

Seria: HUTNICTWO z. 20

Wojciech SZKLINIARZ, Stanisław ZYSK

Teodor TRYBA

Politechnika Śląska - Gliwice

Instytut Inżynierii Materiałowej - Katowice

ZASTOSOWANIE CYKLICZNEJ OBRÓBKİ CIEPLNEJ

DLA POPRAWY PLASTYCZNOŚCI ODLEWNICZEGO STOPU Ti-6Al-2Mo-2Cr

Streszczenie. W pracy opisano wpływ różnych rodzajów obróbki cieplnej na strukturę i własności wlewka ze stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr. Zastosowano konwencjonalne i niekonwencjonalne sposoby obróbki cieplnej.

Wykazano, że obróbka cieplna polegająca na przesycaaniu i starzeniu nie prowadzi do polepszenia własności plastycznych badanego stopu w stanie lanym.

Jest to możliwe tylko w przypadku, kiedy właściwą obróbkę cieplną poprzedza obróbka wstępna typu cyklicznego lub wahadłowego. Zastosowany kombinowany sposób obróbki cieplnej pozwala na znaczną poprawę struktury i własności badanego stopu.

1. WSTĘP

W ostatnich latach dla wykonania części maszyn o złożonych kształtach ze stopów tytanu zaczęto coraz częściej stosować metody odlewania kształtowego.

Własności wytrzymałościowe stopów w stanie lanym są bardzo wysokie ($R_m \sim 1000$ MPa) i porównywalne z analogicznymi własnościami uzyskiwanymi w przypadku stopów przerabianych plastycznie.

Jeśli chodzi o własności plastyczne (wydłużenie, przewężenie), to wskaźniki te w przypadku stopów odlewniczych są znacznie niższe niż dla stopów po przeróbce plastycznej [1-2].

Wynika to z obecności w strukturze stopów odlewniczych grubokrystalicznej, iglastej struktury, której drogą tradycyjnej obróbki cieplnej nie udaje się poprawić.

Dwufazowe stopy tytanu $\alpha + \beta$ stosuje się w stanie wyżarzonym lub po przesycaaniu i starzeniu. Zarówno wyżarzanie jak i przesycaanie prowadzi się z temperatur niższych od temperatury przemiany $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$.

W przypadku stopów w stanie lanym stosuje się tylko wyżarzanie w celu stabilizacji struktury i usunięcia naprężeń powstałych w czasie krzepnięcia.

W przypadku badanego stopu wyżarzanie takie prowadzi się w temperaturze 1123 K z następnym chłodzeniem z piecem z szybkością 2-4 K/min., w wyniku czego otrzymuje się strukturę złożoną z faz α i β .

W ZSRR [1] prowadzono badania nad zastosowaniem w przypadku odlewniczego stopu Ti-5Al-3Mo-1V obróbki cieplnej polegającej na przesycaaniu i starzeniu. Należy nadmienić, że obróbka taka jest typowa dla stopów przetwarzanych plastycznie.

Jak wynika z przedstawionych danych [1], niewielki wzrost własności wytrzymałościowych powoduje znaczne obniżenie własności plastycznych. Z tego też powodu taki rodzaj obróbki cieplnej dla odlewniczych stopów tytanu nie znalazł praktycznego zastosowania. W pracy [3] wykazano, że wstępną obróbką cieplną, poprzedzającą obróbkę utwardzania dyspersyjnego, można na tyle poprawić strukturę, że ta ostatnia obróbka cieplna spowoduje wzrost własności wytrzymałościowych przy zachowaniu zadowalających własności plastycznych.

Jako wstępną obróbkę cieplną dla odlewniczego stopu Ti-6Al-4V zastosowano 5 cykli nagrzewania i ochłodzenia w zakresie temperatur 773 do 1213K, dzięki czemu uzyskano znaczną poprawę mikrostruktury i własności w porównaniu do stanu wyjściowego. Poprawa własności plastycznych możliwa jest jedynie na drodze odpowiednich zmian substruktury. Uzyskanie podobnych efektów poprzez rozdrobnienie ziarna pierwotnej fazy β nie wchodzi w rachubę.

