

PROGNOZOWANIE ROZWOJU TECHNOLOGII SZLIFOWANIA I WYGŁADZANIA POWIERZCHNI O ZMIENNEJ KRZYWIŹNIE

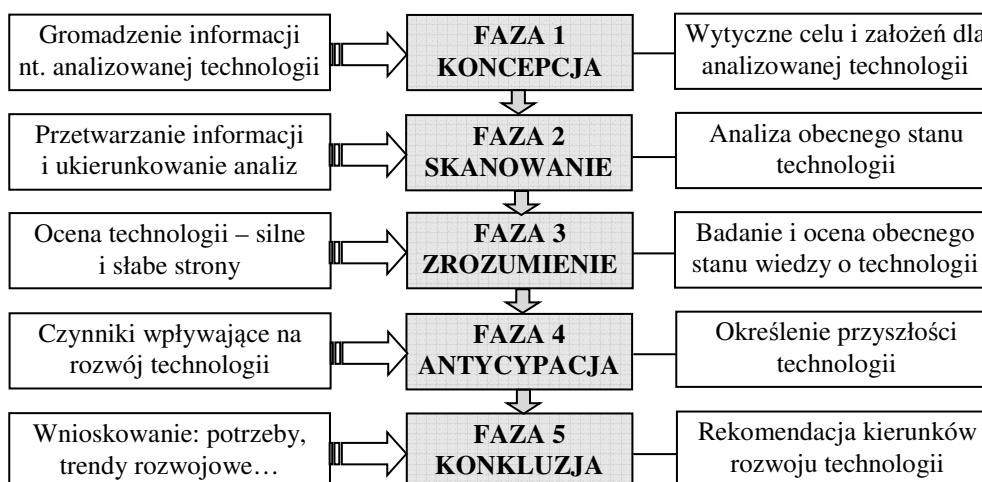
Jarosław PLICHTA, Jan BARAN

Streszczenie: W artykule przedstawiono prognozowanie innowacyjnego kierunku rozwoju technologii obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie. Istotą jego jest integracja procesów frezowania i szlifowania na jednej specjalnej obrabiarkie. Model obrabianej powierzchni może być generowany w systemie CAD 3D lub za pomocą inżynierii odwrotnej (skanowania 3D). Natomiast sterowanie procesami obróbki odbywa się za pomocą układu numerycznego CNC z wykorzystaniem systemu CAM. W wyniku tych prac powstały założenia konstrukcyjne i prototyp takiej obrabiarki, której właściwości techniczno-eksploatacyjne są obecnie weryfikowane.

Słowa kluczowe: prognozowanie, frezowanie, szlifowanie, sterowanie, obrabiarka.

1. Metodyka prognozowania rozwoju technologii

W niniejszej pracy zastosowano procedury przedstawione w pracy [4]. Według tej metodologii proces prognozowania powinien być realizowany w 5-ciu fazach przedstawionych na rysunku 1.



Rys.1. Schemat procesu prognozowania rozwoju technologii

Ze zbioru metod zaleczanych do stosowania w realizowanej analizie wybrano te, które można zastosować w analizach spersonalizowanych prowadzonych z udziałem pracowników naukowych Politechniki Koszalińskiej i zakładów przemysłowych. W tabeli 1 przedstawiono metody tej analizy zastosowane w poszczególnych etapach.

Tab. 1. Zastosowane metody w procesie prognozowania rozwoju technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie

1. Faza koncepcji	- mapy myśli, - analiza ekspercka, - wywiady przemysłowe, - analiza stanu wiedzy, - ekstrapolacja trendów.
2. Faza skanowania	- analiza literatury, - analiza patentów, - analiza prac kwalifikacyjnych, - obserwacje na targach przemysłowych, - analiza zasobów Internetowych, - analiza materiałów konferencyjnych, - wywiady przemysłowe
3. Faza zrozumienia	- analiza związków przyczynowo-skutkowych, - analiza SWOT, - obserwacja i analiza kierunków rozwojowych.
4. Faza antycypacji	- ocena potrzeb przemysłowych, - analiza uzupełnień, - analiza i ocena nowych potencjałów rozwoju - wnioskowanie.
5. Faza konkluzji	- wyznaczenie etapów rozwoju, - ocena zakresu zastosowania technologii, - ocena nakładów inwestycyjnych, - opracowanie założeń projektowych urządzenia technolog.

