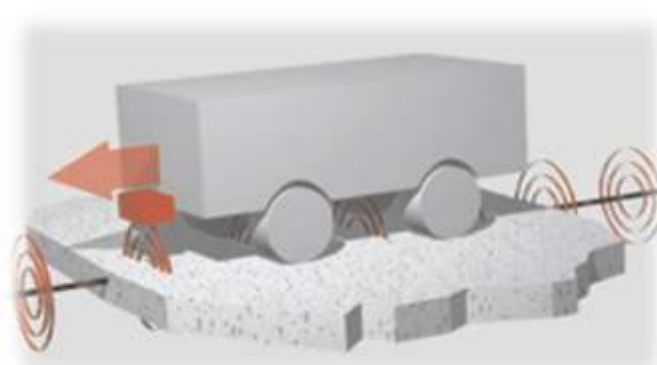
– **CB AGV (Counter Balanced)** – automatyczne wózki z przeciwwagą,

– **VNA (Very Narrow-Aisles)** – automatyczne wózki podnośnikowe stosowane w wąskich korytarzach i podnoszące ładunki na duże wysokości,

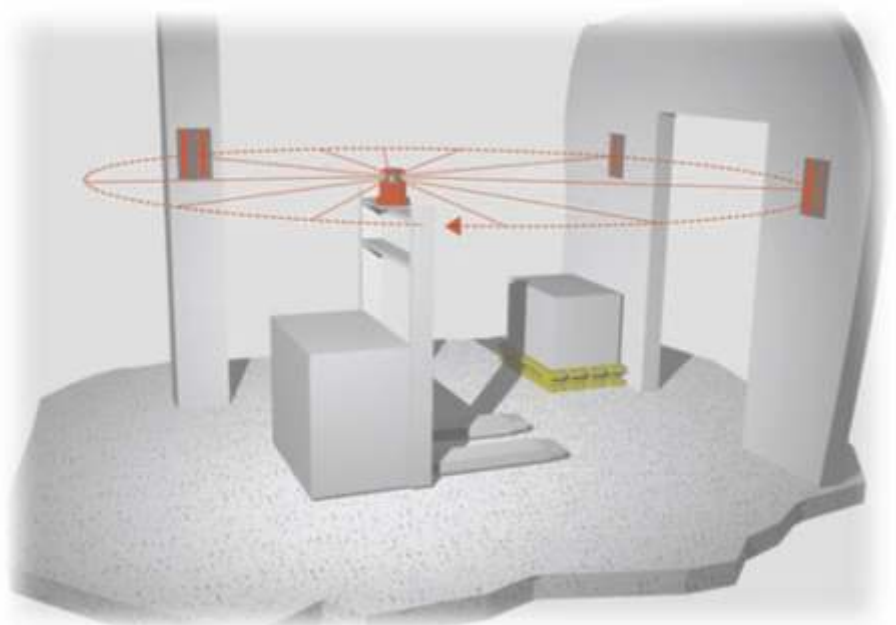
– **ART-Reach Truck AGV** – automatyczne wózki widłowe wysokiego składowania,



Rys. 5. Schemat działania nawigacji magnetycznej [9]



Rys. 6. Schemat działania nawigacji kablowej [9]



Rys. 7. Schemat działania nawigacji laserowej [9]

– **Straddle AGV** – automatyczne wózki widłowe z dwiema poziomymi nogami, które stabilizują wózek.

Po to, aby wózek mógł działać automatycznie stosuje się różne metody nawigacyjne, tj. [11]:

– nawigację magnetyczną,

– nawigację kablową (indukcyjną),

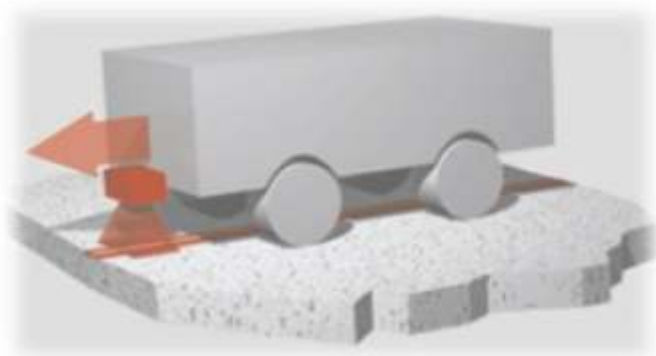
– nawigację laserową,

– nawigację optyczną,

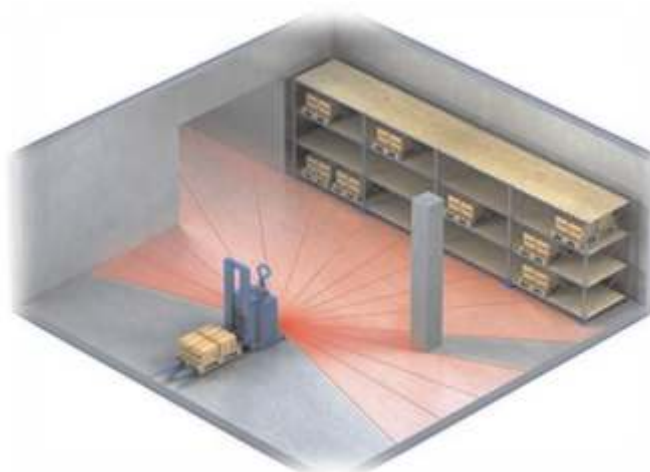
– nawigację naturalną AMR.

Nawigacja magnetyczna (rys. 5) jest metodą, w której wózek wyposażony jest w czujniki magnetyczne. W tej metodzie wózek wyczuwa obecność





Rys. 8. Schemat działania nawigacji optycznej [9]



Rys. 9. Schemat działania nawigacji naturalnej AMR [10]

pola magnetycznego i podąża po wyznaczonych pasach. Do wyznaczania trasy służy zamocowana do podłoża taśma magnetyczna. Dużą zaletą w stosowaniu tej metody jest szybki montaż i modyfikacja trasy przejazdu wózka [13].

Nawigacja kablowa (rys. 6) bazuje na umieszczonym przewodzie elektrycznym w korycie wykonanym w podłożu, który wyznacza trasę wózka. W przewodzie płynie prąd o określonej częstotliwości, który wytwarza pole magnetyczne. Wózek wyposażony jest w czujniki, które odbierają sygnał wysyłany

z przewodu umieszczonego w posadzce i zapewniają ruch wózka po wyznaczonej trasie [13].

Instalacja nawigacji laserowej (rys. 7) wyposażona jest w tarcze odbłyiskowe, które są umieszczane na: regałach, kolumnach, ścianach oraz nieruchomych płaszczyznach. Wózki bazujące na nawigacji laserowej wyposażone są w obrotowy skaner laserowy. Laser obraca się z dużą prędkością określając położenie wózka względem stałych punktów otoczenia wyznaczanych przez tarcze. Gdy wiązka lasera odbija się od tarczy, system nawigacyjny oblicza od-

ległość do tarczy i kąt odbicia. Położenie wózka ustalane jest przez porównanie uzyskanych danych z wcześniej utworzonym odwzorowaniem magazynu w formie cyfrowej mapy obiektu. Gdy wózek się porusza, system cały czas bada i ustala jego położenie, nawigując do miejsca przeznaczenia. Zaletą systemu jest łatwość modyfikowania trasy oraz duża precyzja sterowania [13].

Nawigacja optyczna (rys. 8) działa podobnie jak nawigacja magnetyczna. Na podłodze magazynu umieszczone są kolorowe taśmy lub malowane pasy refleksyjne. Optyka zamontowana w wózku odczytuje pasy na posadzce i tworzy stałą ścieżkę przejazdu wózka. Dużą zaletą w stosowaniu tej technologii jest prostota wykonania oraz możliwość szybkiej i łatwej modyfikacji trasy [13].

Nawigacja naturalna AMR (rys. 9), oparta jest o elementy środowiska. Jest to inteligentny system, który rozpoznaje i wykorzystuje punkty orientacyjne lub punkty odniesienia w magazynie, takie jak: regały, obiekty stałe i ściany, w celu obliczenia usytuowania wózka. Metoda ta tworzy wirtualną mapę przez skanery 2D i 3D umieszczone w wózku. Metoda jest dość tania lecz stosuje się je tylko tam, gdzie otoczenie pozostaje niezmiennie [11].

Wszystkie wózki, które wymagają oznaczenia fizycznej trasy nazywa się wózkami AGV, natomiast te które wykorzystują technologie naturalną nazywane są wózkami AMR. Wózki AMR nazywane są „inteligentnymi”, które posiadają zdolność pojmowania, rozumienia i nauki.

**AMR**  
**autonomiczne**  
**samojezdne**  
**inteligentne**

**mobilne**

**robot**

**AGV**  
**automatyczne**

**prowadzone / kierowane**  
**przez systemy**  
**(nie przez operatora)**

**wózek jezdniowy**  
**bez operatora**

Rys. 10. Porównanie technologii AMR oraz AGV [11]



Tabela 1. Porównanie cech charakterystycznych wózków AGV i wózków AMR [11]

	Cechy charakterystyczne wózków AGV	Cechy charakterystyczne wózków AMR
Nawigacja	Odbywa się jedynie po wcześniej zaprojektowanych i ułożonych fizycznych trasach. Dodatkowo istotne punkty charakterystyczne oznaczane są za pomocą kodów QR lub tagów RFID.	Wyposażone są w skanery 2D/3D, gdzie same tworzą mapę terenu na którym się poruszają. Używają nawigacji naturalnej, gdzie wiązka skanera odbija się od przedmiotów, słupów i ścian obliczając odległość i tworząc mapę terenu.
Wdrożenie	Wymaga instalacji punktów, linii i innych dodatkowych oznaczeń.	Wcześniejsze zmapowanie powierzchni na której wózek będzie się poruszać i wyznaczanie zadań za pomocą specjalnego oprogramowania.
Elastyczność	By zmienić trasę wózka wymagane jest przełożenie linii/punktów po których wózek się porusza.	Wózek dostosowuje się do otoczenia, zmienia trasę przejazdu, by ją samemu zoptymalizować. Operator szybko może sam zmienić trasę wózka na wirtualnej mapie i nie trzeba ingerować w przestrzeń fizyczną.
Responsywność	Wózki przemieszczają się jedynie po wyznaczonych trasach. Gdy napotkają przeszkodę jedynie się zatrzymują i czekają na jej usunięcie. Same nie zmieniają trasy przejazdu.	Wózki same identyfikują przeszkody zatrzymując się i omijając je jeśli jest to możliwe. Same przeliczają i dostosowują najlepszą trasę przejazdu.

Na rysunku 10 została porównana technologia AMR z technologią AGV [11].

W Tabeli 1 przedstawiono natomiast porównanie najważniejszych cech charakterystycznych inteligentnych wózków jezdniowych AMR z wózkami AGV.

Zarówno wózki AMR jak i AGV są bardzo bezpieczne, dzięki coraz to nowszym systemom złożonym z czujników, kamer oraz innemu dodatkowemu wyposażeniu. Wózki AGV przemieszczają się po wcześniej przygotowanej linii. Personel, który pracuje w pobliżu wie dokładnie gdzie może przemieszczać się wózek i jaka będzie dalsza reakcja. Gdy wózki napotkają przeszkodę nie uderzą w nią, tylko się zatrzymają do czasu usunięcia jej. Wózki z systemem AMR wyposażone są również w wiele systemów bezpieczeństwa. Oprócz zatrzymania się i uniknięcia kolizji mogą same omijać przeszkody, co poprawia efektywność pracy.

**PODSUMOWANIE**

W dzisiejszych czasach coraz więcej przedsiębiorstw produkcyjnych wprowadza dużo innowacyjnych technologii dla poprawy bezpieczeństwa i rentowności firmy. Większość procesów może odbywać się całkowicie lub częściowo automatycznie bez udziału ludzi. Jednym z tego typu rozwiązań są automatyczne wózki wysokiego

składowania, gdzie cel ich wprowadzenia patrząc długoterminowo jest kluczowy dla poprawy opłacalności firmy. Ten rodzaj wózków po wcześniejszym zaprojektowaniu tras może automatycznie i bez ingerencji ludzi pobierać, przewozić i odstawić ładunki nawet w bardzo wąskich korytarzach, gdzie nie ma możliwości manewrowania wózkiem.

Automatyczne wózki podnośnikowe wysokiego składowania są bardziej dokładne i bezpieczniejsze podczas wykonywanych prac niż wózki konwencjonalne. Dodatkowo wzrasta wydajność transportu towarów, ponieważ ich trasy są wcześniej optymalnie projektowane.

**LITERATURA**

[1] Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. PWN Warszawa, 2002.  
 [2] Buczek K.: Wózki jezdniowe z napędem silnikowym – Poradnik Operatora. Wydawnictwo KaBe, Krosno 2019.  
 [3] Bujak A.: Rewolucja Przemysłowa – 4.0 i jej wpływ na logistykę XXI wieku. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 6/2017, s. 1338-1344.  
 [4] Grzywacz J., Jagodzińska-Komar E.: Koncepcja oraz korzyści z wprowadzenia czwartej rewolucji przemysłowej.

Zeszyty Naukowe PWSZ w Płocku. Nauki Ekonomiczne, nr 30, 2019.

[5] Halusiak S., Uciński J.: Transport Wewnętrzny. Zagadnienia wybrane. Wydaw. Politechniki Łódzkiej, Łódź 2014.  
 [6] Holka H., Jarzyna T., Matuszewski M., Styp-Rekowski M.: Wyposażenie logistyczne procesów wytwórczych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Bydgoskiej, Bydgoszcz 2022.  
 [7] Rokicki T.: Technologie transportu wewnętrznego – uwarunkowania techniczno-organizacyjne i ekonomiczne. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2020.  
 [8] Zieliński L., Wózki podnośnikowe w zakładzie. Wydawnictwo Mdruk, Warszawa 2017.  
 [9] www.goetting-agv.com/components  
 [10] www.mhlnews.com/new-products/article/22051550/natural-navigation-capability-for-agvs-new-products  
 [11] www.mobot.pl/arttykul/5095/agv-aiv-amr-sgv-czyli-o-co-chodzi-z-tym-nazewnictwem/  
 [12] www.promag.pl/Wozki\_wysokiego\_skladowania\_Reach\_Truck,9573.html  
 [13] www.rb-poland.com/systemy-agv/  
 [14] www.still.pl

# Ecoclean – pionierska technologia mycia dla wszystkich sektorów przemysłu

**Rozwiązania przeznaczone do mycia komponentów, które zapewniają jakość, wydajność i zrównoważony rozwój przy każdym zadaniu**

Żadna firma produkcyjna nie może dziś obejść się bez istotnego dla jakości etapu produkcyjnego, jakim jest mycie komponentów. We wszystkich gałęziach przemysłu muszą być spełnione nie tylko coraz bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie czystości komponentów, ale także w zakresie opłacalności i trwałości procesu mycia. Na targach STOM w Kielcach firma Ecoclean (stoisko 3-C02) wraz ze swoim polskim przedstawicielem RoTec Polska zaprezentuje asortyment produktów optymalnie dostosowany do tych wymagań. Dotyczy to na przykład wodnej maszyny myjącej EcoCube, która będzie zaprezentowana na żywo.

Niezależnie od tego, czy chodzi o komponenty dla przemysłu motoryzacyjnego i jego dostawców, inżynierię mechaniczną, technologię energetyczną i środowiskową, hydraulikę i pneumatykę, technologię napędów i połączeń, czy też inne sektory przemysłowe, części muszą być myte, aby zapewnić jakość kolejnych procesów, a także długotrwałe, bezproblemowe funkcjonowanie. I to niezależnie od technologii produkcji i materiału, z którego wykonane są części. Z jednej strony, coraz bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące czystości cząstek i warstw muszą być spełnione w sposób stabilny. Z drugiej, procesy mycia muszą oszczędzać energię i zasoby oraz być opłacalne. Jako dostawca kompleksowych usług w zakresie przyszłościowych, elastycznych i energooszczędnych rozwiązań do mycia komponentów przemysłowych, firma Ecoclean oferuje całe spektrum procesów mycia z użyciem mediów na bazie wody, rozpuszczalników i modyfikowanych alkoholi. Oznacza to, że procesy i systemy mycia, w tym najbardziej odpowiednie technologie procesowe i suszenia zarówno do mycia dużych partii części, jak



i pojedynczych, można bardzo skutecznie dostosować do wymagań specyficznych dla produktu i firmy. Uzupełnieniem tej kompleksowej oferty są innowacyjne technologie obróbki powierzchni na bazie wody, na przykład mycia i gratowania w jednym procesie. Producent posiada własne, wewnętrzne centra testowe umożliwiające optymalne zaprojektowanie procesu i określenie parametrów mycia.

Podczas tegorocznych targów STOM, które odbędą się w Kielcach w dniach 25–28 marca, producent we współpracy z wyłącznym polskim przedstawicielem, firmą RoTec Polska, przekaze informacje dotyczące szerokiego asortymentu, z którego na żywo zostanie zaprezentowana myjka EcoCube. Maszyna przeznaczona jest do skutecznego wodnego mycia detali o różnej geometrii w procesach dwuetapowych (mycie i płuka-



nie). Maszyna pracuje z dużą wydajnością przepływu zarówno podczas mycia, jak i płukania. Efekt myjący zastosowanego medium wspomagany jest rotacją detali w komorze roboczej.

Części suszy się gorącym powietrzem, bez ułatniania się pary. Zapewnia to optymalne rezultaty mycia przy dużej przepustowości. Jednocześnie dzięki swoim kompaktowym wymiarom myjka

spełnia wymagania wydajnej technologii mycia przy niewielkich wymaganiach przestrzennych.

Kolejnym tematem, który będzie poruszany na stoisku Ecoclean/RoTec, są przyszłościowe rozwiązania serwisowe, obejmuje to konserwację predykcijną, indywidualne koncepcje usług, analizy procesów i modernizację maszyn. Ponadto doświadczeni pracownicy udzielą informacji na temat sposobów zwiększenia efektywności energetycznej i wykorzystania zasobów, a także na temat cyfryzacji mycia komponentów. [www.ecoclean-group.pl](http://www.ecoclean-group.pl), [www.rotec.pl](http://www.rotec.pl)

System mycia natryskowego EcoCcube ułatwia rozpoczęcie skutecznego mycia komponentów z optymalnymi wynikami. Dzięki kompaktowym wymiarom można go łatwo zintegrować z produkcją.

Żadna firma produkcyjna nie może dziś obejść się bez istotnego dla jakości etapu produkcyjnego, jakim jest mycie komponentów. We wszystkich gałęziach przemysłu muszą być spełnione nie tylko coraz bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie czystości komponentów, ale także w zakresie opłacalności i trwałości procesu mycia. ■



**EcoCcube**  
EcoCcube

Źródło obrazu: Ecoclean

reklama

# Our Focus: Clean

WYDAJNE SYSTEMY CZYSZCZENIA I GRATOWANIA RÓŻNYCH CZĘŚCI I KOMPONENTÓW PRZEMYSŁOWYCH.

