

## Część 5. TECHNOLOGIA WARSTWY WIERZCHNIEJ W OBRÓBCE ŚCIERNEJ

Mariusz DEJA  
Piotr WASZCZUR  
Karolina WSZELAK\*

### WPLYW PARAMETRÓW SZLIFOWANIA NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI STALI 1.0562 W STANIE ZMIĘKCZONYM

W artykule przedstawiono wyniki badań procesu szlifowania elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali stopowej 1.0562 w stanie zmięczonym. Szlifowanie realizowano dla zmiennych parametrów obróbkowych. Analizowano wpływ głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkość posuwu przedmiotu  $v_n$  na chropowatość powierzchni.

**Słowa kluczowe:** szlifowanie płaszczyzn, parametry szlifowania, chropowatość powierzchni.

#### 1. Wprowadzenie

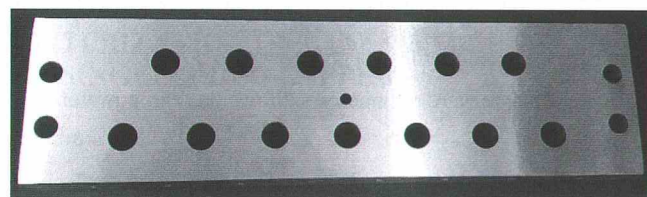
Prawidłowy przebieg procesu szlifowania związany jest z doбором odpowiednich parametrów technologicznych w celu spełnienia określonych wymagań konstrukcyjnych [2, 5], uzyskania wysokiej wydajności [1], zmniejszenia energochłonności i emisji dwutlenku węgla [6]. Rodzaj ściernicy i parametry jej kondycjonowania również znacząco wpływają na przebieg procesu i uzyskane efekty technologiczne [3]. Uszkodzenie warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego (PO) związane jest z powstaniem mikropęknięć i utwardzenia powierzchni w procesie szlifowania co ma istotny wpływ na trwałość eksploatacyjną elementów konstrukcyjnych, np. szyn kolejowych [5]. Prawidłowe dostarczanie cieczy chłodząco-smarującej (CCS) pozwala uniknąć tego typu uszkodzeń w warstwie wierzchniej PO [4] i wydłużyć okres eksploatacyjny obrabianych przedmiotów.

\* dr hab. inż. Mariusz Deja (mdeja@pg.edu.pl), dr inż. Piotr Waszczur (piotr.waszczur@pg.edu.pl), mgr inż. Karolina Wszelak (karolina.wszelak@pg.edu.pl) - Katedra Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej

W referacie przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena wpływu wybranych parametrów szlifowania na chropowatość powierzchni elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali stopowej 1.0562 w stanie zmięczonym. Uzyskanie gładkiej powierzchni miało zapewnić równomierną szczelinę pomiędzy płytami (rys. 1) stanowiącymi podzespół hydrauliczny. Badano wpływ głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkości posuwu przedmiotu  $v_{ft}$  na uzyskiwane wartości parametrów chropowatości.

## 2. Warunki badań

Badania przeprowadzono na szlifierce CNC do płaszczyzn SPG 25X60z poziomą osią wrzeciona. Szlifowanymi elementami konstrukcyjnymi były płyty z otworami (rys. 1) wykonane ze stali 1.0562 o twardości 220HB, wytrzymałości na rozciąganie  $R_m=490-630$  MPa i granicy plastyczności  $R_e=335$  MPa. Standardowo elementy wykonane z tego materiału poddawane są obróbce cieplnej w celu zwiększenia twardości i odporności na zużycie, jednakże specyfika konstruowanego podzespołu wymagała przeprowadzenia obróbki elementów w stanie zmięczonym. Do obróbki zastosowano ściernicę firmy Norton o oznaczeniu 38A60LVS.



