

Obróbka wykończeniowa powierzchni z wykorzystaniem narzędzi ceramicznych do gratowania i polerowania

Ceramic tools for surface finish deburring and polishing operations

TADEUSZ SAŁACIŃSKI
PAWEŁ PAJĄK*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.10.516

Scharakteryzowano procesy gratowania krawędzi i polerowania powierzchni z wykorzystaniem narzędzi z materiałów ceramicznych bazujących na tlenku glinu. Opisano konstrukcje podstawowych typów narzędzi oraz przykłady ich zastosowania w przemyśle. Oceniono wpływ parametrów obróbki na chropowatość powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: narzędzia skrawające, szczotkowe narzędzia ceramiczne

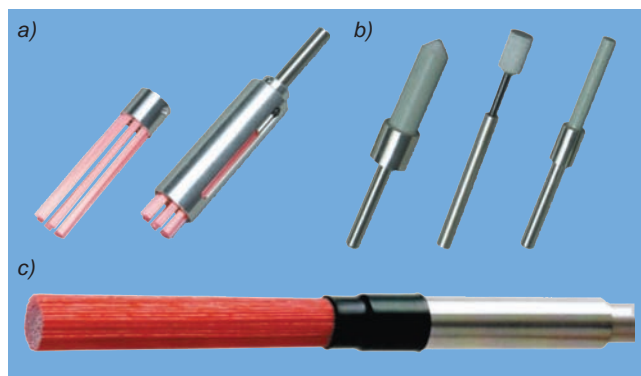
The paper refers to deburring and polishing operations carried out by means of the aluminum oxide based ceramic tools. Physical features of the most essential tools are described with their practical application methods suitably explained. Effect of machining parameters on surface roughness is also evaluated.

KEYWORDS: cutting tools, brush ceramic tools

W większości przypadków po obróbce metalowych przedmiotów należy je odpowiednio wykończyć. W tym celu stosuje się m.in. szlifowanie, gratowanie czy bębnowanie. Takie operacje przeprowadza się na odrębnych maszynach, za pomocą specjalistycznych narzędzi, co wiąże się z dodatkowymi kosztami dla przedsiębiorstwa. Zastosowanie narzędzi obrotowych z pękami włókien ze stali (rys. 1 i 2), nylonu, polipropylenu bądź materiału ceramicznego (który jest stosunkowo nowym materiałem wykorzystywanym do produkcji tego typu narzędzi) umożliwia wykonanie końcowej obróbki na tej

samej maszynie (np. obrabiarce CNC), na której przeprowadzono poprzednie operacje.

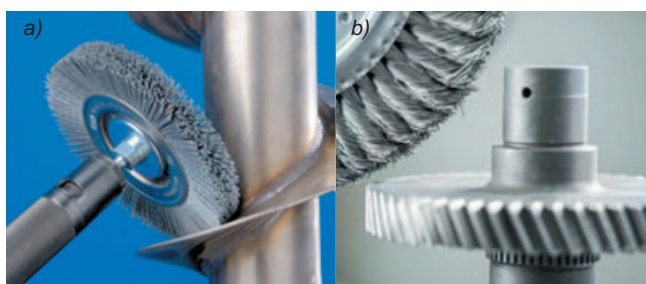
Poważną wadą narzędzi stalowych bądź z tworzyw sztucznych jest trwale odkształcanie się włókien, przez co uzyskuje się powierzchnie gorszej jakości, a narzędzia szybko się zużywają. Alternatywą są dla nich narzędzia obrotowe złożone z pęków ceramicznych włókien lub zwartych i twardych brył typu ściernica (rys. 3). Dokładny skład materiału ceramicznego stanowi *know-how* produkujących je firm i nie jest znany. Wiadomo jedynie, że głównym komponentem jest tlenek glinu Al_2O_3 .