Odwiedź nas: STOM-Tool Kielce,  
Stoisko RoTec Polska | 3-C02  
[www.ecoclean-group.pl](http://www.ecoclean-group.pl)

**ECOCLEAN**  
*technology that inspires*

**SBS ECOCLEAN GROUP**  
**ECOCLEAN UCM MHITRAA**



# Przemysłowa Wiosna 2025 – to prawdziwy hit!

Kielecki Salon Technologii Obróbki Metali STOM, wraz z pozostałymi wydarzeniami każdego roku prezentuje się coraz bardziej okazale.

Po raz pierwszy w 2024 roku Przemysłowa Wiosna odbyła się w dodatkowej hali tymczasowej, tegoroczna edycja to już dwie dodatkowe hale. Wystawcy przygotowują niesamowitą ofertę dla targowych gości.

Zapraszamy do Targów Kielce



25 – 28 marca 2025!

Liczby opisujące tegoroczny STOM wraz z wydarzeniami towarzyszącymi robią wrażenia – 9 hal, 42.000 m kw powierzchni wystawienniczej, ponad 600 wystawców z 30 krajów oraz niezliczone ilości nowych technologii i rozwiązań. Jeżeli dodamy do tego kilkanaście merytorycznych prezentacji i konferencji to mamy równanie na udane targi przemysłowe.

Tradycją cyklu odbywającego się w kieleckim ośrodku wiosną jest również to, że wszystkie maszyny prezentowane są dynamicznie. Targi Kielce na cztery dni zmieniają się w ogromne hale produkcyjne. Co to oznacza? Szybko poruszające się roboty, spawanie, gięcie, cięcie różnymi technikami, prezentowane w bezpieczny sposób możliwości laserów – każdy kto choć raz odwiedził Przemysłową Wiosnę doskonale zna ten fascynujący „taniec maszyn”. Nie inaczej będzie w 2025 roku.

– Zgodnie z danymi Niemieckiego Stowarzyszenia Przemysłu Targowego AUMA jedno wystąpienie targowe przynosi firmie tyle samo korzyści co osiem podróży służbowych. Oznacza to oszczędność zarówno czasu, pieniędzy jak i zmniejszenie śladu węglowego. Wierzę, że wystawcy i zwiedzający tegorocznej edycji Przemysłowej Wiosny będą oceniać przez pryzmat samych korzyści – mówi Piotr Pawelec, dyrektor projektu STOM.

Dynamiczny rozwój technologii przemysłowych sprawia, że inteligentne roboty, zautomatyzowane linie produkcyjne oraz systemy sterowania stają się standardem w nowoczesnej fabryce. Wystawcy zaprezentują innowacyjne rozwiązania z zakresu robotyki przemysłowej, cobotów, automatyki sterującej i sztucznej inteligencji, które pozwalają zwiększyć efektywność, precyzję oraz bezpieczeństwo procesów produkcyjnych. Przemysłowa Wiosna to miejsce, gdzie branża spotyka się, by testować nowoczesne technologie i poznawać najnowsze kierunki rozwoju w dziedzinie automatyzacji.





# Przemysłowe azotowanie jonowe elementów ze stali stopowej mikro TMS 80 przy różnych gęstościach mocy plazmy

EDWARD ROLIŃSKI, CHAD CLARK, MIKEL WOODS \*

W artykule przedstawiono badania, w których Autorzy potwierdzają tezę, że w warunkach przemysłowych i w badanym zakresie gęstość mocy plazmy/prądu nie ma wpływu na głębokość warstwy azotowanej, w przypadku gdy pozostałe parametry azotowania są utrzymywane na stałym poziomie.

## Wstęp

Kontrola procesu azotowania jonowego jest zazwyczaj oparta na temperaturze przedmiotu obrabianego, składzie mieszanki gazowej, ciśnieniu gazu, czasie azotowania, szybkości przepływu gazu, częstotliwości plazmy i współczynniku wypełnienia. Wiadomo również, że gęstość plazmy może mieć wpływ na grubość warstwy azotowanej, a w szczególności na strefę związku utworzoną na powierzchni [2÷7]. Jednak parametry plazmy, takie jak moc lub gęstość prądu, nie mogą być uważane za wartości, które można łatwo kontrolować podczas regularnego przetwarzania komercyjnego wsadu. Publikowane wyniki uzyskiwane były raczej w badaniach laboratoryjnych a nie przemysłowych. Literatura na ten temat jest raczej ograniczona i niejednoznaczna. A. Marciniak zbadał natomiast układy ścianek zimnych i wpływ gęstości mocy w zakresie od 0,61 do 1,16 W/cm<sup>2</sup> na głębokość ekranu i grubość strefy azotowanej w stali Nit135M i 3% Cr i doszedł do wniosku, że nie ma to wpływu na wyniki azotowania [5]. J. Conybear i B. Edenhofer przetestowali ten sam problem w układzie ze ścianką gorącą przy gęstości mocy od 0,23 do 0,87 W/cm<sup>2</sup>, wykazując, że większa gęstość mocy powoduje zwiększenie grubości strefy w kilku stalach, w tym AISI 4140. Nie podano szczegółów dotyczących głębokości ekranu, ale wspomniano, że ten czynnik nie ma istotnego wpływu [1].

W zastosowaniach przemysłowych gęstość mocy jest zróżnicowana w zależności od systemu i zależy od wartości obciążenia, gęstości materiału, jego struktury, a także od trybu azotowania. W systemach bez dodatkowego ogrzewania – tak zwanych naczyńach o zimnych ścianach, gęstość

mocy można jednak kontrolować w bardzo ograniczonym zakresie, stosując tryb z wyłączonymi ekranami katody lub tryb z włączonymi ekranami katody.

Można spodziewać się, że sposób dostarczania ciepła do katody może mieć wpływ na powstawanie aktywnych form azotowych reagujących z katodą. Bilans cieplny można zapisać w następująco:

$$Q_c = Q_G + Q_{SR}$$

gdzie:

$Q_c$  – ciepło dostarczone do katody,

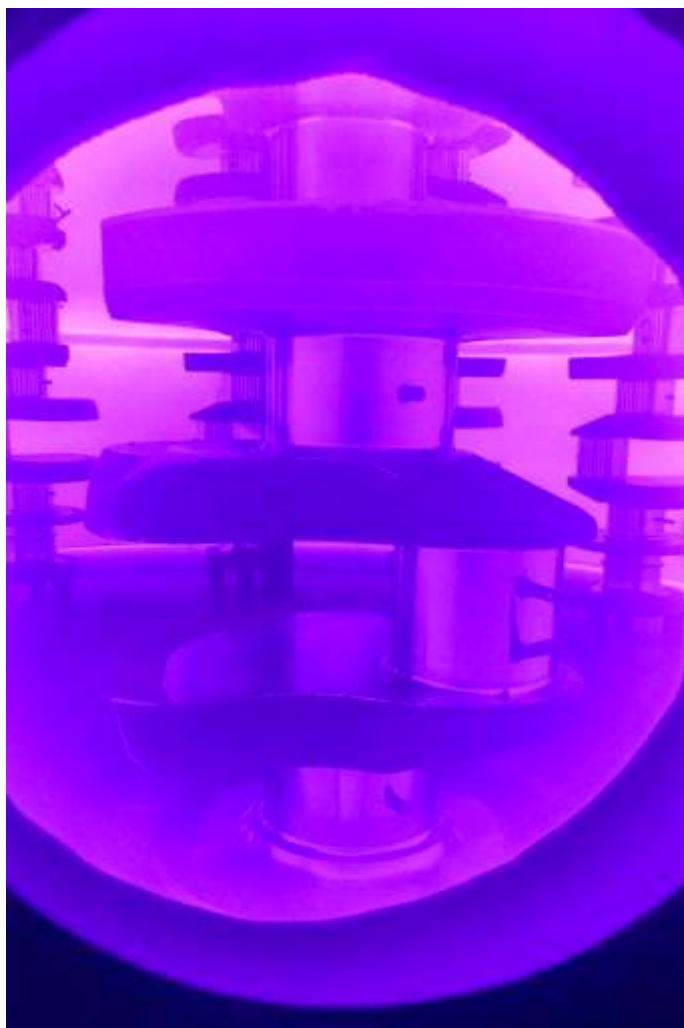
$Q_G$  – ciepło jarzenia plazmy

$Q_{SR}$  – ciepło promieniowania osłony.

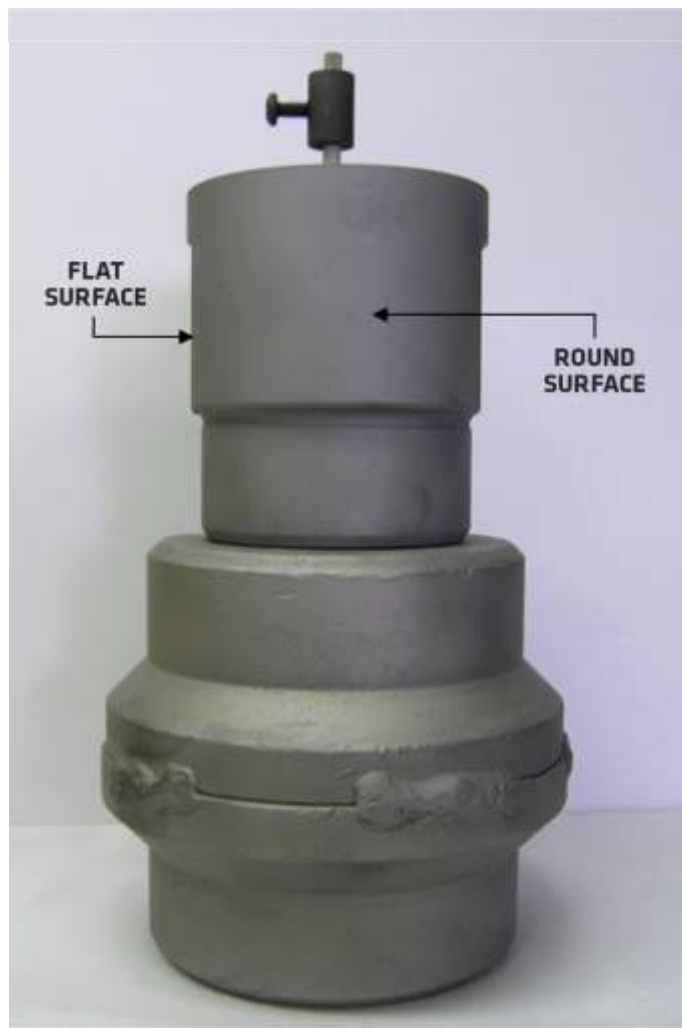
Tworzenie się aktywnych form cząstek azotu w wyniku wyładowania jarzeniowego, takich jak: jony  $N_2^+$ ,  $N_xH_y^+$ , aktywne atomy azotu, a także cząsteczki  $NH_3$ , zależy od jego gęstości. Ponadto, ciepło dostarczane do katody bezpośrednio z plazmy  $Q_G$ , jest większe gdy dodane jest znaczące promieniowanie z osłon  $Q_{SR}$ . Większa intensywność wyładowania jarzeniowego na katodzie może dlatego zwiększyć ilość aktywnych cząstek azotu, co skutkuje grubszą strefą związku (strefą dyfuzji). Typowe ogrzewanie i azotowanie w systemie zimnej ściany wyposażonym w osłony katodowe pokazano na rysunku 1.

\* Edward Roliński, Chad Clark, Mikel Woods – Advanced Heat Treat Corporation, Monroe, Michigan, USA.





Rys. 1: Podgrzewanie wstępne obciążonych wałów korbowych z ekranami katody



Rys. 2: Układ próbki wraz z ceramiką i rozdzielaczem

Głównym celem prezentowanych badań było sprawdzenie wpływu gęstości mocy na wyniki azotowania w poniższych dwóch trybach:

- ekrany katodowe wraz z podstawą zdejmowane są do azotowania jonowego w piecu przemysłowym – tylko baza,
- ekrany katody wraz z podstawą montowane są w piecu – baza i ekran.

### Badania doświadczalne

Eksperymenty przeprowadzono w stałych temperaturach: 499°C oraz 460°C w atmosferze o zawartości 20% azotu i 80% wodoru, przy ciśnieniu 346 Pa i czasie azotowania 48 godzin. Szczegóły narastania w obydwóch przypadkach były identyczne, a przetwarzanie przeprowadzono z częstotliwością 7,143 kHz. Eksperymenty przeprowadzono w dwóch trybach: tylko baza oraz baza i ekran. Warunki badań zestawiono w Tabeli 1.

Próbki użyte do eksperymentu były częścią wału korbowego produkcyjnego („nosa”), który jest wykonany z ulepszonej mikrostopowej stali TMS 80. Obie próbki były piaskowane przed każdym cyklem. Każda próbka miała otwór o tej

Tabela 1. Temperatura i gęstość mocy plazmy w eksperymentach azotowania jonowego

Wielkość	Ekran włączony		Ekran wyłączony	
	Temperatura katody, °C	499	460	499
Temperatura ekranu, °C	382	340	< 220	–
Gęstość mocy plazmy, W/cm <sup>2</sup>	0,4	0,3	0,6	0,5

samej głębokości 30,8 mm na termoparę, jak pokazano na rysunku 2.

Szczególną uwagę poświęcono upewnieniu się, że próbki i ich układ w naczyniu były identyczne we wszystkich testach i że jedyną różnicą między obiema grupami testów była różnica w gęstości mocy. Analiza danych z przebiegu potwierdziła, że oba eksperymenty były realizowane w lustrzanych warunkach.

Obie próbki pocięto w obszarze końca termopary i zbadano metalograficznie. W każdej próbce przetestowano dwa obszary: jeden określany jako płaska powierzchnia (*flat*

surface), a drugi – jako powierzchnia okrągła (round surface) – rys. 2. Mikrotwardość sprawdzono przy użyciu wgłębnika Knoopa i obciążeniu 200 G. W celu uzyskania lepszej wiarygodności statystycznej badań, w testowaniu każdej próbki brało udział dwóch techników. Dane dla każdej próbki przedstawiono na wykresach – rys. 3÷6, opracowanych przy użyciu programu statystycznego *TableCurve2D*. Do wykreślenia wszystkich wykresów użyto tego samego równania dopasowania krzywej: 8090 (*Asym Sigmoid*). Do wykreślenia przedziałów ufności i predykcyjnych, na wykresach zastosowano 95-procentowy poziom ufności statystycznej. Przedział ufności to obszar między dwiema niebieskimi liniami i dotyczy on oszacowania funkcji dopasowania. Przedział predykcji to obszar między dwiema różowymi liniami i dotyczy on danych. Całkowitą głębokość obudowy określono, stosując kryterium twardości rdzenia powiększone o 50 HK 0,2 w oparciu o profil twardości obliczony z równania najlepiej dopasowanego do danego zestawu danych.

**Wyniki badań i dyskusja**

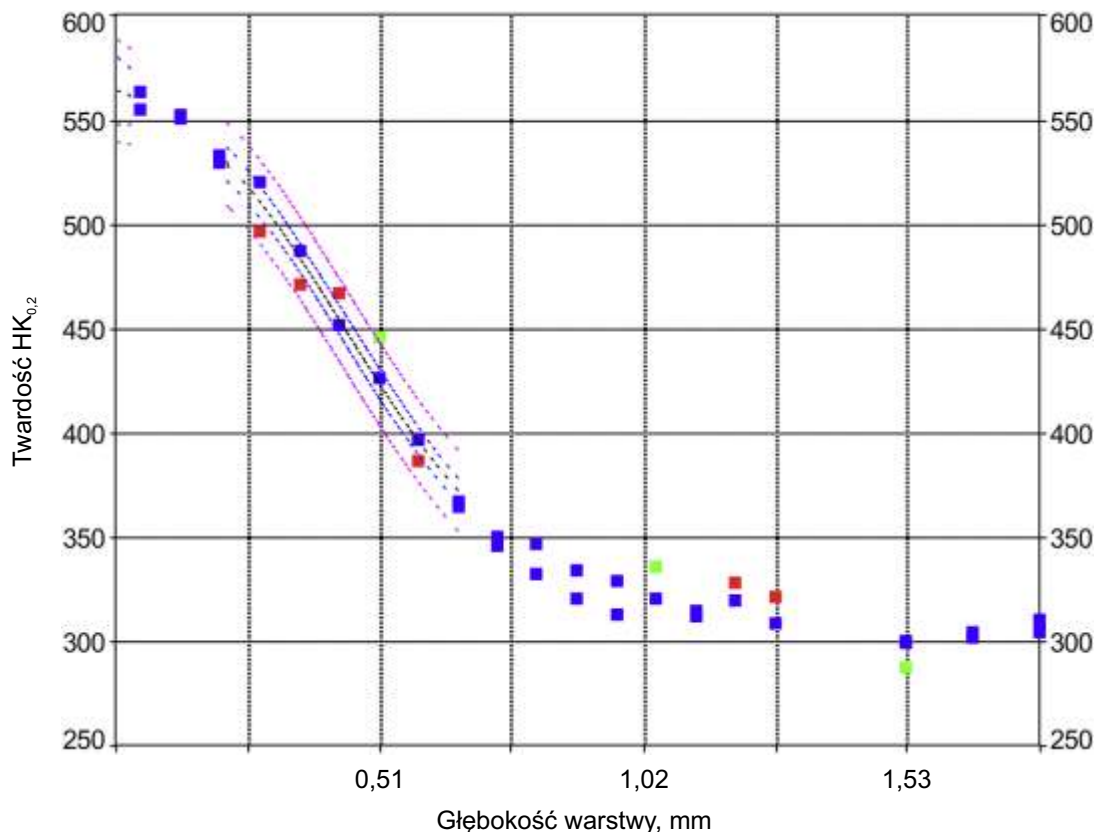
Dane dotyczące twardości przed i po obróbce dla obydwóch próbek przedstawiono w Tabeli 2. Pomierzono je na płaskich i okrągłych częściach próbek (Rysunki 3 ÷ 6).

