

WPLYW OBRÓBKI CIEPLNEJ NA MIKROSTRUKTURĘ I WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE ODKUWEK ZE STOPU Ti-6Al-4V

JULIA BUDNIAK*, MAŁGORZATA LEWANDOWSKA

POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,
UL. WOŁOSKA 141, 02-507 WARSZAWA
* E-MAIL: JULIA.BUDNIAK@MATERIALS.PL

Streszczenie

W pracy analizowano wpływ obróbki cieplnej na mikrostrukturę, mikrotwardość oraz wytrzymałość na rozciąganie odkuwek matrycowych ze stopu Ti-6Al-4V. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że sposób chłodzenia materiału po obróbce cieplnej w temperaturze 950°C wpływa na udział objętościowy poszczególnych faz, natomiast nie wpływa na mikrotwardość materiału wygrzewanego w temperaturach 900 i 950°C. Ponadto dwuetapowa obróbka cieplna nie zmienia wytrzymałości na rozciąganie, powoduje natomiast nieznaczny wzrost granicy plastyczności.

Słowa kluczowe: stopy tytanu, kucie matrycowe, obróbka cieplna

[Inżynieria Biomateriałów, 74, (2008), 23-26]

Wprowadzenie

Tytan i jego stopy znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle, m.in. w lotnictwie, energetyce, motoryzacji, a także inżynierii biomedycznej. Decyduje o tym fakt, że szereg stopów tego metalu charakteryzuje się znacznie wyższym stosunkiem wytrzymałości do gęstości w porównaniu do innych materiałów konstrukcyjnych, wysoką odpornością na korozję w większości środowisk naturalnych i technologicznych oraz podatnością na formowanie plastyczne [1-6].

Stop Ti-6Al-4V jest dwufazowym stopem o strukturze ($\alpha+\beta$), stosowanym między innymi na implanty ortopedyczne i elementy zespołów kostnych [7]. Produkty te wytwarzane są często metodami obróbki plastycznej, między innymi w procesie wysokotemperaturowego kucia. Obróbka cieplna otrzymanych odkuwek ma na celu nadanie materiałowi optymalnego zespołu właściwości fizycznych, mechanicznych i użytkowych [2]. Niniejsza praca miała na celu ocenę zmian zachodzących w mikrostrukturze i wybranych właściwościach mechanicznych wywołanych zastosowaniem wytypowanej obróbki cieplnej.

Materiał i metodyka badań

Jako materiał do badań wykorzystano dwufazowy stop tytanu Ti-6Al-4V (ASTM Grade 5) o składzie chemicznym podanym w TABELI 1. Mikrostrukturę wyjściową przestawiono na RYS. 1. Stop poddany został kuciu matrycowemu w temperaturze 880°C, a następnie obróbką cieplną. Parametry obróbki cieplnej odkuwek z dwufazowego stopu Ti-6Al-4V wybrano na podstawie analizy literaturowej i przedstawiono w TABELI 2. Próbkę do badań pobrano ze środkowej części odkówki.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Ti-6Al-4V FORGINGS

JULIA BUDNIAK*, MALGORZATA LEWANDOWSKA

WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
FACULTY OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING,
WOŁOSKA 141, 02-507 WARSZAWA
* E-MAIL: JULIA.BUDNIAK@MATERIALS.PL

Abstract

The paper analyzes the influence of selected heat treatment on microstructure, microhardness and tensile strength of Ti-6Al-4V die forging. In view of the results it has been reported that cooling after heat treatment at temperature of 950°C influences volume fraction ratio of particular phase, nevertheless does not change microhardness of heat-treated samples at temperature of 900 and 950°C. Beside two-stage heat treatment does not influence tensile strength, however it causes a slight increase in yield strength.

Keywords: titanium alloys, die forging, heat treatment

[Engineering of Biomaterials, 74, (2008), 23-26]

Introduction

Titanium and titanium alloys are widely used in industry, for example in aerospace, power, transport and also in bio-engineering. It is due to their high strength to density ratio in comparison to other structural materials, high corrosion resistance in most of technical and natural environments and plastic forming workability [1-6].

