

Badania czynników determinujących efektywność procesu szlifowania

MIROŚLAW KOTWIS, WOJCIECH ŻYŁKA

W artykule przedstawiono analizę czynników determinujących rezultaty obróbki szlifowaniem powierzchni elementów maszyn. Przedstawiono także rezultaty badań eksperymentalnych dotyczących wpływu wybranych czynników tego procesu na stan powierzchni szlifowanych elementów obrotowych.

WPROWADZENIE

Szlifowanie to jedna z form obróbki ubytkowej [2]. Operacje szlifowania stanowią najczęściej jedną z ostatnich operacji procesu technologicznego wielu elementów maszyn. Właśnie takie usytuowanie szlifowania w całym procesie wytwórczym powoduje, że poświęca się jemu tak dużo uwagi. Od stanu powierzchni elementów występujących w strukturze maszyn i urządzeń zależy bowiem ich sprawność i wydajność, a więc ogólnie ujmując – efektywność maszyn.

CZYNNIKI DECYDUJĄCE O EFEKTYWNOŚCI SZLIFOWANIA

Do najistotniejszych czynników mających wpływ na przebieg oraz efekt końcowy procesu szlifowania zalicza się:

1) **Stan obrabiarki**; zespoły funkcyjne nie powinny generować drgań o amplitudzie $A > 0,3 \mu\text{m}$. Z tego powodu ważne jest okresowe sprawdzanie stanu technicznego obrabiarki oraz ewentualne korygowanie stwierdzonych nieprawidłowości. Na rys. 1 przedstawiono newralgiczne miejsca, w których

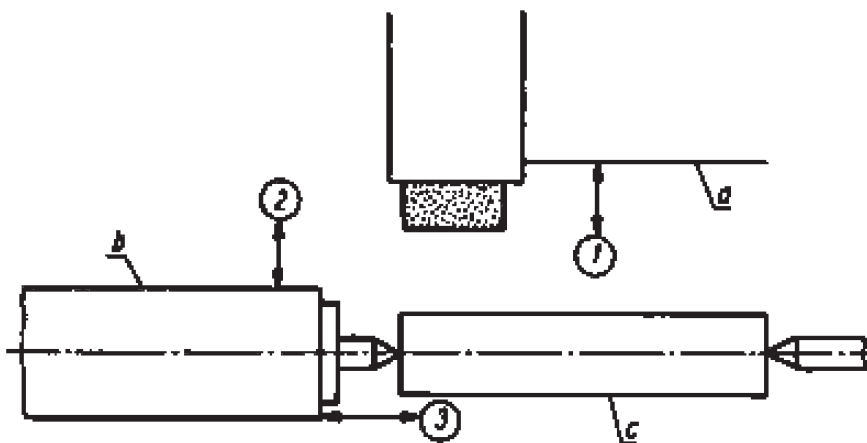
mogą być, i najczęściej są generowane drgania.

2) **Narzędzia**; mają one równie duży jak obrabiarki wpływ na efekt końcowy procesu. Narzędziem najczęściej używanym jest ściernica. Ważny jest jej odpowiedni dobór oraz właściwe przygotowanie. Cechami, które należy wziąć pod uwagę wybierając ściernicę są:

- geometryczne cechy konstrukcyjne ściernicy – dobierane są one zależnie od szlifierki, na której realizowana będzie obróbka. Zazwyczaj wybierane są jak największe wymiary z uwagi na wymagany zapas na zużycie

- rodzaj ścierniwa; wybierany jest pod względem jego właściwości fizykochemicznych oraz struktury obrabianego przedmiotu.

- granulację ziarna; na wybór tej cechy ma wpływ: rodzaj obrabianego przedmiotu, sposobu szlifowania, oczekiwa-



Rys. 1. Potencjalne miejsca generowanych drgań w szlifierce do wałków: a) wrzeciennik ściernicy, b) wrzeciennik przedmiotu obrabianego, c) obrabiany przedmiot; 1, 2, 3 – kierunki pomiaru amplitudy [1]

* Mgr inż. Mirosław Kotwis, Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Inżynierii Materiałowej – absolwent, dr inż. Wojciech Żyłka, e-mail: w.zylka@ur.edu.pl, Uniwersytet Rzeszowski, Instytut Inżynierii Materiałowej.