Rys. 3. Podstawowe typy ceramicznych narzędzi obrotowych: a) narzędzie typu szczotka złożone z pęków ceramicznych włókien, b) narzędzie typu ściernica złożone ze zwartych i twardych brył, c) narzędzie typu pędzel złożone z pęków ceramicznych włókien [1]



Rys. 1. Przykłady narzędzi typu szczotka z włóknami stalowymi: a) firmy OSBORN, b) firmy BOSCH [4, 5]

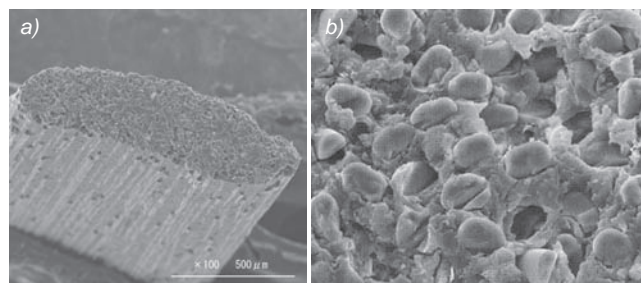


Rys. 2. Przykłady zastosowania narzędzi typu szczotka z włóknami stalowymi: a) obróbka spoiny, b) fazowanie czola koła zębatego [3]

* Dr hab. inż. Tadeusz Sałaciński (t.salacinski@upcpoczta.pl) – Instytut Techniki Wytwarzania Politechniki Warszawskiej, mgr inż. Paweł Pająk (ppajak@onet.eu) – JAPPAJ Innovative Product

Pojedyncze włókno składa się z 1000 mikrowłókien o średnicy rzędu kilku mikrometrów (rys. 4). Czoło każdego mikrowłókna pracuje jako krawędź skrawająca o własnościach samostrzącających, wytrzymałująca temperaturę do 150 °C. Włókna ceramiczne charakteryzują się: dużą twardością, odpornością na ścieranie oraz nieodkształcalnością wzdłuż osi.

Narzędzia ceramiczne nadają się do przygotowywania powierzchni do nanoszenia powłok, wygładzania i polerowania powierzchni, szczotkowania i gratowania części po tłoczeniu, usuwania gratu po cięciu laserowym oraz z elementów spiekanych i felg samochodowych, obróbki typu microfinish, zaokrąglania krawędzi, satynowania, oczyszczania powierzchni, szlifowania dekoracyjnego, usuwania zgorzeliny, obróbki



Rys. 4. Widok (a) i struktura (b) włókna ceramicznego [1]

wykończeniowej okuć, przedmiotów z blachy oraz kutych, po elektrodrażeniu i wykrawaniu, listew ozdobnych i wielu innych [2].

Ze względu na stopień mechanizacji narzędzia ceramiczne dzieli się na:

- narzędzia do obróbki mechanicznej (obrabiarki, roboty – rys. 5 – i inne maszyny ze sterowaniem numerycznym, ale także obrabiarki konwencjonalne, specjalne, zadaniowe itp.),
- narzędzia do obróbki ręcznej (diaksy, szlifiery ręczne itp.).



Rys. 5. Przykład obróbki narzędziem typu szczotka z wykorzystaniem robota [1]

Ze względu na przeznaczenie można wyróżnić:

- narzędzia do powierzchni zewnętrznych (płaszczyzn i innych, np. powierzchni walcowych),
- narzędzia do powierzchni wewnętrznych (w tym krzyżujących się otworów).

Ze względu na cechy konstrukcyjne narzędzia ceramiczne klasyfikuje się (rys. 3):

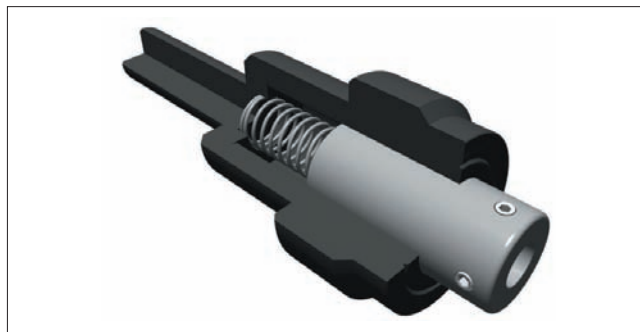
- trzpieniowe typu szczotka,
- trzpieniowe typu pędzel,
- trzpieniowe typu ściernica.

