

WPŁYW FERRYTU DELTA NA WŁAŚCIWOŚCI STALI AUSTENITYCZNYCH

CZĘŚĆ 2

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH I STRUKTUR ZŁĄCZY SPAWANYCH



**MAGDALENA
JAKUBOWSKA**

Starszy Specjalista
ds. Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu



**PAWEŁ
GRZEŚKOWIAK**

Główny Specjalista ds.
Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu



**ROBERT
WERSTA**

Kierownik Działu Oceny
Zgodności Urząd Dozoru
Technicznego
Oddział we Wrocławiu

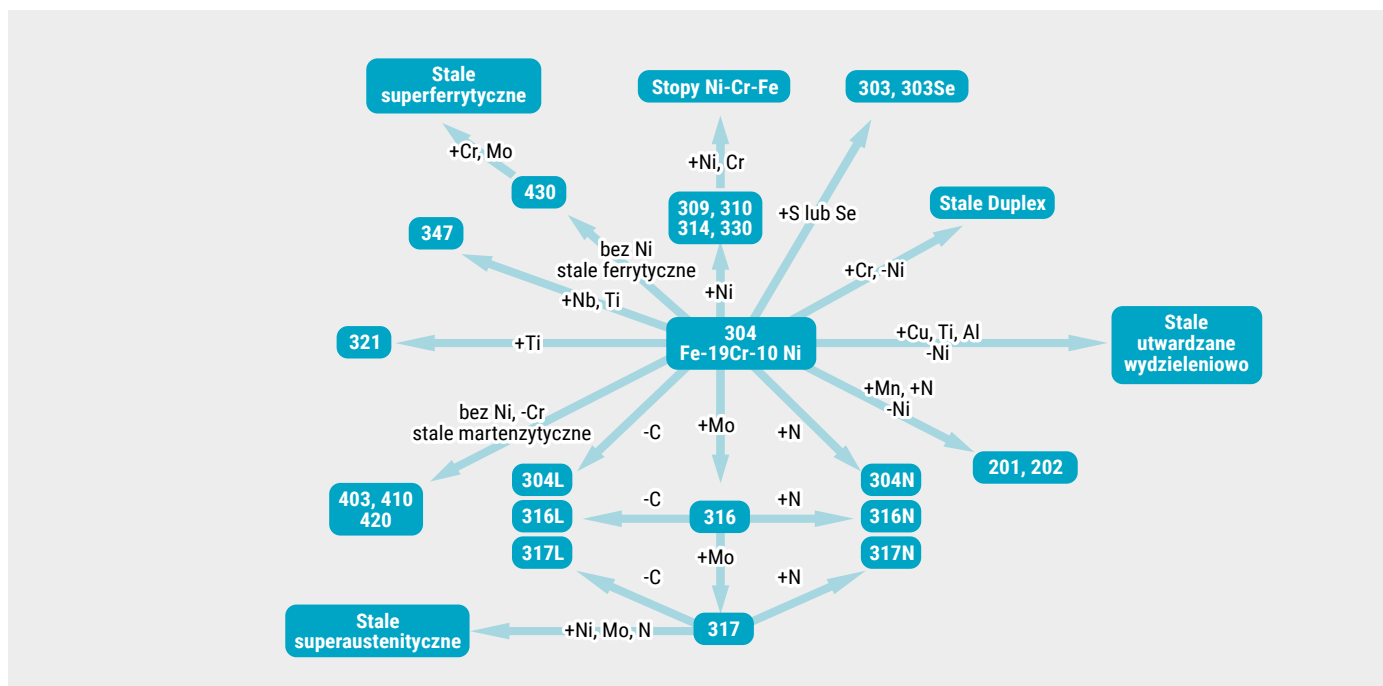


**MARCIN
SMOLIŃSKI**

Specjalista ds. Badań
Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu

STALE AUSTENITYCZNE CORAZ CZĘŚCIEJ SĄ STOSOWANE DO BUDOWY INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH. DOTYCZY TO ZWŁASZCZA PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO, PETROCHEMICZNEGO, SPOŻYWCZEGO, CELULOZOWO-PAPIERNICZEGO, ZAObSERWOWANO RÓWNIEŻ ZNACZĄCY WZROST W OBSZARZE MAGAZYNOWANIA GAZU ZIEMNEGO. W PRAKTYCE PRZEMYSŁOWEJ POWSZECHNIE STOSUJE SIĘ OZNACZENIA GATUNKÓW STALI NIERDZEWNYCH WG AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI). RYSUNEK NR 1 SCHEMATYCZNIE PRZEDSTAWIA WYSZCZEGÓLNIONY SYSTEM Z UWZGLĘDNIENIEM UDZIAŁU PIERWIASTKÓW STOPOWYCH.

