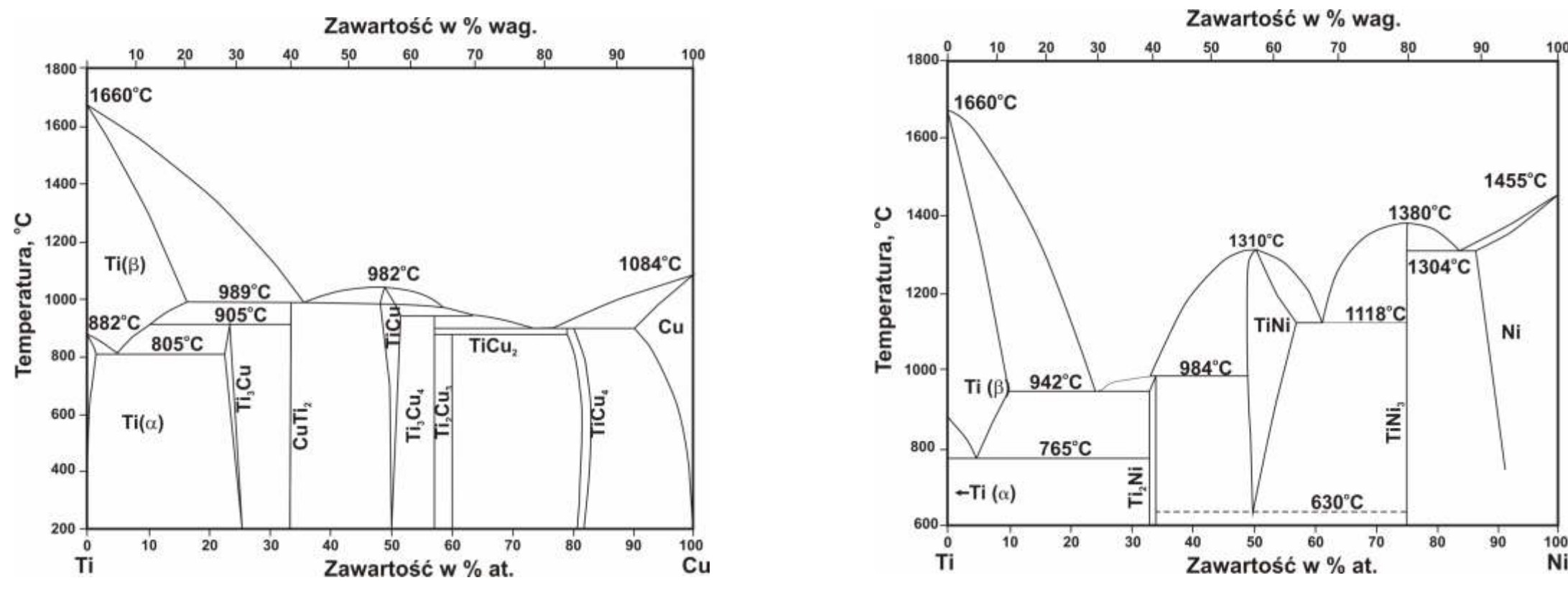


Wprowadzenie

Tytan jako metal silnie reaktywny należy do materiałów trudno lutowalnych. Jedną z najkorzystniejszych technicznie metod łączenia tego coraz częściej stosowanego materiału konstrukcyjnego o korzystnych, specjalistycznych właściwościach jest łutowanie dyfuzyjne. Ta metoda, łącząca cechy zgrzewania dyfuzyjnego i łutowania, jest definiowana najczęściej jako „proces łutowania, w którym mechanizm tworzenia się lutownicy oparty jest przede wszystkim na zjawisku dyfuzji pomiędzy materiałami łączonymi i lutem” lub też jako „proces łutowania, w którym zjawisko dyfuzji decyduje o składzie chemicznym i właściwościach fizycznych lutownicy, uzyskanej ze stopienia dodanego lutu lub lutu powstałego na styku łączonych części”. Ciekły lut tworzący lutownicę powstaje zatem na styku łączonych materiałów w wyniku wzajemnej dyfuzji ich odpowiednich składników. Zjawisko takie ma miejsce tylko w przypadku układów materiałowych, których składniki (lub one same) tworzą fazowe układy równowagi z mieszaniną eutektyczną lub z ciągłym roztworem stałym z minimum na linii likwidus.