2. Prognozowanie rozwoju technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie

2.1. Faza koncepcji (wytyczenie celu i założeń badawczych)

Punktem wyjścia do opracowania koncepcji badań nad rozwojem technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie, były analizy przeprowadzone w zakładach przemysłowych produkujących zaawansowane wyroby przemysłowe oraz analizy przeprowadzone w ramach paneli dyskusyjnych pracowników naukowych Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej i producentów narzędzi ściernych. W ich wyniku ustalono, że:

- istnieje potrzeba szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie po ich wstępnym ukształtowaniu za pomocą frezowania z zastosowaniem frezów kulistych, charakteryzujących się dużymi wysokościami nierówności struktury geometrycznej ($R_t \geq 30\mu\text{m}$),
- powierzchnie o zmiennej krzywiznie mogą być kształtowane na różnorodnych elementach z materiałów o różnej skrawalności i szlifowalności (stopy tytanu, stopy aluminium, stopy niklu i kobaltu), po procesie szlifowania i wygładzania struktura tych powierzchni powinna być jednorodna, niezależnie od lokalnej krzywizny,

- w wielu przypadkach powierzchnie o zmiennej krzywiznie nie są opisane w sposób parametryczny (brak modelu CAD 3D) i były modelowane drogą inżynierii odwrotnej (np. powierzchnie wzornicze),
- obróbka takich powierzchni za pomocą frezowania i szlifowania powinna być zintegrowana, tj. powinna być realizowana w jednej operacji za pomocą dwóch zabiegów na jednym stanowisku technologicznym,
- do zabiegów szlifowania i wygładzania powinien być stosowany zbiór narzędzi o różnej charakterystyce technicznej, dobierany w zależności do wymogów obróbkowych, np. do szlifowania zgrubnego, do szlifowania wykończeniowego i do szlifowania wygładzającego),
- narzędzia powinny wykonywać ruch obrotowy ze stałą siłą docisku i przy określonym kącie położenia względem powierzchni obrabianej,
- proces obróbki powinien być zautomatyzowany zarówno w zakresie ruchów roboczych, jak i doboru parametrów i warunków obróbki,
- technologia obróbki takich powierzchni powinna umożliwiać jej realizację bez znajomości zapisu parametrycznego (CAD 3D).

Przeprowadzona analiza potrzeb i oczekiwań sformułowanych w odniesieniu do technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie, umożliwia opracowanie wstępnych założeń o charakterze technicznym w pierwszej fazie jej rozwoju.

2.2. Faza skanowania (analiza obecnego stanu technologii)

W tej fazie przeprowadzono wszechstronną analizę dotychczasowego stanu rozwijanej technologii, z uwzględnieniem wymagań sformułowanych w fazie koncepcji. Uwzględniono w niej stosowane urządzenia technologiczne, głowice i narzędzia szlifierskie oraz systemy sterowania procesami obróbkowymi [1, 2, 3, 5, 6, 7] (tab.2).

Tab. 2. Podstawowe środki techniczne stosowane dotychczas w szlifowaniu i wygładzaniu powierzchni o zmiennej krzywiznie

Urządzenia technologiczne	Narzędzia szlifierskie	Głowice szlifierskie	Układy sterowania	Materiały obrabiane
Obrabiarki konwencjonalne		Głowice wielonarzędziowe	Sterowanie ręczne	Metale żelazne i nieżelazne
Wieloosiowe centra obróbkowe	Elastyczne narzędzia ściernie		CNC, CAD/CAM	Metale żelazne i nieżelazne
Roboty przemysłowe	Taśmy i krążki ściernie	Głowice hybrydowe	CNC, SI, CAD/CAM	Metale żelazne i nieżelazne, tworzywa sztuczne, drewno

