

## Spawanie zmechanizowane i zautomatyzowane złączy teowych ze spoinami czołowymi zbiorników ładunkowych ze stali duplex w stocznich-chemikaliowcach budowanych w Stoczni Szczecińskiej Nowa

Mechanized and automatic welding of tee joints with butt welds of cargo tanks from duplex steel in chemical tankers which are building in Szczecin Shipyard

### STRESZCZENIE

Stocznia Szczecińska Nowa Sp. z o.o. we współpracy z Politechniką Szczecińską realizowała w latach 2004–2005 projekt, którego przedmiotem było opracowanie i wdrożenie technologii zautomatyzowanego i zmechanizowanego spawania złączy teowych ze spoinami czołowymi konstrukcji zbiorników ładunkowych ze stali duplex występujących w stocznich-chemikaliowcach budowanych w Stoczni Szczecińskiej Nowa Sp. z o.o., na etapie budowy kadłuba na pochylni. Zautomatyzowanie i zmechanizowanie spawania złączy teowych miało wpływ na zwiększenie jakości wykonania złączy i obniżenie kosztów produkcji statku. W artykule przedstawiono najważniejsze aspekty wdrożenia.

### ABSTRACT

Szczecin Shipyard New in co-operation with Technical University of Szczecin was realizing during years 2004-2005 purposeful project which main aim was developing and implementation of mechanized and automatic welding of tee joints with butt welds of cargo tanks from duplex steel in chemical tankers which are building in Szczecin Shipyard, during the assembly stage of hull building on the slipway. Mechanized and automated of tee joints welding had an influence on improvement quality of the joints and decrease building costs. This article presents the most important aspects of implementation.

### Wstęp

Spawanie złączy teowych z pełnym przetopem w warunkach montażu w stoczni okazało się zadaniem bardzo trudnym w aspekcie mechanizacji i automatyzacji. Automatyzacja i mechanizacja procesów spawania stali duplex na tym etapie (spawania na pochylni) wymagała opracowania bardzo ścisłych i wąskich tolerancji dotyczących: geometrii rowka spawalniczego, parametrów spawania, parametrów sterowania pracą automatów. Statki-chemikaliowce serii B588-III (budowane w Stoczni Szczecińskiej Nowa Sp. z o.o.) o konstrukcji zbiorników ładunkowych wykonanych ze stali austenityczno-ferrytycznych typu duplex wymagają zastosowania najbardziej nowoczesnych i wyspecjalizowanych technologii spawania. W połączeniach montażowych gotowych sekcji i bloków na pochylni oraz na placach przedpochylniowych głównym problemem wykonawczym jest występowanie wysokich naprężeń, które mogą powodować makro lub mikropęknięcia. Wymagania dotyczące wykonania połączeń spawanych (zarówno ze stali duplex jak i stali niskowęglowych i niskostopowych) wymagane przez armatora opierają się na wytycznych zawartych w publikacji nr 47 (Recommendation no 47-1996, rev. 1 August 1999) dotyczącej standardu jakości w budowie i naprawie nowo-budowanych konstrukcji okrętowych (Shipbuilding and Repair Quality Standard – part A) opracowanej przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Towarzystw Klasyfikacyjnych (IACS – International Association of Classification Societies) oraz normie zakładowej nr B588-III/T100-2 pn. „Spawanie kadłuba” i zapisach kontraktowych. Natomiast wymagania dotyczące jakości połączeń spawanych określone są przez instytucję nadzorującą budowę jednostek serii B588-III: Towarzystwo Klasyfikacyjne Det Norske Veritas (DNV) i wynikają

z przepisów DNV (DNV: Rules for classification of ships, newbuildings, material and welding. Part 2 chapter 3 – Welding, January 1996) oraz z polskiej normy PN-EN 25817: Wytyczne do określania poziomów jakości wg niezgodności spawalniczych, a zebrane są w instrukcji nr B588-III/TT083-1x3-NDT Plan for ships B588-III/3 & next. Celem przewodnim projektu było spełnienie wyżej wymienionych wymagań, równocześnie mając na uwadze konieczność zmniejszenia kosztów budowy jednostek serii B588-III wynikających głównie z niekorzystnej zmiany cen składników stopowych (głównie niklu), które wpływają w znacznym stopniu na wzrost ceny materiałów podstawowych (blachy) oraz niekorzystnej relacji europejskiego euro do amerykańskiego dolara. Na bazie opracowanych założeń i wymagań dotyczących funkcji użytkowych automatów spawalniczych zaprojektowano i wybudowano nowe automaty oraz zmodernizowano istniejące.

