

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNIEJ

WPLYW MODYFIKACJI ŚCIERNICY NA STAN NAPRĘŻEŃ
WŁASNYCH W PROCESIE SZLIFOWANIA
POWIERZCHNI WALCOWYCH WEWNĘTRZNYCH

Ryszard WÓJCIK¹

Streszczenie: Procesy modyfikacji czynnej powierzchni ściernicy mają za zadanie ułatwienie wprowadzenia płynów chłodząco smarujących oraz mgły olejowej w strefę skrawania przedmiot – ściernica. Mają one przeciwdziałać barierom ciśnieniowym, powstającym podczas procesu szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych. Celem było określenie jak daleko i w jaki sposób można modyfikować ściernicę aby osiągnąć właściwy stan warstwy wierzchniej, rozkład naprężeń własnych spełniający wymogi tribologiczne zwłaszcza w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej.

Słowa kluczowe: szlifowanie, naprężenia własne

Summary: Modification processes of an active surface of grinding wheel are designed to facilitate feeding of lubricants and oil mist in the cutting zone subject - wheel. They are supposed to counteract the pressure barriers, nascent during grinding internal cylindrical surfaces. The aim was to determine how far and in what way you can modify the grinding wheel to achieve proper condition of the surface layer, the distribution of residual stresses that fulfill the tribological requirements especially in terms of fatigue strength.

Key words: Grinding, residual stresses

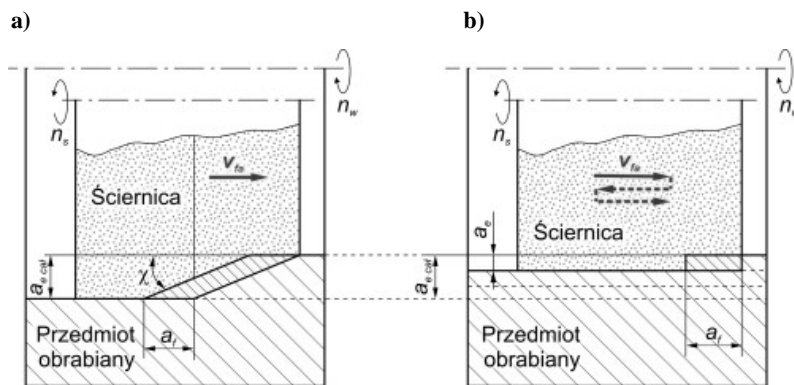
1. WPROWADZENIE

Modyfikacja czynnej powierzchni ściernicy wprowadza zmiany w ciągłości procesu szlifowania. Celem było określenie jak daleko można modyfikować ściernicę aby osiągnąć właściwy stan warstwy wierzchniej spełniający wymogi tribologiczne zwłaszcza w zakresie naprężeń własnych.

W procesie szlifowania istotnym elementem jest uzyskanie właściwych parametrów warstwy wierzchniej. Szczególnie trudne warunki występują podczas szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych z zastosowaniem ściernic konwencjonalnych. Dodatkowymi elementami które znacznie zakłócają proces szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych jest sytuacja kiedy mamy do czynienia z otworami nieprzelotowymi lub o małych średnicach. W zależności od zastosowanej metody szlifowania jednoprzęściowego osiowego czy postępowo zwrotnego, znaczenie ma obciążenie czynnej powierzchni ściernicy w tych odmianach kinematycznych szlifowania. W tym przypadku prace badawcze przeprowadzone zostały dla szlifowania postępowo-zwrotnego. W literaturze jest wiele danych dotyczących szlifowania jednoprzęściowego, dostarczają one szereg informacji o konstrukcji ściernicy, sposobie doprowadzenia płynu chłodząco - smarującego (PCS) jak również monitorowania przebiegu procesu [1, 2, 4]. Rozwiązania konstrukcyjne zasilania PCS przez wrzeczono stanowią ciekawe propozycje. Jednak występujące zjawiska podczas procesu szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych takie

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/16, ryszard.wojcik@p.lodz.pl

jak poduszka powietrzna czołowa, otoczka wirującego powietrza wraz ze ściernicą są elementami które zakłócają przebieg procesu szlifowania. Opracowane modyfikacje czynnej powierzchni ściernicy mają za zadanie ukształtowania jej w taki sposób aby poprawić smarowanie w bezpośredniej strefie skrawania ściernica – przedmiot, jednocześnie przerwać ciągłość czynnej powierzchni ściernicy, uzyskanie zmiennego styku. Rozważano różne modyfikacje ściernicy, badania skierowane były na pewną uniwersalną modyfikację obejmującą zarówno proces szlifowania jednorzędowego osiowego i postępowo – zwrotnego dla szlifowania konwencjonalnego rys.1 [1,5,6].

