

Aplikacyjne aspekty stosowania obróbki ścierniej

IVAN L. OBORSKY, MICHAŁ STYP-REKOWSKI *

Pod pojęciem obróbki ścierniej rozumie się zbiór obróbek wykorzystywanych do nadania obrabianym najczęściej innymi metodami powierzchniom oczekiwanych, końcowych cech. Zbiór ten jest dosyć liczny, a ponadto wzbogacany jest różnymi innymi metodami obróbki, przez co zwiększa się ich efektywność, lecz w wyniku tego obrabiane powierzchnie nabierają innych cech eksploatacyjnych. W artykule przedstawiono kilka przykładów takich łączonych obróbek i wskazano na jakie zagadnienia należy w takiej obróbce zwrócić uwagę.

WPROWADZENIE

Obróbki ściernie to jeden z dwóch podzbiorów (drugi to obróbki wiórowe) tworzących zbiór obróbki skrawaniem, stanowiącej ciągle dominujący sposób kształtowania elementów w procesach produkcyjnych wszelkiego rodzaju maszyn i urządzeń. Względy ekologiczne, a także ekonomiczne wywołują obserwowaną tendencję aby stan ten zmienić lecz jak na razie efekty tych działań nie są satysfakcjonujące. Można oczekiwać, że dynamiczny rozwój obróbek przyrostowych zmiany te przyspieszą.

SZLIFOWANIE W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH

Operacje obróbki szlifowaniem występują w końcowej fazie procesu produkcyjnego i najczęściej mają charakter gładkościowy. Jako obróbka kształtująca strukturę obrabianej powierzchni oraz warstwy wierzchniej wytwarzanych elementów, szlifowanie w istotny sposób wpływa na cechy użytkowe samych elementów, a tym samym – maszyn, w których strukturze występują. Znanych jest kilka odmian obróbki szlifowaniem. Wśród nich najogólniej można wyróżnić obróbkę:

- narzędziem ściernym (o różnym kształcie),
- luźnym ścierniwem.

W zależności od rodzaju operacji szlifowania możliwe jest uzyskanie powierzchni o różnej strukturze (kierunkowości, izotropowości) oraz o zróżnicowanej chropowatości.

Do oceny ilościowej tej ostatniej cechy używanych jest wiele parametrów, przy czym wymagania dotyczące obrabianej powierzchni najczęściej określa się oczekiwaną wartością parametrów R_a i R_z .

Poniżej, w Tabeli 1 zawarto wartości parametru R_a pozwalające na zakwalifikowanie powierzchni do danej klasy.

Analiza danych zawartych w Tabeli 1 wykazuje, że chropowatość uzyskiwana za pomocą różnych operacji szlifowania mieści się w przedziale $R_a \langle 0,10; 1,25 \rangle \mu\text{m}$. Dla porównania zamieszczono także zakres chropowatości dla obróbki wykończeniowej uzyskiwanej obróbką wiórową. Wartości te są znacząco większe: $R_a \langle 2,50; 5,00 \rangle \mu\text{m}$, przy czym taki duży zakres dla operacji skrawania wykończeniowego powoduje, że powierzchnie mogą być klasyfikowane w 5 lub 6 klasie chropowatości. Wynika to z tego, że zbiór obróbek wiórowych i używanych narzędzi jest liczny i różnorodny. Należy przy tym pamiętać, że przytoczone wartości parametrów chropowatości zależą od wielu czynników, np. od parametrów obróbki, rodzaju oraz cech obrabianego materiału, użytych narzędzi i innych. Z tego powodu przypisanie danej operacji szlifowania do określonej klasy chropowatości jest tylko orientacyjne.

* Prof Ivan L. Oborski, Instytut Techniczny Kijów, Ukraina, prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski, Politechnika Bydgoska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, emeryt, m.styprekowski@wp.pl.