Ograniczona produkcja światowa tego typu statków wynikająca z barier konstrukcyjno-materiałowo-technologicznych zatrzymywała do tej pory rozszerzenie obszaru automatyzacji i mechanizacji procesów spawania, który zwykle ograniczano do etapów łatwo podatnych na automatyzację (np. spawanie sekcji płaskich i usztywnień na etapie prefabrykacji). Projekt swoim zasięgiem objął obszary dotąd zarezerwowane dla wyłącznie spawania półautomatycznego. Automatyzacja i mechanizacja spawania blach nierdzewnych typu duplex jest wysoko zaawansowaną i wyspecjalizowaną technologią. Konstrukcja statku wymaga zastosowania szeregu skomplikowanych połączeń spawalniczych blach i kształtowników o różnicowanej grubości od kilku do kilkudziesięciu milimetrów (głównie w zakresie od 8 do 32 mm) wynikających z dużych ciężarów i wymiarów, ograniczonego miejsca manipulacji oraz warunków zewnętrznych. Prace spawalnicze wykonywane są w wyjątkowo trudnych warunkach, a ich efekty, czyli jakość wykonanych spoin musi być bardzo wysoka i spełniać wymagane kryteria. Konsekwencją tych wymagań było, oprócz wykonania badań, uzyskanie certyfikatów towarzystw

kwalifikacyjnych dopuszczających do stosowania zaprojektowane połączenia.

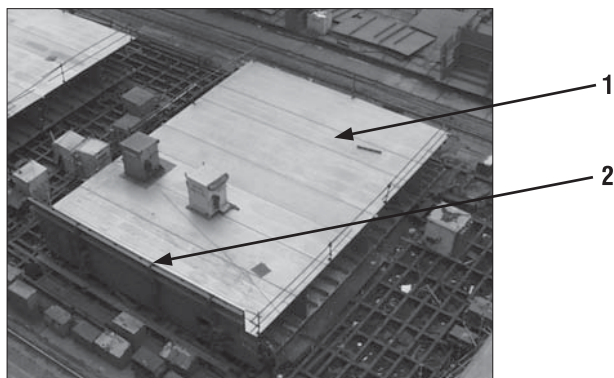
Opracowano procedury spawalnicze WPS i uzyskano akceptację Towarzystwa Klasyfikacyjnego (DNV) technologii spawania zautomatyzowanego metodą FCAW, SAW przy wykorzystaniu metody wysokowydajnej stali duplex połączeń konstrukcji zbiorników ładunkowych w warunkach Stoczni Szczecińskiej Nowa Sp. z o.o. Przeprowadzono zgodnie z obowiązującą procedurą próby dopuszczeniowe technologii spawania zmechanizowanego i automatycznego. Opracowano raporty z prób (WPQT), które podlegały zatwierdzeniu przez Towarzystwo Klasyfikacyjne DNV. Na podstawie otrzymanych akceptacji opracowano szczegółowe procedury spawalnicze WPS, które podlegały zatwierdzeniu przez DNV i armatora. Wdrożono produkcyjnie technologię spawania zmechanizowanego i zautomatyzowanego złączy teowych konstrukcji zbiorników ładunkowych statków-chemikaliowców w warunkach Stoczni Szczecińskiej Nowa Sp. z o.o. dla niżej wytypowanych węzłów konstrukcyjnych zbiorników ładunkowych kadłuba statków-chemikaliowców serii B588-III. W dalszej części pracy dokonano charakterystyki wybranych węzłów spawanych.

## Połączenie na styku grodzi wzdłużnych-burtowych (GWB) do pokładu głównego (PG)

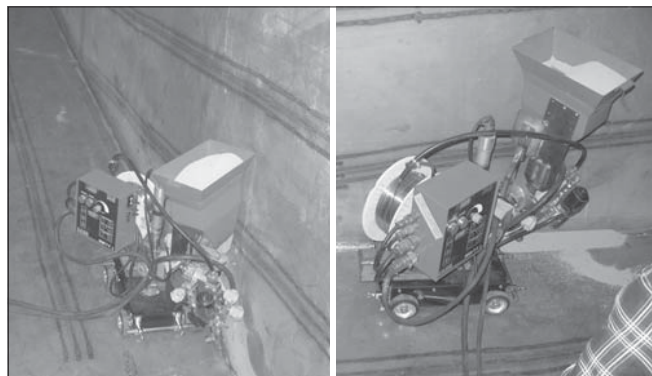
Dotychczas tego rodzaju połączenie – złącze jednorodne stali duplex ze stalą duplex wykonywane było dopiero na etapie montażu na pochylni w pozycji PD-PC. Po przeprowadzonej analizie, wykonanych próbach i badaniach uzyskano akceptacją spawania tego rodzaju połączenia już na etapie przedmontażu na placach przed pochylniowych (rys. 1, rys. 2).

