

Wojciech MUSIAŁ, wmusial@vp.pl
Jan BARAN, jan.baran@tu.koszalin.pl
Michał RADOWSKI, radmich3@tlen.pl
Robert CHABURA, robert_chabura@o2.pl
Politechnika Koszalińska

INNOWACYJNE NARZĘDZIA DO OBRÓBKI OTWORÓW, POWIERZCHNI PŁASKICH I POWIERZCHNI KSZTAŁTOWYCH

Streszczenie: W pracy przedstawiono zagadnienia związane z obróbką materiałów trudnoskrawalnych. Obróbka materiałów stosowanych w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, chemicznym i w medycynie, takich jak: Inconel, Incoloy, stopy magnezu i tytanu następcza dużo trudności wynikających głównie z własności tych materiałów. Dlatego zaproponowano w artykule różne konstrukcje głowic obróbkowych umożliwiającą obróbkę różnych typów powierzchni.

The innovative tools to processing of openings, the flat surfaces and the shape surfaces

Summary: This paper presents questions connected with processing of hard machining materials. Processing of materials applied in air, motor, chemical industry, and in medicine, such how: the Inconel, Incoloy, alloys of magnesium and titanium cause a lot of difficulties with reason of properties these materials. It therefore the different constructions of processing knuckles were proposed was in article enabling the processing of different types of surface.

WPROWADZENIE

W przedstawionej pracy zaprezentowano narzędzia ściernie o konstrukcji hybrydowej – łączącej wydajne szlifowanie i nagniatanie – umożliwiającą rozdzielenie obróbki zgrubnej i wykończeniowej w jednej operacji szlifowania. Zapewnia to z jednej strony zwiększenie wydajności obróbki – z drugiej zaś – podniesie dokładność obróbki i relatywnie polepszenie stanu warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego poprzez wprowadzenie naprężeń ściskających. Efektem tego są znacznie lepsze właściwości eksploatacyjne powierzchni szlifowanych, co może zapewnić mniejsze ich zużycie oraz wydłużyć okres trwałości. Takie rozwiązanie może być przede wszystkim stosowane do obróbki otworów, dla których wymagana jest duża dokładność wymiarowo-kształtowa oraz mała chropowatość powierzchni. Umożliwia to również stosowanie ściernic o relatywnie dużych wymiarach ziaren i otwartości (porowatości) struktury, które nie zapewniają małych chropowatości, ale są niezbędne do obróbki o dużej wydajności lub obróbki materiałów trudnoskrawalnych, a osiągnięcie pozytywnych rezultatów następuje w procesie nagniatania. Odrębną grupą narzędzi zaprezentowanych w referacie są ściernice do obróbki powierzchni kształtowych. Przedstawiono również głowice obróbkowe do kształtowania i wygładzania powierzchni swobodnych i kształtowych.

STANOWISKA BADAWCZE DO OBRÓBK POWIERZCHNI KSZTAŁTOWYCH

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe rozwiązania głowic obróbkowych przeznaczonych do obróbki powierzchni swobodnych z wykorzystaniem robota przemysłowego.



Rys. 1. Głowica szlifierska z pneumatyczną kompensacją siły docisku dla poszczególnych narzędzi szlifierskich osadzonych w elektrowrzecionach

Przedstawione rozwiązanie umożliwia obróbkę powierzchni krzywoliniowych (obwiedniowych), jak i powierzchni swobodnych. Tego typu obróbkę planuje się wykonać na robocie suwnicowym, jak i 4-osiowym robocie marki HIRATA (rys. 2.).

Roboty przemysłowe wielkogabarytowe przewiduje się wykorzystywać do wygładzania dużych powierzchni swobodnych, np. kadłuby jachtów, skrzydła siłowni wiatrowych, elementy poszycia i wręg w przemyśle okrętowym oraz lotniczym.

Dla mniejszych gabarytowo elementów obrabianych przewiduje się możliwość zastosowania inteligentnych głowic obróbkowych do zastosowania na mniejszych robotach 6-osiowych, za to wykorzystujących aktywne systemy kompensacji błędów ruchu robota oraz jego ograniczonej sztywności mechanicznej w osi prostopadłej do obrabianej powierzchni (rys. 3.).



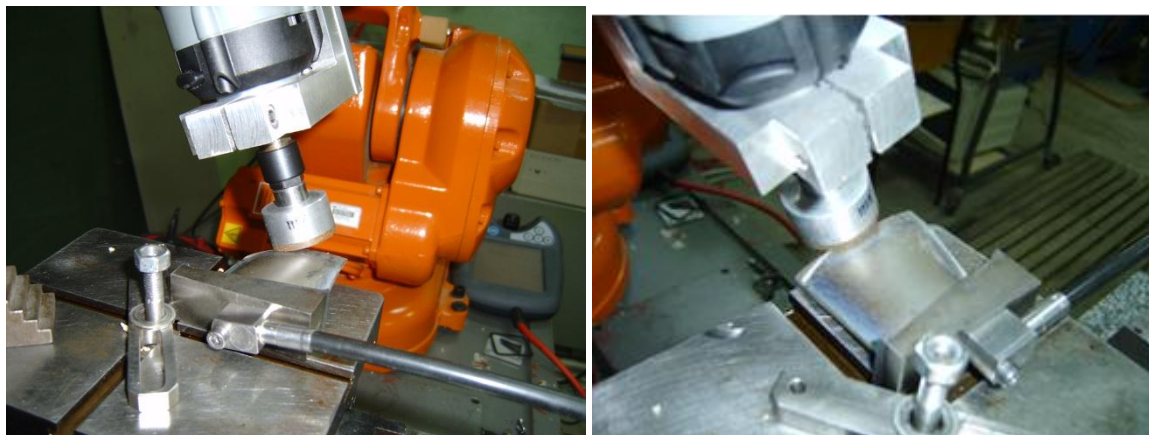
Rys. 2. Trójwrzecionowa głowica szlifierska z mechanicznym systemem kompensacji dosuwu z zastosowaniem amortyzatora sprężynowego

Na rysunku 3 przedstawiono dwa prototypy głowicy wraz z elektrowrzecionem oraz model komputerowy głowicy piezoelektrycznej przeznaczony do współpracy z robotem przemysłowym firmy ABB.



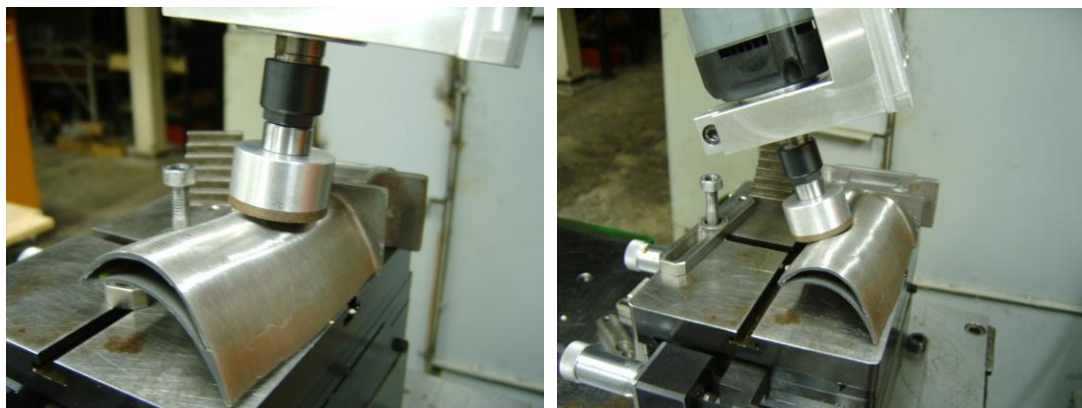
Rys. 3. Prototypy głowic szlifierskich przeznaczonych do obróbki powierzchni swobodnych z wykorzystaniem robota przemysłowego i głowicy piezoelektrycznej

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano wstępne informacje odnośnie możliwości programowania robota przemysłowego do obróbki powierzchni swobodnych (rys. 4.).