Tabela 1. Graniczne wartości parametrów chropowatości kwalifikujące powierzchnie szlifowane do określonej klasy wg [5]

Rodzaj obróbki (operacji)	Klasa chropowatości	Parametr chropowatości [μm]	
		<i>Ra</i>	<i>Rz</i>
skrawanie wykończeniowe	6	2,50÷5,00	10,00÷20,00
szlifowanie zgrubne	7	1,25	6,30
szlifowanie dokładne	8	0,63	3,20
szlifowanie wykończeniowe	9	0,32	1,60
docieranie	10	0,16	0,80
docieranie pastą diamentową	11	0,08	0,40
honowanie	12	0,04	0,20
polerowanie	13	0,02	0,10
polerowanie precyzyjne	14	0,01	0,05

W Tabeli 1 podano także wartości parametru *Rz*, wykazującego dobrą korelację (współczynnik korelacji = 0,96 [6]) z parametrem *Ra*.

W celu zwiększenia efektywności obróbki szlifowaniem stosuje się różnego rodzaju jej wspomaganie, np. obróbka wibro-ścierna, elektrochemiczno-ścierna, strumieniowo-ścierna, przetłoczno-ścierna i inne. Wspomagający „dodatek” nie tylko poprawia efektywność obróbki ścierniej, lecz najczęściej zwiększa także obszar możliwości jej stosowania.

W procesach technologicznych obróbka szlifowaniem realizowana jest w końcowej fazie procesu produkcyjnego jako obróbka wykończeniowa. Ta jej cecha powoduje, że musi być ona dokładna. W Tabeli 2 przedstawiono klasy

Tabela 2. Klasy dokładności możliwe do uzyskania różnymi rodzajami obróbki ścierniej wg [3, 4]

L.p.	Rodzaj obróbki/operacji	Klasa dokładności IT
1	skrawanie wykończeniowe	5÷7
2	szlifowanie	4÷5
3	gładzenie	1÷3
4	docieranie	4÷5
5	polerowanie	1÷4
6	obróbka wibro-ścierna	7
7	wygładzanie strumieniowo-ściernie	6



dokładności możliwe do uzyskania różnymi odmianami obróbki ścierniej.

Analizując zestawione w Tabeli 2 informacje, można stwierdzić, że zakres możliwej do uzyskania dokładności obróbki ścierniej jest duży: $\langle 1 \div 7 \rangle$ IT. Dokładność graniczna (najmniejsza) jest możliwa do uzyskania także za pomocą obróbki wiórowej, co potwierdzają wartości dodatkowo podane w Tabeli 2 dla tej obróbki. Wynika stąd wniosek, że warto zastanowić się nad zastąpieniem bardzo energochłonnej obróbki szlifowaniem, obróbką wiórową, wymagającą mniej energii jednost-

kowej. Dotyczy to szczególnie elementów o dużych wymiarach [1].

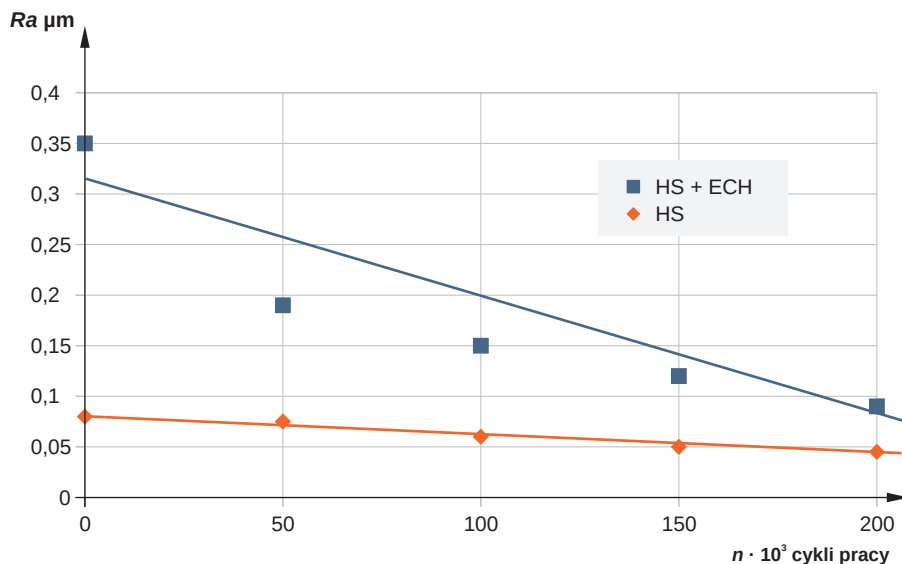
Dokładność obróbki ścierniej, podobnie jak w przypadku uzyskiwanej chropowatości (choć może w mniejszym stopniu), zależy od parametrów i warunków obróbki, a także od rodzaju obrabianego materiału.