Rys. 1. Płyta z otworami po szlifowaniu

Szlifowanie realizowano dla stałej prędkości obwodowej ściernicy  $v_s = 25$  m/s z użyciem chłodziwa. Dosuw wzdłuż osi ściernicy następował po przejściu ściernicy wzdłuż szlifowanej powierzchni i wynosił 15 mm (60% szerokości ściernicy). Przed każdym testem ściernicę kondycjonowano przy następujących parametrach:

- głębokość  $a_e$  przy jednym przejściu - 0,01mm,
- ilość przejść obciążających - 4,
- prędkość obwodowa ściernicy -  $v_s = 23$  m/s,
- posuw -  $f_a = 0,2$  mm/obr.

Zrezygnowano z przejść wyiskrzających po szlifowaniu ponieważ badania wstępne wykazały, że ich stosowanie nie wpływa znacząco na poprawę gładkości powierzchni, a w niektórych przypadkach nawet ją pogorszyło.

Wartości zmienianych parametrów obróbkowych zamieszczono w tabelicy I przedstawiającej plan eksperymentu. Każdy układ planu został zrealizowany z powtórzeniem.

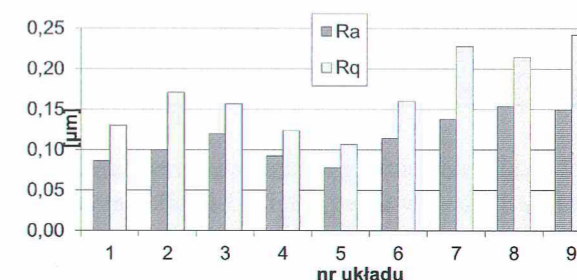
Tablica I. Parametry szlifowania

Nr układu	Poziomy parametrów wejściowych		Wartości parametrów	
	Prędkość posuwu $v_{ft}$	Głębokość szlifowania $a_e$	$v_{ft}$ [m/min]	$a_e$ [mm]
1	1	1	0,3	0,002
2	1	2	0,3	0,004
3	1	3	0,3	0,006
4	2	1	0,9	0,002
5	2	2	0,9	0,004
6	2	3	0,9	0,006
7	3	1	1,8	0,002
8	3	2	1,8	0,004
9	3	3	1,8	0,006

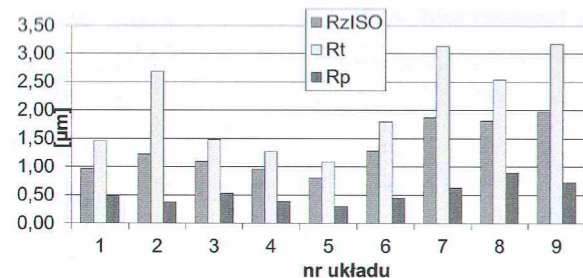
Zastosowano mniejsze wartości prędkości niż zalecane [2], ponieważ przy większych wartościach prędkości uzyskiwano większą chropowatość i falistość powierzchni PO z charakterystyczną strukturą prążkową. Po każdej próbie wykonano 8 pomiarów chropowatości powierzchni dla każdego układu planu. Do tego celu wykorzystano profilometr stykowy HOMMEL TESTER T1000. Pomiarzy przeprowadzono dla odcinka elementarnego wynoszącego 0,8 mm. Przy uzyskanych wartościach parametrów chropowatości, które znajdują się na granicy doboru długości odcinka elementarnego, mógłby on zostać skrócony 0,25 mm. Ze względu na to, że otrzymywane wartości nie różniły się między sobą dla różnych długości odcinków pomiarowych, pod uwagę wzięto dłuższy odcinek elementarny.

## 3. Wyniki badań

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wartości parametrów chropowatości dla wszystkich poziomów zrealizowanego eksperymentu. Najwyższe wartości parametrów chropowatości otrzymano w próbach 7, 8 i 9 dla największej wartości posuwu przedmiotu  $v_{ft}=1,8$  m/min niezależnie od głębokości szlifowania. Najkorzystniejsze najniższe wartości parametrów chropowatości takich jak  $R_a$ ,  $R_z$  i  $R_t$  uzyskano dla piątego układu badań przy  $v_{ft}=0,9$  m/min i  $a_e=0,004$  mm.