Opracowano, zatwierdzono i wdrożono technologię spawania zmechanizowanego i automatycznego w pozycji podolnej (PA) złączy tego rodzaju, stosując geometrię przygotowania rowka spawalniczego tj. ukosowania blachy na „1/2 V” wg poniższych wariantów:

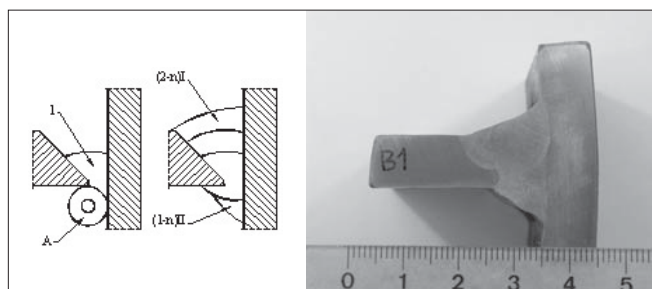
- warstwa przetopowa wykonywana półautomatycznie drutem proskowym na okrągłych podkładkach ceramicznych. Warstwy wypełniające wykonywane w sposób automatyczny metodą SAW (rys. 3).
- warstwa przetopowa wykonywana przy zastosowaniu automatu do spawania metodą wysokowydajną FCAW lub półautomatycznie drutem proskowym na okrągłych podkładkach ceramicznych. Warstwy wypełniające wykonywane przy zastosowaniu automatu do spawania metodą wysokowydajną FCAW (rys. 4). Na rysunku 5. przedstawiono wygląd lica wykonanych spoin: a) i b) w sposób automatyczny metodą SAW, c) i d) w sposób zmechanizowany metodą wysokowydajną FCAW. Tak dobrana kombinacja parametrów materiałowo-technologiczno-spawalniczych pozwoliła na uzyskanie bardzo wysokiej wydajności w porównaniu ze spawaniem półautomatycznym.



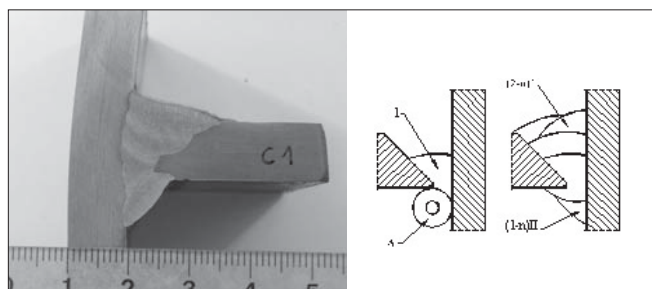
Rys. 1. Widok połączenia grodzi wzdłużnej-burtowej (GWB) do pokładu głównego (PG) przygotowanej do spawania zmechanizowanego w pozycji poziomej (PA), gdzie: 1 – gródź wzdłużna burtowa (GWB), 2 – fragment pokładu głównego (PG)



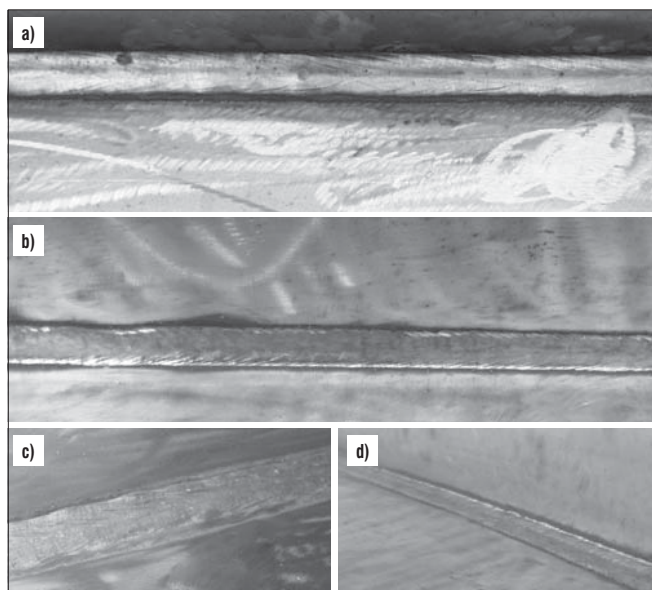
Rys. 2. Spawanie warstw wypełniających automatycznie metodą SAW



