



Opracowanie rodziny szlifierek narzędziowych ASP o budowie modułowej

Building a new family of modular tool grinders type ASP

WACŁAW MIELNICKI
JERZY ZAKRZEWSKI

WŁODZIMIERZ WILK
MARIA ZYBURA *

Przedstawiono wyniki badań procesów szlifowania i ostrzenia narzędzi z wykorzystaniem innowacyjnych modułów rodziny szlifierek narzędziowych ASP. Badania potwierdziły poprawność rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w zespołach – modułach rodziny szlifierek. Szlifiereki narzędziowe ASP będą produkowane przez LAKFAM Sp. J. z Kowar.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifiereki narzędziowe, budowa modułowa, procesy hybrydowe

Results of the tool grinding and sharpening tests performed with use of innovative moduli intended for implementation in the new ASP tool grinders family are presented. The tests were to practically confirm functional efficiency of the engineering solutions to be applied in the new grinders family units. The ASP grinding machine models are to be manufactured by LAKFAM Sp. J., Kowary.

KEYWORDS: tool grinders, modular structure, hybrid processes

Rodzina szlifierek narzędziowych ASP obejmuje zespół urządzeń przeznaczonych do szlifowania i ostrzenia powierzchni roboczych narzędzi, m.in.: frezów tarczowych, walcowych, palcowych i walcowo-kulowych, gwintowników, głowic strugarskich i pił tarczowych. Klasycznymi operacjami przeprowadzanymi na szlifierkach są: kształtowanie, ostrzenie oraz regeneracja powierzchni natarcia i przyłożenia narzędzi. Rozwiązania stosowane obecnie w obrabiarkach umożliwiają szlifowanie powierzchni roboczych narzędzi wykonanych ze stali oraz węglików spiekanych lub narzędzi stalowych z wkładkami – płytkami skrawającymi z węglików spiekanych.

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania technologii erozyjnych i hybrydowych do kształtowania, ostrzenia i regeneracji narzędzi, których części robocze są wykonane ze współczesnych materiałów przeznaczonych na narzędzia skrawające, w tym z kompozytów polikrystalicznych z regularnego azotku boru (PCBN) oraz diamentu (PCD). Określono, jakie zmiany należy wprowadzić w budowie modułów obrabiarek, i na bieżąco je wdrażano, co doprowadziło do powstania innowacyjnej konstrukcji modułów dla obrabiarek rodziny ASP wytwarzanych w Kowarach przez firmę LAKFAM Sp. J. Zdobyta wiedza i opracowane w ramach projektu rozwiązania modułów szlifierek ASP umożliwiają przystosowanie się firmy do elastycznej, szybkiej produkcji urządzeń specjalnych spełniających szczególne wymagania ich potencjalnych użytkowników.

* Dr inż. Wacław Mielnicki, mgr inż. Włodzimierz Wilk, dr Maria Zybura (ios@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania; inż. Jerzy Zakrzewski (jerzy.zakrzewski@lakfam.pl) – LAKFAM Sp. J., Kowary

Wybrane wyniki badań doświadczalnych

Opracowanie innowacyjnych rozwiązań modułów rodziny szlifierek ASP poprzedziły badania, których celem były:

- analiza cech konstrukcyjnych i funkcjonalnych dotychczas wytwarzanych zespołów, mająca wyodrębnić ich wspólne cechy z myślą o opracowaniu nowych modułów szlifierek;
- opracowanie i wykonanie tych modułów oraz złożenie zintegrowanej struktury geometryczno-ruchowej modelowej szlifiereki, umożliwiającej realizację większości funkcji użytkowych obrabiarek, zwłaszcza w zakresie ostrzenia obrotowych narzędzi skrawających (frezów trzpieniowych, tarczowych, profilowych), a także pił tarczowych o średnicach w zakresie 100÷1500 mm;
- zbadanie modelowej obrabiarki – identyfikacja jej cech geometrycznych i stanów procesów w trakcie ich realizacji – oraz ocena uzyskanych wskaźników technologicznych obróbki;
- zbadanie procesów geometrycznego kształtowania części narzędzi skrawających, w tym ich krawędzi roboczych, np. geometrii ostrzy w piłach tarczowych, w których wykorzystano specjalne ściernice opracowane i wykonane w IZTW;
- przetestowanie systemu sterowania CNC pozwalającego na sterowanie w 2+5 interpolowanych osiach.

