

	Organizatorzy:	XXXVIII NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ Łódź - Uniejów 09-11.09.2015	
	Politechnika Łódzka		
	Wydział Mechaniczny		
• Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn • Katedra Technologii Maszyn			

Badania procesu czyszczenia ściernicy w procesie szlifowania CFG stopu Inconel 718

Studies of grinding wheel cleaning process in CFG grinding of Inconel alloy

ŁUKASZ ŻYŁKA
ROBERT BABIARZ
MARCIN PŁODZIEN
ANNA BAZAN
MATEUSZ GAWEL *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.405

Istotną rolę w procesie szlifowania CFG stopu Inconel odgrywa czyszczenie ściernicy podczas obróbki. Ważnym czynnikiem mającym wpływ na warunki czyszczenia jest konstrukcja dyszy czyszczącej, odpowiednie jej ustawienie względem ściernicy oraz dobór warunków wypływu chłodziwa z dyszy. Przeprowadzono badania doświadczalne szlifowania stopu Inconel 718 dla dwóch dysz czyszczących oraz różnego ich ustawienia względem ściernicy. Przeprowadzono próby szlifowania z różnymi parametrami wypływu chłodziwa z dyszy. Określono wpływ warunków czyszczenia ściernicy na składowe siły szlifowania oraz chropowatość szlifowanej powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie, stop Inconel, czyszczenie ściernicy, ciśnienie chłodziwa

An important role in the CFG grinding process of Inconel alloys perform grinding wheel cleaning during grinding. An important aspect which affects the result of the grinding wheel cleaning process are cleaning nozzle construction, positioning the nozzle relative to grinding wheel and selection of coolant pressure and the coolant flow parameters. Experimental studies of grinding of Inconel 718 alloy were conducted with two different cleaning nozzles and different their positioning relative to grinding wheel. Grinding tests were realized with different parameters of outflow of coolant from the cleaning nozzle. The effect of cleaning conditions on grinding forces and the quality of ground surface was defined.

KEYWORDS: grinding, Inconel alloy, grinding wheel clean-

* dr inż. Łukasz Żyłka (zylka@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Płodzień (plodzien@prz.edu.pl), mgr inż. Anna Bazan (abazan@prz.edu.pl), inż. Mateusz Gawel (mateusz.gawel@wp.pl)

ing, coolant pressure

Jednym z materiałów konstrukcyjnych zaliczanym do materiałów trudnoskrawalnych jest stop Inconel 718. Jest on bardzo często stosowany na konstrukcje podzespołów silników lotniczych. Jego skład chemiczny i właściwości wpływają negatywnie na jego szlifowalność [11, 17]. Z tego powodu szlifowanie stopów Inconel odbywa się zazwyczaj jako szlifowanie głębokie z posuwem pełzającym zwane CFG (Creep Feed Grinding) [6, 13]. Charakteryzuje się ono dużym przekrojem szlifowanej warstwy i wolnym posuwem.

Duże wartości dosuwu szlifowania powodują powstawanie dużej długości styku ściernicy z przedmiotem obrabianym. Powoduje to niekorzystne warunki dla doprowadzenia chłodziwa do strefy szlifowania jak również do ewakuacji wiórów. Z tego powodu bardzo często dochodzi do zalepiania ściernicy. Ogranicza to zdolność skrawaną narzędzia ściernego, co z kolei prowadzi do zwiększenia siły i temperatury szlifowania [10, 14]. Dlatego też istnieje zwiększone ryzyko termicznego uszkodzenia szlifowanej powierzchni [6, 11]. Zalepianie ściernicy może być zredukowane poprzez optymalizację parametrów procesu szlifowania, charakterystyki ściernicy oraz warunków doprowadzenia chłodziwa [2, 7, 15].