Uzyskane wyniki wskazują, że występują niewielkie różnice między dwiema próbkami, jednak nie pozwalają one na stwierdzenie czy różnice te są statystycznie istotne. Brak również podstaw do stwierdzenia, że tryb tylko baza daje lepsze wyniki, tzn.: większą głębokość warstwy, jej twardość

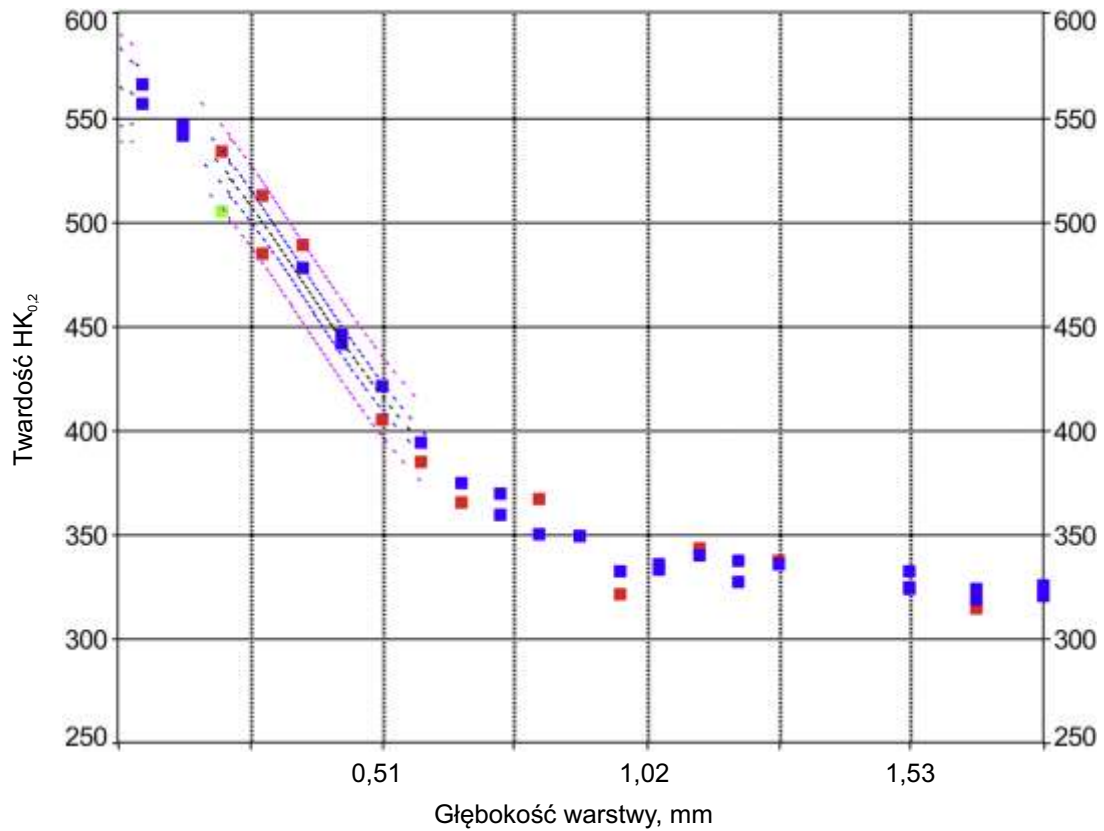
**Tabela 2: Średnia (z 3 wyników) twardości powierzchni próbek azotowanych w temperaturze 499°C w trybie „tylko baza” (M10887J) oraz „baza i ekran” (M10992J)**

Procedura M10877J (tylko baza)			
Powierzchnia	Przed azotowaniem HRC 1,5 kN	Po azotowaniu HR 15 N	Po azotowaniu HR 30 N
płaska	27,2	86,9	70,1
okrągła	26,5	86,6	70,3
Procedura M10992J (baza i ekran)			
Powierzchnia	Przed azotowaniem HRC 1,5 kN	Po azotowaniu HR 15 N	Po azotowaniu HR 30 N
płaska	27,2	86,6	70,1
okrągła	26,5	86,2	70,3

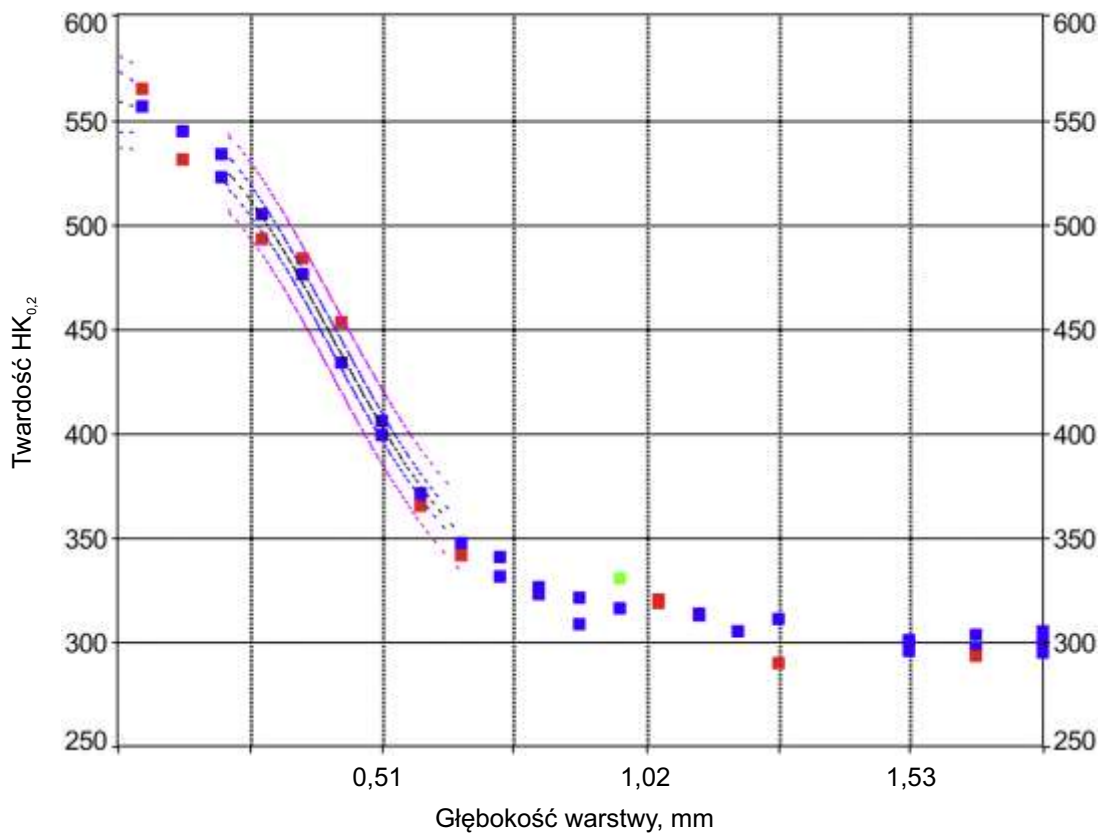
itp. niż tryb baza i ekran. Dane dotyczące twardości przedstawione w Tabeli 2 wydają się być niemal identyczne dla pomiarów na powierzchniach okrągłych i płaskich. Wyniki HR 15 N różnią się tylko o 0,3 dla powierzchni płaskiej i o 0,4 dla powierzchni okrągłych. Twardość próbek w HR 30 N jest



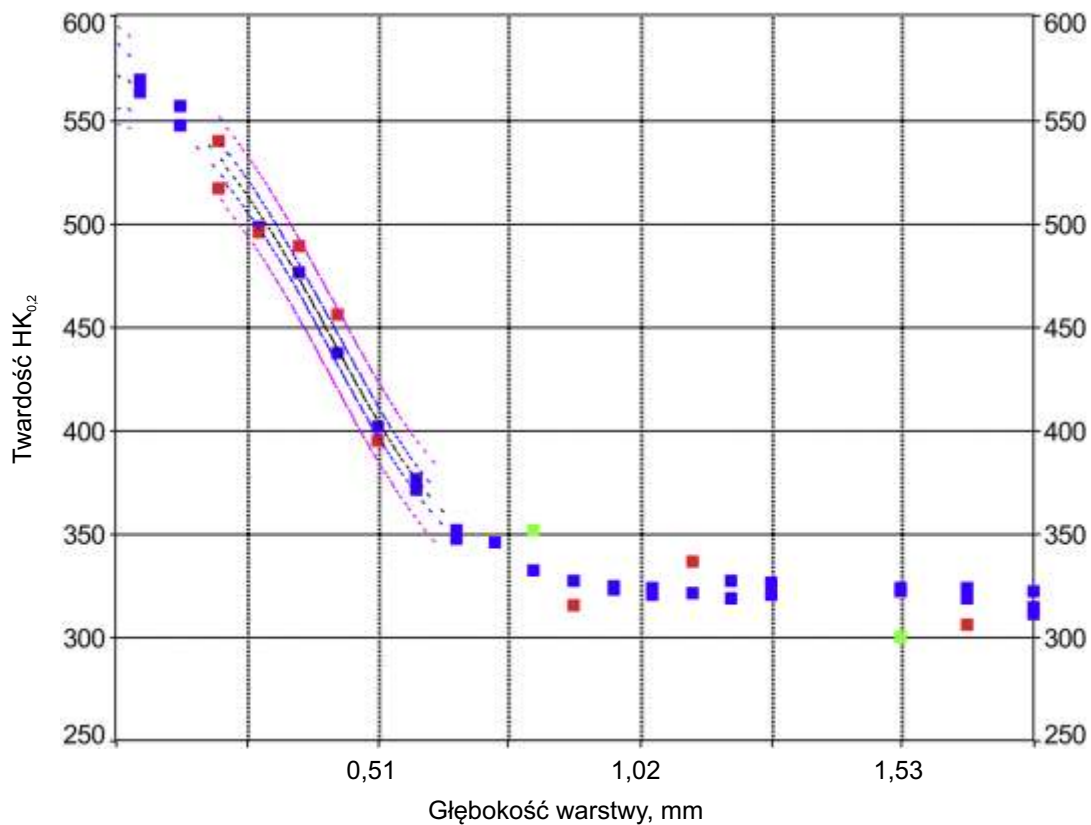
Rys. 3. Twardość płaskiej powierzchni próbki azotowanej w temperaturze 499°C w trybie „tylko baza”



Rys. 4. Twardość okrągłej powierzchni próbki azotowanej w temperaturze 499°C w trybie „tylko baza”



Rys. 5. Twardość płaskiej powierzchni próbki azotowanej w temperaturze 499°C w trybie „baza i ekran”



Rys. 6. Twardość okrągłej powierzchni próbki azotowanej w temperaturze 499°C w trybie „baza i ekran”

podobna. Można zatem wnioskować, że dane dotyczące twardości uzasadniają stwierdzenie, że nie ma istotnej różnicy między badanymi próbkami.

Pobieżna analiza danych dotyczących głębokości ekranu w badanych przypadkach, zestawionych w Tabeli 3 może wskazywać, że istnieją niewielkie różnice między dwiema próbkami. Czy są one jednak rzeczywiście istotne?

Tabela 3: Całkowita głębokość dla poszczególnych przypadków, obliczona na podstawie najlepiej dopasowanych krzywych dla procedur M10887J (tylko baza) i M10992J (baza i ekran)

Procedura	Powierzchnia	Głębokość ekranu mm
M10877J (tylko baza)	płaska	0,724 <sup>(1)</sup>
		0,673 <sup>(2)</sup>
	okrągła	0,663 <sup>(1)</sup>
		0,627 <sup>(2)</sup>
M10992J (baza i ekran)	płaska	0,655 <sup>(1)</sup>
		0,721 <sup>(2)</sup>
	okrągła	0,605 <sup>(1)</sup>
		0,648 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup> – pomiary wykonane przez poszczególne osoby

Wyniki pomiarów głębokości w poszczególnych przypadkach zawarte są w przedziale od 0,605 mm do 0,724 mm – Tabela 3. Wartości wygenerowane przez Osobę 1 i Osobę 2 nie pochodzą dokładnie z tej samej lokalizacji miejsca pomiarów jednej próbki, ale z ośmiu miejsc na czterech różnych próbkach, dlatego też istnieje możliwość zaistnienia kilku potencjalnych odchyłek, których przyczyny przedstawiono poniżej.

### Wpływ przygotowania powierzchni na szybkość dyfuzji

Płaskie powierzchnie próbek zostały obrobione (frezowane) po operacji toczenia powierzchni okrągłych. Nie są one identyczne, nawet jeśli obie powierzchnie zostały poddane obróbce strumieniowo-ścierniej przed azotowaniem. Nie można wykluczyć, że nie ma różnicy w szybkości azotowania między tak przygotowanymi powierzchniami. Być może jednak najbardziej „zniekształcona” powierzchnia (płaska) ma nieco większą szybkość azotowania niż powierzchnia okrągła. Kiedy przyjrzeć się danym dotyczącym głębokości ekranu – Tabela 3, można zauważyć, że dla próbki o płaskiej powierzchni wyniki są zawsze większe niż dla próbki o okrągłej powierzchni, niezależnie od osoby wykonującej pomiary. Wyniki te dla płaskiej powierzchni mieszczą się w zakresie od 0,655 mm do 0,724 mm, natomiast wyniki dla powierzchni okrągłej mieszczą się w zakresie od 0,605 mm do 0,663 mm.

### Brak jednorodności strukturalnej stali

Jest bardzo prawdopodobne, że stal nie ma idealnie jednolitej struktury ziarna, dokładnie identycznego składu chemicznego itp., a stwierdzenie to potwierdzają wyniki

twardości przed azotowaniem – Tabela 2. Są one zbliżone, ale nie identyczne. Jest to absolutnie normalne i bardzo dobrze opisuje je funkcjonujące w branży zdanie: „Obróbka cieplna nie jest ścisłą nauką”.

**Różnica systematyczna między wynikami osób testujących**

Nie stwierdzono systematycznej różnicy w testowaniu między zaangażowanymi osobami, np. przypadek, że jedna osoba zawsze testowała głębiej niż druga. Obie miały systematycznie przypadki nieco większych wartości pomiarów w próbie płaskiej niż w próbie okrągłej. Potwierdza to wnioski dotyczące przyczyn odchyłek opisanych powyżej (przygotowanie próbek). Obie osoby miały również różniące się wyniki próbek okrągłych – Tabela 3. Osoba 1 miała przypadek nieco głębszy w próbie *tylko baza*, niż w próbie *baza i ekran*, a Osoba 2 miała wynik odwrotny; można zatem wnioskować, że stwierdzono różnice między próbkami okrągłymi.



Rys. 7: Fotografia mikrostruktury strefy przypowierzchniowej jednej z próbek; trawiono nitaliem

W Tabeli 4 zestawiono średnie arytmetyczne wyników (10 pomiarów na próbkę) grubości warstw azotowanych wraz z obliczonymi wartościami odchylenia standardowego dla procedur M10887J oraz M10992J.

Jak pokazano w Tabeli 4, różnice grubości warstwy naazotowanej są bardzo niewielkie. Grubość uzyskana w trybie

**Tabela 4: Średnie wartości grubości warstw naazotowanych i odchylenia standardowe wyników pomiarów dla procedur M10887J i M10992J**

Procedura	Powierzchnia	Grubość warstwy $\mu\text{m}$	Odchylenie standardowe $\mu\text{m}$
M10877J (tylko baza)	płaska	7,94	0,41
	okrągła	7,83	0,22
M10992J (baza i ekran)	płaska	8,40	0,26
	okrągła	8,10	0,23

*baza i ekran* jest nieco większa niż w trybie *tylko baza*, jednak wszystkie wyniki uzyskane w dwóch procedurach azotowania mieszczą się w zakresie  $\pm 3$  wartości odchyłek standardowych. Uważna analiza mikrostruktury przedstawionej na Rysunku 7 ukazuje duże zróżnicowanie w samej strefie azotowanej. Ze względu na nierównomierną grubość strefy trudno jest dokładnie określić jej grubość. Można jednak założyć, że statystycznie wyniki są poprawne.

**Wyniki azotowania jonowego w temperaturze 460°C**

Próbki o tych samych wymiarach zostały poddane azotowaniu w temperaturze 460°C, co zostało odnotowane jako najniższa temperatura występująca w obciążeniu serii produkcyjnych. Jak zweryfikowano, serie były niezwykle stabilne i przebiegały dokładnie w wymaganej temperaturze.

Zastosowano tryb azotowania *baza i ekran*, a pozostałe parametry przetwarzania zachowano takie same jak w poprzednio opisanych eksperymentach. Wykresy twardości  $HK_{0,2}$  zestawiono w Tabeli 5, oraz zobrazowano na rysunkach 8 i 9.

**Tabela 5: Średnia (z 3 wyników) twardości powierzchni próbek azotowanych w temperaturze 460°C wg procedury „baza i ekran” (M10992J)**

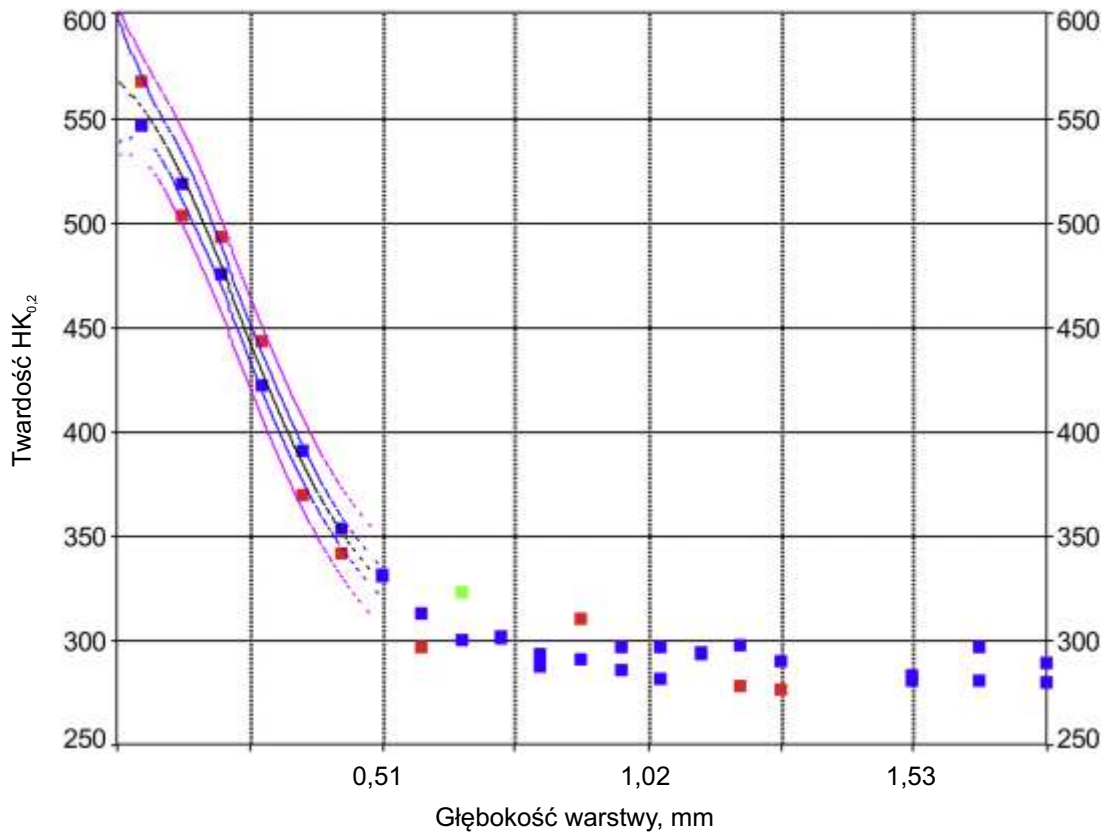
Procedura M10992J (baza i ekran)			
Powierzchnia	Przed azotowaniem HRC 1,5 kN	Po azotowaniu HR 15 N	Po azotowaniu HR 30 N
płaska	24,7	85,7	68,3
okrągła	26,5	85,5	68,4

Analiza wyników przedstawionych w Tabeli 6 wykazuje po raz kolejny, że istnieje niewielka zmienność głębokości w poszczególnych przypadkach tej samej próby i bardziej prawdopodobne jest istnienie zróżnicowania wyników pomiarów realizowanych przez różne osoby, co jest zgodne z wcześniejszymi stwierdzeniami.

