

Struktura geometryczna powierzchni ze stopu tytanu WT3_1 po szlifowaniu czołowym ściernicą z regularnego azotku boru

Katarzyna Gotowała, Wojciech Musiał

Słowa kluczowe: stopy lotnicze, materiały trudnoskrawalne, proces szlifowania, badania eksperymentalne.

Streszczenie

Artykuł dotyczy możliwości zastosowania szlifowania do obróbki części samochodowych wykonanych ze stopu tytanu. Przedstawiono strukturę geometryczną powierzchni ze stopu tytanu WT3_1 po szlifowaniu czołowym ściernicą o następującej charakterystyce geometrycznej: 6A235×10×5×5, zbudowaną z ziaren regularnego azotku boru i spoiwie ceramicznym V5. Zastosowano zmienną koncentrację ziaren (100 i 125) oraz zmienny udział elektrokorundu pęcherzykowego Traibacher (0,5 i 10%).

Wstęp

Intensywny rozwój przemysłu motoryzacyjnego, wymusza stosowanie zaawansowanych materiałów konstrukcyjnych, które jeszcze niedawno kojarzono z przemysłem lotniczym. Do tego typu materiałów zaliczyć można stopy tytanu oraz Inconelu.

Materiały te charakteryzują się wysoką wytrzymałością, małym ciężarem właściwym, dużą odpornością na korozję oraz wytrzymałością na wysokie temperatury a także znaczną ciągliwością. Materiały, które zalicza się do tzw. trudnoskrawalnych, z uwagi na dużą wytrzymałość i ciągliwość (z wyjątkiem materiałów ceramicznych, które charakteryzują się w tym przypadku dużą kruchością [15]), materiały trudnoskrawalne charakteryzują się również niską przewodnością cieplną, a także znacznym powinowactwem chemicznym względem narzędzi obróbkowych oraz dużą wartością współczynnika tarcia [18, 19, 21].

Obecnie prowadzone są badania, zmierzające do zwiększenia efektywności obróbki ubytkowej materiałów trudnoskrawalnych [1-5, 9-17]. Są one w głównej mierze ukierunkowane na procesy obróbki skrawaniem, z zastosowaniem narzędzi jedno- i wielostrzowych [7, 8]. Odnotowuje się również postęp w odniesieniu do obróbki materiałów trudnoskrawalnych za pomocą obróbki ścierniej [17]. Jednak w tym wypadku złożoność zjawisk zachodzących w strefie obróbki a przede wszystkim podatność narzędzi ściernych do zalepiania powierzchni czynnej ściernicy w wyniku realizacji procesu szlifowania powoduje, że obróbka ścierna coraz częściej jest zastępowana obróbką skrawaniem.

Mała przewodność cieplna stopów tytanu powoduje duże przyrosty temperatury w strefie obróbki, co skutkuje dużą intensywnością termo-zmęczeniową zużycia ziaren ściernych i spoiwa. Podatność na wzrost wytrzymałości i twardości pod wpływem temperatury, ma niekorzystny wpływ na zużycie ściernic i wytrzymałość aktywnych ziaren ściernych. W artykule

przedstawiono zagadnienia związane z obróbką materiałów trudnoskrawalnych, które coraz częściej stosuje się w przemyśle samochodowym i lotniczym [18, 19].

1. Materiały konstrukcyjne w nowoczesnych pojazdach samochodowych

Stal jest powszechnie stosowana w przemyśle samochodowym, obecnie stosuje się stale wysokiej i podwyższonej wytrzymałości, niskostopowe, stosowane w konstrukcji szkieletu nadwozia z udziałem przekraczającym 20% a nawet sięgającym 50% (rys. 1).

Wykorzystywanie najnowszych technologii i nowoczesnych materiałów wpływa bezpośrednio na obniżenie masy pojazdu. Masa ta może być zredukowana nawet o 25%. Przykładem może być wykonanie nadwozia za pomocą technologii ULSAB (ang. The Ultralight Steel Auto Body). Charakteryzuje się ono masą własną na poziomie 200 kg i wytrzymałością na skręcanie wynoszącą 20 800 Nm/stopień. Wykonanie nadwozia metodą klasyczną pozwala na osiągnięcie masy pojazdu wynoszącej 250–270 kg i osiągającego wytrzymałość na skręcanie od 10 000 do 20 000 Nm/stopień.

