

Symposium Katedr i Zakładów Spawalnictwa

**„Nowoczesne zastosowania
technologii spawalniczych”**

Organizatorzy



Patron naukowy



Politechnika
Śląska



praca zbiorowa
pod redakcją
Jacka Górki

**WPŁYW PARAMETRÓW PROCESU NAPAWANIA
AUTOMATYCZNEGO PLAZMOWEGO NA JAKOŚĆ NAPOIN NA
BLACHACH ZE STOPU TYTANU TI-6AL-4V WYKONANYCH
DRUTEM TYTANOWYM GRADE 2**

Opracowali:

mgr inż. Sławomir Topór,

ANTEA POLSKA S.A, Katowice

dr hab. inż. Santina Topolska, prof. PŚ

Politechnika Śląska, Gliwice

1. Streszczenie

W artykule przedstawiono i opisano wyniki badań przeprowadzonych w celu weryfikacji i opracowania zakresu parametrów napawania plazmowego pozwalających uzyskać wysoką jakość napoin na blachach ze stopu tytanu Ti-6AL-4V o grubości 2,0 mm, stosując materiał dodatkowy w postaci drutu z tytanu technicznego. Dobór parametrów przeprowadzono na zautomatyzowanym stanowisku do napawania plazmowego. Próby przeprowadzono dla różnych wartości natężenia prądu, prędkości spawania oraz prędkości podawania drutu.

2. Wstęp

Tytan jest metalem o bardzo wysokim stosunku wytrzymałości do masy. Ma dużą wytrzymałość w temperaturze otoczenia, jak i w temperaturach podwyższonych, stosunkowo małą gęstość oraz dużą odporność na korozję w powietrzu, wodzie morskiej i wielu środowiskach agresywnych.

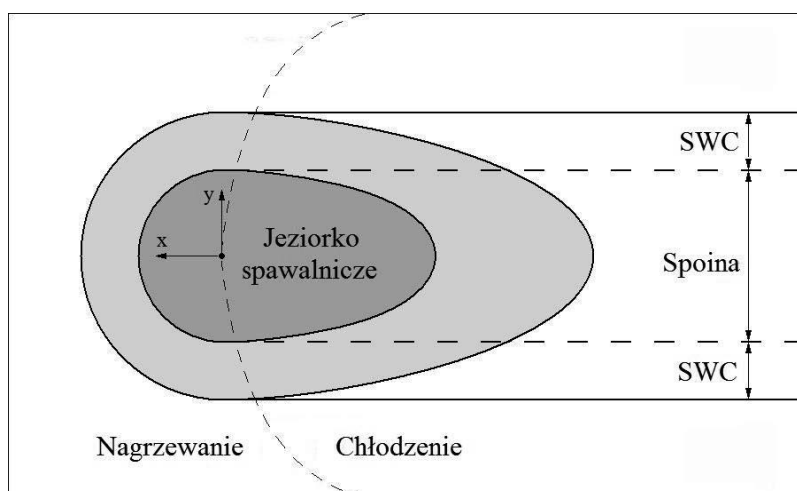
W temperaturze otoczenia czysty tytan ma srebrzysty kolor, wyglądem przypomina stal nierdzewną lub nikiel. Gęstość tytanu α w temperaturze 20°C wynosi 4,507 g/cm³, tytanu β w temperaturze 900°C - 4,32 g/cm³, tytan jest metalem paramagnetycznym.

Tytan występuje w dwóch odmianach alotropowych α i β . Odmiana α - Ti $_{\alpha}$ - występuje do temperatury 882,5°C, krystalizuje w sieci heksagonalnej zwartej. Odmiana β - Ti $_{\beta}$ - występuje powyżej temperatury 882,5°C aż do temperatury topnienia 1668°C, krystalizuje w sieci regularnej przestrzennie centrowanej [1].

Właściwości tytanu i jego stopów zależą w dużym stopniu od zawartości zanieczyszczeń. Tytan wykazuje silne powinowactwo w stanie nagrzanym i ciekłym do gazów atmosferycznych (tlenu, azotu i wodoru). Powoduje to, że we wszystkich procesach technologicznych, gdzie tytan zostaje ogrzany do temperatury umożliwiającej absorpcję szkodliwych gazów, należy stosować atmosfery ochronne lub próżnię.