Z analizy dostępnej literatury naukowo – technicznej oraz układów równowagi fazowej tytanu z innymi metalami wynika, że metal ten z większością metali technicznych tworzy skomplikowane układy z licznymi fazami międzymetalicznymi o niższej lub zdecydowanie niższej temperaturze tworzenia tych faz aniżeli temperatura topnienia tych metali. Analizując układ równowagi fazowej m.in. Ti-Cu (rys. 1a) oraz Ti-Ni (rys. 1b) można wnioskować, że zastosowanie czystej miedzi lub czystego niklu jako przekładki lutowniczej umożliwi otrzymanie połączenia na drodze łutowania dyfuzyjnego. Tytan również ze srebrem tworzy układ równowagi fazowej z licznymi fazami o niskiej temperaturze topnienia.



Rys. 1. Układ równowagi Ti-Cu (a) oraz Ti-Ni (b)

Przedstawiono wyniki badań łutowania dyfuzyjnego tytanu przy użyciu miedzi, lutu eutektycznego Ag272 oraz porównawczo niklu. Celem pracy było zbadanie możliwości zastosowania czystej miedzi, lutu Ag272 wg PN-EN ISO 17672 oraz czystego niklu jako spoiw do łutowania dyfuzyjnego tytanu oraz określenie wpływu materiałowo – technologicznych warunków łutowania dyfuzyjnego na strukturę i właściwości mechaniczne uzyskanych połączeń.

Materiały podstawowe i dodatkowe do badań

Do badań zastosowano tytan w gat. grade 2 wg ASTM B 26579 (maksymalne ilości zanieczyszczeń w % wag.: 0,1% C, 0,25% N, 0,03% H, 0,0125% O, 0,03% Fe), w postaci próbek walcowych o średnicy \varnothing 20 i długości 15 mm.

Jako przekładki w procesie łutowania dyfuzyjnego zastosowano: miedź w gat. CF032A wg PN-EN 1412, lut Ag272 wg PN-EN ISO 17672 oraz nikiel w gat. Ni 99,0 wg PN-ISO 9722.

Wykonanie połączeń próbnych

Elementy próbek łutowanych doczołowo, ułożono swobodnie współosiowo w pozycji pionowej. W celu zwiększenia powierzchni przylegania i drogi dyfuzji składników materiału podstawowego i lutu, przed procesem łutowania powierzchnie elementów szlifowano na papierach ściernych o końcowej numeracji 800. Bezpośrednio przed łutowaniem próbki trawiono w roztworze kwasu fluorowodorowego i azotowego Dopasowane kształtem do złącza przekładki z folii miedzianej, lutu Ag272 oraz niklowej bezpośrednio przed łutowaniem odfuszczano w acetonie i umieszczano po dwie (łączna grubość 0,1 mm) pomiędzy łączonymi elementami.

Wszystkie próbki łutowano w piecu próżniowym typu S 16 firmy TORVAC w próżni w zakresie 10^{-4} – 10^{-5} mbar.

