

Dr inż. Paweł KAROLCZAK,
dr inż. Maciej KOWALSKI (Politechnika Wrocławska):

OCENA WPLYWU OSTRZY O GEOMETRII WYGŁADZAJĄCEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI STALI X17CrNi16-2 PO TOCZENIU

Streszczenie

Przedstawiono ocenę możliwości zastosowania ostrzy typu wiper do obróbki skrawaniem martenzytycznej stali chromowej. Badaniom poddano stal X17CrNi16-2. Obrobiono ją ostrzami o geometrii tradycyjnej oraz wygładzającej. Na podstawie wyników badań określono stopień skuteczności działania ostrzy wiper w toczeniu wzdłużnym badanej stali, a także wyznaczono zakresy parametrów skrawania, w których zastosowanie ostrzy wygładzających może być uzasadnione.

Słowa kluczowe: *chropowatość powierzchni, geometria ostrza, stal nierdzewna*

THE INFLUENCE EVALUATION OF BLADES WITH SMOOTHING GEOMETRY ON SURFACE ROUGHNESS X17CrNi16-2 STEEL AFTER TURNING

Abstract

The paper presents the applicability evaluation Wiper blades for machining martensitic chrome steel. X17CrNi16-2 steel were tested. These steel was machined with traditional and Wiper inserts. Based on results the degree of effectiveness of the Wiper blades in longitudinal turning of investigated steel was defined. Moreover the ranges of cutting parameters where the application of smoothing blades can be justified were determined

Keywords: *surface roughness, geometry of tool, stainless steel*

OCENA WPŁYWU OSTRZY O GEOMETRII WYGŁADZAJĄCEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI STALI X17CrNi16-2 PO TOCZENIU

Paweł KAROLCZAK¹, Maciej KOWALSKI¹

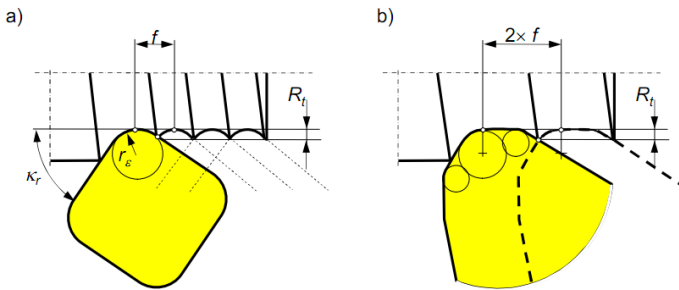
1. WSTĘP

Dążenie do doskonalenia konstrukcji i technologii w budowie maszyn jest procesem ciągłym. Konstrukcje można poprawiać i usprawniać poprzez stosowanie materiałów o coraz lepszych właściwościach. W przemyśle spożywczym, czy w produkcji energii jądrowej niedopuszczalne jest, aby elementy urządzeń zużywane były przez korozję. Stąd powstały stale odporne na działanie korozji, zawierające, w porównaniu ze stalami stopowymi, duże ilości dodatku chromu i niklu. Typowe obszary zastosowań stali z tej grupy to: budownictwo, architektura, ochrona środowiska, przemysł chemiczny, przemysł farmaceutyczny, celulozowy i papierniczy, przemysł samochodowy [8].

Optymalizacja technologii dotyczy w dużej mierze obniżenia kosztów, co związane jest z licznymi kryzysami ekonomicznymi dotyczącymi przemysł w XXI wieku. Obniżenie kosztów, przy jednoczesnym utrzymaniu lub zwiększeniu wydajności produkcji, możliwe jest na kilka sposobów. Pierwszym jest możliwość zwiększenia prędkości skrawania. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu nowych materiałów narzędziowych odporniejszych na zużycie nawet podczas obróbki z dużą prędkością skrawania. Drugim jest możliwość zwiększenia posuwu bez pogorszenia jakości powstających wyrobów. Możliwe jest to dzięki wprowadzeniu do procesów technologicznych ostrzy o geometrii typu Wiper. Ostrza tego typu posiadają zmodyfikowane naroże. Modyfikacja naroży Wiper polega na wprowadzeniu pomocniczych krawędzi wygładzających o bardzo dużym promieniu zaokrąglenia R_{b0} oraz, w niektórych przypadkach, pomocniczych krawędzi zaokrąglenia naroża r_{e1} i r_{e2} . Dzięki zmodyfi-

