



Formowanie wtryskowe proszku tytanu

A. Kubica^a, G. Matula^b

^a Studentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Studenckie Koło Naukowe Metalurgii Proszków

email: ankak141@wp.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

email: grzegorz.matula@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono różne metody wytwarzania i obróbki elementów tytanowych. Określono jakie trudności pojawiają się podczas przetwórstwa tytanu. Opisano technologię metalurgii proszków w tym formowanie wtryskowe jako przyszłościowy sposób na produkcję elementów tytanowych. W przeprowadzonych badaniach wytworzono granulaty z proszkiem tytanu, określono minimalny czas homogenizacji oraz wytworzono próbkę przy użyciu procesu formowania wtryskowego.

Abstract: The article presents different production methods and processing of titanium. The difficulties that arise during processing of titanium were determined. Powder metallurgy including powder injection molding was described, as a future method for the production of titanium components. In this study pellets of titanium powder were prepared, the minimum homogenization time was specified and sample was prepared using a powder injection molding process.

Słowa kluczowe: implanty tytanowe, metalurgia proszków, formowanie wtryskowe proszku

1. WSTĘP

Tytan to jeden z najbardziej biokompatybilnych biomateriałów metalowych. Z uwagi na niską gęstość zbliżoną do gęstości kości ludzkich, jest on szczególnie chętnie wykorzystywany do wszelkiego rodzaju implantów przenoszących duże obciążenia mechaniczne. Największą wadą tytanu jest jego cena, która często stanowi barierę przed szerszym jego zastosowaniem. Jest to związane z kosztowną technologią otrzymywania czystego tytanu. Tytan jako materiał o wysokiej reaktywności wymaga zastosowania specjalnych środków ostrożności podczas jego przetwarzania. Dotyczy to głównie technik wytwarzania implantów tytanowych z proszków. Wraz ze spadkiem wielkości cząstek proszku rośnie jego powierzchnia właściwa, zatem następuje szybsze utlenianie. Jednakże metalurgia proszków jest technologią coraz częściej stosowaną do wytwarzania implantów. Dzięki niej można uzyskać zamierzoną

porowatość powierzchni co umożliwia lepsze połączenie dzięki zarastaniu porów przez tkankę kostną. Z uwagi na dość skomplikowany kształt implantów oraz wymagane wysokie własności mechaniczne, do formowania proszku stosuje się prasowanie izostatyczne zapewniające porównywalną gęstość w całej objętości wypraski.

Czysty tytan pozyskuje się po dziś dzień przy użyciu metody Krolla polegającej na redukcji czterochloru tytanu magnezem. Inną metodą jest FFC (ang. *Fray-Farthing-Chen*), która odbywa się przez elektrolizę rutylu w stopionym chlorku wapnia [1,2].

Podczas wytwarzania tytanu istnieje wiele niedogodności, do których należą [1,2]:

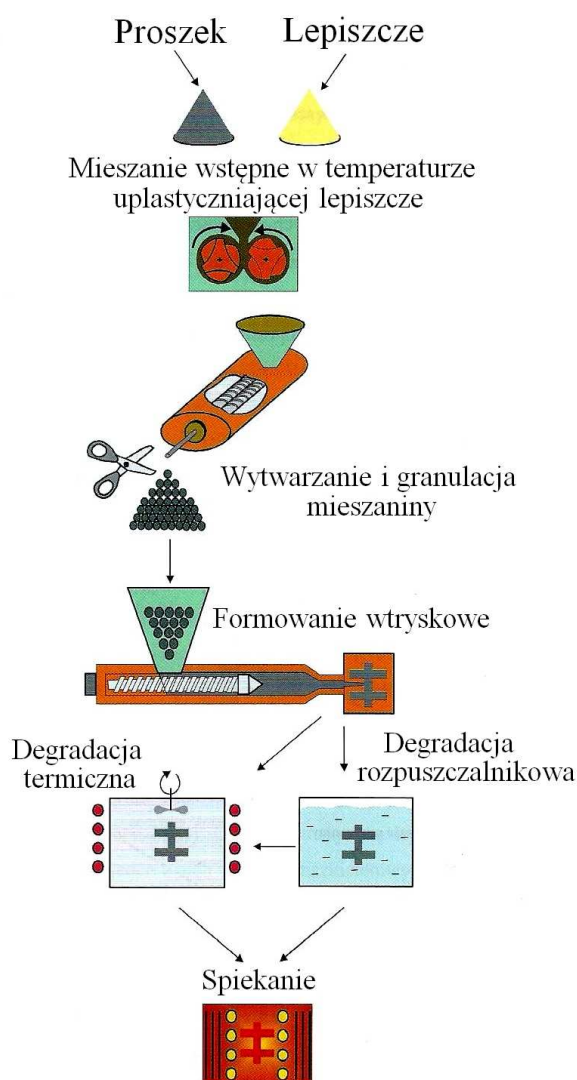
- wysoka temperatura topnienia tytanu i duża reaktywność w tej temperaturze,
- reaktywność stopionego tytanu z niemal wszystkimi materiałami ceramicznymi, wyjątki stanowią dwutlenek toru, rekrytalizowany tlenek wapnia i grafit,
- energochłonność procesu produkcyjnego i konieczność zapewnienia dużej ilości surowców.

Nadawanie kształtów i własności dla tytanu i jego stopów można realizować również przez procesy odlewania, obróbki cieplnej, obróbkę plastyczną, kształtowanie przyrostowe oraz obróbkę ubytkową [3,4]. Jednak to głównie metalurgia proszków zapewnia szeroki wachlarz możliwości pod względem nadawania kształtów produktom. Wysoki stopień wykorzystania surowców oraz niska energochłonność sprawiają że jest to technologia coraz częściej wykorzystywana. Produkty wytwarzane przy zastosowaniu tej technologii charakteryzują się drobnoziarnistą strukturą, co sprawia, że ich własności są porównywalne bądź lepsze od elementów wytwarzanych innymi metodami. Do etapów wytwarzania materiałów spiekanych należą [2,3,5]:

- otrzymywanie proszków,
- przygotowanie proszków,
- formowanie,
- spiekanie,
- obróbka wykańczająca.

Bardzo obiecującą i rozwijającą się techniką formowania wyrobów jest formowanie wtryskowe proszków (ang. *PIM – powder injection molding*), które opiera się na tym samym procesie co formowanie wtryskowe tworzyw sztucznych. Metoda ta dzieli się na CIM oraz MIM odpowiednio dla proszków ceramicznych lub metalowych. Składnikami lepiszcza, niezbędnego do formowania proszków są często klasyczne tworzywa termoplastyczne takie jak polipropylen czy polietylen. Urządzenia przeznaczone do formowania wtryskowego proszku niczym się nie różnią od urządzeń przeznaczonych do przetwórstwa termoplastów. Jest to metoda szczególnie przydatna przy zastosowaniu do dużych produkcji. Formowanie wtryskowe proszku zapewnia możliwość wytwarzania elementów o skomplikowanym, powtarzalnym kształcie, zwłaszcza o małych rozmiarach, których cena nie jest wygórowana. Dotyczy to głównie śrub, wkrętów i płytek stabilizujących. Dodatkowo proces formowania wtryskowego nie jest czasochłonny jeśli posiada się już ujednorodniony materiał [3,6].

Proces MIM (rys. 1) odbywa się poprzez wymieszanie proszku metalu z termoplastycznym lepiszczem, granulowaniu, uplastycznianiu i wtryskiem ujednorodnionego materiału do metalowej formy. Kształtki otrzymane podczas wtrysku poddaje się następnie degradacji rozpuszczalnikowej i termicznej lub tylko degradacji termicznej, co ma na celu usunięcie z nich lepiszcza. Degradacja rozpuszczalnikowa usuwa jeden składnik lepiszcza co powoduje powstanie porów w całej objętości kształtki i przyspiesza proces degradacji termicznej. Ostatni składnik lepiszcza powinien ulegać degradacji w jak najwyższej temperaturze aby utrzymać kształt do temperatury spiekania. Następnym etapem jest spiekanie kształtek w celu nadania im odpowiednich własności użytkowych [3,6].