na dokładność obróbki oraz chropowatość powierzchni. Należy przy tym pamiętać, że wraz ze zmniejszaniem się gabarytów ziaren zmniejsza się wydajność szlifowania, ale jednocześnie poprawia się dokładność obróbki oraz zmniejsza chropowatość obrobionej powierzchni;

– rodzaj spoiwa; spoiwo jest jednym ze składników strukturalnych ściernicy. Ściernice poprawnie przygotowane do obróbki mają ziarna, których wierzchołki wystają ponad powierzchnię spoiwa 1/5÷1/8 ich gabarytów. Warunek ten jednocześnie wyznacza graniczną wartość dosuwu. W procesie szlifowania zużywaniu ulegają zarówno ścierniwo jak i spoiwo;

– struktura ściernicy; jest ona zależna od sposobu obróbki oraz rodzaju obrabianego materiału;

Istotne cechy ściernicy zakodowane są w jej oznaczeniu. Na rys. 2 przedstawiono składowe pełnego oznaczenia ściernicy ułatwiające prawidłowy wybór.

Kształt narzędzia ściernego wybierany jest w zależności od rodzaju danej operacji technologicznej obróbki. W ozna-

czeniu na rys. 2 *T1A* oznacza ściernicę tarczową, zalecaną do szlifowania powierzchni takich jak zewnętrzne wałków, bądź powierzchnie płaskie. Poza wielkościami objaśnionymi na rys. 2 w kodzie oznaczenia zawarto również: *D* – średnicę zewnętrzną, *d* – średnicę otworu oraz *H* – szerokość ściernicy. Wymiary ziarna, tj. numer ziarna, ustalany jest metodą analizy sitowej lub

sedymentacji. Z kolei twardość narzędzia ściernego to opór stawiany przez spoiwo podczas wyrywania ziaren z narzędzia w trakcie działania czynników zewnętrznych. Wytrzymałość ta jest uzależniona od właściwości spoiwa, grubości mostków spoiwa oraz od technologii wytwarzania narzędzia [1].

Przygotowanie ściernicy do pracy odbywa się poprzez kontrolę jej zewnętrznej struktury, wykrycia ewentualnych pęknięć, które mogły powstać na skutek transportu lub niewłaściwego przechowywania. W tym celu ściernica jest podwieszana i uderzana w kilku miejscach drewnianym młotkiem. Jeśli ściernica nie jest pęknięta i nie posiada uszkodzeń, jej dźwięk powinien być czysty. Równie istotną kwestią w jej przygotowaniu jest jej wyrównowanie, przy czym istotne jest miejsce oraz jego wartość. Niewyrównowanie ma bezpośredni wpływ na wartości: amplitudy drgań *A* wierzchołków ściernicy, chropowatości powierzchni (najczęściej określanego parametrem *Ra* lub *Rz*) oraz falistości *Wz*.

3) Rodzaj obrabianego materiału; w tym aspekcie istotny jest zarówno

– prędkość obwodowa przedmiotu v_p , W przypadku szlifowania wałków jest ona ustalana za pomocą normatywów uwzględniających stosunek $q = v_p/v_s$. Wartość tego stosunku jest dużo większa niż 1, a więc prędkość ta jest dużo mniejsza od prędkości obwodowej średnicy v_s ,

– dosuw ściernicy (głębokość szlifowania) *g*; w przypadku obróbki wykończeniowej wynosi ona 2÷3 μm. Wartość dosuwu pośrednio wpływa na niezbędną liczbę przejść *i* ściernicy, a zatem także czas procesu szlifowania,

– prędkość posuwu; w przypadku szlifowania z posuwem wzdłużnym *f* jego wartość przyjmuje się na poziomie 1/2÷2/3 szerokości ściernicy. Zwiększenie wartości posuwu skutkuje pogorszeniem się chropowatości powierzchni,

– liczba przejść wyskrzających *i*; wpływa ona na chropowatość obrabianej powierzchni i dlatego powinna być poprawnie dobrana. Stabilizację poziomu chropowatości uzyskuje się po kilku bądź kilkunastu przejściach.