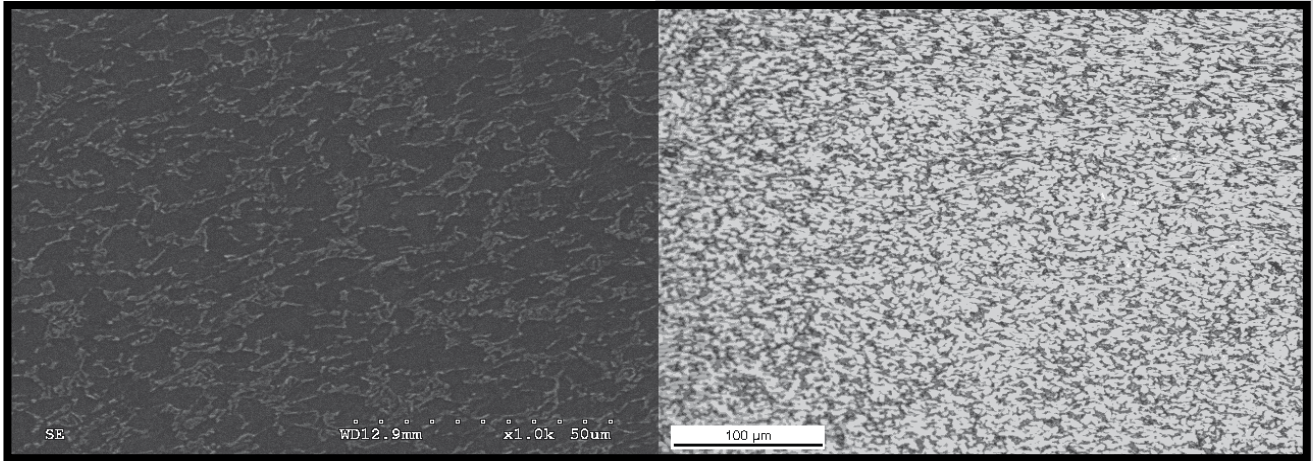
Ti-6Al-4V is a two phase alloy ($\alpha+\beta$) used among others for biomedical applications [7]. Those products are often manufactured by plastic deformation methods, for example by high temperature forging. In order to improve microstructure, mechanical properties and functionality the heat treatments of forgings were carried out [2]. The aim of this study was to investigate the changes in microstructure and mechanical properties induced by the heat treatments from the point of view of their optimization.

Material and research methodology

Two-phase ($\alpha+\beta$) Ti-6Al-4V titanium alloy (ASTM Grade 5) with the chemical composition as shown in TABLE 1 was tested. The initial microstructures are shown in FIG. 1. Die forging was carried out at temperature of 880°C. Next, samples were heat treated. Based on literature analysis heat treatment parameters of forged two-phase Ti-6Al-4V alloy were selected and given in TABLE 2.

TABELA 1. Skład chemiczny Ti-6Al-4V.
TABLE 1. Chemical composition of Ti-6Al-4V alloy.

Fe max.	O max.	N max.	C max.	H max.	Al	V	Ti
0.40	0.20	0.05	0.08	0.015	5.5-6.75	3.5-4.5	reszta / rest



RYS. 1. Mikrostruktura odkuwki ze stopu Ti-6Al-4V.
FIG. 1. Microstructure of Ti-6Al-4V forging.

Obserwację mikrostruktury, pomiary mikrotwardości oraz badania wytrzymałościowe prowadzono na przekrojach poprzecznych.

Zdjęcia mikrostruktury wykonano za pomocą mikroskopu świetlnego Nikon Epiphot 200 oraz elektronowego mikroskopu skaningowego Hitachi S-3500. Pomiar mikrotwardości przeprowadzono na mikrotwardościomierzu Zwick/Roell Intendec metodą Vickersa na przekrojach poprzecznych, pod obciążeniem 200 g. Próby wytrzymałościowe wykonano na urządzeniu MTS QTest/10 z szybkością odkształcenia wynoszącą $2,3 \cdot 10^{-3} [s^{-1}]$.

TABELA 2. Parametry zastosowanej obróbki cieplnej.
TABLE 2. Parameters of used heat treatment.

Oznaczenie próbki / Sample	Parametry obróbki cieplnej / Heat treatment parameters	Sposób chłodzenia / Type of cooling
1	800°C / 1h	woda / water
2	800°C / 1h	powietrze / air
3	850°C / 1h	woda / water
4	850°C / 1h	powietrze / air
5	900°C / 1h	woda / water
6	900°C / 1h	powietrze / air
7	950°C / 1h	woda / water
8	950°C / 1h	powietrze / air
9	950°C / 1h	woda / water
10	950°C / 1h	powietrze / air

Samples were taken from central part of forging. The microstructure observation, microhardness measurements and tensile tests were investigated on cross-sections.

