

Wpływ zawartości gazów na właściwości złączy blach ze stopu tytanu grade 12 spawanych metodą TIG

The influence of content of gases on properties of titanium grade 12 TIG welded joints

Streszczenie

W artykule przedstawiono właściwości mechaniczne, fizyczne i plastyczne oraz przykłady zastosowań wybranych gatunków tytanu i stopów tytanu. Zbadano zawartości azotu, tlenu i wodoru w złączach spawanych i materiale podstawowym ze stopu tytanu Ti0,7Ni0,3Mo (grade 12). Przedstawiono główne źródła zanieczyszczeń jeziora metalu przez azot, tlen i wodór oraz ich wpływ na właściwości mechaniczne złącza. Omówiono sposoby zapobiegania przed dostępem azotu, wodoru i tlenu do jeziora spawalniczego.

Abstract

The mechanical, physical and plastic properties as well as application examples of selected titanium and titanium alloys grades were introduced in this paper. Content of nitrogen, oxygen and hydrogen in weld joint and parent metal of Ti0,7Ni0,3Mo titanium alloy were measured. Main sources of gases like nitrogen, oxygen and hydrogen as contamination of weld pool causing lowering of mechanical properties were discussed. Preventing method against of introducing gases like nitrogen, hydrogen and oxygen into weld pool were discussed.

Wstęp

Tytan należy do metali często występujących w skorupie ziemskiej. Pomimo to tytan jest stosunkowo drogi, z uwagi na problemy z otrzymaniem go w czystej postaci, co jest związane z wysoką jego reaktywnością.

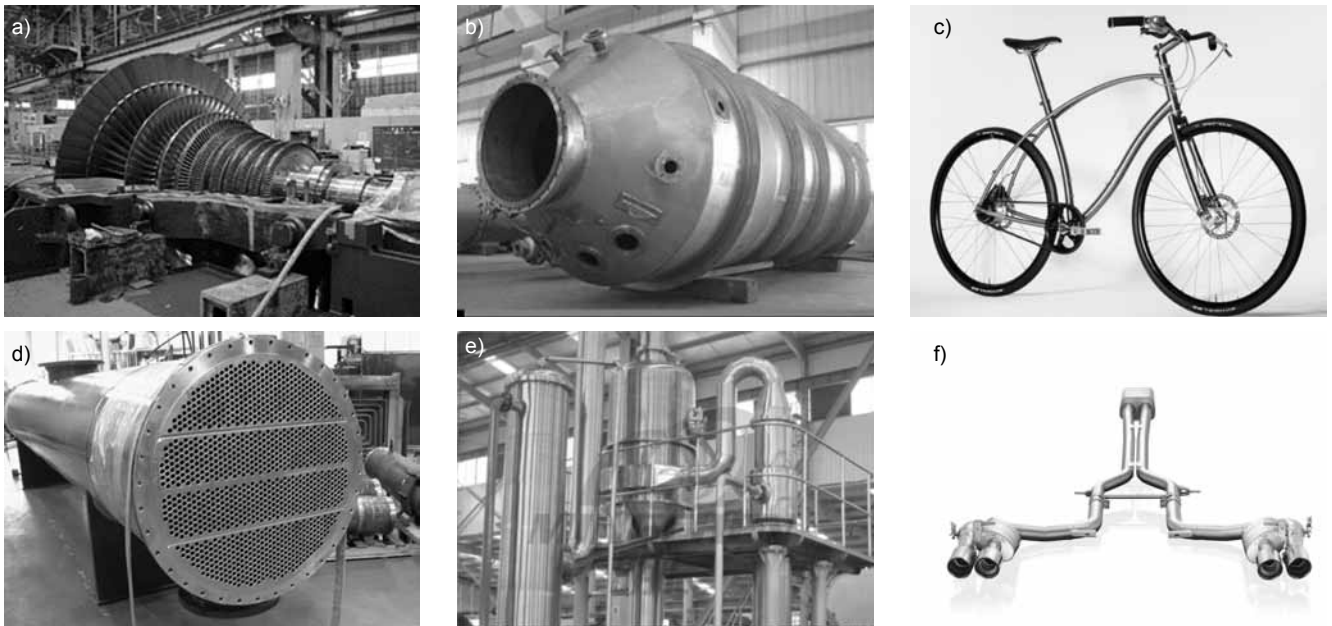
Do głównych zalet tytanu można zaliczyć najkorzystniejszy stosunek masy do wytrzymałości oraz wysoką odporność na środowiska korozyjne, np.: wodę morską, zasady, kwasy organiczne, chlor w postaci gazowej i rozcieńczone kwasy: solny i siarkowy. Tytan bardzo szybko jest roztwarzany przez stężone kwasy nieorganiczne, szczególnie kwas azotowy czy fluorowodorowy [1÷6].

Przykłady zastosowań tytanu w technice przedstawiono na rysunku 1. Mimo wysokiej ceny szczególne zastosowanie znalazł on w przemyśle kosmicznym i lotniczym, m.in. do produkcji wahadłowców i silników odrzutowych.