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

kowanej geometrii płytki te mogą pracować z podwyższonymi posuwami przy zachowaniu małej chropowatości obrabianej powierzchni (rys. 1)



Rys. 1. Schemat powstawania chropowatości teoretycznej podczas skrawania ostrzami o narożu: a) tradycyjnym b) typu Wiper [1]

Zarówno w Polsce, jak i na świecie prowadzone są badania nad skutecznością działania ostrzy typu Wiper. Badania te są konieczne, ponieważ w zależności od materiału obrabianego, parametrów obróbki, ale też rodzaju łamacza wióra i kształtu płytek skrawających efektywność zastosowania tego typu ostrzy zmienia się. W pracach [1,2,4,5,7,8,9] stwierdzono, że dla posuwów większych od $f=0,14$ mm/obr skuteczność zastosowania ostrzy typu Wiper może znacznie rosnać. W pracach [7,8,9] stwierdzono, że w obróbce stali nierdzewnych skuteczność ostrzy typu Wiper może prowadzić nawet do 7-krotnego zmniejszenia chropowatości. Jednocześnie zauważono, że przy bardzo małych posuwach (poniżej $f=0,11$ mm/obr) chropowatość po toczeniu zmodyfikowanymi ostrzami może być nieznacznie większa niż w przypadku zastosowania ostrzy tradycyjnych. Jednocześnie należy pamiętać, że wadą stosowania ostrzy wygładzających jest wzrost sił skrawania i wymaganej mocy obrabiarki w stosunku do obróbki ostrzami tradycyjnymi [6].

2. METODYKA BADAŃ

Celem badań było ocena możliwości zmniejszenia wartości wybranych parametrów chropowatości, w wyniku zastosowania ostrzy o geometrii wygładzającej, po toczeniu martenzytycznej stali wysokochromowej.

Badaniom poddano stal odporną na korozję o oznaczeniu X17CrNi16-2. Stal ta znajduje szerokie zastosowanie przede wszystkim w przemyśle spożywczym, a także chemicznym, np. przy produkcji mydła lub kwasu. W związku ze swoimi mechanicznymi właściwościami jest ona używana do wytwarzania wałów, kół zębatych, poprzecznic oraz innych, odpowiedzialnych elementów budowy maszyn. Charakteryzuje się średnią skrawalnością i jest materiałem trudnospawalnym. W tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny badanej stali, natomiast w tabeli 2 pokazano jej właściwości fizyczne i mechaniczne.

Tabela 1. Skład chemiczny badanej stali [3]

SKŁAD CHEMICZNY [%] stali X17CrNi16-2					
C	Cr	Ni	Mn	Si	P
< 0,12-0,22	15-17	1,5-2,5	<1,5	<1,0	<=0,04

Tabela 2. Właściwości fizyczne i mechaniczne badanej stali [3]

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE stali X17CrNi16-2			
E [GPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_5 [%]
215	800-950	600	12

Próby toczenia przeprowadzono na tokarce sterowanej numerycznie TUR 560MN (rys. 2). Do skrawania zastosowano 4 różne płytki skrawające:

- CCMT 09T304 – MF – 1025 (płytką rombowa, tradycyjna),
- CCMT 09T304 – WF – 1025 (płytką rombowa o geometrii Wiper),
- TCMT 16T304 – MF – 1025 (płytką trójkątna, tradycyjna),
- TCMX 09T304 – WF – 1025 (płytką trójkątna o geometrii Wiper).

Płytki te wykonane były z węgla spiekanego powlekanego powłoką TiAlN-TiN metodą PVD. Mocna i odporna na ścieranie powłoka, w połączeniu z bardzo drobnoziarnistym podłożem zapewniają dobrą odporność na uderzenia wiórów, a także odpowiednią ostrość krawędzi skrawającej. Jest to materiał szczególnie polecany do obróbki stali nierdzewnych, gdy wymagana jest bardzo niska chropowatość powierzchni [10].