Microstructure images were carried out using light microscope Nikon Epiphot 200 and scanning electron microscope Hitachi S-3500. Microhardness measurements of the material were performed on Zwick/Roell Intendec with the Vickers method on the cross sections under a load of 200 g. The tensile properties were evaluated using MTS QTest/10 machine at a strain rate of $2,3 \cdot 10^{-3} [s^{-1}]$.

Wyniki badań

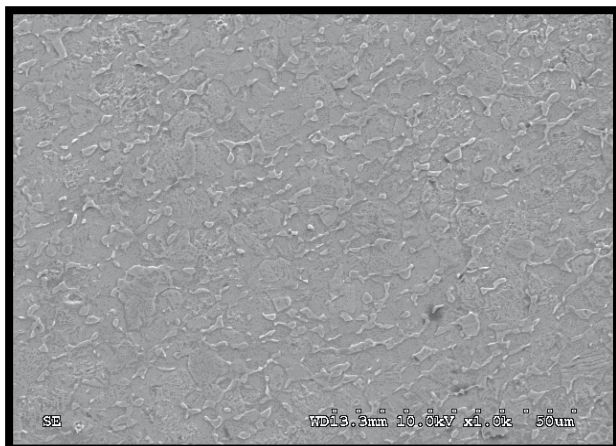
W dwufazowych stopach tytanu wyróżnić można trzy typy mikrostruktury: płytkową, równoosiową i bi-modalną (duplex) [4]. Na implanty i inne elementy zespołów kostnych stosowanych w medycynie wykorzystywany jest stop Ti-6Al-4V o budowie równoosiowej lub bi-modalnej. Materiał po procesie kucia charakteryzował się mikrostrukturą duplex, składającą się z ziaren α w płytkowej osnowie ($\alpha+\beta$) (RYS. 1). Obróbka cieplna spowodowała istotne zmiany mikrostruktury stopów. Na RYSUNKACH 2-5 przedstawiono przykładowe zdjęcia struktury odkuwek ze stopu tytanu obrabianych cieplnie (oznaczenia według TABELI 2).

Obróbka cieplna odkuwek w temperaturze 800 oraz 850°C (próbki 1-4) spowodowała powstanie mikrostruktury składającej się z równoosiowych ziaren fazy α i fazy β . Sposób chłodzenia w tych temperaturach nie wpływa znacząco na stosunek udziału objętościowego obu faz. Począwszy od temperatury 900°C zaobserwować można mikrostrukturą duplex, składającą się z ziaren α w płytkowej osnowie ($\alpha+\beta$). Wraz ze wzrostem temperatury do 950°C wzrasta średnia wielkość ziarna oraz udział objętościowy mieszaniny faz ($\alpha+\beta$), który jest większy dla materiału chłodzonego w wodzie. Zastosowanie drugiego etapu wygrzewania (540°C/4h, powietrze) nie wprowadza znaczących zmian w mikrostrukturze materiału.

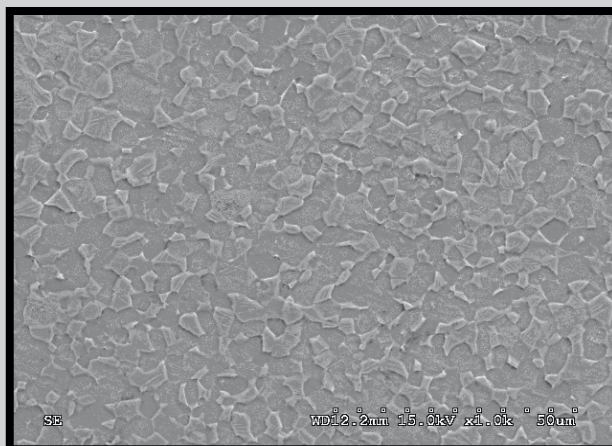
Results and Discussion

In the ($\alpha+\beta$) alloys three different types of microstructure can be obtained: (a) lamellar, (b) equiaxed and (c) bi-modal (duplex) [4]. Ti-6Al-4V titanium alloys with equiaxed or bi-modal microstructure are used in medical applications. The initial duplex microstructure was observed also in the studied samples. This microstructure consists of α grain in lamellar matrix ($\alpha+\beta$) (FIG. 1). Heat treatment caused significant changes in alloy microstructure. FIGURES 2-5 illustrate microstructural changes achieved via thermal treatments of Ti-6Al-4V forgings. The treatments are defined in TABLE 2.

