

# Wpływ parametrów szlifowania na chropowatość powierzchni stali 1.0562 w stanie zmiękczonej

## Influence of grinding parameters on the surface roughness of steel 1.0562 in the softened state

MARIUSZ DEJA  
PIOTR WASZCZUR  
KAROLINA WSZELAK\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.164>  
English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Przedstawiono wyniki badań procesu szlifowania elementów konstrukcyjnych ze stali stopowej 1.0562 w stanie zmiękczonej. Przeanalizowano wpływ głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkości posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft}$  na chropowatość powierzchni. Zaprezentowano wartości parametrów chropowatości  $R_a$ ,  $R_z$  i  $R_t$  możliwe do uzyskania w przyjętych warunkach badań.

**SŁOWA KLUCZOWE:** szlifowanie płaszczyzn, prędkość posuwu wzdłużnego, głębokość szlifowania, parametry chropowatości powierzchni

*Results from testing the grinding process of structural elements made of alloy steel 1.0562 in the softened state are presented. Influence of the grinding depth  $a_e$  and the longitudinal feedrate of the workpiece  $v_{ft}$  on the surface roughness is analyzed. Roughness values of  $R_a$ ,  $R_z$  and  $R_t$  were considered available to obtain under accepted test conditions.*

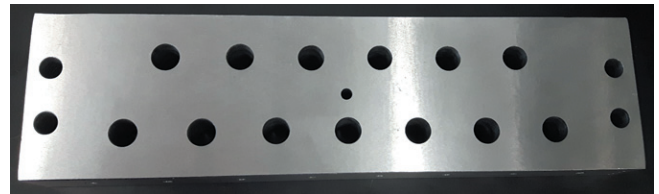
**KEYWORDS:** surface grinding, feed speed, depth of grinding, surface roughness parameters

Prawidłowy przebieg procesu szlifowania jest związany z odpowiednim doбором parametrów technologicznych, pozwalającym na spełnienie określonych wymagań konstrukcyjnych dotyczących głównie uzyskania wysokiej dokładności wymiarowo-kształtowej oraz ukształtowania wymaganej struktury geometrycznej powierzchni i osiągnięcia pożądanego stanu warstwy wierzchniej (WW) przedmiotu obrabianego (PO) [2, 5]. Poza uzyskaniem małej chropowatości powierzchni i wysokiej wydajności szlifowania [1] celem badań jest również zmniejszenie energochłonności procesu i emisji dwutlenku węgla [6]. Rodzaj ściernicy i parametry jej kondycjonowania także znacząco wpływają na przebieg procesu i efekty technologiczne [3]. Właściwy dobór parametrów obróbkowych z prawidłowym dostarczaniem cieczy chłodząco-smarującej (CCS) pozwala uniknąć uszkodzeń w postaci mikropęknięć i utwardzeń w WW-PO [4] oraz wydłużyć okres eksploatacyjny obrabianych elementów konstrukcyjnych, np. szyn kolejowych [5].

Przedstawiono wyniki badań wraz z oceną wpływu głębokości szlifowania  $a_e$  i prędkości posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft}$  na wartości parametrów chropowatości powierzchni elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali stopowej 1.0562 w stanie zmiękczonej. Uzyskanie wartości parametru chropowatości  $R_a$  poniżej  $0,1 \mu\text{m}$  było jednym z podstawowych wymagań konstrukcyjnych wobec płyt (rys. 1) stanowiących badawcze urządzenie hydrauliczne.

### Warunki badań

Próby szlifowania przeprowadzono na szlifierce CNC do płaszczyzn SPG 25X60 z poziomą osią wrzeciona. Szlifowano płyty o wymiarach  $256 \times 68 \times 28 \text{ mm}$  (rys. 1) ze stali 1.0562 o twardości 220 HB, wytrzymałości na rozciąganie  $R_m = 490 \pm 630 \text{ MPa}$  i granicy plastyczności  $R_e = 335 \text{ MPa}$ . Standardowo elementy z tego materiału są poddawane obróbce cieplnej, by zwiększyć ich twardość i odporność na zużycie. W wykonywanym do celów badawczych urządzeniu hydraulicznym zastosowano – zgodnie z wymaganiami konstruktora – płyty w stanie zmiękczonej. Obróbkę prowadzono ściernicą firmy Norton o oznaczeniu 38A60LVS i wymiarach ( $D \times T \times H$ )  $250 \times 25 \times 76,2 \text{ mm}$ .