Rys. 2. Tokarka numeryczna TUR 560MN

Płytki zamocowano odpowiednio w oprawce SCLCR 2020K09 o kącie przystawienia $\kappa_r = 95^\circ$ oraz w oprawce STGCR 2020K16 o kącie przystawienia $\kappa_r = 91^\circ$. Próby toczenia przeprowadzono w szerokim zakresie parametrów skrawania charakterystycznych dla obróbki wykańczającej, dobranych tak, aby spełniały wymagania producenta zarówno dotyczących płytek tradycyjnych, jak i Wiper a także, aby można było porównać efektywność zastosowania ostrzy wygładzających wcześniejszymi badaniami przeprowadzonymi przez autorów. Zastosowano stałą głębokość skrawania $a_p = 0,5$ mm, trzy prędkości skrawania $v_c = 135; 180; 220$ m/min oraz pięć posuwów $f = 0,07; 0,11; 0,15; 0,2; 0,3$ mm/obr.

Pomiary chropowatości powierzchni wykonano na profilografometrze Form Talysurf 120L firmy Taylor Hobson Limited (rys. 3).



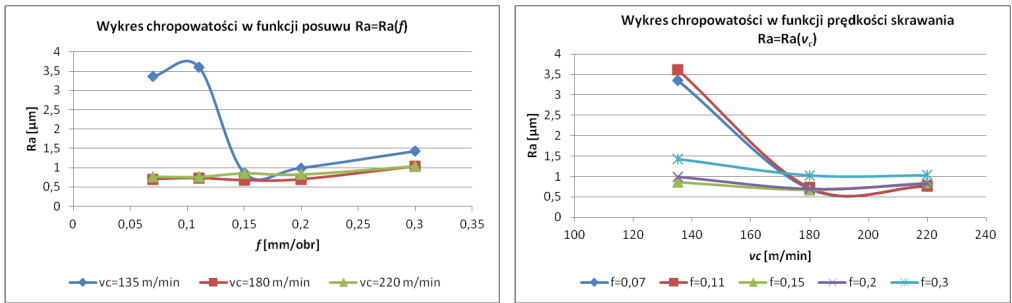
Rys. 3. Stanowisko do pomiaru chropowatości – profilografometr Form Talysurf 120L

3. WYNIKI BADAŃ

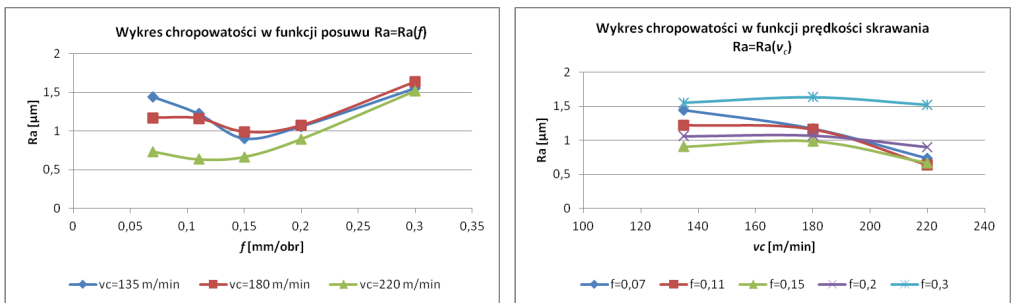
Pomiar chropowatości 2D przeprowadzono na odcinku pomiarowym o długości 15 mm, z krokiem próbkowania $0,25 \mu\text{m}$. Tak zmierzone powierzchnie filtrowano, w celu oddzielenia chropowatości od falistości i błędów kształtu filtrem Gaussa z wielkością „cut-off” 2,5 mm. Każdą z powierzchni mierzono w 3 miejscach, obracając próbkę o 120° .

Do analizy chropowatości badanych powierzchni wytypowano parametr R_a , który razem z parametrem R_z jest często stosowany do opisu chropowatości powierzchni w warunkach przemysłowych i za pomocą którego łatwo można zobrazować efektywność zastosowania ostrzy Wiper.

Na rysunku 4 pokazano wpływ prędkości skrawania i posuwu na wartości wybranego parametru chropowatości powierzchni po toczeniu badanej stali za pomocą noża z płytką CCMT 09T304-WF, natomiast na rysunku 5 przedstawiono wpływ parametrów skrawania na chropowatość R_a po toczeniu badanego materiału płytką TCMX 16T304-WF.