Przeanalizowano procesy obróbki hybrydowej ścierno-elektroerozyjnej, elektroerozyjnej i ścierniej materiałów twardych i supertwardych na stanowisku badawczym NUA 25 CNC, znajdującym się w IZTW. W badaniach wykorzystano próbki ze stali narzędziowej NC6 (54 HRC) i szybko tnącej SK5M (64 HRC), z węglików spiekanych (gat. H10S i S20S), dostępnych na rynku, jak również wytworzonych w IZTW warstwowych oraz monolitycznych kompozytowych spieków polikrystalicznych diamentowych (PCD) i z regularnego azotku boru (PCBN).

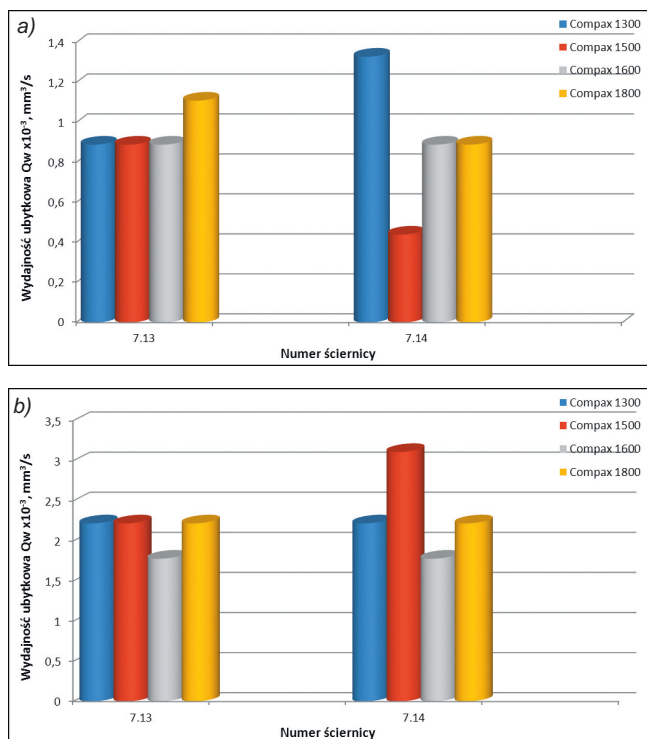
Szlifowanie (bez wspomaganie erozją elektryczną) prowadzono wykonanymi w IZTW ściernicami garkowymi walcowymi i stożkowymi oraz płaskimi (tarczowymi) z ziarnami diamentowymi (D126, D76, D54, D46) i z regularnego azotku boru CBN (B126, B76, B54, B46), o koncentracjach C100 i C125, ze spoiwami żywicznymi (nieprzewodzącymi i przewodzącymi prąd elektryczny), ceramicznymi (bez przewodnictwa elektrycznego) i metalowymi (przewodzącymi prąd elektryczny). Charakterystyki ściernic dostosowywano do rodzaju obrabianego materiału i operacji obróbki: szlifowania (AG – *Abrasive Grinding*) lub szlifowania ze wspomaganie erozją elektryczną (AEDG – *Abrasive Electro-Discharge Grinding*).

- Wykonano ściernice diamentowe i z CBN ze spoiwami:
- żywicznymi (z domieszką elektrokorundu pęcherzykowego i bez domieszki Al_2O_3),
 - zmodyfikowanymi ceramicznymi z domieszką elektrokorundu pęcherzykowego,
 - ceramicznymi o zróżnicowanej domieszce dwusiarczku molibdenu (MoS_2) oraz z zawartością SiC zielonego lub SiC czarnego,
 - metalowymi niemodyfikowanymi i modyfikowanymi (z domieszką tytanu i elektrokorundu pęcherzykowego).

Dodatek dwusiarczku molibdenu w ściernicach ze spoiwem ceramicznym wpływa na utworzenie bardzo cienkiej warstwy przejściowej wokół ziarna regularnego azotku boru, zawierającej m.in. niestechiometryczny związek $Zn_{1,7}Al_2S_{32}$ i $ZnAl_2S_4$, co ma wpływ na poprawę adhezji spoiwa do ziarna ściernego.

