



dr hab. inż. Jacek Górka – Prof. Pol. Śl.
Katedra Spawalnictwa
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice



Gliwice, 14 listopada 2017

RECENZJA

pracy doktorskiej

Pana mgra inż. Jacka Tomkowa

pod tytułem

„Wpływ warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości”

wykonanej pod opieką promotora

Pana dr hab. inż. Jerzego Łabanowskiego

i promotora pomocniczego

Pana dr inż. Dariusza Fydrycha,

opracowana na zlecenie Rady Wydziału Mechanicznego

Politechniki Gdańskiej z dnia 16.10.2017 roku

Autor w niniejszym opracowaniu podejmuje się zadania polegającego na określeniu wpływu warunków spawania pod wodą na skłonność do pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości i proponuje zastosowanie ściegu odpuszczającego jako zabiegu pozwalającego na poprawę własności złączy spawanych wykonanych metodą ręcznego spawania łukowego pod wodą. Analizując treść i zakres pracy należy stwierdzić, że wpisuje się ona w pełni w dyscyplinę naukową: **Inżynieria Materiałowa**, choć również można się tutaj doszukiwać aspektów z obszaru: **Budowa i Eksploatacja Maszyn**.

Współczesny, dynamicznie rozwijający się przemysł poszukuje nowych materiałów konstrukcyjnych, które spełniałyby wyznaczone kryteria odnośnie wytrzymałości, masy, estetyki, ceny. Koncerny stalownicze, aby sprostać wymaganiom postawionym przez rynek, musiały się wykazać w ostatnich dziesięcioleciach znaczną aktywnością. Zastosowanie nowoczesnych technologii metalurgicznych i przetwórstwa hutniczego, jak też nowe spojrzenie na znaczenie i rolę pierwiastków stopowych stosowanych w stalach, pozwoliło na wytworzenie różnych grup stali o szerokim zakresie własności mechanicznych i plastycznych.

Opracowanie nowych gatunków stali, zwłaszcza niskostopowych o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości (HSLA – High Strength Low Alloy) o strukturze ferrytycznej, ferrytyczno-perlitycznej, ferrytyczno-bainitycznej, bainitycznej lub martenzytu odpuszczonego pozwoliło na znaczną redukcję masy elementów i konstrukcji z nich wytwarzanych. Redukcja grubości blach wytwarzanych w procesach nowoczesnego walcowania na potrzeby przemysłu motoryzacyjnego, okrętowego, naftowego, z jednoczesnym zachowaniem wszystkich dotychczasowych parametrów użytkowych pozwala na osiągnięcie znacznych oszczędności, wynikających z mniejszych nakładów na przetwarzanie materiału i mniejszych kosztów transportu. Materiały alternatywne w odniesieniu do nowoczesnych gatunków stali mają wciąż wiele ograniczeń związanych z wysokim kosztem wytwarzania, ograniczoną odpornością na podwyższoną temperaturę i trudnymi w realizacji procesami łączenia. Jedno z pierwszych zastosowań stali podwyższonej i wysokiej wytrzymałości to przemysł stoczniowy. W celu zwiększenia wydajności transportu znacznie zwiększono pojemność nowoczesnych statków transportowych, które mogą teraz pomieścić ponad 6000 kontenerów. Blachy o grubości 60 mm ze stali o granicy plastyczności 390 MPa znajdują zastosowanie do budowy odpowiedzialnych części kadłubów, takich jak mocnica burtowa czy też zrębica. Stale o granicy plastyczności do 390 MPa sprawdziły się także w budowie tankowców. Zastosowanie takich materiałów pozwoliło zmniejszyć masę budowanych statków, jak też pozwoliło na redukcję kosztów i oszczędność energii. Ciągłe poszukiwanie nowych zastosowań dla stali podwyższonej i wysokiej wytrzymałości w tym obszarze podyktowane jest rosnącym znaczeniem bezpieczeństwa w transporcie morskim. W ostatnich latach eksploatację podmorskich złóż ropy naftowej i gazu przeniesiono w północne rejony Morza Północnego i Oceanu Arktycznego. Konstrukcje stalowe platform wiertniczych narażone na działanie ekstremalnie niskich temperatur muszą wykazywać się granicą plastyczności nie mniejszą niż 500 MPa. Konstrukcje morskie narażone są na oddziaływanie agresywnego środowiska wody morskiej o dużym zasoleniu i dużej zawartości tlenu oraz uszkodzenia wynikające z dużych gabarytów konstrukcji, obciążeń mechanicznych jak i kolizji z jednostkami pływającymi. Naprawy uszkodzonych elementów muszą odbywać się często pod wodą, co znacznie utrudnia zapewnienie odpowiedniej jakości połączeń spawanych. Głównym problemem pojawiającym się przy spawaniu pod wodą stali konstrukcyjnych, zwłaszcza o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości jest ich skłonność do pękania zimnego. Mając na uwadze doniesienia literaturowe oraz obecny stan wiedzy na ten temat (ostatnie prace doktorskie realizowane w tym obszarze naukowym w Polsce były wykonywane w latach 80-tych) celowym wydaje się podjęcie przez Doktoranta badań dotyczących oceny