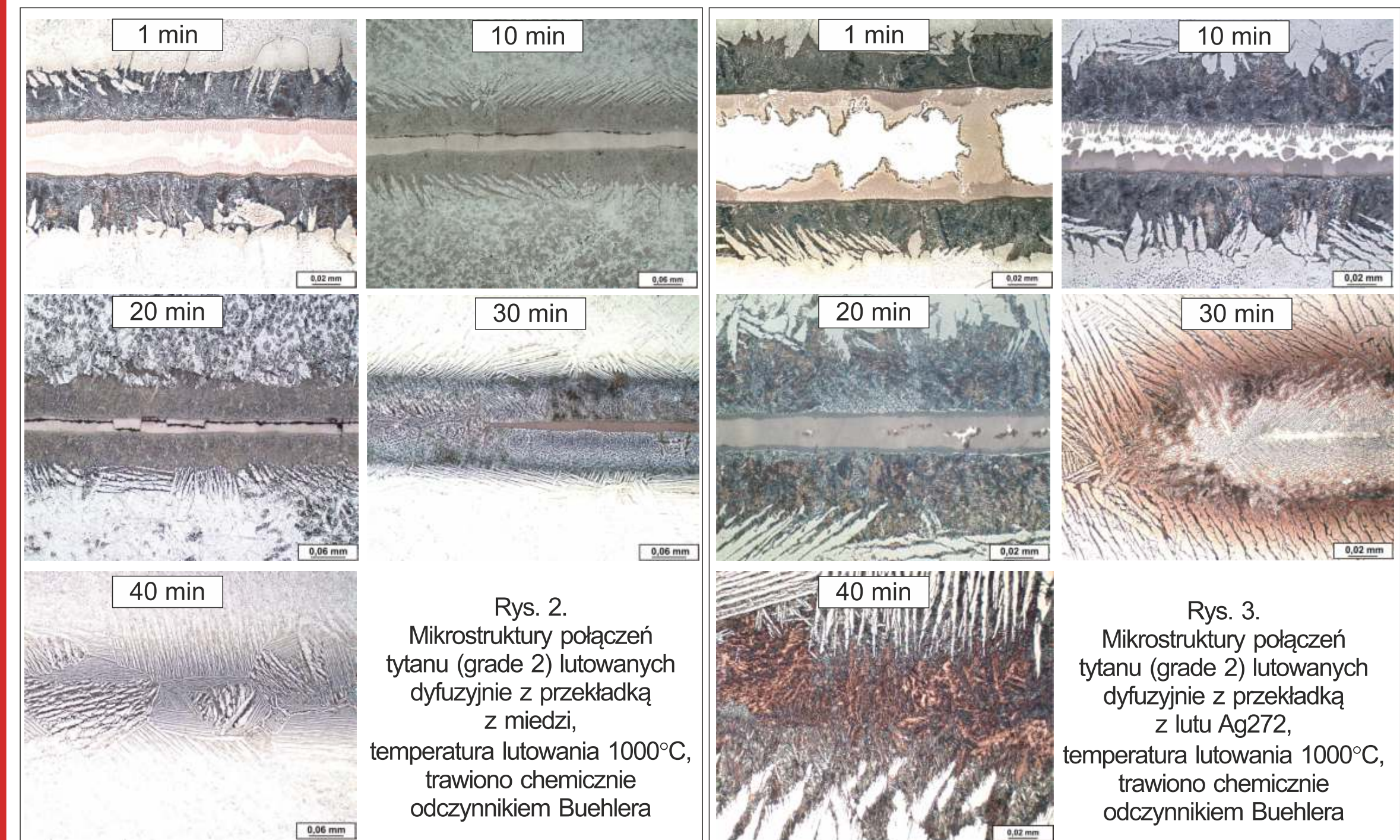
Temperaturę i czas łutowania ustalono bazując na dostępnych informacjach literaturowych oraz analizie oddziaływania fazowego tytanu z miedzią, niklem i srebrem w oparciu o ich układy równowagi fazowej.

Łutowanie tytanu w gat. grade 2, przy zastosowaniu miedzi i lutu Ag272 jako przekładki lutowniczej, przeprowadzono w temperaturze: 950, 1000 oraz 1030°C i czasie łutowania w każdej temperaturze: 1, 10, 20, 30 i 40 min. Przy zastosowaniu niklowej przekładki już w pierwszej próbie łutowania (1 min) uzyskano niską jakość połączeń (brak wypełnienia szczeliny lutowniczej, brak zwilżenia powierzchni bocznej próbki). Z tego względu dalsze próby łutowania z zastosowaniem niklu ograniczono dla czasów łutowania 1 i 30 min.