Tytan ma tę własność, że zmiany w wielkości ziarna możliwe są do uzyskania jedynie na drodze przeróbki plastycznej. W trakcie obróbki cieplnej wielkość ziarna nie ulega zmianie.

2. MATERIAŁ DO BADAŃ

Badania prowadzono na próbkach wyciętych z wlewka o średnicy 0,06 m, ze stopu tytanu Ti-6Al-3Mo-2Cr o następującym składzie chemicznym: 6,05% Al; 2,25% Mo; 1,50% Cr; 0,50% Fe; 0,33% Si; 0,0047% O₂; 0,003% N₂; reszta Ti. Wlewki uzyskano na drodze przetopu plazmowego złomu do krystalizatora miedzianego ochłodzonego wodą. Przetop prowadzono w osłonie argonu.

3. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Próbki wycięte z wlewka poddano następującym zabiegom obróbki cieplnej:

- przesycaanie 1493 K/3600 s/woda i starzenie 823 K/18000 s/powietrze,
- wyżarzanie 1143 K/3600 s/ochłodzenie z piecem do temperatury 923 K i dalej ochłodzeniem na powietrzu.

Dla poprawy mikrostruktury próbek w stanie lanym poddano je wstępnym zabiegom obróbki cieplnej:

- 5 cykli grzania w zakresie 773 do 1193 K z szybkością 1800 s/cykl (w zakresie występowania faz α i β - obróbka cykliczna),

- 5 cykli grzania wahadłowego wokół linii temperatury przemiany $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$, w zakresie 1223 do 1323 K z szybkością 1800 s/cykl.

Następnie próbki obrobione wstępnie wg dwóch ostatnich schematów poddano właściwej obróbce cieplnej polegającej na przesycaaniu 1193 K/3600 s/woda i starzeniu 823 K/18000 s/powietrze.

Parametry obróbki cieplnej przyjęto w oparciu o dane literaturowe [1,4] i badania dylatometryczne.

Zakres temperatur przemiany $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ dla badanego stopu, wyznaczony w oparciu o wykres dylatometryczny, wynosi 1233 do 1293 K.

Po zrealizowaniu wszystkich zabiegów obróbki cieplnej przeprowadzono:

- statyczną próbkę rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Mohr Federfaff, przy obciążeniu 4T, na próbkach 10-krotnych o średnicy pomiarowej $d_0 = 0,005$ m,
- badania strukturalne na mikroskopie świetlnym Reichert, typu Mef-2, na próbkach polerowanych elektrolitycznie i trawionych odczynnikiem Krolla, przy powiększeniu 550 x,
- badania fraktograficzne na mikroskopie elektronowym skaningowym JSM-S1, przy pow. 1000 i 3000 x.

Wyniki badań własności mechanicznych przedstawiono w formie histogramów na rys. 1. Natomiast wyniki badań strukturalnych przedstawiono w postaci mikrofotografii na rys. 2-4.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Struktura stopu w stanie lanym jest strukturą gruboziarnistą, z iglastymi lub płytkowymi wydzieleniami fazy α (jasne) w osnowie przemienionej fazy β (ciemne), przy czym w trakcie obróbki cieplnej obserwuje się przede wszystkim zmiany kształtu, ilości i wielkości ziarn fazy α (rys. 2).