Badania szlifowania bez wspomagania erozyjnego prowadzono w obecności cieczy chłodzącej podawanej w obiegu zamkniętym przez polewanie (2% roztwór koncentratu Synkon PGA w wodzie wodociągowej). Przyjęto następujące parametry: prędkość obrotową ściernicy $n_s = 3822 \text{ min}^{-1}$; prędkość obwodową ściernicy $v_s = 20 \text{ m/s}$; prędkość posuwu stołu $v_f = 420 \text{ mm/min}$; dosuw $a = 0,001; 0,002; 0,01; 0,02; 0,03 \text{ mm/podwójny skok stołu}$.

Przykład uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wydajność ubytkowa szlifowania próbek warstwowych z PCD (o przekroju $5 \times 3,2 \text{ mm}$; warstwa diamentowa PCD $0,5 \text{ mm}$): Compax 1300 (92% C_D $5 \mu\text{m}$ + faza wiążąca Co), Compax 1500 (94% C_D $25 \mu\text{m}$ + faza wiążąca Co), Compax 1600 (90% C_D $4 \mu\text{m}$ + faza wiążąca Co), Compax 1800 (95% C_D $25 \mu\text{m} / 4 \mu\text{m}$ + faza wiążąca Co) w zależności od rodzaju domieszki (7,13 – SiC zielonego; 7,14 – SiC czerwonego) w ściernicy diamentowej o spoiwie ceramicznym z parametrami: a) $v_s = 20 \text{ m/s}$; $v_f = 420 \text{ mm/min}$; $a = 0,001 \text{ mm/podw. skok stołu}$; $t = 12 \text{ min}$; b) $v_s = 20 \text{ m/s}$; $v_f = 420 \text{ mm/min}$; $a = 0,002 \text{ mm/podw. skok stołu}$; $t = 6 \text{ min}$

Badania szlifowania AEDG (z erozją) i AG (po wyłączeniu wspomagania erozją elektryczną) prowadzono przy parametrach: $v_s = 10$ i 16 m/s , napięciu roboczym $U_0 = 160$ i 250 V , $v_f = 500$ i 40 mm/min , $a = 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,1; 0,2 \text{ mm/podw. przejście stołu}$; z zastosowaniem cieczy dielektrycznej IONOGRIND firmy OELHELD, podawanej w obiegu zamkniętym przez polewanie.

Badania obróbki elektroerozyjnej (EDG – *Electro-Discharge Grinding*) prowadzono elektrodami garnkowymi i tarczowymi, wykonanymi z grafitu o różnej granulacji ziarna

(18, 10, 7, 4 i $2 \mu\text{m}$) i porowatości (7, 5, 4%), a także elektrodami z wolframomiedzi – gat. SPARKAL i ALTRONIT (75% W + 25% Cu).

Obróbkę EDG prowadzono elektrodami o średnicy zewnętrznej 100 mm z parametrami: prędkością obrotową elektrody $n_e = 500 \text{ min}^{-1}$; prędkością obwodową elektrody $v_e = 2,62 \text{ m/s}$; skokiem stołu $s = 58 \text{ mm}$; $v_f = 500 \text{ mm/min}$; zestawem parametrów energetycznych nr III ($I_0 = 1,0 \text{ A}$; $I_1 = 1,4 \text{ A}$; $t_0 = 40 \mu\text{s}$; $t_1 = 20 \mu\text{s}$; $K_0 = 0,1$; $T_0 = 30$; $U_0 = 160 \text{ V}$; ujemna biegunowość elektrody).

Przeprowadzono także próby ostrzenia pił tarczowych z ostrzami z węglików spiekanych z zastosowaniem podzielnicy o osi pionowej na stanowisku NUA 25 CNC, ściernicami ze spoiwem żywicznym wykonanymi w IZTW. Badania wykazały, że ściernicami żywicznymi i ceramicznymi z domieszką elektrokorundu pęcherzykowego przy szlifowaniu AG uzyskiwana jest powierzchnia o mniejszej chropowatości oraz szczyrowatości krawędzi ostrzy skrawających. Takimi ściernicami można prowadzić wydajne ostrzenie regeneracyjne, także obrotowych narzędzi skrawających.

W przypadku obróbki AEDG, zwłaszcza przy wyższych parametrach energetycznych procesu, ściernice ze spoiwem metalowym wykazują większą trwałość i wydajność niż ściernice ze spoiwem żywicznym przewodzącym prąd elektryczny.

Znamienną cechą procesów elektroerozyjnych, w przypadku wykorzystania wirujących elektrod, jest duża liczba parametrów sterujących procesem obróbkowym. Są to parametry kinematyczne, energetyczne i regulacji.