W praktyce tytan jest odporny na działanie tlenu tylko do temperatury 120°C, powyżej tej temperatury na jego powierzchni tworzą się tlenki. Absorpcja i dyfuzja wodoru zaczynają się powyżej 150°C. Z powietrzem tytan reaguje w temperaturze powyżej 500°C, i w takich warunkach powierzchnia tytanu pokrywa się szczelną warstewką tlenków i azotków. Należy podkreślić, iż istnieje zależność pomiędzy temperaturą a aktywnością tytanu - w miarę wzrostu temperatury, chemiczna aktywność tytanu też silnie wzrasta, powodując iż tytan zapala się w atmosferze powietrza w temperaturze 1200°C [2].

Jednakże, w temperaturze powyżej 500°C, tytan jest bardzo podatny na kruchość wywołaną absorpcją tlenu, azotu, węgla i wodoru. Podstawowym środkiem zaradczym jest osłona strefy spawania oraz strefy wpływu ciepła przed kontaktem z powietrzem, wodorem, związkami węgla i innymi zanieczyszczeniami podczas topnienia, krystalizacji oraz chłodzenia po spawaniu [3]. Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie strefy osłanianie podczas procesu spawania.



Rys. 1. Strefy osłanianie przed zanieczyszczeniami podczas procesu spawania, SWC – strefa wpływu ciepła [4]

Jeśli poziom zanieczyszczeń przekracza pewną granicę, mogą powstać pęknięcia w wyniku obciążeń generowanych w trakcie spawania. Strefa spawania może być chroniona przez lokalny nadmuch gazu obojętnego lub przez umieszczenie spawanych komponentów w komorze zawierającej wysoką próżnię, bądź wypełnionej gazami obojętnymi. Należy również zwrócić uwagę na jakość gazu, gdyż znacznie wpływa to na jakość wykonanego połączenia [3].

Absorpcja gazów drastycznie przyczynia się do zmiany struktury spoin, co bezpośrednio wiąże się ze wzrostem naprężeń, szczególnie w pobliżu karbów oraz z wprowadzaniem odkształceń geometrycznych. Naprężenia są również skutkiem rozszerzalności cieplnej tytanu, która wiąże się z cyklem cieplnym spawania [5].

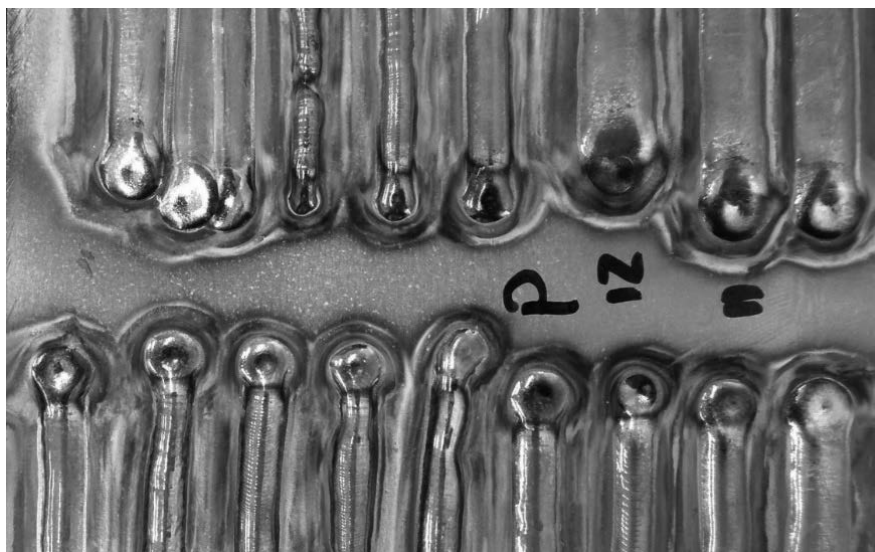
Porowatość w spoinie jest najczęstszą wadą spoiny. Porowatości powstają wówczas, gdy pęcherzyki gazu zostają uwięzione między dendrytami podczas krzepnięcia. Najczęstszą przyczyną występowania porowatości jest występowanie zanieczyszczeń zawierających wodór (wilgość, smary).

Podczas spawania w nieodpowiedniej osłonie gazowej występuje powierzchniowa cienka warstwa tlenków, a po kolorze można określić stopień utlenienia tytanu, co jest widoczne na rysunkach 2 i 3. Kolor może wskazywać, czy osłona była wystarczająca [6].