wpływu warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości i zaproponowanie działań ograniczenia tego szkodliwego zjawiska.

Autor rozprawy formułuje tezę: **„Złącza stali o podwyższonej wytrzymałości spawane pod wodą metodą moką elektrodami otulonymi wykazują skłonność do pęknięcia zimnego, a skuteczną metodą ograniczenia tego zjawiska jest zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego”** - co ma pozwolić na uzyskanie złączy spawanych spełniających kryteria wymagane w przypadku naprawy konstrukcji morskich.

Głównym celem badawczym jaki postawił sobie Autor było: **zbadać wpływ warunków spawania mokrego pod wodą stali o podwyższonej wytrzymałości na podatność do pęknięć zimnych złączy doczołowych i zakładkowych**. Autor w rozprawie starał się udowodnić, że technika ściegu odpuszczającego jest w stanie poprawić spawalność stali o podwyższonej wytrzymałości w warunkach spawania podwodnego.

Aby zrealizować cele badawcze Doktorant, przygotował szczegółowy plan badań przedstawiony na stronie 63 rozprawy. W celu weryfikacji tezy pracy Autor:

- określił warunki spawania,
- przeprowadził badania materiału rodzimego,
- przeprowadził pomiar ilości wodoru dyfundującego w stopiwie,
- przeprowadził badania prób pęknięcia zimnego (próba CTS i Tekken),
- określił wpływ techniki ściegu odpuszczającego na własności złączy oraz ich skłonność do pęknięć zimnych.

Uważam, że Doktorant prawidłowo zaplanował i wykorzystał odpowiednie metody badawcze, które umożliwiły mu osiągnięcie celów pracy, a przede wszystkim zweryfikowanie przyjętej tezy.

Opiniowana praca doktorska Pana mgr. inż. Jacka Tomkowa pt. **„Wpływ warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości”** o klasycznym układzie obejmuje w pierwszej części przegląd piśmiennictwa, w drugiej badania własne. Praca jest złożona ze 150 stron. Opiniowana praca doktorska Pana mgr. inż. Jacka Tomkowa składa się z 13 rozdziałów zawierających znaczną liczbę rysunków i tablic oraz literatury obejmującej 182 pozycje, w 8 z nich Doktorat jest współautorem (1 publikacja z listy JCR).