Ze względu na niższą od stali nierdzewnej i niklu gęstość oraz brak powodowania jakichkolwiek reakcji alergicznych i dobrą tolerancję przez żywe organizmy tytan znalazł zastosowanie w medycynie do produkcji implantów medycznych, endoprotez, a także w jubilerstwie (rys. 2, 3).

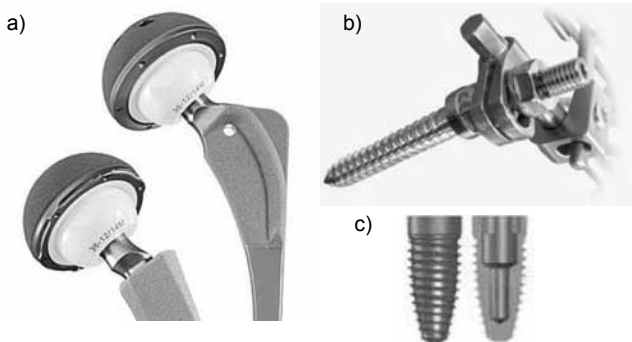
Na uwagę zasługuje również możliwość barwienia tytanu oraz uzyskiwania szerokiej gamy kolorów, co nadaje elementom wykonanym z tytanu atrakcyjny wygląd (rys. 3). Kolory, jakie powstają na powierzchni tytanu, stanowią również istotną informację dla spawalników. O występowaniu konkretnej barwy decyduje grubość warstwy tlenkowej, która zależy od czasu i temperatury wytrzymania tytanu w atmosferze powietrza [1÷3].

Mgr inż. Łukasz Mazur, IWE, mgr inż. Aleksander Warsz, IWI – WAREXIM, Gliwice.



Rys. 1. Przykłady zastosowań tytanu: a) łopatkę turbiny, b) zbiornik ciśnieniowy, c) rama rowerowa, d) wymiennik ciepła, e) wyparka z wymuszonym obiegiem, f) układ wydechowy samochodu [7÷12]

Fig. 1. Examples of application of titanium: a) turbine blade, b) pressure vessel, c) bicycle frame, d) heat exchanger, e) evaporator with forced cycle, f) car exhaust system [7÷12]



Rys. 2. Przykłady zastosowania tytanu w medycynie: a) endoproteza długotrzeniowa stawu biodrowego, b) implant kręgosłupa, c) implant zęba [13÷15]

Fig. 2. Examples of titanium application in medicine: a) double-arthro hip implant, b) spine implant, c) denture [13÷15]



Rys. 3. Przykłady zastosowań tytanu w jubilerstwie: a) obrączki, b) kolczyki, c) bransoleta [16÷18]

Fig. 3. Examples of titanium application in jewellery: a) rings, b) earrings, c) bracelet [16÷18]

Porównanie właściwości tytanu i innych materiałów

Czysty tytan (grade 1) charakteryzuje się niższymi właściwościami mechanicznymi niż stale: niskowęglowa S235JR i nierdzewna X2CrNi-18-10. Wzrost wytrzymałości tytanu następuje wraz ze zwiększeniem ilości tlenu i żelaza (gatunki grade 2÷4), jednocześnie jednak zmniejszeniu ulegają właściwości plastyczne.

Stopy tytanu mają bardzo wysokie właściwości, zarówno plastyczne, jak i wytrzymałościowe. Wytrzymałość na rozciąganie stopów tytanu sięga nawet 1500 MPa (tabl. I). Dlatego podczas spawania połączeń z tytanu należy zachować szczególną ostrożność, aby ograniczyć zawartość tlenu w spoinach.

Tytan odznacza się niską przewodnością cieplną – zdecydowanie niższą od przewodności aluminium oraz stali niskowęglowej. Przewodność cieplna tytanu grade 1÷4 jest na podobnym poziomie jak stali nierdzewnej. W przypadku stopów tytanu przewodność cieplna jest jeszcze niższa (tabl. I). Ze względu na właściwości fizyczne i wysoką reaktywność, podczas spawania tytanu występują trudności z uzyskaniem odpowiedniej głębokości wtopienia, wymaganych właściwości plastycznych, a także problemy związane z łatwo utleniającą się powierzchnią spoiny lub strefy wpływu ciepła. Należy więc unikać zwiększania głębokości wtopienia przez podnoszenie parametrów prądowo-napięciowych. Wzrost mocy łuku może spowodować zaburzenie osłony gazowej oraz nadmierne nagrzanie lub nawet przegrzanie, a więc – wzrost zawartości gazów w spoinie [1÷6, 19÷24].