Wykazano, że przy aktualnym stanie rozwoju analizowanej technologii, w zaawansowanych procesach szlifowania powierzchni krzywoliniowych, coraz częściej wykorzystywane są obrabiarki wieloosiowe ze sterowaniem CNC oraz wieloosiowe roboty przemysłowe. Programowanie obróbki w urządzeniach zautomatyzowanych najczęściej odbywa się z wykorzystaniem parametrycznego modelu obrabianej powierzchni zapisanej

w systemach CAD3D. Jest to szczególnie widoczne w odniesieniu do produkcji seryjnej i wielkoseryjnej. Natomiast z uwagi na rozwój produkcji elastycznych krążków ściernych i taśm ściernych o bardzo dobrych właściwościach skrawnych i długich okresach trwałości, właśnie one zaczynają dominować jako narzędzia zarówno do obróbki zgrubnej, jak i wykończeniowej.

2.3. Faza zrozumienia (ocena obecnego stanu wiedzy o technologii)

Aktualny stan rozwoju maszynowych technologii szlifowania i wygładzania powierzchni krzywoliniowych, jest uwarunkowany rozwojem maszyn technologicznych oraz rozwojem narzędzi ściernych. Jest on również silnie uzależniony od standardowego oprogramowania klasy CAD/CAM, wykorzystywanego do programowania obróbki powierzchni krzywoliniowych klasy NURBS. W ujęciu syntetycznym, stan ten można scharakteryzować w następujący sposób:

1. Aktualny stan rozwoju narzędzi ściernych:
 - taśmy ścierne z konwencjonalnymi ziarnami ściernymi: 99A, SiC, Cubitron CBN i ziarnami pęcherzykowymi,
 - taśmy ścierne z replikowanymi agregatami ściernymi Trizact,
 - krążki ścierne z ziarnami Trizact, CubitronII i włókninami ściernymi,
 - ściernice ze spoiwem elastycznym,
 - ściernice o elastycznej powierzchni czynnej o regulowanym napięciu.
2. Aktualny stan rozwoju głowic szlifierskich i szlifiersko-polarskich:
 - głowice wielonarzędziowe z niezależnym napędem elektrycznym lub pneumatycznym z narzędziami przemieszczającymi się w ich kierunku osiowym,
 - głowice hybrydowe z zespołem narzędzi do szlifowania i wygładzania z jedną wspólną osią obrotu,
 - głowice mechatroniczne z precyzyjnym dosuwem nanometrycznym.
3. Aktualny stan rozwoju technologii szlifowania za pomocą centrów obróbkowych:
 - obróbka wieloosiowa z wykorzystaniem dodatkowych elektrowrzecion szybkoobrotowych (3-5 osi),
 - ręczna wymiana narzędzi ściernych do obróbki zgrubnej, kształtującej i wykończeniowej,
 - zróżnicowane tory ruchu narzędzi typowe dla obróbki frezarskiej,
 - obróbka frezarska i szlifierska w jednym zamocowaniu przedmiotu obrabianego,
 - możliwość realizacji obróbki z wielu stron,
 - sterowanie obróbką na podstawie modelu CAD3D (CAD/CAM).
4. Aktualny stan rozwoju technologii szlifowania za pomocą robotów przemysłowych:
 - obróbka wieloosiowa z wykorzystaniem elektrowrzecion szybkoobrotowych i dodatkowych stołów obrotowo-uchyłnych (5-7 osi),
 - automatyczna wymiana narzędzi ze zbioru magazynowego,
 - sterowanie obróbką za pomocą ręcznego nauczania lub na podstawie modelu CAD3D (CAD/CAM),
 - zróżnicowane tory ruchu narzędzi specjalnie opracowane do pracy robota,
 - obróbka z zastosowaniem stałej siły docisku (Force Control),
 - autonomiczne zrobotyzowane stacje szlifierskie.