Postęp w zakresie konstrukcji obrabiarek oraz materiałów narzędziowych powoduje, że przytoczone graniczne wartości kwalifikujące powierzchnie do poszczególnych klas mogą ulegać zmianie.

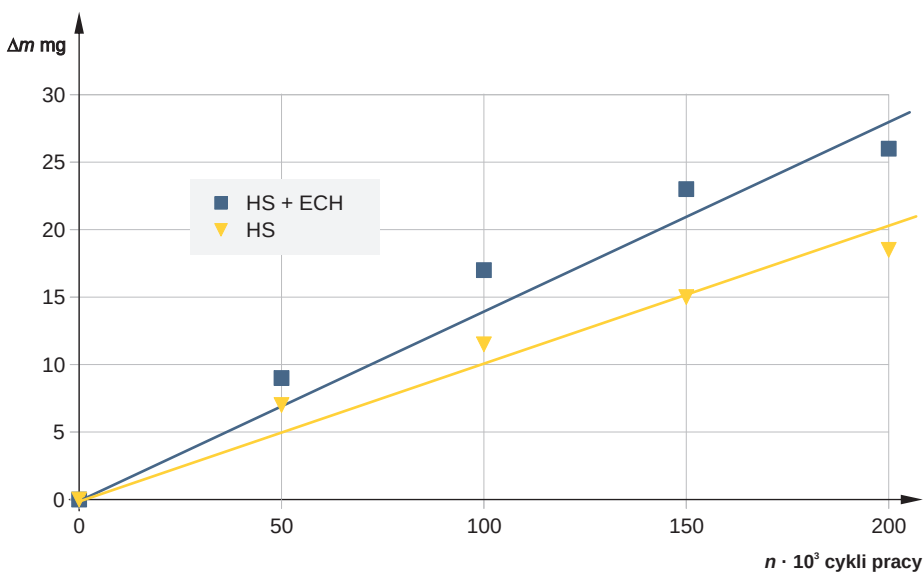
Obróbkę ścierną najczęściej stosuje się w celu uzyskania dużej geometrycznej dokładności wykonania przy małej chropowatości. Znane są także przypadki, że dodatkowo, albo przede wszystkim, oczekuje się że powierzchnia będzie miała na przykład zdefiniowaną strukturę. Należy wówczas zastosować obróbkę o zdefiniowanej kinematyce ruchów narzędzia. Reprezentatywnym przykładem w tym zakresie może być obróbka tulei cylindrycznych silników spalinowych lub siłowników hydraulicznych. Do tego celu wykorzystuje się honowanie. W operacji tej narzędzie wykonuje jednocześnie ruch posuwisto-zwrotny oraz ruch obrotowy. W rezultacie takiej kinematyki narzędzia cylindryczna powierzchnia posiada ślady przecinające się pod pewnym kątem, który zależy od wzajemnych relacji prędkości obrotowej i liniowej. W pracy [8] przedstawiono badania z tego zakresu, które wykazały, że optymalny kąt przecięcia przy kryterium zużycia masowego zależy od wielu czynników, przede wszystkim od cech materiałowych pary trącej.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono rezultaty badań dla skojarzenia stalowy cylinder/żeliwny pierścień uszczelniający przy kącie przecięcia śladów obróbki $\alpha = 45^\circ$. W pracy podano optymalne wartości tego kąta dla różnych skojarzeń materiałowych. Stwierdzono ponadto, że powierzchnie obrabiane zachowują się w eksploatacji różnie w zależności od rodzaju zastosowanej obróbki ścierniej. Porównano zachowanie się powierzchni cylindrów obrabianych standardowym honowaniem (HS) oraz honowaniem standardowym wspomaganym obróbką elektrochemiczną (HS+ECH).