Rys. 3. Schemat spawania automatycznego metodą SAW złącza teowego w pozycji PA, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana drutem proskowym na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – warstwy wypełniające i licowa wykonywane metodą SAW z I strony, (1-n)II – spoina pachwinowa wykonywana drutem proskowym z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



Rys. 4. Schemat spawania zmechanizowanego metodą wysokowydajną FCAW złącza teowego w pozycji PA, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – warstwy wypełniające i licowa wykonywane metodą wysokowydajną FCAW (1-n)II – spoina pachwinowa wykonywana drutem proskowym z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



Rys. 5. Wygląd lic spoin: a), b) wykonanych w sposób automatyczny metodą SAW; c), d) wykonanych w sposób zmechanizowany metodą wysokowydajną FCAW

## Połączenie na styku grodzi poprzecznych-falistych (GPF) do dna wewnętrznego (DW), które jest złączem jednorodnym tj. połączeniem stali duplex ze stalą duplex

Połączenie to stanowi złącze teowe ze spoiną czołową z pełnym przetopem, które jest wykonywane na etapie montażu na pochylni w pozycji podolno-naściennej (PB-PC) – rys. 6. W ramach przeprowadzonych prób i badań opracowano, zoptymalizowano, zatwierdzono i wdrożono produkcyjnie technologię spawania zmechanizowanego i automatycznego tego rozwiązania w pozycji PB-PC przy geometrii przygotowania rowka do spawania na „K symetryczne” wg założonych poniższych wariantów:

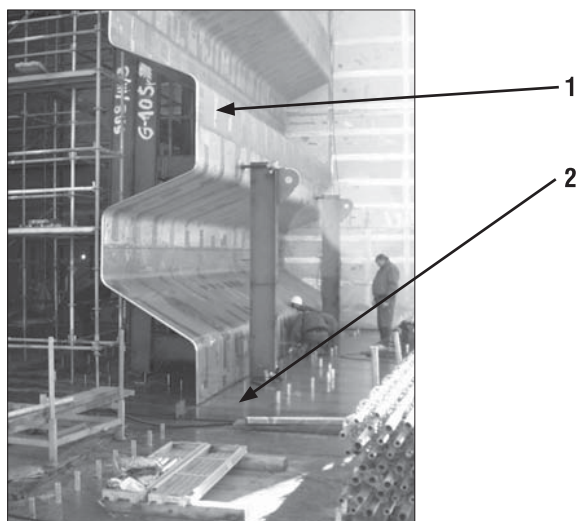
- spawanie warstwy przetopowej półautomatycznie drutem proszkowym na okrągłych podkładkach ceramicznych. Spawanie warstw wypełniających z obu stron złącza automatycznie metodą SAW (rys. 7).

W wyniku przeprowadzonych wielu prób optymalizacyjnych spawania przy różnej konfiguracji parametrów prądowo-technologiczno-materiałowych stwierdzono, że nie ma możliwości wykonywania całej spoiny dla takiego rodzaju złącza (spawanego w pozycji PB-PC) za jednym przejściem automatu, gdyż tak wykonane warstwy charakteryzowałyby się złą jakością, a wykonane badania potwierdziły zażalenie wtrąceń żużlowych. Pomimo zastosowania technologii spawania łukiem krytym, spoina musi być podzielona na poszczególne warstwy, tj. warstwy wypełniające oraz warstwa licowa, które składają się z określonej ilości ściegów, znacznie mniejszej niż w przypadku spawania półautomatycznego, ale zależnej od konkretnej geometrii rowka spawalniczego (dla większej geometrii – większego odstępów progowego większa ilość warstw). Na rysunku 8. przedstawiono wygląd prawidłowo wykonanej spoiny w pozycji PB-PC przy zastosowaniu automatu do spawania metodą SAW.

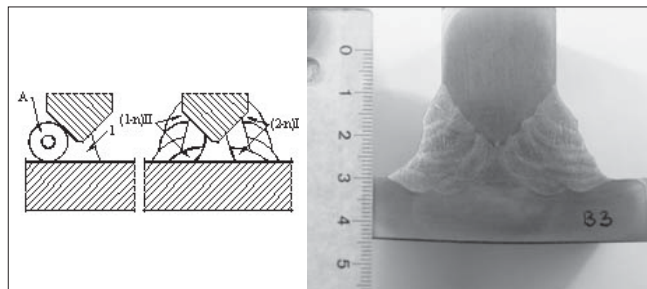
Przeprowadzone próby i badania udowodniły, że opracowana technologia spawania tego rodzaju złączy metodą wysokowydajną FCAW, przy zastosowaniu specjalnej techniki spawania pozwala na uzyskanie ilości ściegów zbliżonej jak przy spawaniu automatycznym SAW i znacznie mniejszej niż w przypadku spawania ręcznego czy półautomatycznego.

