

# Rola chłodzenia w procesie szlifowania

dr inż. Łukasz Żyłka, Politechnika Rzeszowska, Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji  
dr inż. Wojciech Żyłka, Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Mechatroniki i Automatyki

W artykule scharakteryzowano proces szlifowania oraz rolę jaką spełnia w nim chłodzenie. Opisano wpływ warunków chłodzenia na przebieg i wynik procesu szlifowania. Opisano również zasady działania chłodzenia wysokociśnieniowego. Przedstawiono także wytyczne konstruowania dysz chłodziwa oraz różne konstrukcje dysz wraz z przykładowymi badaniami symulacyjnymi przepływów.

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się znaczący rozwój w zakresie technik szlifowania. Opracowywane są nowe rodzaje materiałów ściernych, które pozwalają na zwiększenie wydajności szlifowania. Ponadto wdrażane są nowe strategie szlifowania, np. szlifowanie głębokie z posuwem pełzającym, których celem jest poprawa wydajności szlifowania. Jednakże wraz ze wzrostem parametrów technologicznych (prędkości szlifowania czy wartości dosuwu) oraz wydajności szlifowania wzrasta ryzyko uszkodzenia szlifowanej powierzchni [9]. Wynika to ze zwiększonego obciążenia energetycznego warstwy wierzchniej powstałego na skutek zwiększonych wartości sił szlifowania czy temperatury. W wyniku tego może dochodzić do termicznych uszkodzeń warstwy wierzchniej szlifowanych przedmiotów w postaci mikropeknięć, zmian mikrotwardości, rozciągających naprężeń w warstwie wierzchniej

oraz przypaleń szlifierskich związanych z przemianami fazowymi [4, 6, 8].

Najczęściej występującym uszkodzeniem warstwy wierzchniej całkowicie dyskwalifikującym obrabiany przedmiot z eksploatacji są przypalenia szlifierskie. Pojęciem przypalenia szlifierskiego określa się zazwyczaj zmieniony stan struktury szlifowanej warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego powstały w wyniku zewnętrznego, termicznego oddziaływania strefy styku ściernicy z przedmiotem obrabianym [4, 6]. W procesie szlifowania występują krótko-czasowe ciepłne i mechaniczne obciążenia, zależące od wartości parametrów technologicznych, które oddziałują na przedmiot obrabiany [8]. Podczas szlifowania stali obrabianych cieplnie, w wyniku dużego obciążenia termicznego może dochodzić do powstawania zmian w strukturze materiału warstwy wierzchniej w postaci odpuszczenia lub wtórnego zahartowania. Wtórne zahartowanie

powodowane jest silnym nagraniem warstwy materiału powyżej temperatury występowania austenitu i szybkim schładzaniem w wyniku działania cieczy obróbkowej, krótkim czasem styku ściernicy z przedmiotem obrabianym oraz odprowadzaniem ciepła do wnętrza przedmiotu [4]. Strefy wtórnie zahartowane zawierają nieodpuszczony martenzyt, który w procesie trawienia widoczny jest jako tzw. „biała warstwa”. Warstwa ta charakteryzuje się dużą twardością oraz dużą kruchością [6]. Podczas szlifowania, na skutek przedostawania się ciepła do przedmiotu obrabianego mogą również wystąpić obszary materiału odpuszczonego. Obszary te mogą powstawać również poniżej wtórnie zahartowanej warstwy, gdy występują temperatury niższe niż wymagane do austenitowania struktury. Niezależnie do rodzaju powstałego przypalenia szlifierskiego wpływa ono negatywnie na właściwości eksploatacyjne warstwy wierzchniej powodując przede wszystkim



kim zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej [8]. Na skutek tego następuje przyspieszone zużycie powierzchni, co w konsekwencji prowadzi, np. do uszkodzenia całego mechanizmu. Biorąc powyższe pod uwagę przypalenia szlifierskie powinny być eliminowane z procesu szlifowania.