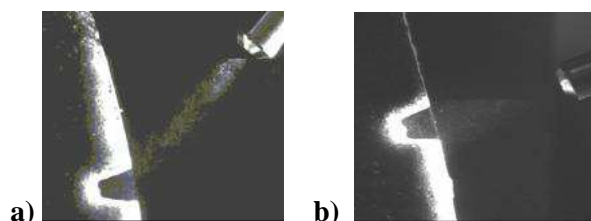


Rys. 1. Porównanie procesu szlifowania: a) jedno przejściowego ściernicą z nakrojem stożkowym, b) konwencjonalnego (wiele przejściowego) szlifowania prostoliniowo - zwrotnego [5]

Dotychczasowe modyfikacje wykonane na czynnej powierzchni ściernicy były o kształtach prostych: rowków, podcięć, obejmowały ściernice do szlifowania powierzchni płaskich w celu obserwacji zachowań mgły olejowej oraz płynów podawanych zalewowo. Do tych badań wykorzystano metodę PIV, opisaną we wcześniej pracach opublikowanych [2].

Stwierdzono wówczas korzystny wpływ wykonanych modyfikacji na przebieg procesu szlifowania powierzchni płaskich, zwłaszcza włącznie, takie rozwiązanie znacznie ograniczało tworzenie naprężeń rozciągających w warstwach wierzchnich szlifowanego przedmiotu.

Na rys.2a i 2b zaprezentowano zdjęcia pokazujące zachowanie cieczy obróbkowej podawanej z minimalnym wydatkiem w obszar szlifowania, przedmiot – ściernica. Zastosowano wówczas różne ustawienia dyszy, styczne i prostopadłe do czynnej powierzchni ściernicy. Obserwowano różne zachowania PCS względem czynnej powierzchni ściernicy.

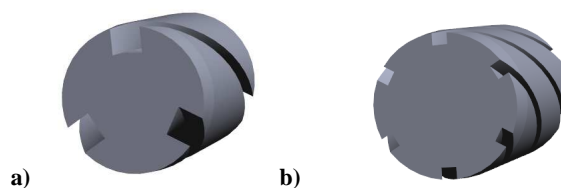


Rys. 2. Kierunki wprowadzenia mgły olejowej na czynną powierzchnię ściernic modyfikowanej:
a) stycznie, b) prostopadle

Natomiast w odmianie kinematycznej szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych istnieje znacznie więcej problemów, wynikający z faktu że w tym procesie strefa skrawania jest mało widoczna, wszystko odbywa się wewnątrz.

W związku z czym obrano kierunek modyfikacji ściernicy w taki sposób który wprowadziłaby płyn chłodząco – smarujący znacznie dalej z uwagi na długość ściernicy a jednocześnie byłby zabierany przez samą ściernicę. Zaproponowane modyfikacje poprawią wprowadzenie mgły olejowej w obszar skrawania. Najlepiej było by gdyby ściernica z modyfikacją była dłuższa niż przedmiot szlifowany. Na rys.3a, b zaproponowano modyfikację w postaci rowków śrubowych podobnie jak w gwintownikach: prawo lub lewo skrętnych w zależności od kierunków obrotów obu elementów uczestniczących w procesie szlifowania. Dodatkowym atutem stanowiącym o przydatności tego rozwiązania jest ilość rowków na czynnej powierzchni ściernicy.