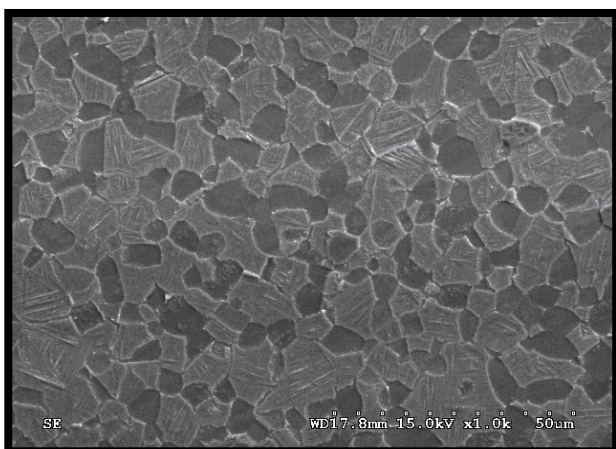
Thermal treatment at temperature of 800 and 850°C (samples 1-4) allowed to obtain microstructure consisting of equiaxed α and β phase areas. The cooling from these temperatures does not significantly influence the volume fraction of the phases. For temperature 900°C and higher, the duplex microstructure is observed. This microstructure consists of α grain in lamellar matrix ($\alpha+\beta$). The average grain size and volume fraction of ($\alpha+\beta$) mixture increase as the temperature increases up to 950°C. For water quenched samples higher volume fraction of ($\alpha+\beta$) mixture can be observed. The second step of heat-treatment (annealing at 540°C/4h, followed by air cooling) does not significantly change the microstructure.



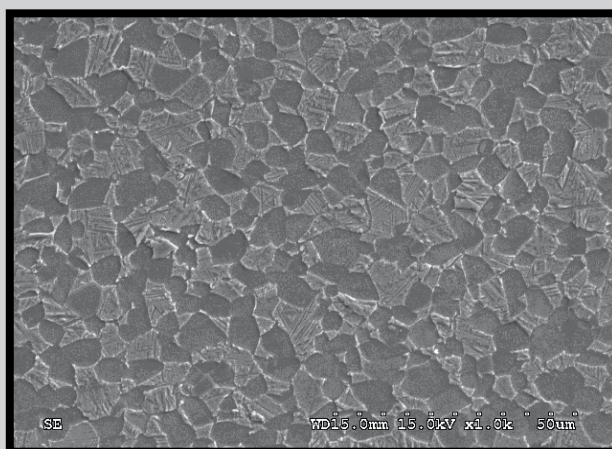
RYS. 2. Odkuwka Ti6Al4V. Próbkę nr 1.
FIG. 2. Ti-6Al-4V forging. Sample 1.



RYS. 3. Odkuwka Ti6Al4V. Próbkę nr 5.
FIG. 3. Ti-6Al-4V forging. Sample 5.



RYS. 4. Odkuwka Ti6Al4V. Próbkę nr 9.
FIG. 4. Ti-6Al-4V forging. Sample 9.



RYS. 5. Odkuwka Ti6Al4V. Próbkę nr 10.
FIG. 5. Ti-6Al-4V forging. Sample 10.

W TABELI 3 zestawiono wyniki uzyskane z pomiarów mikrotwardości próbek ze stopu Ti-6Al-4V. Mikrotwardość próbek wygrzewanych w temperaturze 800 oraz 850°C, a następnie chłodzonych na powietrzu jest nieznacznie wyższa od tych chłodzonych w wodzie. Sposób zastosowanego chłodzenia nie wpływa natomiast na mikrotwardość odkuwek wygrzewanych w temperaturze 900 i 950°C (próbki 4-8). Dla materiału obrabianego cieplnie dwustopniowo - najpierw wygrzanego w temperaturze 950°C/1h (chłodzenie w wodzie), a następnie wygrzanego w temp. 540°C (chłodzenie na powietrzu) uzyskano największą wartość mikrotwardości. Spowodowane może to być tym, że w trakcie szybkiego chłodzenia z wysokiej temperatury tworzą się fazy metastabilne. W wyniku rozpadu tych faz podczas drugiego etapu obróbki stop umacnia się dyspersyjnie wydzieleniami α i β .

TABELA 3. Wyniki pomiaru mikrotwardości próbek ze stopu Ti-6Al-4V. Oznaczenia wg TABELI 2.