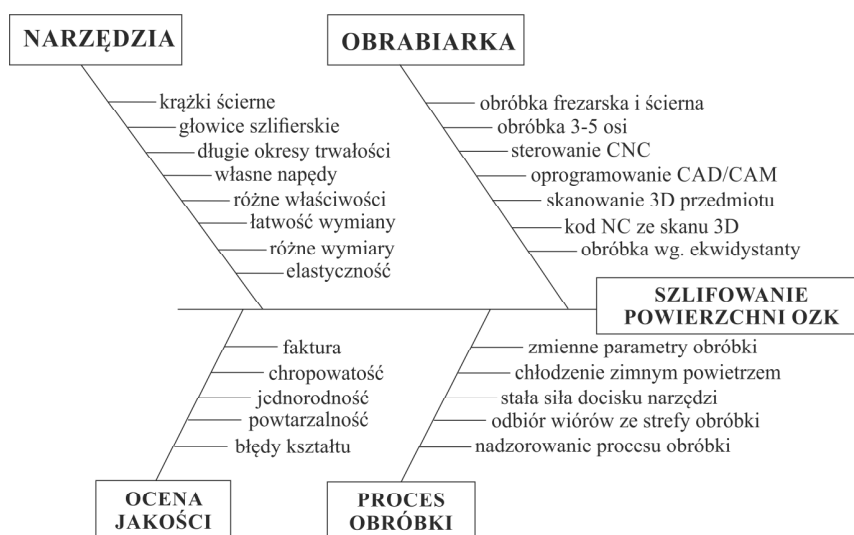
5. Aktualny stan rozwoju technologii szlifowania z zastosowaniem frezarek konwencjonalnych:

- obróbka za pomocą wielonarzędziowych głowic szlifierskich z niezależnym napędem turbiną pneumatyczną,
- obróbka pojedynczymi krążkami ściernymi o różnej charakterystyce technicznej,
- uproszczone prostoliniowo-zwrotne ruchy narzędzi.

Przeprowadzona analiza wykazuje, że na poziomie obecnym, stan wiedzy o technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie jest szeroki i ściśle wiąże się z poziomem rozwoju centrów obróbkowych sterowanych układami CNC i narzędzi obróbkowych. Urządzenia technologiczne są adoptowane do obróbki ścierniej tego rodzaju powierzchni bez zmian uwzględniających specyfikę tej obróbki. Jedynie w przypadku zastosowania robotów przemysłowych zostały oprogramowane specjalne rodzaje torów ruchu narzędzi obróbkowych. Natomiast w odniesieniu do narzędzi, nastąpił istotny rozwój zwłaszcza w zakresie konstrukcji i napędów wielonarzędziowych głowic szlifierskich. Głowice te w istotny sposób zwiększają efektywność obróbki i rozszerzają tę technologię na obrabiarki konwencjonalne. Widoczny jest jednak wyraźny brak działań integrujących obróbkę kształtującą za pomocą frezowania z wykończeniową obróbką ścierną. Brak jest też możliwości programowania procesu obróbki powierzchni o nieznanym modelu parametrycznym CAD 3D.

2.4. Faza antycypacji (określenie przyszłości technologii)

Na podstawie identyfikacji i analizy trendów rozwoju związanych z technologią szlifowania i wygładzania powierzchni krzywoliniowych, przyjęto założenia i podstawy modernizacji tej technologii. Istotne znaczenie w tej modernizacji mają też wcześniejsze doświadczenia autorskie. Założenia te usystematyzowano w postaci wykresy Ishikawy, odnosząc je do: obrabiarki, narzędzi, procesu obróbki i oceny jakości obrabianej powierzchni (rys. 2).

