

**Załącznik 3a do wniosku
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego**

AUTOREFERAT
przedstawiający opis osiągnięć naukowych, w szczególności określonych w
art. 16 ust. 2 ustawy w języku polskim

dr inż. Dariusz Fydrych
Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
darfydry@pg.edu.pl

Dariusz Fydrych

Gdańsk, 16.06.2017 r.

Spis treści

1. Imiona i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	4
4.1. Tytuł cyklu publikacji powiązanych tematycznie	4
4.2. Wykaz publikacji tworzących cykl publikacji powiązanych tematycznie.....	4
4.3. Omówienie celu naukowego prac cyklu i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	6
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy.....	17
5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem	17
5.2. Działalność prowadzona po doktoracie.....	18

1. Imiona i nazwisko

Dariusz Marek Fydrych

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- **18.11.2008 - certyfikat kompetencji** w zakresie badań wizualnych złączy spajanych (VT1+VT2) wg normy PN-EN 9712, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
- **27.03.2007 - dyplom** Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (IWE), Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
- **26.10.2005 - doktor nauk technicznych;** dyscyplina: *Budowa i Eksploatacja Maszyn*, specjalność: *Spawalnictwo*, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Wpływ warunków spawania na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych przy spawaniu pod wodą. Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak, recenzenci: dr hab. inż. Jerzy Łabanowski, Politechnika Gdańska i prof. dr hab. inż. Eugeniusz Ranatowski, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy.

- **29.05.2004 - świadectwo ukończenia studiów podyplomowych pedagogicznych,** Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska.
- **11.07.2003 - magister;** specjalność: *Zarządzanie organizacją*, kierunek: Zarządzanie i Marketing, Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Charakterystyka instrumentów promocji stosowanych przez przedsiębiorstwa sektora MSP na przykładzie firmy REST sp. z o.o. Promotor: dr inż. Krystyna Kinach-Brzozowska.

- **24.10.2000 - magister inżynier;** specjalność: *Technologia maszyn*, kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Badania wpływu temperatury na wytrzymałość i strukturę połączeń Al-stal w łączniku stal-Al-stop AlMg. Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak.

- **27.04.1994 - technik;** specjalność: *Eksploatacja i naprawa pojazdów samochodowych*, Technikum Samochodowe w Gdańsku.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Miejsce zatrudnienia

Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Historia zatrudnienia

- **01.11.2000-31.12.2005** – asystent: Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- **od 01.01.2006** – adiunkt: Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa (obecnie: Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania), Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

4.1. Tytuł cyklu publikacji powiązanych tematycznie

Moje osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 ust. 2 pkt. 1 stanowi **cykl publikacji powiązanych tematycznie** pt.:

SPAVALNOŚĆ STALI O PODWYŻSZONEJ I WYSOKIEJ WYTRZYMAŁOŚCI W ŚRODOWISKU WODNYM.

We wszystkich przedstawionych publikacjach na każdym etapie ich przygotowania wniosłem istotny udział merytoryczny. W szczególności dotyczy to idei, założeń i metodologii badawczej, realizacji badań, interpretacji wyników i prac redakcyjnych przy tworzeniu manuskryptu oraz kontaktów z redakcjami czasopism. W 11 publikacjach z prezentowanego cyklu jestem autorem korespondencyjnym. Cykl składa się z dwóch artykułów przeglądowych [A1,A13] i 14 publikacji badawczych [A2-A12,A14-A16], z czego dwa artykuły [A4,A6] to prace, które zostały wybrane do tłumaczenia przez redakcję renomowanego czasopisma *Welding International* (Wielka Brytania) spośród moich prac opublikowanych w *Przeglądzie Spawalnictwa* [B2,B4]. Oświadczenia współautorów określające ich indywidualny udział w tworzenie publikacji zamieszczono w załączniku 5.