Zapraszamy do kolejnego artykułu z obszaru badań materiałowych dla stali austenitycznych. W poprzednim artykule rozpoczęto ocenę jakości złącza spawanego rurociągu na bazie zawartości ferrytu delta. Tym razem ocena zostanie rozwinięta o badania również własności mechanicznych i analizę struktur metalograficznych.



Rysunek 1. System oznaczania stali odpornych na korozję wg AISI [2, 3]

Ciągły rozwój stali odpornych na korozję ukierunkowany na zwiększenie odporności korozyjnej i wytrzymałości, wymusza opracowanie optymalnych technologii spawalniczych gwarantujących otrzymanie spoin o właściwościach jak najbardziej zbliżonych do właściwości materiału podstawowego.

W celu sprostania coraz wyższym wymaganiom odnośnie odporności korozyjnej i właściwości mechanicznych obserwuje się tendencję do zwiększania zawartości pierwiastków stopowych w omawianych stalach. Powoduje to, że uzyskanie spoin, które spełniają wymagania stawiane materiałom podstawowym, staje się coraz trudniejsze. W części 1 [4] omówiono przyczyny powstawania pęknięć krystalizacyjnych w spoinach, sposoby ich zapobiegania oraz rolę ferrytu szcztkowego z otrzymanymi wyniki badań liczby ferrytowej. Weryfikację poprzednio otrzymanych wyników badań nieniszczących wykonano na elementach próbnym z zastosowaniem laboratoryjnych badań niszczących.

METODOLOGIA I ZAKRES BADAŃ

Do badań wykorzystano trzy rodzaje złączy spawanych. Zestawienie poszczególnych materiałów oraz charakterystyki wykonania złączy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie użytych złączy spawanych do badań wraz z charakterystyką wykonania

Nr złącza	Rodzaj złącza wymiary próbki	Identyfikacja złącza		
		Materiał podstawowy i dodatkowy	Metoda spawania	Średnia zawartość ferrytu delta [%]
1	BW Ø33,4 mm x 3,2 mm	TP304; W 19 9 L (TIGWELD 308L - LF)	141	5,0
2	BW Ø60,3 mm x 4,0 mm	TP304; W 19 9 L (TIGWELD 308L - LF)	141	4,8
3	BW Ø219,1 mm x 14,2 mm	TP304; W 19 9 L (TIGWELD 308L - LF)	141	4,4

Badania do kwalifikowania technologii spawania doczołowego złączy rur wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 15614-1:2017 „Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Badanie technologii spawania. Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu”.

Zakres badań zgodnie z tablicą 1 normy PN-EN ISO 15614-1:2017 obejmował (tabela 2):

- badania NDT - badania radiograficzne, penetracyjne,
- badania niszczące mechaniczne, w tym próby rozciągania poprzecznego, zginania, twardości HV10 oraz próby udarności w -196°C,
- dodatkowo wykonano analizę mikrostruktury SEM (skaningowy mikroskop elektronowy) w poszczególnych strefach złącza spawanego.

Tabela 2. Zestawienie metod badawczych użytych podczas kwalifikowania technologii spawania

Nr złącza	Badanie rozciągania poprzecznego	Badanie zginania	Badanie makroskopowe mikroskopowe SEM	Badanie udarności	Badania nieniszczące
1	+	+ (TRBB, TFBB)	+	+ (-196°C)	RT, PT
2	+	+ (SBB)	+	+ (-196°C)	RT, PT
3	+	+ (TRBB, TFBB)	+	+ (-196°C)	RT, PT

+ badanie wykonane, - badanie niewykonane, TFBB, TRBB, SBB – badania zginania odpowiednio poprzecznego od strony lica oraz grani, bocznego, RT – badania radiograficzne.