Rys. 4. Wartość parametru chropowości Ra w funkcji posuwu i prędkości skrawania po toczeniu płytką CCMT 09T304-WF- 1025

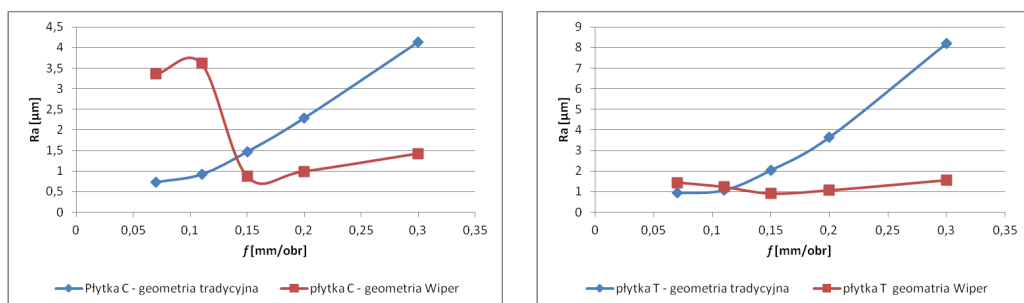


Rys. 5. Wartość parametru chropowości Ra w funkcji posuwu i prędkości skrawania po toczeniu płytką TCMX 16T304-WF - 1025

Analizując wyniki otrzymane podczas toczenia płytką rombowa można zauważyć, że wpływ posuwu przy prędkościach 180 i 220 m/min jest niewielki. Nawet przy zastosowaniu największych zalecanych dla tych płytek posuwów – parametr Ra nie rośnie i możliwe jest uzyskanie na obrobionej powierzchni chropowości o wartości tego parametru $Ra = 1 \mu\text{m}$. Odmiennie wyniki otrzymano podczas toczenia z prędkością $v_c = 135$ m/min. Dla tej prędkości i najmniejszych zastosowanych posuwów chropowość jest znacznie większa (Ra nawet powyżej $3,5 \mu\text{m}$). Zaobserwowane zakłócenia spowodowane mogą być charakterem ostrzy typu Wiper, które mają więcej niż jeden promień naroża. W związku z tym można stwierdzić, że kształtowanie powierzchni tymi ostrzami nie odbywa się według zależności kinematyczno-geometrycznej. Warto zauważyć, że zakłócenia te zaobserwowano także podczas obróbki innych stali nierdzewnych tymi płytkami [7,8,9]. Bardzo ciekawym wnioskiem jest zauważony wpływ struktury stali nierdzewnej na zakłócenia w kształtowaniu struktury geometrycznej powierzchni podczas toczenia ostrzami Wiper z małymi posuwami. W przypadku stali austenitycznych wysokie wartości parametru Ra zaobserwowano przy wszystkich zastosowanych prędkościach skrawania (135; 180;

220 m/min) [7,9]. Natomiast w przypadku stali martenzytycznych tylko przy prędkości 135 m/min – opisywane badania oraz [8]. Wpływ prędkości skrawania na wartość parametru Ra w badanym zakresie jest niewielki, tylko dla posuwów $f=0,07$ i $0,11$ mm/obr zaobserwowano obniżenie chropowatości wraz ze wzrostem prędkości skrawania (jest to efekt opisanych już zakłóceń). Obrabiając martenzytyczną stal wysokochromową ostrzami trójkątnymi o geometrii wygładzającej zaobserwowano, że wartość parametru Ra nieznacznie rośnie dla posuwu większego niż $f=0,15$ mm/obr. Dla posuwów mniejszych można zauważyć pewne zakłócenia w kształtowaniu powierzchni i zwiększenie wartości parametru Ra . Jest to jednak zjawisko zdecydowanie mniej intensywne i widoczne niż w przypadku obróbki ostrzami rombowymi. Wpływu prędkości skrawania na chropowatość nie odnotowano.