4.2. Wykaz publikacji tworzących cykl publikacji powiązanych tematycznie pt.: „**Spawalność stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości w środowisku wodnym**”:

A1. Łabanowski J., **Fydrych D.**, Rogalski G.: *Underwater welding-a review*. *Advances in Materials Sciences*, 8(3), 2008, 11-22 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 4, mój udział wynosi 50% i obejmował: przegląd literatury, realizację badań, interpretację wyników badań i sporządzenie manuskryptu)

A2. **Fydrych D.**, Łabanowski J., Rogalski G.: *Weldability of high strength steels in wet welding conditions*. *Polish Maritime Research*, 20(2), 2013, 67-73 (wykaz A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, **IF=0,3**, mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu i nanoszenie poprawek)

A3. **Fydrych D.**, Łabanowski J.: *An experimental study of high-hydrogen welding processes*. *Revista de Metalurgia*, 51(4), 2015, 1-7 (wykaz A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, **IF=0,203**, mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A4. **Fydrych D.**, Łabanowski J.: *Determining diffusible hydrogen amounts using the mercury method*. *Welding International*, 26(9), 2012, 697-702 (mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A5. **Fydrych D.**, Tomków, J., Świerczyńska A.: *Determination of diffusible hydrogen content in the deposited metal of rutile electrodes by the glycerin method*. *Metallurgy and Foundry Engineering*, 39(1), 2013, 47-54 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 7, mój udział wynosi 80% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A6. **Fydrych D.**, Rogalski, G.: *Effect of shielded-electrode wet welding conditions on diffusion hydrogen content in deposited metal*. *Welding International*, 25(3), 2011, 166-171 (mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań,

realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A7. Fydrych D., Świerczyńska A., Rogalski G.: *Effect of underwater wet welding conditions on the diffusible hydrogen content in deposited metal.* Metallurgia Italiana, 106(11/12), 2015, 47-52 (wykaz A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, **IF=0,264**, mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A8. Fydrych D., Świerczyńska A., Tomków J.: *Diffusible hydrogen control in flux cored arc welding process.* Key Engineering Materials, 597, 2014, 171-178 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 8, mój udział wynosi 80% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A9. Świerczyńska A., Fydrych D., Rogalski G.: *Diffusible hydrogen management in underwater wet self-shielded flux cored arc welding.* International Journal of Hydrogen Energy 2017 (In Press, lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 30, **IF=3,582** (za rok 2016)) mój udział wynosił 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, analizy statystyczne i interpretację wyników i sporządzenie manuskryptu.

A10. Fydrych D., Łabanowski J., Tomków J., Rogalski G.: *Cold cracking of underwater wet welded S355G10+ N high strength steel.* Advances in Materials Science, 15(3), 2015, 48-56 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 11, mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A11. Fydrych D., Łabanowski J., Rogalski G., Haras J., Tomków J., Świerczyńska A., Jakóbczak P., Kostro Ł.: *Weldability of S500MC steel in underwater conditions.* Advances in Materials Science, 14(2), 2014, 37-45 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 9, mój udział wynosi 30% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu i kontakty z redakcją)

A12. Fydrych D., Tomków J., Rogalski G., Łabanowski J.: *Weldability of S460ML high strength low alloy steel in underwater conditions.* Applied Mechanics and Materials, 838, 2016, 10-17 (mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A13. Fydrych D., Rogalski G., Łabanowski J.: *Problems of underwater welding of higher-strength low alloy steels.* Institute of Welding Bulletin, 58(5), 2014, 187-195 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 4, mój udział wynosi 60% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A14. Fydrych D., Świerczyńska A., Rogalski G., Łabanowski J.: *Temper bead welding of S420G2+ M steel in water environment.* Advances in Materials Science, 16(4), 2016, 5-16 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 11, mój udział wynosi 70% i obejmował: przegląd literatury, opracowanie planu badań, realizację badań, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu, nanoszenie poprawek i kontakty z redakcją)