Rys. 2. Wartości parametrów chropowatości powierzchni  $R_a$  i  $R_q$  uzyskanych w każdym z układów planu



Rys. 3. Wartości parametrów chropowatości powierzchni Rz, Rt i Rp uzyskanych w każdym z układów planu

W tablicach II i III zamieszczono wyniki badania istotności poszczególnych parametrów szlifowania. Analizę przeprowadzono dla założonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . W przypadku parametru chropowatości Ra istotny wpływ na wynik szlifowania miały parametry  $v_{ft}$  i  $a_e$  oraz interakcja pomiędzy tymi parametrami. Dla kształtowania maksymalnych wartości parametru chropowatości Rt największy wpływ miała prędkość posuwu przedmiotu  $v_{ft}$  oraz interakcja tego parametru z głębokością szlifowania  $a_e$ . Podobne rezultaty uzyskano dla parametru chropowatości Rz. Analiza przeprowadzona dla poziomu istotności  $\alpha = 0,01$  dała zbliżone wartości i potwierdziła, że największy wpływ miała prędkość posuwu przedmiotu  $v_{ft}$ .

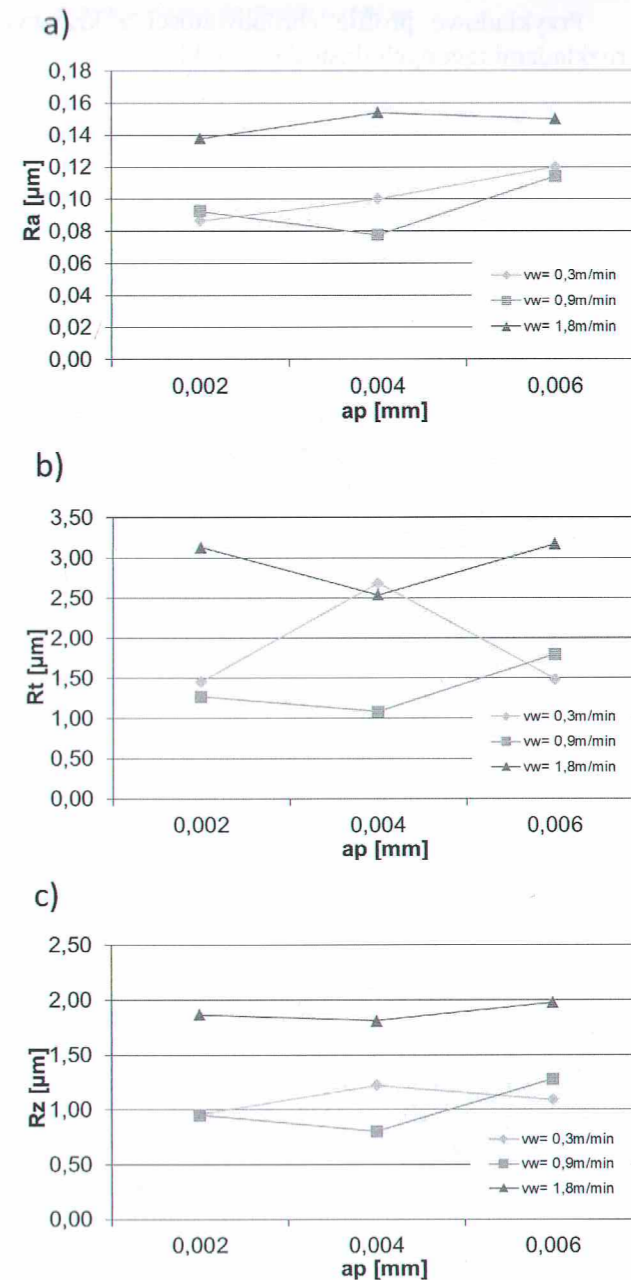
Tablica II. Analiza ANOVA parametru Ra

Źródło wariacji	SS	df	MS	F	p	Test F
$v_{ft}$	0,038	2	0,019	129,805	0,000	3,143
$a_e$	0,007	2	0,003	23,804	0,000	3,143
$v_{ft} * a_e$	0,005	4	0,001	8,297	0,000	2,518
błąd	0,009	63	0,000			
całkowita	0,05875	71				