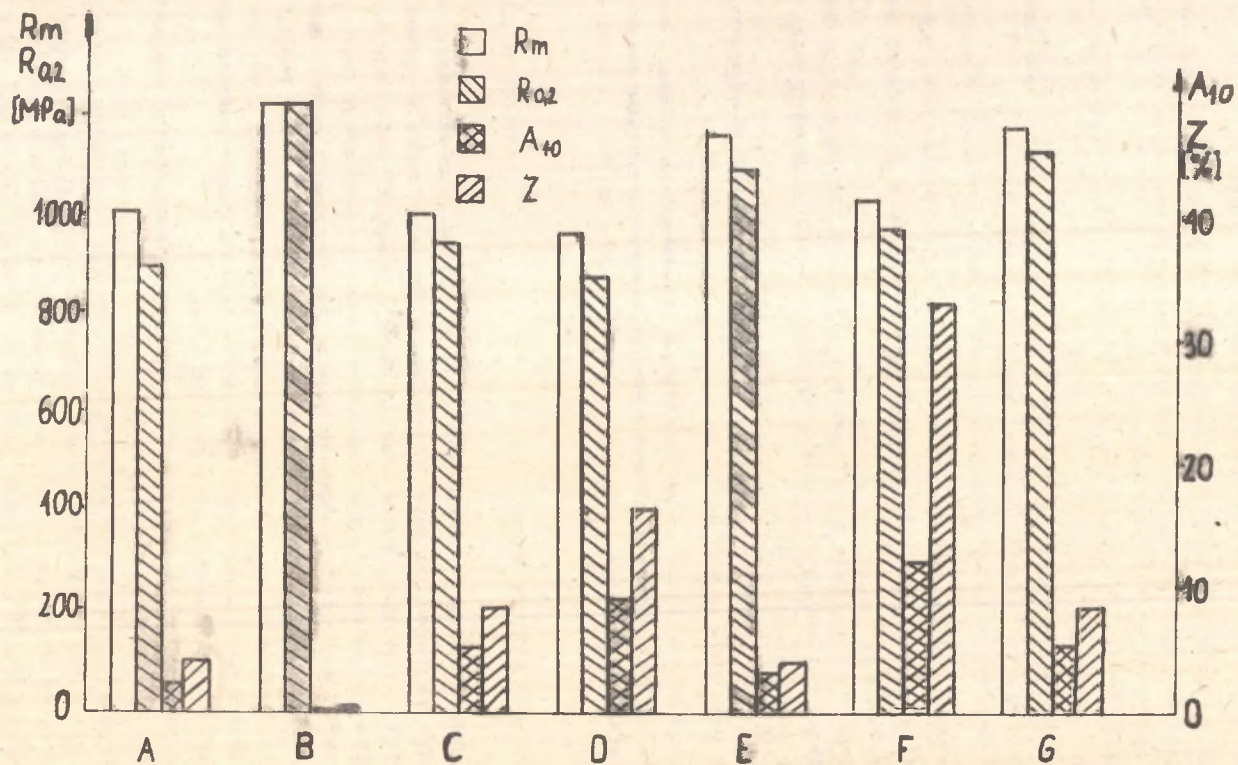
W stanie wyjściowym struktura wlewka jest strukturą typowo iglastą (rys. 2A), o bardzo niskich własnościach plastycznych. Struktury takiej nie udaje się poprawić drogą konwencjonalnej obróbki cieplnej (rys. 2B i C).

Po przesycaaniu i starzeniu wzrósłowi własności wytrzymałościowych towarzyszy zanik własności plastycznych (rys. 1).