Teoretycznie rowki powinny przerwać ciągłość otoczki powietrznej, skuteczniej doprowadzając PCS do strefy skrawania. Przeciwna strona ściernicy nie biorąca udziału w procesie szlifowania, powodował by to odprowadzenie nadmiaru czynnika poprzez rowki zwłaszcza podczas szlifowania małych średnic otworów, pozwoliło by to pozbyć poduszki powietrznej czołowej. Rowki dodatkowo były by elementem „mieszającym”.



Rys.3. Sposoby modyfikacji czynnej powierzchni ściernicy przeznaczonych do szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych: a) z trzema, b) z czterema rowkami

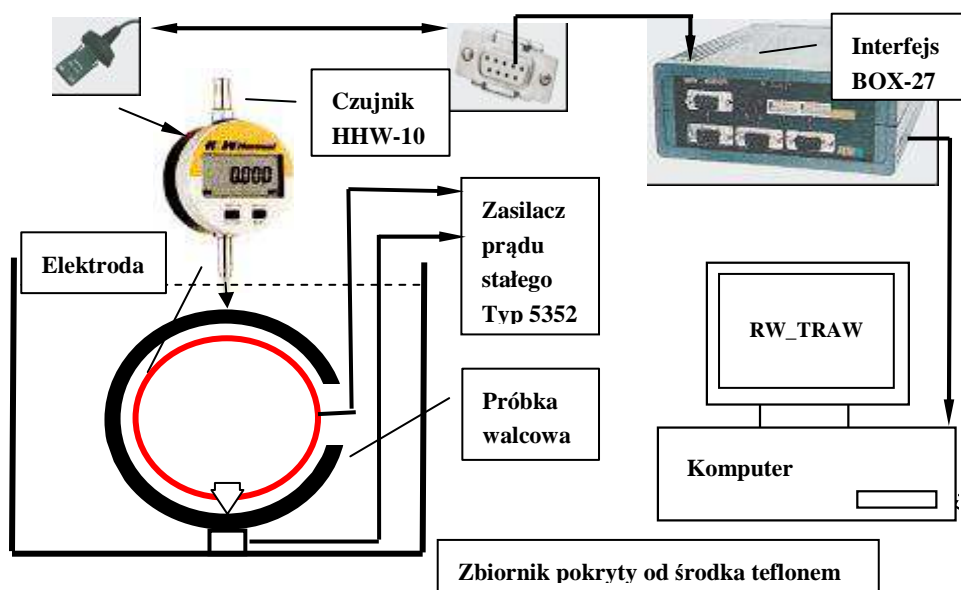
2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Jednym ze sposobów określenia stanu warstw wierzchnich jest rozkład naprężeń własnych (NW) w warstwie wierzchniej, określenie parametrów chropowatości Ra. Do realizacji zadania szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych wykorzystano tuleje o długości 100 mm aby po procesie szlifowania odciąć fragment, około 8 mm na obrabiarce erozyjnej przy pomocy drutu. Przygotowaną w ten sposób próbkę przeznaczono do dalszych badań w celu określenia rozkładu naprężeń własnych.

2.1. POMIARY NAPRĘŻEŃ

Wykorzystano stanowisko badawcze które zostało zaprojektowane do badań powierzchni walcowych: zewnętrznych i wewnętrznych. Na rysunku 4 przedstawiono sposób połączenia poszczególnych elementów stanowiska z wykorzystaniem komputera i oprogramowania. Badania rozkładu naprężeń własnych zrealizowano usuwając kolejne warstwy materiału i pomiaru odkształceń próbki (metoda Dawidenkowa - Saksa), powierzchnie nie trawione zostały zabezpieczone w sposób trwały, wewnętrzną pozostawiono jako aktywną.

Sygnal z czujnika HHW 10 kierowany jest przewodem Opto RS-232 do interfejsu BOX 27, skąd złączem M-Box / PC skierowany jest do komputera postaci cyfrowej (rys. 4).



Rys. 5. Schemat stanowiska do trawienia

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Proces realizowano z udziałem prądu stałego z wymuszonym przepływem elektrolitu za pomocą mieszadła.