Rys. 4. Ustawienia głowicy szlifującej oraz narzędzia ściernego względem powierzchni obrabianej łopatką wykonanej z tytanu

Na rysunku 5 przedstawiono realizację obróbki dla łopatek o większych gabarytach.

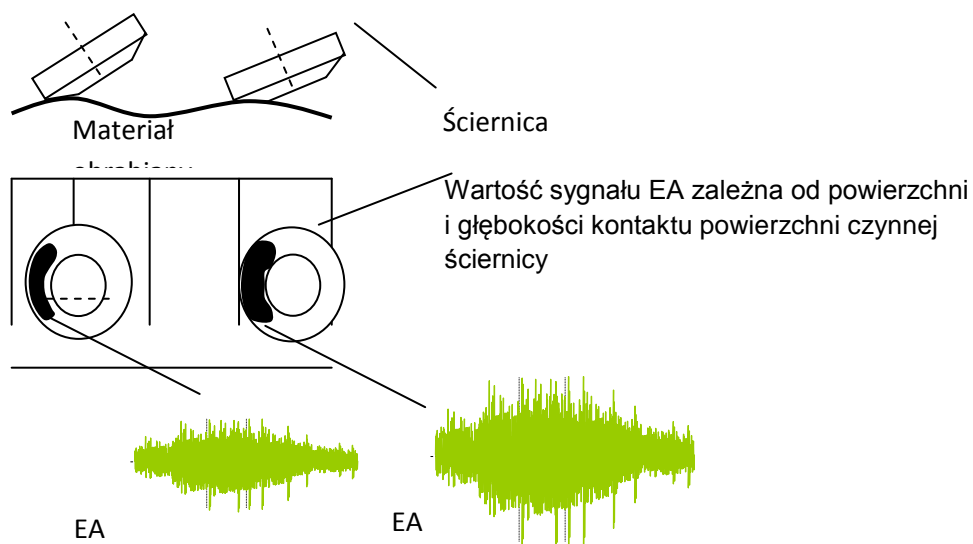


Rys. 5. Ustawienia głowicy szlifującej oraz narzędzia ściernego względem powierzchni obrabianej łopatką wykonanej ze stali

Na rysunkach przedstawiono dopasowanie ramion robota przemysłowego (narzędzia ściernego) względem powierzchni obrabianej. Pozyskiwanie informacji o geometrii przedmiotu obrabianego uzyskano przez skanowanie powierzchni z wykorzystaniem robota.

Testy przeprowadzone z wykorzystaniem robota potwierdzają, że konieczne jest realizowanie procesu szlifowania z wykorzystaniem sygnału EA, jako czynnika identyfikującego kontakt narzędzia ściernego z materiałem obrabianym, a następnie pośredniego wykorzystania sygnału do kontroli, jakości szlifowanych powierzchni w celu monitorowania w czasie rzeczywistym parametrów opisujących jakość powierzchni obrabianej. Dlatego opracowano stanowisko do badania korelacji między głębokością wnikania ziaren ściernych a poziomem sygnału EA.

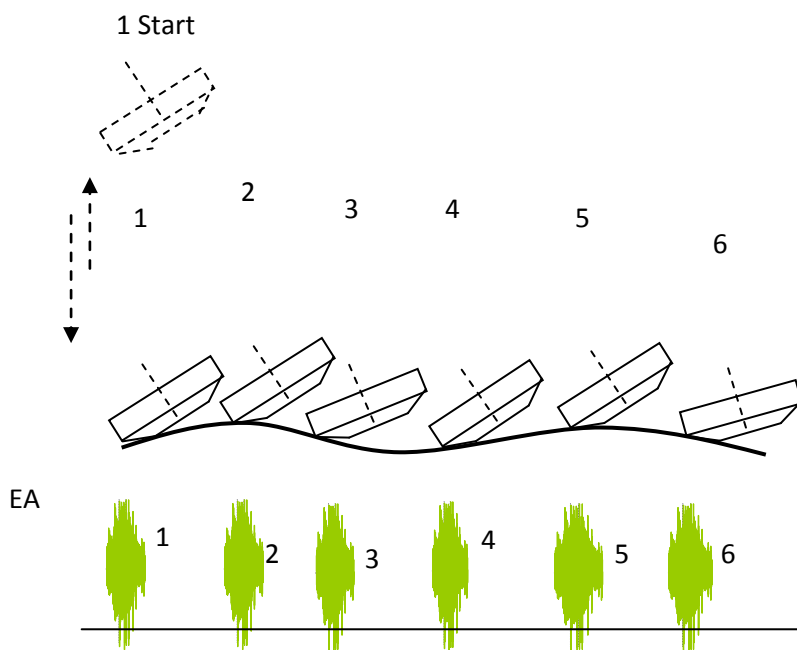
Analiza sygnału obejmuje zarówno specyfikę materiału, jak i ziarna ściernego oraz spoiwa ściernicy. Realizacja badań umożliwi przeniesienie otrzymanych informacji w obszar stosowania narzędzi ściernych, gdzie badana jest korelacja między przekrojem warstwy skrawanej charakterystycznej dla danego narzędzia ściernego i kształtu powierzchni obrabianej oraz zarejestrowanym sygnałem EA ze strefy szlifowania (rys. 6).



Kształt i wielkość powierzchni kontaktu ściernicy z powierzchnią obrabianą zależą będą od lokalnej topografii powierzchni obrabianej, kształtu ściernicy i kąta nachylenia osi obrotu ściernicy

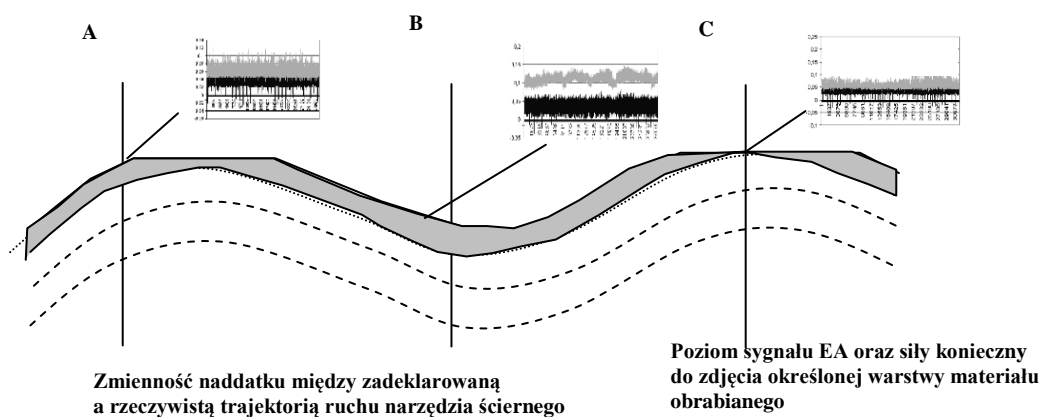
Rys. 6. Analiza zmian powierzchni kontaktu ściernicy z materiałem obrabianym względem poziomu sygnału EA zarejestrowanego w strefie szlifowania

Wykorzystanie sygnału EA do identyfikacji kontaktu narzędzia z materiałem obrabianym za pośrednictwem ramienia robota, pozwala na określenie szeregu miejsc zerowych, na podstawie których utworzona zostaje trajektoria ruchu narzędzia ściernego (rys. 7). Każde zetknięcie powierzchni czynnej ściernicy z obrabianym materiałem powinno dawać w odpowiedzi zbliżoną wartość sygnału EA.