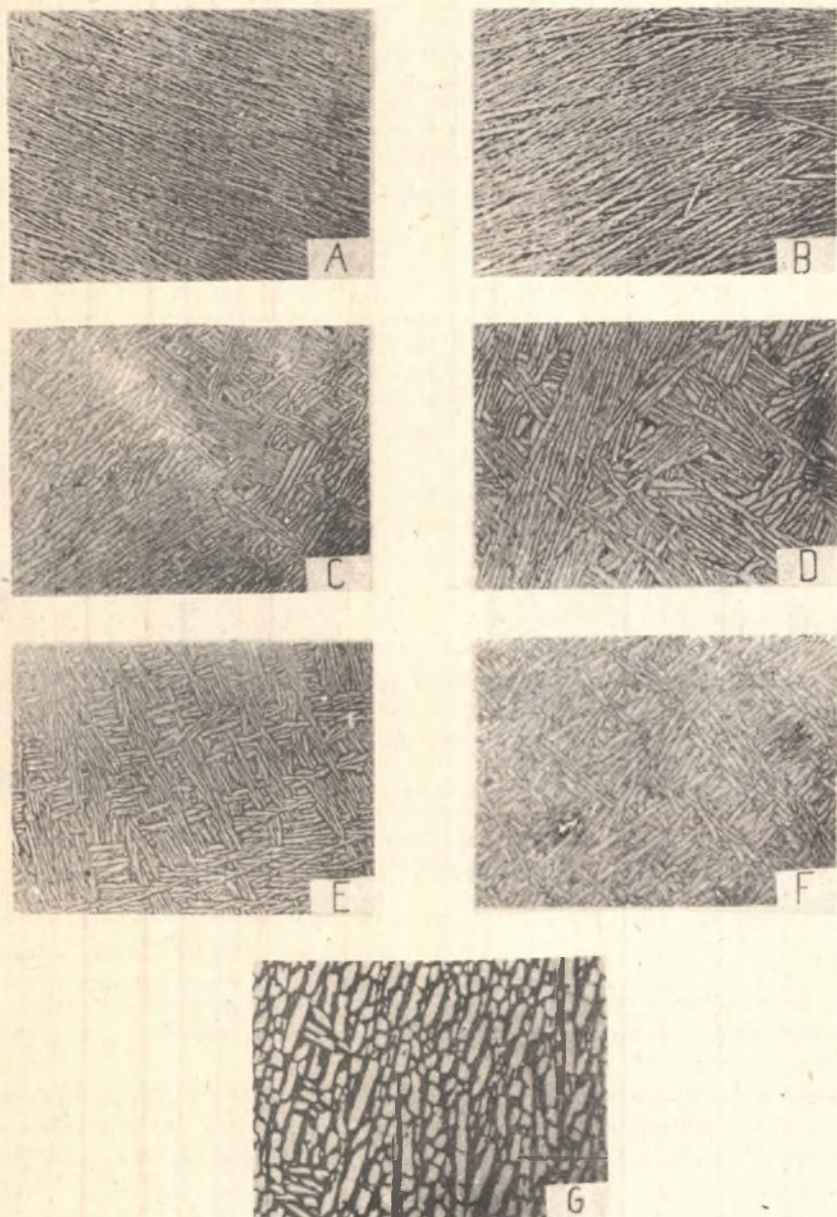
Również po wyżarzaniu obserwuje się tylko niewielki wzrost własności plastycznych (wydłużenia i przewężenia).

Poddanie wlewka cyklicznej obróbce w zakresie temperatur poniżej temperatury przemiany $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ powoduje dość znaczny wzrost plastyczności, A_3 wzrasta z 2 do 9% a Z -z 4 do 18%, przy nieznacznym spadku własności wytrzymałościowych (rys. 1). Związane jest to ze zmianami morfologii fazy α z typowo iglastej (rys. 2A) na płytkową (rys. 2D).

W trakcie następującej po tym obróbki cieplnej, tj. utwardzania dyspersyjnego, zwiększa się w strukturze ilość przemienionej fazy β , przy czym



Rys. 1. Własności mechaniczne odlewniczego stopu Ti-6Al-3Mo-2Cr po różnych rodzajach obróbki cieplnej



Rys. 2. Mikrostruktury odlewniczego stopu Ti-6Al-3Mo-2Cr po różnych rodzajach obróbki cieplnej

A - stan wyjściowy, B - po przesycaaniu i starzeniu, C - po wyżarzaniu, D - po cyklicznym grzaniu w zakresie 773 do 1193 K, E - jak w punkcie D + przesycaanie i starzenie, F - po grzaniu wahadłowym w zakresie 1223 do 1323 K, G - jak w punkcie F + przesycaanie i starzenie. Mikroskop świetlny, pow. 550 x

plytkowa budowa fazy α zostaje zachowana (rys. 2E). Towarzyszy temu wzrost własności wytrzymałościowych przy zachowaniu pewnych własności plastycznych (rys. 1).

Po obróbce cieplnej typu wahadłowego wokół linii temperatury przemiany $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$, w wyniku wielokrotnego przejścia przez temperaturę przemiany, a tym samym wielokrotnego przekryształizowania otrzymuje się strukturę grubych płytek fazy α o niewielkiej długości płytek, w osnowie przemienionej fazy β (rys. 2F).

Zmiany struktury powodują niewielki wzrost własności plastycznych w porównaniu ze stanem wyjściowym (rys. 1): A_5 wzrasta z 2 do 12% a Z - z 4 do 33%. Zmienia się również struktura przełomu z transkryształicznego łupliwego, typowego dla stanu wyjściowego (rys. 3), na transkryształiczny ciągły (rys. 4).



