ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: HUTNICTWO z. 19 Nr kol. 607

Jerzy GIEREK, Stanisław ZYSK,
Teodor TRYBA, Wojciech SZKLINIARZ

Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska

TYTAN I JEGO STOPY - STAN OBECNY I PERSPEKTYWY JEGO PRODUKCJI

Streszczenie. W opracowaniu przeprowadzono analizę współczesnego stanu techniki w zakresie metod stosowanych przy produkcji stopów tytanu. Analizie poddano następujące technologie wytopu i przetopu stopów tytanu: - próżniowy proces łukowy z wykorzystaniem prasowanych elektrod topliwych jako wsadu; - proces przetopu w piecu plazmowym; - proces wytopu i przetopu w piecu elektronowiązkowym.
W opracowaniu ujęto aspekty ekonomiczne celowości stosowania stopów tytanu jako tworzywa konstrukcyjnego, szczególnie dla potrzeb przemysłu komunikacyjnego, chemicznego, spożywczego, medycznego itp. Omówiono również stan badań w zakresie przetopu dwufazowego stopu tytanu Ti-6Al-2Mo-2Cr w piecu plazmowym i elektronowiązkowym w skali laboratoryjnej.

WSTĘP

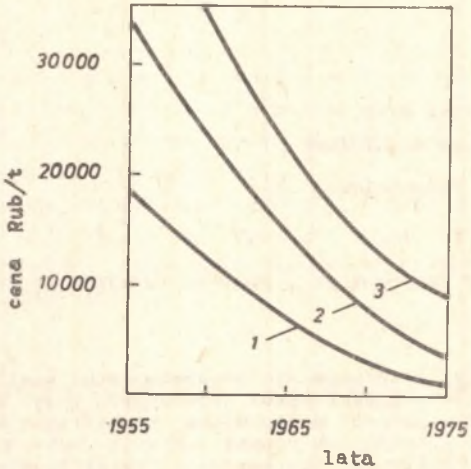
Ostatnie piętnastolecie charakteryzuje się ustawicznym wzrostem znaczenia tytanu jako szczególnie korzystnego tworzywa konstrukcyjnego dla wielu współczesnych zastosowań nie tylko w przemyśle lotniczym i kosmicznym, ale również w szeregu innych dziedzinach techniki.

Tytan i jego stopy w porównaniu z innymi materiałami charakteryzuje się wysoką wytrzymałością względną jak również szczególnie dużą odpornością na korozję w wielu agresywnych środowiskach.

Stosowanie tytanu pomimo wielu jego niepodważalnych zalet jest jeszcze hamowane relatywnie wysoką ceną względem innych tworzyw. Wysokość tej ceny podyktowana jest bardzo skomplikowanym procesem wytwarzania i przetwarzania.

Tytan jest jednak metalem o dużych perspektywach rozwoju ze względu na jego bardzo duże zasoby w skorupie ziemskiej, które stawiają ten pierwiastek pod względem ilości na czwartym miejscu wśród metali po Al, Fe i Mg [1].

Ceny tytanu i jego stopów wykazują ciągłą tendencję zniżkową w przeciwieństwie do innych metali, mogących konkurować z Ti, np. takich jak stopy na osnowie niklu, kobaltu, stale wysokostopowe itp. Dynamikę zmian cen gąbki tytanowej (podstawowego surowca do otrzymywania stopów Ti) i półproduktów ze stopów Ti obrazuje rys. 1 [2].



Rys. 1. Dynamika zmian cen gąbki i półfabrykatów tytanowych
1 - gąbka; 2 - blacha; 3 - odkuwki [2]

Problem produkcji krajowych stopów tytanu wiąże się z opanowaniem procesów technologicznych stosowanych przy ich wytwarzaniu. Oczywiście realizacja tych procesów wymaga stosowania specjalnych urządzeń technologicznych, których w chwili obecnej brak w naszym kraju.

Podjęciu badań technologicznych w zakresie produkcji półwyrobów na osnowie tytanu sprzyja fakt istnienia rud Ti na terenie naszego kraju.