Na rys. 1 przedstawiono zmianę wartości parametru chropowatości R_a powierzchni następującą w rezultacie jej współpracy z żeliwnym pierścieniem uszczelniającym. Widoczne jest, że gradient zmian jest dużo większy dla powierzchni honowanej wspomaganą obróbką elektrochemiczną. Warto zauważyć, że po pewnym czasie ($200 \cdot 10^3$ cykli) chropowatość powierzchni obydwóch porównywanych powierzchni różniła się już tylko w niewielkim stopniu. Wynika stąd wniosek, że proces zużywania powierzchni



Rys. 1. Zmiana wartości parametru chropowatości R_a jako skutku wykonanych cykli pracy n , wg [8]



Rys. 2. Zmiana (ubytek) masy Δm w funkcji wykonanych cykli pracy n , wg [8]

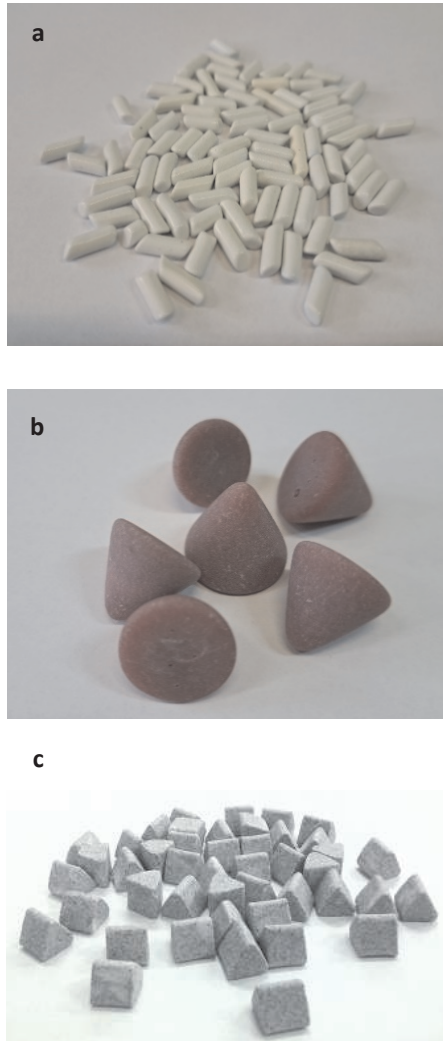
HS+ECH był intensywniejszy niż po HS, a więc w tym przypadku wspomaganie tradycyjnej obróbki HS nie ma uzasadnienia ekonomicznego.

Powyższy wniosek potwierdza analiza wykresów na rys. 2. Masy szybciej ubywa dla cylindrów po HS+ECH niż po HS. Powierzchnie, na które oddziałuje medium robocze obróbki ECH, wspomagane jeszcze dodatkowo prądem elektrycznym ulegają roztwarzaniu i pierścienie uszczelniające łatwiej usuwają produkty erozji niż materiał powierzchni bez tego oddziaływania. W praktyce więc stosuje się honowanie tradycyjne (HS) wspomagane ECH i dopiero na zakończenie samo HS. Uzyskuje się w ten sposób zmniejszenie energochłonności całego cyklu obróbki, nadając przy tym obrabianej powierzchni ślady obróbki przecinające się pod optymalnym kątem. W przypadku jednak gdy głównym kryterium oceny obrabianej powierzchni jest jej estetyka wykorzystanie wspomaganie obróbką ECH może być jak najbardziej uzasadnione.