Typy narzędzi oznacza się kolorem włókien (rys. 6). Przykładowo: niebieskie nadają się do obróbki wykończeniowej przedmiotów z bardzo twardych metali, mają odpowiednio grubsze włókna niż szczotki różowe, które można wykorzystać do obróbki przedmiotów z tworzyw sztucznych. Na rys. 6 pokazano oznaczenia kolorystyczne narzędzi ze względu na ich przeznaczenie do konkretnych materiałów i rodzaju obróbki.

frezowanie wykończeniowe	frezowanie czołowe	odlewy, odkuwki
tworzywa sztuczne		
aluminium		
stal		
materiały trudnoskrawalne		

Rys. 6. Oznaczenia kolorystyczne narzędzi ze względu na ich przeznaczenie [1]

Aby skompensować zmianę wymiaru przedmiotu obrabianego wzdłuż osi narzędzia typu szczotka i zapewnić stały docisk do powierzchni obrabianej, stosuje się uchwyt z mechanizmem sprężynowym (rys. 7). Dzięki temu zwiększa się trwałość narzędzia oraz jednorodność uzyskiwanej chropowatości i faktury powierzchni obrabianej.

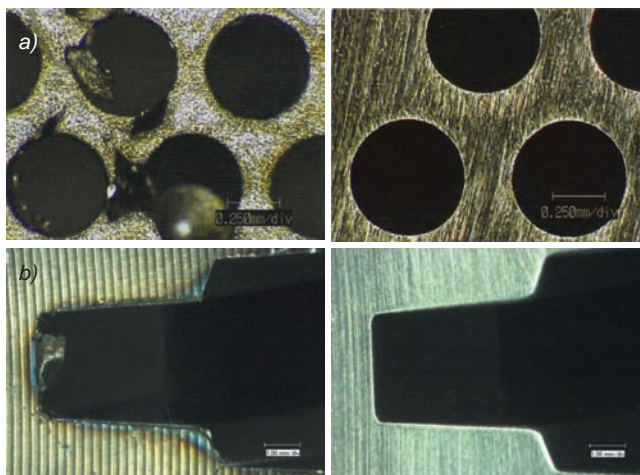


Rys. 7. Uchwyt kompensacyjny do trzpieniowych narzędzi ceramicznych [1]

Przykłady zastosowania narzędzi ceramicznych

Na rys. 8 pokazano typowe zastosowania narzędzi ceramicznych typu szczotka do zabiegów załamywania ostrych krawędzi, fazowania, usuwania zadziorów bądź polerowania powierzchni. Wyraźnie widać pozytywne efekty załamania krawędzi i zmniejszenie chropowatości powierzchni. W opinii autorów obróbka tego typu doskonale się nadaje do załamywania ostrych krawędzi czół zębów, zastępując żmudny zabieg frezowania.

Narzędzia ceramiczne typu ściernica mogą być wykorzystywane przy zabiegach ślusarskich ręcznego usuwania zadziorów lub załamywania krawędzi w produkcji jednostkowej w sytuacji, gdy automatyzacja tych czynności byłaby zbyt czasochłonna (rys. 9).