ZAKRES STOSOWANIA STOPÓW TYTANU

Wyroby z technicznie czystego tytanu i jego stopów znalazły do chwili obecnej najszersze zastosowanie w technice lotniczej i kosmicznej. Motywacją tego są bardzo wysokie własności wytrzymałościowe (granica wytrzymałości sięga 1500 MPa i więcej). W temperaturach 400-600°C wytrzymałość ich maleje nieznacznie. Zastąpienie stalowych elementów konstrukcyjnych tytanowymi ze względu na duży moduł sprężystości podłużnej E tytanu pozwala na zmniejszenie ciężaru tych elementów o 30% przy zachowaniu tej samej sztywności konstrukcji [5].

Podstawowe własności tytanu w odniesieniu do innych głównych metali konstrukcyjnych ujmuje tablica 1.

Z kilkudziesięciu produkowanych stopów tytanu najbardziej popularne są: w ZSRR - WT1-0 (99,5% Ti), WT5-1 (Ti-5Al-2,5Sn), WT6 (Ti-6Al-4V) i WT3-1 (Ti-6Al-2Mo-2Cr); w USA - stop Ti-6Al-4V, którego zużycie w USA dochodzi do 90% ogólnej ilości stopów Ti; w Wielkiej Brytanii - stop Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si [4].

Tablica 1

Własności fizyczne i mechaniczne tytanu, glinu, magnezu, żelaza, niklu i miedzi [4]

Parametr	Ti	Al	Mg	Fe	Ni	Cu
Zasoby w skorupie ziemskiej [%]	0,61	8,07	2,08	5,05	0,018	0,01
Gęstość γ [kg/m^3]	4500	2700	1740	7860	8800	8900
Temperatura topnienia [^{o}C]	1668	660	650	1535	1455	1083
Temperatura wrzenia [^{o}C]	5100	2100	1090	2735	3337	2360
Wsp. rozszerzalności liniowej $\alpha \cdot 10^{-6}$ [^{o}C^{-1}]	9	24	25	12	14	16
Przewodność cieplna [W/m]	16,76	217,88	145,65	83,8	59,49	385,48
Wytrzymałość na rozciąganie σ_r [MN/m^2]	343	98	98	196	323	245
Wytrzymałość względna $\frac{\sigma_r}{\gamma}$	8	4	6	2,5	4	3
Wydłużenie [%]	40	40	50	40	40	50
Twardość HB [MN/m^2]	1030	230	230	580	780	420
Moduł sprężystości Younga E [MN/m^2]	110250	69580	42140	196000	195020	127400

Stopy tytanu znajdują z wielkim powodzeniem coraz szersze zastosowanie w takich gałęziach przemysłu, jak: przemysł naftowy, spożywczy, celulozowo-papierniczy, metalurgia metali nieżelaznych, mikrobiologia, medycyna, energetyka i inne.

Dla współczesnej chemii metal ten jest niezbędnym tworzywem dla wielu urządzeń i instalacji współpracujących z kwasem azotowym o stężeniu do 65%, ze środowiskami zawierającymi wilgotny chlor, chlorki, tlenkowe związki chloru, roztwory kwasu solnego i siarkowego.

Według danych [2] przytoczyć można kilka przykładów efektywnego wykorzystania stopów tytanu:

- żywotność pomp tytanowych (typu TH-70, 6X9T, KH3-6/30 wg GOST), stosowanych w metalurgii metali nieżelaznych do przepompowywania czynników trawiących, wynosi około 10 lat przy żywotności 2÷5 miesięcy takich samych pomp wykonanych ze stali nierdzewnych,
- elementy przepustowe pomp, wykonane z tytanu, wykorzystywane w hydrometalurgii niklu i kobaltu, po trzech latach eksploatacji nie wykazywały śladów korozji, gdy w tych samych warunkach elementy z wysokostopowych stali austenitycznych pracują tylko około 20-30 dni,
- elementy chlorowników, wykonane z tytanu, stosowane w hydrometalurgii, mogą pracować około 20 lat przy żywotności 2-letniej takich samych elementów wykonanych ze stali nierdzewnych.