Tablica I. Właściwości wytrzymałościowe wybranych stali, aluminium oraz tytanu i stopów tytanu [19÷24]

Table I. Mechanical properties of selected steels, aluminium, titanium and its alloys [19÷24]

Oznaczenie	Graniczna plastyczność MPa	Wytrzymałość na rozciąganie MPa	Wydłużenie %	Gęstość g/cm ³	Przewodność cieplna W/mK
S235JR	235	360	22	7,81	50
X2CrNi18-9	220	520	45	7,90	15,0
Al 99,5	20	65	20	2,7	237
Tytan grade 1 Ti 99,8	170	240	24	4,51	16,0
Tytan grade 2 Ti 99,6	275	345	20	4,51	16,4
Tytan grade 3 Ti 99,5	360	480	18	4,50	19,9
Tytan grade 4 Ti 99,3	500	600	15	4,51	17,2
Tytan grade 12 Ti0,7Ni0,3Mo	345	483	18	4,50	19,0
Ti-6Al-4V	880	950	14	4,43	6,7
Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	1420	1500	8	4,82	6,2

Tablica II. Zawartość gazów w tytanie grade 1÷5 oraz grade 12 [20]

Table II. Content of gases in titanium grade 1÷5 and grade 12 [20]

Oznaczenie	Skład chemiczny, %				
	O ₂	N ₂	H ₂	Fe	Inne
Ti 99,8	0,18	0,03	0,015	0,2	-
Ti 99,6	0,25	0,03	0,015	0,3	-
Ti 99,5	0,35	0,05	0,015	0,5	-
Ti 99,3	0,40	0,05	0,015	0,4	-
Ti-6Al-4V	0,20	0,05	0,015	0,4	5,5-6,75 Al; 3,5-4,5 V
Ti0,7Ni0,3Mo	0,25	0,03	0,015	0,3	0,6-0,9 Ni; 0,2-0,4 Mo

Wpływ tlenu, azotu i wodoru na właściwości tytanu i jego stopów

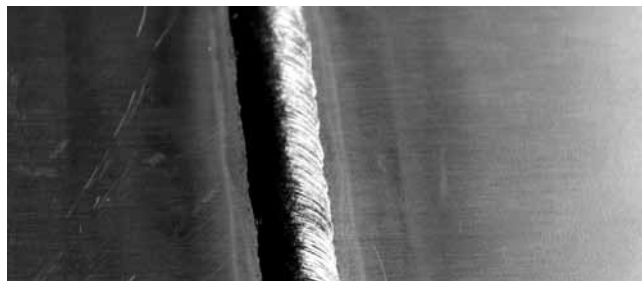
Gazy takie jak wodór, tlen i azot wywierają ogromny wpływ na właściwości tytanu i jego stopów. Ich zawartość może być zwiększona już na etapie produkcji, przez zastosowanie niewłaściwych parametrów procesu. W przypadku łączenia tytanu z wykorzystaniem metod spawalniczych zawartość gazów może się niebezpiecznie zwiększyć, na przykład wskutek zastosowania niedostatecznej osłony gazowej lub niewłaściwej technologii spawania. Największa prędkość dyfuzji tlenu, azotu i wodoru występuje w stopach tytanu α , o strukturze heksagonalnej zwartej.

Podczas oddziaływania wysokiej temperatury (spawanie, obróbka cieplna), szczególnie w temperaturze powyżej 550°C, tlen dyfunduje w głąb materiału. W warstwach wierzchnich wskutek wysokiego powinowactwa tworzą się tlenki tytanu TiO₂, a w głębi materiału tlen



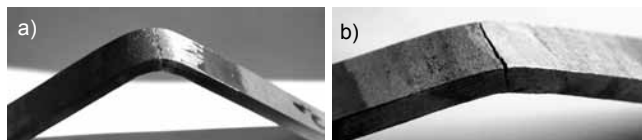
Rys. 4. Nalot powstały podczas niewłaściwego wykonywania próbek stopiwa z tytanu

Fig. 4. Heat tint in incorrect properties of titanium weld metal samples



Rys. 5. Powierzchnia złącza spawanego z tytanu pokryta azotkiem tytanu

Fig. 5. The view of welded joint surface with visible titanium nitride



Rys. 6. Pęknięcia w próbie gięcia złącza spawanego z blach tytanowych grade 12 (o grubości 6 mm): a) kąt gięcia 25°, b) kąt gięcia 15°

Fig. 6. Cracks in bending test of titanium grade 12 plates (6 mm thickness): a) bending angle 25°, b) bending angle 15°

występuje w postaci dyfundującej. Wskutek dobrej rozpuszczalności tlenu w tytanie, przy powierzchni materiału jego zawartość może osiągać 14,5%, powodując powstanie ciągłych warstwek tlenku tytanu. Warstwy te charakteryzują się wysoką twardością, odpornością na ścieranie oraz niską plastycznością (tabl. I, II). W blachach tytanowych, których powierzchnia została nasycona tlenem, próba gięcia najczęściej kończy się wynikiem negatywnym, z powodu właściwości warstwy tlenku tytanu (rys. 4). Grubość warstwy utlenionej zależy od dostępu do tlenu oraz temperatury i czasu ekspozycji [1÷3, 25÷29].

Azot charakteryzuje się wysokim powinowactwem chemicznym do tytanu, większym niż tlen. Powstałe azotki można łatwo rozpoznać po złotym przebarwieniu powierzchni podczas spawania lub obróbki cieplnej (rys. 5). Azotki tytanu charakteryzują się bardzo dużą twardością, do ok. 2400 HV, a więc niską plastycznością i udarnością. Zwiększona zawartość azotu w blachach z tytanu oraz złączach powoduje niebezpieczeństwo powstawania pęknięć podczas formowania na zimno, spawania sztywnych konstrukcji i próby gięcia [25÷29].