Rysunek 1. Przebieg procesu MIM [6]

Figure 1. The MIM process [6]

2. BADANIA WŁASNE

Podczas przeprowadzonych badań wytworzono dwa materiały o różnym składzie chemicznym i oceniono szybkość ujednorodnienia materiałów. Materiały zawierały różne ilości poszczególnych składników. Mieszanka 60Ti/19PP/19PW zawierała 60% proszku tytanu, 19% polipropylenu, 19% parafiny oraz 2% kwasu stearynowego. Natomiast mieszanka 64Ti/17PP/17PW składała się z 64% proszku tytanu, 17% polipropylenu, 17% parafiny i 2% kwasu stearynowego. Polipropylen oraz parafina obniżały lepkość mieszaniny, a kwas stearynowy stanowił środek zwilżający dla proszku tytanu.

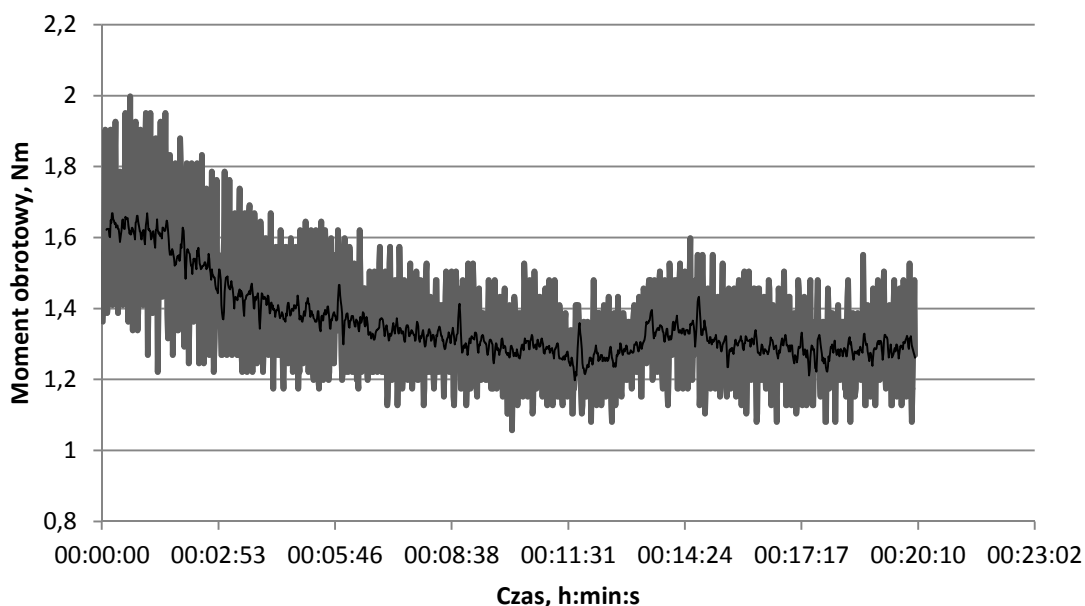
Przygotowywanie mieszanin polegało na odważeniu składników, rozpuszczeniu kwasu stearynowego w niewielkiej ilości metanolu i wprowadzeniu do niego proszku tytanu. Po uzyskaniu jednolitej konsystencji mieszanin poddano je suszeniu w piecu, a po wysuszeniu wszystkie składniki mieszanin wprowadzano porcjami do wycłaczarki. Wycłaczarka pracowała

w trybie współbieżnym o układzie otwartym. Mieszanie prowadzono do momentu uzyskania jednorodnej konsystencji materiałów. W wyniku tego procesu otrzymano granulaty, które następnie poddawano formowaniu wtryskowemu. Do badań wykorzystano mikro wytłaczarkę dwuślimakową EHP 15P firmy Zamak.