A15. Rogalski G., Fydrych D., Prokop-Strzelczyńska K.: *Effect of the magnetisation of covered electrodes on the quality and properties of underwater wet welded joints.* Institute of Welding Bulletin, 60(3), 2016, 34-41 (wykaz B MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 11, mój udział wynosi 40% i obejmował: przegląd literatury, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu i nanoszenie poprawek)

A16. Rogalski G., **Fydrych D.**, Łabanowski J.: *Underwater wet repair welding of API 5L X65M pipeline steel*. Polish Maritime Research, 24(S1), 2017, 188-194 (wykaz A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 20, **IF=0,776** (za rok 2016), mój udział wynosi 40% i obejmował: przegląd literatury, interpretację wyników badań, sporządzenie manuskryptu i nanoszenie poprawek)

4.3. Omówienie celu naukowego prac cyklu i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Prezentowany cykl publikacji powiązanych tematycznie dotyczy oceny spawalności stali spawanych pod wodą metodą moką i stanowi mój dorobek w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn. Spójne ujęcie wszystkich osiągnięć w tym zakresie wymaga odwołań również do autorskich publikacji spoza przedstawianego cyklu. Zagadnienie związane jest z eksploracją morskich złóż ropy naftowej i gazu.

Światowa gospodarka morska przeżywa obecnie niespotykany wcześniej rozkwit, który wymusza postęp w inżynierii materiałowej i technologiach wytwarzania. Również postęp technologiczny procesów spawalniczych pod wodą (głównie spawania i cięcia) związany jest nierozdzielnie z trwającą prosperitą jej głównych gałęzi: gospodarki portowej, przemysłu wydobywczego i transportu morskiego, a zwłaszcza z rozbudową i utrzymaniem infrastruktury portowej, budową i naprawami urządzeń oraz instalacji wydobywczych i transportowych. Zapewnienie ciągłych dostaw paliw jest kluczowym zagadnieniem bezpieczeństwa energetycznego każdego kraju. Do prawidłowej i efektywnej eksploracji morskich zasobów ropy naftowej i gazu niezbędna jest odpowiednio przygotowana infrastruktura wydobywcza oraz transportowa. Ekstremalne warunki hydrometeorologiczne, w których eksploatowane są konstrukcje hydro- i oceanotechniczne determinują konieczność przyjmowania rygorystycznych kryteriów doboru materiałów inżynierskich. W związku z tym aktualną tendencją w tym obszarze jest stosowanie na takie konstrukcje stali o coraz wyższej wartości granicy plastyczności. Tradycyjne gatunki stali o granicy plastyczności nie przekraczającej 355 MPa zastępuje się stalami o granicy plastyczności z zakresu 400-550 MPa, a nawet 690 MPa i wyższej. Spawalność tych stali w środowisku powietrznym jest dobrze rozpoznana i udokumentowana, natomiast ich zachowanie się podczas spawania pod wodą opisane jest jedynie w nielicznych publikacjach.

Obecnie na całym świecie prowadzone są prace mające na celu zmianę statusu procesów spawania podwodnego z napraw tymczasowych na spełniające rygorystyczne kryteria akceptacji procesy wytwarzania konstrukcji odpowiedzialnych. Wymaga to prowadzenia konsekwentnych i systematycznych badań zmierzających do oceny i poprawy spawalności stali w środowisku wodnym. Realizowane przeze mnie prace badawcze wpisują się w te aktualne trendy.

