

Gdańsk, dnia 13.06. 2016 r.

dr hab. inż. Marek Szkodo, prof. nadzw. PG.
Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Samsona

„Wpływ warunków spawania na właściwości złączy różnoimiennych stali odpornych na korozję”

pod kierunkiem dr hab. inż. Jerzego Łabanowskiego,
wykonanej w Katedrze Inżynierii Materiałowej i Spajania na Wydziale Mechanicznym
Politechniki Gdańskiej.

Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania oraz coraz większe wykorzystanie stali ferrytyczno-austenitycznych typu dupleks. Z tego względu coraz częściej występuje konieczność łączenia stali dupleks z innymi gatunkami stali odpornych na korozję. Typowymi konstrukcjami, gdzie występuje potrzeba spawania stali dupleks z innymi stalami są statki do przewozu chemikaliów. O ile w przypadku technologii spawania złączy jednorodnych stali dupleks poczyniono w ostatnich latach duże postępy, to już spawanie tych stali z innymi stalami nierdzewnymi o strukturze austenitycznej sprawia nadal wiele problemów. Powoduje to, że właściwości otrzymanych złączy niekiedy nie spełniają przepisów towarzystw klasyfikacyjnych. Nie ma również rozeznania co do możliwości dopuszczenia wysokowydajnych technik spawalniczych powszechnie stosowanych w przemyśle stoczniowym w budowie dużych sekcji, zbiorników ładunkowych i rurociągów. Zatem temat pracy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Samsona wpisuje się dobrze w główny nurt badań nad możliwością spawania stali typu dupleks z innymi stalami odpornymi na korozję o strukturze austenitycznej. Podjęte przez niego badania zmierzają do opracowania technologii wydajnego spawania blach ze stali austenitycznych ze stalami dupleks tak, by uzyskane złącza spełniały wymagania stawiane przez okrętowe towarzystwa klasyfikacyjne. Uzyskane przez niego wyniki rozszerzają zakres wiedzy na temat przemian fazowych i

procesów wydzieleniowych w spoinie i SWC złączy różnoimiennych oraz próbują wyjaśnić wpływ tych przemian na właściwości mechaniczne i odporność korozyjną złączy.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy 154 stron i składa się z dwóch części. Na początku rozprawy zamieszczono spis symboli i skrótów, po których znajduje się wstęp. Rozprawa zawiera w swojej początkowej części omówienie obecnego stanu wiedzy dotyczącego problemów spawania stali austenitycznych i stali typu duplex oraz przegląd literatury światowej dotyczący właściwości złączy różnoimiennych stali austenitycznych i stali duplex. W dalszej części rozprawy zamieszczony jest rozdział „Teza, i cele pracy”, w którym Autor zamieszcza dwa cele pracy – użytkowy i poznawczy. Celem użytkowym było określenie przydatności spawania automatycznego łukiem krytym do wysokowydajnego spawania blach o grubości 15 mm ze stali o strukturach austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych a doświadczenia nabyte podczas realizacji pracy miały pozwolić na opracowanie wytycznych technologii spawania tych blach. Natomiast celem naukowym rozprawy było ustalenie zależności pomiędzy budową strukturalną, a właściwościami mechanicznymi i odpornością korozyjną złączy. W rozdziale tym postawiono tezę: **„Spawanie automatyczne łukiem krytym stali różnoimiennych, austenitycznej oraz ferrytyczno-austenitycznej typu duplex może być zastosowane do wydajnego łączenia blach grubych stosowanych w budowie konstrukcji morskich, a właściwości złączy spełnią wymagania okrętowych towarzystw klasyfikacyjnych”**. Tezę pracy uważam za poprawną pod względem naukowym. Program badań i zastosowane metody badań są całkowicie adekwatne do postawionych zadań. W dalszej części rozprawy Autor opisuje wyniki badań złączy próbnych doczołowych z blach o grubości 15 mm spawanych wysokowydajną metodą SAW. Złącza zostały wykonane z różną ilością wprowadzonego ciepła od 1,11 do 3,48 kJ/mm oraz z zastosowaniem różnych kształtów krawędzi blach przygotowanych przed spawaniem. Opracowana została technologia spawania złączy różnoimiennych, a następnie wykonano szereg badań pozwalających na ocenę ich właściwości mechanicznych i odporności korozyjnej. Podsumowanie wyników badań zawiera rozdział zatytułowany „Dyskusja wyników badań”, w którym przedstawiono analizę zmian właściwości mechanicznych złączy spawanych jako funkcję mikrostruktury i budowy fazowej poszczególnych obszarów złączy. Taka analiza, nadaje tematowi rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Krzysztofa Samsona walor aktualności szczególnie dzięki uwzględnieniu w ocenie właściwości złączy wpływu szybkości chłodzenia zależnej od