Zastosowano 5-10% wodny roztwór HNO_3 . Gęstość prądu średnio wynosiła $0,4 \text{ A/cm}^2$. Do trawienia elektrochemicznego wykorzystano zasilacz prądu stałego typu 5352 o napięciu od 0 do 20 V i regulowanym natężeniu prądu od 0 do 5 A. Elektrode oznaczono kolorem czerwonym.

Podczas trawienia starano się utrzymywać temperaturę elektrolitu na poziomie nie większym niż 20°C , ponieważ stwierdzono doświadczalnie, że wzrost temperatury elektrolitu o 5°C powoduje błąd pomiaru wartości około 15%. Badania naprężeń własnych były realizowane zgodnie z zaleceniami twórców tej metody.

W przypadku próbek pierścieniowych wartość grubości była w przedziale 3,5-4 mm, po rozcięciu próbki i dokonaniu trawienia pomiaru próbkę wyrzucano.

Do obliczenia rozkładu naprężeń własnych w funkcji głębokości od powierzchni opracowano program komputerowy.

Wartość oraz rozkład naprężeń w warstwach wierzchnich próbek walcowych wyznacza się po jej rozcięciu, rys. 5 zdejmując kolejne warstwy materiału w wyniku elektrotrawienia. Sposób obliczania naprężeń własnych oparty jest na przeliczaniu odkształceń na naprężenia własne obejmujące poszczególne warstwy oddalone od powierzchni szlifowanej o odległość h_i , wykorzystano wzory na naprężenia wynikowe styczne.

$$\sigma_{hi} = \sigma_{hi}' \pm \sigma_{hi}'' \quad (2.1)$$

gdzie- σ_{hi}' – jest składową liniową naprężeń własnych określoną wzorem

$$\sigma_{hi}' = 2Ef / D^2 k_g (H/2 - h_i) - E\varepsilon \quad (2.2)$$

σ_{hi}'' – składowa nieliniowa naprężeń własnych, którą można określić zakładając że $H/h \leq 0,1$ korzystając z uproszczonego wzoru

$$\sigma_{hi}'' = E(H-h_i) 3D^2 k_g [(H-h_i) df_{hi} / dh_i - 4f_{hi}] \quad (2.3)$$

gdzie: E- moduł Young'a $H=20,6 \cdot 10^4$ [MPa], f – odkształcenie pierścienia po przecięciu, $f=D_p - D_r$ [mm], f_{hi} – odkształcenie pierścienia po usunięciu warstwy o grubość h_i [mm], h_i – odległość rozpatrywanej warstwy pod powierzchni walcowej [mm], D – średnia średnica powierzchni walcowej [mm], B - szerokość powierzchni walcowej [mm], H – grubość powierzchni walcowej [mm], df_{hi} / dh_i – pochodna wyznaczona z wykresu, ε - wydłużenie względne, k_g – współczynnik wzmocnienia odkształcenia, g_w – ciężar właściwy stali, D_r , D_p –średnica powierzchni walcowej przed i po rozcięciu.

Do badań przyjęto uproszczone wzory (2.1), (2.2), (2.3) które zostały zapisane docelowo w następującej postaci

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

$$\sigma_{hi}' = 203,5 \cdot f(1,5-h_i) \quad [\text{MPa}] \quad (2.1a)$$

$$\sigma_{hi}' = 33,8(3-h_i) [(3-h_i) df_{hi} / dh_i - 4f_{hi}] \quad [\text{MPa}] \quad (2.2a)$$

$$V = G - G_{tr} / 10 \text{ tr} \quad [\text{MPa}] \quad (2.3a)$$

Wprowadzono dodatkowe założenie, mianowicie stałą prędkość trawienia, (df_{hi} / dh_i) która została obliczona w zależności od kąta, wartość prędkości trawienia przyjęto $v = 0,0022$ [mm/min], zakładając w programie komputerowym skalę $k_f = f_h / f_{hr} = 0,01 / 6$

3. BADANIA PROCESU SZLIFOWANIA

Do badań procesu szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych wykorzystano szlifierkę do otworów SOH 10, w której płyn chłodząco - smarujący podawany jest przez wrzeciono przedmiotu szlifierki w kierunku czoła ściernicy a powietrze sprężone podawane jest przez wrzeciono szlifierskie.