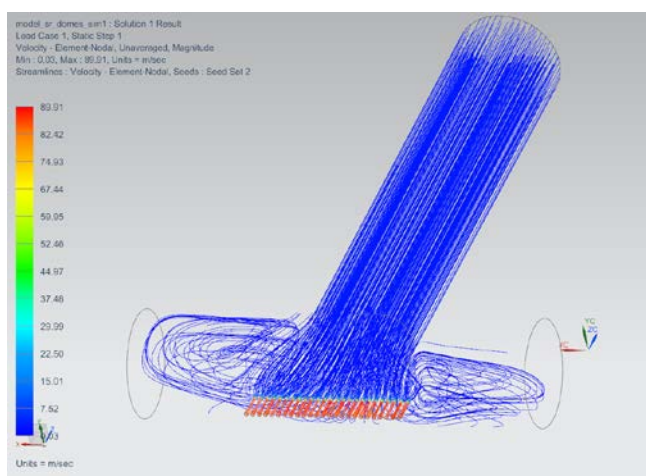
Wysokociśnieniowe chłodzenie zwiększa efektywność chłodzenia i smarowania ale może być również wykorzystane do aktywnego procesu czyszczenia ściernicy podczas szlifowania. W tym celu niezbędny jest dodatkowy układ doprowadzenia chłodziwa do dyszy czyszczącej, której konstrukcja musi być zoptymalizowana pod kątem utrzymania stałych warunków wypływu chłodziwa z dyszy na całej szerokości ściernicy (szlifowania). Istnieją przemysłowe rozwiązania dysz i układów czyszczenia ściernic, prowadzone są badania doświadczalne procesu czyszczenia [5, 9]. Jednakże zagadnienie to nie zostało do końca prze-

badane, zwłaszcza w procesie szlifowania CFG stopu Inconel 718.

Wielopunktowa dysza czyszcząca ściernicę

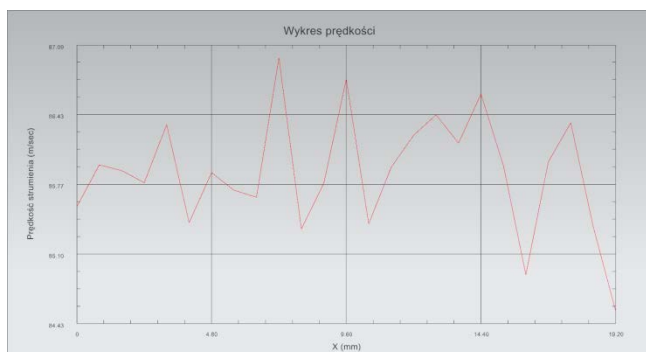
Dysza odgrywa kluczową rolę w procesie chłodzenia [4, 16]. Konstrukcja dyszy musi być wytrzymała na siły pochodzące od wysokiego ciśnienia przepływającego wewnątrz chłodziwa oraz musi zapewniać żądane warunki wypływu cieczy z dyszy. Najważniejsze z nich to wydatek chłodziwa oraz prędkość jego wypływu z dyszy. Prędkość ta odnosi się do prędkości szlifowania [1, 12].

W celu realizacji badań doświadczalnych procesu czyszczenia ściernicy skonstruowano dyszę czyszczącą (rys. 1) i przeanalizowano konstrukcję kanałów wewnętrznych ze względu na przebieg linii prądu oraz stałą prędkość wypływu cieczy z dyszy na całej jej szerokości. Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono na poniższych rysunkach. Na rys. 1. przedstawiono przebieg linii prądu w kanałach wewnętrznych dyszy.



Rys. 1. Badania symulacyjne MES dyszy czyszczącej (linie prądu)

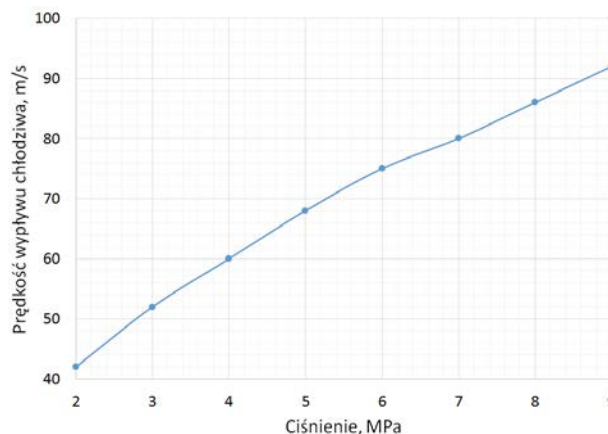
Zaobserwowano nieznaczne zawirowania przepływu po bokach zbiornika wyrównawczego. Jednakże nie wpływają one negatywnie na rozkład prędkości wypływu chłodziwa z dyszy (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład prędkości wypływu chłodziwa na szerokości dyszy czyszczącej