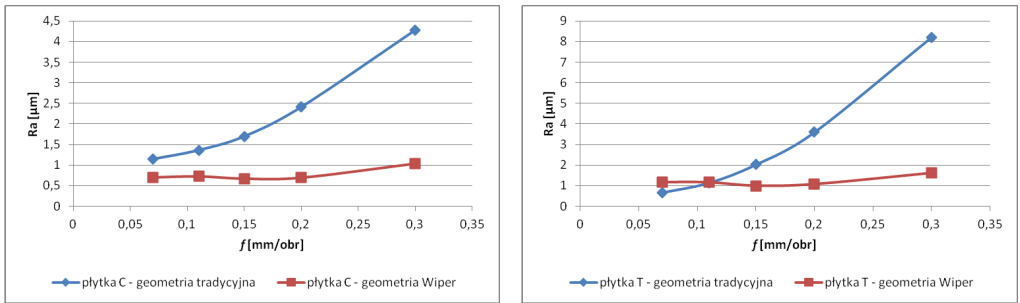
Na rysunkach 6–8 porównano przebiegi zmian parametru chropowatości Ra w funkcji posuwu dla płytek o geometrii tradycyjnej i Wiper oraz pokazano wpływ ostrzy wygładzających na jakość powierzchni po toczeniu badanej stali.



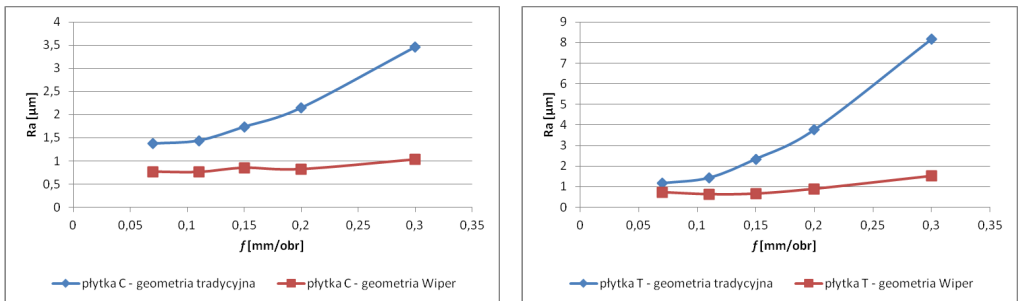
Rys. 6. Porównanie wartości parametru chropowatości Ra w funkcji posuwu, otrzymanego po toczeniu badanej stali płytkami o geometrii tradycyjnej i wygładzającej, $v_c = 135$ m/min

Analiza otrzymanych wyników pozwala stwierdzić, że podczas obróbki, płytkami rombowymi, wraz ze wzrostem posuwu, rośnie pozytywny wpływ geometrii Wiper, co jest oczywiście zgodne z teorią. Ponadto zaobserwowano, wraz ze wzrostem prędkości skrawania, znaczną poprawę efektywności działania ostrzy wygładzających. Co najmniej dwukrotne, zakładane przez producenta narzędzi, obniżenie chropowatości uzyskano w całym zakresie posuwów dla prędkości skrawania $v_c = 220$ m/min. Dla prędkości $v_c = 185$ m/min poprawa ta możliwa jest dla posuwów większych niż $f=0,11$ mm/obr. Najmniej korzystne wyniki otrzymano podczas obróbki z prędkością $v_c = 135$ m/min. W tych warunkach, dla najmniejszych posuwów, zmierzona chropowatość po toczeniu płytkami Wiper była gorsza niż po obróbce ostrzami tradycyjnymi. Dopiero dla posuwu $f=0,15$ mm/obr zastosowanie ostrzy wygładzających daje możliwość obniżenia chropowatości, a powyżej posuwu $f=0,2$ mm/obr – chropowatość po toczeniu ostrzami tradycyjnymi jest dwukrotnie większa. Efekt ten jest wynikiem zakłóceń w kształtowaniu powierzchni ostrzami Wiper w warunkach obróbki

z niewielką prędkością skrawania i małym posuwem. Ponadto na pogorszenie jakości powierzchni wpływ miał też niewątpliwie powstający wiór. Przy małych posuwach powstawał wiór długi i splątany, który mógł rysować powierzchnię obrobioną. Największą uzyskaną poprawą jakości powierzchni w obróbce płytkami rombowymi, dzięki zastosowaniu Wiper, było zmniejszenie chropowatości około 4 razy.