Rys. 1. Płyta z otworami po szlifowaniu

Szlifowanie realizowano ze stałą prędkością obwodową ściernicy  $v_s = 25 \text{ m/s}$ , z użyciem chłodziwa. Posuw poprzeczny ściernicy następował po przejściu ściernicy wzdłuż szlifowanej powierzchni i wynosił  $15 \text{ mm}$  (60% szerokości ściernicy). Przed każdym testem ściernicę kondycjonowano obciążaczem diamentowym jednoziarnistym z następującymi parametrami ustawionymi w programie sterującym:

- głębokością  $a_e$  przy jednym przejściu –  $0,01 \text{ mm}$ ,
- liczbą przejść obciążających – 4,
- prędkością obwodową ściernicy –  $v_s = 23 \text{ m/s}$ ,
- posuwem poprzecznym ściernicy –  $f_a = 0,2 \text{ mm/obr.}$

TABLICA I. Parametry szlifowania

Nr próby	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

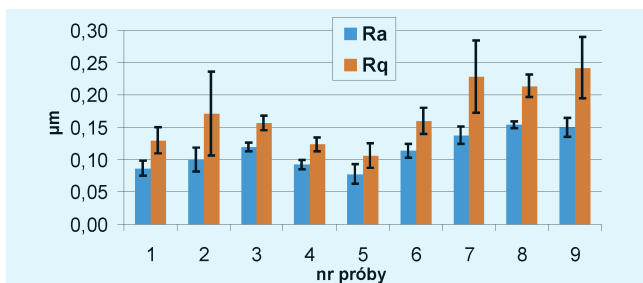
\* Dr hab. inż. Mariusz Deja ([mariusz.deja@pg.edu.pl](mailto:mariusz.deja@pg.edu.pl)), dr inż. Piotr Waszczur ([piotr.waszczur@pg.edu.pl](mailto:piotr.waszczur@pg.edu.pl)), mgr inż. Karolina Wszelak ([karolina.wszelak@pg.edu.pl](mailto:karolina.wszelak@pg.edu.pl)) – Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej

Przyjęto statyczny zdeterminowany kompletny 3-wartościowy plan badań – PS/DK-3<sup>2</sup>. Każda próba szlifowania (tabl. I) była powtarzana.

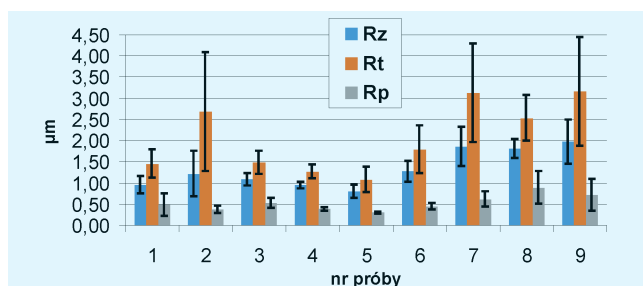
Przyjęto mniejsze wartości prędkości posuwu wzdłużnego  $v_{ft}$  od zalecanych [2], ponieważ przy większych prędkościach rosły chropowatość i falistość powierzchni PO z widocznymi nierównościami w postaci prążków. Po każdej próbie szlifowania i jej powtórzeniu wykonywano po 4 pomiary chropowatości powierzchni – łącznie 8 pomiarów. Do tego celu wykorzystano profilometr stykowy HOMMEL TESTER T1000. Pomiary przeprowadzono dla odcinka elementarnego 0,8 mm.