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że przyjęta konstrukcja dyszy jest prawidłowa. Wahania prędkości wypływu chłodziwa na szerokości dyszy czyszczącej nie przekraczają 5%. Kolejnym krokiem było wyznaczenie charakterystyki wielopunktowej dyszy czyszczącej, co zrealizowano przeprowadzając symulacje MES przepływu chłodziwa w dyszy.

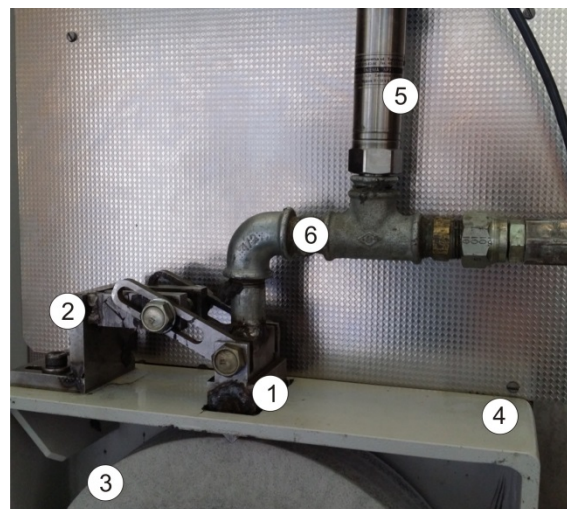
Na rys. 3. Przedstawiono charakterystykę zastosowanej dyszy czyszczącej.



Rys. 3. Charakterystyka wielopunktowej dyszy czyszczącej

■ Proces czyszczenia dyszą wielopunktową

Zmodernizowano istniejące stanowisko badawcze [3] doposażając je w układ czyszczenia ściernicy w postaci wielopunktowej dyszy chłodziwa, którą zamontowano nad ściernicą w kierunku normalnym do powierzchni ściernicy. W tym celu wycięto otwór w obudowie ściernicy i wykonano przyrząd mocujący dyszę do obudowy. Przed każdą próbą szlifowania dosuwano dyszę do powierzchni ściernicy. Widok dyszy czyszczącej zamontowanej w przestrzeni roboczej szlifierki przedstawia rys. 4.



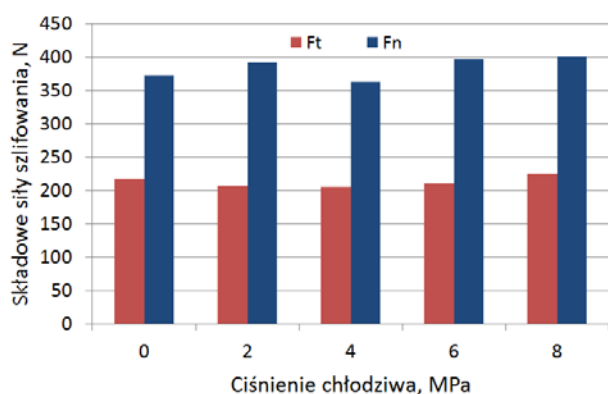
Rys. 4. Widok wielopunktowej dyszy czyszczącej w przestrzeni roboczej szlifierki: 1) dysza czyszcząca, 2) uchwyt dyszy, 3) ściernica, 4) obudowa ściernicy, 5) czujnik ciśnienia