Oceniając wizualnie jakość połączeń tytanowych stwierdzono dobrą jakość w przypadku połączeń wykonanych w temperaturze 950, 1000 i 1030°C i wszystkich stosowanych czasów łutowania przy użyciu miedzi i lutu Ag272. W przypadku połączeń wykonanych przy użyciu niklu nie uzyskano połączenia o fizycznej ciągłości podczas łutowania w temperaturze 950°C i czasie 1 min. Próbkę łutowaną w czasie 1 min i temperaturze 1000 oraz 1030°C wykazywały fizyczną ciągłość, natomiast nie stwierdzono całkowitego wypełnienia szczeliny lutowniczej ciekłym lutem i zwilżenia powierzchni bocznych próbek. Natomiast próbki łutowane w czasie 30 min wykazywały dobrą jakość dla wszystkich trzech temperatur łutowania.

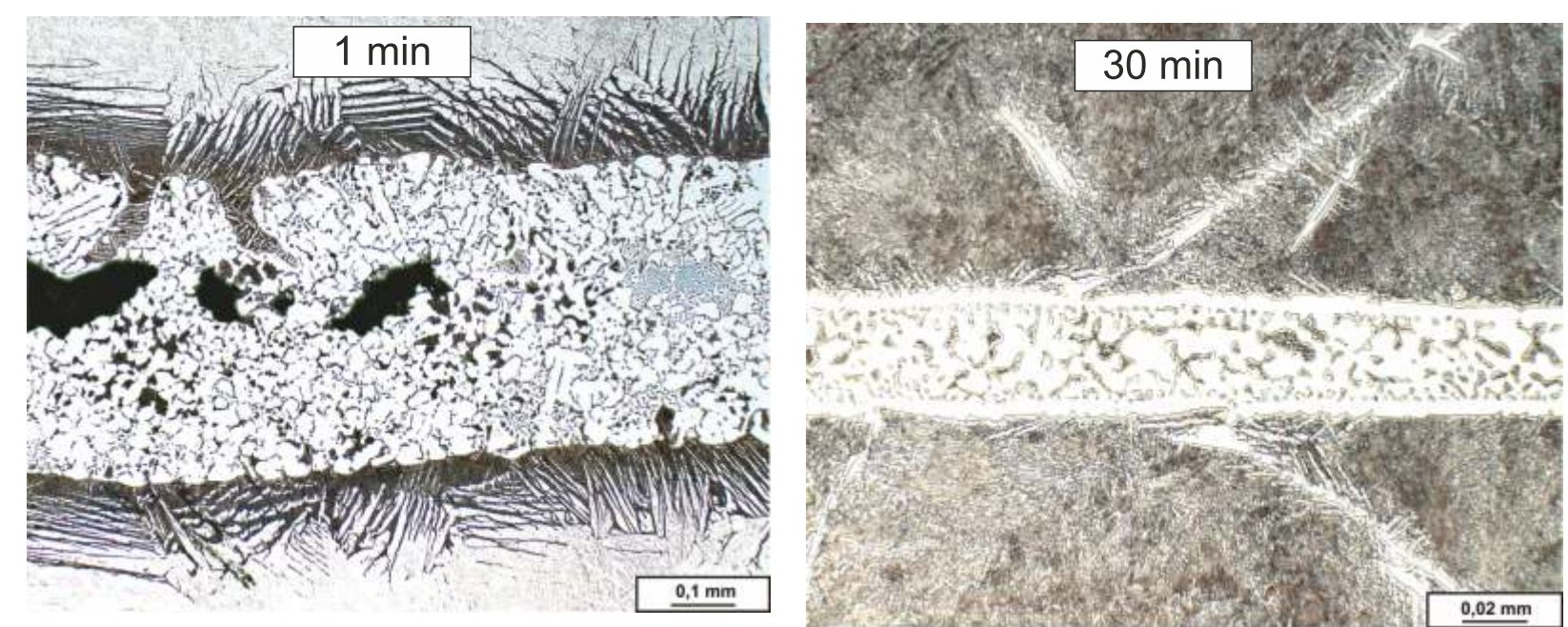
Struktury połączeń łutowanych tytanu grade 2