Do parametrów kinematycznych zaliczają się trajektoria narzędzia (elektrody roboczej względem przedmiotu obrabianego w przestrzeni 3D obróbkowej) oraz prędkość obrotowa elektrody tarczowej – n [obr/min]. W badaniach przyjęto kierunek liniowy obróbki, wzdłuż osi X obrabiarki, zdefiniowany długością warstwy drażnionej – l_0 [mm].

Parametrów energetycznych procesu wyładowań elektrycznych i regulacji posuwu jest osiem, w tym:

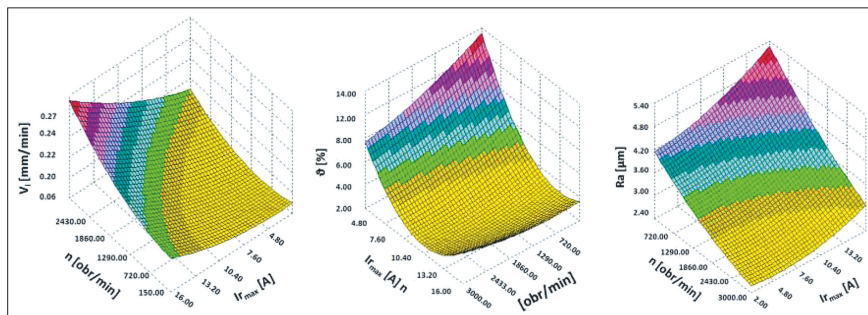
- biegunowość elektrody roboczej – B [+ , -],
- parametry charakteryzujące wyładowania elektryczne: amplituda natężenia prądu roboczego I_A [A] = $I_0 + I_r$, gdzie: I_0 – amplituda prądu zapłonu wyładowania [A], I_r – amplituda prądu roboczego wyładowania [A],
- czas trwania impulsu – t_i [μs],
- czas trwania przerwy międzyimpulsowej – t_0 [μs],
- napięcie zapłonu – U_0 [V],
- układ RC – [μF],
- parametry regulacji posuwu roboczej elektrody roboczej: napięcie zadane – U_z [V], współczynnik wzmocnienia pracy regulatora – K_u [%].

Przy tak dużej liczbie zmiennych sterujących procesem nie jest możliwe zastosowanie klasycznych statycznych programów badań eksperymentalnych – również ze względu na stochastyczność procesów wyładowań elektrycznych.

W badaniach wykorzystano metodykę prowadzenia eksperymentów w oparciu o programy dynamiczne, przy czym wstępnej oceny jakości wskaźników technologicznych dokonano na podstawie oceny optycznej i akustycznej przebiegu procesu wyładowań elektrycznych w strefie obróbki. W pierwszej kolejności ustalano wartości centralne parametrów sterujących procesem i rozpoczynano proces. Występowały tu następujące przypadki:

- nie nastąpiło rozpoczęcie procesu lub doszło do jego przerwania w trakcie realizacji,
- proces przebiegał niestabilnie (zwarcia, wyładowania łukowe, puste, częste ruchy rewersyjne elektrody, drgania),
- proces przebiegał stabilnie.

W każdym z przypadków zastosowano odpowiednie procedury pozwalające na uzyskanie stabilnych warunków pracy. Po realizacji prób rejestrowano parametry sterujące procesem i obliczano wartości liczbowe podstawowych wskaźników technologicznych: prędkości liniowej obróbki V_l [mm/min], chropowatości powierzchni Ra [μm] oraz zużycia liniowego elektrody roboczej ϑ [%]. Przykładową zależność



Rys. 2. Zależność wskaźników technologicznych procesu ścierno-elektroerozyjnego kształtowania stali narzędziowej wirującym narzędziem – ściernicą CBN – od parametrów sterujących procesem

dla wybranych zestawień par materiałów elektrod i przedmiotów obrabianych przedstawiono na rys. 2.

Na podstawie rezultatów badań procesów elektroerozyjnego drażenia wirującymi elektrodami tarczowymi wykrojów w płytach narzędzi skrawających wykonanych zwłaszcza z dwuwarstwowych kompozytów diamentowych i z CBN można stwierdzić wysoką przydatność tej techniki do kształtowania i ostrzenia powierzchni roboczych narzędzi.

Cechą znaną technologii elektroerozyjnej jest konieczność znacznego zróżnicowania wartości parametrów sterujących procesami obróbkowymi w zależności od rodzaju par materiałów elektrody roboczej i przedmiotu obrabianego.