Do badań wykorzystano trzy ściernice przeznaczone do procesu szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych z elektrokorundu szlachetnego (Al_2O_3) 99A 60KV, średnica zewnętrzna $\phi_s = 39$ mm i długości $L_s = 50$ mm. Aby można było dokonać porównania, procesy zrealizowano: ściernicą pełną nie modyfikowaną oraz ściernicami modyfikowanymi, na powierzchni czynnej, nacięto rowki śrubowe (rys.2) o prawym pochyleniu względem osi ściernicy 15° . Parametry rowków, szerokość $b_s = 3$ mm, głębokość od powierzchni czynnej ściernicy $g_s = 4$ mm (rys.4b). Parametry procesu: $v_w = 0,3$ m/s, $v_s = 15,5$ m/s, $a_e = 0,02$ mm, posuw $v_{fo} = 0,2 - 0,5$ m/s. Wprowadzono dodatkową modyfikację cztero rowkową która została zrealizowana w celach testowych. Rowki miały następujące wymiary: szerokość $b_s = 6$ mm, głębokość od powierzchni czynnej ściernicy $g_s = 6$ mm (rys.3a).

Proces szlifowania przeprowadzono bez udziału PSC i w obecności cieczy chłodząco – smarującej, roztwór wodny emulsji (5%). Po zrealizowaniu procesu szlifowania regenerowano czynną powierzchnie ściernicy obciążaczem.

4. WYNIKI BADAŃ PROCESU SZLIFOWANIA

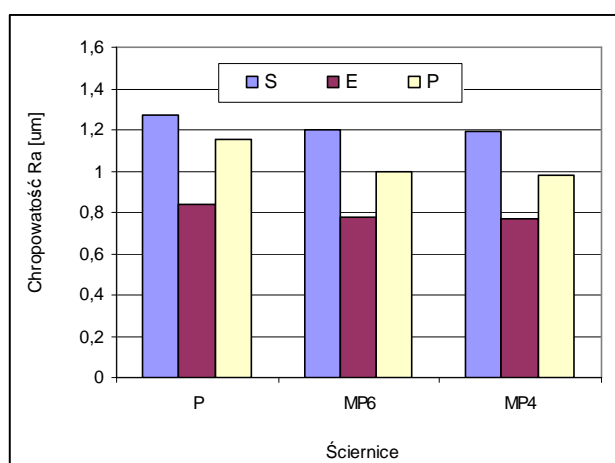
Wprowadzono oznaczenia poszczególnych ściernic i płynu chłodząco – smarującego. Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie stanu chropowatości wartości uśrednionych oraz określenia stanu naprężeń własnych warstwach wierzchnich. W tabeli 1 zestawiono oznaczenia ściernic i sposobu chłodzenia.

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Tabela 1. Oznaczenie ściernic i PCS

Oznaczenia ściernica (cyfry ozn. liczbę rowków)		Płyn chłodziwo - smarujący	
P	niemodyfikowana	S	Bez udziału płynu
MP6	modyfikowana, pochylenie rowków śrubowych prawe (6)	E	Emulsja 5%
MP4	modyfikowana, pochylenie rowków śrubowych prawe (4)	P	Sprężone powietrze

Przedstawiono wyniki dla określonych przypadków szlifowania, średnie wartości chropowatości Ra przedstawiono na rysunku 6. Najniższą wartość parametru Ra uzyskano podczas szlifowania z udziałem emulsji ściernicą pełną. Poziom chropowatości dla ściernicy modyfikowanej, pochylenie rowków śrubowych prawe (6) i (4) był na porównywalnym poziomie. Zarówno z udziałem sprężonego powietrza jak i emulsji.