Klasyczny układ pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Praca rozpoczyna się streszczeniem, w którym Autor przedstawia zakres badawczy swojej pracy i oczekiwane rezultaty. W ramach przeglądu literaturowego opisano zagadnienia związane z metodami

spawania pod wodą (spawanie suche, mokre oraz za pomocą lokalnej komory suchej). Opisano stale o podwyższonej wytrzymałości, w szczególności stale C-Mn, stale C-Mn mikrostopowe oraz stale walcowane termomechanicznie. W rozdziale 4 Autor zwrócił uwagę na spawalność stali o podwyższonej wytrzymałości, opisał zjawisko pęknięcia zimnego oraz metody oceny spawalności stali konstrukcyjnych. W dalszej części przeglądu literatury Doktorant opisuje spawalność stali w środowisku wodnym. Dokonany przegląd literaturowy ukierunkowuje czytelnika na zagadnienia jakie będzie się starał Doktorat rozwiązać w części badawczej pracy. Ta część rozprawy nie budzi zastrzeżeń, jest napisana poprawnie pod względem językowym i merytorycznym. W tej części rozprawy można doparzyć się drobnych błędów i nieścisłości do których można zaliczyć:

- Autor używa w pracy akronimu PW do określenia stali o stali podwyższonej wytrzymałości – w literaturze częściej spotyka się oznaczenie tych stali jako SPW,
- str. 22, wiersz 5: błąd stylistyczny przy opisie roli pary wodnej w zawartości wodoru w stopiwie,
- niska jakość rys. 2.9., str. 23,
- wzór (2), str. 30, opisuje zależność Halla-Petcha,
- co Autor rozumie pod pojęciem: „lepsza powtarzalność międzylaboratoryjna”, str. 43, wiersz 4 od dołu,
- na str. 46 Autor jako metodę ograniczenia skłonności do pęknięć zimnych proponuje zastosowanie elektrod o stopiwie austenitycznym (czy to zalecenie jest słuszne w przypadku spawania stali niskostopowych o podwyższonej wytrzymałości).

Kolejne rozdziały zawierają założenia pracy (cele, tezę oraz zakres pracy), metodykę badawczą oraz wyniki badań własnych wraz z podsumowaniem i wnioskami i tą część pracy uważam również za poprawną merytorycznie. W rozdziale 6 Doktorant użył sformułowania „różna ostrość cieplna” – jak Autor to rozumie? W rozdziale 7 (Metodyka badań) autor opisuje materiał badawczy oraz wykonanie złączy próbnych i ich badania. Jako materiał badawczy wytypowano trzy gatunki stali drobnoziarnistych o podwyższonej wytrzymałości: stal S355, S460ML oraz stal S460N, ten wybór uważam za słuszny i interesujący. Do prób spawania została wytypowana elektroda rutilowa Omnia (E 38 0 R 11) – jak Doktorant wytłumaczy ten wybór? Próby spawania przeprowadzono w środowisku wody słodkiej na głębokości około 150 mm. Jak Autor uważa, jaki wpływ na wyniki badań miałyby zastosowanie do badań wody słonej oraz zwiększenie głębokości spawania? W podrozdziale 7.5. opisano metodykę pomiaru zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie. Doktorant podaje, że prowadzi te badania