Przykładów takich można wskazać wiele dla różnych gałęzi przemysłu. Oczywiście nie należy traktować tytanu jako materiału uniwersalnego dla dowolnych środowisk agresywnych.

ANALIZA STANU TECHNIKI W ZAKRESIE TECHNOLOGII OTRZYMYWANIA STOPÓW TYTANU

Do państw, które są głównymi producentami stopów tytanu zaliczyć należy ZSRR, USA, Japonię, Wielką Brytanię, Francję i RFN. W Polsce do chwili obecnej nie były produkowane żadne gatunki stopów Ti. Brak więc jakichkolwiek doświadczeń praktycznych zarówno w zakresie sposobu ich otrzymywania jak i koniecznych do tego celu urządzeń technologicznych.

Podstawowym materiałem wyjściowym do produkcji tych stopów jest gąbka tytanowa, otrzymywana drogą redukcji $TiCl_4$ magnezem (metoda Krolla) [6]. Materiał ten winien charakteryzować się możliwie maksymalną czystością, szczególnie pod względem zawartości takich zanieczyszczeń, jak: tlen, azot, wodór i węgiel.

Duże powinowactwo chemiczne tytanu do tych zanieczyszczeń zmusza do prowadzenia procesów wytapiania w warunkach eliminujących kontakt ciekłego metalu z nimi (próżnia, atmosfera gazu obojętnego). Na skalę przemysłową najbardziej rozpowszechnione są przetopy tytanu przy użyciu próżniowych pieców łukowych, w których materiał wsadowy w postaci sprasowanego walca jest zarazem elektrodą. Źródłem energii cieplnej jest łuk elektryczny wytworzony między elektrodą a już stopionym metalem. Polaryzacja elektrody na potencjale ujemnym zapewnia wydzielanie się ok. 2/3 całkowitej energii cieplnej w elektrodzie.

Przy otrzymywaniu stopów tytanu rozdrobniony materiał wsadowy, w skład którego wchodzi gąbka tytanowa oraz składniki stopowe (w postaci czystej lub zapraw), jest prasowany porcjami w matrycy stożkowej lub cylindrycznej do postaci walca (elektrody). Wielkość jednej porcji dozowanej do matrycy jest w zależności od średnicy otrzymywanego wlewka od 2 do 5 razy mniejsza od tworzącej się podczas przetopu ilości ciekłego metalu [7]. Takie prasowanie wsadu zapewnia właściwe ujednorodnienie wszystkich składników w elektrodzie a w konsekwencji dobre ujednorodnienie wlewka.

Zazwyczaj cykl otrzymywania wlewka przydatnego do dalszej przeróbki plastycznej zamyka się w dwóch przetopach.

W trakcie pierwszego przetopu na bocznych ściankach krystalizatora, tuż powyżej strefy topienia, kondensuje się warstwa parujących zanieczyszczeń, takich jak: Mg, $MgCl_2$, Cl_2 oraz niektórych dodatków stopowych, jak np.: Mn, Cr, Al, Sn i Cu. Z chwilą zbliżania się strefy topienia do tej warstwy ulega ona częściowemu odparowaniu, a pozostałość przechodzi do ciekłego metalu. Przechodzące do ciekłego metalu zanieczyszczenia usadawiają się w warstwach zewnętrznych wlewka, dlatego też przed drugim przetopem wlewek obtacza się na tokarce.

Pierwszy przetop ma na celu przede wszystkim stopienie ze sobą wszystkich komponentów stopu, przy równoczesnym rozprowadzeniu ich w całej objętości metalu. Przetop ten ma również zapewnić właściwą degazację materiałów wsadowych od takich gazów jak H_2O, Cl_2, H_2, N_2, O_2 oraz usunięcie lotnych zanieczyszczeń.

Po obtoczeniu wlewki z pierwszego przetopu stanowią wsad do powtórnego drugiego przetopu, mającego na celu dalszą homogenizację stopu, zapewnienie właściwej zwartości wlewka (eliminacja porowatości), otrzymanie dobrej jakości powierzchni wlewka oraz dalszą poprawę struktury i uzupełnienie brakujących ilości dodatków stopowych [8].