W czystym tytanie oraz w stopach tytanu o strukturze α tlen i azot pełnią rolę stabilizatorów fazy α i jednocześnie, wraz ze wzrostem zawartości tych pierwiastków, wzrasta wytrzymałość. Jednak wskutek utwardzenia roztworowego maleją udarność i przewężenie. Podczas produkcji blach z tytanu i jego stopów oraz w czasie

spawania dąży się do ograniczenia zawartości wodoru do poziomu poniżej 200 ppm (200 cząstek na milion). Wodór należy do gazów bardzo łatwo pochłanianych przez tytan, a zwłaszcza przez Ti α . Adsorpcja, absorpcja i dyfuzja wodoru przez tytan zaczyna się w temperaturze powyżej 150°C, pochłanianie wodoru przez tytan jest intensywne w 320°C, natomiast w 500°C stan nasycenia, zgodnie z warunkami równowagi, może być osiągnięty w ciągu kilku sekund.

W odróżnieniu od azotu czy tlenu, wodór nie powoduje umocnienia tytanu. Głównym powodem obniżenia się plastyczności tytanu nie jest rozpuszczony wodór, lecz występująca w temperaturze otoczenia faza międzywęzłowa γ (TiH₂), o sieci regularnej przestrzennie centrycznej. Faza γ wydziela się w lukach oktaedrycznych sieci A3.

Znaczne rozpuszczenie wodoru w tytanie podczas produkcji lub spawania, a następnie wydzielenie fazy γ jest przyczyną spadku udatności i wydłużenia, zwiększenia się kruchości i skłonności do pęknięcia. Dodatkowo podczas przemian strukturalnych, zachodzących wskutek oddziaływania cyklu cieplnego spawania, generowane są wysokie naprężenia, które umacniają spawany materiał, powodując spadek jego właściwości plastycznych. Efektem zachodzących przemian mogą być pęknięcia, powstające podczas spawania lub zwłoczne, oraz pęknięcie podczas formowania na zimno lub próby gięcia złącza spawanego (rys. 6) [25, 26, 30, 31].

W przypadku wodoru, w odróżnieniu od tlenu i azotu, możliwe jest obniżenie jego zawartości, ponieważ wodór z czasem może wydyfundować z metalu. Proces dyfuzji można przyspieszyć, wygrzewając złącze w wysokiej temperaturze w atmosferze ochronnej, np. argonowej, im dłuższy czas wygrzewania, tym więcej wodoru może wydyfundować ze złącza [25, 30, 31].

Badanie ilości gazów w materiale dodatkowym i podstawowym

Do badań zastosowano stop tytanu Ti-0,3Mo-0,8Ni (titan grade 12) oraz spoiwo Ti3401. Analizę ilościową gazów, takich jak H₂, O₂ i N₂, przeprowadzono metodą ekstrakcji na gorąco. Próbkę z materiałów podstawowych zostały pobrane do badań z głębokości do 1 mm. Próbkę do badania stopiw wykonano zgodnie z PN-EN 6847 [33]. Materiał do analizy zawartości gazów w stopiwach został pobrany z napoin, z głębokości do 3 mm. Wyniki badań przedstawiono w tablicach III i IV.

Tablica III. Zawartość gazów w próbkach z materiału podstawowego z różnych wytopów oraz wyniki próby gięcia (tabl. II)

Table III. Gases content in the samples of different base material melt (tab. II)

Nr próbki	Zawartość gazów, %			Uwagi	Wynik próby gięcia*
	O ₂	N ₂	H ₂		
1	0,19	0,0069	0,0026	wytop nr 1	pozytywny
2	0,20	0,0154	0,0037	wytop nr 2	pozytywny

* Próbę gięcia przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 15614-5

Tablica IV. Zawartość gazów w próbkach ze stopiwa

Table IV. Gases content in weld metal samples

Nr próbki	Zawartość gazów, %			Uwagi	Wynik próby gięcia
	O ₂	N ₂	H ₂		
3	0,14	0,0180	0,0067	próbka poddana obróbce cieplnej po spawaniu, średnica spoiwa 3,2*	negatywny
4	0,13	0,0141	0,0076	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 3,2, spawanie z nasadką przypalnikową	pozytywny
5	0,14	0,0182	0,0072	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 2,4, spawanie bez nasadki przypalnikowej	negatywny
6	0,12	0,0215	0,0052	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 3,2, spawanie bez nasadki przypalnikowej	negatywny
Ti3401 (grade12)	0,08 +0,16	max 0,0150	max 0,0080	dane wg PN-EN ISO 24034 [32]	-

* temperatura obróbki cieplnej 500°C, czas ok. 1 h

Badanie składu chemicznego

W celu określenia zgodności zakupionych materiałów z wymaganiami odpowiednich norm przedmiotowych przeprowadzono analizę składu chemicznego z zastosowaniem pomiaru absorpcji promieniowania podczerwonego (HFIR) i fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Wyniki badania przedstawiono w tablicy V.