- spawanie warstwy przetopowej półautomatycznie drutem proszkowym na okrągłych podkładkach ceramicznych oraz spawanie zmechanizowane z obu stron przy wykorzystaniu metody wysokowydajnej FCAW (rys. 9).

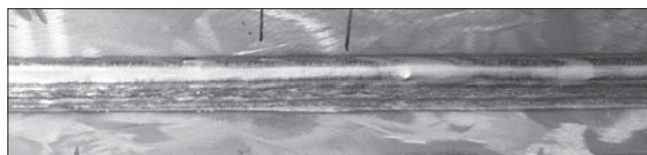
Na rysunku 10. przedstawiono wygląd lica spoiny wykonanego tą metodą.



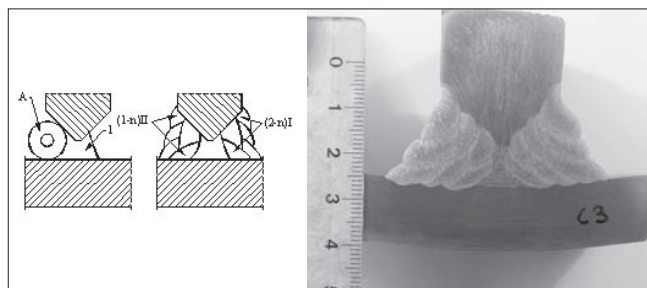
Rys. 6. Widok połączenia grodzi poprzecznej-falistej (GPF) do dna wewnętrznego (DW), gdzie: 1 – gródz poprzeczna-falista (GPF), 2 – dno wewnętrzne (DW)



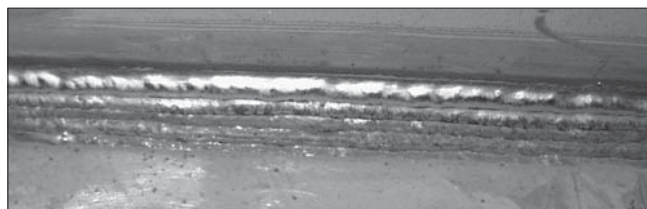
Rys. 7. Schemat złącza spawanego automatycznie metodą SAW, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana drutem proszkowym na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – ściegi warstw wypełniających i licowej wykonywane metodą SAW z I strony, (1-n)II – ściegi warstw graniowej, wypełniających i licowej wykonywane metodą SAW z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



Rys. 8. Lico spoiny wykonane w pozycji PB-PC automatycznie metodą SAW



Rys. 9. Schemat złącza spawanego w sposób zmechanizowany przy wykorzystaniu metody wysokowydajnej FCAW, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – warstwy: wypełniające i licowa wykonywane metodą wysokowydajną FCAW z I strony, (1-n)II – warstwy: wypełniające i licowa wykonywane metodą wysokowydajną FCAW z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



Rys. 10. Lico spoiny wykonane w pozycji PB-PC w sposób zmechanizowany metodą wysokowydajną FCAW



Rys. 11. Automatyczne spawanie warstw wypełniających z obu stron złącza metodą SAW

## Połączenie na styku grodzi wzdłużnych-koferdamowych (GWK) do dna wewnętrznego (DW), które jest złączem jednorodnym tj. połączeniem stali duplex ze stalą duplex

Połączenie to stanowi złącze teowe ze spoiną czołową z pełnym przetopem, które jest wykonywane na etapie montażu na pochylni w pozycji podolno-naściennej (PB-PC) – rys. 12.

W ramach przeprowadzonych prób i badań opracowano, zatwierdzono i wdrożono produkcyjnie technologię spawania zmechanizowanego i automatycznego tego rozwiązania w pozycji PB-PC przy geometrii przygotowania rowka do spawania na „ $\frac{1}{2}V$ ” wg założonych poniższych wariantów:

- spawanie warstwy przetopowej półautomatycznie drutem proszkowym na okrągłych podkładkach ceramicznych. Spawanie ściegów warstwy wypełniającej i licowej od strony ukosowanej złącza automatycznie metodą SAW (rys. 13).