Rys. 7. Sposób identyfikacji kontaktu narzędzia ściernego z materiałem obrabianym

Odległości między poszczególnymi punktami zerowymi (odległości pośrednie) zostaną zaprogramowane zgodnie z możliwościami układu sterowania robota. Sygnał EA pozwoli na realizację kompensacji poprzez aktywną inteligentną głowicę obróbkową według zasady przedstawionej na rys. 8.

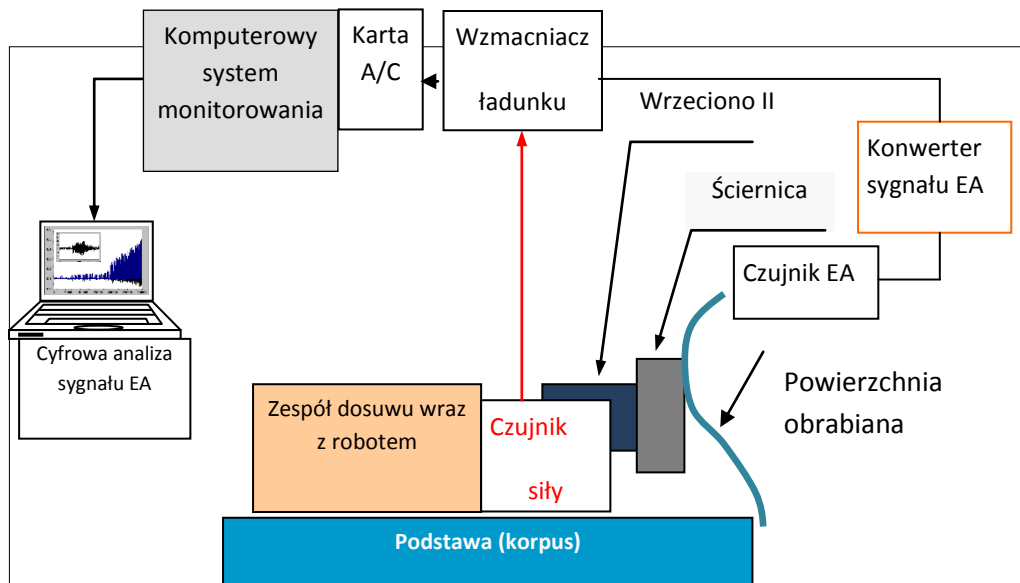


Rys. 8. Sposób kompensacji warstwy skrawanej identyfikowany za pomocą sygnału EA - zasada aktywnego amortyzatora

Projekt stanowiska badawczego uwzględnia specyfikę realizacji obróbki powierzchni swobodnych z wykorzystaniem robota przemysłowego. W celu zapewnienia wysokiej stabilności obróbki umieszczono robota na korpusie żeliwnym, drugi korpus przeznaczono dla przedmiotu obrabianego, który został odseparowany od robota w celu minimalizacji drgań pochodzących od ruchu serwonapędów. Zastosowany korpus charakteryzuje się masywną budową, co zapewnia stabilne zamocowanie części obrabianej. W realizacji procesu szlifowania przewiduje się wykorzystanie również stołu obrotowego lub uchylnego, w celu zwiększenia stopni swobody w strefie szlifowania, a także drugiego robota do realizacji zadań związanych z przemieszczaniem przedmiotów obrabianych w strefie szlifowania. Planuje się również wykorzystanie aktywnego separatora drgań zarówno na stole, jak i w głowicy obróbkowej. Testy przeprowadzone z wykorzystaniem robota potwierdzają, że konieczne jest realizowanie procesu szlifowania z wykorzystaniem sygnału EA, jako czynnika identyfikującego kontakt narzędzia ściernego z materiałem obrabianym, a następnie pośredniego wykorzystania sygnału do kontroli jakości szlifowanych powierzchni w celu monitorowania w czasie rzeczywistym parametrów opisujących jakość powierzchni obrabianej. Dlatego opracowano stanowisko do badania korelacji między głębokością wnikania ziaren ściernych a poziomem sygnału EA.

Tor pomiarowy do monitorowania procesu szlifowania składa się z: czujnika EA typu 8152A oraz siłomierza 9251A wraz z konwerterem sygnału EA typu 5125A oraz wzmacniacza sygnału, funkcjonującego jako interfejs sprzętowy między czujnikiem a wejściem karty analogowo-cyfrowej. W przypadku składowych siły, sygnał pomiarowy wzmacniany i skalowany był w wielokanałowym wzmacniaczu ładunku 5019A. Sygnał analogowy, w postaci zmiennego sygnału napięciowego, zdyskretyzowany został za pomocą karty analogowo-cyfrowej DAS – 1601, wyposażonej w przetwornik 12-bitowy pracujący w zakresie ± 10 V. Akwizycja sygnału pomiarowego EA, realizowana była w czasie 3 s z częstotliwością 20 kHz. Komputer klasy PC stanowił końcowe ogniwo toru pomiarowego systemu monitorującego. Na komputerze, oprócz zainstalowanej i zsynchronizowanej z czujnikami pomiarowymi karty A/C, zainstalowano program do akwizycji i analizy sygnałów pomiarowych (wzorowany na aplikacji: AKDAN. TST), w ramach pakietu programowego Test Point.

Gromadzone dane na komputerze pomiarowym, zapisywane były z rozdzielczością 0,001 V. Na rys. 9 przedstawiono schemat funkcyjny poszczególnych elementów stanowiących wyposażenie systemu pomiarowego, zastosowanego w badaniach procesu szlifowania.



Rys. 9. Schemat blokowy systemu monitorowania procesu szlifowania powierzchni krzywoliniowych z wykorzystaniem EA

Charakterystyka zastosowanego czujnika pozwala na pracę w zakresie od 100 do 900 kHz na poziomie czułości $48 \text{ dB}_{\text{ref } 1\text{Vs/m}}$, dla fal powierzchniowych i podłużnych (Rayleigh'a). Sygnał wychodzący z czujnika EA, poddany został kondycjonowaniu za pomocą konwertera (typu: 5125A).

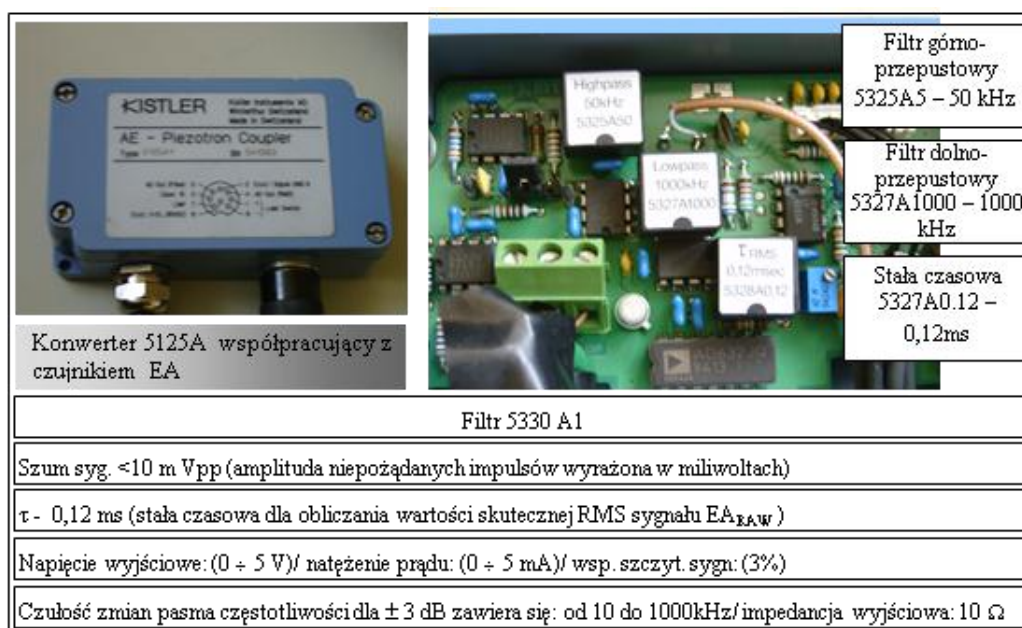
W pomiarach wykorzystano składową stałą sygnału EA_{RMS} , która w realizowanych badaniach przyjęta została jako: $\tau_s = 0,12 \text{ ms}$. Analiza specyfikacji dostarczonej przez producenta czujnika wykazała, że błąd systemu pomiaru EA może wynosić $\delta_{EA} = \pm 4\%$ (uwzględniając czujnik i system kondycjonowania sygnału pomiarowego).