Ryzyko uszkodzenia szlifowanej powierzchni może być zredukowane poprzez stosowanie odpowiednich warunków chłodzenia strefy szlifowania, np. odpowiednich ciśnień i wydatków cieczy chłodząco-smarującej oraz odpowiednio skonstruowanych dysz [3, 7]. Od wielu lat prowadzone są badania doświadczalne z zakresu optymalizacji parametrów chłodzenia w procesie szlifowania. Ponadto znaczący rozwój obserwuje się w zakresie konstrukcji dysz chłodziwa, które obecnie często wykonywane są z wykorzystaniem technologii przyrostowej. Odpowiednie warunki chłodzenia zapewniają szybką ewakuację ciepła ze strefy szlifowania oraz redukcję tarcia pomiędzy ziarnami ściernymi a obrabianym materiałem. To w konsekwencji gwarantuje szlifowanie bez uszkodzeń powierzchni.

## 2. Warunki doprowadzenia chłodziwa w procesie szlifowania

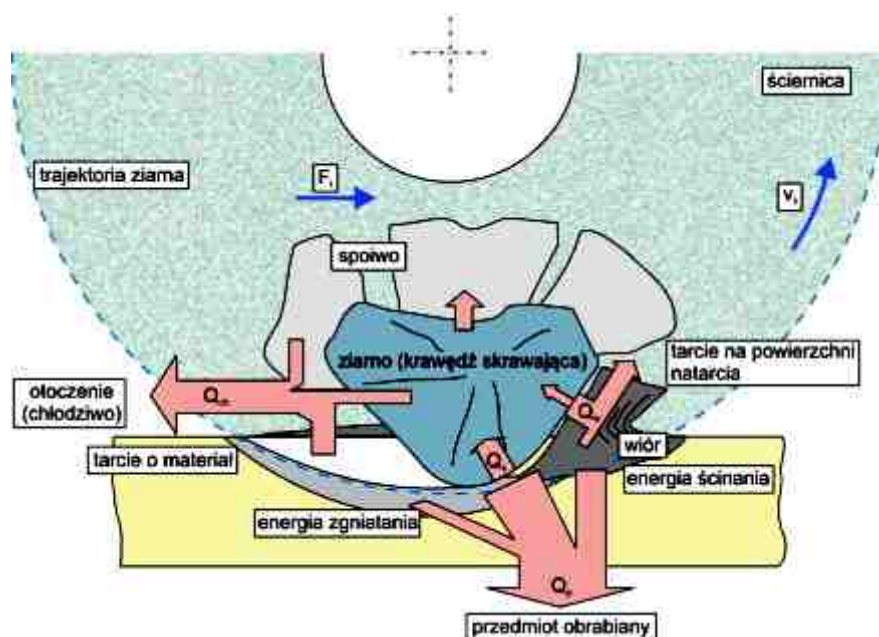
Zastosowanie chłodziwa odgrywa znaczącą rolę w optymalizacji procesów obróbki ubytkowej. W porównaniu do innych procesów obróbki, szlifowanie wymaga znacznie więcej energii, aby usunąć określoną ilość materiału. Towarzyszy temu większe zapotrzebowanie na czynnik chłodząco-smarujący. W związku z tym istotnym aspektem są parametry płynu chłodząco-smarującego oraz sposób jego doprowadzenia do strefy szlifowania. Ma to istotny wpływ na przebieg jak i wynik procesu szlifowania.

Ciepło generowane w procesie szlifowania przedostaje się do wszystkich elementów składowych procesu: ściernicy  $Q_s$ , wióra  $Q_w$ , otoczenia (chłodziwa)  $Q_{ch}$  oraz do przedmiotu  $Q_p$  (rys. 1). Jak wynika z badań bilansu ciepła największa jego ilość przedostaje się do przedmiotu (ok. 50%) co wynika głównie z małej przewodności cieplnej ściernicy o spoiwie ceramicznym [8]. Duża ilość ciepła może powodować powstawanie wysokich temperatur uszkadzających

warstwę wierzchnią jak również intensyfikować procesy zużycia ściernicy.