Tablica V. Skład chemiczny materiałów podstawowych i stopiw

Table V. Chemical composition of base materials and weld metals

Nr próbki	Zawartość poszczególnych pierwiastków, %					Uwagi
	Ti	Fe	Ni	Mo	C	
1	reszta	0,045	0,61	0,32	0,005	materiał podstawowy zakupiony dodatkowo
2	reszta	0,056	0,74	0,34	0,009	materiał podstawowy zakupiony do wykonania zlecenia
Ti3401 (grade12)	≤ 97,725	max 0,3	0,6±0,9	0,2±0,4	max 0,08	ASTM B265-10
3	reszta	0,017	0,69	0,34	0,015	próbka poddana obróbce cieplnej po spawaniu, średnica spoiwa 3,2
4	reszta	0,083	0,65	0,33	0,019	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 3,2, spawanie z nasadką przypalnikową
5	reszta	0,112	0,66	0,34	0,017	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 2,4, spawanie bez nasadki przypalnikowej
6	reszta	0,016	0,65	0,35	0,020	próbka bez obróbki cieplnej, średnica spoiwa 3,2, spawanie bez nasadki przypalnikowej
Ti3401* (grade12)	≤ 97,725	max 0,15	0,6±0,9	0,2±0,4	max 0,03	dane wg PN-EN ISO 24034

* nominalny skład chemiczny stopiwa

Analiza wyników badań

Analiza składu chemicznego za pomocą metod HFIR oraz XRF wykazała różnice w zawartości poszczególnych pierwiastków stopowych, tj.: żelaza, węgla, niklu i molibdenu. Mieszczą się one w dopuszczalnych zawartościach, określonych w odpowiednich normach, zarówno dla blach, jak i stopiw (tabl. III, V). Pomiar zawartości gazów w materiale podstawowym wykazały, że ilość gazów jest wyższa niż podana w atęście materiałowym, natomiast zawartość tych gazów nie przekracza maksymalnej ilości dopuszczalnej w normie ASTM B265-10. Badanie zawartości gazów w próbkach stopiwa 4 i 6, wykonanych z zastosowaniem tego samego materiału dodatkowego (ten sam gatunek i średnica – 3,2 mm), lecz różniących się osłoną gazową, wykazało różnice w zawartości analizowanych gazów (głównie azotu). W próbce stopiwa 4, której próba gięcia dała wynik pozytywny, zawartość azotu była 1,5 razy mniejsza, natomiast zawartość tlenu o 0,01% i wodoru o 0,0024% wyższa niż w próbce 6. W próbce 5, której próba gięcia dała wynik negatywny, zawartość tlenu i azotu była wyższa niż w próbce 4. Różnice w zawartościach gazów wynikają z tego, że proces spawania prowadzono w różnych warunkach technologicznych (tabl. IV). W próbce 5 zawartość gazów była niższa niż w próbce 6. Spowodowane jest to mniejszym zaburzeniem osłony gazowej przez pręt spawalniczy oraz niższymi parametrami prądowo-napięciowymi.

Przeprowadzenie obróbki cieplnej w atmosferze powietrza, w celu obniżenia zawartości gazów, jest skuteczne jedynie w przypadku wodoru. Badania zawartości gazów w próbce 3, poddanej procesowi obróbki cieplnej po spawaniu, wykazały, że ilość tlenu nieznacznie się zwiększyła, część wodoru wydyfundowała, a ilość azotu uległa znacznemu zwiększeniu, w porównaniu z próbką 4, która została wykonana z zastosowaniem tej samej technologii spawania, ale nie została poddana obróbce cieplnej po spawaniu. Zawartość tlenu i azotu w blachach lub stopiwie z tytanu jest wynikiem oddziaływania temperatury, czasu oraz atmosfery, w jakiej wykonywana jest obróbka. Wraz ze wzrostem czasu i temperatury wzrasta zawartość azotu i tlenu. Z tego powodu nie zaleca się obróbki cieplnej stopu tytanu grade 12 w atmosferze powietrza.

W przypadku wyżarzania odprężającego w temperaturze powyżej 427°C, obróbkę cieplną należy prowadzić w piecach z atmosferą kontrolowaną – pozbawioną azotu i tlenu (np. argonu). W przypadku stopu tytanu grade 12 temperatura odprężania wynosi 480÷595°C, a czas obróbki 0,25÷4 h. Zaleca się, aby podczas obróbki cieplnej stosować górne zakresy temperatury i krótkie czasy wygrzewania [1÷3]. Badania wykazały, że różnice w zawartości azotu i tlenu mogą wynikać z zaburzeń w osłonie łuku. Różnica w zawartości wodoru mogła wynikać z wilgoci, pochodzącej od węglowodorów znajdujących się na powierzchni spoiwa lub materiału podstawowego, czy też z zanieczyszczonych związkami organicznymi rękawic spawacza.