Dokładność pomiaru RMS według specyfikacji producenta systemu pomiarowego wynosi: $\delta_{\text{RMS}} = 8\%$ i jest zwiększona w stosunku do przetwarzania sygnału EA ze względu na błąd przetwarzania sygnału generowanego przez konwerter współpracujący z czujnikiem EA (5125A) (przedwzmacniacz wraz z zespołem filtrów: AE PIEZOTRON COUPLER typu: 5125A1 (SN 541263)) (rys. 10.).



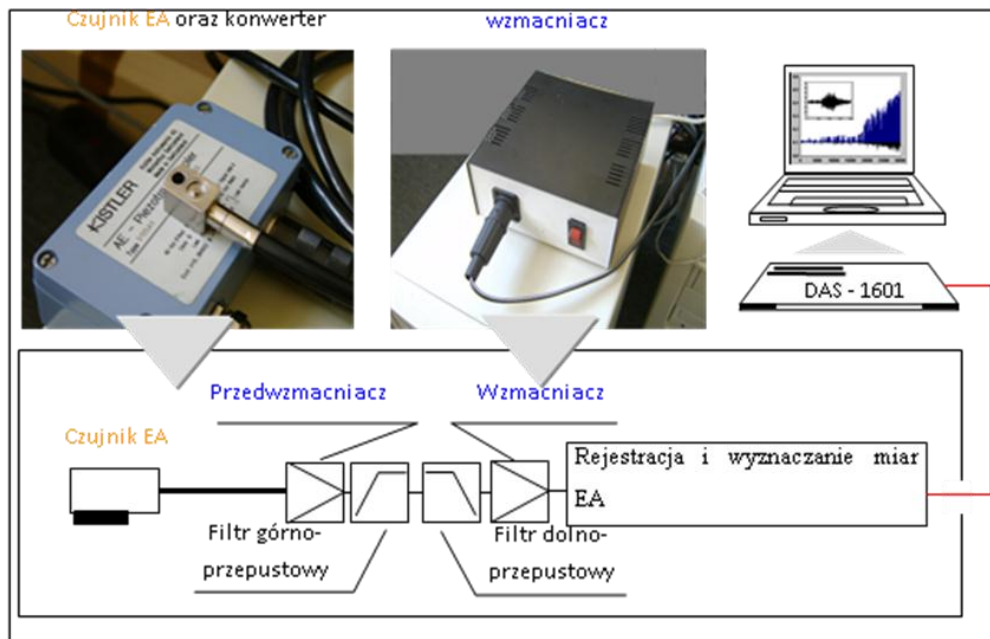
Rys. 10. Zastosowanie czujnika EA na stanowisku badawczym (czujnik umieszczono bezpośrednio na elemencie obrabianym w celu minimalizacji zakłóceń sygnału EA), (widok ogólny czujnika piezoelektrycznego typu 8152A)

Zadaniem konwertera typu 5125A, jest: filtracja i wzmocnienie wysokoczęstotliwościowych sygnałów EA. Dzięki zastosowaniu odpowiednich modułów filtracyjnych oraz układów całkujących z określoną stałą czasową, możliwe jest przetwarzanie sygnału do wartości skutecznej (scalkowany sygnał EA z określoną stałą czasową) (filtr dolnoprzepustowy: 1 MHz, górnoprzepustowy ustalono na wartość 50 kHz) (rys. 11).



Rys. 11. Widok konwertera 5125A oraz moduły odpowiedzialne za filtrowanie i przetwarzanie sygnału EA (wnętrze konwertera)

Sygnał, po wyjściu z konwertera sygnału EA, trafia do karty pomiarowej DAS 1601, dzięki zastosowaniu wzmocnienia sygnału napięciowego do wartości, wymuszonej przez kartę pomiarową DAS – 1601. Następnie sygnał EA jest przetwarzany przez przetwornik A/C karty pomiarowej. Rysunek 12 przedstawia wzmacniacz napięciowy, zastosowany w torze pomiarowym do zasilania czujnika oraz konwertera sygnału EA.



Rys. 12. Widok konwertera 5125A oraz moduły odpowiedzialne za filtrowanie i przetwarzanie sygnału EA (wnętrze konwertera)

W badaniach procesu szlifowania zastosowano kartę analogowo-cyfrową DAS – 1601 (*Kethley Instruments Inc.*), która umożliwia przetwarzanie sygnału analogowego na cyfrowy z maksymalną częstotliwością 100 kHz i rozdzielczością próbkowanego sygnału określoną 12-bitowym przetwornikiem sterowanym w trybie DMA za pomocą zintegrowanego zegara taktującego z częstotliwością 10 MHz. Karta została skonfigurowana z systemem operacyjnym komputera monitorującego proces szlifowania (PC).

Poprawna praca karty pomiarowej była możliwa dzięki plikowi konfiguracyjnemu DAS1600.CFG, który utworzony został za pomocą programu konfiguracyjnego CFG1600EXE. Karta pomiarowa została skalibrowana za pomocą programu CAL1600.EXE.

Dla karty DAS 1601 błąd względny pomiaru (według producenta karty *Kethley Instruments Inc.*) określany jest zależnością:

$$\delta_R = Z_m \cdot 0,01\% + R_{bit} [V] \quad (1)$$

gdzie:

Z_m [V] wartość maksymalna pomiaru (dla przyjętego zakresu stosowanego w badaniach) = **10 [V]**

R_{bit} [V] błąd nieoznaczoności najmłodszego bitu (związany z rozdzielczością zapisu wartości generowanych przez przetwornik karty pomiarowej). Wartość błędu zależy od długości słowa bitowego charakterystycznego dla danego przetwornika, w tym przypadku 12-bitowego i jego niepewność oznaczenia ostatniego bitu. Rozdzielczość Δ zapisu słowa bitowego zależy od wartości zakresu pomiarowego oraz wartości wynikającej z dwójkowego sposobu zapisu danych cyfrowych $2^{12} = 4096$. Dlatego wartość Δ wynosi: $= 20/4096 \approx$ **0,005 [V]**

Szacowany błąd nieoznaczoności najmłodszego bitu R_{bit} wynosi:

$$R_{bit} = 1bit \cdot \Delta \text{ po wstawieniu wartości: } \approx \mathbf{0,005}$$

Wobec powyższego szacunkowy błąd przetwornika A/C dla pomiaru sygnału EA może przyjąć postać:

$$\delta_R = Z_m \cdot 0,01\% + R_{bit} = 10 \cdot 0,01\% + 0,005 = 0,001 + 0,005 = \mathbf{0,006 [V]}$$

Na stanowisku zastosowano również czujnik siły, który umieszczony został w inteligentnej głowicy obróbkowej.

