

Spis treści

Streszczenie	11
Summary	13
Spis ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń	15
1. Wprowadzenie	17
2. Przemiany fazowe w tytanie i jego stopach	19
2.1. Przemiana alotropowa $Ti_{\alpha} \leftrightarrow Ti_{\beta}$	19
2.2. Przemiany fazowe w stopach tytanu	20
2.2.1. Przemiana fazowa $\alpha + \beta \leftrightarrow \beta$	21
2.2.2. Przemiana martenzytyczna $\beta \rightarrow \alpha'$	21
2.2.3. Przemiany dyfuzyjne	22
2.3. Stopy tytanu i ich klasyfikacja	23
2.3.1. Pierwiastki stopowe stosowane w stopach tytanu	23
2.3.2. Klasyfikacja stopów tytanu	24
3. Mikrostruktura stopów tytanu i czynniki prowadzące do jej modyfikacji ...	26
4. Możliwości i perspektywy stosowania metalurgii proszków jako metody wytwarzania wyrobów ze stopów tytanu	29
4.1. Aspekt ekonomiczny	29
4.2. Metalurgia proszków jako metoda wytwarzania stopów tytanu	32
5. Przeróbka plastyczna wyprasek i spieków ze stopów tytanu	35
5.1. Korzyści wynikające z przeróbki plastycznej półwyrobów z proszków ...	35
5.2. Przykłady prac badawczych nad stosowaniem przeróbki plastycznej półwyrobów ze stopu Ti-6Al-4V otrzymanych z proszków	36
5.3. Przykłady zastosowania procesów przeróbki plastycznej wsadu otrzymanego z proszku do produkcji wyrobów ze stopów tytanu	41
6. Metoda dynamicznego modelowania i jej zastosowanie do wyznaczania ciepłno-mechanicznych warunków kształtowania na gorąco stopów tytanu	44
6.1. Wprowadzenie	44
6.2. Metoda dynamicznego modelowania materiału (DMM)	45
6.3. Zastosowanie metody DMM do analizy warunków kształtowania stopów tytanu	48
6.4. Przykłady stosowania metody DMM w odniesieniu do stopów tytanu otrzymanych z proszków i wynikające z tego korzyści	50

7. Parametr Zenera–Hollomona i energia aktywacji wysokotemperaturowego odkształcenia.	52
8. Fizyczne modelowanie procesów kształtowania na gorąco w warunkach dużego odkształcenia całkowitego, z wykorzystaniem modułu MaxStrain	55
9. Podsumowanie przeglądu literatury, cel oraz teza pracy.	57
10. Stanowiska laboratoryjne, pomiarowe i linie przemysłowe zastosowane podczas badań oraz metody badawcze	60
11. Wytworzenie materiału do badań.	63
11.1. Wytworzenie stopu Ti-6Al-4V metodą metalurgii proszków	64
11.1.1. Założenia dotyczące proszków wyjściowych i wykonania z nich mieszaniny	64
11.1.2. Proszki wyjściowe do badań.	65
11.1.3. Wykonanie mieszaniny i ocena jej jakości	66
11.1.4. Prasowanie na gorąco mieszanin	67
11.2. Charakterystyka przyjętych do badań materiałów ze stopu Ti-6Al-4V	68
11.2.1. Charakterystyka wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V	69
11.2.2. Charakterystyka walcowanego odlewu ze stopu Ti-6Al-4V.	71
11.2.3. Badania nieniszczące wyprasek	73
11.2.4. Wpływ metody wytwarzania stopu Ti-6Al-4V na jego własności	73
12. Temperatury przemiany fazowej $\alpha + \beta \leftrightarrow \beta$ stopu Ti-6Al-4V	75
12.1. Badania dylatometryczne stopu Ti-6Al-4V	75
12.2. Wpływ temperatury wyprasek na udział faz α oraz β	78
13. Badania plastometryczne wyprasek.	80
13.1. Cel testów i założenia podjęte przy ich realizacji.	80
13.2. Sposób realizacji testów plastometrycznych i ich wyniki	80
13.3. Mikrostruktura próbek w stanie po odkształceniu na symulatorze Gleeble 3800.	83
14. Mapy procesowe wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V opracowane na podstawie podejścia Prasada	89
14.1. Opracowanie map procesowych w zależności od wartości odkształcenia rzeczywistego	89
14.2. Opracowanie okien procesowych dla przeróbki plastycznej na gorąco wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V	93
14.3. Podsumowanie wyników analizy DMM.	95
15. Energia aktywacji wysokotemperaturowego odkształcenia i parametr Zenera–Hollomona wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V	96
16. Testy śpęczania w warunkach laboratoryjnych	100
16.1. Cel testów na symulatorze WUMSI i założenia przyjęte przy ich realizacji	100
16.2. Charakterystyka stanowiska WUMSI, warunki testów i opis ich wykonania	102
16.3. Krzywe płynięcia stopu Ti-6Al-4V podczas testów na symulatorze WUMSI.	103

16.4. Mikrostruktura stopu Ti-6Al-4V po odkształceniu na symulatorze WUMSI	105
16.5. Pomiary twardości stopu w stanie po odkształceniu	108
17. Analiza numeryczna metodą elementów skończonych (MES) wybranych procesów kucia matrycowego na gorąco wyprasek ze stopu Ti-6Al-4V	109
17.1. Założenia przyjęte podczas modelowania.	109
17.2. Warunki prowadzenia analizy numerycznej MES	109
17.3. Warunki brzegowe do symulacji MES wyprasek	111
17.3.1. Właściwości cieplne stopu Ti-6Al-4V w temperaturze przeróbki plastycznej w zakresie dwufazowym	112
17.3.2. Oszacowanie czynnika tarcia w temperaturze przeróbki plastycznej na gorąco	114
17.4. Modelowanie MES wybranych procesów kucia i analiza otrzymanych wyników	117
17.4.1. Modelowanie kucia matrycowego odkuwki kołnierza na prasie korbowej	117
17.4.2. Modelowanie kucia matrycowego odkuwki koła zębatego na prasie hydraulicznej	121
18. Technologiczne próby kucia wyprasek i charakterystyka odkuwek.	125
18.1. Próby kucia na gorąco na prasie korbowej	125
18.2. Próby kucia na gorąco na prasie hydraulicznej.	126
18.3. Podsumowanie rezultatów prób kucia matrycowego w warunkach przemysłowych.	127
18.4. Badania odkuwek	127
18.4.1. Rentgenowska analiza fazowa	127
18.4.2. Badania nieniszczące odkuwek.	128
18.4.3. Mikrostruktura odkuwek.	131
18.4.4. Badania twardości odkuwek	134
18.5. Podsumowanie wyników badań odkuwek	136
19. Testy wieloosiowego ściskania z zastosowaniem modułu MaxStrain	138
19.1. Stanowisko do realizacji testów MaxStrain	138
19.2. Założenia przy realizacji testów	138
19.3. Wykonanie testów wieloosiowego ściskania MaxStrain	139
19.4. Wyniki badań próbek odkształconych w testach MaxStrain	142
19.4.1. Obserwacje mikrostruktury.	143
19.4.2. Własności mechaniczne	146
20. Walcowanie na gorąco stopu Ti-6Al-4V.	149
20.1. Przygotowanie materiału i realizacja procesu walcowania	149
20.2. Testy walcowania na gorąco na walcierce trio.	150
20.3. Mikrostruktura i wybrane własności walcowanych prętów ze stopu Ti-6Al-4V	152
21. Podsumowanie i dyskusja wyników badań oraz wnioski.	158
Literatura	170