Przeprowadzono próby szlifowania współbieżnego CFG próbek ze stopu Inconel 718 o wymiarach 15x50x50 mm ze stałymi parametrami szlifowania przedstawionymi w tabeli 1. W każdej próbie szlifowania dokonywano pomiaru składowych sił szlifowania F_n i F_t za pomocą piezoelektrycznego siłomierza 9121 firmy Kistler. Po szlifowaniu analizowano jakość powierzchni wykorzystując mikroskop optyczny 3D InfiniteFocus firmy Alicona. Pomiar chropowatości przeprowadzany był w dwóch punktach, na początku i na końcu szlifowania. Każda próba szlifowania poprzedzana była obciążaniem ściernicy w 5 przejściach z dosuwem obciążania $a_d = 0,02$ mm i prędkością posuwu obciążania $v_d = 200$ mm/min.

Tabela 1. Warunki badań

Ściernica	37A80H14 (korund + monokorund)		
Chłodziwo	emulsja syntetyczna AquaTec 7000		
Materiał obrabiany	Inconel 718		
Prędkość szlifowania	v_s	25	m/s
Dosuw szlifowania	a_e	1	mm
Prędkość posuwu	v_w	50	mm/min
Szerokość szlifowania	b	15	mm
Długość szlifowania	l	50	mm

Badania przeprowadzono zmieniając ciśnienie chłodziwa na wlocie do dyszy czyszczącej w zakresie $2 \div 8$ MPa oraz z wyłączonym układem czyszczenia. Na rys. 5 przedstawiono zestawienie maksymalnych wartości składowych siły szlifowania w trakcie jednego przejścia ściernicy w zależności od ciśnienia chłodziwa w dyszy czyszczącej.



Rys. 5. Maksymalne wartości składowych siły szlifowania w funkcji ciśnienia czyszczenia

Z przeprowadzonych badań wynika, że przyjęta koncepcja układu czyszczenia ściernicy nie sprawdziła się. Odnotowano wręcz niekorzystny wpływ procesu czyszczenia na szlifowanie CFG stopu Inconel. Ponadto zaobserwowano, że dla ciśnienia 8 MPa doszło do silnego zanieczyszczenia powierzchni walcowej ale również powierzchni czołowej ściernicy (rys. 6).



Rys. 6. Widok zanieczyszczonej ściernicy

Niekorzystny wpływ procesu czyszczenia ściernicy podczas szlifowania CFG można wytłumaczyć niewłaściwym umiejscowieniem dyszy czyszczącej. Dysza wielopunktowa została umieszczona w obudowie ściernicy co powodowało, że wyplukiwane fragmenty wiórów nie mogły zostać swobodnie odprowadzone od ściernicy lecz wraz z chłodziwem odbijały się od obudowy ściernicy i ponownie uderzały w powierzchnie walcową i czołową ściernicy. Ponadto zaobserwowano, że duża ilość chłodziwa pochodząca od procesu czyszczenia znajdująca się w obudowie ściernicy zakłócała proces chłodzenia rozpraszając strumień chłodziwa wypływający z dyszy chłodziwej.

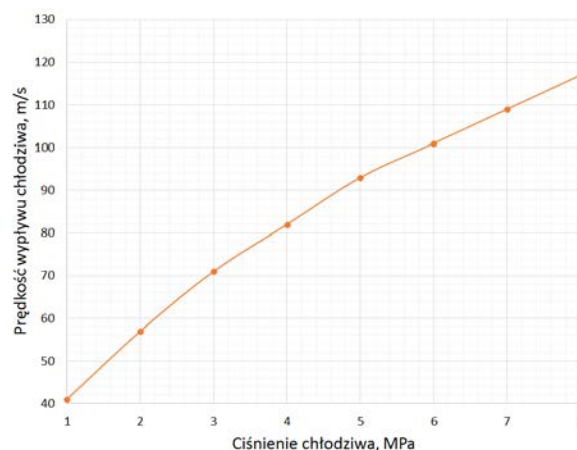
Jednopunktowa dysza czyszcząca ściernicę

Biorąc pod uwagę wyniki badań otrzymane dla czyszczącej dyszy wielopunktowej zmieniono koncepcję budowy układu czyszczenia ściernicy oraz dyszę czyszcząca. Zastosowano jednopunktową dyszę czyszcząca o przekroju eliptycznym o półosiach $2 \times 0,6$ mm (rys. 7). Dysza ta daje płaski strumień chłodziwa.