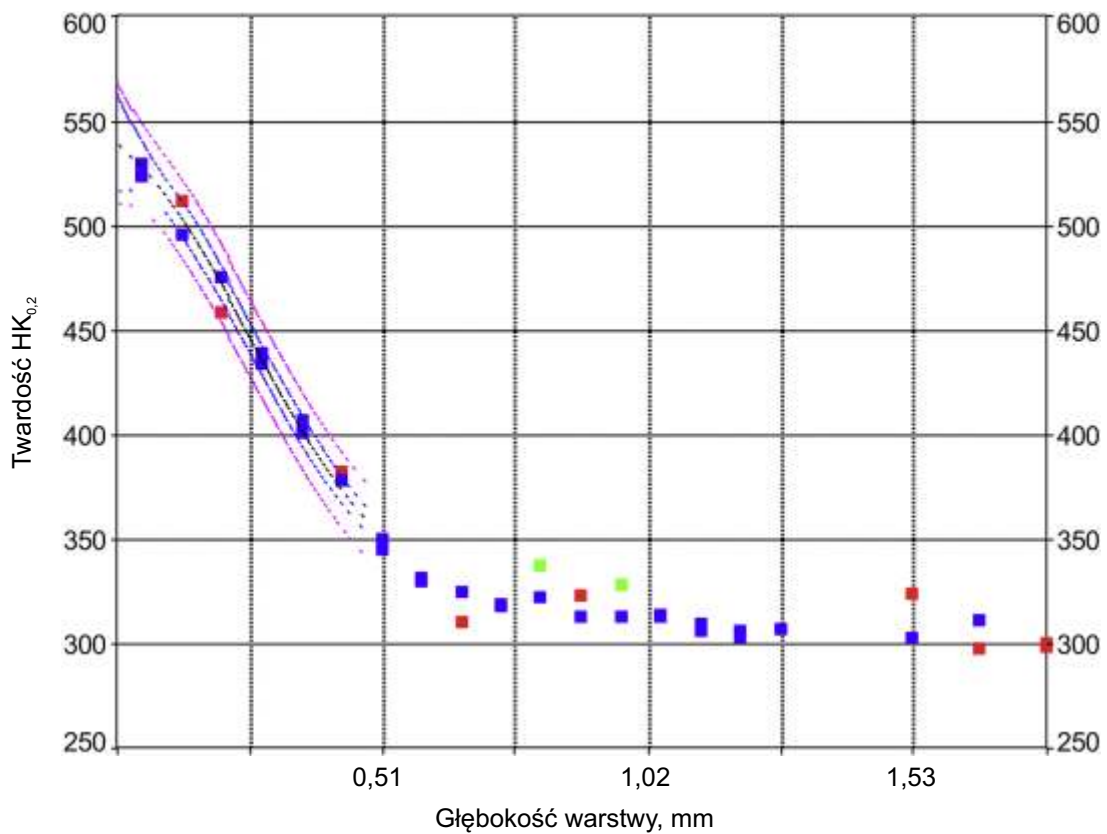
**Tabela 6: Całkowita głębokość dla poszczególnych przypadków azotowania w temperaturze 460°C, obliczona na podstawie najlepiej dopasowanych krzywych dla procedury M10992J (baza i ekran)**

Procedura	Powierzchnia	Głębokość ekranu mm
M10992J (baza i ekran)	płaska	0,470 <sup>(1)</sup>
		0,500 <sup>(2)</sup>
	okrągła	0,478 <sup>(1)</sup>
		0,508 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup> – pomiary wykonane przez poszczególne osoby



Rys. 8: Wykres twardości powierzchni okrągłej próbki azotowanej w temperaturze 460°C wg procedury baza i ekran, (pomiar wykonany przez Osobę 1)



Rys. 9: Wykres twardości powierzchni płaskiej próbki azotowanej w temperaturze 460°C wg procedury baza i ekran, (pomiar wykonany przez Osobę 1)

Wnioski z ostatniego eksperymentu są takie, że nie stwierdzono różnicy w efektach realizacji procesu azotowania pomiędzy próbkami „płaskimi” i „okrągłymi” azotowanymi w temperaturze 460°C.

### Wnioski końcowe

Wyniki zrealizowanych badań potwierdziły, że w testowanym zakresie gęstości mocy plazmy/prądu nie ma wpływu na głębokość warstwy, przy stałych wartościach pozostałych parametry azotowania. Jest to bardzo prawdopodobne we wszystkich sytuacjach, w których struktura warstwy azotowanej zawiera zarówno strefy związków, jak i strefy dyfuzyjne.

W sytuacjach, w których strefa złożona nie jest wymagana, np. narzędzia wykonane ze stali M-2 (1.3343) lub podobnego, bądź strefa nie tworzy się, np. austeniczne stale nierdzewne, szybkość azotowania będzie zależeć od gęstości mocy, przy czym szybkość azotowania będzie większa przy większej gęstości mocy.

Wpływ gęstości mocy na grubość strefy związku nie jest zbyt jasny. Jednak dane literaturowe silnie sugerują, że grubość strefy związku zwiększa się, gdy zwiększa się gęstość mocy plazmy. Zmiana gęstości mocy może również mieć wpływ na morfologię i skład fazowy strefy związku, a to może mieć potencjalny wpływ na kinetykę. W literaturze istnieją pewne potwierdzające sugestie, że ma to (inna morfologia i skład fazowy) wpływ na kinetykę azotowania gazowego.

reklama

### Literatura

1. Conybear J.G. and Edenhofer B.: Progress in control of plasmanitriding and – carburizing for better layer consistency and reproducibility. Proc. 6<sup>th</sup> International Conference on Heat Treatment of Materials, Chicago 1988, pp 381-394.
2. Edenhofer B.: Process and apparatus for controlling the electric current density in plasma processes. Patent DE 19 52 1548 and EP 749 147.
3. Günther D., Hirsch T., Hoffman F and Mayr P.: Einfluß der Plasmparameter auf die Schichtstruktur beim Plasmanitrocarburieren. Härterei Technische Mitteilungen, vol. 53, No. 4/1998, pp. 203-210.
4. Jeong B.Y., Kim M.H.: Effects of pulse frequency and temperature on the nitride layer and surface characteristics of plasma nitrided stainless steel. Surface and Coatings Technology, vol. 137, No.2-3/2001, pp. 249-254.
5. Marciniak A.: Processes of heating and nitriding of the cathode during glow discharge diffusion treatment. Doctoral Thesis, Ed. Politechnika Warszawska, Warsaw 1983 (in Polish).
6. Rolinski, E.: Plasma Assisted Nitriding and Nitrocarburizing of Steel and other Ferrous Alloys. In: Mittemeijer E.J. and Somers M. A. J.: Thermochemical 2014, pp 413-449.
7. Rolinski E., Sharp G.: Controlling Plasma Nitriding. ASTM International, Materials Performance and Characterization, Vol. 6, No 4, 2017, pp.698-716, Surface Engineering of Steels, Chapter 11, Pub. Woodhead Publishing. ■



**LASER-STAL**  
PRECYZJA W KAŻDYM DETALU

**LASEROWE CIĘCIE** blach, rur i profili  
**GIĘCIE DETALI** cnc

ul. Brunatna 35, Konin · tel. 63 222 30 18  
biuro@laser-stal.pl · www.laser-stal.pl

# Strefy specjalne i branżowa rywalizacja na ITM INDUSTRY EUROPE 2025

ITM INDUSTRY EUROPE to strategiczne miejsce spotkań, gdzie liderzy przemysłu maszynowego wymieniają się doświadczeniami i prezentują nowatorskie technologie. Wydarzenie łączy nie tylko imponującą ekspozycję wystawienniczą, ale także liczne konferencje, debaty i pokazy. Cenioną wartością dla zwiedzających targi są specjalne strefy tematyczne a także przestrzenie gdzie można zaczerpnąć branżowej rozrywki.

Branża odlewnicza odgrywa kluczową rolę w polskim przemyśle, dostarczając wysokiej jakości komponenty metalowe dla wielu sektorów. W tej edycji targów ITM INDUSTRY EUROPE zwiedzający mogą liczyć na nową odsłonę Salonu Odlewnictwa FOCAST a także na dawkę specjalistycznej wiedzy dla profesjonalistów w tej dziedzinie. To jednak nie jedyna strefa specjalna targów. Równie obiecująco rośnie w siłę ekspozycja robotów współpracujących i demobusów. Nie zabraknie także branżowych konkursów, zawodów i wyścigów.

## SALON ODLEWNICTWA FOCAST

– W tej edycji szczególnie intensywnie pracujemy nad strefami specjalnymi targów. Jedną z nich będzie Salon Odlewnictwa Focast w nowej odsłonie. Będzie to przestrzeń, w której nie zabraknie wystawców z branży odlewniczej a także prezentacji aktualnych tematów i nowości produktowych dla tej gałęzi przemysłu. Na wysoką jakość FOCASTU z pewnością wpływa ścisła współpraca ze Stowarzyszeniem Technicznym Odlewników Polskich. Przemysł odlewniczy w Polsce mierzy się obecnie z wieloma wyzwaniami, które mogą mieć istotny wpływ na jego przyszłość. Jednym z kluczowych problemów jest rosnąca konkurencja ze strony zagranicznych odlewni, oferujących niższe koszty produkcji. W efekcie polskie przedsiębiorstwa muszą inwestować w nowoczesne technologie, aby utrzymać swoją pozycję na rynku i zwiększyć efektywność działania. Istotny jest też czynnik ekologiczny. – mówi Anna Lemańska-Kramer, dyrektor targów ITM INDUSTRY EUROPE.

Rozwój przemysłu maszynowego stwarza nowe możliwości dla producentów odlewów. Rosnące zapotrzebowanie na wysokiej jakości komponenty metalowe może przyczynić się do ekspansji polskich odlewni na rynki krajowe i zagraniczne. – Targi ITM INDUSTRY EUROPE są doskonałym miejscem na

„nowe rozdania” w tym biznesie i prezentację imponujących możliwości branży odlewniczej – dodaje Anna Lemańska-Kramer.

W pierwszym dniu targów, tj. 3 czerwca zaplanowano panel dyskusyjny z udziałem ekspertów pt.: *Odlewnictwo przyszłości: Wizje rozwoju polskiej branży w kontekście globalnych megatrendów.*

## ROBOTY WSPÓŁPRACUJĄCE I DEMOBUSY – ZNAMY JUŻ PIERWSZYCH PARTNERÓW STREF

Strefa Robotów Współpracujących, zorganizowana po raz pierwszy podczas targów ITM INDUSTRY EUROPE 2024 we współpracy z firmą Schmalz, spotkała się z dużym zainteresowaniem zwiedzających. W tym roku ta przestrzeń, będzie jeszcze bardziej spektakularna. Nie zabraknie cobotów czołowych marek zwiększających wydajność i bezpieczeństwo pracy, tworzących bardziej zintegrowane i efektywne środowisko produkcyjne. Swój udział w tej strefie potwierdziły już m.in. takie firmy jak: SCHMALZ, KUKA, UNIVERSAL ROBOTS, DOBOT / GM AUTOMATYKA, SAP-WELD / OTC, TFM ROBOTICS.

Nowością tej edycji targów ITM INDUSTRY EUROPE to *Strefa demobusów* – nietuzinkowy sposób promocji dla firm







działających w branży automatyki przemysłowej, obróbki powierzchni oraz technologii narzędziowej. W specjalnych pojazdach na placu Św. Marka – centralnym punkcie Międzynarodowych Targów Poznańskich – wystawcy będą mogli zaprezentować swoje najnowsze technologie i produkty, nawiązując bezpośredni kontakt z uczestnikami wydarzenia. – *Ta nowa forma interakcji z uczestnikami bardzo spodobała się wielu firmom. Dlatego już możemy zdradzić, że w strefie demobusów swoją ofertę zaprezentują m.in.: BALLUFF, MURRELEKTRONIK, STRUERS, PFERD* – informuje Anna Lemańska-Kramer.

### KONKURSY, ZAWODY I WYŚCIGI

Podczas najbliższej edycji nie zabraknie także mniej formalnego kontaktu z uczestnikami. Wystawcy już planują specjalne konkursy, pokazy a nawet... wyścigi!

O taką przestrzeń dla rozrywki zadba m.in. firma MITUTOYO organizując *Strefę Konkursu Metrologicznego*, zaprojektowaną dla wszystkich, którzy chcieliby spróbować swoich sił w przeprowadzaniu pomiarów z wykorzystaniem profesjonalnego oprogramowania *MeasurLink*. Uczestnicy będą mieli do wykonania określone zadania pomiarowe, które pozwolą na ocenę ich umiejętności w zakresie analizy danych, interpretacji wyników oraz obsługi nowoczesnych narzędzi metrologicznych. Każdego dnia najlepsi uczestnicy otrzymają nagrody, a na koniec targów wyłoniony zostanie zwycięzca główny, który zdobędzie nagrodę specjalną.

Mitutoyo zapowiada także *Strefę Wyścigową*, w której na odwiedzających czeka ekscytujące wyzwanie – specjalnie przygotowany tor wyścigowy z modelarskimi samochodami. Będzie można sprawdzić swoje zdolności w prowadzeniu pojazdu w kontrolowanych warunkach. Tutaj także nie zabraknie nagród dla najlepszych zawodników.

Kolejny raz emocje rywalizacji i dawka rozrywki będą czekać na uczestników ITM INDUSTRY EUROPE w strefie *Pneumat.GAME*. Zeszłoroczna odsłona *Turnieju Służb Utrzymania ruchu* cieszyła się ogromnym zainteresowaniem. Uczestnicy mogli sprawdzić się w trzech konkurencjach. W tym roku Pneumat szykuje jeszcze ciekawsze zadania dla śmiałków.

Każdy, kto zdecyduje się na rozwiązanie pneumatycznych wyzwań będzie miał szansę zdobyć atrakcyjne nagrody, których pula wyniesie ponad 50 000 zł. Będzie to wymagało wiedzy, sprawności i umiejętności działania pod presją czasu.

– *Potrafisz błyskawicznie zmontować elementy instalacji? Zbudowanie układu pneumatycznego to dla Ciebie pestka? Serwis pompy membranowej wykonujesz w mgnieniu oka? Koniecznie zapisz się do naszej zabawy i zawalcz o nagrody!* – przekonują organizatorzy strefy Pneumat.GAME.

Targi ITM INDUSTRY EUROPE zaplanowano na 3–6 czerwca 2025 roku. Równocześnie będzie można odwiedzić ekspozycję targów logistyki i magazynowania Modernlog oraz targów kooperacji przemysłowej Subcontracting. ■

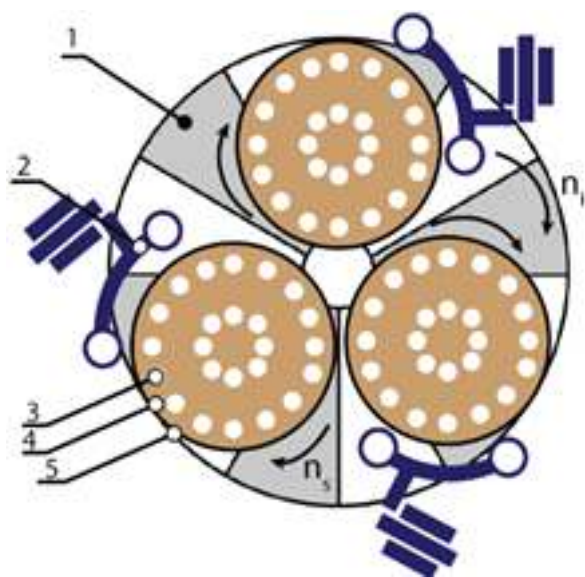
# Warunki kinematyczne obróbki powierzchni płaskich i walcowych na docierarkach tarczowych

ADAM BARYLSKI \*

Docieranie, jako ścierna obróbka bardzo dokładna, stosowane jest nie tylko w wytwarzaniu elementów metalowych i niemetalowych, ale i w procesie przygotowywania próbek do badań warstwy wierzchniej. Zwykle czynności te realizuje się w kilku etapach, począwszy od szlifowania, poprzez docieranie wstępne i wykończeniowe oraz polerowanie mechaniczne lub chemiczno-mechaniczne. Docieranie powierzchni płaskich wykonuje się na docierarkach jednotarczowych, zaś płasko-równoległych na obrabiarkach dwutarczowych. Docieranie powierzchni walcowych realizowane jest również między dwoma obracającymi się tarczami, jednak przy odmiennym układzie kinematycznym. Warunki kinematyczne docierania maszynowego mają zasadniczy wpływ na intensywność obróbki oraz jakość kształtowanej powierzchni. Przedstawienie kinematyki docierarek tarczowych jest głównym celem artykułu.