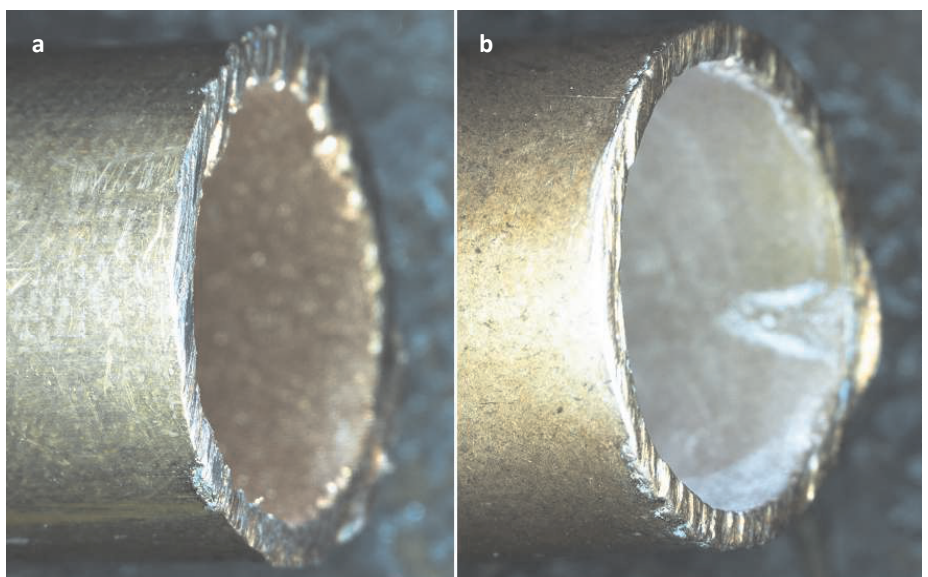
Inny ciekawy przykład zastosowania pewnej odmiany obróbki ścierniej i związane z nią ograniczenia, przedstawiono w pracy [7]. Opisano w niej badania dotyczące zastosowania obróbki wibrościerniej do usuwania zadziorów jakie najczęściej powstają po obróbce wiórowej (np. frezowanie, przecinanie). Ich występowanie może stanowić istotne utrudnienie w dalszej obróbce elementów i z tego powodu niezbędne jest usunięcie zadziorów. Ekonomicznego znaczenia problem ten nabiera w produkcji powtarzalnej (wielkoseryjnej lub masowej).

W obróbce wibrościerniej narzędziem jest materiał ścierny w formie kształtek wykonanych z różnych materiałów ściernych o zróżnicowanych kształtach i wymiarach. Przykłady kształtek wytwarzanych przez krajowych producentów przedstawiono na rys. 3.

Kształtki wraz z elementami obrabianymi umieszczane są w bębnach, których ruch powoduje także ruch względny elementów wsadu (obrabiane elementy i kształtki), w wyniku którego następuje obróbka gładkościowa elementów.



Rys. 3. Kształtki używane w obróbce wibrościerniej: a) porcelanowe WP4x10 P (MARBAD), b) żywiczne K 20 A x (MARBAD), c) ceramiczne CB 20 T (GRANT) [2, 7]



Rys. 4. Widok krawędzi próbek przed obróbką (a) i po 60 min obróbki (b) [7]

W pracy [7] opisano badania gratowania rurek walcowych za pomocą kształtek CB 20 T – rys. 3c, ciętych mechanicznie. Stwierdzono większą skuteczność usuwania zadziorów na krawędziach zewnętrznych (A) niż wewnętrznych (B), co związane było z wymiarami użytych kształtek. W opisywanym przypadku, średnica wewnętrzna tulei wynosząca 13 mm, była zbyt mała, aby użyte kształtki w formie trójkątnego graniastosłupa foremego o długości boku 20 mm mogły swobodnie przemieszczać się względem krawędzi powierzchni wewnętrznych obrabianych elementów. Lepsze efekty obróbki widoczne są zatem na krawędziach powierzchni zewnętrznych – rys. 4.