Obniżenie zawartości wodoru może też być wywołane przez zastosowanie obróbki cieplnej. Na zawartość gazów wpływa również technologia spawania. Zastosowanie zbyt wysokich parametrów prądowo-napięciowych może spowodować przegrzanie złącza. Im wyższy stopień przegrzania próbki, tym większa zawartość gazów w spoinie i gorsze właściwości plastyczne. Zawartość gazów w próbkach stopiwa była niższa niż dopuszczalna zawartość dla materiału podstawowego. Pomimo niższych zawartości gazów próby gięcia zakończyły się wynikiem negatywnym. Wynika z tego, że ze względu na strukturę spoiny, dopuszczalna zawartość azotu, wodoru i tlenu w spoinie jest bardziej ograniczona niż dla materiału podstawowego. W związku z tym należy tak dobrać technologię spawania, aby zawartość tych gazów była jak najmniejsza.

Źródła tlenu, azotu i wodoru. Zapobieganie przedostawaniu się gazów do jeziora spawalniczego

Gazy takie jak tlen czy azot przedostają się do jeziora ciekłego metalu głównie z powietrza otaczającego miejsce spawania, co jest związane z niedostateczną osłoną gazową podczas spawania. Aby zabezpieczyć to miejsce przed dostępem powietrza, należy stosować dysze o odpowiedniej średnicy z dyfuzorami oraz dobrać odpowiedni przepływ gazu osłonowego, tak aby uzyskać przepływ laminarny (rys. 7). Można również zastosować nasadki przypalnikowe, jeżeli sama dysza nie wystarcza, aby odpowiednio osłonić lico. Do osłony grani należy stosować podkładki formujące, aby ją zabezpieczyć przed dostępem powietrza. Jako gaz osłonowy należy stosować czysty argon.

Detale o niewielkich gabarytach można spawać w komorach wypełnionych argonem. Zapewnia to uzyskanie spoin wysokiej jakości bez jakichkolwiek przebarwień. Podczas spawania elementów z tytanu w komorze ochronnej z komory należy całkowicie wyprzeć powietrze przez argon. Nie wolno „wypalać” resztek tlenu, ponieważ w wyniku spalania powstaje dwutlenek węgla, który podczas spawania może być rozkładany w łuku na tlen i tlenek węgla, ponadto samo spalanie nie spowoduje usunięcia szkodliwego azotu. Podczas spawania w komorze należy dokonywać pomiarów nie tylko tlenu, ale również azotu, których zawartość powinna być mniejsza niż 0,01% [1÷6, 25÷31].

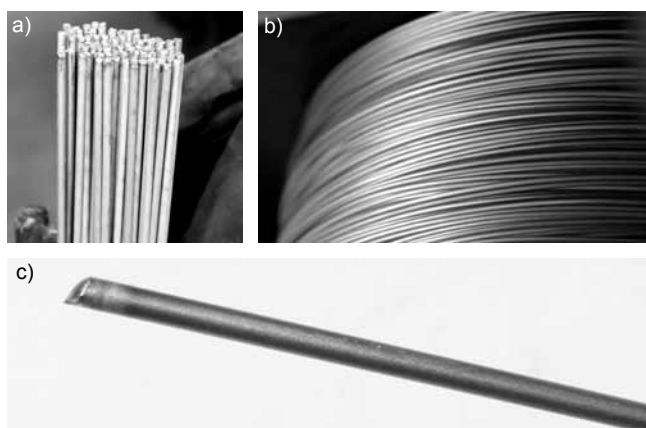


Rys. 7. Dysza gazowa z dyfuzorem
Fig. 7. Gas nozzle with diffuser

Bezpośrednim źródłem tlenu i azotu może być również utleniona i naazotowana powierzchnia spoiwa (rys. 8). Spoiwo do spawania tytanu powinno być pozbawione jakichkolwiek przebarwień i nalotów. Po zakończeniu spawania, a przed rozpoczęciem układania kolejnego ścięgu, końcówkę spoiwa należy odciąć w celu uniknięcia niezgodności (rys. 8) [19].

Podczas stosowania podkładek z gazem formującym należy zapewnić ściśle przyleganie podkładki do blachy, by uniknąć utlenienia czy naazotowania grani (rys. 9). Pozostawienie nieuszczelnienia powoduje zasysanie powietrza do komory z gazem osłonowym i powstanie niepożądanych warstw nalotowych (rys. 10).