Rys. 3. Struktura przełomu próbki w stanie wyjściowym. Mikroskop skaningowy, pow. 100 x



Rys. 4. Struktura przełomu po grzaniu wahadłowym w zakresie 1223 do 1323 K. Mikroskop skaningowy, pow. 1000 x

Po przesycaniu i starzeniu próbek po wahadłowym grzaniu uzyskuje się strukturę grubopłytkowej i skoagulowanej fazy α w osnowie przemienionej fazy β (rys. 2G).

Zmianom struktury towarzyszy wzrost własności wytrzymałościowych z zachowaniem zadawalających własności plastycznych (rys. 1). Struktury uzyskane na drodze kombinowanej obróbki cieplnej są prawie takie same jak dla stopu przerabianego plastycznie, z wyjątkiem tego, że posiadają większe ziarno pierwotnej fazy β . Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań wskazują na możliwość znacznej poprawy plastyczności drogą cyklicznej lub wahadłowej obróbki cieplnej. Szczególnie duże nadzieje należy wiązać z obróbką cieplną typu wahadłowego.

Wydaje się, że uzyskane wyniki nie są optymalne i można je poprawić poprzez zwiększenie liczby cykli, zmiany parametrów obróbki, tj. zakresu tem-

peratur, szybkości nagrzewania i ochłodzenia, czasu trwania jednego cyklu itp. Badania w tym kierunku są w toku.

Uzyskanie dobrych własności plastycznych na drodze odpowiedniej obróbki wstępnej pozwoliłoby na zastosowanie w następnym etapie utwardzania dyspersyjnego i uzyskania tym sposobem własności wytrzymałościowych jak dla stopów po przeróbce plastycznej, przy zachowaniu zadawalających wskaźników plastycznych.

5. WNIOSKI

1. Zastosowanie w przypadku stopu odlewniczego obróbki cieplnej, polegającej na przesycaaniu i starzeniu, jest możliwe pod warunkiem zastosowania obróbki wstępnej typu wahadłowego lub cyklicznego.

2. Po wahadłowym grzaniu w zakresie temperatur 1123 do 1223 K uzyskuje się znaczną poprawę plastyczności.

3. Zmiany własności są ściśle związane ze zmianami mikrostruktury, a szczególnie z morfologią fazy α .

LITERATURA

- [1] Głazunow S.G., i inni - Konstrukcyjnye titanowyje spławy, "Mietallurgija", Moskwa 1974.
- [2] Sołonina O.P. i inni - Żaroproocznyje titanowyje spławy, "Mietallurgija", Moskwa 1976.
- [3] Jbaraki J., Sasaki T. - 3 Międzynarodnaja Konfierencija po Titanu, Moskwa 1976.
- [4] Kołodzew B.A. - Mietalłowiedienije i tiermiczieskaja obrabotka swietnych mietalłow i spławow, "Mietallurgija", Moskwa 1972.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЛИТЕЙНОГО СПЛАВА ТИТАНА Ti-6Al-3Mo-2Cr

Резюме

В статье описано использование различных видов термической обработки для улучшения пластических свойств литейного сплава титана Ti-6Al-3Mo-2Cr. Обнаружено что на уровень пластических свойств влияет прежде всего присутствие и характер α -фазы.

Оптимальный уровень свойств особенно пластических получен после термоциклической обработки. Термоциклическая обработка заключается в попеременном нагреве и охлаждении образцов вокруг температуры полиморфного превращения $\alpha + \beta \rightleftharpoons \beta$ учитывая гистерезное превращение.

THE INFLUENCE OF NON-CONVENTIONAL HEAT TREATMENTS
ON THE DUCTILITY OF TITANIUM CASTING ALLOY Ti-6Al-3Mo-2Cr

S u m m a r y

The influence of heat treatment conditions on microstructure and mechanical properties of titanium casting alloy Ti-6Al-3Mo-2Cr was investigated.

Authors have studied the effect of change in α grain shape from acicular to equiaxed on the ductility of $\alpha + \beta$ alloy. It has been found that microstructure consist equiaxed shaped grains α has very good ductility, more better than microstructure consist acicular grains α -phase.

Optimal microstructure and properties was obtained after 5 cycles slow cooling and heating from the β -field into $\alpha + \beta$ -field.