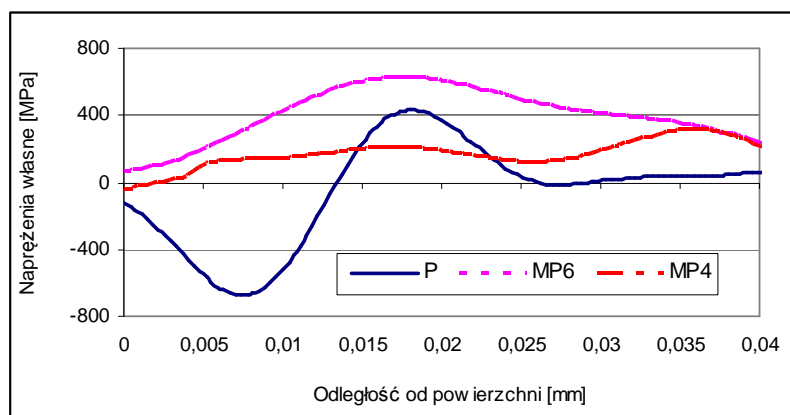
Rys.6. Parametr chropowatości uśrednione dla poszczególnych odmian modyfikacji i PCS

Natomiast naprężenia własne zaprezentowano na rysunkach 7 i 8. Rozkłady naprężeń własnych porównano ze ściernicami niemodyfikowanymi i modyfikowanymi. Rozkład NW dla przypadku szlifowania ściernicą pełną, proces doprowadził do hartowania wtórnego na głębokości 0,01 mm by następnie przejść w obszar odpuszczonej struktury. Najmniejsze zmiany NW uzyskano podczas szlifowania ściernicą z czterema rowkami.

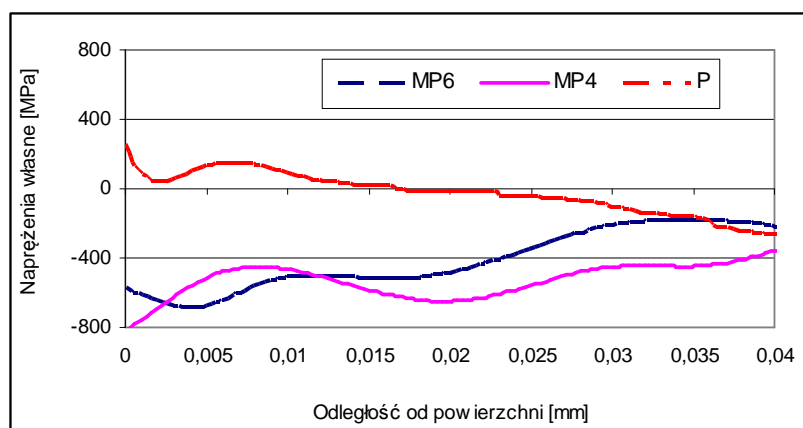
Zupełnie inaczej przedstawiał się rozkład naprężeń własnych w przypadku zastosowania PCS w postaci emulsji podawanej od czoła ściernicy rysunek 8. Największe naprężenia własne uzyskano podczas procesu szlifowania ściernicą

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

niemodyfikowaną, są to NW rozciągające. Głębokość jest na poziomie 0,012 mm, następnie przechodzą w obszar NW ściskających, jest to strefa rodzimego materiału którego strukturę uzyskano na drodze obróbki cieplnej. Natomiast w przypadku zastosowania ściernic modyfikowanych z czterema i sześcioma rowkami naprężenia były ściskające. Znacznie korzystniejsze rozkłady naprężeń własnych otrzymano dla ściernicy z czterema rowkami, różnica jest około -320 MPa w strefie przypowierzchniowej, dalej przebiegi są podobne tylko w niższych zakresach.



Rys.7. Rozkład naprężeń własnych podczas szlifowania bez udziału płynu chłodząco – smarującego ściernicami



Rys.8. Rozkład naprężeń własnych podczas szlifowania z udziału płynu chłodząco – smarującego ściernicami

Badania rozkładu naprężeń własnych przeprowadzono dla małych głębokości około 0,04 mm. Zdaniem autora jest to obszar nie wystarczający w przypadku wysokich obciążeń. Teoretycznie mogą powstać mikropęknięcia dla wysokich twardości 60 HRC, zwłaszcza jeżeli proces szlifowania spowoduje hartowanie wtórne. W przypadku zmian strukturalnych wzrosną procesy ścieralności, wprawdzie będzie proces przyspieszony w tzw. czasie docierania.