Zakres pomiarowy siłomierza wynosi od -5 do 5 kN dla składowej normalnej oraz od -2,5 do 2,5 kN dla składowych: stycznej i poprzecznej. W torze pomiarowym składowych siły wykorzystano wielokanałowy wzmacniacz ładunku 5019A, charakteryzujący się następującymi parametrami: zakres pomiarowy: $\pm 10 \div 999000$ pC, czułością sensora – $0,01 \div 999000$ pC/MU, liczbą kanałów: 4, znamionowym napięciem wyjściowym: ± 10 V, charakteryzujący się błędem przesunięcia zera: $< 0,4$ mV, dokładnością wzmacniania sygnału: $\leq \pm 1\%$. Podobnie jak w przypadku sygnału EA wzmocniony i przeskalowany sygnał podawany był na kanały wejściowe karty pomiarowej A/C DAS-1601.

W Katedrze Inżynierii Produkcji projektuje się również głowice obróbkowe do wygładzania powierzchni krzywoliniowych przeznaczone do współpracy z obrabiarkami CNC (centrum obróbkowym trzyosiowym) (rys. 13.).



Rys. 13. Projekt głowicy obróbkowej do wygładzania powierzchni krzywoliniowych na centrum trzyosiowym frezarskim z zastosowaniem zespołu dosuwu piezoelektrycznego

Do realizacji mniej odpowiedzialnych obróbek powierzchni krzywoliniowych planuje się wykonać głowice obróbkowe do ręcznego prowadzenia np. w zakresie wygładzania fragmentów karoserii lub czyszczenia powierzchni kadłubów łodzi i innych powierzchni swobodnych i krzywoliniowych. Głowice do ręcznego przemieszczania w obszarze roboczym będą charakteryzowały się również aktywną kompensacją docisku względem powierzchni obrabianej (rys. 14).



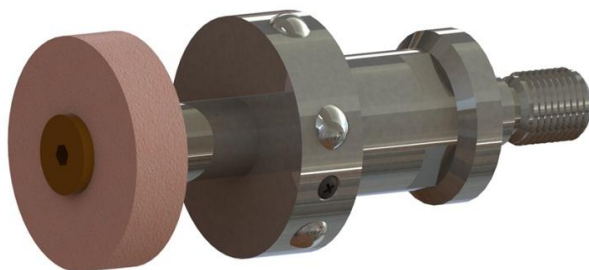
Rys. 14. Przykładowa konstrukcja do obróbki powierzchni swobodnych i płaskich dla ręcznego prowadzenia głowicy

We wszystkich zastosowanych przykładach planuje się wykorzystać możliwość kompensacji przemieszczeń narzędzia ściernego względem materiału obrabianego tak aby wprowadzić kontrolowaną elastyczność (mechaniczny amortyzator) w celu wygładzenia powierzchni obrabianej.

NARZĘDZIA DO OBRÓBKI POWIERZCHNI PŁASKICH I OTWORÓW

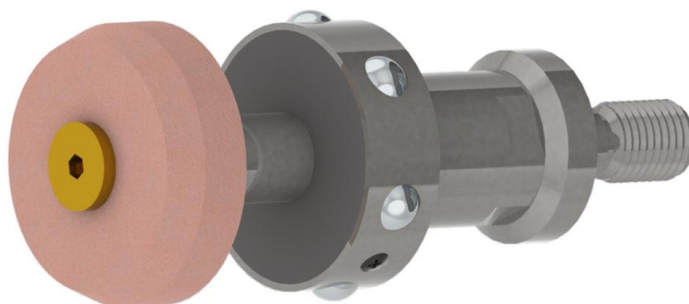
Opisane rozwiązanie umożliwia rozdzielenie w jednym narzędziu ściernym sekcji szlifowania zgrubnego oraz wykańczającego. Stwarza to warunki do zastosowania różnych charakterystyk i właściwości użytkowych narzędzi ściernych realizujących te zabiegi. Istotną korzyścią, jaką daje to rozwiązanie, jest doprowadzenie cieczy chłodząco-smarującej bezpośrednio do strefy szlifowania, co zapewnia obniżenie temperatury w miejscu styku poszczególnych narzędzi z powierzchnią przedmiotu obrabianego. Wpływa to korzystnie na stan warstwy wierzchniej oraz chropowatość powierzchni obrabianej.

Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono przykładowe rozwiązania narzędzi do obróbki powierzchni płaskich i kształtowych. Przedstawione głowice ścierne składają się z jednego korpusu oraz zespołu elementów ściernych przemieszczających się w kierunku promieniowym i osiowym.



Rys. 15. Głowica do obróbki otworów ze ściernicą konwencjonalną

Powszechnie znane są narzędzia ścierne o budowie segmentowej, w których wykorzystuje się elementy ścierne mocowane na stałe do korpusu ściernicy. Ich prędkości, głównie robocze (obrotowe) są takie same, jak całego narzędzia ściernego.

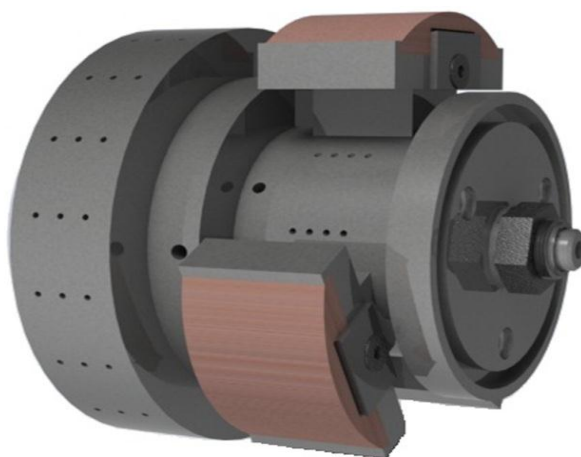


Rys. 16. Głowica do obróbki otworów ze ściernicą z nakrojem stożkowym

Rozwiązanie takie ma wiele zalet w stosunku do ściernic konwencjonalnych o jednolitej budowie, gdyż umożliwia rozmieszczenie segmentów na dużym promieniu działania, pozwala na tworzenie regulowanych nieciągłości pomiędzy nimi oraz umożliwia wymianę i dobór segmentów ściernych o różnej charakterystyce technicznej (rodzaj i wielkość ziaren, rodzaj spoiwa, twardość, struktura itd.), w tym samym korpusie ściernicy.

Istotne jest również to, że przy takim rozwiązaniu, lepiej można również doprowadzić ciecz chłodząco-smarującą do strefy szlifowania oraz odprowadzić z niej produkty zużycia narzędzi ściernych i wióry materiału obrabianego.