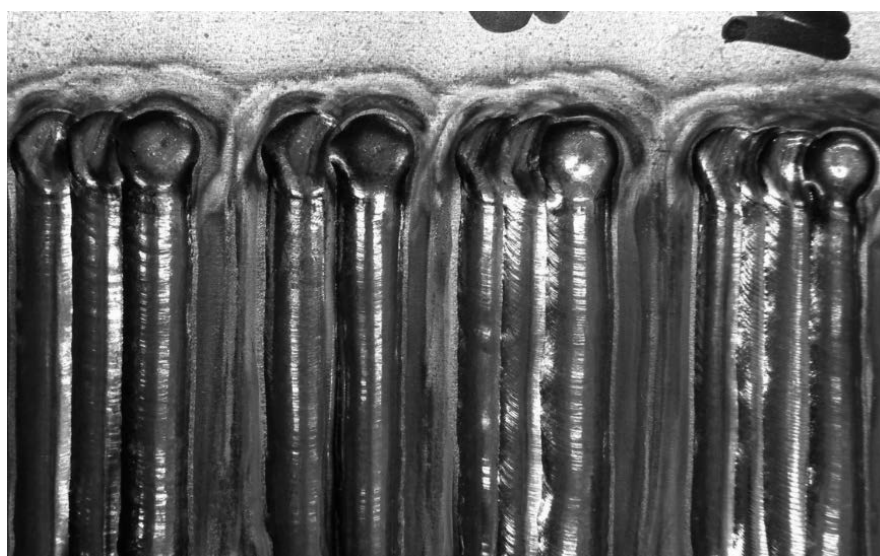
Poziom zanieczyszczenia powietrzem możemy wyznaczyć na podstawie koloru spoiny. Przy utrzymywaniu wysokiej temperatury podgrzewania kolory zmieniają się w czasie w następującej kolejności (od niskiej temperatury do wysokiej): srebrny, złoty, fioletowy, niebieski, jasnoniebieski, szary, biały, żółtobiały.

Gdy powierzchnia po spawaniu będzie miała kolor jasnoniebieski, szary lub biały, a metal spoiny będzie również tracił połysk, to wskazuje na to, że w spoinie nastąpił wzrost kruchości spowodowany utwardzeniem. Według japońskiej normy WES 8104, która dotyczy kontroli technologii, spoina do koloru niebieskiego jest dopuszczana.

Jeżeli spoiny szepne zostaną wykonane przy niedostatecznej ilości gazu osłonowego, to metal spoiny tych złączy ulega utwardzeniu i zwiększa się jego kruchość, dlatego nawet jeśli kolor powierzchni spoiny właściwej jest dobry, to może to spowodować problemy z samym złączem. I właśnie dlatego należy stosować odpowiednią osłonę już w trakcie spawania spoin szepnych. Największy problem, jaki występuje podczas spawania tytanu i jego stopów, to małe, łatwo powstające pęcherzyki oraz kruchość zanieczyszczeniowa, wywołana powietrzem [7].



Rys. 2. Barwy nalotowe obrazujące stopień utlenienia powierzchni tytanu po napawaniu metodą PTA



Rys. 3. Barwy nalotowe obrazujące stopień utlenienia powierzchni tytanu po napawaniu metodą PTA

Głównym problemem spawania tytanu jest minimalizacja lub eliminacja zanieczyszczeń. Rozwój w zakresie metod czyszczenia, podgrzewania wstępnego oraz zapewnienia osłony gazowej grani jest ważnym krokiem w rozwoju technologii spawania. W celu uzyskania dobrej spoiny należy starannie oczyścić miejsce łączenia spawanych elementów, jak również miejsca co najmniej 50 mm poza szerokość połączenia, po obu stronach rowka spawalniczego. Usunięcie zgorzeli można wykonać za pomocą szczotki drucianej ze stali nierdzewnej, przeznaczonej do tytanu. Kolejną operacją jest odtłuszczenie spawanego materiału, poprawia to jakość połączenia. Podczas spawania należy pamiętać, że najważniejszymi parametrami osłony gazowej są jej długość i szerokość [3].

3. Część badawcza

W celu ustalenia pola parametrów przeprowadzono próby napawania prostych ściegów napoin typu „bead-on-plate” na zautomatyzowanym stanowisku do spawania plazmowego, podobnie jak dla metody TIG, na blachach ze stopu tytanu Grade 5 o grubości 2,0 mm, stosując materiał dodatkowy w postaci drutu z tytanu technicznego Ti-Grade 2, o średnicy 1,2 mm. W tabeli 1 przedstawiono próby przeprowadzone dla różnych wartości natężenia prądu od 35 do 50 A, prędkości spawania od 1,5 do 5 mm/s oraz prędkości podawania drutu od 70 do 100 cm/minutę. Na podstawie wykonanych prób określono wizualnie jakość napoin.