5) Płyn obróbkowy; do jego podstawowych zadań zalicza się [1]:

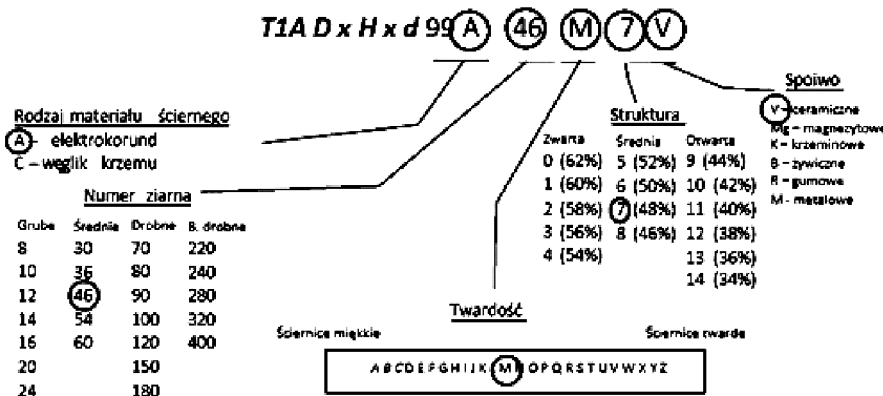
– chłodzenie w strefie obróbki,

– zmniejszenie tarcia między obrabianym materiałem a ziarnami ściernymi i spoiwem,

– usuwanie produktów obróbki (nie-wielkich wiórow) oraz zanieczyszczeń ze strefy obróbki oraz zmywanie powierzchni,

– zabezpieczenie przedmiotu szlifowanego oraz elementów obrabiarki przed korozją.

W procesach szlifowania stosowane są przeważnie płyny olejowe, emulsje bądź roztwory wodne, z tym, że płyny olejowe używane są podczas szlifowania zgrubnego, kształtowego. Są one stosowane w przypadku szlifowania z bardzo dużymi prędkościami skrawania $v \cdot 40$ m/s. Wynika to z następującej zależności – roztwory wodne oraz emulsje parują przy temperaturze 100°C, natomiast płyny olejowe zaczynają wrzeć w temperaturze 240°C. Dodatkowym atutem stosowania tego płynu jest uzyskanie mniejszego poziomu chropowatości powierzchni obrabianego elementu oraz małe zużycie



Rys. 2. Oznaczenie ściernicy oraz objaśnienia jego elementów [5]

czeniu na rys. 2 *T1A* oznacza ściernicę tarczową, zalecaną do szlifowania powierzchni takich jak zewnętrzne wałków, bądź powierzchnie płaskie. Poza wielkościami objaśnionymi na rys. 2 w kodzie oznaczenia zawarto również: *D* – średnicę zewnętrzną, *d* – średnicę otworu oraz *H* – szerokość ściernicy. Wymiary ziarna, tj. numer ziarna, ustalany jest metodą analizy sitowej lub

jego skład chemiczny jak również stan kwalifikacyjny. Ten czynnik determinuje w dużym stopniu parametry obróbki, a także strukturę narzędzia.

4) Parametry procesu szlifowania [1]:

– prędkość obwodowa ściernicy v_s , zależna od wybranego jej rodzaju oraz średnicy,

ściernicy. Emulsje lub roztwory wodne są natomiast zalecane w przypadku szlifowania wykończeniowego, czyli przy lekkich warunkach procesu skrawania. W tym przypadku istotne są zarówno funkcje chłodzące jak również smarujące [5].

Powyżej przedstawiono czynniki, które mają wpływ na szeroko pojętą efektywność procesu szlifowania. Nie hierarchizowano ich, gdyż znaczenie poszczególnych czynników może być różne, w zależności od usytuowania tego procesu w całym procesie wytwórczym.

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Liczny, przedstawiony wyżej zbiór czynników, które determinują efekty szlifowania, a także obserwowane postępy inżynierii materiałowej powodują to, że ciągle jeszcze potrzebne są badania dotyczące relacji w tym zakresie. Przedstawione poniżej rezultaty badań zostały zrealizowane w ramach pracy dyplomowej [4]. Miały one na celu określenie relacji między parametrami obróbki (szlifowania), a uzyskaną chropowatością przy obróbce ściernicami, których stan początkowy zależny był od

prędkości posuwu przy diamentowaniu. W ten sposób w badaniach uwzględniono wpływ stanu ściernicy na chropowatość.