W celu obniżenia temperatury w strefie szlifowania, a tym samym polepszenia warunków obróbki, stosuje się płyny chłodząco-smarujące. Są to najczęściej różnego rodzaju wodne roztwory emulsji olejowych naturalnych, półsyntetycznych bądź syntetycznych. Ich rola w procesie szlifowania polega głównie na chłodzeniu ściernicy, przedmiotu obrabianego, oraz smarowaniu strefy styku ściernicy z przedmiotem obra-

Jednak nawet zastosowanie właściwie dobranego chłodziwa nie zawsze prowadzi do uzyskania oczekiwanych efektów, ponieważ istotna jest również metoda jego doprowadzenia do strefy styku ściernicy z przedmiotem obrabianym. Dalsza poprawa warunków szlifowania wymusza zwiększenie ilości chłodziwa dostarczonego bezpośrednio do strefy szlifowania. Można to uzyskać zwiększając ciśnienie robocze i szybkość wypływu chłodziwa. Podczas szlifowania ściernica obraca się ze znaczną prędkością w związku



Rys. 1. Bilans ciepła w procesie szlifowania

biącym. Dodatkowo, płyny chłodząco-smarujące oczyszczają strefę obróbki z produktów szlifowania i stanowią zabezpieczenie antykorozyjne. Kolejną istotną funkcją płynów obróbkowych jest oczyszczanie porów ściernicy z wiórów w celu zachowania jej właściwości skrawnych i uniknięcia tzw. zalepiania ściernicy [8].

Zastosowanie płynu chłodzącego podczas szlifowania zapewnia następujące korzyści:

- chłodzenie przedmiotu obrabianego w okolicach strefy szlifowania,
- płuwanie ściernicy, zapobieganie zalepianiu,
- obniżenie temperatury szlifowania,
- zmniejszenie tarcia.

z czym w pobliżu jej powierzchni czołowej wytwarza się warstwa poduszki powietrznej, co powoduje dodatkowe trudności w dostarczaniu chłodziwa do porów ściernicy, a następnie transportowaniu go do strefy obróbki. Dlatego też, tylko ta część chłodziwa może faktycznie chłodzić i smarować strefę szlifowania, która zostanie faktycznie przetransportowana przez ściernicę do strefy jej styku z materiałem obrabianym (rys. 2).

W wielu powszechnie stosowanych szlifierkach pompa wytwarza niewielkie ciśnienie cieczy chłodząco-smarującej o wartościach rzędu 0,5÷0,8 MPa. Jest to tzw. metoda zalewowa, polegająca na kierowaniu strumienia płynu chłodząco-smarującego, pod niewielkim ciśnieniem, ale z dużym wydatkiem,

w pobliżu strefy szlifowania. Taki sposób podawania chłodziwa jest łatwy w realizacji i z tego względu powszechnie stosowany. Jednak z uwagi na opór hydrauliczny i kształt przewodów doprowadzających chłodziwo, wartość efektywna ciśnienia chłodziwa przed wlotem do dyszy jest niejednokrotnie znacznie mniejsza i dodatkowo silnie zależna od parametrów samego chłodziwa.

Zazwyczaj w szlifowaniu metoda zalewowa nie zapewnia równomiernego podawania chłodziwa i pokonania poduszki powietrznej w celu penetracji ściernicy a jego skuteczność zmniejsza się wraz ze zwiększającą się głębokością szlifowania. Kolejnym problemem, występującym głównie z uwagi na przyjęte przez producentów szlifierek rozwiązania konstrukcyjne (nastawialne przewody hydrauliczne) układu doprowadzenia chłodziwa brak jest powtarzalności w pozycjonowaniu strumienia cieczy chłodząco-smarującej. Prowadzi to często do sytuacji, w których przy pozornie takich samych warunkach prowadzenia procesu otrzymuje się duży rozrzut jakości powierzchni obrabianych w okresie trwałości ściernicy i chłodziwa a w szczególnie niekorzystnych warunkach nawet przypalenia szlifierskie [1].