## Kinematyka docierarek jednotarczowych

Podstawowym układem kinematycznym docierania jednotarczowego powierzchni płaskich jest układ pierścieniowy (rys. 1), w którym elementy obrabiane ułożone są w indywidualnie zaprojektowanych separatorach i poruszane przez pierścienie prowadzące (od jednego do czterech – zależnie od średnicy tarczy docierającej). Pierścienie te obracają się



Rys. 1. Standardowy układ wykonawczy docierarki jednotarczowej ze swobodnym napędem pierścieni prowadzących: 1 – tarcza docierająca (docierak), 2 – dźwignia prowadząca, 3 – przedmiot docierany, 4 – separator przedmiotowy, 5 – pierścień prowadzący [3]

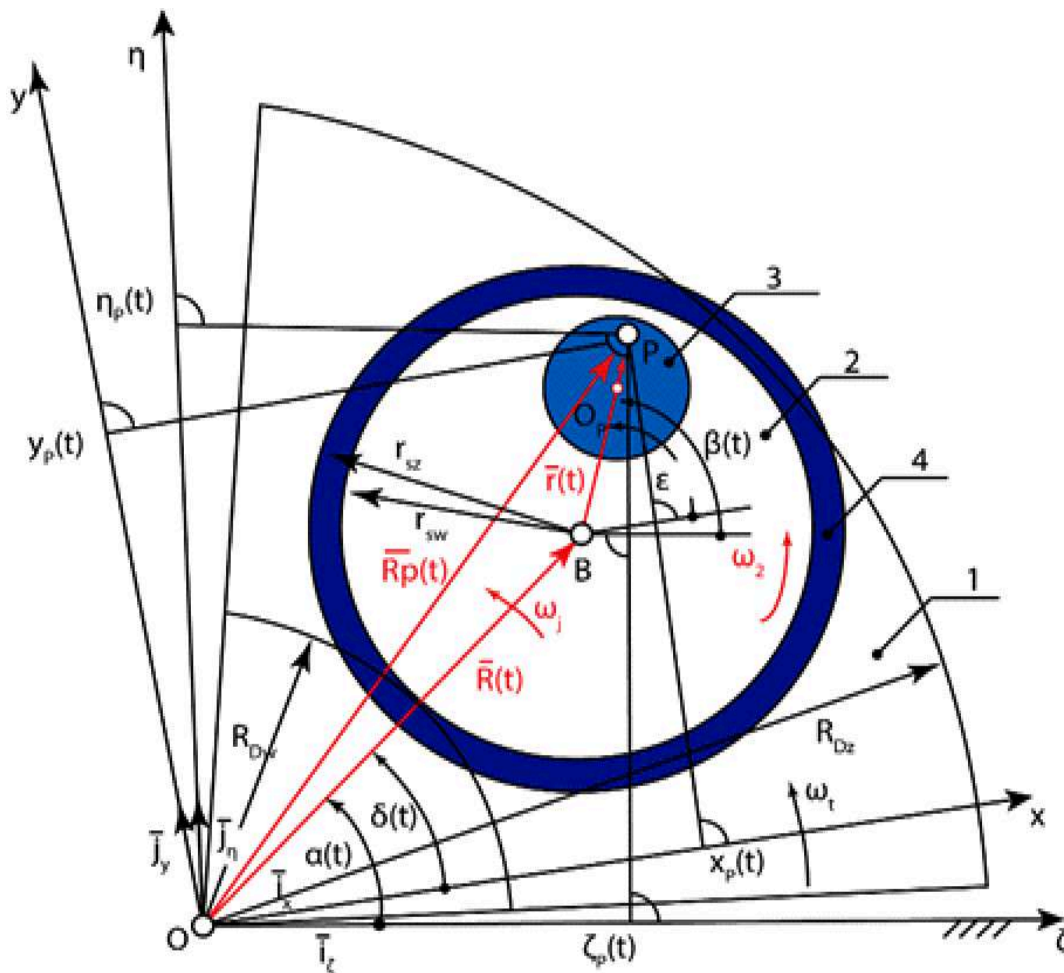
w wyniku współpracy z ruchomą tarczą docierającą. Ich prędkość obrotowa zależy od warunków tarcia w układzie wykonawczym obrabiarki, a więc między innymi od lepkości składników płynnych zawiesiny ścierniej i intensywności jej dawkowania oraz wywieranego obciążenia na obrabiane elementy. Jedynie nieliczni producenci docierarek jednotarczowych, przykładowo firma GMT, proponuje wymuszony (dodatkowy) napęd pierścieni prowadzących (rys. 2).



Rys. 2. Układ wykonawczy docierarki jednotarczowej z wymuszonym napędem pierścieni prowadzących [6]

W celu opisanego kinematyki docierania jednotarczowego należy wyznaczyć położenie dowolnego punktu  $P$  położonego na powierzchni przedmiotu obrabianego, określonego za pomocą promienia wodzącego  $\vec{R}_p(t)$  w układzie abso-

\* Prof. dr hab. inż. Adam Barylski, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Instytut Technologii Maszyn i Materiałów, abarylsk@pg.edu.pl.



Rys. 3. Schemat układu kinematycznego standardowej docierarki jednotarczowej: 1 – docierak (tarcza docierająca), 2 – separator, 3 – przedmiot obrabiany, 4 – pierścień prowadzący [3]

lutnym  $\zeta$ - $\eta$  i układzie względnym  $x$ - $y$ , związanym z obracającym się docierakiem (rys. 3). Ruch punktu  $P$  można opisać równaniami podanymi w tabeli 1.

Współrzędne  $x_p$  i  $y_p$  są ciągłymi funkcjami czasu i można je opisać równaniami:

$$x_p(t) = R \cdot \cos(\omega_j \cdot t - \omega_t \cdot t) + r \cdot \cos(\omega_2 \cdot t - \omega_t \cdot t) \quad (1)$$

$$y_p(t) = R \cdot \sin(\omega_j \cdot t - \omega_t \cdot t) + r \cdot \sin(\omega_2 \cdot t - \omega_t \cdot t) \quad (2)$$

Prędkość względną w układzie przedmiot-docierak wynika z różnicy prędkości kątowej pierścienia prowadzącego i prędkości kątowej tarczy docierającej. Można wprowadzić dodatkowy parametr  $k$ , w postaci:

$$k = \frac{\omega_2 - \omega_t}{\omega_j - \omega_t} \quad (3)$$

przy czym w standardowym układzie kinematycznym docierarki jednotarczowej ( $\omega_j = 0$ ):

$$k = \frac{\omega_2}{\omega_t} \quad (4)$$

Równania ruchu przyjmują wtedy postać:

$$x_p(t) = R \cdot \cos(-\omega_t \cdot t) + r \cdot \cos(-k \cdot \omega_t \cdot t) \quad (5)$$

$$y_p(t) = R \cdot \sin(-\omega_t \cdot t) + r \cdot \sin(-k \cdot \omega_t \cdot t) \quad (6)$$

Tabela 1. Równania ruchu dowolnego punktu  $P$  w czasie  $t$  [3]

W układzie absolutnym $\zeta$ - $\eta$	W układzie względnym $x$ - $y$
$\bar{R}_p(t) = \zeta_p(t)\bar{i}_\zeta + \eta_p(t)\bar{j}_\eta$	$\bar{R}_p(t) = x_p(t)\bar{i}_x + y_p(t)\bar{j}_y$
$\begin{bmatrix} \zeta_p(t) \\ \eta_p(t) \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix} + r \begin{bmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x_p(t) \\ y_p(t) \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix} + r \begin{bmatrix} \cos \varepsilon \\ \sin \varepsilon \end{bmatrix}$
$\alpha(t) = \omega_j t$	$\delta(t) = (\omega_j - \omega_t)t$
$\beta(t) = \omega_2 t$	$\varepsilon(t) = (\omega_2 - \omega_t)t$
$\omega_t$ – prędkość kątowa tarczy docierającej $\omega_2$ – prędkość kątowa pierścienia prowadzącego $\omega_j$ – prędkość kątowa wyobraźni jarzma (w docierarkach jednotarczowych $\omega_j = 0$ )	

Wartość chwilowej prędkości punktu  $P$  wyraża się wzorem:

$$\bar{v}_p(t) = |\bar{v}_p(t)| = \sqrt{\dot{x}_p(t)^2 + \dot{y}_p(t)^2} \quad (7)$$

Uwzględniając równanie (1) i (2) otrzymujemy wzór na prędkość chwilową:

$$v_p(t) = \sqrt{\omega_t^2 R^2 + (\omega_2 - \omega_t)^2 r^2 - 2\omega_t(\omega_2 - \omega_t)rR\cos(-\omega_2 t)} \quad (8)$$

zaś po uwzględnieniu wzoru (4) mamy:

$$v_p(t) = \sqrt{\omega_z R^2 + k^2 r^2 + 2rRk \cos(-\omega_z t)} \quad (9)$$

Długość trajektorii punktu  $P$  w czasie  $t = t_2 - t_1$  można wyznaczyć ze wzoru:

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v_p(t) dt \quad (10)$$

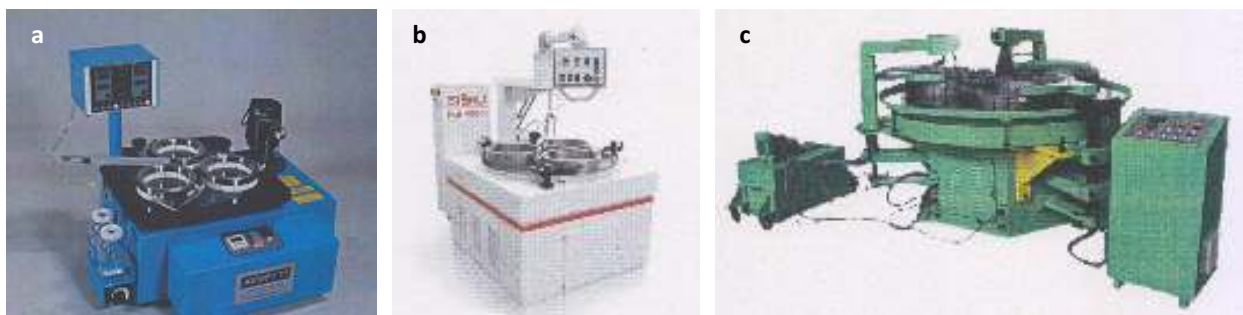
Średnią prędkość docierania  $v_{sr}$  dowolnego punktu  $P$  na powierzchni docieranej określa zależność:

$$v_{sr} = \frac{1}{T_z} \int_0^{T_z} v_p(t) dt \quad (11)$$

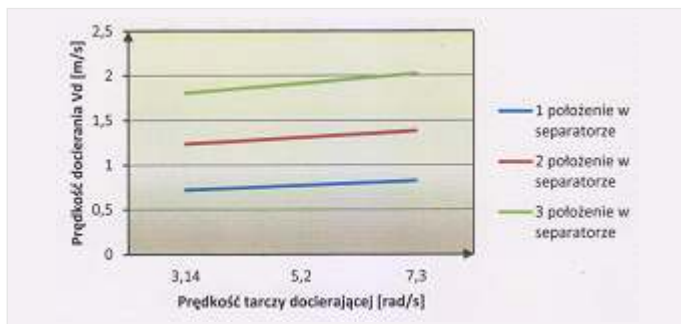
gdzie  $T_z = 2\pi / |\omega_z|$ ,  $T_z = 2\pi / |\omega_z|$  jest czasem jednego cyklu ruchu (trajektorii).

Ocenę wpływu podstawowych warunków kinematycznych i geometrycznych na prędkość docierania jednotarczowego powierzchni płaskich przeprowadzono na przykładzie obrabiarek firm: Kemet, Stähli i GMT (rys. 4) [4].

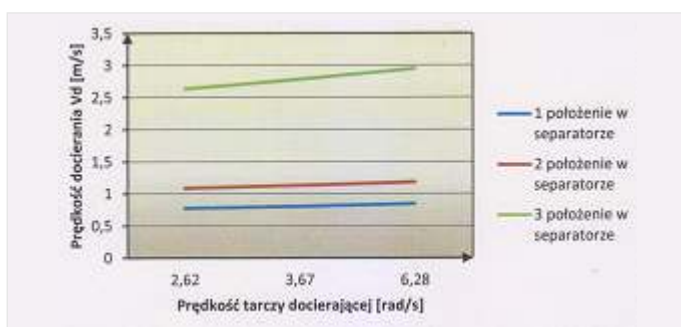
Docierarka Kemet 15 ma regulowany stół i automatyczny system dozujący zawiesinę ścierną z wymienną dyszą. Występuje płynna regulacja prędkości obrotowej tarczy docierającej (chłodzonej labiryntowo wodą) oraz wprowadzono ceramiczne zakończenie powierzchni stykowych trzech pierścieni prowadzących [7]. Docierarka FLM 1000 umożliwia stosunkowo szybką wymianę tarczy docierającej, która również jest chłodzona wodą, zaś odpowiednie ułożyskowanie narzędzia zapewnia cichą pracę obrabiarki. Zastosowany system dawkowania zapobiega nadmiernemu wydatkowi zawiesiny ścierniej w czasie obróbki [9]. Docierarka GMT 06-07



Rys. 4. Docierarka jednotarczowa: a) Kemet 15 (średnica zewnętrzna tarczy docierającej  $D_z = 381$  mm, maksymalna prędkość obrotowa tarczy docierającej  $n_z = 70$  min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących (separatorów)  $i = 3$ ) [7], b) FLM 1000 firmy Stähli ( $D_z = 1000$  mm,  $n_z = 60$  min<sup>-1</sup>,  $i = 3$ ) [9], c) GMT 06-07 ( $D_z = 1800$  mm,  $n_z = 10-32$  min<sup>-1</sup>,  $i = 4$ ) [6]



Rys. 5. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki Kemet 15 (położenie 1:  $r_p = 132$  mm, położenie 2:  $r_p = 150$  mm, położenie 3:  $r_p = 167$  mm)

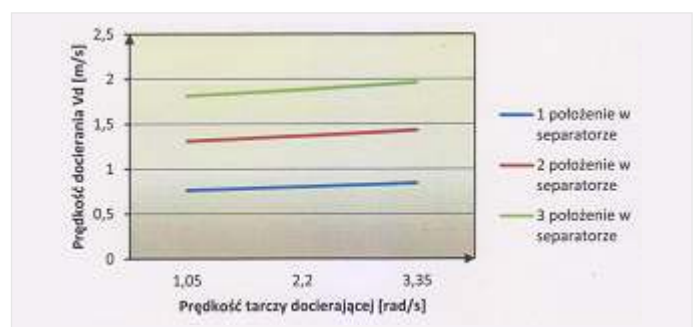


Rys. 6. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki FLM 1000 (położenie 1:  $r_p = 328$  mm, położenie 2:  $r_p = 378$  mm, położenie 3:  $r_p = 434$  mm)

posiada również regulowaną prędkość obrotową narzędzia oraz system chłodzenia wodnego [6].

Na rys. 5 przedstawiono wpływ odległości  $r_p$  środka kołowego elementu docieranego od osi obrotu tarczy docierającej i jej prędkości kątowej na prędkość docierania  $v_d$  w punkcie centralnym przedmiotu w przypadku docierarki Kemet 15.

Identyczne obliczenia wykonano dla docierarki FLM 1000 (rys. 6) oraz GMT 06-07 (rys. 7).



Rys. 7. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki GMT 06-07 (położenie 1:  $r_p = 605$  mm, położenie 2:  $r_p = 695$  mm, położenie 3:  $r_p = 787$  mm)

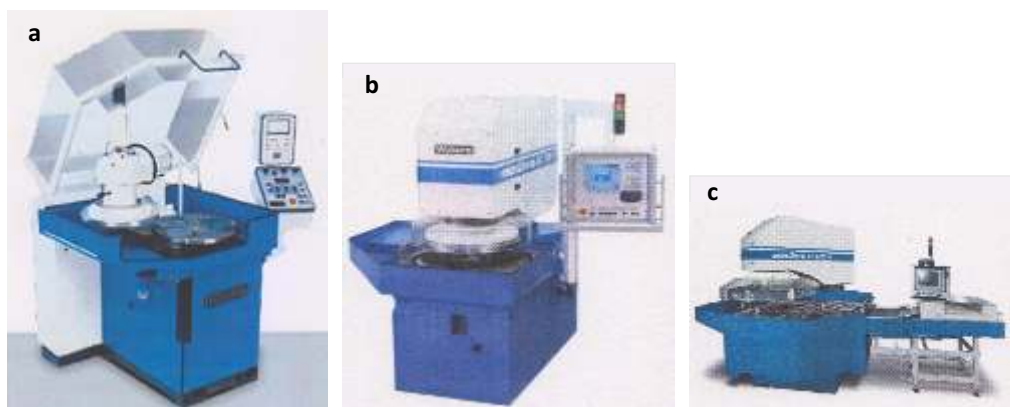
### Kinematyka docierarek dwutarczowych do obróbki powierzchni płasko-równoległych

Do analizy kinematyki docierania powierzchni płasko-równoległych na docierarkach dwutarczowych wybrano obrabiarki: AC 470F, AC 1000F i AC 2000F firmy Peter Wolters (rys. 8). Na rys. 9 zamieszczono schemat układu wykonawczego docierarki dwutarczowej oraz widok przestrzeni roboczej. Docierarki dwutarczowe do płaszczyzn posiadają często bezstopniowy napęd obydwóch tarcz docierających oraz we-

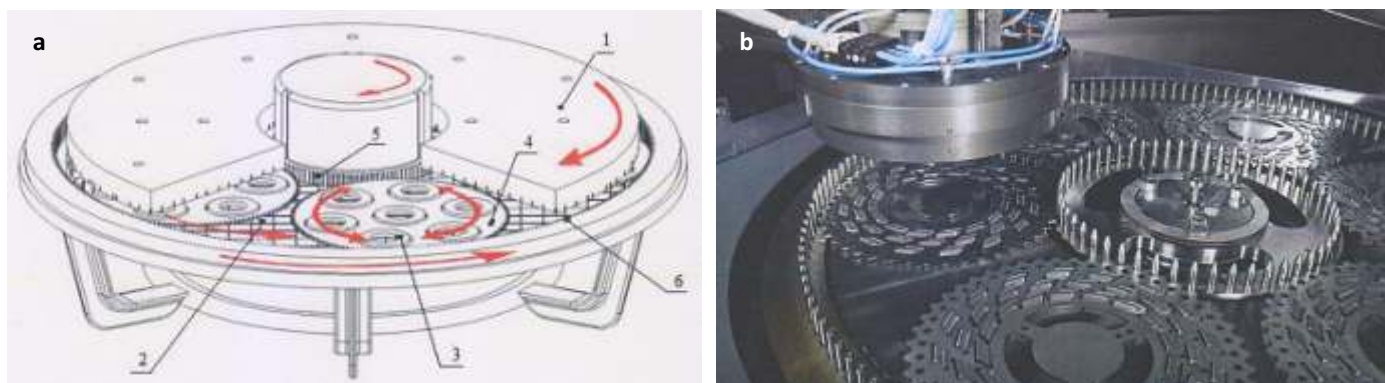
wnętrznego napędzającego pierścienia kołkowego (lub zębatego). Bardziej szczegółowo kinematykę docierania dwutarczowego przedstawiono w pracy [2].

Na rys. 10 przedstawiono wpływ odległości  $r_{ps}$  środka kołowego elementu docieranego od osi obrotu separatora i prędkości kątowej tarczy docierającej na prędkość docierania  $v_d$  w punkcie centralnym przedmiotu w przypadku docierarki AC 470F.

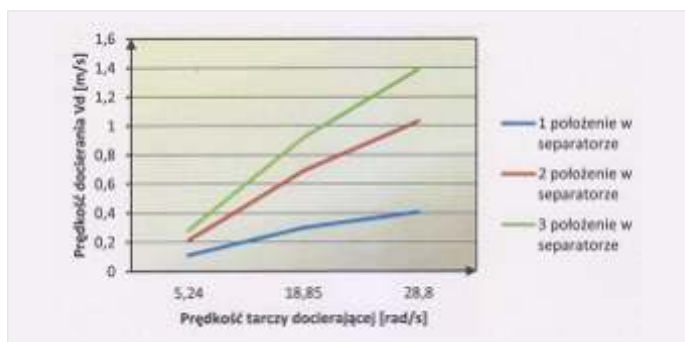
Identyczne obliczenia wykonano dla docierarki AC 1000F (rys. 11) oraz AC 2000F (rys. 12).