Ilościowe rezultaty przeprowadzonych badań przedstawiono na rys. 5. We wszystkich przypadkach wyraźnie widoczne są dwa etapy. Pierwszy, o znacznie większej intensywności obróbki – przez początkowe 60 min, przy czym większą intensywność obserwuje się dla krawędzi zewnętrznej (A), oraz drugi, w którym intensywność obróbki jest znacznie mniejsza i dodatkowo – podobna dla wszystkich przypadków.

Ponieważ stwierdzono duże zróżnicowanie efektów obróbki, zarejestrowano oddzielnie maksymalne i minimalne szerokości zadziorów po obróbce. Na rys. 5. przedstawiono rezultaty obróbki w funkcji jej czasu.

Więszą skuteczność obróbki zadziórów na ściankach zewnętrznych niż wewnętrznych związana jest z wymiarami użytych kształtek. W opisywanym przypadku średnica wewnętrzna tulei wynosząca 13 mm, była zbyt mała, aby użyte kształtki w formie trójkątnego graniastosłupa foremnego o długości boku 20 mm mogły swobodnie przemieszczać się względem krawędzi wewnętrznych obrabianych elementów. Stąd też lepsze efekty obróbki widoczne są na krawędziach zewnętrznych.

uwagę w tym zakresie należy zwrócić na możliwość obróbki wibro-ścierniej powierzchni elementów o tworzących o nieregularnej krzywiznie. Obrabianymi próbkami były klamki mające zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, wykonane ze stopu magnezu. Obróbka gładkościowa takich elementów jest bardzo trudna.

W opisanych badaniach zwrócono także uwagę na istotność prawidłowego doboru kształtek, zarówno

zróżnicowane i nie każda modyfikacja w każdej aplikacji przynosi oczekiwane efekty.

Przykłady przedstawione powyżej stanowią jedynie egzemplifikację zagadnienia i miało na celu zwrócenie uwagi na ten aspekt stosowania obróbki ścierniej.

LITERATURA

[1] Bromberek F., Matuszewski M., Styp-Rekowski M., Węgrzyniak T.: Obróbka elementów wielkogabarytowych. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Bydgoskiej Szkoły Wyższej, Bydgoszcz 2022.

[2] Gołąbczak M., Woźniak K., Wincenciak M., Gołąbczak A., Jędrzejczak A., Niewiadomski M.: Powierzchniowa obróbka wibro-ścierna klamek ze stopu magnezu AZ 91. Obróbka Metalu nr 3/2023, ss. 27-33.

[3] <https://cnc.solidexpert.com/faq-baza-wiedzy-cnc/jaki-rodzaj-wykonczenia-powierzchni-pozostawia-obrobka-cnc/>.