W związku z tym coraz częściej stosuje się w szlifiarkach układy wysokociśnieniowe chłodzenia. Układy takie dostarczają producenci maszyn bądź są one projektowane i wykonywane na zamówienie dla konkretnego procesu produkcji. W przypadku modernizacji istniejącego układu chłodzenia w szlifierce na wysokociśnieniowy konieczne jest przeprowadzenie następujących prac modernizacyjnych [2]:

- zaprojektowanie układu chłodzenia wysokociśnieniowego (projekt zbiornika, mocowania pompy, układu rozprowadzenia płynu chłodząco-smarującego),
- zwiększenie pojemności zbiornika chłodziwa,
- dobór charakterystyk pompy, zaworów i przewodów oraz przeprowadzenie obliczeń,
- konstrukcja dysz wysokociśnieniowych chłodzenia.

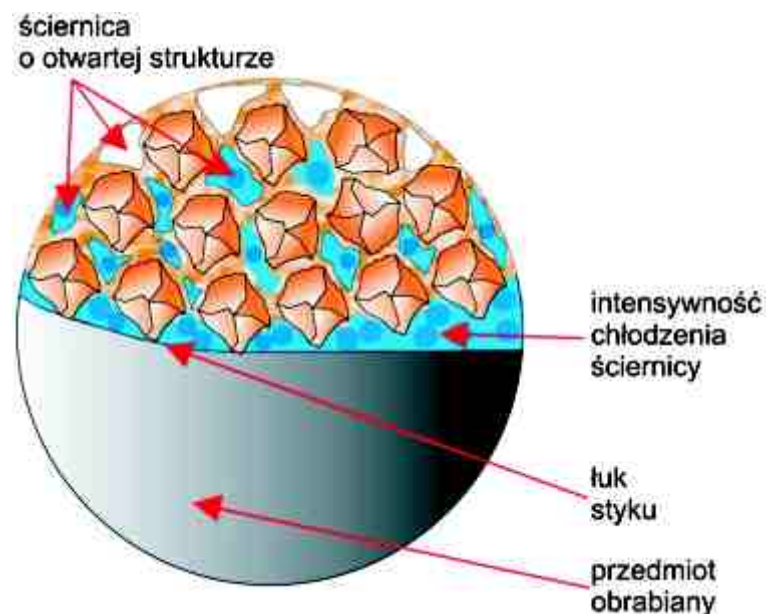
Ważnym aspektem układów wysokociśnieniowych jest dobór wielkości

zbiornika chłodziwa. Zazwyczaj standardowe zbiorniki chłodziwa o pojemności  $200 \div 300 \text{ dcm}^3$  są niewystarczające. Wraz ze wzrostem ciśnienia chłodziwa rośnie również wydatek, a to powoduje konieczność obecności w układzie większej ilości płynu. Ponadto w przypadku układów wysokociśnieniowych należy pamiętać o dokładnej filtracji chłodziwa, szczególnie na wlocie do pompy. Innym ważnym czynnikiem mającym wpływ na wydajność chłodzenia jest temperatura chłodziwa. Chłodziwo przejmuje ok 50% całkowitego ciepła wytworzonego podczas procesu, co powoduje jego

jest ciśnienie lecz prędkość, z jaką chłodziwo wypływa z dyszy. Badania dowodzą, że ciśnienie chłodziwa powinno być takie, aby zapewniać prędkość wypływu chłodziwa z dyszy równą prędkości obwodowej ściernicy, czyli zazwyczaj na poziomie ok.  $20 \div 30 \text{ m/s}$ . Takie warunki zapewniają, że chłodziwo nie odbija się od ściernicy lecz „zabierane” jest przez pory i ziarna ściernic do strefy szlifowania [14].