Od momentu rozpoczęcia ujednorodniania materiału rejestrowano zmiany momentu obrotowego ślimaków od czasu wytłaczania, co pozwoliło na stworzenie wykresów tych wielkości i określenie czasu potrzebnego do ujednorodnienia mieszanin w zależności od zawartości w nich proszku tytanu. Na wykresach wyznaczono również linię trendu średniej ruchomej o okresie równym siedem wyznaczonym doświadczalnie.

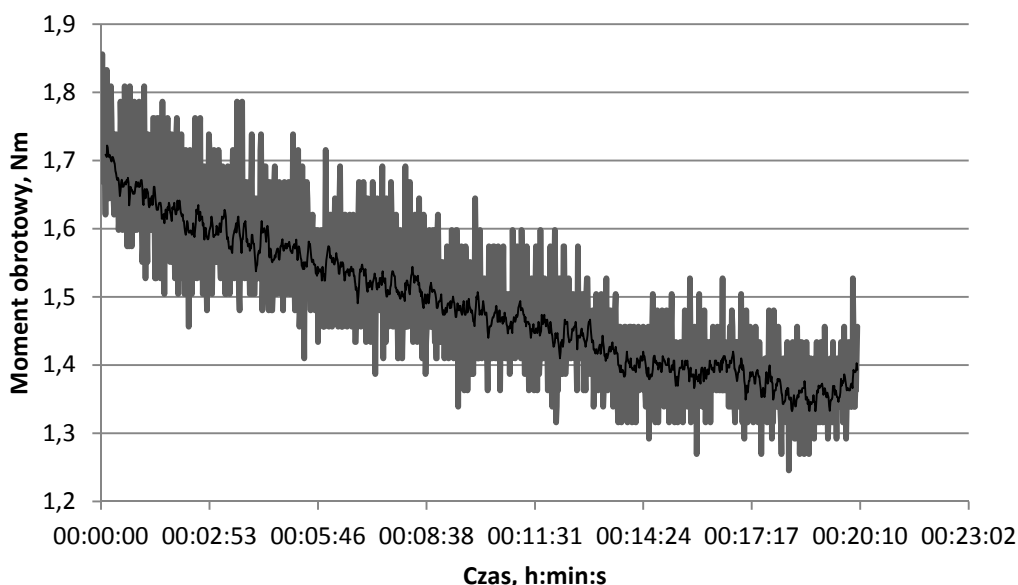
Rysunek 2 przedstawia wykres momentu obrotowego od czasu dla mieszaniny 60Ti/19PP/19PW. Wykres uzyskany bezpośrednio z wyników otrzymanych podczas wytłaczania ma postać szerokiego pasma, w którym rozpiętość momentu jest duża, dlatego zastosowano uśrednienie tych wartości w postaci linii trendu. Zaobserwowano, że początkowy moment obrotowy wynoszący 1,62 Nm obniża się i stabilizuje się w 14 minucie na poziomie 1,3 Nm. Stabilizacja ta wskazuje na ujednorodnianie materiału. Na rysunku 3 przedstawiono tę samą zależność dla mieszaniny 64Ti/17PP/17PW, jak można z łatwością zauważyć średnie wartości momentu obrotowego ślimaków są wyższe niż w przypadku mieszaniny 60Ti/19PP/19PW. Wartość początkowa momentu wynosi 1,71 Nm. Stabilizacja wartości momentu obrotowego następuje później około 16 minuty i wynosi on 1,36 Nm.

Badanie to dowodzi, że możliwe jest ujednorodnienie mieszaniny proszku tytanu i lepiszcza przy użyciu procesu wytłaczania, a wraz ze zmniejszaniem ilości lepiszcza w mieszaninie następuje podwyższenie lepkości mieszaniny, co objawia się wzrostem momentu obrotowego ślimaków.