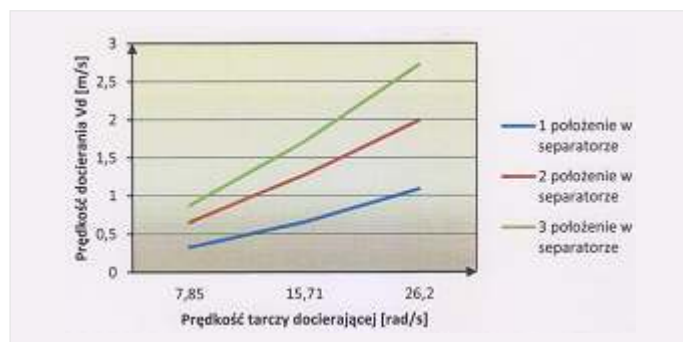
Rys. 8. Widok docierarki dwutarczowej firmy Peter Wolters: a) AC 470F ( $D_z = 475 \text{ mm}$ ,  $n_1 = 50-275 \text{ min}^{-1}$ ,  $i = 5$ ), b) AC 1000F ( $D_z = 1050 \text{ mm}$ ,  $n_1 = 150/250/250 \text{ min}^{-1}$ ,  $i = 5$ ), c) AC 2000F ( $D_z = 1809 \text{ mm}$ , wartość maksymalna  $n_1 = 40 \text{ min}^{-1}$ ,  $i = 5$ ) [8]



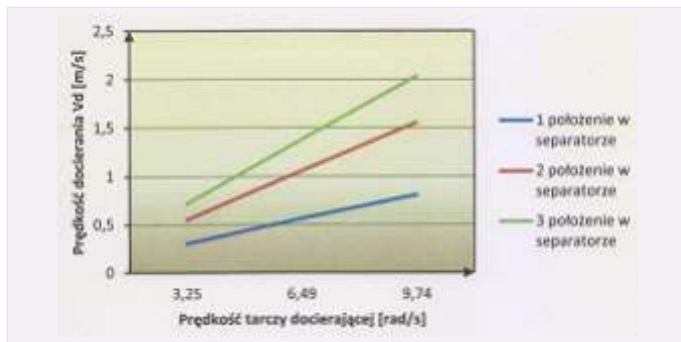
Rys. 9. Schemat standardowego układu wykonawczego docierarki dwutarczowej do obróbki powierzchni płasko-równoległych: 1 – górna tarcza docierająca, 2 – dolna tarcza docierająca, 3 – przedmiot docierany, 4 – separator, 5 – wewnętrzny pierścień napędzający układu obrotowego, 6 – nieruchomy pierścień zewnętrzny (a) oraz widok przestrzeni roboczej docierarki firmy Peter Wolters z sześcioma separatorami i przy uniesionym i odsuniętym docieraku górnym (b) [8]



Rys. 10. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki AC 470F (położenie 1:  $r_{ps} = 13,75 \text{ mm}$ , położenie 2:  $r_{ps} = 41,05 \text{ mm}$ , położenie 3:  $r_{ps} = 62,62 \text{ mm}$ )



Rys. 11. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki AC 1000F (położenie 1:  $r_{ps} = 27 \text{ mm}$ , położenie 2:  $r_{ps} = 78,77 \text{ mm}$ , położenie 3:  $r_{ps} = 139,56 \text{ mm}$ )



Rys. 12. Zmienność prędkości docierania  $v_d$  w zależności od prędkości kątowej tarczy docierającej i położenia docieranego elementu w separatorze docierarki AC 2000F (położenie 1:  $r_{ps} = 53,49$  mm, położenie 2:  $r_{ps} = 151,84$  mm, położenie 3:  $r_{ps} = 249,16$  mm)

### Kinematyka docierania maszynowego wałków

Docieranie zewnętrznych powierzchni walcowych może odbywać się między dwiema tarczami w separatorze poruszającym się mimośrodowo względem obracających się narzędzi (rys. 13 a) lub w tzw. układzie bezkłowym (rys. 13 b) [5,10,11]. Na rys. 14 podano przykład docierania powierzchni walcowych w układzie dwutarczowym.

W tym układzie kinematycznym docierania wałków o promieniu  $r$  (rys. 15), rozpatrując punkt  $O_r(A)$  położony w połowie długości obrabianego przedmiotu, wyróżnić można: prędkość kątową tarczy docierającej  $\omega_a$  i separatora  $\omega_{co}$

względem jego środka  $O_c$ , prędkość kątową separatora  $\omega_{co}$  względem środka układu  $O$ , kąt pochylenia osi przedmiotu w gnieździe separatora  $\alpha$ , prędkość kątową docieranego wałka  $\omega_{roll}$ , odległość  $L_{co}$  środka separatora  $O_c$  od środka tarczy  $O$  i odległość  $L_{rc}$  punktu  $O_r(A)$  od środka separatora  $O_c$ , zaś 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. 16.

Ponieważ prędkość docierania (poślizgu wałka) wynosi:

$$|V'_{Ar}| = |V_{Ao}| \cos \varphi_3 - |V_{ro}| \cos \varphi_5 \quad (12)$$

zaś:  $\varphi_{co} = \omega_{co}t$ ,  $\varphi_{rc} = \omega_{rc}t$  oraz  $\varphi_r = 180^\circ - \omega_{co}t$  ( $t$  oznacza czas), zatem:

$$L_{ro} = [(L_{co})^2 + (L_{rc})^2 + 2L_{co}L_{rc} \cos(\omega_{rc}t)]^{1/2} \quad (13)$$

oraz

$$|V_{Ao}| = \omega_a L_{ro} \quad (14)$$

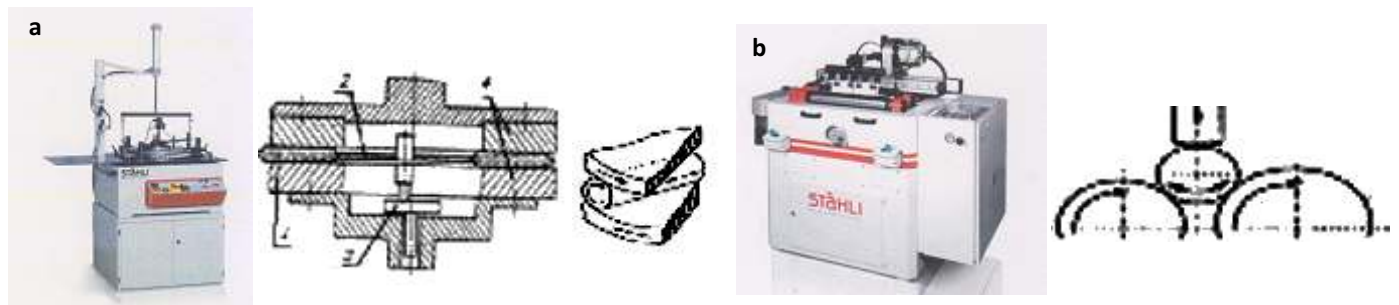
a więc:

$$|V_{ro}| = [(\omega_{co}L_{co})^2 + (\omega_{rc}L_{rc})^2 + 2\omega_{co}L_{co}\omega_{rc}L_{rc} \cos(\omega_{rc}t)]^{1/2} \quad (15)$$

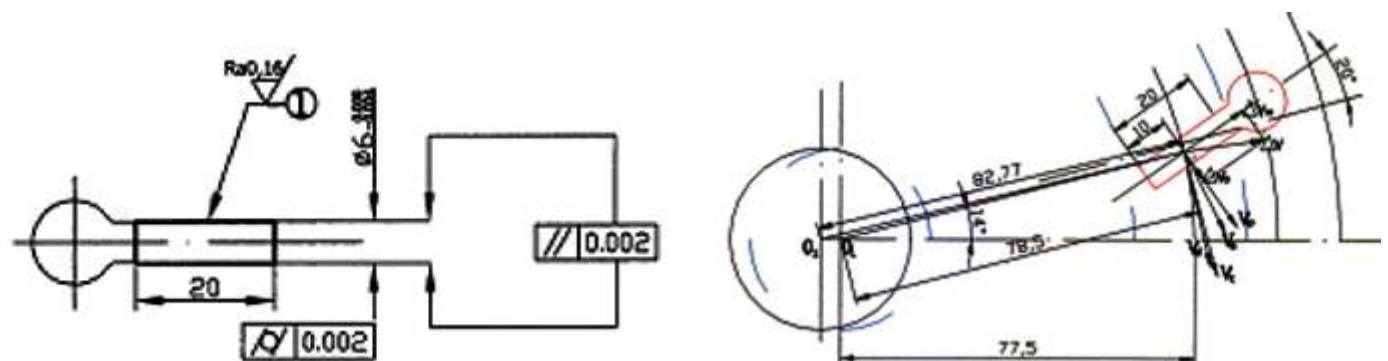
zatem:  $\varphi_2 = \arcsin[L_{rc} \sin(\omega_{rc}t)/L_{ro}]$ ,  $\varphi_3 = \alpha + \varphi_{rc} - \varphi_2$ ,

$\varphi_4 = \arctan[|V_{rc}| \sin \varphi_{rc} / (|V_{co}| + |V_{rc}| \cos \varphi_{rc})]$  i  $\varphi_5 = \varphi_{rc} + \alpha - \varphi_4$

oraz  $\omega_{roll} = V'_{Ar}/r$  (16)

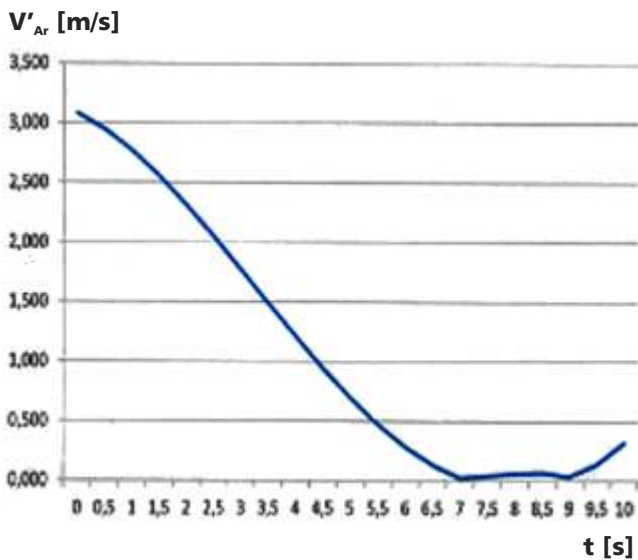


Rys. 13. Widok i charakterystyka ogólna obrabiarek firmy Stähli: a) docierarka dwutarczowa do wałków FLM 500-R ( $D_z = 500$  mm,  $n_s = 0-75$  min<sup>-1</sup>, średnica docieranego wałka 0,7-30 mm, długość docieranego wałka 5-200 mm): 1 – docierany przedmiot, 2 – separator, 3 – napęd mimośrodowy separatora, 4 – tarcze docierające (górna i dolna) obracające się w kierunkach przeciwnych, b) docierarka CLM 500 pracująca wg. tzw. układu bezkłowego (wykorzystująca narzędzia w kształcie walców, średnica docieranego wałka 3-150 mm) [9]

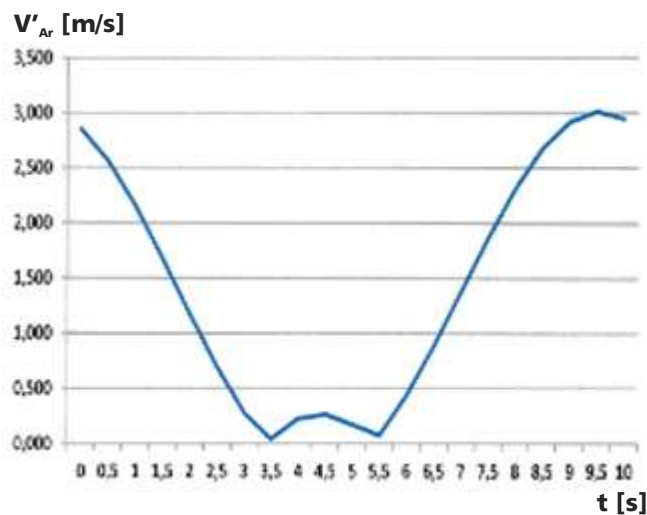


Rys. 14. Przykład docierania dwutarczowego powierzchni walcowej w separatorze mimośrodowym





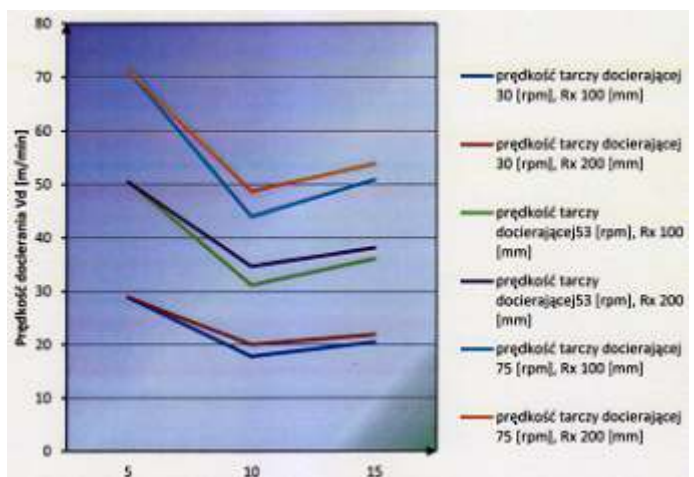
Rys. 17. Zależność prędkości  $V'_{Ar}$  w funkcji czasu  $t$  ( $L_{co} = 156$  i  $L_{ro} = 160$  mm,  $\alpha = 0,349$  rad,  $\omega_b = 10,5$ ,  $\omega_c = 0,350$  i  $\omega_{co} = 0,339$  rad/s)



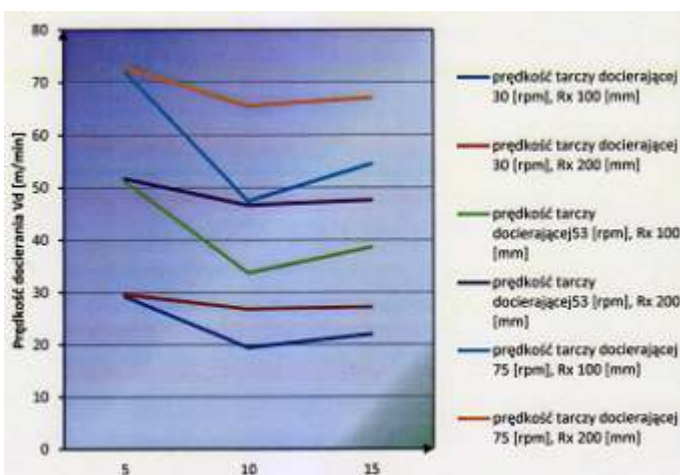
Rys. 18. Zależność prędkości  $V'_{Ar}$  w funkcji czasu  $t$  ( $L_{ro} = 140$  mm,  $\omega_c = 0,628$  rad/s, pozostałe warunki jak dla rys. 23)

Na rys. 17 i 18 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń prędkości docierania wałków o średnicy 20 mm i długości 60 mm na docierarce AL00-1-Z.

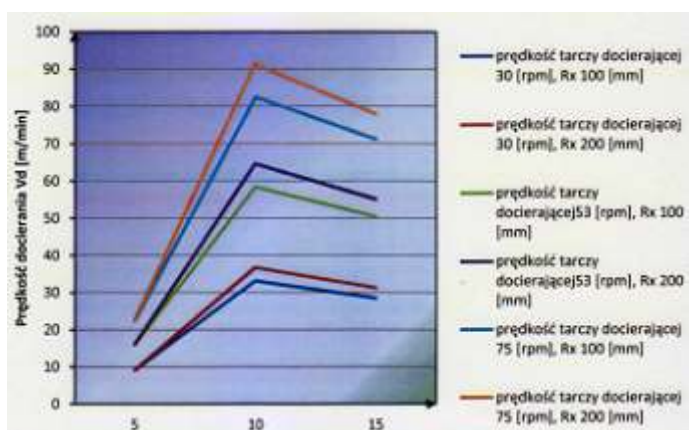
Na rys. 19–21 przedstawiono wyniki wykonanych analiz kinematyki dla docierarki FLM 500-R.



Rys. 19. Wpływ prędkości obrotowej tarczy docierającej i odległości  $R$ , rozpatrywanego punktu obrabianego wałka (środek jego tworzącej) od osi obrotu separatora oraz kąta pochylenia  $\alpha$  (5, 10 i 15 stopni) na wypadkową prędkość docierania (dla  $N = 0,9n$ , gdzie:  $N$  – prędkość obrotowa górnej tarczy docierającej,  $n$  – prędkość obrotowa dolnej tarczy docierającej)



Rys. 20. Wpływ prędkości obrotowej tarczy docierającej i odległości  $R$ , rozpatrywanego punktu obrabianego wałka (środek jego tworzącej) od osi obrotu separatora oraz kąta pochylenia  $\alpha$  (5, 10 i 15 stopni) na wypadkową prędkość docierania (dla  $N = 0,5n$ )



Rys. 21. Wpływ prędkości obrotowej dolnej tarczy docierającej i odległości  $R$ , rozpatrywanego punktu obrabianego wałka (środek jego tworzącej) od osi obrotu separatora oraz kąta pochylenia  $\alpha$  (5, 10 i 15 stopni) na wypadkową prędkość docierania (dla  $N = 0$ )



## Uwagi ogólne

W procesie docierania oddziaływania zewnętrzne wpływają na obciążenie aktywnych mikroziaren ściernych (warunki sterowane: nacisk jednostkowy, koncentracja dawkowanych mikroziaren) oraz dotyczą kinematyki i dynamiki docierania (rozkład prędkości względnych w czasie jednego cyklu ruchu, rozkład przyspieszeń, siły skrawania, rozmieszczenie przedmiotów w separatorach, przemieszczanie separatorów). Kinematyka docierania wpływa na zużycie i stan płaskości powierzchni czynnych tarcz docierających, a więc warunkuje dokładność kształtu powierzchni obrabianej.

Docierarki tarczowe są zwykle wykorzystywane w sposób uniwersalny, jako przeznaczone do obróbki wstępnej lub wykończeniowej materiałów metalowych i ceramicznych, o małej lub dużej twardości. Sytuacja ta wymaga zmian prędkości docierania, jako jednego z głównych parametrów skrawania. Bezstopniowy napęd elementów układu wykonawczego docierarek ułatwia optymalny dobór kinematyki procesu, zaś opracowywane programy symulacyjne poszerzają spektrum układów kinematycznych docierarek jedno- i dwutarczowych, mogących mieć zastosowanie w ścierniej obróbce bardzo dokładnej powierzchni płaskich, płasko-równoległych i walcowych.

## Literatura

1. Barylski A.: Analiza możliwości docierania dwutarczowego wałków w aspekcie kinematyki. *Mechanik.* 2017, nr 8-9, s. 766-768.

2. Barylski A.: Docieranie i szlifowanie powierzchni płasko-równoległych na docierarkach dwutarczowych. *Obróbka Metalu.* 2024, nr 2, s. 22-29.