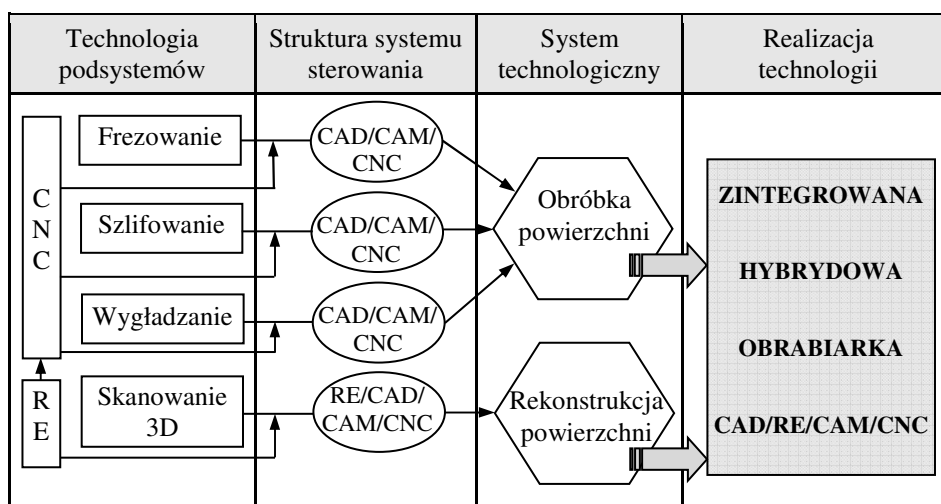


Rys. 2. Charakterystyka maszynowej technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie

Uwzględniając powyższe, przyszły rozwój technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie, powinien być ukierunkowany na pełną integrację obróbki kształtującej powierzchni za pomocą frezowania wieloosiowego i szlifowania na jednej specjalistycznej obrabiarce. Obróbka powinna być sterowana za pomocą układu CNC ze wspomaganie systemem CAD/CAM, w tym ze skanu 3D obrabianej powierzchni. W tego typu obróbce powinny być stosowane zarówno pojedyncze narzędzia ściernie, jak i wielonarzędziowe głowice. Niezwykle ważne jest też zapewnienie stałych warunków obróbki, które mogą zapewnić odpowiednio dobrane parametry obróbki, stała głębokość mikroskrawania określana z zastosowaniem ekwidystanty powierzchni obrabianej oraz suche chłodzenie zimnym sprężonym powietrzem strefy obróbki. Pomocne w tym względzie jest też zastosowanie systemu monitorowania i diagnostyki procesu szlifowania, np. za pomocą sygnału emisji akustycznej pochodzącego ze strefy obróbki.

2.5. Faza konkluzji (rekomendacja kierunków rozwoju technologii)

Analizując przedstawione powyżej wytyczne określające rozwój technologii kształtowania powierzchni o zmiennej krzywiznie, podjęto próbę opracowania jego planu. Jego wynikiem jest projekt strukturalny obejmujący główne podsystemy funkcjonalne. Tworzą one strukturę nowego urządzenia technologicznego (rys. 3).



Rys. 3. Projekt struktury zintegrowanej hybrydowej technologii obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie

Efektom końcowym przeprowadzonej wielokryterialnej analizy i przewidywanego rozwoju opracowywanej technologii obróbki, jest koncepcja zintegrowanej obrabiarki hybrydowej. Obrabiarka ta umożliwi prowadzenie procesów frezowania i szlifowania złożonych powierzchni z zastosowaniem obróbki CNC i systemów CAD/CAM z możliwością wstępnego skanowania 3D. Obróbka frezarska może być realizowana za pomocą frezów kulistych, natomiast obróbka szlifowaniem i wygładzaniem za pomocą krążków ściernych i wielonarzędziowych głowic szlifiersko-polarskich. Technologia ta mieści się w nowoczesnym nurcie rozwoju urządzeń technologicznych, w których integruje się różne metody obróbki, która jest realizowana w jednym zamocowaniu przedmiotu

obrabanego i przy tej samej bazie technologicznej. Ocenę jakościową rekomendowanej technologii zintegrowanego kształtowania powierzchni o zmiennej krzywiznie, przeprowadzono na podstawie analizy SWOT (tab. 3).