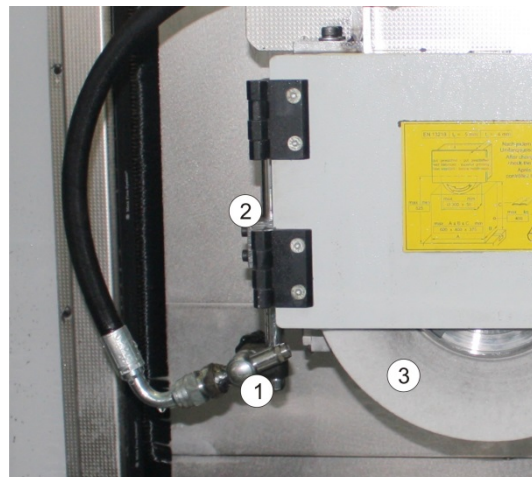
Rys. 7. Widok jednopunktowej dyszy czyszczącej

Określono charakterystykę dyszy jednopunktowej za pomocą symulacji MES przeprowadzonych w systemie NX. Charakterystykę zastosowanej dyszy czyszczącej przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Charakterystyka jednopunktowej dyszy czyszczącej

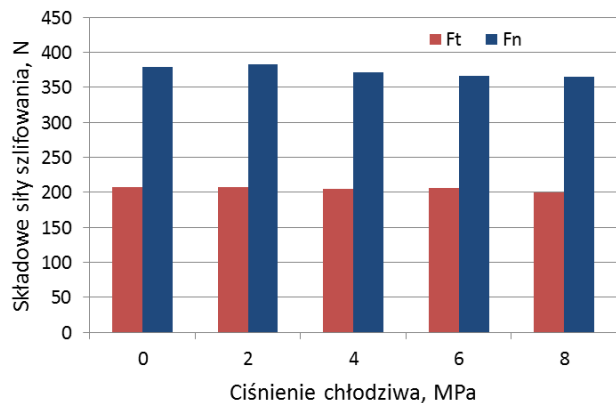
Dyszę zamontowano w przestrzeni roboczej szlifierki poza obudową ściernicy, aby wyplukiwane zanieczyszczenia były efektywnie odprowadzane od ściernicy (rys. 9).



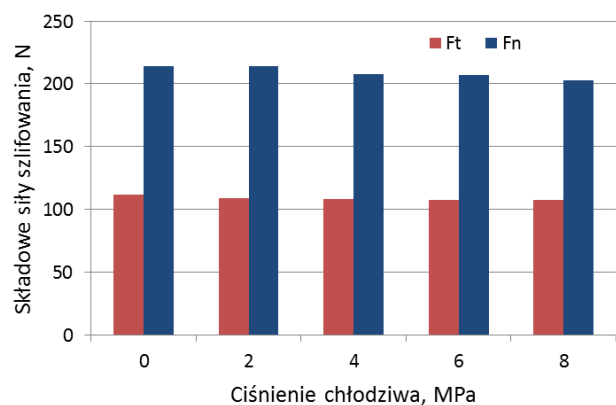
Rys. 9. Jednopunktowa dysza czyszcząca w przestrzeni roboczej szlifierki: 1) dysza czyszcząca, 2) uchwyt dyszy, 3) ściernica

■ Proces czyszczenia dyszą jednopunktową

Przeprowadzono badania szlifowania powtarzając eksperyment z różnymi nastawami ciśnienia chłodziwa analogicznie jak dla wielopunktowej dyszy czyszczącej. Na rys. 10 przedstawiono zestawienie maksymalnych wartości składowych siły szlifowania w trakcie jednego przejścia ściernicy, natomiast na rys. 11 zestawiono wartości średnie.