Istotnymi parametrami procesu łukowego oprócz ilości przetopów, wpływającymi na jakość otrzymanego wlewka, są między innymi:
- szybkość przetopu,
- średnica wlewka,
- prąd łuku,
- intensywność chłodzenia wlewka,
- stabilność prowadzenia procesu.

Wszystkie te parametry dobierane są indywidualnie w zależności od składu chemicznego stopu i posiadanego próżniowego pieca łukowego [8].

W drugim przetopie, prowadzonym z większą szybkością, często stosuje się atmosferę gazu obojętnego (helu, argonu) w celu zmniejszenia strat parujących składników stopowych.

Analizując proces łukowy otrzymywania wlewków tytanowych można zauważyć, że uzysk metalu przydatnego do dalszej przeróbki jest tym większy, im większe są gabaryty wlewka. W przypadku wlewków, których średnica waha się w granicach 150-200 mm, uzysk ten wynosi około 60-65% [7].

Oprócz procesu łukowego do przetopu tytanu coraz szerzej wykorzystywane są na skalę przemysłową jeszcze inne procesy, a mianowicie:
- proces elektronowiązkowy,
- proces plazmowy.

W obydwu tych procesach ilość dostarczanej energii cieplnej nie jest zależna od własności fizycznych topionego metalu, co pozwala na przegrzanie kąpieli do dowolnej temperatury.

Proces elektronowiązkowy wymaga stosowania w komorze roboczej pieca ciśnienia rzędu 0,006÷0,6 Pa. Ciśnienie to zależy w głównej mierze od gazowania wsadu stałego i ciekłego jak również od wydajności układu pomp próżniowych. Zapewnia to bardzo dobre usunięcie nie tylko gazów znajdujących się we wsadzie, ale również szeregu lotnych zanieczyszczeń, takich jak: Mg, $MgCl_2$ itp.

Równocześnie jednak z procesem odgazowania w piecu elektronowiązkowym zachodzą niekorzystne zjawiska selektywnego parowania składników stopowych, szczególnie tych, których prężności par nasyconych są wyższe od ciśnienia panującego w komorze pieca. Szybkość parowania tych składników zależy od:
- ciśnienia pary nasyconej czystego składnika,
- koncentracji danego składnika w materiale osnowy,
- stosunku powierzchni ciekłego metalu do jego objętości,
- powinowactwa danego składnika do materiału osnowy,
- szybkości dyfuzji składnika w materiale osnowy,
- temperatury kąpieli metalowej.

Zjawisko selektywnego parowania jest szczególnie kłopotliwe w przypadku otrzymywania stopów zawierających jako dodatki takie pierwiastki, jak: Mn, Cr, Al, Sn, Cu itp. Dlatego też w praktyce przy obliczaniu proporcji materiałów wsadowych korzysta się z empirycznych danych odnośnie zgarów, zależnych głównie od czasu topienia i mocy wiązki elektronowej, opracowanych dla poszczególnych stopów.

Proces elektronowiązkowy znajduje zastosowanie nie tylko przy otrzymywaniu wlewków (w krystalizatorach miedzianych chłodzonych wodą lub w przypadku dużych jednostek piecowych - stopem Na-K) ale również w procesach odlewniczych, w których wymagane jest przegrzanie metalu. W odlewniczych piecach elektronowiązkowych metal topiony jest w tyglach miedzianych chłodzonych wodą. Na ściankach tych tygli wytwarza się warstwa zakrzepłego metalu (garnisaż), zabezpieczająca przed ewentualną reakcją ciekłego metalu z materiałem tygla [7].

Z uwagi na piroforyczne własności tytanu piec elektronowiązkowy zapewnia największe bezpieczeństwo pracy. W przypadku wystąpienia przecieku wody chłodzącej z tygla (krystalizatora), wiązka elektronów gwałtownie zanika, ponieważ emisja elektronów może mieć miejsce tylko w warunkach istnienia wysokiej próżni.

Zaletą procesu elektronowiązkowego i plazmowego jest możliwość stosowania materiałów wsadowych w dowolnej postaci.