Badania metalograficzne połączeń łutowanych tytanu w gat. grade 2 przy użyciu folii miedzianej jako przekładki lutowniczej wykazały, że w strukturze połączenia łutowanego (po 1 min) wyraźnie widać nieprzereagowaną warstwę lutu z widoczną granicą lutownia – materiał podstawowy i szeroką strefą dyfuzyjną w materiale podstawowym o wyraźnie ciemniejszym zabarwieniu. W połączeniach wykonanych w czasie łutowania 10 i 20 min zaobserwowano wyraźne pęknięcia przebiegające na granicy lutownia - materiał podstawowy lub granicy pomiędzy obszarami faz występujących w lutownicy i wyraźnie różniących się zabarwieniem. W przypadku połączenia wykonanego w czasie łutowania 30 min prawie cały lut uległ przedyfundowaniu do materiału podstawowego a w środkowej części złącza tylko lokalnie można zaobserwować nieliczne obszary fazy o zabarwieniu wskazującym na duży udział miedzi. Zwiększenie czasu łutowania do 40 min spowodowało już całkowite przereagowanie materiału lutu i utworzenie gruboziarnistej struktury z iglastymi wydzieleniami wewnątrz ziaren. Struktury połączeń wykonanych przy użyciu miedzi przedstawiono na rys. 2. Struktury lutowniczych połączeń tytanu wykonanych z użyciem lutu Ag272 w temperaturze 1000°C przedstawiono na rys. 3. W strukturze połączeń wykonanych w czasie 1 min zaobserwowano zjawisko roztworzenia stopu eutektycznego i utworzenie obszarów bogatych w srebro i miedź. Dłuższe przetrzymywanie w temperaturze łutowania prowadziło do intensyfikacji zjawisk dyfuzyjnych tak, że w strukturze złączy wykonanych w czasie 30 i 40 min zaobserwowano niemal całkowite wydyfundowanie warstwy lutu do materiału łutowanego. Struktury lutowniczych połączeń wykonanych z użyciem niklu w temperaturze 1000°C i czasie utrzymania 1 i 30 min charakteryzowały się częścią środkową o strukturze eutektycznej (stopiwo lutownicze) i wyraźnymi poszerzającymi się wraz z wydłużeniem czasu łutowania strefami dyfuzyjnymi z wydzieleniami iglastymi. Ponadto przy krótkim czasie łutowania (1 min) w środkowej strefie lutownicy zaobserwowano liczne pustki. Struktury połączeń łutowanych wykonanych przy użyciu niklu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 2. Mikrostruktury połączeń tytanu (grade 2) łutowanych dyfuzyjnie z przekładką z miedzi, temperatura łutowania 1000°C, trawiono chemicznie odczynnikiem Buehlera

Rys. 3. Mikrostruktury połączeń tytanu (grade 2) łutowanych dyfuzyjnie z przekładką z lutu Ag272, temperatura łutowania 1000°C, trawiono chemicznie odczynnikiem Buehlera