Wybrane moduły szlifierek rodziny ASP

W procesach kształtowania powierzchni roboczych narzędzi skrawających dużym problemem jest złożoność ich kształtu. Parametry geometryczne i nierównomierność rozkładu nadładku obróbkowego wynikająca ze sposobu przygotowania półfabrykatu powodują, że ustalone zwykle w sposób zdeterminowany parametry sterujące procesem nie gwarantują uzyskania optymalnego efektu, np. minimalnego czasu obróbki czy odpowiedniej chropowatości powierzchni. Zachodzi konieczność zastosowania zmiennych wartości parametrów sterujących, np. obrotów narzędzia, prędkości posuwu czy zapotrzebowania na moc. Proces obróbkowy generuje sygnały o charakterze wibroakustycznym. Orientacja w nich i znajomość ich zmienności w czasie pozwalają zbudować układ kierujący zmianą wartości parametrów – adaptacyjny układ sterowania posuwem roboczym narzędzia względem przedmiotu obrabianego. Wyniki badań doświadczalnych wykorzystano do opracowania takiego właśnie układu sterowania do procesów ściernych, elektroerozyjnych i hybrydowych (ścierno-elektroerozyjnych).

Układ sterowania obrabiarek zawiera: sterownik sprężetowy, generator impulsów elektrycznych i adaptacyjny system sterowania. Oprogramowanie urządzenia oparte jest na FreeRTOS (wersja 7.5.2) – systemie operacyjnym czasu rzeczywistego (*Real Time Operating System*, RTOS). Jest on szeroko stosowany w urządzeniach przemysłowych, gdzie istotnymi czynnikami są: niezawodność, stabilność działania i krótki czas reakcji na zdarzenia. Opracowane oprogramowanie charakteryzuje się:

- wbudowanymi procedurami obróbki podstawowych grup narzędzi,
- możliwością śledzenia i zapisu parametrów obróbki,
- możliwością zapisu historii pracy maszyny,
- możliwością wprowadzania, edycji i zapisu przez operatora wielu programów obróbkowych w języku podobnym do kodów ISO,
- dwoma poziomami obsługi – eksploatacyjnym i serwisowym.

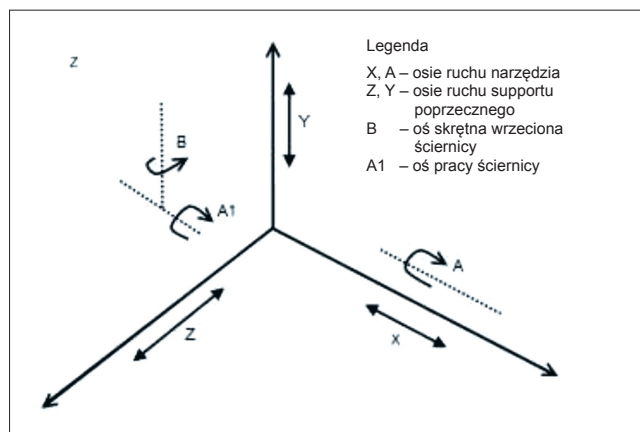
W jednym z ekranów sterownika GenE-E zawarte są parametry kierujące generatorem elektroerozyjnym, co pozwala na zarządzanie jego parametrami roboczymi. Badania tego modułu wykazały, że zastosowanie sterowania adaptacyjnego umożliwia osiągnięcie optymalnych i bezpiecznych warunków obróbki. Dzięki wykorzystaniu bezpośrednich informacji

o obciążeniu wrzeciona obrabiarki oraz informacji wysyłanych przez generator elektroerozyjny można sterować procesem obróbki w sposób maksymalnie efektywny. Zaimplementowane funkcje pozwalają operatorowi zaprogramować inteligentne strategie modyfikacji parametrów obróbki oraz umożliwiają elastyczną reakcję obrabiarki na zmieniające się warunki. Próby testowe procesów ściernych wykazały, że zastosowanie adaptacyjnego układu sterowania zapobiega zniszczeniu narzędzia (ściernicy) czy zatrzymaniu procesu obróbkowego w przypadku granicznego obciążenia

ściernicy (wzrost pobieranego przez silnik napędzający wrzeciono), wynikającego z wielkości nadładku obróbkowego q [mm] lub jego skokowej zmiany. Przyczynia się także do zmniejszenia chropowatości powierzchni Ra [µm] obrabianej ściernicą.