Wydaje się że rozkład naprężeń własnych w warstwach wierzchni jest najbardziej właściwą informacją o jakości warstwy wierzchniej uwzględniając aspekty z uwagi na kryterium największej ścieralności i wytrzymałości zmęczeniowej. Przy założeniu że uwzględniony zostanie fakt kierunkowości ułożenie warstwy wierzchnie.

5. PODSUMOWANIE

- Uzyskane wyniki z badań eksperymentalnych pozwoliły na postawienie następujących wniosków:
- Zaproponowana modyfikacja czynnej powierzchni ściernicy pozwala uzyskać mniejsze wartości chropowatości.
- Kształt, wielkość rowków, ilości rowków ich szerokości i głębokość są istotne.
- Zastosowane płyny chodząco – smarujące decydują o rozkładzie naprężeń własnych, ma to istotny wpływ na aspekt tribologiczny, zwłaszcza kiedy najważniejszym kryterium jest wytrzymałość zmęczeniowa.
- Istotne znaczenie ma prędkość posuwu osiowego oraz parametry pozostałe procesu, sposób doprowadzenie płynu chłodząco – smarującego w obszar skrawania a także kierunek usytuowania rowków w przypadku procesu szlifowania powierzchni walcowych wewnętrznych.
- Sprawdzenia wymagają też inne sposoby podawania płynu chłodząco – smarującego w strefę skrawania (mgła olejowa), obejmujące kierunku ustawienia dyszy względem strefy skrawania.
- Badania należały rozszerzyć na inne stale trudnoskrawalne. Zaproponowane rozwiązanie modyfikacji czynnej powierzchni ściernicy stanowi problem technologiczny na danym etapie, jest dość kłopotliwą sprawą pod względem wykonania i osiągnięcia trwałości części modyfikowanej ściernicy.
- Należy opracować technologię pozwalającą na wykonanie rowków na znacznie większe głębokości, zachowując względy bezpieczeństwa przed rozerwaniem ściernicy. Jest to najbardziej istotna bariera na tym etapie badań eksperymentalnych.
- Pojawiają się nowe rodzaje i generacje płynów chłodząco – smarujących opartych na glikolu propylenowym. Posiadającym dobre właściwości przeciw tarciove. Dodatkową zaletą tego płynu jest jego nie szkodliwość dla pracownika i środowiska.

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

LITERATURA

- [1] BARAN J., PLICHTA J : *Innowacyjne głowice szlifierskie z obrotowymi narzędziami ściernymi*. Obróbka ścierna. Współczesne problemy XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Gdańsk 2001, 11-25 (pod redakcją A. Barylskiego)
- [2] WÓJCIK R., GÓRECKI G.: *Modyfikacje ściernic do szlifowania w środowisku mgły olejowej*. XXXII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Koszalin- Darłowo 2009, 63-70.
- [3] NADOLNY K.: *Analiza zużycia czynnej powierzchni ściernicy z ziarnami mikrokrystalicznego korundu spiekanego w procesie szlifowania w głębokiego walcowych powierzchni wewnętrznych*. XXXIV Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej. Gdańsk 2001, s. 53-69, (pod redakcją A. Barylskiego)
- [4] NADOLNY K.: *Modifications of Axial Internal Cylindrical Grinding process*. Zeszyty Naukowe Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej
- [5] OCZOS K.E.: *Doskonalenie techniki szlifowania*. Część II. Mechanik, 78(2005)10,745-750.
- [6] PLICHTA J.: *Kierunki rozwoju procesów szlifowania*. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji, Politechnika Wroclawska, 1997, 159-162.
- [7] BORKOWSKI J.: *Zużycie i trwałość ściernic*. PWN 1990, Warszawa
- [8] MUSHARDT H.: *Modern machines and technologies for cylindrical and surface grinding*. Materiały XX Naukowej Szkoły Obróbki Ściernej, Poznan-Blazejewko,1997, 317-330.
- [9] WÓJCIK R: *Nowe media i sposoby doprowadzenia do strefy szlifowania*. Vol.28 Nr4, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji 2008, 137-145
- [10] WÓJCIK R., KRUSZYŃSKI B.: *Szlifowanie powierzchni płaskich z zastosowaniem minimalnego smarowania (minimum quantity liquid - mql)*. XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Kraków-2003