Rys. 10. Maksymalne wartości składowych siły szlifowania w funkcji ciśnienia czyszczenia

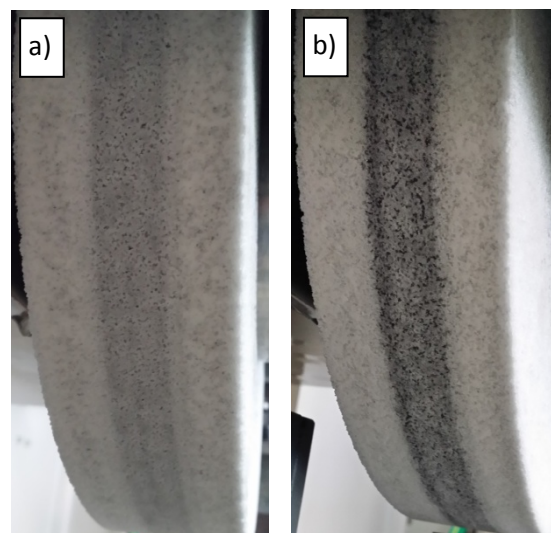


Rys. 11. Średnie wartości składowych siły szlifowania w funkcji ciśnienia czyszczenia

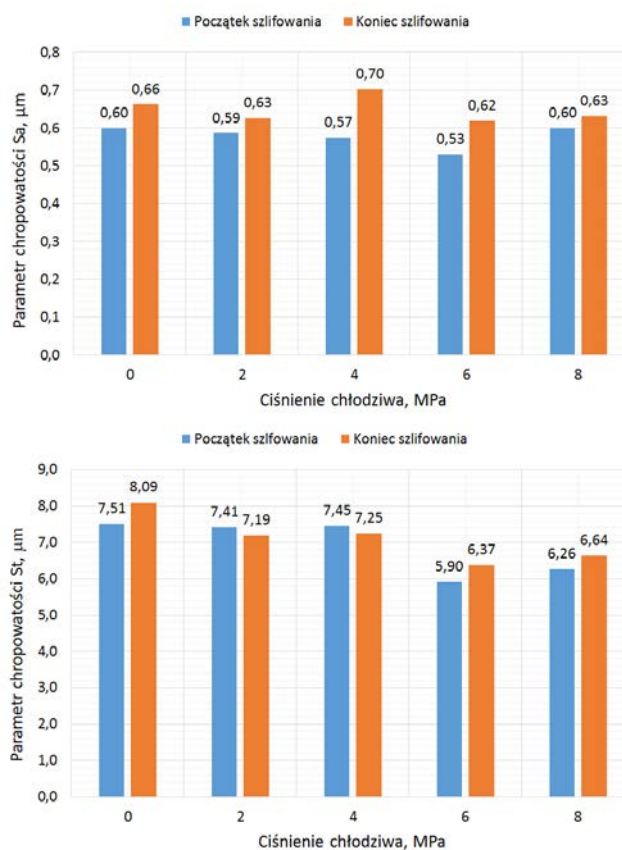
Zaobserwowano, że w przypadku zastosowania dyszy czyszczącej jednopunktowej wraz ze wzrostem ciśnienia chłodziwa czyli m.in. prędkości wypływu płynu z dyszy czyszczącej występuje nieznaczny spadek wartości składowych siły szlifowania. Dotyczy to zarówno wartości maksymalnych jak i średnich dla całego przejścia ściernicy. Obniżenie siły szlifowania było na poziomie $5 \div 6\%$. Wraz ze wzrostem prędkości wypływu chłodziwa z dyszy zwiększa się energia strumienia chłodziwa, co powoduje zwiększenie skuteczności procesu czyszczenia. Umieszczenie dyszy czyszczącej poza obudową ściernicy (rys. 9) okazało się trafne i skuteczne.

Niezależnie od wartości ciśnienia chłodziwa proces czyszczenia wpływa korzystnie na stan CPS. Na rys. 12 przedstawiono widok ściernicy po szlifowaniu z włączonym procesem czyszczenia i bez niego. Widoczne są różnice w stopniu zanieczyszczenia ściernicy, co ma przełożenie na obniżenie siły szlifowania.