Warunki badań

Szlifowano wałek ze stali 1.6587 o średnicy $d = 40$ mm. Skład chemiczny i własności tej stali zawarte są w normie [3]. Obróbkę realizowano na szlifierce JOTES E 450 NP za pomocą ściernicy 89A 80 H5 V217. Najistotniejsze wartości parametrów realizowanej obróbki były następujące:

- prędkość obwodowa ściernicy $v_s = 25$ m/s,
- posuw szlifowania: $f_1 = 0,5$ m/s, $f_2 = 1,5$ m/s, $f_3 = 2,5$ m/s,
- głębokość szlifowania (dosuw) $g = 0,01$ mm.

Początkowy stan ściernicy zmieniano obciążając ją (diamentując) z trzema prędkościami: $f_{d1} = 0,5$ m/s, $f_{d2} = 1,5$ m/s, $f_{d3} = 2,5$ m/s.

Obróbkę prowadzono z użyciem 5% roztworu emulsji syntetycznej jako płynu chłodząco-smarującego.

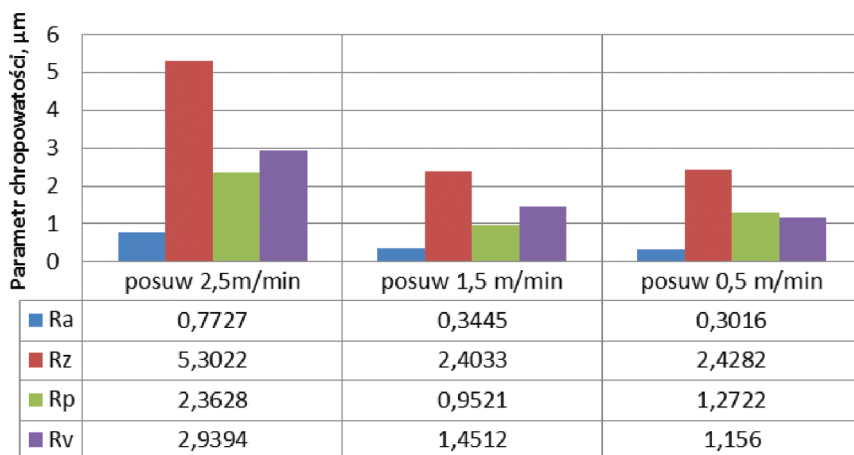
Efekty obróbki obserwowano porównując następujące parametry uzyskanej chropowatości:

- średnie arytmetyczne odchylenie profilu - R_a ,
- wysokość profilu wg 10 punktów - R_z ,
- maksymalna wysokość wzniesienia - R_p ,
- maksymalna głębokość wgłębienia - R_v .

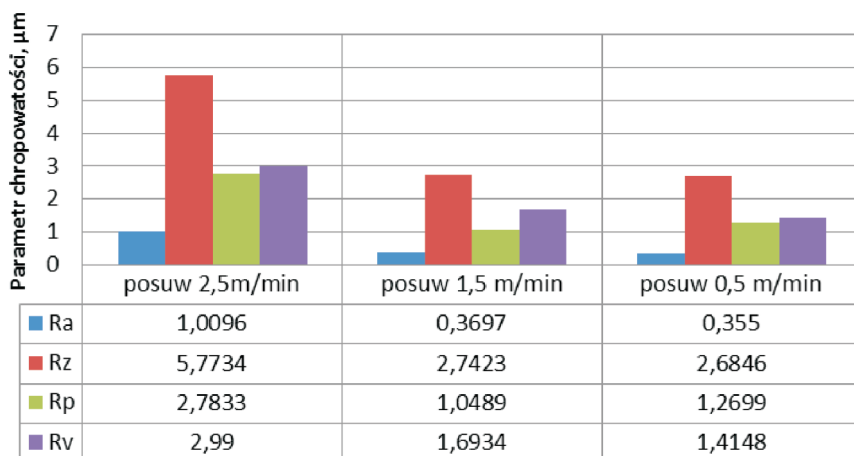
Mierzono je na maszynie pomiarowej - MarSurf GD 120 z głowicą pomiarową BFW A 4-45-2/90.