Znaczne zmniejszenie zgarów łatwo parujących składników stopowych przy przetopie elektronowiązkowym uzyskuje się wprowadzając je do kąpieli dopiero na krótko przed spustem (wielkość zgaru zależy w dużym stopniu od czasu topienia).

W przypadkach, gdy temperatura topnienia pierwiastków stopowych znacznie odbiega od temperatury topnienia tytanu jak też w przypadku znacznych różnic gęstości lub też małej zdolności do rozpuszczania się w materiale osnowy, stosowane są przeważnie różnego rodzaju zaprawy.

Proces plazmowy jest procesem jeszcze rzadko stosowanym w wytwórstwie tytanu. Posiada on wiele zalet w porównaniu z poprzednio omawianymi procesami. Topienie w piecu plazmowym odbywa się na skutek termicznego oddziaływania strumienia plazmy łukowej. W komorze, w której przebiega proces, wytwarza się lekkie nadciśnienie gazu inertnego (argonu), będącego zarazem gazem plazmotwórczym. Nadciśnienie w komorze zabezpiecza przed zasysaniem powietrza z otoczenia.

Z uwagi na duże powinowactwo chemiczne tytanu do tlenu, wodoru, azotu jako gazu plazmotwórczego używa się argonu o szczególnie wysokiej czystości.

Znikome odgazowanie materiałów wsadowych w procesie plazmowym narzuca konieczność stosowania bardzo czystego wsadu oraz stosowanie dodatkowej instalacji oczyszczającej gaz plazmotwórczy od tlenu, pary wodnej, azotu i innych zanieczyszczeń.

BADANIA WŁASNE

W instytucie Inżynierii Materiałowej w Katowicach podjęto próby przetopów technicznie czystego tytanu i jego stopów. Do tego celu wykorzystano istniejący prototypowy piec elektronowiązkowy typu WP-10/25 produkcji OBREP we Wrocławiu o mocy 10 kW oraz prototypowy piec plazmowy, znajdujący się w Instytucie Metalurgii Żelaza w Gliwicach.

Tablica 2

Własności mechaniczne lanego i obrabianego cieplnie stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr

Stan próbki	$E \times 10^3$ MPa	R_m MPa	$R_{0,2}$ MPa	A_{10} %	Z %	Kcv $\frac{kJ}{m^2}$	HRC
Lany wyjściowy wyżarzany	110	992	882	2,0	4,0	347	42
Kuty przy k=13,4		1314	1239	6,5	brak szyjki	136	-
Lany utwardzany dyspersyjnie	120	1208	-	-	-	60	47
Lany + wyżarzanie cykliczne + utwardzanie dyspersyjne	118	1200	1080	4,0	6,0	80	47
Wg GOST dla przerabianego plastycznie i utwardzanego dyspersyjnie		1177	-	6,0	20	196	45

Tablica 3

Składy chemiczne wsadu i wlewka z przetopu plazmowego

Stan stopu	Al %	Mo %	Cr %	Fe %	Si %	O_2 ppm	N_2 ppm	Ti %
Wsad	6,0	2,33	1,47	0,58	0,28	36	3	Reszta
Wlewek	6,05	2,25	1,50	0,60	0,33	47	30	Reszta
Wg normy GOST nr 1.90013-17	5,5-7,0	2-3	0,8-2,3	0,02-0,7	0,15-0,4	max 0,18%	max 0,05%	Reszta

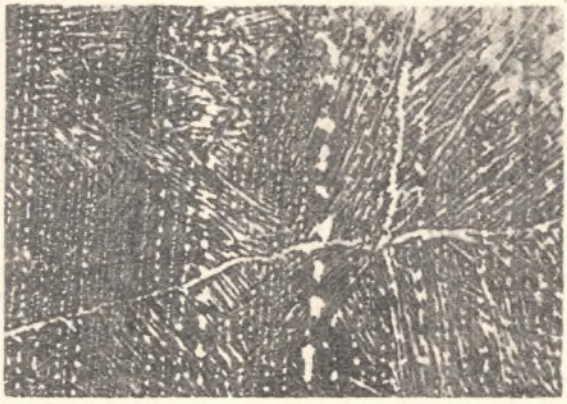
Próby przetopów poprzedzone zostały badaniami w zakresie wykorzystania próżniowego pieca indukcyjnego do przetopu Ti. W próbach tych z uwagi na duże powinowactwo tytanu do tlenu jako materiał na tygiel użyto grafitu anodowego drobnoziarnistego wysokiej czystości.