Rys. 8. Przykłady obróbki narzędziami ceramicznymi typu szczotka (stan przed obróbką – po lewej i po obróbce – po prawej): a) obróbka płaszczyzny i krawędzi otworów, b) obróbka płaszczyzny i krawędzi kanałika [1]

Rys. 9. Przykład obróbki ręcznej narzędziem ceramicznym typu ściernica [1]



Obróbka narzędziami ceramicznymi jest często nie zastąpiona w przypadku gratowania ostrych krawędzi powierzchni wewnętrznych, np. krzyżujących się otworów

badź powierzchni o nieregularnych kształtach. Przykład takiego zabiegu pokazano na rys. 10. Długa wiązka włókien (typu pędzel) wykonuje ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny wzdłuż osi otworu, rozszerzając się dzięki sile odśrodkowej, wskutek czego dochodzi do styku ostrzy z obrabianym materiałem.



Rys. 10. Przykład zabiegu gratowania wewnętrznych powierzchni otworu [1]

Wpływ parametrów obróbki na chropowatość powierzchni obrabianej

W tabelach zestawiono wyniki prób, na podstawie których dokonano oceny wpływu parametrów obróbki na chropowatość powierzchni obrabianej R_a . Zmianie podlegały wartości podstawowych parametrów technologicznych: prędkości obrotowej, głębokości skrawania i prędkości posuwu. Najlepszy wynik $R_a = 0,354$ uzyskano przy prędkości obrotowej 4000 obr/min, głębokości skrawania 0,5 mm i najmniejszej wartości posuwu 600 mm/min (tabl. I). Najlepszy rezultat dało trzecie przejście narzędzia mimo dwukrotnie większej prędkości posuwu (1200 mm/min) w stosunku do poprzednich prób (tabl. II). Podsumowując: największy wpływ na zmniejszenie chropowatości spośród trzech parametrów technologicznych ma prędkość posuwu. Jeszcze bardziej znaczący wpływ ma liczba przejść narzędzia, jednak jest to związane ze zwiększeniem sumarycznego czasu obróbki.

TABLICA I. Wpływ parametrów obróbki na chropowatość powierzchni obrabianej (materiał: aluminium A5052, obróbka wstępna: frezowanie czołowe, narzędzie: A11-CB40M) [1]

Ustawienia początkowe	Prędkość obrotowa min ⁻¹	Głęb. skrawania mm	Prędkość posuwu mm/min	R_a przed μm	R_a po μm
	4000	0,5	1200	0,880	0,436
1. zmiana	5000	0,5	1200	0,875	0,424
2. zmiana	4000	1,0	1200	0,864	0,415
3. zmiana	4000	0,5	600	0,921	0,354

TABLICA II. Wpływ liczby przejść narzędzia na chropowatość powierzchni obrabianej (prędkość obrotowa $n = 4000$ obr/min, wielkość zagłębienia szczotki w stosunku do pozycji styku z materiałem $g = 0,5$ mm, czas cyklu $t = 1$ min) [1]

Prędkość posuwu, mm/min	Liczba przejść	R_a przed μm	R_a po, μm		
			1. przejściu	2. przejściu	3. przejściu
600	1	0,921	0,354	–	–
1200	2	0,901	0,459	0,325	–
400	1	0,918	0,327	–	–
1200	3	0,894	0,467	0,324	0,226

Badania własne

Zbadano wpływ parametrów skrawania narzędziami szczotkowymi na chropowatość powierzchni obrabianej trzech materiałów: Inconelu, stali oraz aluminium. Badania miały charakter wstępny, bez wcześniejszego planowania eksperymentu. Pełne badania planuje się przeprowadzić w ramach jednej z prac doktorskich na Politechnice Warszawskiej.

■ **Badania Inconelu 718.** Do obróbki Inconelu przeznaczone są narzędzia oznaczone kolorem białym bądź niebieskim (rys. 6). Próby przeprowadzono dla $g = 0,6$ mm (wielkość zagłębienia szczotki w stosunku do pozycji styku z materiałem), średnicy szczotki $D = 16$ mm, drogi skrawania $s = 150$ mm, powierzchni próbki przygotowanej frezowaniem czołowym, $R_a = 0,5$ μm .

I próba (szczotka niebieska): $n = 3650$ obr/min, $v_f = 2000$ mm/min, w trzech przejściach narzędzia uzyskano kolejno $R_{a1} = 0,46$ μm , $R_{a2} = 0,44$ μm , $R_{a3} = 0,43$ μm .

II próba (szczotka niebieska): $n = 3650$ obr/min, $v_f = 1000$ mm/min, jedno przejście, $R_a = 0,39$ μm .

III próba (szczotka niebieska): $n = 3650$ obr/min, $v_f = 250$ mm/min, jedno przejście, $R_a = 0,29$ μm , wartość zużycia (skrótowania) szczotki po trzech próbach wyniosła 0,015 mm.

IV próba (szczotka biała): $n = 3650$ obr/min, $v_f = 1000$ mm/min, jedno przejście, $R_a = 0,43$ μm .

V próba (szczotka biała): $n = 3650$ obr/min, $v_f = 250$ mm/min, jedno przejście, $R_a = 0,49$ μm .

■ **Badania stali St5.** Do obróbki stali St5 wykorzystano szczotkę białą. Próby przeprowadzono dla $D = 16$ mm, $s = 100$ mm, powierzchni próbki przygotowanej frezowaniem czołowym, $R_a = 4,72$ μm . Zastosowano trzy przejścia narzędzia:

I przejście: $n = 3650$ obr/min, $v_f = 1000$ mm/min, $g = 0,6$ mm, uzyskano chropowatość powierzchni $R_a = 4,48$ μm .

II przejście: $n = 4250$ obr/min, $v_f = 500$ mm/min, $g = 0,6$ mm, uzyskano chropowatość powierzchni $R_a = 4,05$ μm .

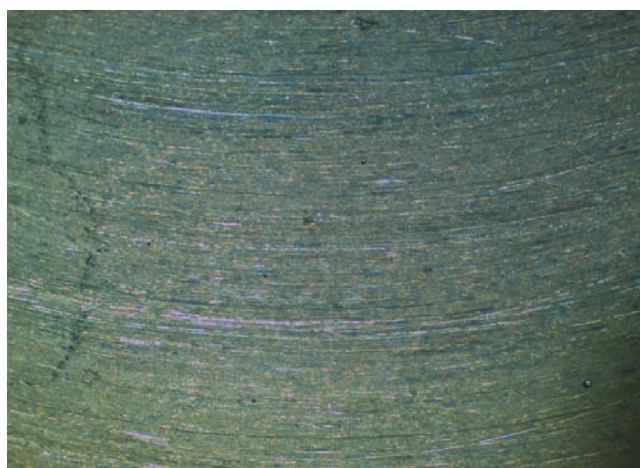
III przejście: $n = 4250$ obr/min, $v_f = 500$ mm/min, $g = 1,5$ mm, uzyskano chropowatość powierzchni $R_a = 3,38$ μm .

■ **Badania aluminium.** Do obróbki aluminium przeznaczone są narzędzia oznaczone kolorem białym bądź czerwonym (rys. 6). Próby przeprowadzono dla pięciu wartości posuwu przy stałych parametrach: $n = 3650$ obr/min, $g = 0,6$ mm, $D = 16$ mm, $s = 100$ mm, powierzchnia próbki została przygotowana frezowaniem czołowym, $R_a = 1$ μm . Wartości uzyskanych chropowatości powierzchni zestawiono w tabl. III. Wyniki prób pokazują niewielki wpływ prędkości posuwu na chropowatość w przypadku użycia szczotki białej oraz znaczący – w przypadku zastosowania szczotki czerwonej.

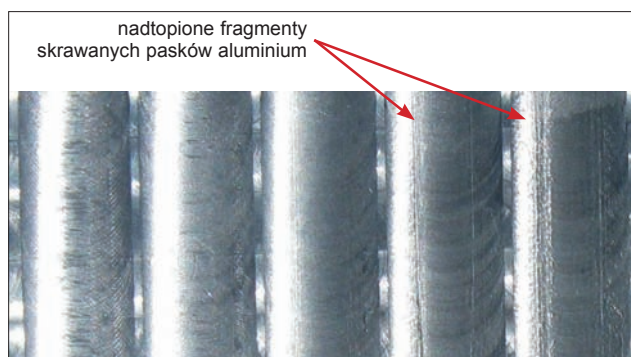
Na rys. 11 pokazano powierzchnię obrabianą z charakterystycznymi śladami przejść włókien narzędzia.

TABLICA III. Wartości uzyskanych chropowatości powierzchni R_a [μm] w zależności od typu szczotki i prędkości posuwu

Prędkość posuwu v_f , mm/min	4000	2000	1000	500	250
Typ szczotki					
czerwona	0,53	0,45	0,40	0,50	0,65
biała	0,75	0,82	0,96	0,95	0,95



Rys. 11. Widok powierzchni obrabianej szczotkowym narzędziem ceramicznym



Rys. 12. Widok skrawanych pasów powierzchni aluminium przy prędkości posuwu od 4000 mm/min (skrajny lewy pas) do 250 mm/min (skrajny prawy pas)

Podczas obróbki aluminium występuje niekorzystne zjawisko nadtopiania się brzegów skrawanego pasa przy mniejszych prędkościach posuwu (rys. 12). Jest to spowodowane prawdopodobnie dłuższym czasem kontaktu narzędzia z materiałem obrabianym, co skutkuje wydzielaniem się znacznych ilości ciepła.

Wnioski

Badania własne w znacznej mierze potwierdziły wyniki testów narzędzi przeprowadzonych przez producenta. Zarówno zmniejszenie prędkości posuwu, jak i zwiększenie liczby przejść skutkowało zmniejszeniem wartości chropowatości, przy czym wpływ liczby przejść okazał się mniejszy. Znaczące zmniejszenie prędkości posuwu w trakcie obróbki aluminium powodowało nadtopianie się brzegów skrawanego pasa, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Próby wykonane przez producenta i autorów potwierdziły, że nie należy stosować zbyt dużej liczby przejść (powyżej trzech), gdyż w określonych warunkach skrawania istnieje pewna progowa liczba przejść, powyżej której chropowatość powierzchni nie ulega zmniejszeniu.

Ceramiczne narzędzia szcztokowe mogą mieć kapitalne znaczenie w obróbce materiałów twardych i trudno-skrawalnych, takich jak np. Inconel, zwłaszcza w przypadku obróbek wykończeniowych przedmiotów o skomplikowanych kształtach.

Podsumowanie

Tysiące godzin operacji ślusarskich wykonywanych najczęściej ręcznie można znacznie ograniczyć poprzez zastosowanie bezpośrednio na obrabiarkach CNC trwałych i niedeformowalnych narzędzi ceramicznych. Charakteryzują się one trwałością i efektywnością w zakresie uzyskiwanych wartości chropowatości powierzchni obrobionej. Szeroka gama typów takich narzędzi powoduje, że można je stosować na powierzchniach o różnych kształtach, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych, na różnych typach maszyn (obrabiarkach, robotach przemysłowych, maszynach ręcznych). Wysokie parametry technologiczne zabiegów z wykorzystaniem narzędzi ceramicznych przyczyniają się do znacznego zredukowania czasu obróbki, co czyni je konkurencyjnymi wobec tradycyjnie stosowanych narzędzi. Dzięki bezpośredniemu wykorzystaniu narzędzi ceramicznych na obrabiarce można wyeliminować ręczną obróbkę wykończeniową i związane z nią stanowiska.

LITERATURA

1. Materiały firmowe XEBEC.
2. Materiały firmowe LOESER.
3. Materiały firmowe PFERD.
4. Materiały firmowe OSBORN.
5. Materiały firmowe BOSCH.