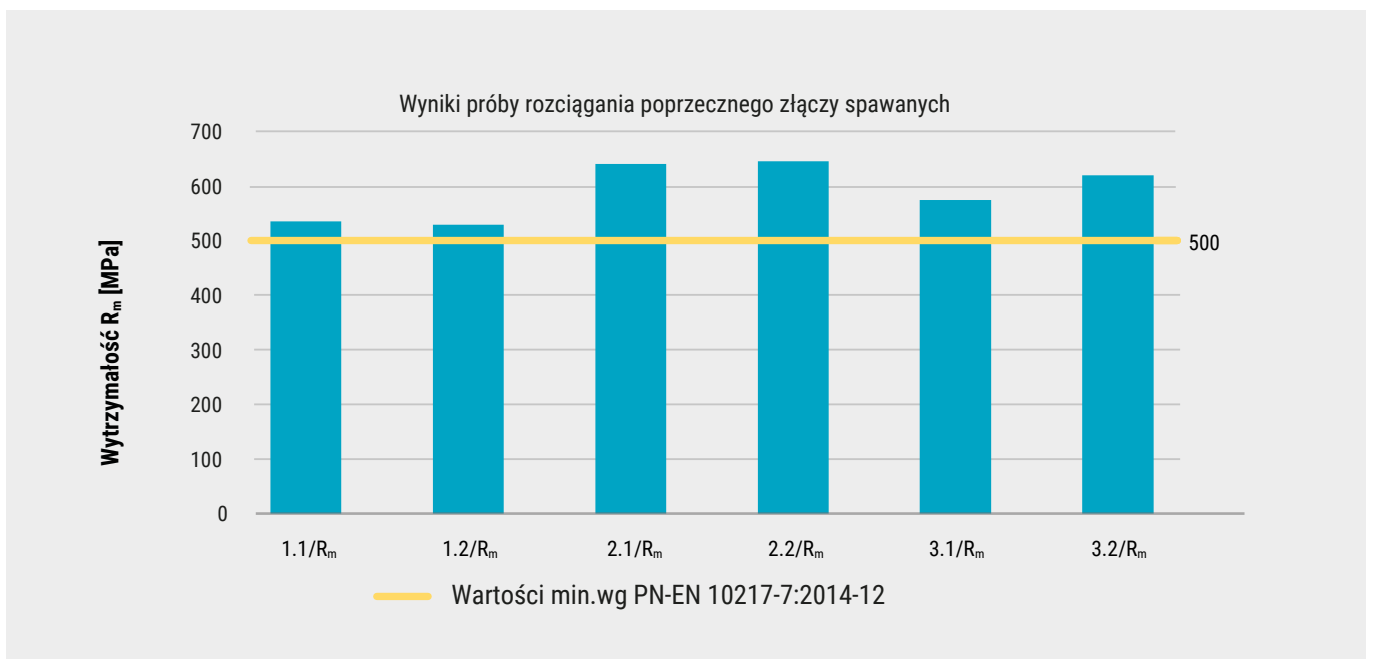
WYNIKI BADAŃ

Badania nieniszczące

Przeprowadzono badania NDT przed badaniami niszczącymi. Zakres badań nieniszczących obejmował: badania penetracyjne PT wg PN-EN ISO 3452-1:2013-08 oraz radiograficzne RT wg PN-EN ISO 17636-1:2013-06E. W badanych złączach nie stwierdzono niezgodności spawalniczych. Spełniają one wymagania dla poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817:2014, a tym samym wynik badań uznaje się za pozytywny.

