

# Właściwości warstwy wierzchniej w obrębie krawędzi po obróbce szczotkowaniem

## Surface layer properties around the edges after brushing process

JAKUB MATUSZAK  
KAZIMIERZ ZALESKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.249

Na krawędziach przedmiotów po obróbce metodami skrawania często pojawiają się zadziory. Ich usunięcie pociąga za sobą zmiany w warstwie wierzchniej w obrębie krawędzi. Jedną z metod usuwania zadziorów jest obróbka szczotkowaniem. Przedstawiono jej wpływ na właściwości warstwy wierzchniej po procesie usuwania zadziorów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka szczotkowaniem, usuwanie zadziorów, warstwa wierzchnia

*Burrs often occur at the edges of objects produced by machining. Deburring process imply changes in the surface layer around the edge. One of the method of deburring is brushing process. The article presents the effect of brushing process on surface layer properties after deburring.*

**KEYWORDS:** brushing, deburring, surface layer

Zadziory formują się na krawędzi próbki. Gdy krawędź skrawająca narzędzia przesuwana wzdłuż linii skrawania, warstwa skrawana zamienia się w wióry, które są usuwane ze strefy skrawania. Natomiast gdy krawędź skrawająca zbliża się do krawędzi próbki, część materiału nie zostaje prawidłowo odseparowana od podłoża i najczęściej w tym miejscu rozpoczyna się proces formowania się zadziorów. Jest to związane z silnymi odkształceniami sprężystymi i plastycznymi podczas skrawania ciągłego.

Przypadek skrawania ortogonalnego był analizowany w wielu pracach [1, 3, 4, 7]. Wykazano, że gdy narzędzie zbliża się do krawędzi próbki, pojawiają się na niej odkształcenia sprężyste, a następnie plastyczne i rozpoczyna się proces silnej deformacji materiału, który jest wypychany poza pierwotną płaszczyznę obrabianego przedmiotu. W literaturze można także znaleźć przypadki analizy formowania zadziorów podczas skrawania nieortogonalnego. W pracy [5] przedstawiono wyniki skrawania głowicą frezarską z jednym ostrzem z możliwością zmiany ustawienia płytki skrawającej. Wykazano, że kolejność wyjścia charakterystycznych punktów krawędzi skrawającej ze strefy skrawania ma znaczny wpływ na postać zadziorów. Przeanalizowano kilka wariantów sekwencji wyjścia (EOS – *exit order sequence*) oraz ich wpływu na grubość i wysokość zadzioru. Wykazano, że sterowanie geometrią umożliwia minimalizację występowania zadziorów, a tym samym zmniejszenie kosztów i pracochłonności ich usuwania na dalszych etapach produkcji.

Stan powierzchni oraz stref przypowierzchniowych gotowych wyrobów jest kluczowy z punktu widzenia ich eksploatacji. Naprężenia własne oraz utwardzenie warstwy wierzchniej często decydują o właściwościach tribologicznych i wytrzymałości zmęczeniowej. Dlatego tak istotna jest analiza stanu warstwy wierzchniej. Głównym celem obróbki jest zmiana kształtu i wymiarów przedmiotu ob-

rabianego. Jednak w trakcie tego procesu dodatkowo, niejako w sposób samoistny, zachodzą zmiany w warstwie wierzchniej. Umiejętność sterowania właściwościami technologicznej warstwy wierzchniej pozwoliłaby na kontrolowanie cech eksploatacyjnych i wydłużenie cyklu życia wyrobów. Większość uszkodzeń gotowych produktów zachodzi w warstwie wierzchniej: na powierzchni lub bezpośrednio pod nią, więc zapewnienie pożądanej jakości warstwy wierzchniej i podnoszenie jej parametrów od dawna jest przedmiotem badań prowadzonych przez różne ośrodki naukowe i badawcze.

Połączeniem procesu kształtowania korzystnych właściwości warstwy wierzchniej oraz zmiany stanu krawędzi przedmiotów, na których występują zadziory, może być obróbka szczotkowaniem [6]. Problemem może być jednak dobór warunków obróbki w zestawieniu narzędzie–materiał obrabiany. Oprócz parametrów technologicznych szczotkowania istotny jest także taki dobór rodzaju włókna i jego średnicy, aby po obróbce uzyskać pożądane efekty. Zbyt elastyczne włókna o niewielkiej średnicy mogą nie być skuteczne w procesie usuwania zadziorów. Natomiast sztywne włókna stalowe szczotek z drutem splecionym mogą się przyczynić do silnej degradacji i pogorszenia jakości powierzchni, a nawet zmiany wymiarów gabarytowych gotowych elementów. Z kolei na sztywność narzędzia, a więc efekty poobróbkowe, ma też duży wpływ czynna długość włókna; dla szczotek walcowych jest ona wyrażana różnicą promienia szczotki i promienia talerza dociskowego, którego zadaniem jest zwiększenie gęstości upakowania włókien na obwodzie szczotki i utrzymanie pierścieni z włóknami w osi narzędzia.

Celem pracy jest określenie wpływu obróbki szczotkowaniem na fizyczne właściwości warstwy wierzchniej po procesie usuwania zadziorów.

### Metodyka badań

Do badań użyto próbek wykonanych ze stopu magnezu AZ91HP. Wstępnie poddano je obróbce frezowaniem, a następnie obróbce szczotkowaniem w celu usunięcia zadziorów. Po obróbce szczotkowaniem zbadano mikro-twardość oraz naprężenia własne.

Porównano dwa rodzaje szczotek walcowych o średnicy 120 mm: z drutem stalowym o średnicach 0,2 mm (symbol S02) i 0,3 mm (symbol S03) pojedynczego włókna. Zastosowano stałe parametry szczotkowania: prędkość obwodową  $v_c=1266$  m/min, prędkość posuwu  $v_f=3$  mm oraz dosuw  $\Delta=3$  mm. Szczotkowanie przeprowadzono bez użycia cieczy obróbkowej. W przypadku analizy mikro-twardości pomiarów dokonywano na osnowie z pominięciem twardszej fazy Mg17Al12 zaznaczonej na rys. 1a literą A. Na rys. 1b zobrazowano różnicę w wielkości odciśku dla fazy (oznaczenie B) i osnowy (oznaczenie C). Obciążenie wgłębnika było stałe: 10 g. Pomiar przeprowadzono w odległości 10, 30 i 100  $\mu$ m od powierzchni.

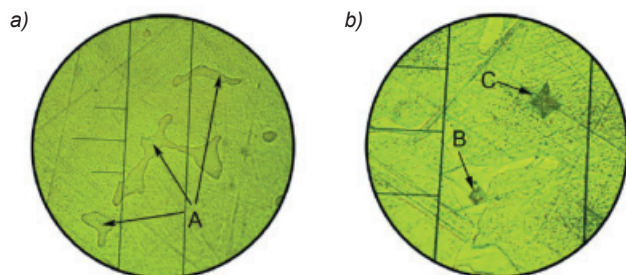
\* Dr inż. Jakub Matuszak (j.matuszak@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski (k.zaleski@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

Stopień umocnienia wyznaczono na podstawie wzoru:

$$e = \frac{HV_1 - HV_0}{HV_0} 100\%$$

gdzie:  $HV_1$  – mikrotwardość po obróbce szczotkowaniem,  $HV_0$  – mikrotwardość przed obróbką szczotkowaniem.

Naprężenia własne wyznaczono metodą Davidenkova polegającą na pomiarze ugięcia próbki w funkcji grubości zdjętej warstwy.

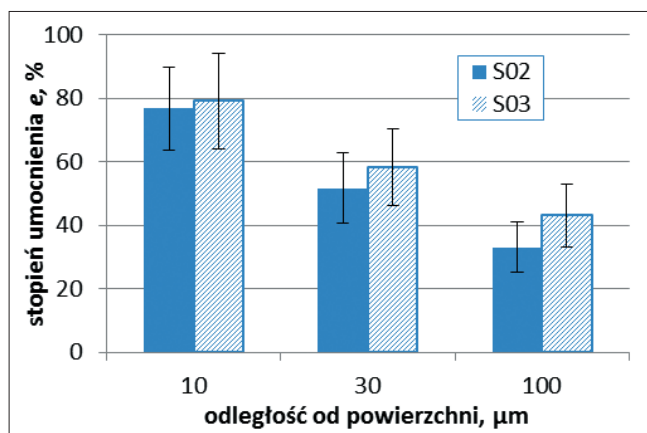


Rys. 1. Zgład metalograficzny stopu magnezu AZ91HP: a) faza Mg17Al12, b) odciski węglownika Vickersa

Pomiary ugięcia próbek realizowano z dokładnością do 1  $\mu\text{m}$ .

### Wyniki badań

Na rys. 2 przedstawiono stopień umocnienia warstwy wierzchniej po obróbce szczotkowaniem dla dwóch badanych szczotek. Największe umocnienie materiału odnotowano w odległości 10  $\mu\text{m}$  od powierzchni, które dla szczotki S02 wyniosło 77%, natomiast dla szczotki S03 – 79%. W odległości 100  $\mu\text{m}$  od powierzchni umocnienie jest na poziomie 33% dla szczotki S02 oraz 43% dla szczotki S03. Sztywniejsze włókno szczotki S03 przyczyniło się do nieznacznie większego umocnienia warstwy wierzchniej. Różnica ta jest bardziej widoczna na większej głębokości od powierzchni (100  $\mu\text{m}$ ).

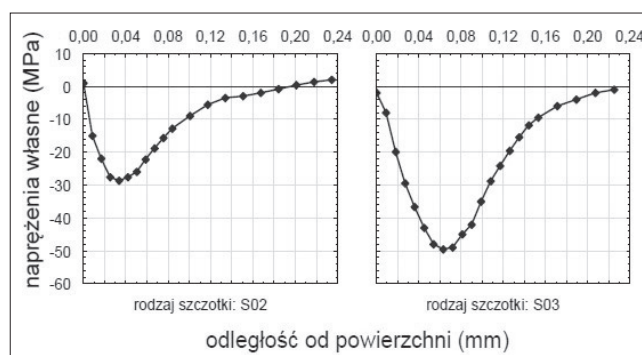


Rys. 2. Stopień umocnienia po obróbce szczotkowaniem w funkcji odległości od powierzchni

Na rys. 3 przedstawiono rozkład naprężeń własnych w funkcji odległości od powierzchni po obróbce szczotkowaniem stopu magnezu. W obu przypadkach obróbki w warstwie wierzchniej pojawiły się ściskające naprężenia własne. Krzywa obrazująca rozkład naprężeń własnych wskazuje, że maksymalne wartości naprężeń ściskających znajdują się w niewielkiej odległości od powierzchni. Postać krzywych rozkładu naprężeń własnych w warstwie

wierzchniej próbek poddanych procesowi szczotkowania jest podobna do rozkładów naprężeń, jakie otrzymuje się po typowych operacjach obróbki nagniataniem [2, 8], co potwierdza przypuszczenia, że włókna szczotki uderzające w obrabianą powierzchnię wykonują pracę nagniatania, wprowadzając korzystne naprężenia ściskające w warstwie wierzchniej.

Po obróbce szczotką S03 wartości naprężeń były większe i sięgały maksymalnie -50 MPa; nieznacznie większa była też głębokość zalegania.



Rys. 3. Rozkład naprężeń własnych po obróbce szczotkowaniem w funkcji odległości od powierzchni

### Podsumowanie

Badania wpływu obróbki szczotkowaniem na właściwości fizyczne warstwy wierzchniej stopu magnezu AZ91HP wykazały, że:

- obróbka szczotkowaniem może być skutecznym sposobem na utwardzenie stref przykrawędziowych, co może stanowić dodatkowe zabezpieczenie przed uszkodzeniem wyrobów w trakcie montażu i eksploatacji,
- silne umocnienie materiału jest wynikiem nagniatającego charakteru włókien uderzających w powierzchnię przedmiotu obrabianego,
- po obróbce szczotkami z włóknem stalowym w warstwie wierzchniej generowane są korzystne naprężenia własne ściskające, których wartość maksymalna (bezwzględna) zawiera się w przedziale 30÷50 MPa,
- dla bardziej sztywnego narzędzia (szczotki S03) głębokość zalegania naprężeń ściskających wynosi ok. 0,24 mm i jest większa w porównaniu ze szczotką S02.

### LITERATURA

1. Chern G.L. „Study on mechanisms of burr formation and edge break-out near the exit of orthogonal cutting”. *Journal of Materials Processing Technology*. 176, 1÷3 (2006): pp. 152÷157.
2. Lipski J., Zaleski K. „Modelowanie rozkładu naprężeń własnych w przedmiotach obrabianych nagniatającym przepychaniem ślizgowym”. *Eksplatacja i Niezawodność*. Nr 4 (2004): s. 18÷21.
3. Hashimura M., Chang Y.P., Dornfeld D. „Analysis of burr formation mechanism in orthogonal cutting”. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 121, 1 (1999): pp. 1÷7.
4. Ko S.L., Dornfeld D.A. „Analysis of fracture in burr formation at the exit stage of metal cutting”. *Journal of Materials Processing Technology*. No. 58: pp. 189÷200.
5. Kumar S., Dornfeld D. „Basic Approach to a Prediction System for Burr Formation in Face Milling”. *Journal of Manufacturing Processes*. No. 5, Iss. 2 (2003): pp. 127÷142.
6. Matuszak J., Zaleski K. „Edge states after wire brushing of magnesium alloys”. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal*. No. 86, 4: pp. 328÷335.
7. Toropov A., Ko S.L., Lee J.M. „A New Burr Formation Model for Orthogonal Cutting of Ductile Materials”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. No. 55, Iss. 1 (2006) pp. 55÷58.
8. Przybylski W. „Technologia obróbki nagniataniem”. Warszawa: WNT, 1987. ■