## Wyniki badań

Na rys. 2 i 3 przedstawiono średnie wartości parametrów chropowatości z poszczególnych prób szlifowania (tabl. I), a jako miarę rozrzutu przyjęto wartość odchylenia standardowego. Największe wartości parametrów chropowatości, niezależnie od głębokości szlifowania, otrzymano po próbach nr 7–9 przeprowadzonych z największą prędkością



Rys. 2. Średnie wartości parametrów chropowatości powierzchni  $R_a$  i  $R_q$  uzyskane po kolejnych próbach szlifowania



Rys. 3. Średnie wartości parametrów chropowatości powierzchni  $R_z$ ,  $R_t$  i  $R_p$  uzyskane po kolejnych próbach szlifowania

TABLICA II. Analiza ANOVA parametru  $R_a$

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
$v_{ft} \cdot a_e$	0,005	4	0,001	8,297	0,000	2,518
błąd	0,009	63	0,000			
całkowita	0,05875	71				

Legenda: SS – suma kwadratów odchyień; df – liczba stopni swobody; MS – średni kwadrat odchyień; F – obliczona wartość statystyki F; p – prawdopodobieństwo; test F – wartość krytyczna odczytana przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

TABLICA III. Analiza ANOVA parametru  $R_t$

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
$v_{ft} \cdot a_e$	15,352	4	3,838	4,466	0,003	2,518
błąd	54,140	63	0,859			
całkowita	104,066	71				

TABLICA IV. Analiza ANOVA parametru  $R_z$

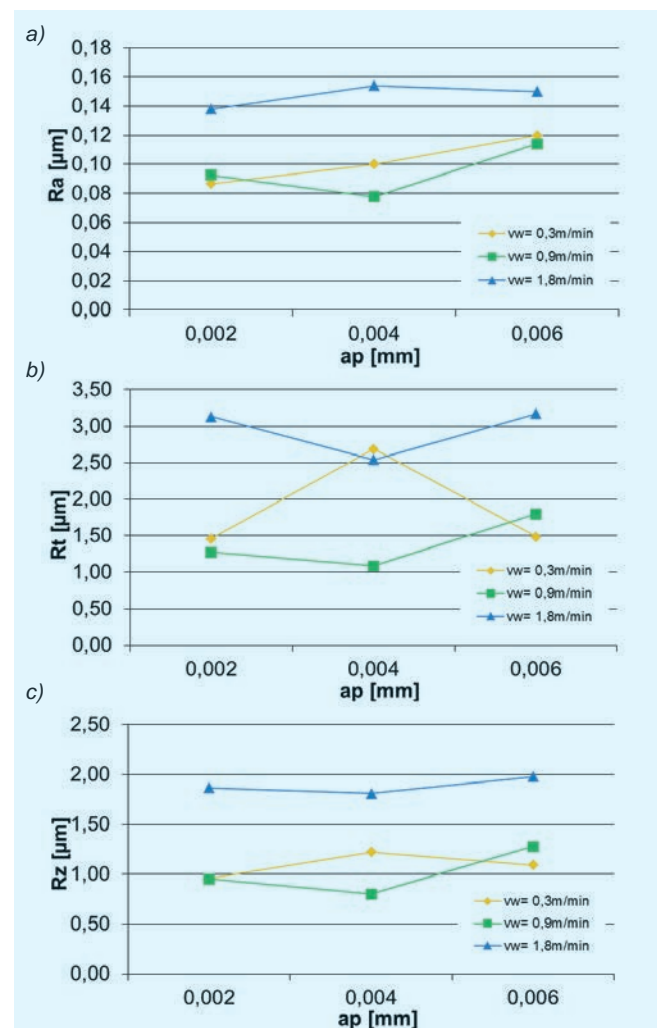
Źródło wariacji	SS	df	MS	F	p	Test F
$v_{ft}$	12,871	2	6,435	58,958	0,000	3,143
$a_e$	0,543	2	0,272	2,489	0,091	3,143
$v_{ft} \cdot a_e$	1,147	4	0,287	2,628	0,043	2,518
błąd	6,877	63	0,109			
całkowita	21,438	71				

posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft} = 1,8$  m/min. Najkorzystniejsze – najmniejsze – wartości parametrów chropowatości, takich jak  $R_a$ ,  $R_z$  i  $R_t$ , uzyskano po szlifowaniu z  $v_{ft} = 0,9$  m/min i  $a_e = 0,004$  mm.

W tabl. II–IV zamieszczono wyniki badania istotności wpływu parametrów szlifowania na wartości parametrów chropowatości powierzchni. Analizę przeprowadzono dla założonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ .

W przypadku parametru chropowatości  $R_a$  istotny wpływ na wynik szlifowania miały parametry  $v_{ft}$  i  $a_e$  oraz interakcja pomiędzy nimi. Na parametr  $R_t$  największy wpływ miały prędkość posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft}$  oraz interakcja tego parametru z głębokością szlifowania  $a_e$ . Podobne rezultaty uzyskano dla parametru  $R_z$ .

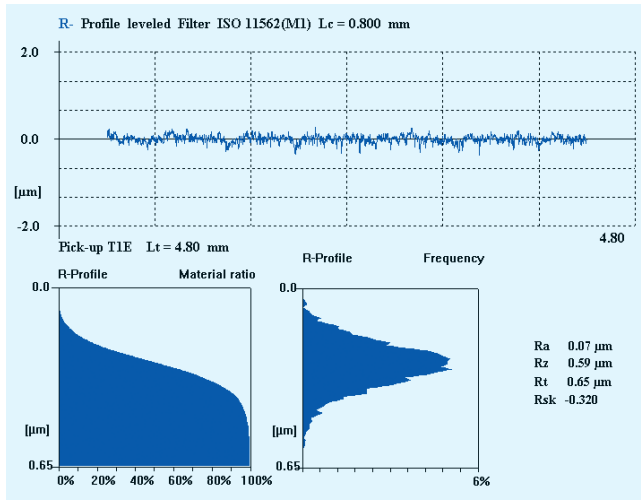
Na rys. 4 przedstawiono wartości parametrów chropowatości  $R_a$ ,  $R_t$  i  $R_z$  uzyskane w zależności od prędkości posuwu przedmiotu i głębokości szlifowania. Można



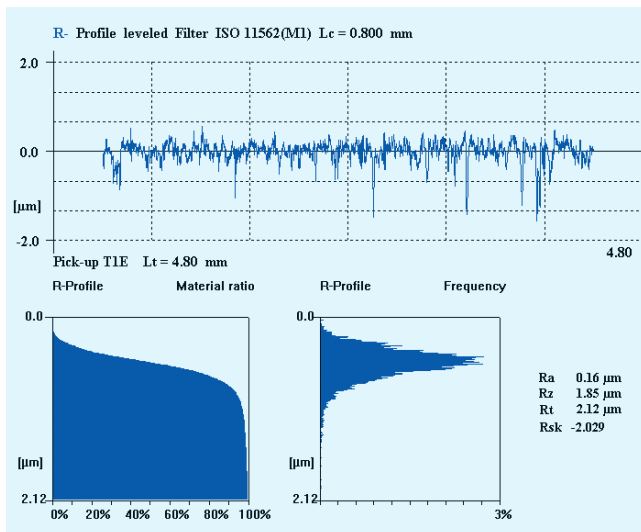
Rys. 4. Zależność parametrów chropowatości: a)  $R_a$ , b)  $R_t$ , c)  $R_z$  szlifowanej powierzchni od prędkości posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft}$  i głębokości szlifowania  $a_e$

zauważyć, że w zakresie przyjętych wartości parametru  $v_{ft} = 0,3$  i  $0,9$  m/min uzyskano zbliżone wartości parametrów  $Ra$  i  $Rz$  niezależnie od głębokości szlifowania. Tylko w przypadku parametru  $Rt$  odnotowano znaczne wartości także przy najmniejszej prędkości posuwu wzdłużnego przedmiotu  $v_{ft}$  i głębokości szlifowania  $a_e = 0,004$  mm.

Przykładowe profile chropowatości z krzywymi udziału materiałowego i rozkładami rzędnych zilustrowano na rys. 5–7.