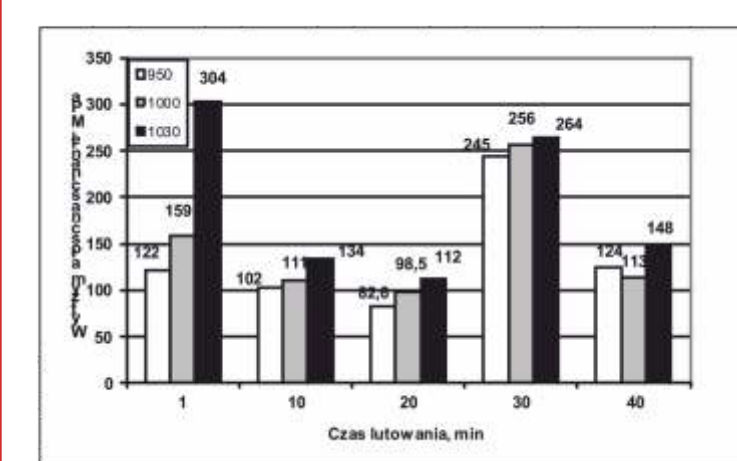


Rys. 4. Mikrostruktury połączeń tytanu (grade 2) łutowanych dyfuzyjnie z przekładką z niklu, temperatura łutowania 1000°C, trawiono chemicznie odczynnikiem Buehlera

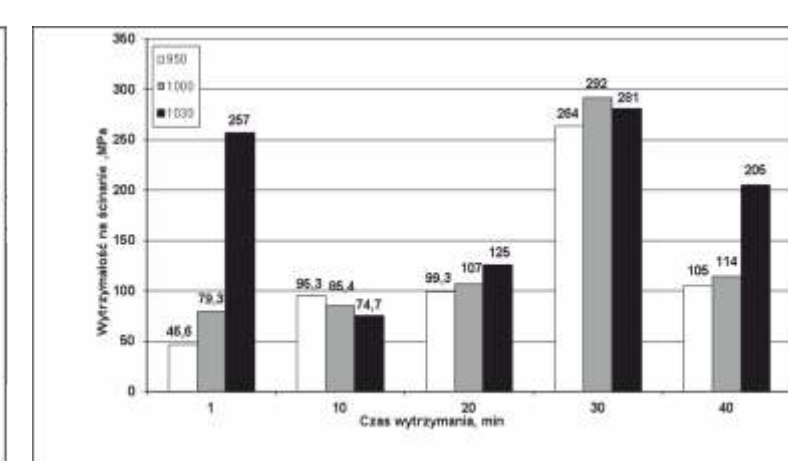
Statyczna próba ścinania tytanowych połączeń łutowanych

Próby wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Instron model 4210 w oprzyrządowaniu zapewniającym czyste ścinanie połączeń łutowanych. Największą wytrzymałość na ścinanie uzyskały połączenia wykonane w czasie łutowania 1 min dla obu zastosowanych lutów i 30 min dla połączeń uzyskanych przy użyciu przekładki miedzianej. Wytrzymałość połączeń łutowanych miedzią w czasie łutowania 10, 20 i 40 min w przypadku każdej stosowanej temperatury była mniejsza aniżeli połączeń wykonywanych w czasie 1 i 30 min.

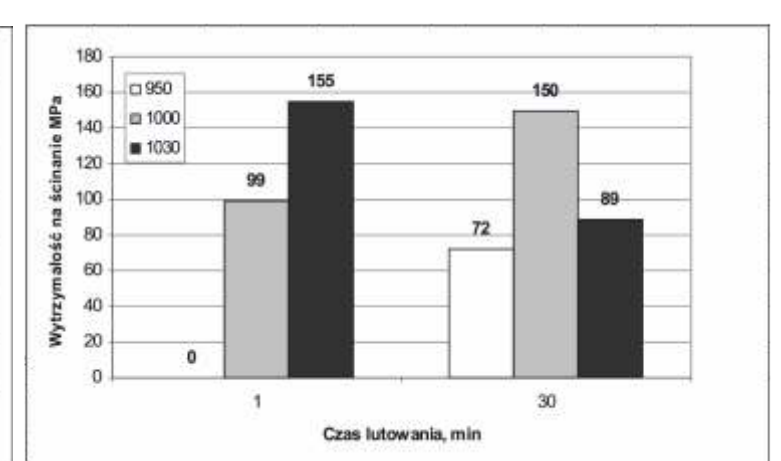
Wyniki statycznej próby ścinania próbek tytanowych łutowanych spoiwami Cu i Ni w różnym czasie i temperaturze łutowania przedstawiono odpowiednio na rys. 5+7.