W pojazdach wykorzystywane są coraz częściej stopy magnezu. Ich cechą charakterystyczną jest bardzo niska masa (gęstość magnezu – 1,74 g/cm³), ale za to charakteryzują się obniżoną wytrzymałością, są podatne na złamania i wrażliwe na korozję [21]. Stosuje się je, jako stopy odlewnicze (z Mn, Al, Zn, Zr) lub do obróbki plastycznej. Zainteresowanie stopami magnezowymi rośnie ze względu na możliwość wykorzystania odlewów cienkościennych (grubość ścianek ok. 1,5–3 mm). Znanych jest ponad 200 rodzajów stopów magnezowych, które najczęściej stosowane są jako elementy konstrukcyjne foteli, mechanizmy kierownicy itp. [19-21].

Stopy Mg często zastępują tworzywa sztuczne o tej samej gęstości, ale mniejszej sztywności, również ze względu na łatwość realizacji recyklingu (np. jako uchwyty narzędzi ręcznych, w samochodach np. kierownice, ramy oparc, obudowy skrzynek przekładniowych).



Rys. 1. Przykładowa konstrukcja pojazdu samochodowego [http://autokult.pl/4985,materiały-konstrukcyjne-w-nowoczesnych-pojazdach-samochodowych-cz-1]

Stop tytanu Ti-6Al-4V charakteryzuje się gęstością równą 2/3 gęstości stali ($\rho = 4,5 \text{ kg/m}^3$), $E = 115 \text{ GPa}$, wysoką wytrzymałością ($R_m > 1000 \text{ MPa}$), dużą ciągliwością ($A = 14\%$). Posiada wysoką temperaturę topnienia, $T_t = 1668^\circ\text{C}$, (odporność cieplna). Stopy tytanu charakteryzują się również odpornością na korozję w powietrzu, morzu, a także w warunkach atmosfery przemysłowej. Stopy te są też dobrze obrabialne w procesie skrawania. Jednak w podwyższonych temperaturach łatwo wchodzą w reakcje z innymi materiałami, stąd konieczne jest stosowanie niekonwencjonalnych metod topienia i odlewania, co znacząco podwyższa ich koszt. Ze względu na biokompatybilność są stosowane jako materiały na implanty.

Stopy tytanu są przede wszystkim stosowane w budowie samolotów bojowych (udział 20% cięż. w F14). Stop wysokowytrzymały Ti-13V-11Cr-3Al (o strukturze metastabilnej utwardzany przesycany i starzony). Stop Ti-6Al-4V wykorzystywany jest w różnych zastosowaniach (w tym w przemyśle samochodowym), jest stosowany w stanie wyżarzonym.

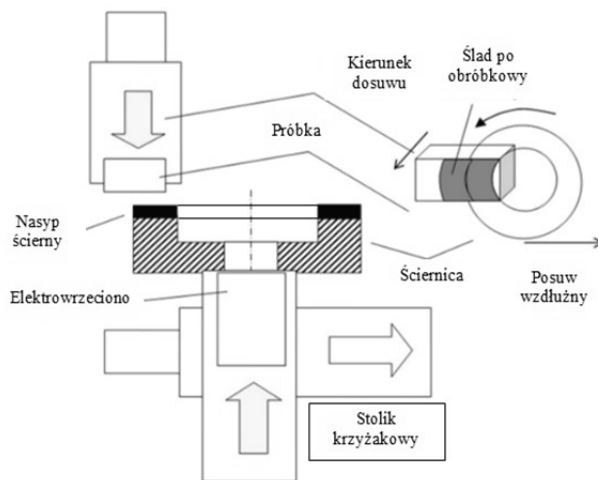
Stopy aluminium są materiałami plastycznymi, ale o wytrzymałości porównywalnej z blisko 3-krotnie cięższym żeliwem, a także molibdenem, jednak o 2–2,5-krotnie gorszej wytrzymałości w porównaniu ze stalą o podwyższonej wytrzymałości. Stopy aluminium są droższe od stali, ale ich eksploatacja jako materiału konstrukcyjnego pojazdów jest korzystniejsza. We współczesnych samochodach łączna masa części wykonanych ze stopów lekkich na bazie aluminium to ok. 130 kg. Aluminium ma coraz częstsze zastosowanie przy produkcji karoserii samochodów osobowych, autobusów czy samochodów ciężarowych [20, 21].

W przemyśle samochodowym i lotniczym coraz częściej stosowane są kompozyty polimerowe o osnowie epoksydowej zbrojone włóknami węglowymi, szklanymi, aramidowymi (Kevlarowymi), boru, są w coraz większej ilości stosowane w budowie samolotów pasażerskich i mają dużą szansę, że będą stosowane w przemyśle samochodowym w XXI wieku [20, 21].

2. Wyniki badań i analiza procesu szlifowania czołowego ściernicą z regularnego azotku boru

Badania procesu szlifowania realizowano ściernicą z nasypem czołowym, o charakterystyce geometrycznej: 6A235-10-5-5, zbudowaną z ziaren regularnego azotku boru, i spoiwie ceramicznym V5. Zastosowano zmienną koncentrację ziaren 100 i 125 oraz zmienny udział elektrokorundu pęcherzykowego Traibacher 0,5 i 10%.

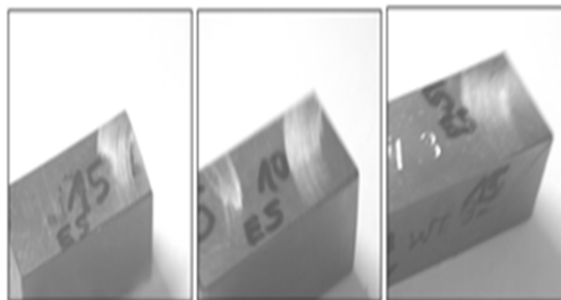
Próbki mocowano na stole krzyżowym, wykonującym ruch dosuwowy oraz posuw wzdłużny (rys. 2). Jako ciecz chłodząca zastosowano olej Polgrind 1A, o wydajności 500 ml/min, a sposób jego doprowadzenia przedstawiono na rys. 4. Po szlifowaniu powierzchni próbek poddano badaniu na profilografometrze w układzie Homell Werker 8000.



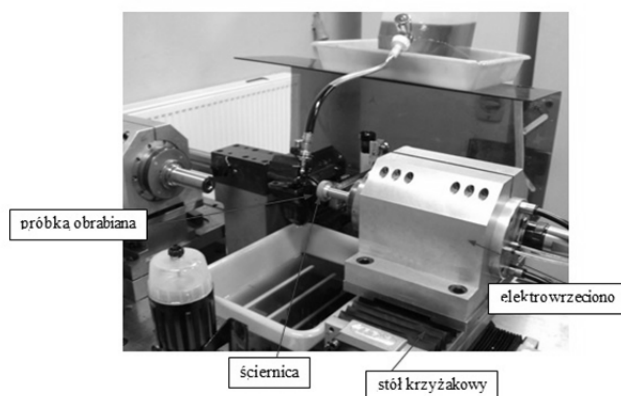
Rys. 2. Sposób realizacji szlifowania czołowego próbek w kształcie prostokątów [10]

Próbki płaskie wykonane ze stopu tytanu WT 3_1 szlifowano w układzie czołowym ściernicą z regularnym azotku boru (rys. 3).

Rys. 3. Ślady poobróbkowe uzyskane na próbkach w wyniku



realizacji procesu szlifowania czołowego ściernicą z regularnego azotku boru

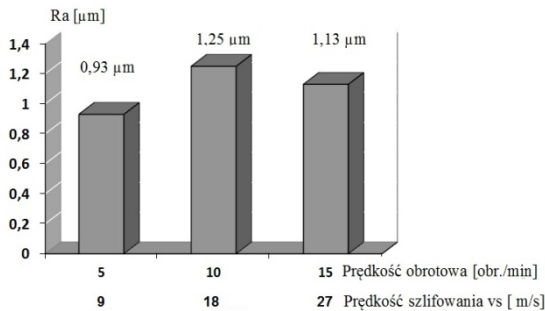


Rys. 4. Sposób doprowadzenia cieczy chłodzącej (Polgrind 1A) do strefy szlifowania [11]

Analizę wyników pomiaru parametru R_a chropowatości powierzchni szlifowanych przeprowadzono dla trzech prędkości obrotowych ściernicy oraz przy elementarnym dosuwie $5 \mu\text{m}$

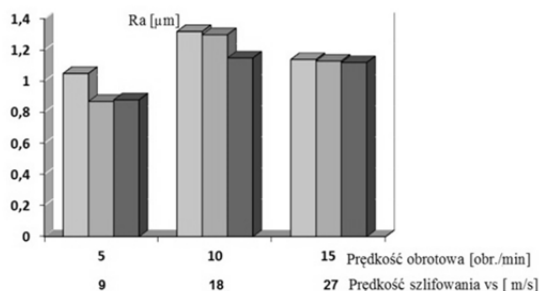
(rys. 5) (każdą próbę powtarzano trzykrotnie uzyskując sumaryczną głębokość 15 μm).

Na rys. 6 przedstawiono zestawienie średnich wartości parametru Ra chropowatości powierzchni próbek wykonanych ze stopu tytanu WT 3_1, szlifowanych ściernicą E0. Każdy pomiar powtarzano trzykrotnie.



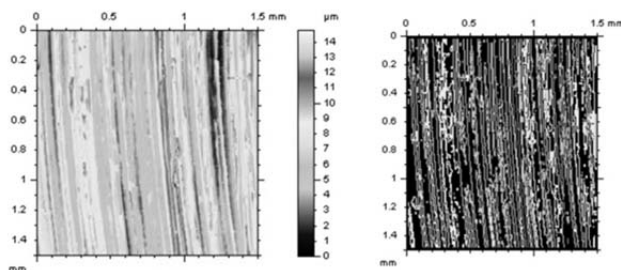
Rys. 5. Średnia wartość parametru Ra chropowatości powierzchni uzyskana z trzech pomiarów

Największą regularność parametru Ra osiągnięto dla prędkości obwodowej ściernicy vs = 27 m/s (ns = 15 tys. obr./min).



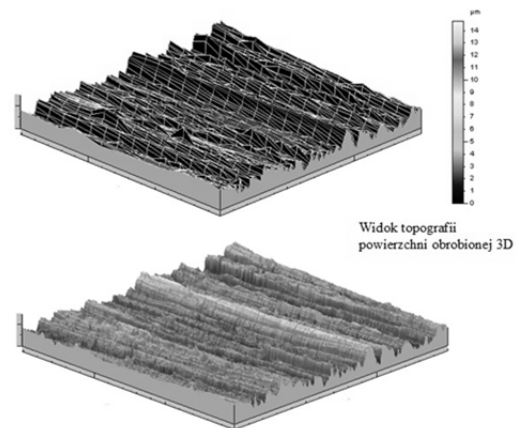
Rys. 6. Wyniki pomiarów parametru Ra chropowatości powierzchni próbki ze stopu tytanu WT 3_1 szlifowanej ściernicą E0, dla trzech powtórzeń [4]

Na rys. 7 przedstawiono analizy topografii powierzchni obrobionej uzyskanej dla prędkości obwodowej ściernicy vs = 18 m/s (ns = 10 tys. obr./min) (stop tytanu WT 3_1, ściernica E0), natomiast na rys. 8 - topografię powierzchni 3D.



Rys. 7. Analiza topografii powierzchni 2D (widok fotograficzny oraz mapa warstwicowa) z widocznymi śladami przejść ziaren ściernych zakreślających charakterystyczną trajektorię ruchu wynikającą z realizacji procesu szlifowania w układzie czołowym [4]

Przeprowadzone badania wykazały, że przy prędkości obwodowej ściernicy vs = 9 m/s (ns = 5 tys. obr./min) parametry chropowatości powierzchni obrabianej osiągają najmniejszą wartość. Wraz ze wzrostem prędkości wartości średnie chropowatości zwiększają się. Dla materiałów trudnoskrawalnych, takich jak tytan, wzrost temperatury w strefie szlifowania sprzyja uplastycznieniu warstwy skrawanej jak i warstwy przypowierzchniowej powodując jej umocnienie, a jednocześnie powstający wiór efektywnie zalepia powierzchnię czynną ściernicy powodując wzrost siły tarcia (przy jednoczesnym spadku skrawania), co powoduje dodatkowo wzrost temperatury w strefie obróbki intensyfikację niekorzystnych zjawisk z tym związanych.



Rys. 8. Analiza topografii powierzchni 3D z widocznymi śladami przejść ziaren ściernych [4]

Podsumowanie

Wykazano możliwość zastosowania szlifowania do obróbki części samochodowych wykonanych ze stopów tytanu.

Przeprowadzony eksperyment wskazuje, że przy najmniejszej prędkości szlifowania vs = 9 m/s uzyskano najlepszą jakościowo powierzchnię, ale analiza wykazała, że wynik ten jest zdeterminowany wypadkową wielu czynników działających w strefie szlifowania. Potencjalny wzrost prędkości szlifowania powinien redukować naprężenia wewnątrz warstwy wierzchniej materiału obrabianego (zgodnie z analizą symulacyjną przeprowadzoną dla pojedynczego ziarna ściernego), jednak po uwzględnieniu całej powierzchni czynnej ściernicy i charakterystyki materiału obrabianego, można dojść do wniosku, że w trakcie szlifowania na skutek pracy ziaren ściernych dochodzi do powstawania znacznych wzrostów temperatury w trakcie realizacji procesu szlifowania. To z kolei sprzyja uplastycznieniu (płynięciu) materiału obrabianego w strefie obróbki). Materiały trudnoskrawalne mają tendencję do zalepiania powierzchni czynnej ściernicy fragmentami wiórów. To w konsekwencji sprzyja zwiększeniu tarcia w strefie szlifowania, czego efektem jest zwiększenie naprężeń termicznych i w konsekwencji pogorszenie warunków pracy powierzchni czynnej ściernicy. Dlatego redukcja prędkości szlifowania w takich przypadkach daje lepsze efekty w postaci niższych wartości chropowatości powierzchni obrobionej.

Mniejsza prędkość skrawania jednak powoduje zwiększenie warstwy skrawanej, co przedstawiono w części symulacyjnej. Korzystny wpływ redukcji prędkości odnosi się jednak tylko do niektórych materiałów właśnie trudnoskrawalnych. W innych przypadkach zmniejszenie warstwy skrawanej poprzez zwiększenie prędkości szlifowania zwykle przynosi korzystny efekt.

Bibliografia

1. Borkowski J., Borkowski P.: Physical aspects of attributious grain wear in grinding conditions, Zesz. Nauk. Wydz. Mech. Modern Techniques and Technologies, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2001, No 29, pp. 54-66.
2. Chodor J., Kukielka L.: Numerical analysis of chip formation during machining for different value of failure strain. PAMM. 2007, vol. 7, Issue 1, WILEY-VCH Verlag, pp 4030031-4030032.
3. Chodor J., Kukielka L.: Numerical analysis of the influence of abrasive grain geometry and cutting angle on states of strain and stress in the surface layer of object, In Computer Methods and Experimental Measurements VIII. WIT Transactions on Engineering Sciences, vol. 55, WITPRESS, 2007, pp.183-193.
4. Chodor J., Kukielka L.: Numerical analysis of micromachining of C45 steel by single abrasive grain. PAMM, vol. 8, Issue 1, WILEY-VCH Verlag, 2008, pp.10715-10716.
5. Dobrzański L. A.: Postawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, Gliwice-Warszawa 2002.
6. Gotowała K.: Badania procesu szlifowania materiałów trudnoskrawalnych z wykorzystaniem sygnału EA, Praca magisterska, Politechnika Koszalińska, 2014.
7. Jemielniak K.: Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawania, Politechnika Warszawska, 2002.
8. Jemielniak K.: Automatyczna diagnostyka ostrzy narzędzi skrawających, Inżynieria Maszyn, R. 17, z. 1, 2012, s. 17-29.
9. Kacalak W., Krzyżyński T., Kukielka L., Kasprzyk M.: Material Movement Resistance in the Zone of Micro-Machining with Abrasive Grain Tool-Points, Zesz. Nauk. Wydz. Mech. Modern Techniques and Technologies, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2001, nr 29, s. 97-116.
10. Konieczny J.: Materiały stosowane w konstrukcjach lotnictwa wojskowego. Armia Nr 4(56), Oficyna Wydawnicza Karego, 2013, s. 68-75.
11. Kukielka L., Kustra J., Numerical analysis of thermal phenomena and deformations in processing zone in the centerless continuous grinding process, WIT Transactions on Engineering Sciences, vol. 39, WITPRESS, 2003, pp. 109-118
12. Kukielka L., Kustra J., Kukielka K., Numerical analysis of states of strain and stress of material during machining with a single abrasive grain. WIT Transactions on Engineering Sciences, vol. 49, WITPRESS, 2005, pp.57-66
13. Musiał W.: Badania procesu mikroszlifowania w warunkach ciągłego usuwania materiału, Praca doktorska, Politechnika Koszalińska, 2007.
14. Musiał W.: Propozycja modernizacji stanowiska badawczego do realizacji mikro obróbki powierzchni czynnej ostrza skrawającego płytek ceramicznych. Rozdział w Monografii Wydziału Mechanicznego Nr 167 pod redakcją prof. Plichta Jarosława, Współczesne problemy obróbki ścierniej. Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2009, s. 527-540.
15. Musiał W.: Kształtowanie warstwy wierzchniej materiału ceramicznego w warunkach plastycznego płynięcia w strefie szlifowania. Monografia Wydziału Mechanicznego Nr 188. Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2009.
16. Musiał W.: Proces szlifowania powierzchni kształtowych w materiałach trudno skrawalnych, Rozdział w książce: Wysoko efektywne szlifowanie materiałów trudno skrawalnych, pod redakcją Jarosława Plichty, Krzysztofa Nadolnego, Wojciecha Musiała, Pawła Sutowskiego, Monografia Wydziału Mechanicznego Nr 225, Politechnika Koszalińska, 2012, s. 206-255.
17. Nadolny K.: Podstawy budowy i eksploatacji modyfikowanych ściernic z ziarnami mikrokryształicznego korundu spiekanego w procesach szlifowania otworów. Monografia Wydziału Mechanicznego nr 227, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012.
18. Oczó K.: Porzycki J.: Szlifowanie. Podstawy i technika, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa. 1986.
19. Oczó K.E.: Kompozty włókniste właściwości. zastosowanie. obróbka ubytkowa. Miesięcznik naukowo-techniczny, Mechanik Nr 7/2008.
20. Orzełowski S.: Budowa podwozi i nadwozi samochodowych Wdawnictwo: WSiP. ISBN: 9788302087851
21. Senkara J.: Współczesne stale karoseryjne dla przemysłu motoryzacyjnego i wytyczne technologiczne ich zgrzewania.

Autorzy:

Mgr inż. **Katarzyna Gotowała** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

Dr inż. **Wojciech Musiał** – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

Structure of geometric surface titanium alloy WT3_1 after grinding leading grinding wheel of cubic boron nitride

Article concerns the applicability of the grinding treatment of automotive parts made of titanium alloy. It shows the geometrical structure of the surface of titanium alloy WT3_1 sanding leading grinding wheel geometry with the following characteristics : 6A235×10×5×5, composed of grains of cubic boron nitride and vitrified V5 . Variable is used the concentration of grains (100 and 125) and a variable part electrocorundum follicular Traibacher (0, 5 and 10 %).