### 3. Konstrukcje dysz chłodziwa

Na efektywność chłodzenia w procesie szlifowania znaczący wpływ ma kon-



Rys. 2. Transportowanie chłodziwa do strefy szlifowania [13]

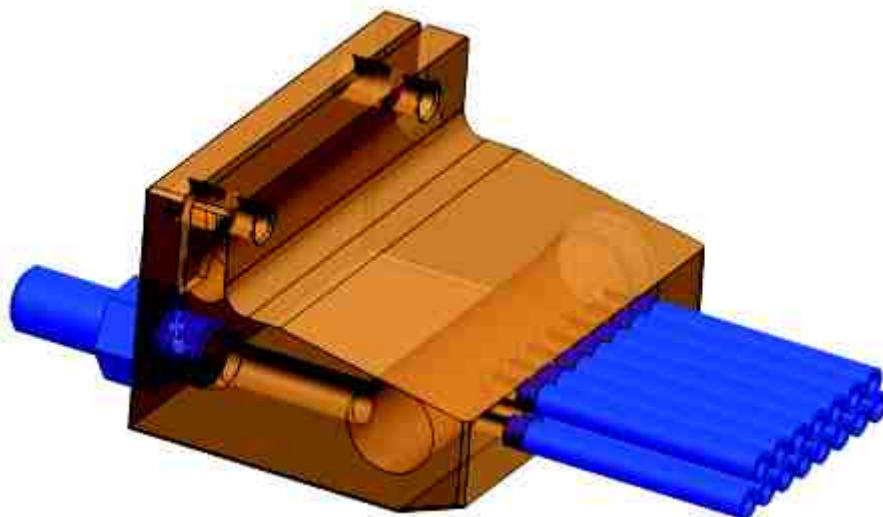
nagrzewanie. Szczególnie w przypadku obróbki seryjnej, gdy nie występują duże przerwy czasowe pomiędzy szlifowaniem kolejnych przedmiotów temperatura chłodziwa może znacznie wzrosnąć. Wraz ze wzrostem temperatury chłodziwa pogarszają się jego zdolności do przejmowania i transportowania ciepła ze strefy szlifowania. Dlatego też w takich przypadkach należy stosować układy (chłodziarki) stabilizujące temperaturę cieczy w zbiorniku.

Jak wynika z prowadzonych badań doświadczalnych maksymalne robocze ciśnienie chłodziwa nie powinno przekraczać 10 MPa. Jednakże najważniejszym parametrem chłodzenia nie

struktura dyszy chłodziwa. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wysokociśnieniowego chłodzenia, gdzie strumień chłodziwa musi być odpowiednio ukształtowany, skoncentrowany i skierowany bezpośrednio do strefy szlifowania [11]. Ponadto konstrukcja dysz musi zapewniać odpowiednie parametry wypływu cieczy z dyszy, stałe na całej szerokości ściernicy [5].

Dysze chłodziwa można podzielić ze względów konstrukcyjnych na płaskie i punktowe. W dyszach płaskich strumień chłodziwa kształtowany jest przez szczelinę, z której wypływa płaski strumień cieczy. W dyszach punktowych chłodziwo wypływa z wielu otworów,





Rys. 3. Konstrukcja dyszy punktowej

zazwyczaj iglic. W praktyce z powodzeniem stosuje się oba rozwiązania. Na rys. 3 przedstawiono przykładową dyszę punktową chłodziwa, przeznaczoną do chłodzenia wysokociśnieniowego.

Konstrukcja dyszy chłodziwa to nie tylko gabaryty zewnętrzne ale przede wszystkim kształt i wymiary wewnętrznych kanałów, od których zależą parametry wypływającego chłodziwa. Najważniejszymi zagadnieniami, jakie muszą być przeanalizowane przy konstrukcji dyszy są [10]:

- rozkład ciśnienia wewnątrz dyszy – wytrzymałość korpusu dyszy,
- prędkość wypływu chłodziwa z dyszy,
- równomierność rozkładu prędkości wypływu chłodziwa z dyszy na całej jej szerokości.