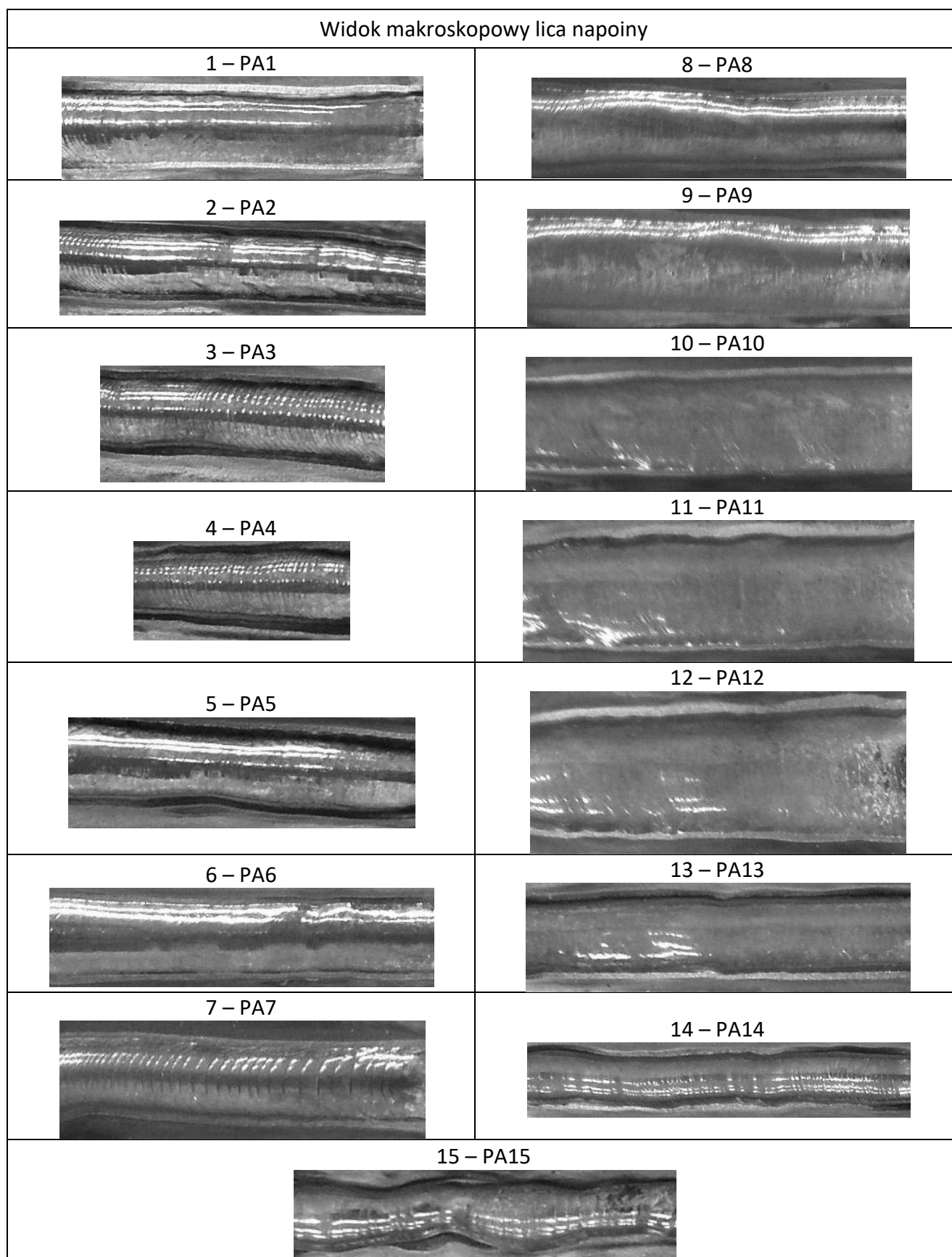
Tab. 1. Wpływ zmian parametrów procesu napawania PTA z materiałem dodatkowym w postaci drutu litego Ti-Grade 2 o średnicy 1,2 mm blach ze stopu tytanu Grade 5 na jakość napoin,