Wlot gazu osłonowego do podkładki formującej powinien być umieszczony od strony rozpoczęcia spawania, natomiast podkładka powinna zawierać



Rys. 8. Materiały dodatkowe: a) utlenione pręty do spawania ręcznego metodą TIG, b) utleniony drut do spawania półautomatycznej metodą TIG, c) utleniona końcówka pręta po przerwaniu spawania

Fig. 8. Filler materials: a) oxidized rod for TIG hand welding, b) oxidized wire for semi-automatic TIG welding, c) oxidized ending of rod after welding



Rys. 9. Niepełne przyleganie podkładki osłaniającej grani

Fig. 9. Incorrect adhere of backing bar



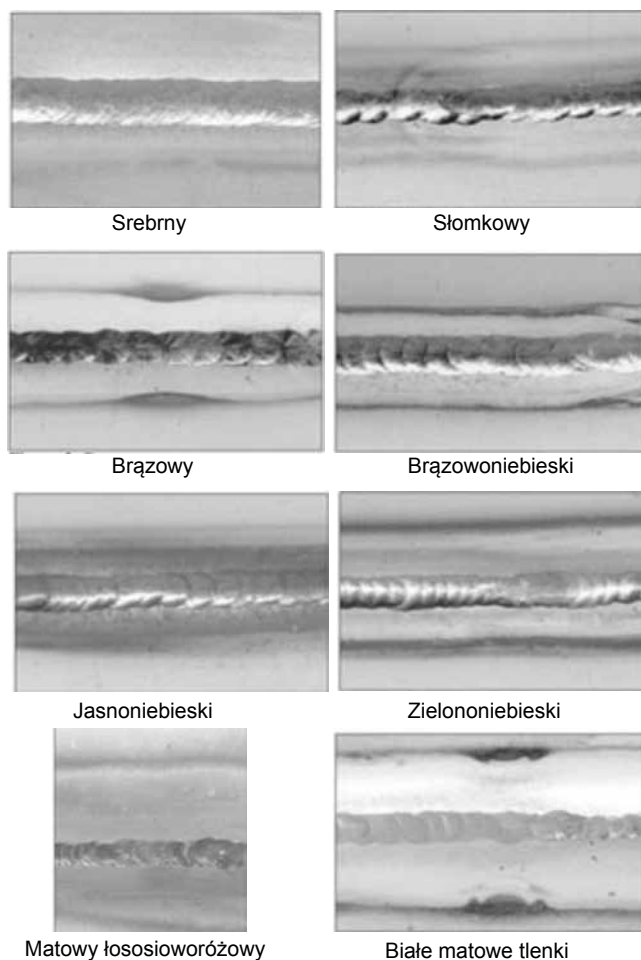
Rys. 10. Grani spoiny złącza próbnego. Widoczny efekt niewłaściwego przylegania podkładki i niewłaściwego kierunku podawania gazu od strony grani

Fig. 10. The root of the sample welded joint. Visible incorrect adhere of backing bar and direction of gas supply in the root side of the weld

miejsce swobodnego wypływu gazu z komory osłonowej po stronie przeciwnej. Natężenie przepływu gazu formującego powinno wynosić 5÷6 l/min [19].

W przypadku spawania wielościegowego każdy kolejny ścięg należy przeszczotkować w celu usunięcia powstałych cienkich warstewek tlenków i azotków. Pozostawienie tlenków i azotków zwiększa ryzyko powstania przyklejeń, z uwagi na wysoką temperaturę topnienia tych związków. Zawartość wodoru można ograniczyć przez zapewnienie odpowiednich warunków przechowywania materiałów dodatkowych oraz czystości powierzchni spoiw (rys. 8). Barwy nalotowe znajdujące się na spoiwie, a w szczególności biały nalot, należy usunąć przed spawaniem za pomocą trawienia chemicznego lub papierów ściernych. Nie można stosować spoiw mających na powierzchni barwy nalotowe.

Podczas spawania ogromny wpływ na właściwości złączy wywiera ilość wprowadzonego ciepła oraz temperatura międzyścięgowa. Przekroczenie ustalonych parametrów powoduje spadek właściwości plastycznych i udarności. W przypadku spawania tytanu grade 12 metodą TIG, elektrodą wolframową torowaną o średnicy 3,2 mm i spoiwem o średnicy 3,2 mm, ilość wprowadzonego ciepła nie powinna przekraczać



Rys. 11. Przykłady barw nalotowych powstających na powierzchni złącza spawanego [5, 19]

Fig. 11. Examples of heat tint on the surface of welded joint [5, 19]

1,2 kJ/mm. Takie parametry spawania umożliwiają uzyskanie spoin o odpowiednich właściwościach [1, 2, 5, 19]. W przypadku mniejszych średnic spoiwa i elektrod należy wprowadzać mniej ciepła. Temperatura międzyścięgowa nie powinna przekraczać 100°C.

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe barwy nalotowe powstałe na powierzchni złącza spawanego;

kolory jasnosrebrny, srebrny, słomkowy czy brązowy są akceptowane, natomiast pozostałe, tj.: fioletowy, niebieski (jasny i ciemny), zielony, szary (matowy) i biały są nieakceptowane.

W szczególnych przypadkach, gdy wymagana jest bardzo wysoka odporność korozyjna, kolor słomkowy nie jest dopuszczalny [5, 19].

Podsumowanie

Technologia spawania tytanu jest uzależniona od jego właściwości, a zwłaszcza wysokiej reaktywności z gazami znajdującymi się w powietrzu i niskiej przewodności cieplnej. Wysokie powinowactwo do tlenu, azotu oraz wysoka rozpuszczalność wodoru sprawiają, że podczas spawania tytanu należy zachować szczególną ostrożność i reżim technologiczny. Miejsce spawania powinno być dodatkowo osłonięte od przeciągów. Złącze spawane powinno być w możliwie najlepszy sposób chronione gazem osłonowym, w tym od strony grani powinny być stosowane podkładowe podkładowe formujące.