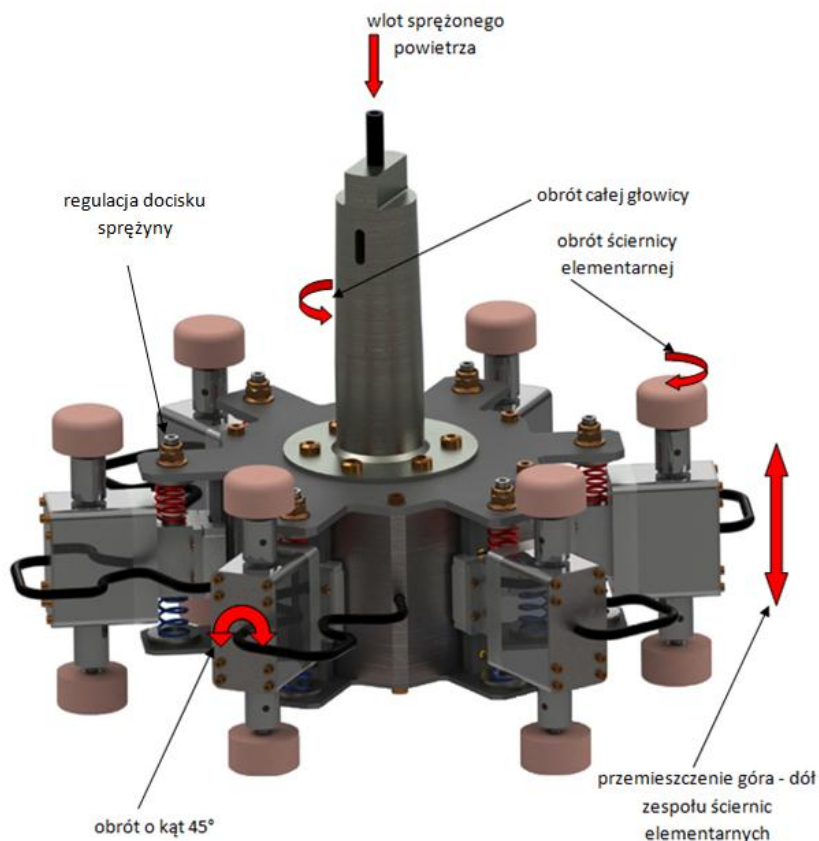
Wydaje się jednak, że przy zmodyfikowaniu konstrukcji takich ściernic poprzez wprowadzenie elementów obrotowych, można znacznie rozwinąć możliwości techniczne i zakres zastosowania. Potwierdzeniem tego jest m.in. opracowana w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Warszawskiej, głowica do gładzenia powierzchni kształtowych z obrotowymi ośkami ściernymi [1, 2, 3]. Autorzy niniejszej pracy proponują zupełnie nową konstrukcję takiej głowicy, która umożliwia realizację zarówno procesu szlifowania, jak i wygładzania powierzchni płaskich jak i kształtowych (rys.17 .).



Rys. 17. Głowica do szlifowania powierzchni płaskich z odśrodkowym podawaniem CCS

Istota konstrukcji nowej głowicy z obrotowymi narzędziami ściernymi do szlifowania powierzchni kształtowych

U podstawy nowej idei konstrukcji głowicy z wieloma obrotowymi narzędziami ściernymi, napędzanymi sprężonym powietrzem lub strugą cieczy chłodząco-smarującej, za pomocą odpowiednio ukształtowanych turbin (rys. 18).



Rys. 18. Idea konstrukcji głowicy ścierniej

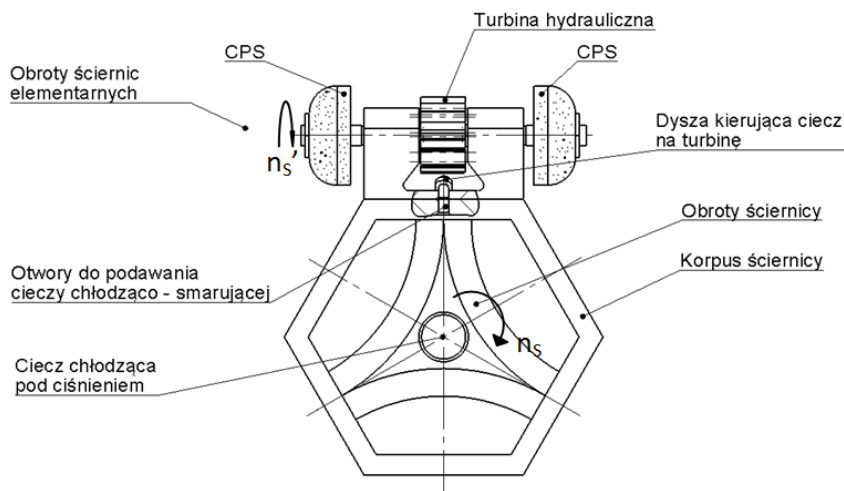
Moduł roboczy takiej głowicy tworzą dwa narzędzia ściernie połączone turbiną napędową. Narzędzia te mają odmienne charakterystyki techniczne i przeznaczenie technologiczne.

W podstawowym rozwiązaniu, jedno z nich jest przeznaczone do szlifowania, zaś drugie do wygładzania powierzchni obrabianej.

Istota konstrukcji nowej głowicy z obrotowymi narzędziami ściernymi do szlifowania dużych otworów, powierzchni płaskich i wałków

Konstrukcja głowicy bazuje na sześciokątym korpusie z wybraniem wewnętrznym, do którego płaszczyzn jest umocowanych sześć wsporników w kształcie litery U. W ramionach wspornika, na ułożyskowanej osi, osadzone są dwie ściernice elementarne o małych gabarytach (np. ściernice trzpieniowe). Wsporniki z zespołem ściernic mogą być usytuowane pod różnym kątem względem obrotu głowicy hybrydowej.

Cała głowica jest bezpośrednio osadzona na wrzecionie lub elektrowrzecionie szlifierki (rys. 19).



Rys. 19. Budowa głowicy hybrydowej z obrotowymi elementarnymi ściernicami

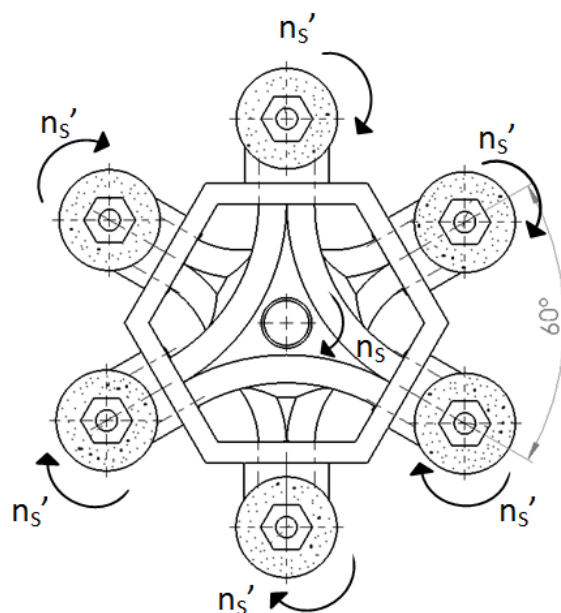
W celu nadania ruchu obrotowego ściernicom elementarnym n_s' , zastosowano turbinę hydrauliczną, zamocowaną na poszczególnych osiach zespołów roboczych. Turbiny te są napędzane cieczą chłodząco-smarującą, która jest podawana pod dużym ciśnieniem do korpusu głowicy i kierowana na turbiny przez odpowiednio rozmieszczone otwory.

Kierunek obrotów ściernic roboczych może być zmieniany, za pomocą odpowiedniego (zmiennego) położenia otworu wlotowego cieczy na łopatkach turbiny. Natomiast prędkość obrotową tych ściernic można regulować za pomocą zmiany ciśnienia i wydatku cieczy chłodząco-smarującej, przy uwzględnieniu siły odśrodkowej na nią działającej, przy określonej prędkości obrotowej całej głowicy. Wydostająca się z turbiny CCS, będzie jednocześnie kierowana do strefy szlifowania.

Złożenie ruchu obrotowego ściernic roboczych oraz ruchu obwodowego korpusu głowicy, umożliwia regulowanie mechanizmu formowania wióra, obciążenie strefy skrawania oraz intensywności zużycia czynnych powierzchni ściernic. Dobierając odpowiednio prędkości obrotowe obu tych ruchów, można w konsekwencji w sposób optymalny dobrać warunki do obróbki określonego rodzaju materiałów, zarówno z uwagi na efektywność obróbki, jak i strukturę geometryczną powierzchni obrotowej oraz jej chropowatość.

GŁOWICE DO SZLIFOWANIA OBWODOWEGO

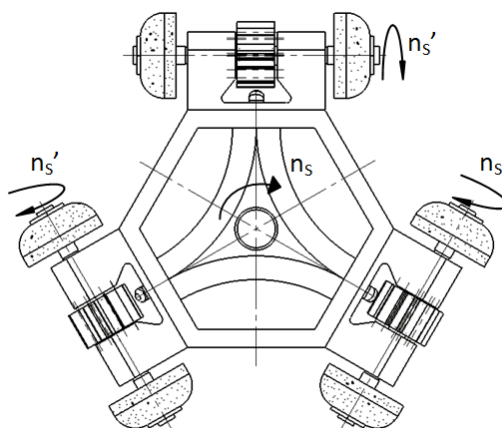
W przypadku szlifowania obwodowego, podstawowa konfiguracja głowicy hybrydowej charakteryzuje się tym, że osie obrotu ściernic elementarnych i oś obrotu głowicy mają ten sam kierunek (rys. 20.).



Rys. 20. Podstawowa konfiguracja głowicy do szlifowania obwodowego o osiach równoległych

Przy takim rozwiązaniu czynna powierzchnia ściernic elementarnych jest walcowa, a liczba zespołów roboczych wynosi 6 (co 60°). Od zależności od usytuowania otworów kierujących cieczą chłodziwo-smarującą na turbiny napędzające poszczególne zespoły ściernic roboczych, mogą one obracać się wszystkie w kierunku współbieżnym lub przeciwbieżnym w stosunku do ruchu całej ściernicy. Mogą mieć one nawet promienne kierunki obrotów dla kolejnych zespołów roboczych, co dodatkowo może mieć wpływ na warunki pracy ziaren ściernych i struktur oraz chropowatości powierzchni obrobionej.

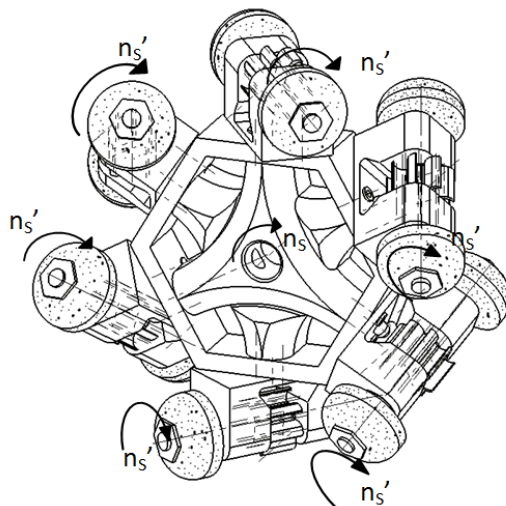
Kolejna konfiguracja zespołów roboczych zachodzi wówczas, gdy zespoły robocze ściernic i osie ich obrotu są ustawione prostopadłe do osi obrotu całej głowicy (rys. 21).



Rys. 21. Konfiguracja głowicy do szlifowania obwodowego o osiach prostopadłych

W takim układzie czynna powierzchnia ściernic elementarnych ma zarys promieniowy, a liczba zespołów roboczych równa się trzy. Promieniowy zarys ściernicy można w prosty sposób uzyskać w zabiegu obciążania.

Najbardziej złożone rozwiązanie uzyskuje się przy skoszeniu zespołów roboczych o pewien kąt (np. 45°) w stosunku do osi obrotu całej głowicy. Jest to rozwiązanie problemu, jakie występuje w kołach omnikierunkowych (rys. 22).

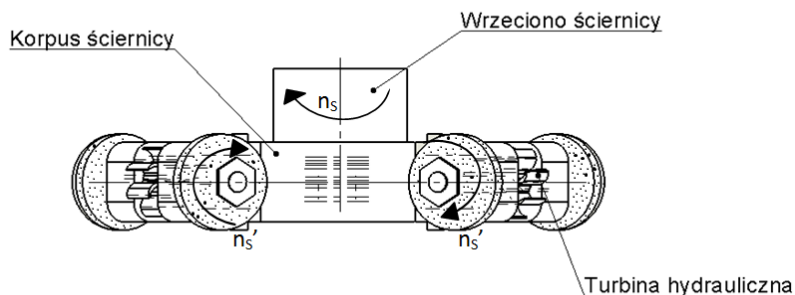


Rys. 22. Konfiguracja głowicy do szlifowania obwodowego o osiach usytuowanych pod różnym kątem

To rozwiązanie umożliwia umieszczenie sześciu zespołów roboczych i styk liniowy ściernic elementarnych z płaską powierzchnią obrabianą. Wymaga jednak precyzyjnego określenia zarysu poszczególnych ściernic i skomplikowanego urządzenia do obciążania. Stwarza jednak nowe możliwości kinematyczne obróbki i kształtowania powierzchni obrobionej.

Należy podkreślić, że przedstawione rozwiązanie głowic do szlifowania obwodowego, może być stosowane zarówno do szlifowania płaszczyzn, jak i wałków oraz otworów.

W przypadku obwodowego szlifowania powierzchni płaskich, ściernica jest identycznie zbudowana, jak na rys. 20, tylko oś obrotu głowicy jest ustawiona w kierunku prostopadłym do szlifowanej powierzchni (rys. 23).

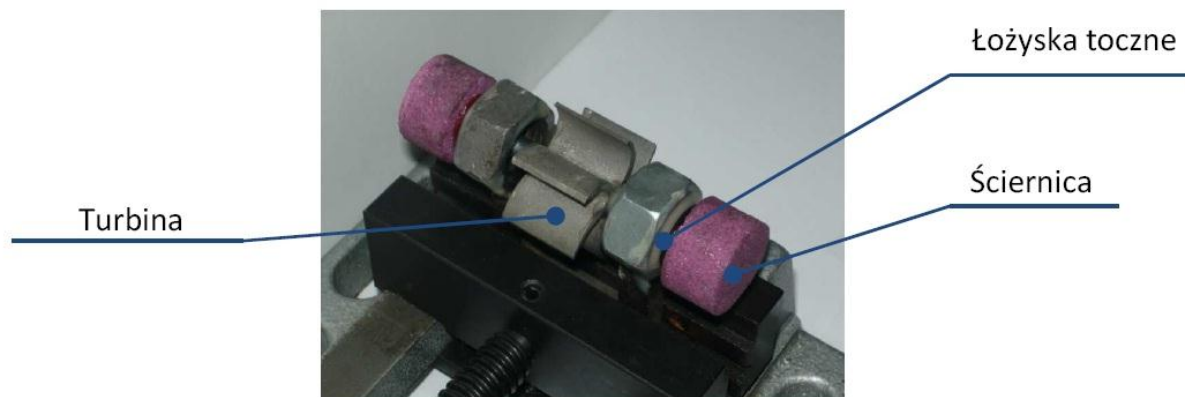


Rys. 23. Konfiguracja głowicy do czołowego szlifowania płaszczyzn

W tym udziale zarysy czynnych powierzchni ściernic są prostokątne i ich kształtowanie w zabiegu obciągania nie nastęrcza większych trudności. Można tu niestety umieścić trzy zespoły robocze, ale ze ściernicami elementarnymi o relatywnie dużych wysokościach (długościach).

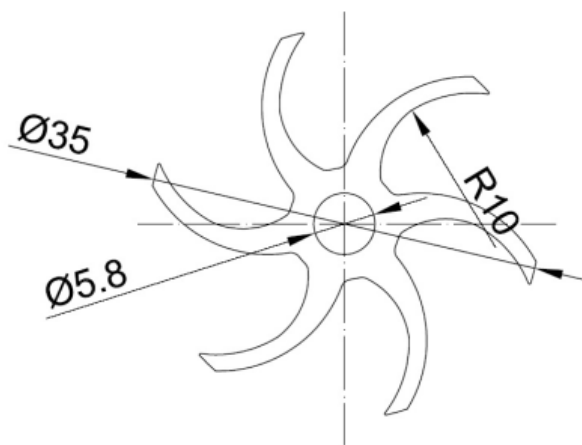
Wstępne obliczenia napędu zespołu ściernic elementarnych

Badania rozpoznawcze przeprowadzono dla turbiny zasilanej sprężonym powietrzem (rys. 24), która napędza ściernice trzpieniowe o średnicy $\varnothing 20$ mm i wysokości 13 mm o następującej charakterystyce technicznej: 99A – 80 – 7 – V



Rys. 24. Konfiguracja zespołu ściernic elementarnych

Obliczenia dla turbiny hydraulicznej (rys. 25) [4]



Rys. 25. Turbina zespołu napędowego ściernic

Napór hydrodynamiczny na pojedynczą łopatkę turbiny obliczono z zależności:

$$F = \rho Vc \quad (2)$$

gdzie:

F – siła naporu na łopatkę,

ρ – gęstość cieczy,

V – strumień objętościowy cieczy,

c – prędkość, z jaką struga dopływa do łopatki

H – przyjmując dla turbiny Peltona (Pelton szybkobieżny 700 – 100m)

Przyjmując następujące dane stanowiska badawczego (pompa hydrauliczna URSUS C – 330):

$\rho = 998 \frac{kg}{m^3}$; $V = 30 \frac{dm^3}{min}$, obliczono prędkość, z jaką struga cieczy dopływa do łopatki:

$$c = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 54 \frac{m}{s} \quad (3)$$

Po podstawieniu do wzoru (2), napór hydrodynamiczny na pojedynczą łopatkę wynosi:

$$F = 26 N \quad (4)$$

Natomiast moment obrotowy dla cieczy napędzającej turbinę ściernicy o średnicy $\varnothing 35$ mm i sile 26 N:

$$M = F \cdot r \quad (5)$$

$$M = 26 N \cdot 0,01 m = 0,26 Nm \quad (6)$$

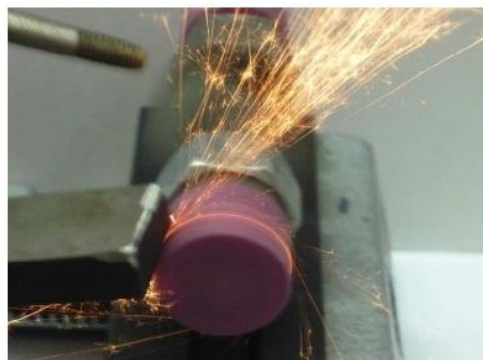
Działając na turbinę sprężonym powietrzem o ciśnieniu 8 bar, przez dyszę o średnicy $\varnothing 2$ mm, wyznaczono siłę działającą na obwodzie ściernicy o średnicy $\varnothing 20$ mm wynoszącą $F_c = 8,7$ N i wytwarzającą moment $M = 0,087$ Nm. Jest to około trzykrotnie mniejsza wartość niż dla turbiny hydraulicznej napędzanej cieczą chłodząco-smarującą.

Przeprowadzone w tych warunkach próby szlifowania czołowego i obwodowego, potwierdziły dużą sprawność tego sposobu napędu ściernicy (rys. 26).

a)



b)



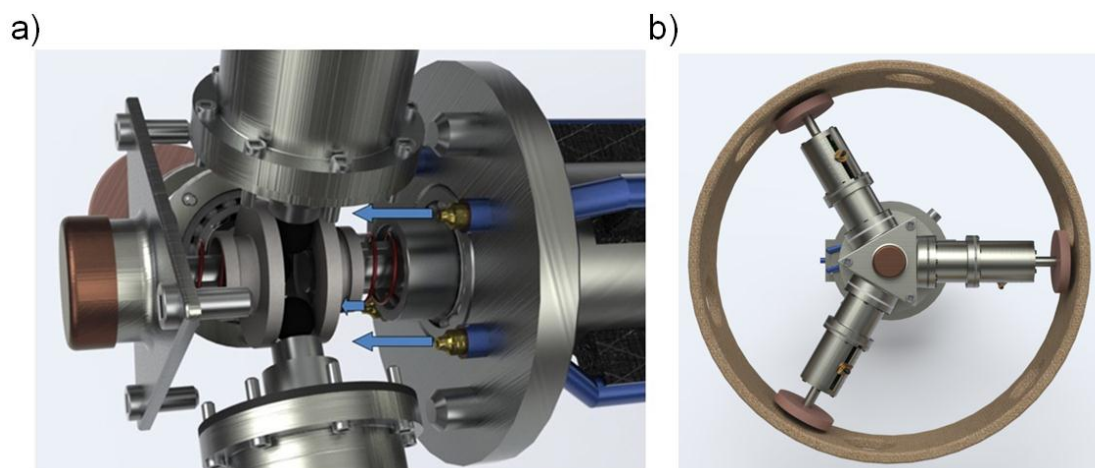
Rys. 26. Widok procesu szlifowania próbki wykonanej ze stali 40H(54±2HRC):
a) czołowego, b) obwodowego

Głowica do szlifowania koszyków do łożysk z tworzywa sztucznego (rys. 27).



Rys. 27. Głowica szlifierska wraz z przedmiotem obrabianym

Widok przekładni ciernej chłodzonej sprężonym powietrzem (rys. 28).



Rys. 28. a) napęd przekładni cierna chłodzona sprężonym powietrzem, b) widok głowicy z przedmiotem obrabianym

Podsumowanie

Opracowane koncepcje nowej generacji głowic z aktywnym oraz biernym systemem kompensacji przemieszczeń, a także z obrotowymi narzędziami ściernymi, stanowią nowe możliwości szlifowania, zwłaszcza otworów o dużych średnicach oraz powierzchni swobodnych, krzywoliniowych, a także płaskich. Napęd turbinowy poszczególnych zespołów ściernic jest bardzo prostym narzędziem, nie wymagającym stosowania przekładni mechanicznych, charakteryzuje się on dużą efektywnością.

Do zasilania turbin może być stosowana zarówno ciecz chłodząco-smarująca, jak i sprężone powietrze, co potwierdzają badania rozpoznawcze. Czynniki te można wykorzystać bezpośrednio w strefie szlifowania w celu realizacji jej chłodzenia.

Zaprezentowane konstrukcje są rozwijane w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej. Obecnie badane są już gotowe prototypy i wykonywane nowe konstrukcje głowic, które w najbliższym czasie będą przebadane w celu określenia ich przydatności produkcyjnej. W tym celu zrealizowane zostaną badania powierzchni obrobionych oraz powierzchni czynnej narzędzi ściernych zastosowanych w realizowanych procesach szlifowania.

Literatura

- [1] Nowicki B. Pracki M.: Badanie efektów niekonwencjonalnego gładzenia narzędziami diamentowymi. Mat. XXIII Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Rzeszów 2000, s. 435-442
- [2] Dąbrowski L. i in.: Niekonwencjonalne procesy obróbki ścierniej. Materiały XXV Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Wrocław – Duszniki Zdrój 2002, s. 33-54
- [3] Nowicki B. Pracki M.: Badanie niekonwencjonalnego gładzenia powierzchni o podwójnej krzywiznie. Materiały XXVI Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Łódź 2003, s. 261-268
- [4] Władysław R. Gundlach: Podstawy maszyn przepływowych i ich systemów energetycznych. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2008