Tab. 3. Analiza SWOT projektowanej technologii szlifowania i wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie

Waga	Czynniki zewnętrzne	Waga	Czynniki wewnętrzne
	SZANSE		MOCNE STRONY
0,3	Brak konkurencji	0,2	Innowacyjna technologia
0,3	Zainteresowanie przemysłu	0,2	Własność intelektualna
0,1	Wzrost udziału PZK	0,2	Duże doświadczenie n-b
0,3	Łatwość rozwoju technologii	0,4	Zbudowany wstępny prototyp
	ZAGROŻENIA		SŁABE STRONY
0,3	Rozwój innych technologii	0,3	Produkcja jednostkowa
0,2	Nieznany rynek odbiorców	0,3	Uproszczona konstrukcja
0,4	Brak wsparcia kapitałowego	0,2	Brak wariantowości
0,1	Brak badań przemysłowych	0,2	Prosty design

Analiza ta potwierdza korzystne perspektywy omawianej technologii. Potencjalne szanse zastosowań przemysłowych i rysująca się przewaga konkurencyjna, wskazują na podjęcie prac nad rozwojem tej technologii w aspekcie naukowo-badawczym i budowę prototypu urządzenia technologicznego o konstrukcji hybrydowej. Budowę prototypu funkcjonalnego ułatwia dostęp do modułowych zespołów wchodzących w jego skład. Są to: wysokoobrotowe elektrowrzeciona narzędziowe, skanery 3D z przetwarzaniem geometrii powierzchni na kody NC, elastyczne narzędzia ściernie w postaci krążków ściernych o różnej charakterystyce technicznej, wielonarzędziowe głowice szlifiersko-polerskie, prowadnice i zespoły napędowe, wieloosiowe układy sterowania CNC wspomagane systemami CAD/CAM. Dodatkowym impulsem wspierającym rozwój tej technologii jest ciągły wzrost potrzeb obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie i duże zainteresowanie ze strony zakładów przemysłowych.

3. Podsumowanie

Przedstawiony sposób prognozowania kierunków rozwoju technologii kształtowania powierzchni o zmiennej krzywiznie, oparty na metodyce perspektywnej analizy technologii, umożliwił opracowanie jej innowacyjnej koncepcji i strukturalnych założeń technologicznych. Uwzględniono w nim istotne czynniki rozwojowe pochodzące z innych obszarów wiedzy techniki, niż obróbka ścierna. To umożliwiło opracowanie rozwiniętej koncepcji frezarko-szlifierki sterowanej układem CNC o zintegrowanych funkcjach obróbkowych i pomocniczych. Stworzyło to podwaliny do opracowania założeń technicznych i konstrukcyjnych do budowy jej prototypu. Prototyp taki powstanie w 2017 roku w Zespole Laboratorium I Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej i będzie sukcesywnie rozwijany w ciągu najbliższych lat w konsultacji z zainteresowanymi zakładami przemysłowymi i pracownikami Katedry Inżynierii Produkcji.

Literatura

1. Baran J., Plichta J.: Grinding and finishing sculptured surfaces using an innovative multitool head with independent pneumatic drive. Precision Abrasive Processes. Journal of Machine Engineering, Vol.12, No 4, 2012
2. Baran J., Plichta J.: Szlifowanie powierzchni o zmiennej krzywiznie dyskami ściernymi Trizact. Inżynieria Maszyn, Z1, 2015
3. Beaucamp A. i in. Process mechanism in shape adaptive grinding (SAG). CIRP Annals Manufacturing Technology, Vol.64/1, 2015
4. Halicka K.: Perspektywna analiza technologii-metodologia i procedury badawcze. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2016
5. Osmond Chi-hang Lui, Alberet CK Mok: Robotic polishing of free-form surfaces using scanning parts. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 95,1999
6. Plichta J., Baran J.: Strategia sekwencyjnej obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie z zastosowaniem frezów kulowych i elastycznych dysków ściernych. Mat. XXXIX Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów-Łańcut 2016
7. Ryuh B., Park S., Pennock G.: An automatic tool changer and integrated software for a robotic die polishing station. Mechanism and Machine Theory 2000

Prof. dr hab. inż. Jarosław PLICHTA
Dr inż. Jan BARAN
Katedra Inżynierii Produkcji
Politechnika Koszalińska
75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17
e-mail: jaroslaw.plichta@tu.koszalin.pl
jan.baran@tu.koszalin.pl