Następnie sprawdzono, czy proces czyszczenia ściernicy wpływa na chropowatość powierzchni po szlifowaniu. Na rys. 13 przedstawiono zmianę parametrów S_a i S_t w funkcji ciśnienia chłodziwa w dyszy czyszczącej.



Rys. 12. Widok CPS po szlifowaniu: a) z włączonym procesem czyszczenia ściernicy, b) bez procesu czyszczenia ściernicy

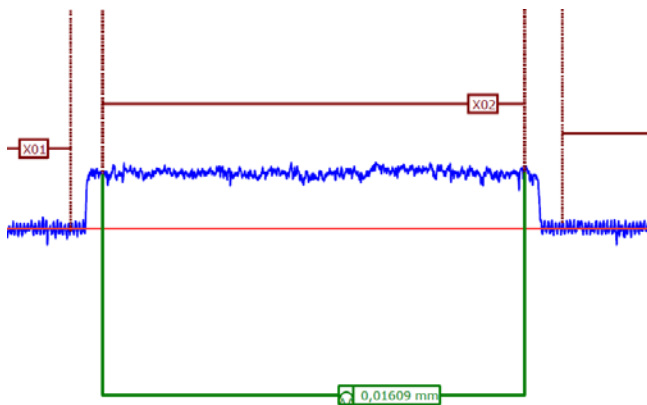


Rys. 13. Wartości parametrów S_a i S_t w funkcji ciśnienia chłodziwa w dyszy czyszczącej

Pomimo tego, że proces czyszczenia wpływa nieznacznie na wartość siły szlifowania, to nie ma wpływu na chropowatość szlifowanej powierzchni. Można jedynie zauważyć, że wraz ze wzrostem ciśnienia czyszczenia obniża się nieznacznie wartość parametru S_t .

Analizie poddano również zużycie promieniowe ściernicy po każdej próbie szlifowania. Odzworowywano profil ściernicy na metalowych blaszkach, które następnie były mierzone na profilometrze. Przykładowy wynik pomiaru przedstawiono na rys. 14. Nie zaobserwowano jednak znacznej różnicy w wartościach zużycia promieniowego ściernicy dla różnych wartości ciśnienia chłodziwa w dyszy

czyszczącej. Zużycie promieniowe po jednym przejściu ściernicy mieściło się w zakresie $15 \div 16 \mu\text{m}$, niezależnie od ciśnienia czyszczenia.



Rys. 14. Pomiar zużycia promieniowego ściernicy

Podsumowanie

Szlifowanie CFG stopu Inconel jest procesem wysokoenergetycznym. Z uwagi na dużą wartość dosuwu szlifowania powstają duże wartości siły szlifowania. Składowa normalna siły szlifowania przekracza nawet wartości 400 N. Z uwagi na ten fakt bardzo ważnym zagadnieniem jest doprowadzenie chłodziwa do strefy szlifowania. Poprawę przebiegu procesu szlifowania można uzyskać poprzez dołączenie aktywnego procesu czyszczenia ściernicy.

Przeprowadzono badania doświadczalne procesu czyszczenia ściernicy dla dwóch wariantów konstrukcyjnych dyszy oraz dla dwóch różnych miejsc jej zamocowania. Umieszczenie wielopunktowej dyszy czyszczącej w obudowie ściernicy spowodowało, że wyplukiwane z CPS fragmenty wiórów ponownie ją zalepiały. Na skutek tego wraz z wzrostem ciśnienia czyszczenia rosły również składowe siły szlifowania.

Drugi zastosowany wariant konstrukcyjny okazał się prawidłowy. Jednopunktowa dysza chłodziwa umieszczona została poza obudową ściernicy. Dzięki temu produkty czyszczenia mogły zostać swobodnie odprowadzone od ściernicy. Ponadto zastosowana dysza jednopunktowa pozwalała na uzyskanie większych prędkości wypływu chłodziwa niż dysza wielopunktowa. Miało to również przełożenie na uzyskane wartości składowych siły szlifowania. Dla dyszy jednopunktowej siła szlifowania malała nieznacznie wraz z wzrostem ciśnienia czyszczenia. Pomiar chropowatości powierzchni oraz zużycia promieniowego ściernicy nie wykazał wpływu ciśnienia czyszczenia na mierzone parametry.