3. Barylski A.: Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2013.

4. Jabłoński M.: Analiza kinematyki docierarek tarczowych. Praca dyplomowa, prowadzący pracę A. Barylski, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, 2013.

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.* 2016, vol. 82. s. 523-534.

6. Materiały informacyjne firmy GMT.

7. Materiały informacyjne firmy Kemet.

8. Materiały informacyjne firmy Peter Wolters.

9. Materiały informacyjne firmy Stähli.

10. 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.* 2017, vol. 88. s. 2849-2859.

11. 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 & Manufacture.* 2015, vol. 92, s. 60-71. ■

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.metale.org](http://www.metale.org)  
 e-mail: [redakcja@metale.org](mailto:redakcja@metale.org)  
 85-766 Bydgoszcz, ul. Fordońska 393  
 tel. 52 343 73 35, fax 52 561 02 37



**staleo.pl**  
portal przemysłowy



Stale  
o PRZEMYSŁE  
[www.staleo.pl](http://www.staleo.pl)

# ITM

## INDUSTRY EUROPE

### 3-6.06.2025

ZAPRASZA

**mtp**  
GRUPA



Międzynarodowe  
Targi Poznańskie

# TARGI PRZEMYSŁU ERY CYFROWEJ

W tym samym czasie:



MODERNLOG



SUBCONTRACTING



NAUKA  
DLA GOSPODARKI

[www.itm-europe.pl](http://www.itm-europe.pl)

# Badania odporności korozyjnej warstw węglowych na stopach magnezu

MARCIN GOŁĄBCZAK \*

W artykule scharakteryzowano właściwości użytkowe stopów magnezu typu Mg-Al-Zn oraz przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczących oceny odporności korozyjnej stopów magnezu AZ31 z wytworzonymi na ich powierzchniach węglowymi warstwami ochronnymi z dużą zawartością diamentu i porównawczo – bez tych warstw. Zaprezentowane wyniki badań obejmują ocenę porównawczą odporności elektrochemicznej i odporności korozyjnej w komorze solnej próbek ze stopu magnezu AZ31 zabezpieczonych warstwą węglową wytworzoną w optymalnych warunkach procesu PACVD (*Plasma Activated Chemical Vapour Deposition*), i próbek bez tej warstwy. Dla określenia przepływu prądu w szerokim zakresie zmian potencjału korozyjnego zastosowano model przepływu prądu wykorzystujący elektryczny obwód nieliniowy, zawierający elementy odpowiedzialne za poszczególne zjawiska fizyczne zachodzące podczas pomiaru potencjostatycznego. Do obserwacji zmian korozyjnych wykorzystano mikroskop optyczny oraz analizę SEM.

## WSTĘP

Stopy magnezu znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, gdzie redukcja masy ma zasadnicze znaczenie. Przykładowymi obszarami zastosowania stopów magnezu są: przemysł lotniczy, kosmiczny, motoryzacyjny, elektroniczny, produkcja sprzętu sportowego, biomedycyna itd. Do istotnych zalet stopów magnezu należą [5, 6, 10]:

- duża wartość stosunku wytrzymałości mechanicznej do masy;
- dobre przewodnictwo cieplne;
- mała rozszerzalność cieplna;
- dobre właściwości odlewnicze i wysoka integralność funkcjonalna;
- dobra skrawalność;
- biokompatybilność;
- biodegradowalność.

Stopy magnezu wykazują także wady, powodujące m.in. ubytek ich masy i zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej. Najistotniejszą wadą tych stopów jest jednak ich duża podatność na korozję,

zwłaszcza elektrochemiczną. Inną wadą stopów magnezu jest ich mała odporność na zużywanie oraz spadek wytrzymałości w wysokiej temperaturze. Wymienione wady w istotnym stopniu ograniczają stosowalność stopów magnezu w technice. Istotny wpływ na właściwości mechaniczne, biologiczne i odporność korozyjną stopów magnezu mają dodatki stopowe (rys. 1). Pożądaną cechą stopów magnezu stosowanych w medycynie do wytwarzania stentów (np. sercowo-naczyniowych) jest ich biodegradowalność, eliminująca uniknięcie długoterminowych problemów klinicznych, którą zapewniają dodatki stopowe (rys. 1).

W artykule opisano próbę wyeliminowania wad stopów magnezu, w tym ich korozyjności, poprzez wytworzenie na ich powierzchniach specjalnych węglowych warstw ochronnych metodą CVD, które tworzą bariery ochronne, oraz spełniają jednocześnie funkcje dekoracyjne [5, 6].

Zakres prezentowanych badań obejmuje ocenę porównawczą odporności korozyjnej próbek ze stopu magnezu AZ31 zabezpieczonych warstwą węglową wytworzoną w optymalnych warunkach procesu PACVD (*Plasma Activated Chemical Vapour Deposition*), w odniesieniu do odporności korozyjnej próbek bez tej warstwy. Badania wykonano w laboratorium materiałoznawstwa ECAM – Francja, wykorzystując udostępnioną tam aparaturę. Podstawą oceny odporności korozyjnej były wyniki uzyskane w przyspieszonych badaniach elektrochemicznych i badaniach w komorze solnej [2, 3].

## WŁAŚCIWOŚCI STOPÓW MAGNEZU TYPU Mg-Al-Zn

Stopy typu Mg-Al-Zn są łatwo skrawalne i powszechnie stosowane do produkcji precyzyjnych części ze względu na ich doskonałą plastyczność. Stopy te są znane ze swoich korzystnych właściwości

\* Dr hab. inż. Marcin Gołąbczak, prof. uczelni, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Instytut Obrabiarek i TBM, Zakład Technologii Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź, Polska, marcin.golabczak@p.lodz.pl.



Rys. 1. Elementy stopowe poprawiające odpowiednie właściwości stopów magnezu; RE – (Rare Earth) – pierwiastki ziem rzadkich; wg [12]

mechanicznych, wytrzymałości i dużej odporności na korozję, które czynią je obiecującym materiałem do produkcji implantów biomedycznych. W ciągu ostatnich kilku lat przeprowadzono szeroko zakrojone badania nad procesami ich degradacji i biokompatybilności zarówno „in vivo”, jak i „in vitro”. Zwiększenie zawartości Al powoduje natomiast ogólną poprawę odporności korozyjnej stopów Mg [10, 12].

Do badań wykorzystano stop magnezu AZ31 HP, którego skład chemiczny i właściwości pokazano w Tabeli 1. Ten komercyjny stop charakteryzuje się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, jest spawalny, wykazuje podatność na kucie i przeróbkę plastyczną oraz obróbkę skrawaniem. Powyższe cechy uzasadniają więc wybór tego gatunku stopu magnezu do badań dotyczących pokrywania go warstwami ochronno-dekoracyjnymi.

### KOROZYJNE BADANIA ELEKTROCHEMICZNE STOPÓW MAGNEZU AZ31

Przyspieszone badania elektrochemiczne polegały na wykonaniu serii pomiarów potencjostatycznych za pomocą aparatury Volta Master 1, w skład której wchodził potencjostat Radiometr-Copenhagen PGP 201. Badane próbki zanurzone były w płynie Tyroda o temperaturze 20°C. Jest to rodzaj roztworu fizjologicznego będącego mieszaniną roztworów soli. Wykorzystywany jest również do symulowania środowiska chemicznego płynów ustrojowych człowieka w laboratoryjnych badaniach korozyjnych materiałów na implanty. Skład chemiczny płynu podano w Tabeli 2.

Do modelowania zjawisk zachodzących na styku przewodnik metal-elektrolit stosuje się standardowo równanie Butlera-Volmera [1, 8, 9]. Jest to rów-

nanie typu półempirycznego i charakteryzuje szybkość przenoszenia ładunków elektrycznych przez granicę faz metal-elektrolit, zależną przede wszystkim od różnicy potencjałów i jego znaku na granicy tych faz. W modelu Butlera-Volmera nie jest jednak możliwa analiza przepływu prądu w obszarze dalekim od stanu równowagi.

Dla określenia przepływu prądu w szerokim zakresie zmian potencjału zaproponowano model wykorzystujący elektryczny obwód nieliniowy, zawierający elementy odpowiedzialne za poszczególne zjawiska fizyczne, zachodzące podczas pomiaru potencjostatycznego [5-7]. Schemat zastępczy tego obwodu przedstawiono na rys. 2.

Zaproponowany model obwodu elektrycznego składa się z dwóch gałęzi charakteryzujących prąd anodowy i katodowy. Związki pomiędzy elementami

Tabela 1. Skład chemiczny i właściwości stopu magnezu AZ31 [5, 6]

Skład chemiczny [% masy]		Właściwości fizyczne i mechaniczne stopu
Al	2,5÷3,5	Gęstość: 1,77 g/cm <sup>3</sup>
Zn	0,7÷1,3	Temperatura topnienia: 923 K
Mn	0,20	Twardość: 50 HB
Si	0,10	Wytrzymałość na rozciąganie: 260 MPa
Cu	0,05	Granica plastyczności: 200 MPa
Ca	0,04	Moduł Younga: 45 GPa
Fe	0,005	Przewodność cieplna: 114 W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Ni	0,005	Ciepło właściwe: 1413 J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Mg	reszta	Oporność elektryczna: 19,18 · 10 <sup>-8</sup> Ω·m

Tabela 2. Skład chemiczny płynu Tyroda [5, 6].

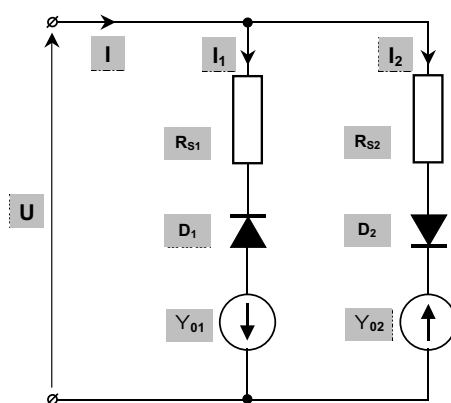
Płyn Tyroda	
Składnik	Zawartość [g/dm <sup>3</sup> ]
NaCl	8,00
KCl	0,20
CaCl <sub>2</sub>	0,20
MgCl <sub>2</sub>	0,10
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,05
NaHCO <sub>3</sub>	1,00
D-glukoza	0,10
pH = 7,4	

modelu z rys. 2 a zjawiskami zachodzącymi na styku przewodnik-elektrolit są następujące:

– diody D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>, które są zasadniczym elementem proponowanego modelu, odpowiadają wykładniczym członom równania Butlera-Volmera za zjawiska dyfuzyjne [1, 8, 9];

– oporniki R<sub>S1</sub> i R<sub>S2</sub>, które odpowiadają za zjawisko przenoszenia nośników ładunków, istotne szczególnie przy większych wartościach napięciach U;

– generatory napięciowe Ψ<sub>01</sub> i Ψ<sub>02</sub>, które odpowiadają za stykowe różnice poten-



Rys. 2. Struktura proponowanego modelu w formie nieliniowego obwodu elektrycznego o stałych skupionych [5, 6]

cjałów dla anodowej i katodowej części charakterystyki.

Równania opisujące obwód zastępczy (rys. 2) są następujące:

– dla gałęzi anodowej (na rysunkach 3 i 4 są to lewe części krzywych opadających):

$$j_1 = -j_{01} \left( e^{-\frac{q \cdot m_1}{k \cdot t} \cdot U_{01}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$R_{S1} \cdot j_1 + U_{01} + \Psi_{01} \quad (2)$$

– dla gałęzi katodowej (na rysunkach 3 i 4 są to prawe części krzywych wznoszących):

$$j_2 = -j_{02} \left( e^{-\frac{q \cdot m_2}{k \cdot t} \cdot U_{02}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$R_{S2} \cdot j_2 + U_{02} + \Psi_{02} \quad (4)$$

Całkowity prąd płynący przez styk jest sumą prądu anodowego i prądu katodowego:

$$j = j_1 + j_2 \quad (5)$$

gdzie:

q – ładunek elementarny elektronu, w [C],  
q = 1,6022 · 10<sup>-19</sup> C;

k – stała Boltzmanna, w [J/K] [kg · s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> · K],  
k = 1,3807 · 10<sup>-23</sup> J/K;

T – temperatura styku [K];

j<sub>1</sub>, j<sub>2</sub> – gęstości prądów nasycenia, w [mA/cm<sup>2</sup>];

R<sub>S1</sub>, R<sub>S2</sub> – rezystancje reprezentujące zjawisko przenoszenia elektronów, w [Ω];

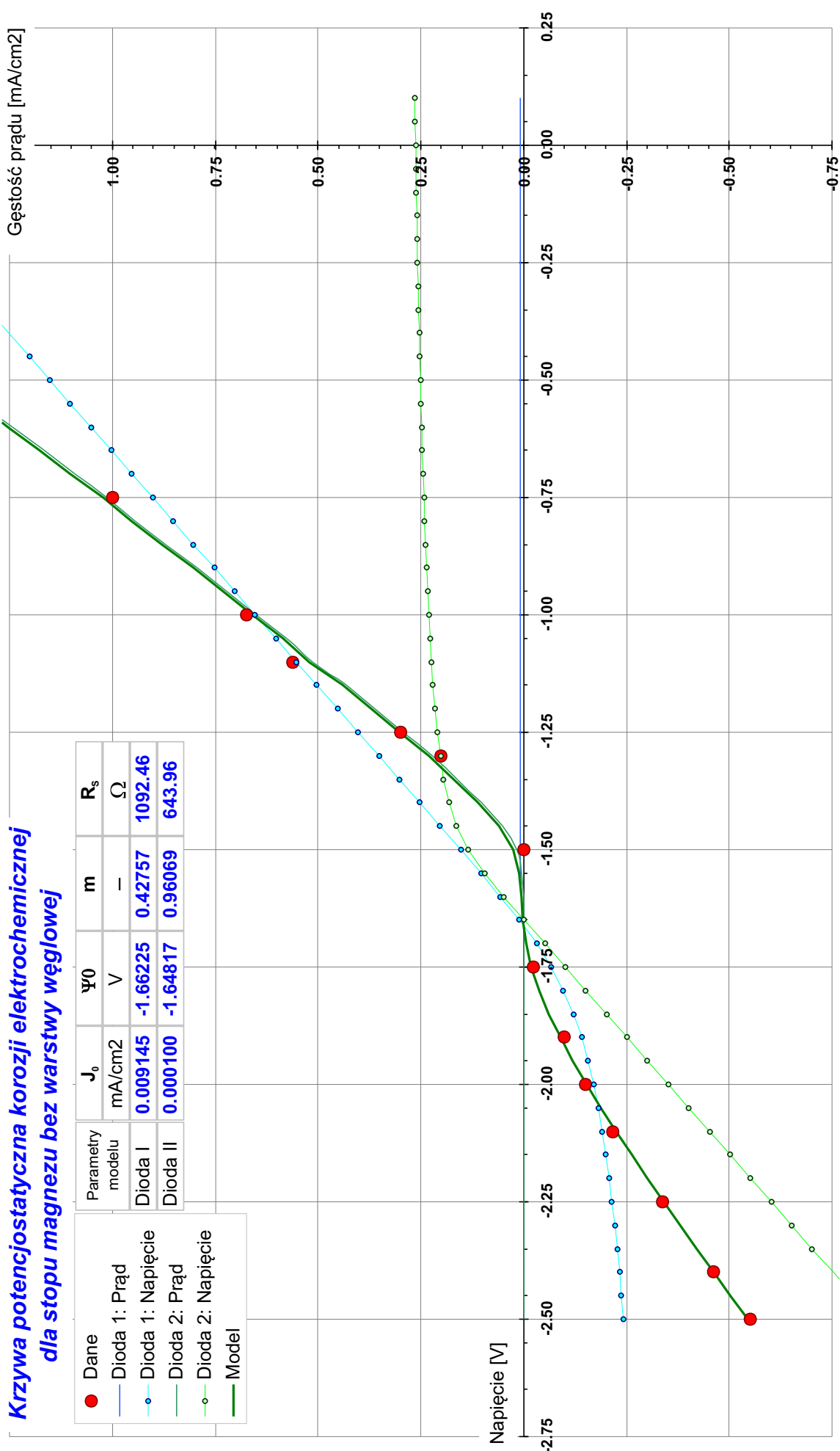
m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub> – współczynniki zależne od podziałów prądów i wartościowości jonów w roztworze, liczby niemianowane.

Dokonano identyfikacji parametrów elektrycznych modelu dla poszczególnych krzywych potencjostatycznych (krzywych Tafela), stosując metodę najmniejszych kwadratów i rozwiązując powstały układ równań nieliniowych metodą gradientową [11]. Otrzymano parametry, które są efektywnymi estymatorami rzeczywistych parametrów modelu.

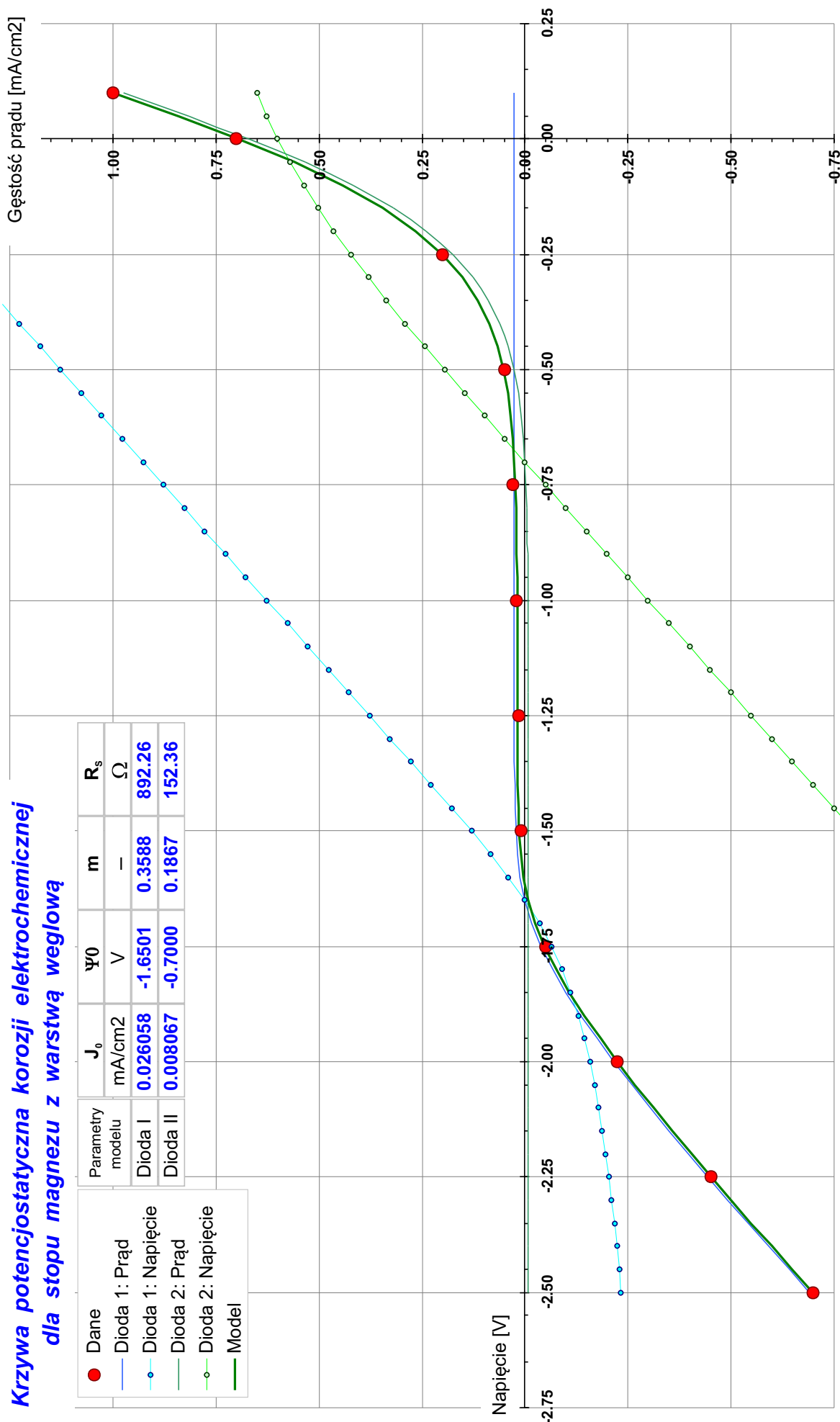
Wyniki badań potencjostatycznych przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 3 i 4. Punkty przecięcia krzywych napięcia na diodach z osią OX wyznaczają potencjały na granicy faz metal-roztwór. Wartości liczbowe parametrów elektrycznych, obliczone dla założonych modeli zawarto w Tabelach 3 i 4.