TABLE 3. Microhardness parameters for Ti-6Al-4V. In accordance with TABLE 2.

Oznaczenie próbki / Sample	Mikrotwardość HV _{0,2} / Microhardness HV _{0,2}	Odchylenie standardowe / Standard deviation	Współczynnik zmienności CV / Variation coefficient CV
wyjściowa / initial	347.82	7.05	0.0203
1	318.63	9.92	0.0311
2	329.04	8.14	0.0248
3	322.40	8.32	0.0258
4	341.84	8.83	0.0259
5	345.70	12.73	0.0368
6	342.57	11.38	0.3321
7	346.85	8.67	0.0250
8	341.00	9.50	0.0279
9	398.20	10.20	0.0256
10	354.16	10.86	0.0307

The results of microhardness measurements of Ti-6Al-4V samples are shown in TABLE 3. Microhardness of the samples treated at temperatures of 800 and 850°C (air cooled), is insignificantly higher than those water quenched. For materials heated at temperature 900 and 950°C (samples 4-8) cooling methods do not influence microhardness. For

material after two-stage heat-treatment (heated at 950°C for one hour with water quenching, next heated at 540°C and cooled in air) the highest microhardness was obtained. It can be explained in terms of the formation of metastable phases during quenching (the first stage of the heat-treatment), which disintegrated transform during the second step of the heat-treatment into α and β . The increase in microhardness can result from dispersion hardening of the tested alloy.

Statycznej próbie rozciągania poddano jedynie 2 rodzaje próbek: bezpośrednio po kuciu i po obróbce cieplnej dającej największy wzrost mikrotwardości. Uzyskane wyniki zestawiono w TABELI 4. Wyniki te pokazują, że w rezultacie obróbki cieplnej następuje wzrost plastyczności przy zachowaniu na tym samym poziomie plastyczności badanego materiału.

The tensile tests were carried out on samples after forging and after forging followed by heat treatment (with the highest microhardness). The tensile test results are shown in TABLE 4. It can be noted that as a result of heat treatment the yield strength increases when plasticity does not change.

TABELA 4. Wyniki uzyskane ze statycznej próby rozciągania stopu Ti-6Al-4V. Oznaczenia wg TABELI 2.

TABLE 4. Tensile properties of Ti-6Al-4V. In accordance with TABLE 2.

Oznaczenie próbki / Sample	Wytrzymałość na rozciąganie R_m / Tensile strength [MPa]	Umowna granica plastyczności $R_{0,2}$ / Yield strength $R_{0,2}$ [MPa]	Wydłużenie względne A / Elongation A [%]
wyjściowa / initial	996	880	11.7
9	1005	920	12

Wnioski

Z przeprowadzanych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- sposób chłodzenia materiału po obróbce cieplnej w temperaturze 950°C wpływa na udział objętościowy poszczególnych faz;
- mikrotwardość materiału po wygrzewaniu w temperaturach 900 i 950°C nie ulega istotnym zmianom niezależnie od metody chłodzenia;
- wytypowana dwustopniowa obróbka cieplna nie wpłynęła na zmianę wytrzymałości na rozciąganie, powoduje natomiast nieznaczny wzrost granicy plastyczności.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008.

Conclusions

From the results obtained in this study it can be concluded that:

- cooling after heat treatment at temperature of 950°C influences volume fraction ratio of particular phase;
- microhardness of heat-treated materials at temperature of 900 and 950°C does not change as a function of cooling rate;
- selected two-stage heat-treatment does not influence tensile strength however yield strength slightly increases.

Acknowledgments

This work was financially supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education (grant PW-004/ITE/02/2005).

Piśmiennictwo

- [1] Melechow R., Tubielewicz K., Błaszczuk W.: Tytan i jego stopy, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
 [2] Bylica A., Sieniawski J.: Tytan i jego stopy, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1985.
 [3] Kaczyński J.: Tytan, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1961.
 [4] Lutjering G., Williams J.C.: Titanium, Springer, 2003.

References

- [5] Kutz M.: Handbook of materials selection, John Wiley&Sons Inc., New York, 2002.
 [6] Pederson R.: Licentiate thesis, 2002.
 [7] Gierzyńska-Dolna M., Wiśniewska-Weinert H.: Rozwój biomateriałów dla potrzeb inżynierii biomedycznej, New materials for advance application, AMAS-ISN, Poznań-Wąsowo, 69-80, 200.