Rys. 4 i 5

Lp.	Nr próby	Natężenie prądu, [A]	Prędkość spawania, [mm/s]	Prędkość podawania drutu, [cm/min]	Ocena jakości na podstawie badań wizualnych
1	PA1	50	4	70	wysoka
2	PA2	50	4	80	wysoka
3	PA3	50	4	90	wysoka
4	PA4	50	4	100	niska
5	PA5	50	4	100	wysoka
6	PA6	50	4	60	wysoka
7	PA7	50	5	80	wysoka
8	PA8	50	3,5	80	wysoka
9	PA9	50	3	80	wysoka
10	PA10	50	2,5	80	wysoka
11	PA11	50	2	80	wysoka
12	PA12	50	1,5	80	wysoka
13	PA13	45	3	80	wysoka
14	PA14	40	3	80	niska
15	PA15	35	3	80	niska

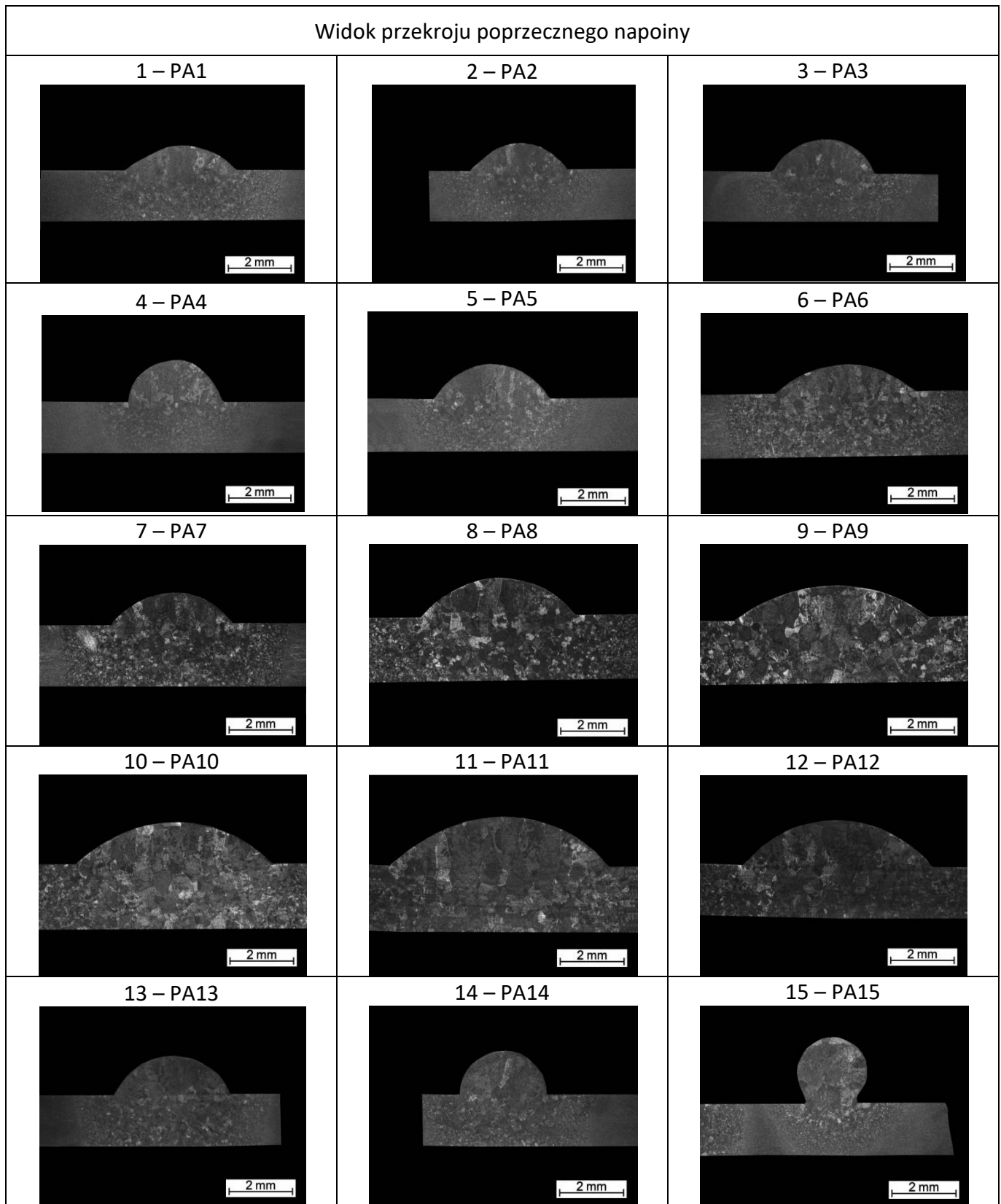
UWAGI: napięcie łuku: 25,5 V, natężenie przepływu gazu ochronnego: 10,0 l/min, natężenie przepływu gazu plazmowego: 0,5 l/min, natężenie przepływu gazu osłonowego: 5,0 l/min, średnica elektrody: 1,6 mm