Rys. 5. Wytrzymałość na ścinanie połączeń łutowanych tytanu gat. grade 2 wykonanych przy użyciu folii Cu



Rys. 6. Wytrzymałość na ścinanie połączeń łutowanych tytanu gat. grade 2 wykonanych przy użyciu lutu Ag272



Rys. 7. Wytrzymałość na ścinanie połączeń łutowanych tytanu gat. grade 2 wykonanych przy użyciu folii Ni

Badania wykazały, że największą wytrzymałością na ścinanie złączy łutowanych, wynoszącą 304 MPa (średnia z pięciu prób), charakteryzują się połączenia wykonane przy użyciu miedzi w temperaturze 1030°C i czasie łutowania 1 min. Wysokie wartości wytrzymałości uzyskano również dla połączeń wykonanych w czasie 30 min. Ich wytrzymałość na ścinanie dla temperatury łutowania 950, 1000 i 1030°C wynosiła odpowiednio 245, 256 i 264 MPa. W przypadku połączeń łutowanych lutem Ag272 największą wytrzymałość na ścinanie wykazały połączenia wykonane w czasie 30 min. Wynosiły one dla temperatur 950, 1000 i 1030°C odpowiednio 264, 292 i 281 MPa. Również połączenie wykonane w czasie 1 min i temperaturze 1030°C wykazywało wysoką wytrzymałość wynoszącą 257 MPa. Najmniejszą wytrzymałość połączeń łutowanych zarówno miedzią jak i lutem Ag272 uzyskano dla czasów łutowania 10, 20 oraz 40 min. W przypadku połączeń uzyskanych z zastosowaniem dwóch pierwszych czasów w ich strukturze występują liczne pęknięcia powodujące znaczne zmniejszenie ich wytrzymałości. W przypadku złączy uzyskanych przy zastosowaniu czasu łutowania 40 min zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie można tłumaczyć zetknięciem frontów krystalizacji izotermicznej i utworzeniem wyraźnej granicy w środkowej strefie złącza łutowanego.

Zdecydowanie mniejszą wytrzymałość na ścinanie otrzymano w przypadku połączeń łutowanych przy użyciu niklu. Największą wartość osiągnięto dla czasu łutowania 1 min w temperaturze 1030°C. Osiągnięcie dużej wytrzymałości złączy łutowanych w najwyższej temperaturze łutowania przy zastosowaniu którejkolwiek przekładki lutowniczej spowodowane jest prawdopodobnie przyspieszonymi procesami dyfuzyjnymi a w przypadku miedzi jej zwiększoną rozpuszczalnością w fazie b tytanu, występującej w całej objętości próbki.

Wnioski

1. Badania wykazały możliwość zastosowania czystej miedzi lutu Ag272 oraz czystego niklu jako spoiw do łutowania dyfuzyjnego tytanu i uzyskanie połączeń o fizycznej ciągłości i dobrej jakości.
2. Zastosowanie czystej miedzi oraz lutu Ag272 umożliwiła otrzymanie połączeń o wysokiej wytrzymałości na ścinanie, powyżej 260 MPa, wykonanych w temperaturze łutowania 1030°C oraz czasie 1 i 30 min.
3. Niewłaściwie dobrane parametry łutowania tytanu przy użyciu przekładki miedzianej powodują powstawanie w złączu lutowniczym liczących pęknięć lub pojawienie się w środkowej strefie lutownicy granicy frontów krystalizacji. Prowadzi to do znacznego zmniejszenia wytrzymałości na ścinanie połączeń łutowanych do wartości poniżej 100 MPa.
4. Wytrzymałość na ścinanie połączeń łutowanych przy użyciu niklu nie przekracza 155 MPa, może to wynikać z obecności licznych pustek w obszarze lutownicy.

Kontakt:
Instytut Spawalnictwa
Zakład Technologii Spawalniczych

ul. Bł. Czesława 16-18
44 - 100 Gliwice
tel.: 32 33 58 245, fax: 32 33 58 302
www.is.gliwice.pl, is@is.gliwice.pl