Tablica III. Analiza ANOVA parametru Rt

Źródło wariacji	SS	df	MS	F	p	Test F
$v_{ft}$	33,952	2	16,976	19,754	0,000	3,143
$a_e$	0,623	2	0,311	0,362	0,697	3,143
$v_{ft} * a_e$	15,352	4	3,838	4,466	0,003	2,518
błąd	54,140	63	0,859			
całkowita	104,066	71				

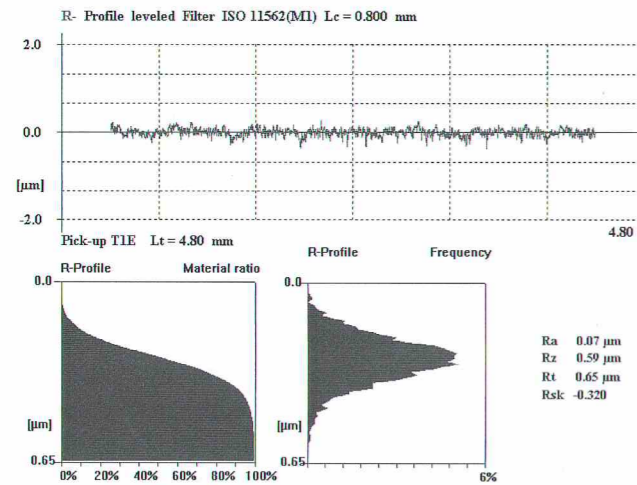
Na rysunku 4 przedstawiono uzyskane wartości parametrów chropowatości Ra, Rt i Rz w zależności od prędkości posuwu przedmiotu i głębokości szlifowania. Można zauważyć, że w zakresie przyjętych wartości parametru  $v_{ft} = 0,3$



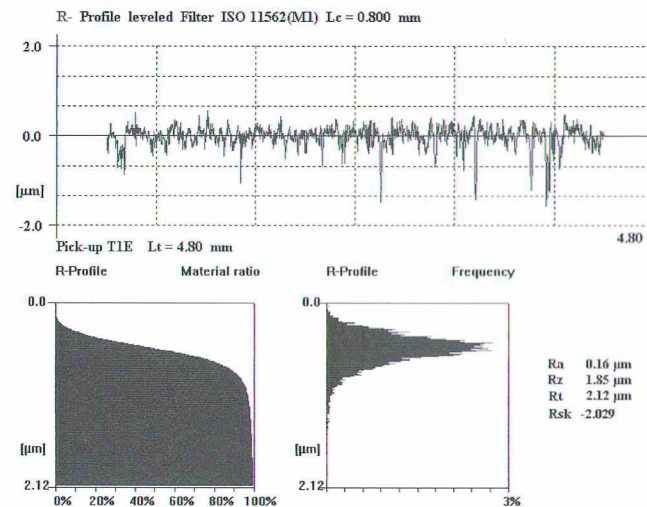
Rys. 4. Zależność parametrów chropowatości Ra (a), Rt (b) i Rz (c) szlifowanej powierzchni od prędkości posuwu przedmiotu  $v_{ft}$  i głębokości szlifowania  $a_e$

i 0,9 m/min uzyskano zbliżone wartości parametrów chropowatości niezależnie od zastosowanych głębokości szlifowania. Tylko w przypadku parametru chropowatości powierzchni Rt odnotowano znaczne wartości także dla najmniejszej prędkości posuwu przedmiotu  $v_{ft}$  i głębokości szlifowania  $a_e = 0,004$  mm.