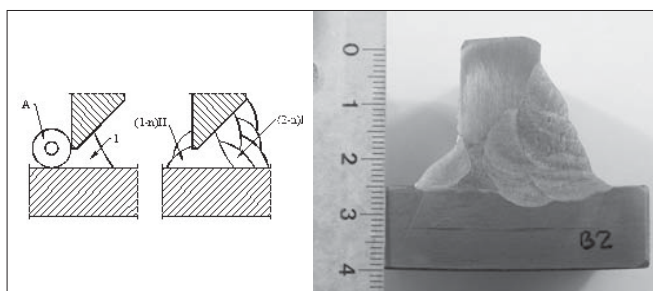
Na rysunku 14. przedstawiono wygląd prawidłowo wykonanej spoiny w pozycji PB-PC przy zastosowaniu automatu do spawania metodą SAW.

- spawanie warstwy przetopowej półautomatycznie drutem proszkowym na okrągłych podkładkach ceramicznych oraz spawanie zmechanizowane przy wykorzystaniu metody wysokowydajnej FCAW (rys. 15).

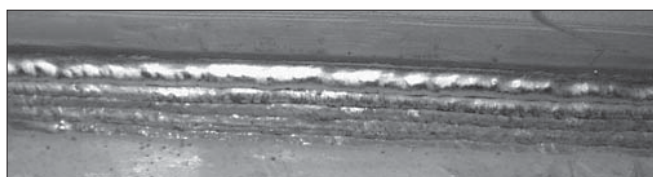
Na rysunku 16. przedstawiono wygląd lica spoiny wykonanego tą metodą.



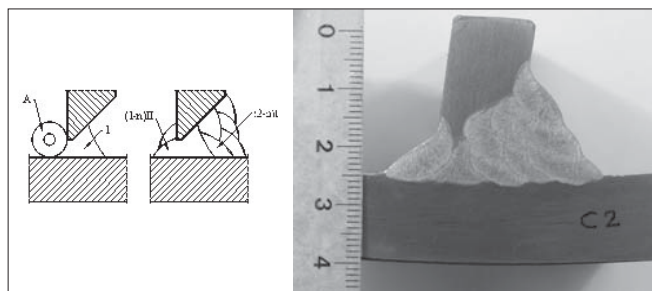
Rys. 12. Połączenie grodzi wzdłużnej-koferdamowej (GWK) do dna wewnętrznego (DW), gdzie: 1 – gródz wzdłużna-koferdamowa (GWK), 2 – dno wewnętrzne (DW)



Rys. 13. Schemat złącza spawanego automatycznie metodą SAW, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana drutem proszkowym na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – ściegi warstwy wypełniającej i licowej wykonywane metodą SAW z I strony, (1-n)II – spoina pachwinowa wykonywana drutem proszkowym z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



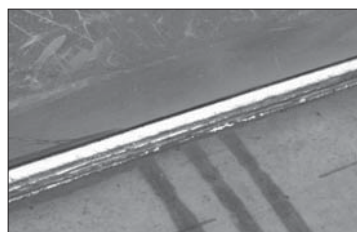
Rys. 14. Lico spoiny wykonane w pozycji PB-PC automatycznie metodą SAW



Rys. 15. Schemat złącza spawanego w sposób zmechanizowany przy wykorzystaniu metody wysokowydajnej FCAW, gdzie: 1 – warstwa przetopowa wykonywana na okrągłej podkładce ceramicznej, (2-n)I – warstwy wypełniające i licowa wykonywane metodą wysokowydajną FCAW z I strony, (1-n)II – spoina pachwinowa wykonywana z II strony, A – okrągła podkładka ceramiczna



Rys. 16. Spawanie warstw wypełniających z obu stron złącza w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic



Rys. 17. Fragment lica spoiny wykonanej w pozycji PB-PC w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic

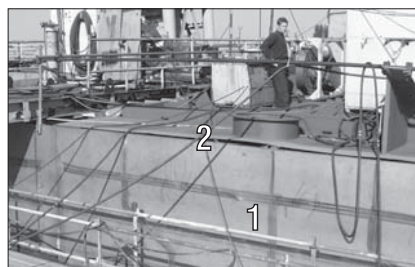
## Połączenie na styku grodzi wzdłużnych-koferdamowych (GWK) z pokładem głównym (PG)

Złącza tego rodzaju wykonywane są na etapie montażu na pochylni w pozycji spawania naścienne-pułapowej (PD-PC) – rys. 18.