Po zakończeniu badań potencjostatycznych dokonano obserwacji mikroskopowych powierzchni badanych próbek na podstawie fotografii SEM. Przykładowe obrazy powierzchni porównanych próbek ilustrują rys. 5 i 6.

Analiza wyników badań elektrochemicznych wykazała, że zastosowanie warstwy węglowej na próbkach ze stopu magnezu AZ31 wpływa na istotne przesunięcie i rozsuniecie się potencjałów (wzrost potencjału korozyjnego) na granicy faz metal-roztwór (rys. 4), w porównaniu do próbki bez tej powłoki (rys. 3). Oznacza to bardzo korzystny wpływ wytworzonej powłoki węglowej na tym stopie na zwiększenie bariery



Rys. 3. Krzywa potencjostatyczna dla stopu magnezu AZ31 bez warstwy węglowej [2 ÷ 7]



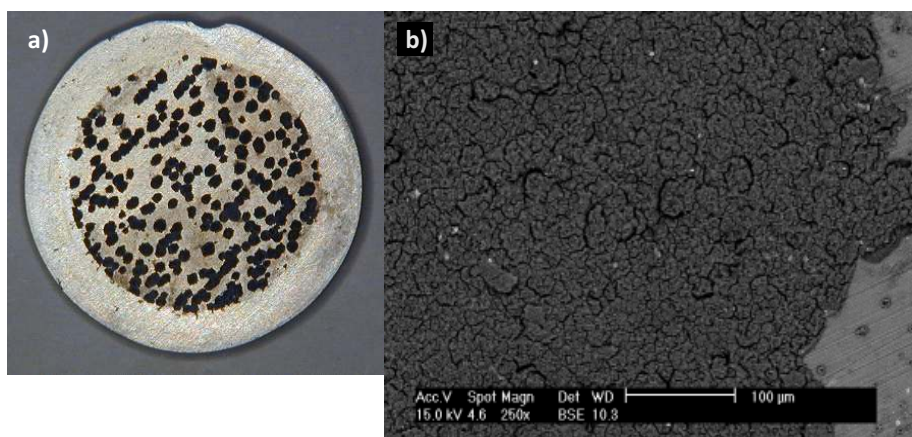
Rys. 4. Krzywa potencjostatyczna dla próbki ze stopu magnezu AZ31 z wytworzoną warstwą węglową ze znacznym udziałem diamentu [2 ÷ 7]

Tabela 3. Zestawienie wartości parametrów elektrycznych do krzywej potencjostatycznej dla próbki ze stopu magnezu AZ31 bez warstwy węglowej [5, 6]

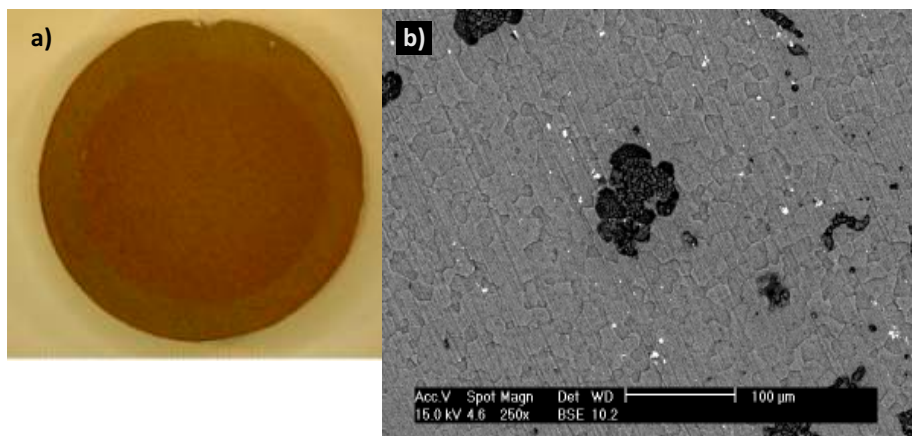
Parametry modelu	$J_0$	$\Psi_0$	$m$	$R_s$
	mA/cm <sup>2</sup>	V	-	$\Omega$
Dioda I	0.009145	-1.6622	0.4276	1092.46
Dioda II	0.000100	-1.6482	0.9607	643.96
Błąd kwadratowy	4.027E-03			
Odchyłka 3 $\sigma$	5.280E-02			mA/cm <sup>2</sup>

Tabela 4. Zestawienie wartości parametrów elektrycznych do krzywej potencjostatycznej dla próbki pokrytej warstwą węglową ze znacznym udziałem diamentu [5, 6]

Parametry modelu	$J_0$	$\Psi_0$	$m$	$R_s$
	mA/cm <sup>2</sup>	V	-	$\Omega$
Dioda I	0.026058	-1.6501	0.3588	892.26
Dioda II	0.008067	-0.7000	0.1867	152.36
Błąd kwadratowy	7.947E-05			
Odchyłka 3 $\sigma$	7.720E-03			mA/cm <sup>2</sup>



Rys. 5. Obraz mikroskopowy SEM próbki ze stopu magnezu AZ31 po potencjostatycznym badaniu korozyjnym; czas próby 1 h: a) powiększenie 3 x, b) powiększenie 250 x [5, 6]



Rys. 6. Obraz mikroskopowy SEM próbki ze stopu magnezu AZ31 z wytworzoną warstwą węglową po potencjostatycznym badaniu korozyjnym: a) powiększenie 3 x, b) powiększenie 250 x [5, 6]

ochronnej przed korozją elektrochemiczną.

Porównanie obrazów SEM powierzchni próbek po zakończeniu badań (rys. 5 i 6) ten fakt potwierdza. O ile w przypadku powierzchni próbki pokrytej warstwą węglową można zaobserwować pojedyncze, ciemne plamki (rys. 6) mogące prawdopodobnie świadczyć o początkowych zarodkach korozji, o tyle na powierzchni próbki bez tej powłoki (rys. 5) uwidocznione są wyraźne skutki korozji elektrochemicznej na całej powierzchni.

### BADANIA KOROZYJNE W KOMORZE SOLNEJ – „SALT SPRAY TEST”

Badania odporności korozyjnej przeprowadzono w komorze solnej typu SIGMA DIESEL (BOSCH) [5, 6]. Do badań przygotowano próbki ze stopu magnezu AZ31 z wytworzoną warstwą węglową i bez tej powłoki. Czas ekspozycji próbek w komorze solnej wynosił odpowiednio: 6 h – dla próbek bez warstwy węglowej i 240 h – dla próbek z wytworzoną warstwą węglową. Badanie odporności na działanie mgły solnej wykonano wg PN-EN ISO 9227, natomiast parametry testu pokazano w Tabeli 5.

Przy ocenie testu korozyjnego badanych próbek porównywano obrazy powierzchni próbek podczas obserwacji pod mikroskopem metalograficznym i mikroskopem SEM. Przykładowe obrazy powierzchni badanych próbek przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

Porównanie obrazów powierzchni próbek ze stopu AZ31 poddanych działaniu środowiska korozyjnego w komorze solnej wskazuje, że próbki bez ochronnej powłoki węglowej ulegają korozji po stosunkowo krótkim czasie ekspozycji (6 h). Próbki z tego stopu pokryte warstwą węglową ujawniały natomiast tylko śladowe ogniska korozji dopiero po 240 h ekspozycji w komorze solnej. Przytoczone wyniki badań potwierdzają więc bardzo korzystny wpływ warstw węglowych na ochronę tego stopu przed korozją.

### WNIOSKI

Przeprowadzone badanie potencjostaticzne i w komorze solnej potwierdziły możliwość zastosowania warstw węglowych do ochrony przeciwkorozyjnej wyrobów ze stopów lekkich,



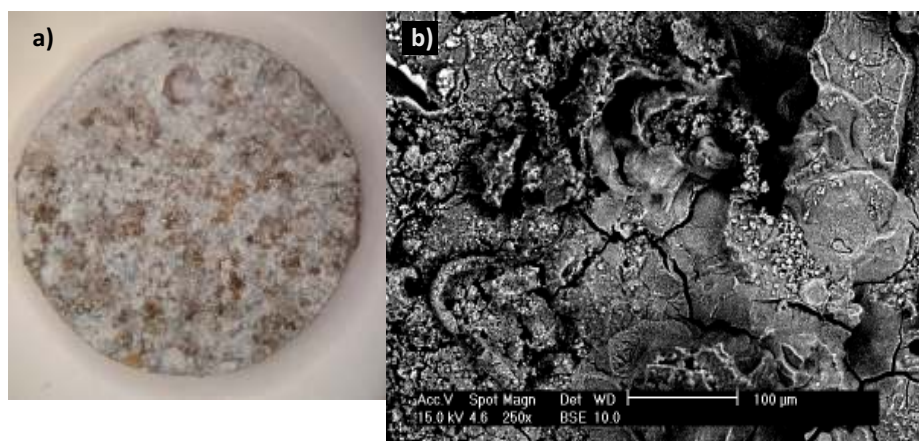
Tabela 5. Parametry testu korozyjnego w komorze solnej [5, 6]

Parametry testu	Wartość
Czas testu	6 h i 240 h
Temperatura w komorze	35°C ± 1°C
Wilgotność w komorze	85÷90%
Intensywność natrysku (skraplanie na 80 cm <sup>2</sup> powierzchni)	2 ml ± 1 cm <sup>3</sup> /h
Ciśnienie powietrza	0,10 ± 0,02 MPa
Zawartość NaCl w roztworze	5% objętościowo
pH = 7,2	

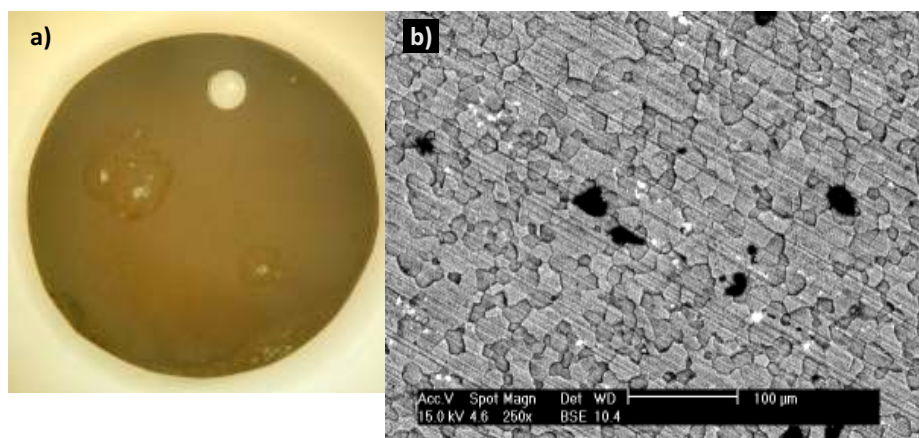
wytwarzanie warstw o określonych wcześniej właściwościach antykorozyjnych.

**LITERATURA**

1. Galus Z.: Teoretyczne podstawy elektrochemii. WNT Warszawa, 1987.
2. Gołąbczak M.: Estimation of Carbon Coatings Manufactured on Magnesium Alloys. Special Issues on Magnesium Alloys, InTech, Croatia, 2011, 41–66.
3. Gołąbczak M.: Investigation of Corrosion Resistance of Carbon Coatings Deposited on Magnesium Alloys by PACVD Method. Mechanics and Mechanical Engineering, 12(2), 2008, 157–164.
4. Gołąbczak M.: Properties of Hard Carbon Coatings Manufactured on Magnesium Alloys by PACVD Method. Advanced Knowledge Application in Practice, Sciyo, Croatia, 2010, 61–84.
5. Gołąbczak M.: Wytwarzanie i badania właściwości użytkowych warstw węglowych i TiN na stopach magnezu oraz warstw niskotarciowych na stali X38CrMoV5-1. Rozprawa habilitacyjna, Politechnika Łódzka, 2015.
6. Gołąbczak M.: Wytwarzanie warstw węglowych na stopach magnezu metodą PACVD. Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, 2005.
7. Gołąbczak M., P. Couvrat P.: Investigations of Carbon Layers Manufactured on Magnesium Alloys Using PACVD Method. Engineering of Biomaterials, 43-44, 2005, 25–29.
8. Koryta J., Dworak J., V. Bochackowa V.: Elektrochemia, PWN Warszawa, 1980.
9. Libuś W., Libuś Z.: Elektrochemia. WNT Warszawa, 1987.
10. Mordike B. L., Ebert T.: Magnesium: Properties – Applications – Potential. Materials Science and Engineering: A, 302(1), 2001, 37–45.
11. Rao C.: Podstawy statystyki liniowej. PWN Warszawa, 1984.
12. Wang S., Du CH., Shen X., Wu X., Ouyang S., Tan J., She J., Tang A, Chen X, PAN F: Rational Design, Synthesis and Prospect of Biodegradable Magnesium Alloy Vascular Stents. Journal of Magnesium and Alloys, 11, 2023, 3012–3037.



Rys. 7. Obrazy mikroskopowe próbki ze stopu magnezu AZ31 bez warstwy węglowej po 6 h ekspozycji w komorze solnej: a) powiększenie 3 ×, b) powiększenie 250 × [5, 6]



Rys. 8. Obrazy próbki ze stopu magnezu AZ31 z wytworzoną warstwą węglową po 240 h ekspozycji w komorze solnej: a) powiększenie 3 ×, b) powiększenie 250 × [5, 6]

w tym zwłaszcza stopów magnezu AZ31. Badanie potencjostatyczne warstw węglowych w różnych, zdefiniowanych środowiskach, nie tylko w płynie Tyrode’a, może stanowić dobre narzędzie do oceny szczelności warstwy węglowej w nanoskali. Opracowana

technologia wytwarzania warstw węglowych typu CVD skutecznie ogranicza korozję stopów magnezu. Wykazano, że wraz ze wzrostem procentowym udziału diamentu w wytworzonej warstwie węglowej rośnie jej odporność korozyjna. W związku z tym możliwe jest

# Przemysł jutra – najważniejsze branżowe wydarzenia już w październiku

Już jesienią, w terminie 14–16 października 2025 r., w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach, odbędą się najważniejsze wydarzenia branży przemysłowej – 17. Międzynarodowe Targi Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki TOOLEX, 10. Międzynarodowe Targi Spawalnicze ExpoWELDING, a także branżowe konferencje. Organizatorzy zapowiedzieli nowe atrakcje organizowane w ramach wydarzenia.

Podczas targów odwiedzanych przez kilka tysięcy specjalistów, czołowi krajowi i zagraniczni wystawcy zaprezentują najnowsze rozwiązania i technologie związane z obróbką metali. Robotyzacja i automatyzacja, narzędzia,

TOOLEX co roku gromadzi licznych przedstawicieli kadry zarządzającej firm produkcyjnych, operatorów CNC, programistów, kontrolerów jakości i techników utrzymania ruchu oraz wszystkich zainteresowanych specjalistycznymi no-

Wydarzeniu towarzyszyć również będzie czwarta edycja konkursu *The Best of Industry 4.0*, który co roku nagradza zakłady produkcyjne i obiekty przemysłowe, które skutecznie wprowadzają rozwiązania Przemysłu 4.0 oraz umiejętnie



obróbka metali skrawaniem, plastyczna, cieplna, laserowa, chłodziwa i ciecze technologiczne, metrologia przemysłowa, pneumatyka i hydraulika, BHP produkcji, oprogramowanie dla procesów, czy łożyska i elementy napędowe – spektrum prezentowanych tematów będzie niezwykle szerokie.

winkami. Ubiegłoroczna edycja zgromadziła 5500 uczestników i ponad 170 wystawców z całego świata.

Dodatkową wartością wydarzenia są konferencje branżowe towarzyszące targom. Ubiegłoroczna formuła *Industry Talks*, rozmów organizowanych w ramach konferencji „Nowy Przemysł 4.0” została bardzo dobrze przyjęta, a zaproszeni goście w gronie ekspertów dyskutowali o istotnych problemach branż produkcyjnych.

i sprawnie przeprowadzają procesy cyfryzacji, a także wyjątkowe i innowacyjne rozwiązania i technologie dla przemysłu, które te procesy usprawniają. Laureaci, przedstawiciele największych firm produkcyjnych w Polsce i za granicą, nagradzani są w czasie uroczystej, wieczornej gali.

Targi TOOLEX i ExpoWELDING odbędą się 14–16 października 2025 r. w Międzynarodowym Centrum Kongresowym w Katowicach. ■



# TOOLEX

## Międzynarodowe Targi Obrabiarek, Narzędzi i Technologii Obróbki

ZAPRASZAMY DO UDZIAŁU

**14-16 października 2025 r.**

Międzynarodowe Centrum  
Kongresowe w Katowicach



[WWW.TOOLEX.PL](http://WWW.TOOLEX.PL)

Wydarzeniu towarzyszyć będzie:

ExpoWELDING





**producent systemów  
pionowego składowania  
oraz automatów wydających  
dla przemysłu**



**KONTAKT:**  + 48 22 755 59 49  [info@temrex.pl](mailto:info@temrex.pl)

TEMREX-DYNATECH Sp. z o.o., Aleja Katowicka 261, 05-830 URZUT



[www.temrex.pl](http://www.temrex.pl)