liniowej energii spawania i sposobu ukosowania krawędzi łączonych blach na budowę fazową i skład chemiczny różnych obszarów złączy. W podsumowaniu wyników badań stwierdzono, że spawanie automatyczne łukiem krytym stali różnoimiennych, austenitycznej 316L oraz ferrytyczno-austenitycznej typu duplex 2205 może być zastosowane do wydajnego łączenia blach grubych stosowanych w budowie konstrukcji morskich z zastrzeżeniem przestrzegania wskazanych ograniczeń a właściwości mechaniczne tak uzyskanych złączy spełniają wymagania okrętowych towarzystw klasyfikacyjnych. Rozprawa podsumowana jest ośmioma wnioskami i kończy się spisem literatury oraz wykazem norm. Autor powołuje się na 105 pozycji literaturowych. Doktorant cytuje pięć prac, których jest współautorem i wszystkie one dotyczą tematu rozprawy. Spośród 105 pozycji literaturowych 21 to artykuły i książki nie starsze niż pięć lat. Zdecydowana większość pozycji literaturowych to pozycje anglojęzyczne. Na końcu pracy znajdują się cztery instrukcje spawalnicze.

Uwagi krytyczne

Do krytycznych uwag merytorycznych zaliczam:

- Na stronie 32 Autor pisze, że niekorzystnym procesom wydzieleniowym kruchych faz obniżających odporność na korozję przeciwdziała się poprzez zwiększenie zawartości Ni i azotu co przedstawia rys. 3.2. Jednak na tym rysunku brak jest informacji o wpływie niklu na procesy wydzieleniowe.
- Na stronie 45 Autor pisze, że „Spawanie stali ferrytyczno-austenitycznych ze stalami austenitycznymi zwłaszcza z użyciem wysokowydajnych technologii nie jest opisane w literaturze światowej”. Nie mogę zgodzić się z takim stwierdzeniem bowiem tylko w bazie Science Direct znalazłem kilkaset pozycji literaturowych na ten temat.
- W tezie pracy słowa „wydajne łączenie blach grubych” nie są jasne. Co to znaczy wydajne łączenie i blacha gruba. W pracy badano tylko złącza blach o grubości 15 mm a energia liniowa zawierała się w przedziale od 1,11 kJ/mm do 3,48 kJ/mm. Nigdzie w pracy nie wyjaśniono od jakiej energii liniowej można uznać spawanie za wydajne a od jakiej grubości blachy można uznać ją za grubą.
- Na stronie 52 podano, że według analizy kontrolnej zawartość węgla w stali X2CrNiMo17-12-2 użytej do wykonania złączy, wynosiła 0,041% a zawartość niklu 9,90. Nie jest to wobec tego stal X2CrNiMo17-12-2 bowiem według PN zawartość węgla w tej stali nie powinna przekraczać 0,030% a niklu powinna wynosić co najmniej 10,0%.