Próby rozciągania

Dla złączy spawanych przeprowadzono próby rozciągania poprzecznego zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 4136:2013-05. Wyniki prób rozciągania wraz z minimalnymi wartościami wytrzymałości na rozciąganie wg normy PN-EN ISO 10217-7:2014-12 przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wyniki próby rozciągania poprzecznego złączy spawanych

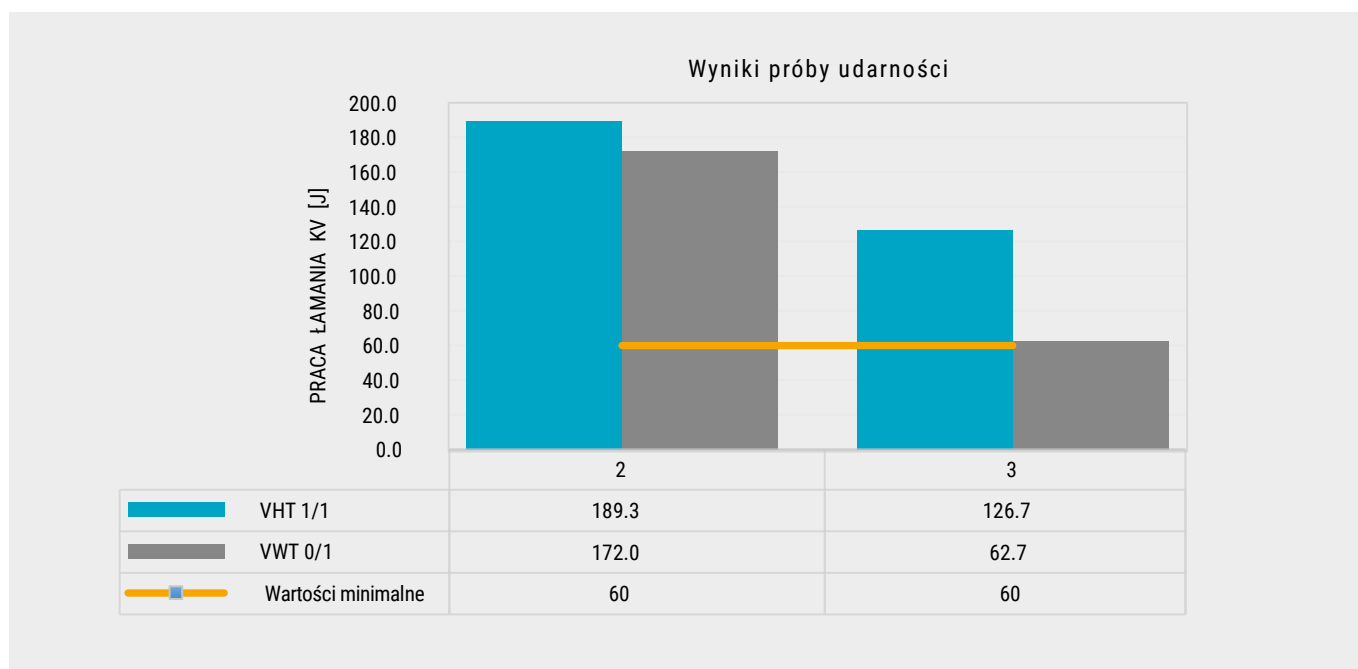
Minimalna wytrzymałość na rozciąganie R_m dla rur ze stali w gatunku TP304 zgodnie z PN-EN 10217-7:2014-12 wynosi 500 MPa. W przypadku próbek 3.1/ R_m oraz 3.2/ R_m do zerwania doszło w materiale spoiny, mimo to stwierdzono, że wytrzymałość na rozciąganie wszystkich próbek pobranych ze złączy próbnych jest wyższa od minimalnej wytrzymałości materiału podstawowego - próby dały wynik pozytywny i spełniły wymagania normy PN-EN ISO 15614-1:2017-08 p. 7.4.1.

Próby zginania

Próby przeprowadzono na próbkach do zginania poprzecznego z rozciąganiem od strony lica i grani spoiny czołowej oraz na próbkach poprzecznych do próby zginania bocznego złącza doczołowego w zależności od grubości badanych rur. Próby przeprowadzono zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 5173:2010/A1:2012. Próby zginania wykazały, że na wszystkich próbkach zgiętych do kąta 180° nie pojawiło się naderwanie większe niż 3 mm. Próby dały wynik pozytywny i spełniły wymagania normy zawarte w p. 7.4.2 normy PN-EN ISO 15614-1:2017-08.