Największy wpływ na te parametry ma wewnętrzna konstrukcja dyszy. W zależności od kształtu i wymiarów wewnętrznych kanałów można zmieniać charakter przepływu cieczy, unikać zawirowań i stabilizować rozkład prędkości wypływu. Do tego celu stosuje się badania symulacyjne z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych (MES) [12]. Za pomocą tego narzędzia można poddać analizie skonstruowaną dyszę i w razie potrzeby skorygować jej konstrukcję. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki symulacji MES dyszy chłodziwa.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

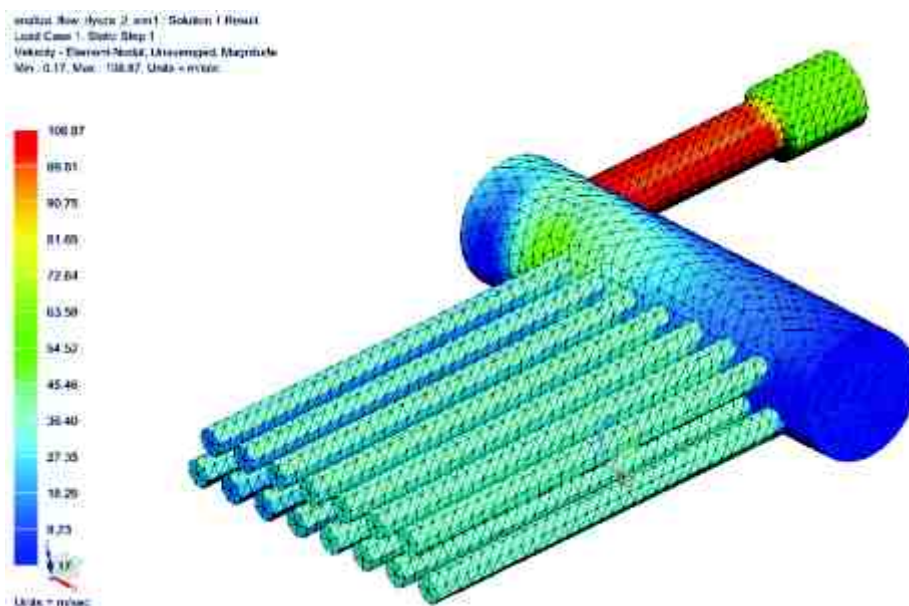
Szlifowanie, jako jedna z ostatnich operacji obróbkowych stosowanych w procesie wytwarzania decyduje zazwyczaj o końcowych parametrach jakościowych produkowanych części. Stąd też wymaga się, aby proces szlifowania przebiegał bezbłędnie, a jakość wszystkich wytwarzanych części była odpowiednia do potrzeb. Kluczowym zagadnieniem mającym decydujący wpływ na jakość szlifowanych przedmiotów jest chłodzenie. Prawidłowe warunki chłodzenia przede wszystkim zapobiegają powstawaniu

termicznych uszkodzeń w warstwie wierzchniej. Z przeprowadzonej analizy stanu wiedzy z zakresu chłodzenia procesu szlifowania wynikają następujące wnioski:

- metoda zalewowa nie zapewnia równomiernego podawania chłodziwa, jego skuteczność zmniejsza się wraz ze zwiększającą się głębokością szlifowania. Tylko niewielka ilość płynu trafia do strefy obróbki, co powoduje, że stopień wykorzystania chłodziwa jest niewielki i rośnie ryzyko uszkodzenia termicznego warstwy wierzchniej;

- problemem, występującym głównie z uwagi na przyjęte przez producentów szlifierek rozwiązania konstrukcyjne (nastawialne przewody hydrauliczne) układu doprowadzenia chłodziwa, jest brak powtarzalności w pozycjonowaniu strumienia chłodziwa oraz stabilności jego parametrów. Prowadzi to często do sytuacji, w których przy pozornie takich samych warunkach prowadzenia procesu otrzymujemy duży rozrzut jakości powierzchni obrobionych w okresie trwałości ściernicy, a w szczególnie niekorzystnych warunkach nawet wystąpienie przypaleń szlifierskich;