Według danych literaturowych [9] tytan w stanie ciekłym jest czynnikiem bardzo agresywnym wobec ceramiki tlenkowej (zachodzi reakcja redukcji tlenku) a w konsekwencji przebiegających reakcji ciekły tytan ulega

znacznemu nasyceniu tlenem. Minimalny wzrost zawartości tlenu w tytanie i jego stopach prowadzi do znacznego obniżenia własności mechanicznych (spadek własności plastycznych, spadek udarności, wzrost twardości, itp.).

W wyniku prób przetopu indukcyjnego w tyglu grafitowym otrzymano próbne wlewki, które poddano analizie zawartości węgla. Stwierdzono, że zawartość węgla wzrosła do ok. 2,0%, co dyskwalifikuje ten materiał jako tworzywo przydatne do dalszej przeróbki plastycznej i obróbki mechanicznej z uwagi na bardzo wysoką twardość i kruchość, spowodowaną występowaniem w strukturze faz węglikowych (TiC_{1-x}).

Rys. 2. Makrostruktura wlewka stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr, otrzymanego w przetopie plazmowym, trawiono odcz. Krolla, średnica w org. Φ = 60 mm

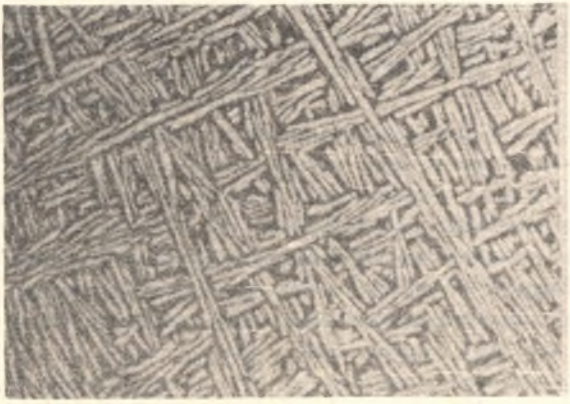


Rys. 3 Mikrostruktura stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr po przetopie plazmowym, trawiono odcz. Krolla, pow. x 550

Kolejnym etapem były przetopy w piecu plazmowym prętów ze stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr o średnicy 16 mm.

Przed procesem topienia usunięto z nich zatlenioną warstwę wierzchnią. Tak przygotowany materiał podawano do strefy topienia, tj. między palnik plazmowy i krystalizator. Strumień plazmy argonowej, generowany przez palnik o mocy ok. 40 kW, nagrzewał wsad, który stapiając się powierzchniowo spływał do krystalizatora. Tworzące się jeziorko ciekłego metalu w krystalizatorze było dogrzewane plazmą w celu właściwego wymieszania całej kąpieli.

Rys. 4. Mikrostruktura stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr, otrzymanego w przetopie plazmowym, utwardzany dyspersyjnie; trawiono odcz. Krolla, pow. x 550



Rys. 5. Mikrostruktura stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr, otrzymanego w przetopie plazmowym po cyklicznej obróbce cieplnej i utwardzaniu dyspersyjnym; trawiono odcz. Krolla, pow. x 550

W wyniku przetopów otrzymano wlewki o średnicy około 60 mm, długości około 700 mm i wadze około 6 kg. Powierzchnia boczna wlewków charakteryzowała się lokalnymi nieciągłościami o głębokości do 1 mm. Wlewki poddano

badaniom strukturalnym, składu chemicznego i własności wytrzymałościowych. Część otrzymanych wlewków przerabiano plastycznie drogą kucia swobodnego.

Własności wytrzymałościowe wlewka i odkuwek ujmuje tablica 2, natomiast składy chemiczne wsadu i wlewka - tablica 3.