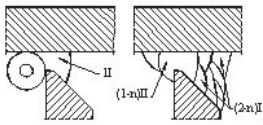
Geometria rowka spawalniczego, ze względu na grubość blachy ukosowanej do 15 mm zakłada ukosowanie na „ $\frac{1}{2}V$ ”. Opracowano technologię spawania zmechanizowanego tego rodzaju połączeń w następującym zakresie:

- wykonywanie warstwy przetopowej na okrągłych podkładkach ceramicznych. Wyniki przeprowadzonych badań modelowych i testowych w czasie produkcji wykazały konieczność wykonywania tej warstwy w sposób półautomatyczny.

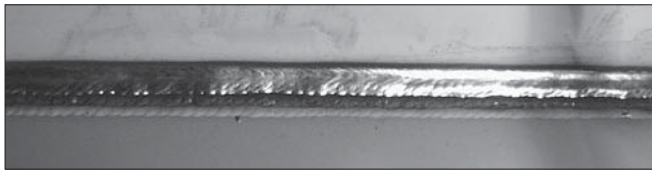
- wykonywanie warstw wypełniających i warstwy licowej z pierwszej strony złącza w sposób zmechanizowany drutem proszkowym przy zastosowaniu automatu typu Bugo-matic. Opracowano oryginalny sposób prowadzenia końcówki palnika, polegający na wykonywaniu ruchu zakosowego o zmiennej trajektorii. Taki sposób umożliwił wykonanie jakościowe połączeń. Na rys. 19 przedstawiono schematycznie kolejność układania poszczególnych ściegów spoiny, a na rys. 20 wygląd wykonanego lica przy zastosowaniu automatu Bugo-matic.



Rys. 18. Widok grodzi wzdłużnej koferdamowej (GWK) wraz z fragmentem pokładu głównego (PG), gdzie: 1 – gródz koferdamowa wzdłużna, 2 – pokład główny z widocznymi zamontowanymi usztywnieniami I rzędu



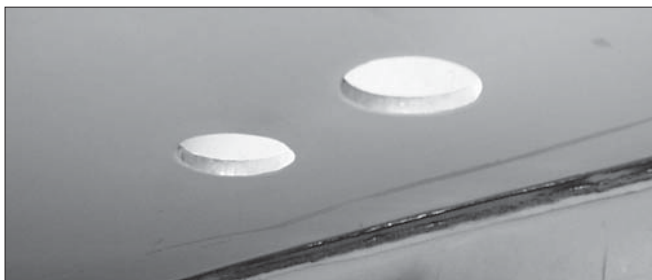
**Rys. 19.** Schemat spawania zmechanizowanego złącza teowego w pozycji PD-PC przy zastosowaniu automatu typu Bugo-matic, gdzie: (1-n)I – warstwy: przetopowa, wypełniająca i licowa, (1-n)II – spoina pachwinowa (druga strona złącza), A – okrągła podkładka ceramiczna



**Rys. 20.** Fragment lica spoiny wykonanej w pozycji PD-PC w sposób zmechanizowany automatem typu Bugo-matic (fragment połączenia GWK z PG)



**Rys. 21.** Spawanie warstw wypełniających w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic



**Rys. 22.** Fragment lica spoiny wykonanego w pozycji PD-PC w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic

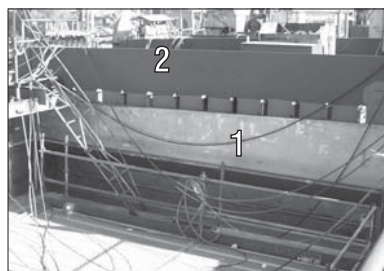
## Połączenia na styku grodzi poprzecznych-falisty (GPF) z pokładem głównym (PG)

Ze względu na grubość blach połączenia te (rys. 24) przygotowane są z geometrią rowka „ $\frac{1}{2}$  V”.

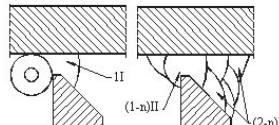
Na podstawie przeprowadzonych prób i badań opracowano optymalną technologię spawania tego rodzaju złącza, która polega na:

- wykonywaniu warstwy przetopowej na okrągłych podkładkach ceramicznych półautomatycznie metodą FCAW.
- wykonywaniu warstw wypełniających i warstw licowych z obu stron złącza w sposób zmechanizowany drutem proszkowym przy zastosowaniu automatu typu Bugo-matic.

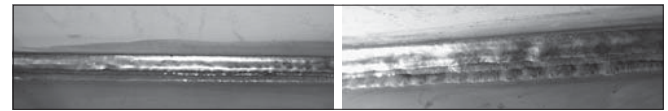
Na rysunku 24. przedstawiono schematycznie kolejność układania poszczególnych ściegów spoiny, a na rysunku 25. wygląd wykonanego lica przy zastosowaniu automatu Bugo-matic.



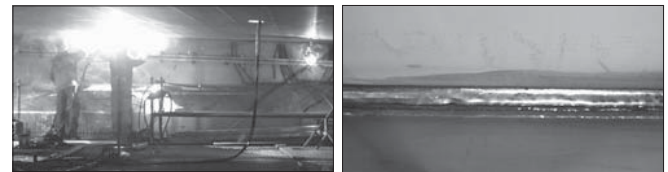
**Rys. 23.** Widok grodzi poprzecznej falistej (GPF) wraz z fragmentem pokładu (PG), gdzie: 1 – gródź falista poprzeczna, 2 – pokład główny z zamontowanymi usztywnieniami I i II rzędu.



**Rys. 24.** Schemat spawania zmechanizowanego złącza teowego w pozycji PD-PC przy zastosowaniu automatu typu Bugo-matic, gdzie: (1-n)I – warstwy: przetopowa, wypełniająca i licowa, (1-n)II – spoina pachwinowa (druga strona złącza), A – okrągła podkładka ceramiczna



**Rys. 25.** Wygląd lica spawanego w sposób zmechanizowany w pozycji PD-PC (fragment połączenia GPF z PG)



**Rys. 26.** Spawanie warstw wypełniających w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic

**Rys. 27.** Fragment lica spoiny wykonanego w pozycji PD-PC w sposób zmechanizowany automatem Bugo-matic

## Podsumowanie

Głównym celem prac rozwojowych było wdrożenie zautomatyzowanej i zmechanizowanej technologii spawania dla uzyskania wysokiej jakości i powtarzalności wyników.

Do głównych efektów wdrożenia technologii zautomatyzowanego i zmechanizowanego spawania zaliczyć można:

- podwyższenie jakości wykonywanych połączeń spawanych,
- zmniejszenie kosztów całkowitych budowy statków,
- rozszerzenie zamówienia o budowę kolejnych dwóch jednostek dla obecnego armatora, polepszenie warunków pracy, humanizacja miejsc pracy oraz wysoka specjalizacja pracowników.

Dzięki automatyzacji i mechanizacji procesów spawania Stocznia Szczecińska Nowa Sp. z o.o. staje się bardziej atrakcyjna dla armatorów, staje się przedsiębiorstwem o stabilnej pozycji na rynku dając bezpieczeństwo socjalne zatrudnionym pracownikom i ich rodzinom, przeciwdziałając bezrobociu.

Poprzez zmniejszenie zakresu prac w warunkach szkodliwych prace przy budowie statku stają się mniejszym zagrożeniem dla zdrowia zatrudnionych pracowników.

## Literatura

- [1] Sprawozdanie z realizacji projektu celowego nr 6 T08 2004 C/6366 dostępne w Biurze Zarządzania Projektami Badawczo-Rozwojowymi Stoczni Szczecińskiej Nowa Sp. z o.o.
- [2] Recommendation no 47-1996, rev. 1 August 1999, Shipbuilding and Repair Quality Standard – part A, opracowane przez IACS – International Association of Classification Societies.
- [3] Norma zakładowa Stoczni Szczecińskiej Nowa nr B588-III/T100-2 pn. „Spawanie kadłuba”.
- [4] Przepisy DNV: Rules for classification of ships, newbuildings, material and welding. Part 2 chapter 3 – Welding, January 1996.
- [5] PN-EN 25817: Wytyczne do określania poziomów jakości wg niezgodności spawalniczych,
- [6] Instrukcja nr B588-III/TT083-1x3 pn: „NDT Plan for ships B588-III/3 & next”.
- [7] Nowacki J.: Problemy spawania stali duplex w budowie statków do transportu chemikaliów, „Przegląd Spawalnictwa”, 9–10 (2003).
- [8] Nowacki J., Dąbrowski A., Łukojć A.: Gazy osłonowe w spawaniu orbitalnym TIG rur ze stali Duplex UNS S1803, „Przegląd Spawalnictwa”, 1 (2003).
- [9] Nowacki J., Rybicki P.: Wpływ gazu osłonowego na geometrię napoin wykonywanych metodą FCAW na stali duplex UNS S31803, „Przegląd Spawalnictwa”, 2-3(2005).