Rysunek 2. Wykres momentu obrotowego ślimaków od czasu z wyznaczoną linią trendu średniej ruchomej o okresie 7, dla mieszaniny 60Ti/19PP/19PW

Figure 2. Graph of torque of the screws from the time with moving average trend line of a period equal to 7, for a mixture of 60Ti/19PP/19PW



Rysunek 3. Wykres momentu obrotowego ślimaków od czasu z wyznaczoną linią trendu średniej ruchomej o okresie 7, dla mieszaniny 64Ti/17PP/17PW

Figure 3. Graph of torque of the screws from the time with moving average trend line of a period equal to 7, for a mixture of 64Ti/17PP/17PW

Granulat 64Ti/17PP/17PW poddano dalszej obróbce przez formowanie wtryskowe przy użyciu miniaturowej wtryskarki pneumatycznej tłokowej firmy Zamak. W wyniku tej operacji uzyskano prostokątną próbkę (rys. 4), w której po przecięciu odkryto pęcherze gazowe (rys. 5), które najprawdopodobniej powstały w wyniku zbyt wysokiej temperatury wtryskiwanego materiału.



Rysunek 4. Próbka uzyskana w wyniku wtryskiwania

Figure 4. Sample from injection molding



Rysunek 5. Przekrój próbki otrzymanej po wtryskiwaniu

Figure 5. Cross-section of the sample obtained during injection molding

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Istnieje wiele metod przetwarzania tytanu. Metalurgia proszków należy do technologii coraz częściej wykorzystywanych, ze względu na jej liczne zalety. Metoda MIM, jako jedna z odmian metalurgii proszków, pozwala na nadawanie dowolnych kształtów formowanym materiałom. Pomimo trudności wiążących się z przetwórstwem proszku tytanu możliwe jest jego formowanie z wykorzystaniem procesu wtryskiwania. Udowodniono, że wzrost zawartości proszku tytanu w materiale wytłaczanym powoduje wydłużenie czasu homogenizacji. Jednak z uwagi na konieczność degradacji lepiscza, powstającej dużej ilości porów w miejscu usuniętego lepiscza i możliwości dystorsji podczas spiekania, wysoki udział procentowy proszku jest pożądanym. W tym celu stosuje się różne środki obniżające lepkość wsadu, np. surfaktanty. W przeprowadzonych badaniach zastosowano kwas stearynowy, który znacznie obniża lepkość. Wstępne próby uzyskania mieszaniny polimerowo-proszkowej bez udziału tego składnika skończyły się niepowodzeniem, ponieważ lepkość gęstwy była zbyt wysoka i powodowała przeciążenie układu napędowego wytłaczarki. Konieczne jest prowadzenie dalszych badań aby ustalić parametry wtrysku przy których kształtka będzie pozbawiona wad wewnętrznych w postaci pęcherzy gazowych. Istotny jest również dobór parametrów degradacji oraz spiekania w dalszej części badań. Generalnie proces MIM jest szybki, prosty i stosunkowo niedrogi przy dużych ilościach produkowanych elementów, co sprawia, że jest to technologia mająca bardzo dobre perspektywy.

LITERATURA

- [1] W. Szkliniarz, Nowoczesne materiały metaliczne – teraźniejszość i przyszłość, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, Katowice, 2009, 103-135.
- [2] S.J. Skrzypek, K. Przybyłowicz, Inżynieria metali i ich stopów, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2012, 199-208, 289-316.
- [3] K.E. Oczóś, A. Kawalec, Kształtowanie metali lekkich, PWN, Warszawa, 2012, 280-411.
- [4] R. Melechow, K. Tubielewicz, W. Błaszczuk, Tytan i jego stopy, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004, 17-138, 186-204.
- [5] L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 2006.
- [6] G. Matula, Gradientowe warstwy powierzchniowe z węglkostali narzędziowych formowane bezciśnieniowo i spiekane, Open Access Library 7(13) (2012) 1-144.