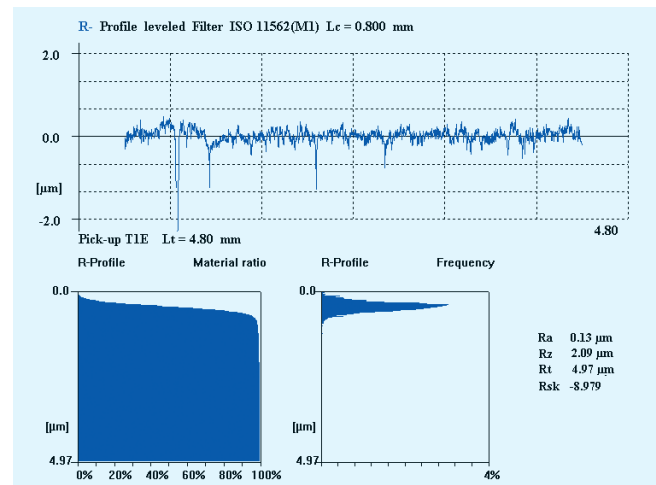
Rys. 5. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po szlifowaniu z parametrami  $v_{ft} = 0,9$  m/min i  $a_e = 0,004$  mm



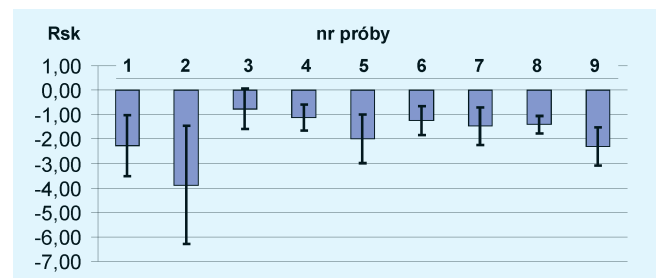
Rys. 6. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po szlifowaniu z parametrami  $v_{ft} = 1,8$  m/min i  $a_e = 0,006$  mm

Najkorzystniejsze powierzchnie uzyskano po próbie szlifowania nr 5. Przykładowy profil takiej powierzchni przedstawiono na rys. 5. Profil powierzchni po szlifowaniu z największymi przyjętymi wartościami parametrów (próba nr 9) pokazano na rys. 6. Gdy porówna się profile z rys. 5 i 6, widać różnice będące wynikiem występowania rys na powierzchni, które można łączyć z małą twardością obrabianego materiału. Rysy są również widoczne na profilu chropowatości z rys. 7 uzyskany po próbie szlifowania nr 2. Ich powstanie wpłynęło na wartość parametru  $Rt$ .

Na rys. 8 przedstawiono wartości współczynnika asymetrii profilu chropowatości  $Rsk$  uzyskane po poszczególnych próbach szlifowania. Ujemne wartości tego parametru wskazują, że szlifowane powierzchnie mają duży udział nośny.



Rys. 7. Przykładowy profil chropowatości powierzchni uzyskany po szlifowaniu z parametrami  $v_{ft} = 0,3$  m/min i  $a_e = 0,004$  mm



Rys. 8. Średnie wartości współczynnika asymetrii profilu chropowatości  $Rsk$  po kolejnych próbach szlifowania

## Podsumowanie

Na podstawie badań szlifowania stali 1.0562 w stanie zmięczonym ustalono, że prędkość posuwu wzdłużnego  $v_{ft}$  ma większy wpływ na chropowatość powierzchni niż głębokość szlifowania  $a_e$ . Najniższą chropowatość powierzchni odnotowano dla parametrów obróbkowych przyjętych w próbie szlifowania nr 5. Najmniejsze wartości parametru chropowatości  $Ra$  – w zakresie  $0,06 \div 0,08$   $\mu\text{m}$  – wydają się granicznymi wartościami, jakie można osiągnąć w przyjętych warunkach badań szlifowania przedmiotów o małej twardości. Zwiększenie prędkości  $v_{ft}$  powyżej  $1,8$  m/min skutkowało wzrostem chropowatości powierzchni. Przy najmniejszej przyjętej prędkości posuwu również nie uzyskano najkorzystniejszych rezultatów.

## LITERATURA

- Janardhan M. „An integrated evaluation approach for modelling and optimization of surface grinding process parameters”. *Materials Today: Proceedings*. 2 (2015 ): s. 1622–1633.
- Ocoś K.E., Porzycki J. „Szlifowanie: podstawy i technika”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1986.
- 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.
- 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*. 150 (2016): s. 1073–1080.
- Uhlmann E. et al. „Influence of rail grinding process parameters on rail surface roughness and surface layer hardness”. *Wear*. 366–367 (2016): s. 287–293.
- 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*. 137 (2016): s. 1672–1681.