System sterowania obrabiarek pod względem programowym i sprzętowym jest zunifikowany, jednak ze względu na specyficzne wymagania odbiorców maszyn uwzględnia sterowanie 2÷5-osiowe pracujące niezależnie.

W odpowiedzi na zapytania (zgłaszane przez przemysł przetwórstwa drzewnego, materiałów drewnopochodnych i meblarski) dotyczące szlifowania frezów o powierzchniach cylindrycznych, kulistych i kształtowych opracowano i wykonano stanowisko badawcze umożliwiające jednocześnie sterowanie w 5 osiach procesami szlifowania kształtującego powierzchni 3D narzędzi skrawających (rys. 3).



Rys. 3. Schemat oznaczenia osi obrabiarki stanowiącej stanowisko badawcze

Charakterystyka konstrukcyjna osi:

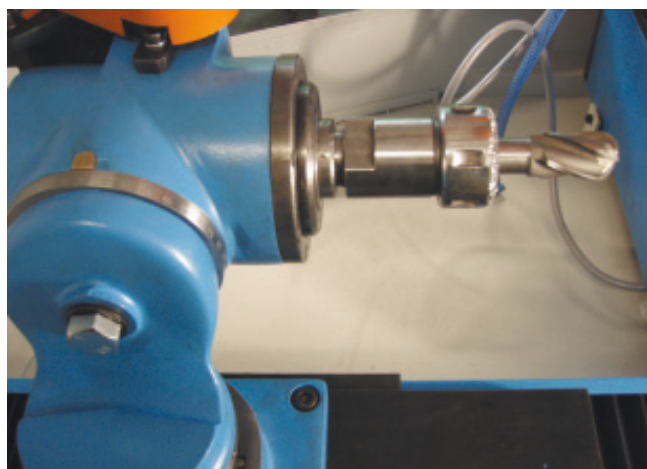
- **oś X** – suport liniowy wzdłużny z płytą stolika przemieszczaną na prowadnicach liniowych tocznych, napędzaną silnikiem prądu stałego poprzez przekładnię paskową i śrubową; pomiar położenia z enkodera silnika;
- **oś Z** – suport liniowy poprzeczny z płytą stolika przemieszczaną na prowadnicach liniowych tocznych, napędzaną silnikiem prądu stałego poprzez przekładnię paskową i śrubę toczną; pomiar położenia z enkodera silnika;
- **oś Y** – suport liniowy na kolumnie pionowej z płytą stolika przemieszczaną na prowadnicach liniowych tocznych napędzanych silnikiem prądu stałego poprzez przekładnię paskową i śrubę toczną; pomiar położenia z enkodera silnika;
- **oś A** – wrzeciono podziałnicy napędzane silnikiem prądu stałego poprzez przekładnię paskową i ślimakową; pomiar położenia kąтового z enkodera;
- **oś B** – oś skrętna wrzeciona ściernicy napędzana silnikiem prądu stałego poprzez przekładnię paskową i ślimakową; pomiar położenia kąтового z enkodera;
- **oś A1** – napęd ściernicy silnikiem asynchronicznym.



Rys. 4. Stanowisko badawcze ASP 5CNC z oznaczeniami osi liniowych (X, Y, Z) i obrotowych (A, B) – sterowanie CNC

Na rys. 4 przedstawiono stanowisko badawcze. Przeprowadzone na nim badania poszczególnych zespołów, obrabiarki oraz adaptacyjnego układu sterowania posuwem narzędzia potwierdziły jego pełną przydatność, wynikającą m.in. z tego, że nie dopuszcza do przerwania procesu ani zniszczenia ściernicy. Usztywniona konstrukcja mechaniczna urządzenia umożliwiła instalację modułów i zespołów pozwalających na prowadzenie procesów nie tylko ściernych, lecz także elektroerozyjnych i hybrydowych: ścierno-elektroerozyjnych.

Przykłady elementów obrabianych szlifowaniem przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Przykład freza walcowo-kulowego z linią śrubową ostrzonego w 5 osiach sterowanych numerycznie

Na stanowisku badawczym zostały także przeprowadzone z powodzeniem próby kształtowania zarysu promieniowego czynnej warstwy ściernicy diamentowej profilowej zaokrąglonej o średnicy zewnętrznej $\varnothing 150$ mm ze spoiwem żywicznym, o oznaczeniu 1E1-20° / R1,5 – 150 × 3 × 4 × 22 D126 C100 B, a także próby ostrzenia pił tarczowych z użyciem podziałnicy pionowej (rys. 7).