- Na stronie 55 napisano, że „W złączu nr 1 spawanym jednostronnie ilość wprowadzonego ciepła wynosiła średnio 1,03 kJ/mm na jeden ścieg”. Nie jest to możliwe bowiem jak podaje Tabela 7.5 ściegi w tym złączu wykonywano z energiami liniowymi w przedziale od 1,26 kJ/mm do 1,86 kJ/mm.
- Na str. 66 na rys. 8.5 przedstawiono obraz makroskopowy złącza nr 3, na którym zaznaczono obszary spoiny, w których występuje stal 316L, stal duplex 2205 oraz materiał spoiny. Obszary te posłużyły do wyznaczenia stopnia wymieszania łączonych materiałów ze spoiwem. Brak jest w pracy wyjaśnienia w jaki sposób wyznaczano te obszary.
- Na str. 73 napisano, że struktury spoin złącza nr 1 i złącza nr 4 pokazano na rys. 7.13 i 7.14 jednak w pracy nigdzie takich rysunków nie ma.
- Na tej samej stronie podano, że po stronie stali austenitycznej szerokość SWC wykazuje stałą szerokość w zakresie 150-250 μm
- Na str. 77 Autor napisał, że zawartość ferrytu w SWC mieściła się w granicach 57-73% a przepisy DNV zalecają aby ta wartość mieściła się w granicach 25-70% i wobec tego złącza spełniają ten warunek co nie jest prawdą.
- Podpisy pod rys. 8.22 i 8.28 „Dwufazowy obszar ferrytu i austenitu z wydzieleniami węglików” są błędne bowiem przedstawiają trzy fazy. Podobnie podpis pod rys. 8.31 nie może przedstawiać procesu zdrowienia tylko efekt procesu zdrowienia. Ten sam błąd występuje w opisie tabel 8.4, 8.5, 8.6 i 8.7 bowiem tabele te nie przedstawiają analizy składu chemicznego tylko wyniki tej analizy.
- W tabelach 8.22 i 8.23 przedstawiono wartości ubytku masy złączy po 24 i 72 godz. ekspozycji w roztworze korozyjnym. Ponieważ początkowa masa poszczególnych złączy różniła się między sobą więc wydaje się bardziej właściwe przedstawienie w tych tabelach nie bezwzględnych wartości ubytku masy ale względnych procentowych ubytków masy tak aby można te wyniki porównywać względem siebie.
- Na str. 141 we wniosku nr 4 Autor pisze, że w pracy wykazano iż udarność spoin typu duplex zależy m.in. od wielkości ziarna pomimo, że w pracy nie analizował tego wpływu.

Pod względem edytorskim praca jest wykonana dobrze, napisana jest prostym i jasnym językiem. Jednak i w tym obszarze Autor nie ustrzegł się wielu błędów. Najważniejsze z nich to:

- Nieczytelne napisy na rys. 2.1 na stronie 12

- Brak opisu osi na rys. 2.2
 - Mylące opisy osi na rys. 2.4, 2.5 np. zamiast 1,5%Si lepiej napisać 1,5 x %Si
 - Nieczytelne opisy osi i poszczególnych linii wykresu na rys. 2.7
 - Na rys. 2.8 na osi odciętych nie wiadomo czy chodzi o % masy czy % atomowy
 - Różne formatowanie nagłówków tabel a jednostki w tabelach są raz w nawiasach okrągłych a raz w nawiasach kwadratowych.
 - Na stronie 27 Autor pisze, że obróbka plastyczna może podnieść granicę plastyczności stali duplex do 1000 MPa a chodzi o wytrzymałość na rozciąganie a nie Re.
 - Na rys 2.12 brak jednostek na osi rzędnych, a na rys 2.13 brak opisu osi.
 - Rys. 4.1 przedstawia nie złącze ale schemat złącza.
 - Na str. 49 jest napisane „ilość czynników decydujących” a powinno być liczba czynników. Podobnie na str. 61 napisano „ilość punktów” a powinno być liczbę punktów.
 - Na str. 53 zdanie „W złączach typu Y zastosowano jako ściegi przetopowe metodę spawania półautomatycznie drutem proszkowym” jest niepoprawne.
 - Na rysunkach 8.36 i 8.27 przedstawiono więcej niż jeden obraz i brak jest do nich odnośników a), b) a także brak opisu tych obrazów pod rysunkiem,
 - Brak skali na rys. 8.75
 - Pozycje literaturowe [8], [17] i [35] są inaczej sformatowane niż pozostałe pozycje.
- Inne zauważone drobne nieścisłości stylistyczne nie były warte umieszczenia w recenzji, pozwoliłem sobie zwrócić na nie uwagę bezpośrednio Autorowi.

Podsumowanie

W ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Krzysztof Samson w pełni zrealizował zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy. Biorąc pod uwagę aktualność tematyki pracy w świetle prowadzonych na świecie badań, potrzeby praktycznych rozwiązań inżynierskich, klarowne sformułowanie tezy i celu pracy oraz ich osiągnięcie na drodze dobrze zaplanowanych i przeprowadzonych badań, a w końcu dyskusji otrzymanych wyników, oceniam przedstawioną rozprawę doktorską pozytywnie i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Krzysztofa Samsona do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane odpowiednimi ustawami.

Gdańsk, 13 czerwca 2016