Rys. 6. Mikrostruktura stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr, otrzymanego w przetopie elektronowiązkowym; trawiono odcz. Krolla, pow. 550 x

Struktura otrzymanego wlewka była strukturą gruboziarnistą, odpowiadającą numerom 7-9 wg skali przyjętej przez Głazunowa [10] (rys. 2). Makrostruktura wlewka wskazuje na właściwy przebieg procesu topienia, co potwierdzają próby kucia swobodnego na pręty o różnych średnicach (Φ = 50; 40; 30; 20; 15 mm).

Mikrostrukturę wlewka przedstawia zdjęcie na rys. 3. Widać wyraźną granicę ziarn, którą stanowią jasne wydzielenia fazy α. Wewnątrz ziarn są widoczne płytkowe wydzielenia fazy α w osnowie fazy β-przemienionej.

Na podstawie prób wytrzymałościowych próbek wyciętych z wlewków stwierdzono, że własności wytrzymałościowe otrzymanego materiału odpowiadają normom przewidzianym dla tego stopu, produkowanego na skalę przemysłową.

Prowadzono również procesy utwardzania dyspersyjnego próbek wyciętych z wlewka (struktura pierwotna), polegające na przesycaniu z temperatury 1193 K z chłodzeniem w wodzie oraz starzeniu w temperaturze 823K przez okres 5 godzin i studzeniu na powietrzu.

W wyniku tak przeprowadzonej obróbki cieplnej uzyskano wysoką wytrzymałość na rozciąganie (1208 MPa) przy równoczesnym jednak zaniku własności plastycznych. Mikrostrukturę tych próbek przedstawia zdjęcie (rys. 4), na którym widoczna jest niekorzystna struktura iglasta. Z powyższego wynika, że proces utwardzania dyspersyjnego wpływa korzystnie jedynie w przypadku elementów posiadających strukturę drobnoziarnistą (elementy przerabiane plastycznie).

Zastosowanie specjalnej cyklicznej obróbki cieplnej dla lanego stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr pozwoliło na uzyskanie wysokiego zapasu plastyczności, umożliwiającego stosowanie procesu utwardzania dyspersyjnego również dla struktur gruboziarnistych. Przyczyną tego wzrostu plastyczności było dyfuzyjne ujednorodnienie składu chemicznego szczególnie na granicach ziarn.

W wyniku badań mikroanalitycznych na mikroanalizatorze rentgenowskim JXM-50A stwierdzono istnienie wyraźnej segregacji na granicach ziarn β-stabilizatorów w strukturze próbek lanych.

Po procesie cyklicznej obróbki cieplnej próbki utwardzano dyspersyjnie, w wyniku czego otrzymano własności wytrzymałościowe zbliżone do własności tworzywa przerabianego plastycznie i utwardzanego dyspersyjnie. Mikrostrukturę tak obrobionych cieplnie próbek przedstawia zdjęcie na rys. 5. Struktura ta składa się z płytkowych wydzieleń fazy α, przeplatających się na kształt kosza wiklinowego, w osnowie fazy β. Własności wytrzymałościowe tych próbek przedstawiono w tablicy 2.

Podobne próby w zakresie przetopu stopu Ti-6Al-2Mo-2Cr prowadzono przy użyciu pieca elektronowiązkowego. Wsad do przetopu stanowiły odcinki pręta o średnicy 16 mm.

W wyniku przetopu uzyskano wlewek o średnicy 25 mm i długości 200 mm, który posiadał strukturę gruboziarnistą.

Badania składu chemicznego otrzymanego wlewka wykazały znaczny ubytek zawartości chromu, a mianowicie z ilości 1,47% we wsadzie do około 0,3% we wlewku. Taki spadek zawartości chromu spowodowany był dużą szybkością parowania chromu w warunkach wysokiej próżni panującej w komorze roboczej pieca.

Mikrostrukturę otrzymanego wlewka przedstawia zdjęcie na rys. 6. Charakter wydzieleń fazy α jest podobny do wydzieleń otrzymanych we wlewkach z przetopu plazmowego.

Prowadzone przetopy gąbki tytanowej na piecu elektronowiązkowym wykazały pełną przydatność tego procesu do otrzymywania wlewków z czystego technicznie tytanu oraz jako urządzenia do realizacji pierwszego przetopu rafinującego przy otrzymywaniu wlewków stopowych.

PODSUMOWANIE

Szereg zjawisk niekorzystnych, zachodzących podczas topienia tytanu i jego stopów, wymaga stosowania w technologii wytwarzania wlewków i odlewów podwójnego przetopu z wykorzystaniem następujących procesów:

- próżniowego procesu łukowego z alternatywnym stosowaniem atmosfer ochronnych (argon),
- procesu elektronowiązkowego,
- procesu plazmowego z zastosowaniem argonu jako gazu plazmotwórczego.

Z uwagi na wysoką cenę materiałów wsadowych, stosowanych w metalurgii tytanu, najkorzystniejszymi procesami o najmniejszej materiałochłonności są procesy odlewnicze z wykorzystaniem topienia elektronowiązkowego i plazmowego. W przypadku otrzymywania wysokostopowych wlewków tytanowych zastosowanie procesu plazmowego do drugiego przetopu homogenizacyjnego zapewnia uzyskanie minimalnych zgarów składników stopowych.

Stosowanie procesu elektronowiązkowego przy otrzymywaniu wlewków i odlewów z technicznie czystego tytanu zapewnia najlepsze ich odgazowanie a w rezultacie najlepsze własności mechaniczne.

Zastosowanie cyklicznej obróbki cieplnej pozwala na zmniejszenie segregacji składu chemicznego stabilizatorów fazy β, powstałej w procesie krystalizacji pierwotnej.

LITERATURA

[1] Korniłow I.I.: Titan. Nauka, Moskwa 1975.

[2] Biełow A.F. i inni: Titan dla narodnowo choziajstwa. Nauka, Moskwa 1976.

[3] Materiały III międzynarodowej Konferencji Tytanu. Moskwa 18-21 maj 1976.

[4] Tumanow A.T. i inni: Primienienie titana w narodnom choziajstwie. Technika, Kijów 1975.

[5] Gruszczyński E.: Technologia przepływowych maszyn wirnikowych. IV Konf. Naukowo-Techniczna, Rzeszów 1978.

[6] Kaczyński J.: Tytan. WNT, Warszawa 1962.

[7] Morozow E.I. i inni: Obrabotka legkich i żaroprocznych spławow. Nauka, Moskwa 1976.

[8] Dobatkin W.I.: Slitki titanowych spławow. Metałłurgia, Moskwa 1966.

[9] Samsonow G.W.: Tugopławkije pokrytia. Metałłurgia, Moskwa 1973.

[10] Głazunow S.G. i inni: Żaroprocznyje titanowyje spławy. Metałłurgia, Moskwa 1976.

ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Р е з ю м е

В работе проведен анализ современной техники в области методов, применяемых в производстве сплавов титана.

Анализу были подвержены следующие технологии плавки и переплавки сплавов титана: вакуумный дуговой процесс с использованием прессованных плавких электродов в качестве шихты, процесс переплавки в плазменной печи и процесс выплавки и переплавки в электронно-лучевой печи.

В работе представлены экономические аспекты целесообразности применения сплавов титана как конструкционного вещества, особенно для нужд коммуникации, медицины, химической и пищевой промышленности. Рассмотрены также исследования, ведущиеся в области переплавки двухфазного сплава титана Ti-6Al-2Mo-2Cr в плазменной и электронно-лучевой печах в лабораторном масштабе.

TITANIUM AND ITS ALLOYS -
THE PRESENT STATE AND THE PERSPECTIVES OF PRODUCTION

S u m m a r y

In the paper the analysis of the state of contemporary production technology of titanium alloys is made. The following technologies of melting and remelting of titanium alloys have been analysed: vacuum are method utilizing consummable pressed electrodes as a charge; the method of remelting in the plasma jet furnace; melting and remelting in the electron beam furnace.

The paper takes into account the economical aspects of purpouse of utilization of titanium alloys as a construction material, and particularly for the following industries: transportation, chemical, consumption, medical etc. The state of research on duplex remelting of Ti-6Al-2Mo-2Cr titanium alloy in the plasma jet furnace and in electron beam furnace on the laboratory scale is also discussed.