zgodnie z normą BN-64/4130, jednak wykonane próbki badawcze nie odpowiadają tym zalecanym przez przytoczoną normę (proszę o wyjaśnienie). Autor stwierdza, że w próbie stosuje się mieszaninę gliceryny i alkoholu – czy to na pewno jest mieszanina – czy roztwór? Wzór do obliczenia zawartości wodoru dyfundującego (wzór 18, str. 72) odbiega od podanego w normie BN-64/4130 – skąd ta różnica? Przy opisie badań nieniszczących (podrozdział 7.6) Autor używa sformułowania: „w połowie akceptowalne” – jak to należy interpretować? W rozdziale 8 i 9 Doktorat opisał badania materiału rodzimego oraz pomiary zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie. Ta część pracy jest opisana poprawnie i nie mam do niej uwag. Za bardzo wartościowy pod względem naukowym uważam rozdział 10, poświęcony badaniom skłonności do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości w środowisku wodnym. Do wyjaśnienia tych zjawisk Autor wykorzystuje próby CTS, próby Tekken, badania metalograficzne, badania penetracyjne, badania fraktograficzne. Uzyskane wyniki badań, pozwoliły na określenie wpływu środowiska wodnego na ograniczenie zakresu spawalności wytypowanych do badań materiałów. Ten zakres badań również jest przedstawiony prawidłowo bez błędów merytorycznych i językowych. Pewny niedosyt budzi dość skąpy zakres badań metalograficznych mikroskopowych i niska jakość uzyskanych zdjęć metalograficznych makro i mikroskopowych (np.: rys. 10.13d, rys. 10.16, rys. 10.38, rys. 10.40). W tablicach tego rozdziału brak jest opisu parametrów spawania oraz niewłaściwa jednostka ilości dostarczonego ciepła: powinno być: [kJ/mm]. Jak Autor wyjaśni niską twardość spoiny w wykonywanych próbach? Rozdział 11 to analiza wyników badań dotyczących zastosowania ściegu odpuszczającego. Wyniki tego rozdziału mają charakter użytkowy i mogą być przydatne do opracowania procedur naprawy konstrukcji morskich w warunkach spawania podwodnego. Autor zaproponował tutaj ciekawy eksperyment polegający na odpuszczaniu ściegu bazowego poprzez położenie ściegu odpuszczającego ułożonego pod kątem do ściegu bazowego. Uzyskany materiał badawczy został poddany badaniom metalograficznym makroskopowym, mikroskopowym oraz pomiarowi twardości. Ta część opracowania nie budzi zastrzeżeń merytorycznych. Jednak podobnie jak w rozdziale 10, dość pobieżnie potraktowane są badania metalograficzne mikroskopowe, jakość zdjęć makroskopowych nie jest zbyt wysoka, brak skali na zdjęciach makroskopowych. Pojawiają się tutaj drobne potknięcia językowe: str. 124: „wyrasta ferryt iglasty”, „obecność struktur hartowania bainitycznej” – Jakby Pan zdefiniował pojęcie ferrytu iglastego? W rozdziale 12 Autor przeprowadził trafną dyskusję wyników przeprowadzonych badań. Analiza wyników badań w pełni potwierdziła trafność zaproponowanej metodyki badań i ich zakres. Oczywiście można byłoby się tutaj pokusić o bardziej wyrafinowane metody badań metalograficznych, ale myślę że te zastosowane w pełni

potwierdzają słuszność przyjętej tezy. Szkoda, że tej części pracy Autor nie podsumował opracowaniem przykładowej „Karty technologicznej procesu spawania naprawczego metodą moką z uwzględnieniem zastosowania ściegu odpuszczającego”. W rozdziale 13 Autor zawarł 7 wniosków wynikających bezpośrednio z przeprowadzonych badań, które mają charakter naukowy jak również aplikacyjny.

Moje spostrzeżenia, uwagi krytyczne, czy dyskusyjne dotyczące niniejszej rozprawy, odnoszą się głównie do aspektów technologicznych i mam nadzieję, że będą pomocne w dalszych badaniach prowadzonych przez Doktoranta.

Chciałbym podkreślić, że podane uwagi nie wpływają na obniżenie ogólnej pozytywnej oceny opiniowanej pracy doktorskiej Pana mgra inż. Jacka Tomkowa. Praca cechuje się dobrym poziomem merytorycznym, bardzo dobrym poziomem językowym, a uzyskane wyniki badań własnych są oryginalne, wartościowe poznawczo i mają znaczenie aplikacyjne. W mojej opinii przedstawiona praca doktorska Pana mgra inż. Jacka Tomkowa zasługuje na pozytywną ocenę merytoryczną i formalną.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że opiniowana praca doktorska Pana mgra inż. Jacka Tomkowa pod tytułem „Wpływ warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości” spełnia w pełni wymagania określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (Dz. U. nr 65 z dnia 16 kwietnia 2003 roku poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie Pana mgra inż. Jacka Tomkowa do publicznej obrony.

Opracował:

