



Wpływ alternatywnych metod podawania cieczy obróbkowej podczas ostrzenia frezów ślimakowych na stan warstwy wierzchniej ostrzy

The influence of the alternative fluid supply methods during hob sharpening process on surface layer hob cutter

WOJCIECH STACHURSKI
RYSZARD WÓJCIK*

Przedstawiono badania nad określeniem wpływu warunków (ciecz obróbkowa, głębokość szlifowania) ostrzenia frezów ślimakowych na stan warstwy wierzchniej ostrzy. Frezy ostrzono z cieczą obróbkową podawaną w trybie obfitym, z minimalnym wydatkiem (MQL) oraz przy jednoczesnym użyciu mgły olejowej i sprężonego powietrza. W trakcie badań zastosowano dwie głębokości szlifowania: 0,01 i 0,03 mm. Przeprowadzone pomiary mikrotwardości i chropowatości wykazały, że istnieje możliwość zmiany warunków szlifowania poprzez zastąpienie tradycyjnie stosowanej emulsji podawanej w trybie obfitym metodą alternatywną.

SŁOWA KLUCZOWE: frez ślimakowy, ostrzenie, ciecz obróbkowa, warstwa wierzchnia

In the paper experimental results obtained during hob sharpening process are presented. HSS hobs have been sharpened with application of different types of lubrication and cooling methods. Wet machining, minimal quantity lubrication (MQL) and compressed air with MQL methods (MQL-SP) were taken to evaluation. Two depth of cut levels were applied during experimental procedure: 0,01 and 0,03 mm. Results of surface metallographics of HSS hob and microhardness distribution from the rake face of the hob to the depth of 0,1 mm are presented too.

KEYWORDS: hob cutter, sharpening, cutting fluid, surface layer

Jednym z procesów, dla którego stan ilościowy i jakościowy ostrza skrawającego istotnie decyduje o dokładności

i jakości wykonanych części jest frezowanie obwiedniowe kół zębatach. W metodzie tej jako narzędzia używa się modułowych frezów ślimakowych. W trakcie obróbki kolejne ostrza skrawające narażone są na nierównomierne i zmienne w czasie obciążenia siłami skrawania. W strefie kontaktu wióra i przedmiotu obrabianego z ostrzami narzędzia występują znaczne obciążenia mechaniczne (naprężenia normalne i styczne) oraz cieplne (temperatura) [1, 2, 3]. Z uwagi na to, proces regeneracji (ostrzenia) narzędzia nie powinien znacząco pogarszać pierwotnych właściwości warstwy wierzchniej szlifowanej powierzchni natarcia.

Należy pamiętać, że na skutek wysokich prędkości szlifowania podczas ostrzenia wydzielają się duże ilości ciepła. W tych warunkach w warstwie wierzchniej ostrzonych narzędzi powstają bardzo duże naprężenia cieplne [4]. Naprężenia te prowadzą do powstania siatki pęknięć, która często jest niewidoczna przy obserwacji powierzchni narzędzia okiem nieuzbrojonym. Na skutek wysokiej temperatury w warstwach wierzchnich narzędzi mogą również wystąpić zmiany strukturalne obniżające znacznie właściwości skrawne ostrza. Badania opisywane w literaturze [5, 6, 7, 8, 9] wykazują, że przy niewłaściwych warunkach ostrzenia stali szybkołatającej warstwa wierzchnia może się składać z warstwy wtórnie zahartowanej i leżącej pod nią strefy odpuszczonej lub tylko jednej wtórnie zahartowanej strefy o nieznacznej grubości.

Istnieje kilka sposobów na obniżenie temperatury podczas szlifowania, a najpowszechniej stosowanym jest zastosowanie chłodzenia. Dotychczas czynnik chłodzący w postaci emulsji oleju w wodzie wprowadza się w pobliże styku ściernicy z przedmiotem obrabianym za pomocą specjalnie ukształtowanej dyszy. Zasadniczą niedogodnością takiego sposobu dostarczania cieczy obróbkowej są jej duże wydatki oraz fakt, że tylko niewielka część jej objętości wnika w strefę styku ściernicy z materiałem obrabianym. Dąży

* Dr inż. Wojciech Stachurski (wojciech.stachurski@p.lodz.pl), dr hab. inż. Ryszard Wójcik, prof. PŁ (ryszard.wojcik@p.lodz.pl) – Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej

się zatem do zmniejszania wydatku cieczy obróbkowej. Ponadto ograniczanie to podyktowane jest także względami ekologicznymi i koniecznością dostosowania się do coraz bardziej rygorystycznych przepisów związanych z ochroną środowiska i BHP [10, 11, 12].

W Instytucie Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej realizowane są badania obejmujące szlifowanie z udziałem alternatywnych metod podawania cieczy obróbkowych w strefę szlifowania. W pracy [13] opisano badania dotyczące ostrzenia frezów ślimakowych z wykorzystaniem m.in. metody minimalnego wydatku cieczy obróbkowej (ang. MQL – Minimal Quantity Lubrication). Wyniki tych badań wskazują na możliwość wykorzystywania metody MQL, choć warunkiem koniecznym do tego jest osiągnięcie mniejszych zmian mikrotwardości w warstwie wierzchniej ostrza frezu.

Inne badania [14, 15, 16, 17, 18] dotyczące szlifowania próbek płaskich wykazały zalety alternatywnych rozwiązań, m.in. zmniejszenie obciążenia cieplnego, wzrost trwałości ściernicy i jakości szlifowanego przedmiotu w porównaniu do klasycznego chłodzenia.

Zaprezentowane w artykule badania dotyczą określenia wpływu warunków obróbki tzn. metod chłodzenia i smarowania oraz głębokości szlifowania podczas ostrzenia frezów ślimakowych na stan warstwy wierzchniej. Badania dotyczące wpływu sposobu dostarczania cieczy na dokładności geometryczne frezów ślimakowych będą przedmiotem oddzielnych badań eksperymentalnych.

Warunki badań eksperymentalnych

Badania prowadzono w dwóch etapach: etap 1 – ostrzenie frezów ślimakowych, etap 2 – pomiary wybranych parametrów warstwy wierzchniej ostrzy (mikrotwardość, chropowatość).

■ Etap 1 – ostrzenie frezów ślimakowych

W pierwszym etapie badań ostrzono powierzchnię natarcia monolitycznych frezów ślimakowych, wykonanych ze stali szybko tnącej HS6-5-2 bez pokrycia przeciwdrobnosiłkowego. Frezy te są przeznaczone do wykonywania kół zębatych zgodnych z ISO 53 i ISO 54. Parametry frezów: moduł $m=3$ mm, kąt przyporu $\alpha=20^\circ$, 9 ostrzy skrawających, zarys szlifowany, klasa dokładności wykonania B (wg PN-ISO 4468:1999).

Frezy ostrzono na specjalnej ostrzarce do frezów ślimakowych przy użyciu ściernicy talerzowej 38A60KVB firmy Norton. Parametry szlifowania ostrzy frezów ślimakowych dobrano na podstawie danych literaturowych [5, 6] oraz praktyki warsztatowej, a następnie zestawiono w tabeli 1.

Podczas ostrzenia zastosowano autorską metodę [19] polegającą na jednoczesnym podawaniu mgły olejowej z minimalnym wydatkiem (MQL) oraz sprężonego powietrza (SP) – metoda MQL-SP. Do celów porównawczych wzięto wyniki badań przeprowadzonych podczas podawania cieczy obróbkowej w trybie obfitym (ang. FC – Flood Cooling) oraz z zastosowaniem metody MQL [12].

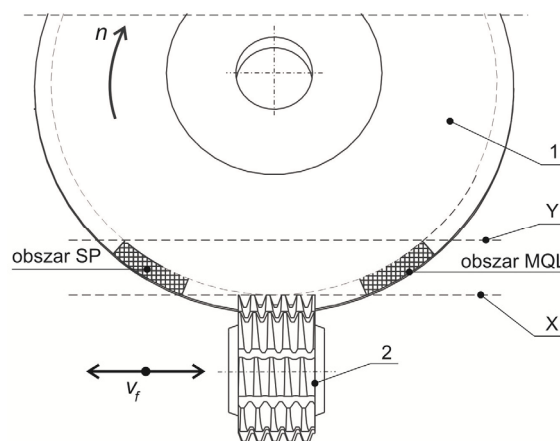
Jako konwencjonalną ciecz obróbkową zastosowano olej emulgujący Emulgol ES-12 w postaci wodnej emulsji (stężenie 5%) dostarczany w strefę obróbki z wydatkiem 5 l/min. Do wytwarzania mgły olejowej zastosowano zewnętrzne urządzenie MicroJet MKS-G100 firmy Link. Olej syntetyczny na bazie estrów MICRO 3000 podawano poprzez pojedynczą dyszę rozpylającą z wydatkiem $Q=50$ ml/godz. przy

ciśnieniu roboczym $P=0,6$ MPa. Sprężone powietrze doprowadzano do strefy skrawania poprzez pojedynczą dyszę również z ciśnieniem roboczym $P=0,6$ MPa.

Tab. 1. Parametry szlifowania podczas ostrzenia frezów

Parametry szlifowania	
Prędkość obrotowa ściernicy $n=2950$ obr/min	$a_{e1}=0,01$ mm $a_{e2}=0,03$ mm
Prędkość obwodowa ściernicy $v_s=31$ m/s	10 przejść z wyiskrzaniem dla każdej głębokości szlifowania
Prędkość posuwu wzdłużnego $v_{f0}=0,11$ m/s	

Na rys. 1 przedstawiono sposób rozmieszczenia obszarów na czynnej powierzchni ściernicy, na które skierowano mgłę olejową i sprężone powietrze.



Rys. 1. Rozmieszczenie obszarów na czynnej powierzchni ściernicy, na które skierowano mgłę olejową i sprężone powietrze.

Ciecz obróbkową w postaci mgły olejowej wprowadzano do strefy szlifowania za pomocą dyszy, z prawej strony frezu ślimakowego 2 na fragment MQL obszaru czynnej powierzchni ściernicy. Obszar MQL jest usytuowany pomiędzy linią X stanowiącą linię styku wierzchołkowych krawędzi skrawających frezu 2 ze ściernicą 1 i umowną linią Y usytuowaną równolegle do linii X w odległości 25 mm od niej. Czynnik chłodzący w postaci sprężonego powietrza wprowadzano po lewej stronie frezu ślimakowego za pomocą drugiej dyszy na fragment SP czynnej powierzchni ściernicy 1 usytuowany także między linią X i umowną linią Y. Wyloty obu dysz umieszczono w odległości 15 mm od czynnej powierzchni ściernicy. Ściernica, obracając się zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, unosiła ze sobą mgłę olejową i wprowadzała ją w strefę szlifowania, a następnie była czyszczona przez strumień sprężonego powietrza.

W procesie ostrzenia pojedynczego frezu, zużyto około 100 ml mgły olejowej, podczas gdy w tym samym procesie przy tradycyjnym wprowadzeniu cieczy chłodząco-smarującej w postaci emulsji bierze udział około 600 litrów cieczy chłodząco-smarującej.

■ Etap 2 – pomiary frezów ślimakowych po ostrzeniu

W drugim etapie badań przeprowadzono pomiary wybranych parametrów warstwy wierzchniej (mikrotwardość, chropowatość) na powierzchni natarcia ostrzonych frezów ślimakowych. Pomiary mikrotwardości (rys. 3÷5) wykonano w skali Vickersa HV0,1 przy użyciu mikrotwardościomierza CLEMEX na szlifach prostopadłych do powierzchni szlifowanej w pobliżu krawędzi skrawających. Pomiary przepro-

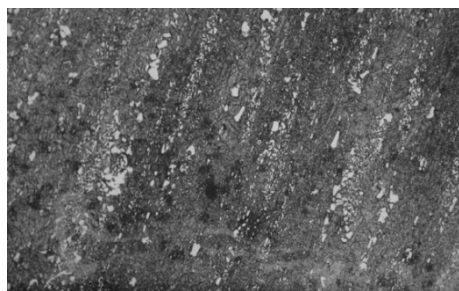
wadzano do głębokości 100 μm od powierzchni natarcia. Początkowa twardość materiału narzędziowego wynosiła średnio 890HV_{0,1} (~ 67 HRC).

Pomiary chropowatości powierzchni natarcia wykonano profilometrem Hommel Tester T8000. Parametry pomiaru dobrano według zaleceń zawartych w PN-EN ISO 3274:2011E i PN-EN ISO 4288:2011E. Odcinek pomiarowy l_n składał się z 5 odcinków elementarnych $l_r=0,8$ mm. Użyto igły pomiarowej, której promień wierzchołka odwzorowującego $r_{tip}=5$ μm , a odcinek przejazdu igły $l_t=4,8$ mm.

Dla każdego frezu wykonano pięć pomiarów na wybranych ostrzach w pobliżu krawędzi skrawających. Chropowatość powierzchni frezu wyznaczano jako średnią arytmetyczną z pięciu pomiarów. Jako wskaźnik chropowatości użyto parametru R_a (wg PN-EN ISO 4287:1999), a jego wartości zmierzone zestawiono w tabeli 2 i na rys. 6.

Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań mikroskopowych (rys. 2) stwierdzono, że materiał ostrza frezu wykazuje strukturę składającą się z martenzytu odpuszczonego i pasm węglików pierwotnych o dużym stopniu nasilenia.



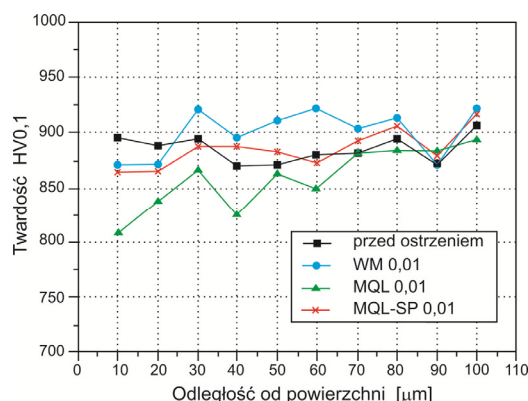
Rys. 2. Mikrostruktura ostrza frezu. Powiększenie x500

Przeprowadzone badania mikrotwardości wykazały, że najmniejsze zmiany (około 30 HV przy powierzchni), w porównaniu do mikrotwardości materiału wyjściowego (przed szlifowaniem), uzyskuje się podczas ostrzenia frezów przy wykorzystaniu cieczy obróbkowej w trybie obfitym (FC) przy głębokości szlifowania 0,01 mm (rys. 3). Zwiększenie głębokości szlifowania do 0,03 mm powoduje, że mikrotwardość spada o kolejne 30 jednostek HV (rys. 4). W obu przypadkach zmiany mikrotwardości zaobserwowano do około 20 μm od powierzchni ostrzenia frezu.

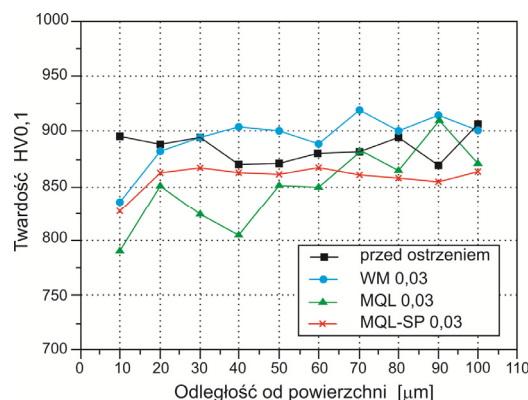
Na uwagę zwraca fakt, że w przypadku jednoczesnego podawania mgły olejowej i sprężonego powietrza (MQL-SP) zmiany mikrotwardości w porównaniu do materiału przed ostrzeniem są zbliżone do tych uzyskiwanych podczas FC. Różnice pomiędzy wartościami HV uzyskiwanymi najbliżej powierzchni natarcia wynoszą 3-5 jednostek. Jednocześnie dla obu głębokości szlifowania zmiany mikrotwardości zaobserwowano do około 40 μm od powierzchni ostrzenia frezu (rys. 5).

Podawanie cieczy obróbkowej metodą MQL spowodowało spadek mikrotwardości do około 60-70 μm od powierzchni szlifowania (rys. 5, 6). Mikrotwardości na głębokości 10 μm była mniejsza o około 100HV dla $a_{e2}=0,03$ mm w porównaniu do materiału wyjściowego i o około 70 HV dla głębokości szlifowania $a_{e1}=0,01$ mm.

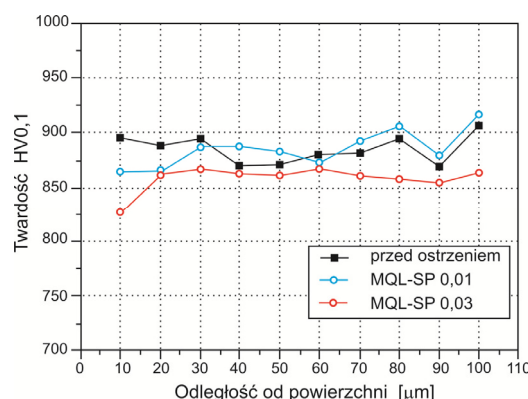
Porównując wpływ głębokości szlifowania na mikrotwardość (rys. 5) przy wykorzystaniu metod MQL-SP wyraźnie widać pomiędzy nimi niewielką różnicę rzędu 20-25 HV.



Rys. 3. Rozkład mikrotwardości w warstwie wierzchniej frezu; FC, MQL, MQL-SP, $a_{e1} = 0,01$ mm



Rys. 4. Rozkład mikrotwardości w warstwie wierzchniej frezu; FC, MQL, MQL-SP, $a_{e1} = 0,03$ mm



Rys. 5. Rozkład mikrotwardości w warstwie wierzchniej frezu; MQL-SP, $a_{e1} = 0,01$ i $0,03$ mm

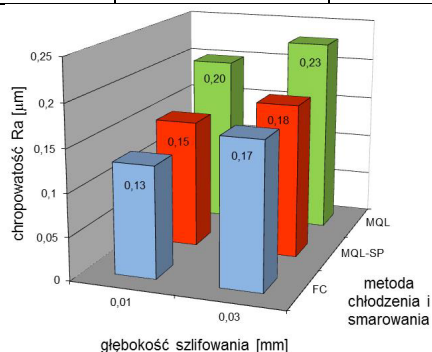
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów chropowatości (rys. 6) stwierdzono, że dla wszystkich metod chłodzenia i smarowania chropowatość rośnie wraz ze zwiększaniem głębokości szlifowania. Dla obydwu głębokości szlifowania ($a_{e1}=0,01$ mm i $a_{e2}=0,03$ mm) najmniejsze wartości parametru R_a (tabela 2) pojawiają się dla podawania emulsji chłodzącej w trybie obfitym (FC). Chropowatość dla metody MQL jest większa o około 30-35 % w stosunku do FC, natomiast dla MQL-SP jest to 15 % dla $a_{e1}=0,01$ mm i 27 % dla $a_{e2}=0,03$ mm.

Uzyskana w wyniku ostrzenia chropowatość powierzchni natarcia decyduje o jakości ostrza skrawającego. Im większa jest jej wartość tym większa szczyratość krawędzi skrawającej i w konsekwencji intensywniejsze zużywanie narzędzia na skutek wykruszeń następujących w czasie skrawania.

Wstępnie przeprowadzone badania frezowania wykazały, że dla frezów ostrzonych przy użyciu metody MQL-SP nie nastąpił zauważalny spadek żywotności frezu w stosunku do metody FC. W przypadku metody MQL spadek żywotności był tylko nieco mniejszy i wynosił około 4%. Nie stwierdzono natomiast znaczących różnic w dokładności kształtowo-wymiarowej wytworzonych kół zębatach oraz w warstwie wierzchniej ich zębów.

Tab. 2. Chropowatość (R_a) na powierzchni natarcia frezów

Metoda chłodzenia i smarowania	R_a [μm]	
	$a_{e1}=0,01$ mm	$a_{e2}=0,03$ mm
FC	0,13	0,17
MQL-SP	0,15	0,18
MQL	0,20	0,23



Rys. 6. Wartość parametru R_a na powierzchni natarcia ostrzonych frezów ślimakowych; MQL-SP, $a_{e1} = 0,01$ i $0,03$ mm

Wnioski

Reasumując, pomimo najmniejszych zmian w stanie warstwy wierzchniej podczas ostrzenia frezów z podaniem cieczy obróbkowej w trybie obfitym (FC) istnieje możliwość odejścia od tej metody ze względów ekologicznych i BHP.

Jako alternatywę do szlifowania „na mokro” można stosować metodę polegającą na jednoczesnym podawaniu mgły olejowej i sprężonego powietrza (MQL-SP). Jej wykorzystanie powoduje obniżenie mikrotwardości przy powierzchni o około 35 HV w porównaniu do mikrotwardości materiału przed szlifowaniem. Różnica ta wraz ze wzrostem odległości od powierzchni zmniejsza się i zanika całkowicie na głębokości około 30-40 μm . Ostrzenie narzędzia z głębokościami szlifowania pomiędzy $a_{e1-2}=0,01-0,03$ mm nie wpływa znacząco na mikrotwardość warstwy wierzchniej.

Aby poprawić jakość powierzchni (chropowatość) należy stopniowo zmniejszać głębokość szlifowania i kilkakrotnie wykonać przejścia wyskrzypujące – z wyłączonym posuwem poprzecznym. Spowoduje to zmniejszenie chropowatości powierzchni natarcia.

Dalsze badania będą uwzględniać zmianę materiału ściernicy np. poprzez zastosowanie elektrokorundu szlachetnego chromowego, zwiększenie prędkości posuwu wzdłużnego v_f do 0,3 m/s. Powinno to spowodować zwiększenie wydajności procesu bez znaczącego pogorszenia właściwości warstwy wierzchniej.

Różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu metody MQL i MQL-SP wynikają prawdopodobnie z faktu, iż w sposobie według wynalazku [19] mgła olejowa jest unoszona wraz ze ściernicą, dzięki czemu jest ona dostarczana bezpośrednio w strefę szlifowania, co zwiększa

efektywność oddziaływania cieczy smarującej na przebieg procesu szlifowania. Zastosowanie sprężonego powietrza minimalizuje zapychanie się ściernicy poprzez usuwanie z niej cząstek mgły olejowej pozostających po wyjściu ze strefy szlifowania.

LITERATURA

- Jalali A.M., Mohammadi M.H., Wear mechanisms in high speed steel gear cutting tools. World Academy of Science, Engineering and Technology, 45, 363-365, 2010.
- Bouzakis K.-D., Lili E., Michailidis N., Friderikos O., Manufacturing of cylindrical gears by generating cutting processes: A critical synthesis of analysis methods. CIRP Annals – Manufacturing technology, 57, 676-696, 2008.
- Rech J., Influence of cutting edge preparation on the wear resistance in high speed gear hobbing. Wear, 261, 505-512, 2006.
- Kruszyński B., Surface integrity in grinding. Monograph, Lodz University of Technology, 2001.
- Dmochowski J., Majewski W., Zieliński Z., Technologia narzędzi skrawających. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1977.
- Oczko K., Porzycki J., Szlifowanie. Podstawy i technika. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1986.
- Wójcik R., Ocena wpływu naprężeń własnych w warstwach wierzchnich, powstałych w procesie szlifowania na tribologiczne aspekty pracy. Obróbka metalu, 3, 76-80, 2012.
- Wójcik R., Rozkład mikrotwardości w warstwie wierzchniej. Obróbka metalu, 1, 52-54, 2012.
- Wójcik R., Zmiany właściwości warstwy wierzchniej w procesie szlifowania stali narzędziowych. Narzędziowiec, 02, 32-39, 2009.
- Sanchez J.A., Pombo I., Alberdi R., Izquierdo B., Ortega N., Plaza S., Martinez-Toledano J., Machining evaluation of hybrid MQL-CO2 grinding technology. Journal of Cleaner Production, 18, 1840-1849, 2010.
- Choi H.Z., Lee S.W., Jeong H.D., The cooling effects of compressed cold air in cylindrical grinding with alumina and CBN wheels. Journal of Materials Processing Technology, 127, 155-158, 2002.
- Barczak L.M., Batako A.D.L., Morgan M.N., A study of plane surface grinding under minimum quantity lubrication (MQL) conditions. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50, 977-985, 2010.
- Stachurski W., Sawicki J.: Wpływ warunków obróbki ostrzenia frezów ślimakowych na stan warstwy wierzchniej ostrzy. Inżynieria Materiałowa, 4, 1241-1244, 2010.
- Wójcik R., Wpływ parametrów procesu szlifowania płaszczyzn na stan warstwy wierzchniej stali stopowych. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 25/2, 57-64, 2005.
- Wójcik R., Wpływ sposobu mocowania i kierunku chłodzenia sprężonym powietrzem na odkształcenia cieplne przedmiotu w procesie szlifowania płaszczyzn. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 27/2, 33-41, 2007.
- Tawakoli T., Westkamper E., Rabiey M., Rasifard A., Influence of type of coolant lubricant in grinding with CBN tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 734-739, 2007.
- Wójcik R., Nowe media i sposoby doprowadzania do strefy szlifowania. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 28/4, 137-145, 2008.
- Wójcik R., Czyszczące oddziaływanie mgły olejowej na roboczą powierzchnię ściernicy. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 29/4, 159-165, 2009.
- Stachurski W., Wójcik R., Zgłoszenie patentowe nr P. 405328 Sposób wprowadzania czynnika chłodząco-smarującego do strefy szlifowania podczas ostrzenia frezu ślimakowego, 2013.