Przykładowe profile chropowatości z krzywymi udziału materiałowego i rozkładami rzędnych ilustrują rysunki 5-7.

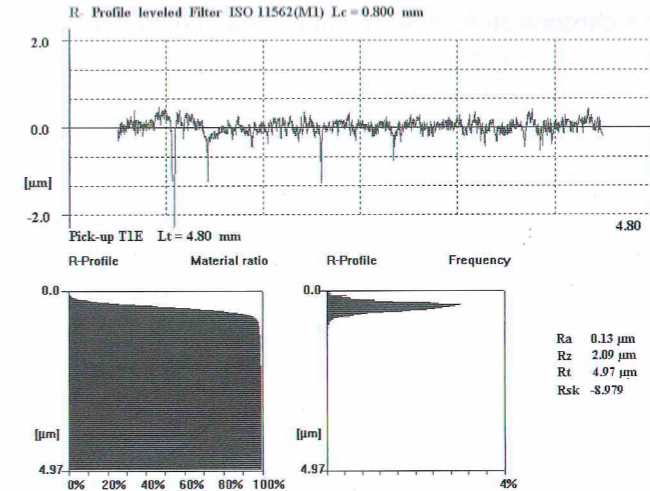


Rys. 5. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po realizacji piątego układu planu

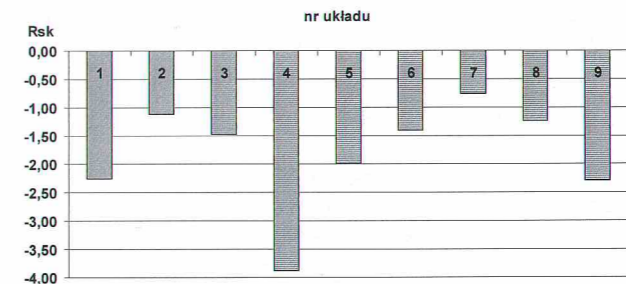


Rys. 6. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po realizacji dziewiątego układu planu

Jeden z profili chropowatości, który zarejestrowano dla powierzchni przy realizacji piątego układu eksperymentu, charakteryzujący się najlepszą powierzchnią przedstawia rys. 5. Profil powierzchni z dziewiątego układu planu uzyskanego po szlifowaniu z największymi przyjętymi wartościami parametrów ilustruje rys. 6. Porównując wspomniane powyżej profile, widać różnice będące



Rys. 7. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po realizacji drugiego układu planu



Rys. 8. Wartości współczynnika asymetrii profilu chropowatości Rsk w poszczególnych układach planu

wynikiem rys na powierzchni, które łączyć można z niską twardością obrabianego materiału. Powstawanie rys na powierzchni było przyczyną wzrostu wartości parametru chropowatości powierzchni Rt w drugim układzie planu. Są one widoczne na profilu chropowatości na rysunku 7. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na fakt, że uzyskane powierzchnie po szlifowaniu, niezależnie od zastosowanych parametrów szlifowania, charakteryzują się dużym udziałem nośnym. Wartości współczynnika asymetrii profilu chropowatości Rsk w każdym układzie planu były ujemne. Zestawienie wartości tego parametru dla poszczególnych układów eksperymentu przedstawia rys. 8.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania szlifowania stali 1.0562 w stanie zmiękczonego pozwoliły ocenić wpływ prędkości posuwu przedmiotu i głębokości szlifowania

na chropowatość powierzchni. Ustalono, że większy wpływ na uzyskane efekty ma prędkość posuwu szlifowanego przedmiotu. Najniższą chropowatość powierzchni odnotowano dla wartości centralnych zrealizowanego eksperymentu. Uzyskane wartości parametru chropowatości  $R_a$  w zakresie  $0,06 \pm 0,08 \mu\text{m}$  wydają się granicznymi wartościami jakie można była uzyskać dla procesu szlifowania przedmiotów o niskiej twardości. Jak wcześniej wspomniano, zwiększenie prędkości  $v_R$  powyżej  $1,8 \text{ m/min}$  powodowało wzrost chropowatości powierzchni. Dla przyjętej najmniejszej prędkości posuwu przedmiotu szlifowanego również nie uzyskano najkorzystniejszych rezultatów. Dlatego też wydaje się, że jedynym rozwiązaniem prowadzącym do zmniejszenia chropowatości powierzchni (dla tego przypadku szlifowania) byłoby zastosowanie ściernicy z mniejszym ziarnem ściernym.