Rezultaty badań i ich analiza

Uzyskane w opisanych badaniach wyniki przedstawiono w formie histogramów na kolejnych rysunkach. Na rys. 3 przedstawiono chropowatość powierzchni jaką uzyskano szlifując element ściernicą diamentowaną z prędkością 0,5 m/min przy różnych posuwach. Największe wartości mierzonych parametrów uzyskano przy posuwie 2,5 m/min, np. wartość parametru $R_a = 0,77 \mu\text{m}$, a $R_z = 5,30 \mu\text{m}$. Najmniejsze wartości tych parametrów, uzyskane przy posuwie 0,5 m/min,



Rys. 3. Wpływ posuwu na chropowatość powierzchni szlifowanej tarczą ścierną 89A 80 H5 V217 przy diamentowaniu jej z prędkością $fd1 = 0,5$ m/min



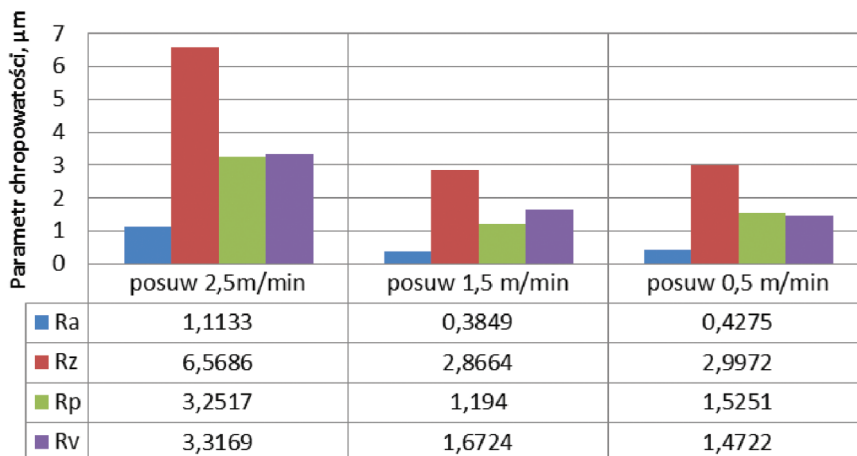
Rys. 4. Wpływ posuwu na chropowatość powierzchni szlifowanej tarczą ścierną 89A 80 H5 V217 przy diamentowaniu jej z prędkością $fd2 = 1,5$ m/min

wynosiły odpowiednio: $R_a = 0,30 \mu\text{m}$ oraz $R_z = 2,43 \mu\text{m}$. Różnica między wartościami max i min wynosiły zatem $0,47 \mu\text{m}$ (R_a) oraz $2,87 \mu\text{m}$ (R_z).

Na rys. 4 przedstawiono wpływ posuwu na chropowatość badanego elementu lecz przy prędkości diamentowania $1,5 \text{ m/min}$, z użyciem takiej samej tarczy. Zwiększając prędkości posuwu zwiększają się parametry chropowatości obrabianej powierzchni, a zatem obserwowane trendy były podobne jak w przypadku mniejszej prędkości diamentowania. Największą wartość parametru R_a uzyskano przy posuwie $2,5 \text{ m/min}$ i wynosiła ona $R_a = 1,01 \mu\text{m}$, natomiast najmniejsze – przy posuwie $0,5 \text{ m/min}$ i wynosiła ona $R_a = 0,36 \mu\text{m}$. Podobny obraz był w przypadku parametru R_z . Największą wartość tego parametru – $5,77 \mu\text{m}$ uzyskano szlifując powierzchnię z posuwem $2,5 \text{ m/min}$, najmniejszą zaś – $2,68 \mu\text{m}$, przy posuwie $0,5 \text{ m/min}$. Różnice między maksymalną i minimalną wartością wynosiły odpowiednio: $0,65 \mu\text{m}$ oraz $3,09 \mu\text{m}$, dla obydwóch posuwów były zatem większe niż dla ściernicy diamentowanej z prędkością $0,5 \text{ m/min}$.