- szybkość wypływu chłodziwa z dyszy powinna być skorelowana z prędkością obwodową ściernicy. Takie warunki zapewniają odpowiednie warunki chłodzenia i transportowanie jak naj-



Rys. 4. Symulacja rozkładu prędkości przepływu cieczy

większej ilości chłodziwa do strefy szlifowania;

– konstrukcja dysz chłodziwa powinna być analizowana i optymalizowana w celu uzyskania jednorodnych warunków (prędkości) wypływu cieczy z dyszy. Istotny wpływ wywiera miejsce doprowadzenia cieczy do dyszy i wymiary kanałów wewnętrznych.

## Literatura

1. Babiarz R., Żyłka Ł., Płodzień M.: Badania wpływu parametrów doprowadzenia chłodziwa na proces szlifowania CFG stopu Inconel. *Mechanik* nr 8-9/2014.
2. Babiarz R., Żyłka Ł., Płodzień M.: Koncepcja budowy układu wysokociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania stopów lotniczych. *Mechanik* nr 8-9/2014.
3. Baines-Jones V.A., Morgan M.N., Allanson D.R., Batako A.D.L.: *Grinding fluid delivery system design-Nozzle Optimization*, European Research Council Grant No: GR/S82350/01.
4. Klocke F., König W.: *Fertigungsverfahren 2. Schleifen, Honen, Läppen*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2005.
5. López-Arraiza A., Alberdi R., Santos J., Castillo G.: *High Performance Composite Nozzle for the Improvement of Cooling in Grinding Machine Tools*. 16<sup>th</sup> International Conference on Composite Structures ICCS 16. A. J. M. Ferreira (Editor). FEUP, Porto, 2011.
6. Malkin S., Changsheng G.: *Grinding technology. Theory and Applications of Machining with Abrasives*. Industrial Press, 2008.
7. Morgan M.N. et al.: *Optimization of fluid application in grinding*. *Annals of the CIRP*(2009), *Manuf. Technol.* 57.
8. Oczko K., Porzycki J.: *Szlifowanie*. WNT, Warszawa 1986.
9. Oğuz Çolak: *Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions*. *Journal of Mechanical Engineering* 58(2012)11.
10. Płodzień M., Żyłka Ł.: *Metodyka projektowania wysokociśnieniowych dysz chłodziwa*, *Mechanik* nr 12/2015.
11. Płodzień M., Żyłka Ł., Babiarz R.: *Konstrukcja i obliczenia dysz wysokociśnieniowych stosowanych w szlifowaniu CFG stopów lotniczych*. *Mechanik* nr 8-9/2014.
12. Płodzień M., Żyłka Ł., Babiarz R., Baran B.: *Projekt i analiza MES dysz kształtowych chłodziwa do szlifowania zamka łopatk silnika lotniczego*. *Mechanik* nr 8-9/2015.
13. Winterthur Technology Group: *Handbook Creep-feed and surface grinding*.
14. Żyłka Ł., Babiarz R., Płodzień M., Stasiło R., Górecki Ł.: *Wpływ ciśnienia i kąta podawania strugi chłodziwa na proces szlifowania CFG stopu Inconel 718*. *Mechanik* nr 8-9/2015. ■

reklama

Key to Markets Messe Stuttgart

Spotkają się tutaj najważniejsze podmioty reprezentujące przemysł obrabiarkowy i narzędzi precyzyjnych, jak również czołowi eksperci w dziedzinie obróbki metalu skrawaniem.

[www.amb-expo.de](http://www.amb-expo.de)

**Świat budowy maszyn**

**AMB**

International exhibition for metal working

**13. - 17.09.2016**

**Messe Stuttgart**

Fair Support & Service,  
Polskie Przedstawicielstwo Targów w Stuttgarcie + Hamburgu,  
Krzysztof Karas, Tel.: +48 22 6207198, karas@eurotargi.com