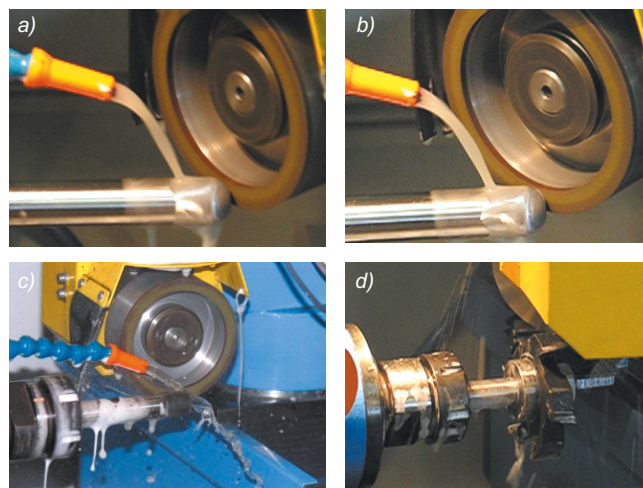
Opracowano również procedurę projektowania procesu obróbkowego, złożoną z czterech etapów:

1) Dobór parametrów energetycznych procesu, które są zdefiniowane przez:

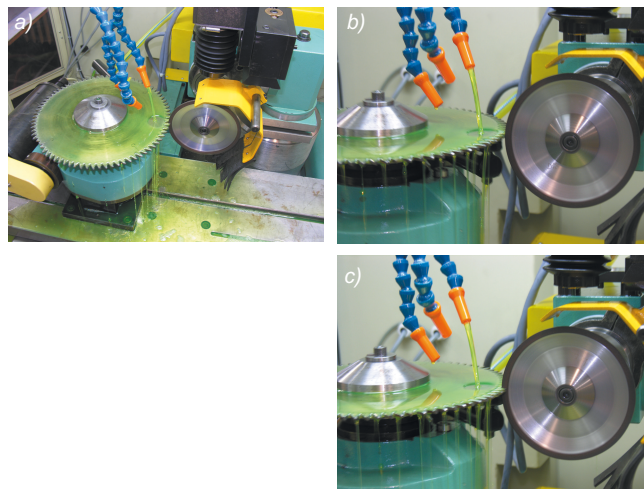
– amplitudę natężenia prądu impulsu będącą sumą:

$$I_A = I_0 + I_r$$

gdzie: I_0 – amplituda natężenia prądu zapłonowego [A], I_r – amplituda natężenia prądu wyładowania [A];



Rys. 6. Przykłady obróbki na szlifierce ASP-631F (wersja SL5) ze sterowaniem 5-osowym CNC: a-c) szlifowanie ściernicą CBN powierzchni kulistej na prętach walcowych $\varnothing 20 \times 160$ HSS (półwyrobny noży) wg DIN 4964 A ze stali SW7M oraz SK10V; d) ostrzenie freza tarczowego nasadzanego 6-ostrowego o ostrzach na przemian skośnych z węglików spiekanych, typu 3110W100-0132, o oznaczeniu +3110 100 × 20 / 25 z = 6.2 HW 10



Rys. 7. Automatyczne ostrzenie na stanowisku badawczym powierzchni natarcia piły tarczowej z ostrzami z węglików spiekanych DNPDe 250 × 30 × 3,2; z = 80; GA-5°; $n_{\max} = 7500 \text{ min}^{-1}$: a) widok z góry przestrzeni roboczej; b-c) kolejne fazy ostrzenia piły ściernicą diamentową wykonaną w IZTW (podziałnica pozioma z doprowadzeniem prądu roboczego)

– maksymalne natężenie prądu roboczego – $I_{r \max}$ [A]:

$$I_{r \max} = I_A \cdot t_i / (t_i + t_o)$$

gdzie: t_i – czas trwania impulsu [μs], t_o – czas trwania przerwy między impulsami [μs];

– napięcie zapłonu – U_0 [V] = 160 ÷ 240;

– prędkość ruchu regulatora posuwu roboczego – V_r [mm/min]; w wyniku realizacji badań optymalizujących ustalono V_r w zakresach ± 60 , ± 30 , 0, $+60$;

– napięcie zadane regulatora U_z [V] = 40 ÷ 70.