Z uwagi na to, że wraz ze wzrostem ciśnienia czyszczenia zmniejszały się wartości składowych siły szlifowania zasadnym jest rozszerzenie badań doświadczalnych o inne dysze czyszczące, których konstrukcja umożliwi uzyskanie wyższych prędkości wypływu chłodziwa.

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

LITERATURA

1. Adibi H., Rezaei S. M., Sarhan Ahmed A. D., Investigation on using high-pressure fluid jet in grinding process for less wheel loaded areas, *Int J Adv Manuf Technol* 70:2233–2240, 2014
2. Babiarez R., Żyłka Ł., Płodzień M.: Badania wpływu parametrów doprowadzenia chłodziwa na proces szlifowania CFG stopu Inconel. *Mechanik* nr 9/2014, CD, s. 1-3
3. Babiarez R., Żyłka Ł., Koncepcja budowy układu wysokociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania stopów lotniczych. *Mechanik* nr 9/2014, CD, s. 4-7
4. Baines-Jones V.A., Morgan M.N., Batako A.D., Brown E., Modelling and simulation of grinding fluid nozzles, *The 6th International Conference on Manufacturing Research (ICMR08)* Brunel University, UK, 9-11th September 2008
5. Cameron A., Bauer R., Warkentin A.: An investigation of the effects of wheel-cleaning parameters in creep-feed grinding. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50 (2010) 126-130
6. Grigoriev S. N., Starkov V. K., Gorin N. A., Krajni P., Kopač J., Creep-Feed Grinding: An Overview of Kinematics, Parameters and Effects on Process Efficiency, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 60(2014)4, 213-220
7. Gviniashvili V., Webster J., Rowe B., Fluid Flow and Pressure in the Grinding Wheel Workpiece Interface, *AMTREL School of Engineering, Liverpool John Moores University*,
8. Gviniashvili V.K., Woolley N.H., Rowe W.B., Useful coolant flowrate in grinding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) 629–636, Liverpool
9. Heinzel C., Antsupov G.: Prevention of wheel clogging in creep feed grinding by efficient tool cleaning. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 61 (2012) 323-326
10. Kapłonek W., Nadolny K.: Assessment of the grinding wheel active surface condition using SEM and image analysis techniques. *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 35(2013)3, pp. 207-215, DOI: 10.1007/s40430-013-0018-x.
11. Malkin S., Changsheng G.: *Grinding technology. Theory and Applications of Machining with Abrasives*. Industrial Press, 2008
12. Morgan M.N., Jackson A.R., Wu H., Baines-Jones V., Batako A., Rowe W.B., Optimisation of fluid application in grinding, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 (2008) 363–366, Liverpool
13. Nadolny K.: A review on single-pass grinding processes. *Journal of Central South University of Technology*, 20(2013)6, pp. 1502-1509, DOI: 10.1007/s11771-013-1641-5.
14. Nadolny K., Plichta J., Sutowski P.: Regeneration of the grinding wheel active surface using high-pressure hydro-jet. *Journal of Central South University of Technology*, 21(2014)8, pp.3107-3118.
15. Oğuz Çolak: Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions. *Journal of Mechanical Engineering* 58(2012)11, 683-690.
16. Płodzień M., Żyłka Ł., Babiarez R.: Konstrukcja i obliczenia dysz wysokociśnieniowych stosowanych w szlifowaniu CFG stopów lotniczych. *Mechanik* nr 9/2014, CD, s. 280-283
17. Sikora M., Lajmert P., Ostrowski D., Kruszyński B.: Szlifowanie stopów niklu na szlifierce kłowej do wałków. *Mechanik* nr9/2014, CD, s. 289-292