Narzędzia do pracy z tytanem powinny być wolne od zanieczyszczeń smarami lub olejami oraz nie powinny mieć kontaktu ze stałą węglową. W przypadku stosowania przyrządów wykonanych ze stali, na ich końcówkach należy umieszczać tytanowe podkładowe.

Zachowanie odpowiedniej technologii spawania, wolnych od zanieczyszczeń materiałów podstawowych i dodatkowych, oraz osłon ciekłego, jak również gorącego metalu zapewnia uzyskanie spoin wysokiej jakości o wymaganych właściwościach plastycznych i wytrzymałościowych oraz odporności korozyjnej.

Literatura

- [1] Matthew J. Donachie, Jr.: Titanium. A Technical Guide. ASM International, United States of America, 2000.
- [2] C. Leyens, M. Peters: Titanium and Titanium Alloys. Fundamental Applications. Wiley – VCH GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003.
- [3] G. Lutjering, J.C. Williams: Titanium. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York, 2003.
- [4] R. Boyer, G. Welsch, E.W. Collings: Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, USA, 2007.
- [5] L.S. Smith, P. Threadgill, M. Gittos: Welding Titanium a Designers and Users Handbook, TWI, United Kingdom, 1999.
- [6] K. Tubielewicz, A. Zaborski: Specyfika łączenia (spawania) stopów tytanu, Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 3/2007.
- [7] <http://www.mhi.co.jp>.
- [8] <http://leosztitanium.en.busytrade.com>.
- [9] <http://www.sunrines.com>.
- [10] <http://www.titanmf.com/products/>.
- [11] <http://www.mingchenchina.com>.
- [12] <http://www.porscheboost.com>.
- [13] <http://www.medicalexpo.com>.
- [14] <http://www.trimet.com.tr>.
- [15] <http://www.biohexagon.com>.
- [16] <http://www.goldcommerce.pl>.
- [17] <http://www.klugex.com>.
- [18] <http://www.pakamera.pl>.
- [19] Titanium Alloy Guide – RMI Titanium Company.
- [20] ASTM B265-10 Titanium and Titanium Alloy Strip, Sheet, Plate.
- [21] 15614-5 Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 5: Spawanie łukowe tytanu, cyrkonu i ich stopów.
- [22] PN-EN 485-2: 2007 Aluminium i stopy aluminium – Blachy, taśmy, płyty – Część 2: Właściwości mechaniczne.
- [23] PN-EN 10088-1 Stale odporne na korozję – Część 1: Gatunki stali odpornych na korozję.
- [24] PN-EN 10088-2 Stale odporne na korozję – Część 2: Warunki techniczne dostawy blach i taśm ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia.
- [25] A. Agüero, J.M. Albella, M.P. Hierro, J. Phillibert and F.J. Pérez Trujillo: Influence of Beta Stability on Hydrogen Diffusion in Various Beta Titanium Alloys, Defect and Diffusion Forum (Vol. 289-292), 2009., s. 87-94.
- [26] I. M. Pohrelyuk, V. M. Fedirko and V. M. Dovhnyuk: Influence of nitriding and oxidation on the wear of titanium alloys, Materials Science, Vol. 36, Nr 3/2000, 466-471.
- [27] M. B. Ivanov, S. S. Manokhin, Y. R. Kolobov, D. A. Nechayenko: Phase Composition and Microstructure of Ti-6Al-4V Alloy a Hydrogen-Plastic Working, Materials Physics and Mechanics Nr 10/2010, 62-71.
- [28] P. Perez: Influence of nitriding on the oxidation behaviour of titanium alloys AT 700°C, Surface and Coatings Technology, Vol. 191, Nr 2-3/2005, s. 293-302.
- [29] A. M. Chaze, C. Coddet: Influence of alloying elements on the dissolution of oxygen in the metallic phase during the oxidation of titanium alloys, Journal of Materials Science, Vol. 22, Nr 4, s. 1206-1214.
- [30] N.E. Paton, J.C. Williams: Effect of hydrogen on titanium and its alloys, Hydrogen in metals; Proceedings of the International Conference on the Effects of Hydrogen on Materials Properties and Selection and Structural Design, Champion, United States; 1973. s. 409-431.
- [31] F.H. Froes, O.N. Senkov, J.I. Qazi: Hydrogen as a temporary alloying element in titanium alloys: thermohydrogen processing, International Materials Reviews, Vol. 49, Nr 3-4, June 2004, s. 227-245.
- [32] PN-EN ISO 24034 Materiały dodatkowe do spawania – Druty i pręty lite do spawania tytanu i stopów tytanu – Klasyfikacja.
- [33] PN-EN ISO 6847:2005 Materiały dodatkowe do spawania – Wykonanie stopiwa do analizy składu chemicznego.