Po ustaleniu wymiarów półfabrykatu przedmiotu obrabianego oraz kinematyki ruchów dokonuje się analizy nadmiaru obróbkowego q [mm] oraz wielkości powierzchni obrabianej A [mm²], ewentualnie jej zmienności w trakcie procesu technologicznego kształtowania przedmiotu obrabianego. Konieczne jest obliczenie gęstości prądu roboczego według zależności:

$$\rho = I_{r \max} / A \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

W procesach kształtowania i regeneracji krawędzi roboczych przedmiotu obrabianego przyjmuje się, że dopuszczalna rozpiętość gęstości prądu mieści się w granicach $0,10 \div 0,50 \text{ A/mm}^2$.

2) Dobór parametrów kinematyki ruchów względnych narzędzia i przedmiotu obrabianego. W zależności od kształtu i wymiarów przedmiotu – narzędzia skrawającego dokonuje się wyboru właściwej obrabiarki z rodziny ASP. Przedstawione charakterystyki technologiczne dotyczą danych uzyskanych na stanowisku badawczym NUA 25 CNC. Możliwe jest także wykorzystanie ostrzarki ASP-631F (w wersji SL5).

3) Zaprogramowanie parametrów obróbki w systemie zasilająco-sterującym obrabiarki i realizacja procesu.

4) Kontrola uzyskanych rezultatów, ewentualne wprowadzenie poprawek w oprogramowaniu sterującym i urządzeniu zasilającym.

Podsumowanie

Opracowano zbiory modułów rodziny szlifierek ASP, z których mogą być konfigurowane szlifiarki i ostrzarki do frezów, pił tarczowych małych (o średnicy zewnętrznej $\varnothing 100 \div 500 \text{ mm}$) i pił tarczowych dużych (o średnicy zewnętrznej $\varnothing 500 \div 1500 \text{ mm}$). Nowe moduły umożliwiają uzyskanie dużej dokładności w porównaniu z dotychczas stosowanymi w LAKFAM rozwiązaniami. Zostały one wyposażone w doprowadzenia prądu roboczego, przydatne w przypadku konstruowania ostrzerek wykorzystujących w procesie ostrzenia obróbkę elektroerozyjną lub obróbkę hybrydową erozyjno-ścierną.

Odmianę obrabiarki wykorzystującej erozję elektryczną wyposażono w kolumnę dejonizacyjną. Służy ona do uzdatniania medium roboczego (utrzymywania założonej prze-

wodności elektrycznej) podczas prowadzenia na ostrzarce procesu szlifowania ze wspomaganiami elektroerozyjnym. Kolumna została zaprojektowana jako oddzielny podzespół instalowany na pokrywie stacji dielektryka wtedy, gdy jako medium robocze stosowana jest wodorocieńczalna ciecz dielektryczna IONOREX 500 Plus.

Z opracowanych modułów można zbudować obrabiarkę z 4 zsynchronizowanymi osiami sterowanymi numerycznie (w razie potrzeby z 5 osiami), co umożliwi np. kształtowanie na gotowo jednego całego zęba piły tarczowej o średnicy ok. 1500 mm w kolejności zęb po zębie.

Szlifiarki z rodziny ASP umożliwią realizację optymalnych procesów kształtowania i regeneracji roboczych narzędzi skrawających trzpieniowych, korpusowych i innych. Modułowa budowa tych maszyn pozwala na zestawianie żądanych wielkości i konfiguracji sprzętowej obrabiarek do kształtowania narzędzi o wymiarach $100 \div 1500 \text{ mm}$. Jest to podstawowa cecha odróżniająca te obrabiarki od rozwiązań dostępnych na rynku krajowym i zagranicznym.

Badania doświadczalne potwierdziły poprawność zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych modułów, metod identyfikacji stanów procesów obróbkowych i sterowania nimi – w tym adaptacyjnych – związanych ze zmienną geometrią ostrzy skrawających, rodzajem materiału i zastosowaną techniką (ścierno-erozyjną lub ścierną). Producentem obrabiarek będzie firma LAKFAM Sp. J. Jerzy Zakrzewski, Artur Zakrzewski z Kowar. ■

* * *

Praca została wykonana w ramach projektu INNOTECH – umowa Nr INNOTECH – K2/IN2/71/183171/NCBR/12 dofinansowywanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.