W przeprowadzonej na początkowym etapie prac analizie aktualnego stanu wiedzy wykazałem, że procesy spawania w środowisku wodnym rzadko stosowane są do wytwarzania konstrukcji, natomiast stanowią efektywną metodę remontów elementów konstrukcji i instalacji hydrotechnicznych i oceanotechnicznych, które uległy uszkodzeniu wskutek [A1]: awarii, wystąpienia zjawisk korozyjnych, kolizji statków oraz działań wojennych, konieczności modyfikacji konstrukcji, wypadków przy montażu, błędów konstruktorskich i wykonawczych, przekroczenia czasu eksploatacji, zmęczenia materiału i nadmiernych obciążeń eksploatacyjnych. Obszar zastosowania spawania pod wodą obejmuje np.: rurociągi, platformy wydobywcze, jednostki pływające, elementy nabrzeży i falochronów oraz urządzenia portowe. Techniki spawania w środowisku wodnym najczęściej klasyfikuje się na dwa odrębne obszary: spawanie mokre i spawanie suche [A1]. Spawanie mokre przebiega w ten sposób, że spawacz, materiał spawany oraz materiał dodatkowy mają bezpośredni kontakt z wodą, natomiast spawanie suche wymaga wykorzystania komory

odizolowującej obszar spawania od wody [A1,A2]. Metody suche można w zależności od ciśnienia atmosfery spawania podzielić na izobaryczne i hiperbaryczne. Osobną techniką jest spawanie metodą lokalnej komory suchej, realizowane z zastosowaniem komory o relatywnie małej objętości, której zadaniem jest jedynie czasowe odizolowanie łuku elektrycznego i spawanych elementów od środowiska wodnego [A1,A2]. W praktyce spawanie mokre najczęściej przeprowadza się elektrodami otulonymi (111) oraz drutami proszkowymi samoosłonowymi (114). Spawanie suche można realizować przy wykorzystaniu procesów: 111, 141, 131/135 oraz spawania drutami proszkowymi 136. Zastosowanie metody lokalnej komory suchej wiąże się przede wszystkim ze spawaniem w osłonie gazów ochronnych elektrodą topliwą (131/135/136) [A1,A2].

Woda jako środowisko spawania mokrego jest istotnym źródłem wodoru potencjalnego, silnie wpływa na kinetykę przemian strukturalnych oraz wartość naprężeń pozostających w złączach. Ryzyko formowania się niezgodności spawalniczych jest również zwiększone przez podwyższone ciśnienie środowiska spawania oraz ograniczoną widoczność i operatywność podczas wykonywania złączy [A1,A2].

Z tego wynika, że podstawowym ograniczeniem spawalności stali w środowisku wodnym jest skłonność do tworzenia pęknięć zimnych, a dostępne informacje o spawalności stali metodą mokrą dotyczą gatunków o granicy plastyczności nie przekraczającej 355 MPa. Z tej przyczyny zakres prac doświadczalnych i analiz zrealizowanych w przedstawianym osiągnięciu podzieliłem na cztery główne etapy:

- A. Ocenę możliwości kontrolowania ilości wodoru dyfundującego w złączach wykonanych pod wodą,
- B. Ocenę skłonności do tworzenia pęknięć zimnych stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości spawanych pod wodą,
- C. Ocenę skuteczności techniki ścięgu odpuszczającego do poprawy spawalności stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości pod wodą,
- D. Wybrane aspekty spawania mokrego elektrodami otulonymi pod wodą.

A. Ocena możliwości kontrolowania ilości wodoru dyfundującego w złączach wykonanych pod wodą

Wodór dyfundujący obecny w złączu spawanym znacząco wpływa na skłonność stali do tworzenia pęknięć zimnych i jest często czynnikiem decydującym o możliwości poprawienia spawalności stali w danych warunkach. Wynika z tego szczególne zainteresowanie rolą, jaką pełni on w formowaniu się pęknięć zimnych, możliwościami kontrolowania jego ilości w stopiwie oraz intensywny rozwój wiedzy o metodach badawczych, a zwłaszcza pomiarowych.

W publikacjach [A3,A4,A5] opisałem doświadczenia wynikające z prac nad budową stanowisk, zastosowaniem i rozwojem metod oznaczania ilości wodoru dyfundującego. Natomiast prace [A6,A7,A8,A9] dotyczą wpływu warunków i parametrów spawania na nawodorowanie stopiwa uzyskanego przy wykorzystaniu różnych procesów.