W wyniku szlifowania próbek tarczą diamentowaną z prędkością $f_{d3} = 2,5 \text{ m/min}$ wpływ posuwu był nieco odmienny niż uprzednio – rys. 5. Najmniejsze wartości uzyskano przy posuwie $1,5 \text{ m/min}$ – $R_a = 0,38 \mu\text{m}$, natomiast największe – $R_a = 1,11 \mu\text{m}$, przy posuwie $2,5 \text{ m/min}$. Przy najmniejszej wartości posuwu ($0,5 \text{ m/min}$) R_a wynosi $0,43 \mu\text{m}$. Różnica między ekstremalnymi wynikami pomiarów wynosiła $0,73 \mu\text{m}$. W przypadku parametru R_z największą jego wartość ($6,57 \mu\text{m}$) uzyskano przy szlifowaniu z największym posuwem, a najmniejszą ($2,87 \mu\text{m}$) także przy posuwie $1,5 \text{ m/min}$. Różnica między tymi dwoma wynikami wynosi $3,7 \mu\text{m}$,

Przy prędkości diamentowania $f_{d3} = 2,5 \text{ m/min}$, nieco inny niż dla pozostałych prędkości jest rozkład całej wysokości przy posuwach f_1 i f_2 . Pomimo tego, że najmniejsze wartości parametru R_z (będącego sumą parametrów R_p i R_v) uzyskano przy posuwie f_2 , a więc odmiennie niż w dwóch pozostałych przypadkach prędkości diamentowania, głębokość wgłębienia R_v jest większa niż przy posuwie $0,5 \text{ m/min}$, a więc tak jak w przypadkach poprzednich.



Rys. 5. Wpływ posuwu na chropowatość powierzchni szlifowanej tarczą ścierną 89A 80 H5 V217 przy diamentowaniu jej z prędkością $f_{d3} = 2,5 \text{ m/min}$

Podsumowując ten cykl badań stwierdzić można, że w badanym przedziale zmienności posuwu ściernicy f jego zwiększanie powoduje uzyskanie powierzchni o większej chropowatości i dotyczy to zarówno parametru R_a jak i R_z . Taki obraz zależności jest zgodny z oczekiwaniami.

Jako nową informację można natomiast uznać stwierdzoną relację prędkości diamentowania ściernicy i różnicy między uzyskanymi wartościami chropowatości, dla różnych posuwów ściernicy. Przy małej prędkości diamentowania różnice te były wyraźnie mniejsze niż przy dużych.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania eksperymentalne, których rezultaty przedstawiono powyżej pozwoliły na sformułowanie wniosków. Część z nich stanowi potwierdzenie wiadomości już znanych, część z nich można uznać jako wnioski poznawcze.

Do pierwszej grupy wniosków zaliczyć z pewnością można potwierdzenie tego, że posuw ściernicy wpływa istotnie na chropowatość uzyskiwanej powierzchni. Im wartość tej wielkości technologicznej jest większa tym chropowatość szlifowanej powierzchni także jest większa.

Przeprowadzone badania potwierdziły pośrednio także znany fakt, że parametry opisujące strukturę geometryczną

obrabianych powierzchni (SGP) są ze sobą w pewnych korelacjach.

Jako wniosek poznawczy wynikający z przedstawionych badań można uznać stwierdzenie relacji między stanem początkowym ściernicy a rezultatami obróbki. Zwrócono w ten sposób uwagę na to, że właściwe przygotowanie narzędzia do obróbki może zapewnić albo uniemożliwić (lub utrudnić) uzyskanie oczekiwanych jej rezultatów.

LITERATURA

- [1] Feld M.: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2012.
- [2] Kosmol J. (red.): Techniki wytwarzania. Obróbka wiórowa i ścierna. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] Kotwis M.: Wpływ obróbki ścierniej na mikrogeometrię powierzchni stali stopowej. Praca magisterska. Uniwersytet Rzeszowski. Rzeszów 2020. (niepublikowane)
- [4] Norma PN-EN ISO 683-3:2022-07 Stale do obróbki cieplnej, stale stopowe i stale automatowe – Część 3: Stale do nawęglania.
- [5] Pająk E.: Obróbka ubytkowa. Technologia obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej oraz systemów mikroelektromechanicznych. Wydawnictwo PWSZ w Koninie, Konin 2016.