Rys. 7. Porównanie wartości parametru chropowatości R_a w funkcji posuwu, otrzymanego po toczeniu badanej stali płytkami o geometrii tradycyjnej i wygładzającej, $v_c = 180$ m/min



Rys. 8. Porównanie wartości parametru chropowatości R_a w funkcji posuwu, otrzymanego po toczeniu badanej stali płytkami o geometrii tradycyjnej i wygładzającej, $v_c = 220$ m/min

Podczas obróbki płytkami trójkątnymi zaobserwowano wzrost efektywności zastosowania ostrzy wygładzających wraz ze wzrostem posuwu i prędkości skrawania. Dla posuwów $f = 0,07$ i $0,11$ mm/obr chropowatość R_a po toczeniu ostrzami Wiper była zbliżona do chropowatości po toczeniu ostrzami tradycyjnymi lub minimalnie większa. Dwukrotne zmniejszenie wartości parametru R_a uzyskano podczas obróbki z posuwem $f = 0,15$ mm/obr. Przy większych wartościach posuwu f efektywność trójkątnych płytek typu Wiper wzrasta, aż do uzyskania ośmiokrotnego zmniejszenia wartości parametru R_a przy posuwie $f = 0,3$ mm/obr.

4. PODSUMOWANIE

Dążenie do zwiększenia wydajności produkcji powoduje, że poszukiwane są rozwiązania pozwalające na obróbkę ze zwiększonymi prędkościami i posuwami lub z pominięciem niektórych operacji. Ostrza o wygładzającej geometrii typu Wiper dają możliwość znaczącej poprawy chropowatości powierzchni lub obróbki przy zwiększonych posuwach. Podczas badań oceniono, że wpływ ostrzy Wiper na chropowatość po toczeniu stali X17CrNi16-2 jest niejednoznaczny. Stwierdzono, że możliwe jest obniżenie wartości parametru Ra z $8\ \mu\text{m}$ dla ostrzy tradycyjnych do $1\ \mu\text{m}$ dla ostrzy wygładzających podczas toczenia płytkami trójkątnymi oraz analogicznie z $4,3\ \mu\text{m}$ do około $1\ \mu\text{m}$ dla płytek rombówych. Efekt taki otrzymano podczas toczenia z największym zastosowanym posuwem $f = 0,3\ \text{mm/obr.}$ Podobnie jak w wielu innych publikowanych wynikach badań pozytywny wpływ ostrzy Wiper na chropowatość powierzchni rośnie wraz ze wzrostem posuwu. Stwierdzono, podobnie jak w przypadku innych badanych stali nierdzewnych [7,8,9], że w przypadku małych posuwów i obróbki ostrzami rombówymi efekt zastosowania ostrzy Wiper może być bardzo niekorzystny.

LITERATURA

- [1] CICHOSZ P.: *Narzędzia skrawające*. WNT, Warszawa 2006.
- [2] CICHOSZ P., KOŁODZIEJ M.: *Wpływ ostrzy typu Wiper na chropowatość obrobionej powierzchni oraz siły skrawania*, Obróbka skrawaniem – Zaawansowana technika (pod red. Huberta Latosia), Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2009.
- [3] DOBRZAŃSKI L.: *Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe*, WNT, Warszawa 2006.
- [4] ESTEVEZ CORREIA A., PAULO DAVIM J.: *Surface roughness measurement in turning carbon steel AISI 1045 using wiper inserts*, Measurement 44(2011) s. 1000–1005.
- [5] ELBACH M., YALLESE M. A., AOUICI H., MABROUKI T., RIGAL J. F.: *Comperative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel*, Measurement 46 (2013) s. 3041–3056.
- [6] GAITONDE V. N., KARNIK S. R., FIGUEIRA L., PAULO DAVIM J.: *Machinability investogations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts*, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 27(2009) 754–763.
- [7] KAROLCZAK P., KOWALSKI M.: *Influence of use of Wiper blades upon surface roughness in machining of austenitic stainless steel*, Progressive and innovative machining technology and manufacturing techniques : proceedings of VIII. international scientific conference, Žilina-Podjavník, 5th-7th September 2012. Žilina : University of Žilina. s. 34–37.
- [8] KOWALSKI M., KAROLCZAK P.: *Modyfikacja struktury geometrycznej warstwy wierzchniej przy toczeniu stali nierdzewnej o strukturze martenzytycznej ostrzami typu Wiper*, Mechanik 8–9/2013, s.217–224.
- [9] KAROLCZAK P., KOWALSKI M.: *Modyfikacja chropowatości powierzchni przy toczeniu stali chromowo-niklowo-molibdenowej ostrzami typu Wiper*, Mechanik 8–9/2014, s.469–476.
- [10] SANDVIK COROMANT.: *Poradnik obróbki skrawaniem – Technologia obróbki skrawaniem*, 2005