Próby udarności

Badania wykonano przy zastosowaniu młota udarowego o energii 450 J, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9016:2013-05. Wyniki prób udarności przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Wyniki prób udarności złączy próbnych

Próby udarności wykazały, że na wszystkich próbkach wykonanych z materiału TP304 osiągnięto wynik co najmniej 60J zgodnie z PN-EN 10217-7:2021-09 – próby dały wynik pozytywny i spełniły wymagania normy PN-EN ISO 15614-1:2017-08 p. 7.4.4. Dla złącza o wymiarach $\varnothing 33,4$ mm x 3,2 mm wykonanej ze stali 304 nie pobrano próbek do udarności ze względu na zbyt małą grubość materiału.

Badania metalograficzne makroskopowe

Przeprowadzono makroskopowe badania przez obserwację nieuzbrojonym okiem zgodnie z normą PN-EN ISO 17639:2013-12, zglądów próbek trawionych: Mi18Fe wg PN-61/H-04503.

Obserwacja makroskopowa wszystkich badanych zglądów złączy nie ujawniła niedopuszczalnych niezgodności spawalniczych, co kwalifikuje złącza do poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817:2014-05 - badania dały wyniki pozytywne, złącza spełniły wymagania normy PN-EN ISO 15614-1:2017-08 p.7.4.3 w zakresie badań makroskopowych.

Badania mikrostruktury - obserwacja SEM

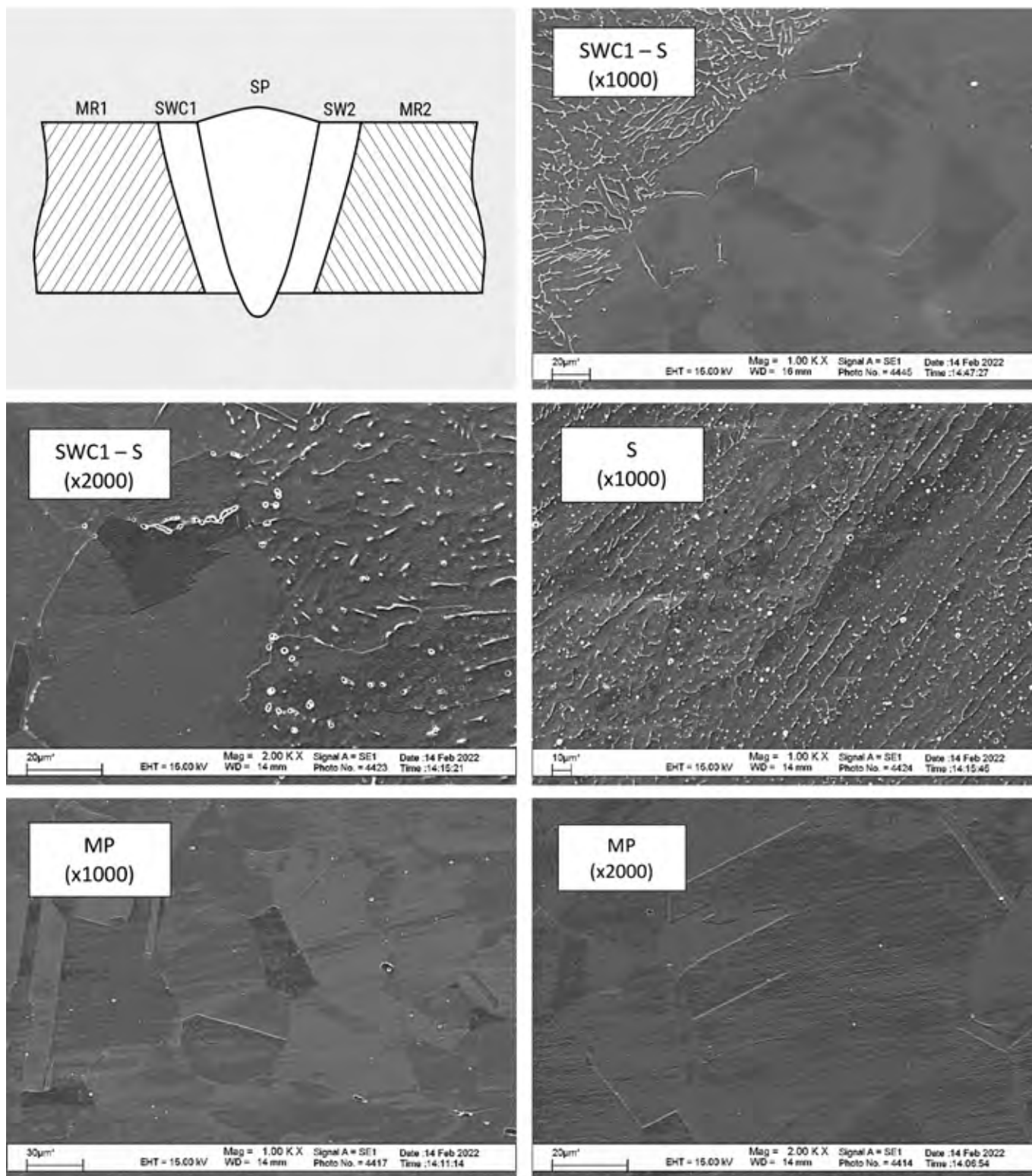
Obserwację mikroskopową przeprowadzono przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego LEO 1450-05-19. Dokonano oceny struktur metalograficznych na próbkach po procesie polerowania oraz trawienia na przekroju poprzecznym omawianych złączy rur.