### Literatura

1. Janardhan M.: An integrated evaluation approach for modelling and optimization of surface grinding process parameters. *Materials Today: Proceedings* 2 (2015), s. 1622-1633.
2. Oczó K.E., Porzycki J.: Szlifowanie: podstawy i technika. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1986.
3. Puertoa P. et al.: Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear. *Procedia Engineering* 63 (2013), s. 174-182.
4. Tyuhta A.V., Vasilenko Y.V., Kozlov A.M.: Ways to Enhance Environmental Flat Grinding by Improving the Technology of the Coolant Supply. *Procedia Engineering*, Vol. 150 (2016), s. 1073-1080.
5. Uhlmann E. et al.: Influence of rail grinding process parameters on rail surface roughness and surface layer hardness. *Wear*, Vol. 366-367 (2016), s. 287-293.
6. Zhaohui Deng et al.: Study on the model of high efficiency and low carbon for grinding parameters optimization and its application. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137 (2016), s. 1672-1681.

## INFLUENCE OF GRINDING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF STEEL 1.0562 IN THE SOFTENED STATE

### Summary

The article presents the results of research on the grinding process of parts made of 1.0562 alloy steel in the softened state. Grinding was performed for variable machining parameters. The influence of depth of grinding  $a_e$  and feed speed of the subject  $v_R$  on the roughness of the surface was analysed.

**Keywords:** surface grinding, grinding parameters, surface roughness.

Wpływ parametrów szlifowania na chropowatość powierzchni

W artykule przedstawiono wyniki badań nad procesem szlifowania części wykonanych z stali 1.0562 w stanie zmiękczonego. Szlifowanie przeprowadzono dla zmiennych parametrów obrabiania. Analizowano wpływ głębokości szlifowania  $a_e$  oraz prędkości posuwu  $v_R$  na chropowatość powierzchni.

Wyniki badań wskazują, że większy wpływ na uzyskane efekty ma prędkość posuwu szlifowanego przedmiotu. Najniższą chropowatość powierzchni odnotowano dla wartości centralnych zrealizowanego eksperymentu.

Słowa kluczowe: szlifowanie powierzchni, parametry szlifowania, chropowatość powierzchni

W artykule przedstawiono wyniki badań nad procesem szlifowania części wykonanych z stali 1.0562 w stanie zmiękczonego. Szlifowanie przeprowadzono dla zmiennych parametrów obrabiania. Analizowano wpływ głębokości szlifowania  $a_e$  oraz prędkości posuwu  $v_R$  na chropowatość powierzchni. Wyniki badań wskazują, że większy wpływ na uzyskane efekty ma prędkość posuwu szlifowanego przedmiotu. Najniższą chropowatość powierzchni odnotowano dla wartości centralnych zrealizowanego eksperymentu.

Wyniki badań wskazują, że większy wpływ na uzyskane efekty ma prędkość posuwu szlifowanego przedmiotu. Najniższą chropowatość powierzchni odnotowano dla wartości centralnych zrealizowanego eksperymentu. Dlatego też wydaje się, że jedynym rozwiązaniem prowadzącym do zmniejszenia chropowatości powierzchni (dla tego przypadku szlifowania) byłoby zastosowanie ściernicy z mniejszym ziarnem ściernym.

Słowa kluczowe: szlifowanie powierzchni, parametry szlifowania, chropowatość powierzchni

Wpływ parametrów szlifowania na chropowatość powierzchni