A.1. Badania czynników proceduralnych podczas oznaczania ilości wodoru dyfundującego

A.1.1. Wyznaczenie zależności między wskazaniami metod pomiaru ilości wodoru dyfundującego w stopiwie

Za główne źródła wodoru w przypadku spawania elektrodami otulonymi w środowisku powietrznym uważa się wilgoć pochodzącą z otuliny oraz produkty dekompozycji jej składników organicznych. Istotny wpływ na nawodorowanie stopiwa mają również warunki otoczenia: wilgotność, temperatura oraz ciśnienie powietrza. Pomiary zawartości wodoru

dyfundującego w stopiwie wykazują, że procesy spawania pod wodą generują znacznie większą jego ilość w porównaniu ze spawaniem na powietrzu.

Ze względu na prostotę procedury oznaczanie ilości wodoru dyfundującego w stopiwie najczęściej przeprowadza się metodami znormalizowanymi: glicerynową i rtęciową. Przyczyną różnic w wynikach otrzymywanych tymi metodami badawczymi jest inna rozpuszczalność wodoru w cieczach roboczych. Zgodnie z normą PN-EN ISO 3690 wpływ tego zjawiska można przewidzieć i zminimalizować dzięki wykorzystaniu odpowiednich zależności pomiędzy wskazaniem metod glicerynowej i rtęciowej [A3,A4].

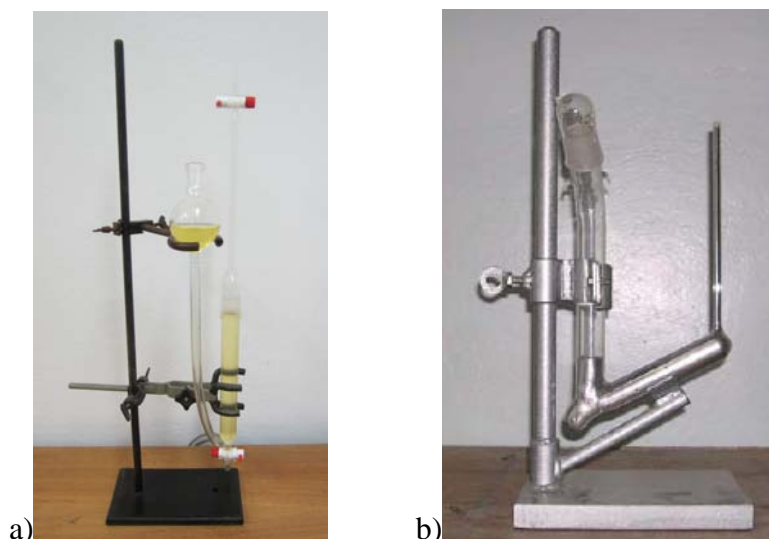
Celem badań było opracowanie zależności między wskazaniem metody glicerynowej i metody rtęciowej w całym zakresie wartości obowiązującym dla procesów spawania, w tym również dla procesów wysokowodorowych, do których zalicza się spawanie pod wodą. Wymagało to zbudowania stanowisk do oznaczania zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie dwiema rozważanymi metodami, realizacji badań w warunkach odpowiadających spawaniu procesami nisko- i wysokowodorowymi oraz przeprowadzenia analiz statystycznych. Stanowiska badawcze (rys. 1) zbudowano według wytycznych normy PN-EN ISO 3690 oraz BN-64/4130-01 [A3,A4,A5].

Na podstawie analiz wyników badań w pakiecie Statistica wyznaczono następujące równania regresji [A3]:

$$H_{Dme} = 1,21 \times H_{Dgl} + 2,60 \quad (1)$$

$$H_{Dgl} = 0,81 \times H_{Dme} - 1,71 \quad (2)$$

gdzie: H_{Dme} – ilość wodoru w stopiwie oznaczona metodą rtęciową [ml/100g], H_{Dgl} – ilość wodoru w stopiwie oznaczona metodą glicerynową [ml/100g].



