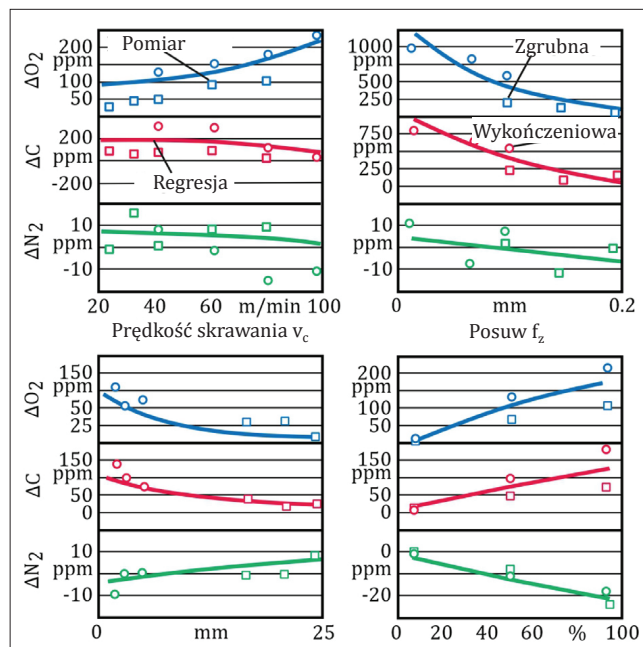


Recykling wiórów Ti-6Al-4V na potrzeby produkcji w obiegu zamkniętym

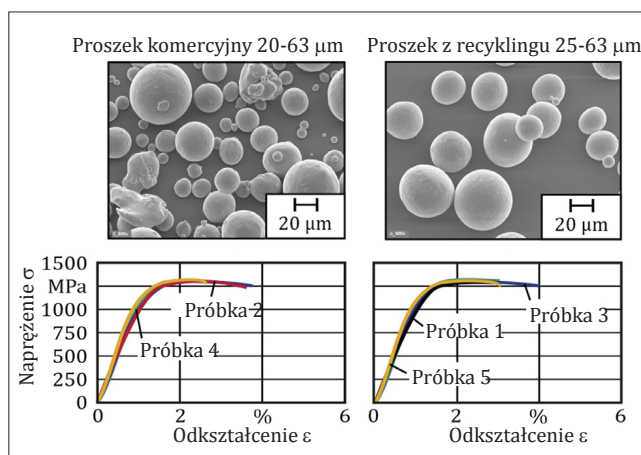
Podczas obróbki skrawaniem elementów lotniczych ze stopów tytanu do 95% materiału jest usuwane w postaci wiórów. W związku z tym wióry tytanowe są potencjalnym źródłem materiału, jeśli uda się uniknąć zanieczyszczeń. Przeprowadzono badania mające na celu zmaksymalizowanie możliwości recyklingu wiórów przez dostosowanie procesu frezowania i kolejnych etapów przetwarzania.

Frezowano stop tytanu Ti-6Al-4V zgrubnie frezem walcowo-czołowym o średnicy $D = 63$ mm z płytkami TiAlN ($v_c = 20\text{--}80$ m/min, $f_z = 0,1\text{--}0,2$ mm/ostrze, $a_p = 11$ mm, $a_e = 20$ mm) i wykończeniowo frezami pełnowęglowymi TiAlN o średnicy $D = 20$ mm ($v_c = 40\text{--}100$ m/min, $f_z = 0,01\text{--}0,1$ mm/ostrze, $a_p = 11$ mm, $a_e = 0,8$ i $2,5$ mm). Na rys. 1 przedstawiono wpływ parametrów skrawania i zużycia ostrza na zanieczyszczenie wiórów tlenem, węglem i azotem. Za kryterium stopienia przyjęto $VB_B = 200$ μm . Warto zauważyć, że zwiększenie promieniowej głębokości skrawania a_e prowadzi do mniejszej absorpcji tlenu zarówno przy obróbce zgrubnej, jak i wykończeniowej, ponieważ większy stosunek powierzchni do objętości skutkuje większą powierzchnią reakcji utleniania.

W ramach procesu recyklingu wiórów ze stopów tytanu są one zamieniane na proszek przez rozpylanie gazowe z indukcją elektrodową. Proszek jest następnie wykorzystywany do wytwarzania jednolitych elementów metodą selektywnego topienia laserowego (wytwarzanie przyrostowe). Analiza optyczna za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego cząstek proszku uzyskanych z wiórów wskazuje na



Rys. 1. Wpływ parametrów skrawania i zużycia ostrza na zanieczyszczenie wiórów tlenem, węglem i azotem



Rys. 2. Porównanie cząsteczek komercyjnego proszku Ti-6Al-4V z uzyskanym z wiórów (górną część) oraz wytrzymałości na rozciąganie próbek wykonanych z tych proszków (dolną część)

brak znaczących odchyśleń od komercyjnego proszku z materiału pierwotnego (rys. 2). Z obu proszków wykonano próbki i poddano je testom rozciągania. Jak widać na rys. 2, nie ma znaczącej różnicy między próbkami wykonanymi z proszku komercyjnego i proszku z recyklingu – $R_m = 1309$ MPa. Warto jednakże podkreślić, że wytrzymałość ta jest średnio o 24% wyższa niż konwencjonalnie wytworzonego Ti-6Al-4V, która wynosi $R_m = 900\text{--}1200$ MPa.

Określono łączne zużycie energii do produkcji proszku pochodzącego z recyklingu i porównano z kosztami wytwarzania proszku komercyjnego. Maksymalny potencjał oszczędności dzięki recyklingowi wynosi 77% dla wiórów z obróbki zgrubnej. Wraz ze wzrostem udziału wiórów z obróbki wykończeniowej wskaźnik recyklingu odpowiednio spada, ponieważ wióry te są trudne do recyklingu. Udział masowy 10% takich wiórów w materiale pochodzącym z recyklingu zmniejsza oszczędność energii do około 70%. Ogólnie rzecz biorąc, recykling tytanowych wiórów na proszek może znacznie zmniejszyć ślad tytanowych komponentów wytwarzanych metodą przyrostową.

Opracował: prof. dr hab. Krzysztof Jemielniak

LITERATURA

Denkena B. et al. „Recycling of Ti-6Al-4V chips for closed-loop manufacturing”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 73 (2024): 73–76, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2024.04.046>.