Zdjęcia makroskopowe otrzymanych napoin przedstawiono na rysunku 4. Rysunek 5 przedstawia makrostruktury przekroju poprzecznego otrzymanych napoin wykonanych za pomocą mikroskopu stereoskopowego.



Rys. 4. Widok lica napoin wykonanych metodą PTA z materiałem dodatkowym w postaci drutu litego Ti-Grade 2 o średnicy 1,2 mm na powierzchni blach ze stopu tytanu Grade 5 o grubości 2,0 mm.

Wpływ parametrów procesu napawania automatycznego plazmowego na jakość napoin na blachach ze stopu tytanu Ti-6AL-4V wykonanych drutem tytanowym Grade 2
Opracowali: mgr inż. Sławomir Topór, dr hab. inż. Santina Topolska, prof. PŚ



Rys. 5. Makrostruktury napoin wykonanych metodą PTA z materiałem dodatkowym w postaci drutu litego Ti-Grade 2 o średnicy 1,2 mm na powierzchni blach ze stopu tytanu Grade 5 o grubości 2,0 mm.

Wpływ parametrów procesu napawania automatycznego plazmowego na jakość napoin na blachach ze stopu tytanu Ti-6AL-4V wykonanych drutem tytanowym Grade 2
Opracowali: mgr inż. Sławomir Topór, dr hab. inż. Santina Topolska, prof. PŚ

4. Wnioski

Wstępne próby napawania automatycznego PTA pojedynczych ściegów prostych wykonane na blachach ze stopu tytanu Grade 5 z zastosowaniem materiału dodatkowego w postaci drutu litego Ti-Grade 2 o średnicy 1,2 [mm] wykazały, że istnieje pole parametrów pozwalających na uzyskanie napoin wysokiej jakości, tj. wartości natężenia prądu od 45 do 50 A, prędkości spawania od 1,5 do 5 mm/s oraz prędkości podawania drutu od 70 do 100 cm/minutę, Tab. 1. Natężenie prądu, prędkość spawania oraz prędkość podawania drutu mają duży wpływ na kształt, wygląd oraz jakość napoin.

Zmniejszanie wartości natężenia prądu z 50 do 35 [A] powoduje zmniejszenie szerokości oraz zwiększenie wysokości napoiny.

Przy zmniejszaniu prędkości napawania z 5,0 do 1,5 [mm/s] zwiększa się wysokość i szerokość napoiny.

Zwiększanie prędkości podawania drutu powoduje zwiększenie wysokości oraz zmniejszenie szerokości napoiny.

Prędkość przepływu gazu osłonowego była prawidłowo dobrana, nie zaobserwowano barw nalotowych wskazujących na utwardzenie i wzrost kruchości.

Badania wizualne, podobnie jak badania metalograficzne, wykazały wysoką jakość napoin oraz brak wad zewnętrznych i wewnętrznych.

Bibliografia

- [1] Meshram S., Mohandas T. A comparative evaluation of friction and electron beam welds of near-alpha titanium alloy. *Materials and Design*, 2010, nr 31, str. 2245-2252.
- [2] Moiseyev V. N. *Titanium Alloys Russian Aircraft and Aerospace Applications*. 2006.
- [3] Lathabai S., Jarvis B.L., Barton K.J. Comparison of keyhole and conventional gas tungsten arc welds in commercially pure titanium. *Materials Science and Engineering*, 2001, nr A299, str. 81-93.
- [4] Neuberger B. W. *Dynamics of near-alpha titanium welding*. 2004.
- [5] Casavola C., Pappalettere C., Tattoli F. Experimental and numerical study of static and fatigue properties of titanium alloy welded joints. *Mechanics of Materials*, 2009, nr 41, str. 231-243.
- [6] <http://www.twi.co.uk/content/jk24.html>. Dostęp dnia 2010-12-03.
- [7] Jastrzębski R., Emerla K., Szpyt P., Szczepański P., Jaworski M., Zieliński J. Spawalność tytanu i jego stopów; część 1. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*, 2016, 7/8 (106/107)