Badania mikroskopowe złączy spawanych wykazały w każdym przypadku prawidłowy przetop, brak pęknięć, przyklejeń, pęcherzy, wtrąceń oraz poprawne uformowanie lica i grani spoiny.

W metalach złączy nieprzechodzących przemian alotropowych zmiany mikrostruktury ograniczają się jedynie do wielkości ziarna, rozpatrując strefę wpływu ciepła. Charakterystyczne obszary złączy spawanych wykonane spoiwem W 19 9 L (TIGWELD 308L - LF) przedstawiono w rysunku 4 oraz tabeli 3. Rysunek 4 przedstawia mikrostrukturę na granicy materiału podstawowego austenitycznego i spoiny. Granica materiał podstawowy - spoina zawiera łagodne przejście. W środkowej strefie złączy austenitycznych AISI 304 występuje mieszanina austenityczno-ferrytyczna o siatkowym rozmieszczeniu ferrytu. Materiał podstawowy charakteryzuje się drobnoziarnistą strukturą austenityczną z widocznymi bliźniakami wyżarzania. Wielkość ziarna austenitu w tych złączach określono na 8/9 wg skali wzorców ASTM.

Tabela 3. Zestawienie wyników badań mikrostruktury złączy w odniesieniu do poszczególnych stref

	Materiał podstawowy MP	Strefa Wpływu ciepła SWC	Spoina S
Opis struktury	Drobnoziarnista struktura austenityczną z widocznymi bliźniakami wyżarzania	Powiększone ziarno struktury austenitycznej. Widoczne bliźniaki	Powiększone ziarno struktury austenitycznej. Widoczne bliźniaki



Rysunek 4. Mikrostruktury złącza austenicznego na przykładzie złącza 5-304 (BW; $\varnothing 219,1$ mm x 14,2 mm, materiał TP304/TP304L, spoiwo W 19 9 L (TIGWELD 308L - LF). Przejście SWC1-S (SWC2-S), widoczna zmiana mikrostruktury austenitu z bliźniakami do spoiny austenitczno - ferrytycznej. MP 1 (MP2) – austenit z widocznymi bliźniakami wyżarzania.

PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań, zarówno badań zawartości ferrytu delta [4], jak również badań własności mechanicznych i analiz struktur metalograficznych, przeprowadzonych na reprezentatywnych próbkach, przedstawione w niniejszym opracowaniu w pełni potwierdzają poprawność wykonania połączeń spawanych ocenianych rurociągów przez Ekspertów UDT-CERT.

Literatura:

1. Ferenc K., *Spawalnictwo*, ISBN 978-83-01-19030-9, Warszawa 2016.
2. ASM Speciality Handbook, *Stainless Steels*. ASM International, 1994.
3. Łabanowski J., *Właściwości i spawalność dwufazowych stali odpornych na korozję typu duplex*. „Przegląd Spawalnictwa”, 79 (2007), 35-40.
4. Wersta R., Grześkowiak P. Klimecki A., *Wpływ ferrytu delta na właściwości stali austenitcznych*. *Biuletyn Urzędu Dozoru Technicznego INSPEKTOR* 4/2021.