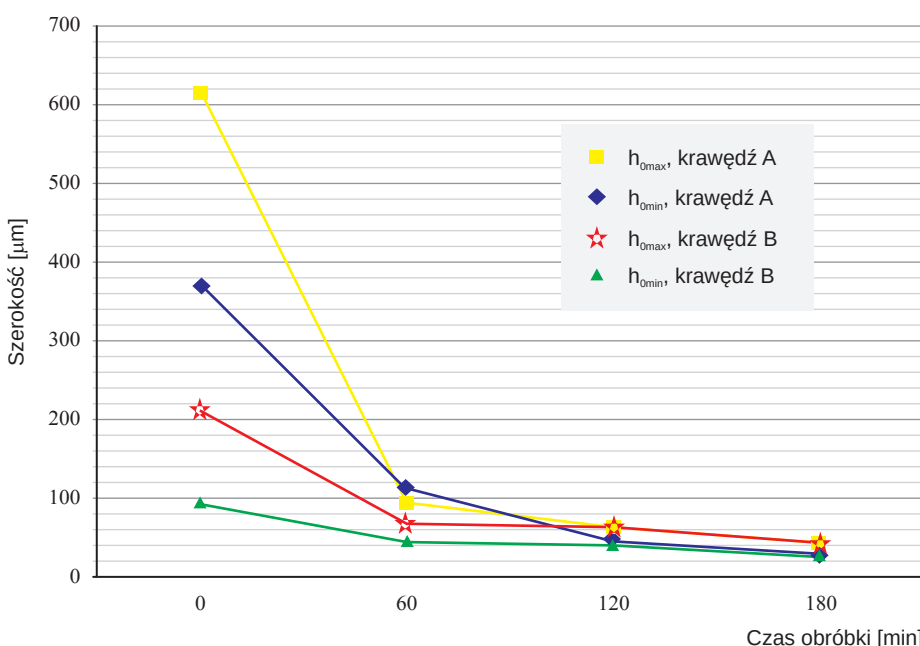
[4] Kaczmarek J., Górski E.: Obróbka za pomocą skrawania i erozji. W: praca zbiorowa Poradnik inżyniera mechanika, t.III. WNT Warszawa 1967.

[5] Norma PN-EN ISO 21920-1:2022-06. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Struktura geometryczna powierzchni: Profil – Część 1: Oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni

[6] Oczó K.E., Liubimov V.: Struktura geometryczna powierzchni. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.

[7] Spadło S., Bańkowski D.: Badania usuwania zadziórów metodą obróbki wibrościerniej. Mechanik nr 4/2015 (Materiały Międzynarodowej Konferencji Electromachining EM'15).

[8] Zakościelny S.: Wpływ kierunku chropowatości powierzchni oraz sposobów wytwarzania na ścierność i ścieralność honowanej powierzchni na przykładzie siłowników hydraulicznych (rozprawa doktorska). Politechnika Śląska, Gliwice 1981. ■



Rys. 5. Zależność szerokości zadzioru h₀ od czasu obróbki wibro-ścierniej i usytuowania krawędzi [7]

Rezultaty przedstawionych w pracy [7] badań wskazują na konieczność uwzględniania wymiarów gabarytowych kształtek ściernych i ich relacji do geometrycznych cech konstrukcyjnych (GCK) obrabianych elementów, zwłaszcza ich powierzchni wewnętrznych. Należy przy tym zauważyć, że nie stanowi to ograniczenia stosowania obróbki wibro-ścierniej, gdyż kształtki produkowane są w szerokim zakresie wymiarowym.

Aplikacyjnego aspektu wykorzystania obróbki wibro-ścierniej dotyczą również badania opisane w pracy [2], przy czym przedstawione badania nie wskazują ograniczeń stosowania tej obróbki, lecz raczej ukazują jej bardzo szerokie możliwości stosowania. Na szczególną

w aspekcie materiału obrabianego jak i tworzywa konstrukcyjnego samych kształtek. W dużym stopniu dobór ten determinuje szeroko pojętą efektywność obróbki.

PODSUMOWANIE

Obróbka ścierna stanowi ciągle podstawową metodę wykończeniowej obróbki gładkościowej. Z tego powodu obserwuje się ciągłe jej doskonalenie, między innymi poprzez wspomaganie jej innymi technikami obróbki. Z jednej strony prowadzi to do poprawy efektywności i zwiększenia obszaru możliwego stosowania tej obróbki. Z drugiej jednak powoduje to, że cechy użytkowe obrobionej powierzchni elementów są