Rys. 1. Stanowiska do oznaczania ilości wodoru dyfundującego w stopiwie: a) metodą glicerynową; b) metodą rtęciową [A3]

Zależność jest statystycznie istotna i charakteryzuje ją wysoka wartość skorygowanego współczynnika determinacji ($R^2_{popr}=0,98$). Zweryfikowano testem Shapiro-Wilka zgodność rozkładu reszt surowych generowanych przez model z rozkładem normalnym. Opracowana zależność (1) jest jedynym dostępnym w literaturze równaniem umożliwiającym przeliczanie wyników metody alternatywnej na wskazania metody rtęciowej w zakresie ilości wodoru

dyfundującego ponad 35 ml/100g. Jej zastosowanie znacznie upraszcza realizację i interpretację badań spawalności stali, np. w środowisku wodnym.

A.1.2. Ocena wpływu czasu opóźnienia próby glicerynowej

Procedura oznaczania ilości wodoru dyfundującego w stopiwie wymaga wykonania napoiny na próbce o kształcie właściwym dla danej metody pomiarowej, ochłodzenia jej w celu zatrzymania dyfuzji wodoru, oczyszczenia i umieszczenia w naczyniu stanowiska. Po upływie określonego przez normę czasu należy dokonać odczytu ilości zgromadzonego wodoru i przeliczyć ją na warunki normalne w odniesieniu do 100 g stopiwa. We współautorskiej pracy [A5] zweryfikowałem wpływ czynnika proceduralnego: czasu między zakończeniem napawania a umieszczeniem próbki w biurecie pomiarowej stanowiska na wskazania metody glicerynowej. Z przeprowadzonych badań dla stopiwa elektrod rutowych wynika, że przedłużenie tego czasu z 3 min do 9 min, a następnie do 15 min spowodowało znaczny (odpowiednio 23% i 40%) spadek zmierzonej ilości wodoru dyfundującego. Wyznaczono równanie opisujące tę zależność:

$$H_{Dgl} = -7,45 \times \ln t_o + 38,84 \quad (3)$$

gdzie: H_{Dgl} – ilość wodoru w stopiwie oznaczona metodą glicerynową [ml/100g], t_o – czas opóźnienia ekstrakcji wodoru [min].

Równanie wyjaśnia 98% zmienności wyników eksperymentu ($R^2=0,98$) i umożliwia uwzględnienie niezachowania badanego czynnika proceduralnego podczas oznaczania ilości wodoru dyfundującego w stopiwie metodą glicerynową.

A.2. Badania wpływu warunków i parametrów spawania mokrego elektrodami otulonymi na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie

Spawanie elektrodą otuloną pod wodą generuje ilości wodoru dyfundującego w stopiwie rzędu 40-60 ml/100g, co poza zjawiskiem pękania może powodować tworzenie się pęcherzy w spoinach. Zagadnienie wpływu warunków i parametrów spawania mokrego elektrodami otulonymi na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie było jedynie fragmentarycznie rozpatrywane w nielicznych publikacjach z zakresu spawalności stali w środowisku wodnym. W szczególności brakuje kompleksowego ujęcia zagadnienia wraz z ilościowym określeniem istotności wpływu i relacji między czynnikami odpowiedzialnymi za zmiany stopnia nawodorowania stopiwa. Większość sposobów obniżania zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie bazuje na metodach metalurgicznych, których zastosowanie leży w gestii producentów materiałów dodatkowych do spawania. Polegają one na modyfikacji składu chemicznego otulin i proszków w celu zmniejszenia ilości wodoru potencjalnego lub wprowadzeniu do nich składników, które wiążą wodór w związki trwałe w temperaturze spawania, ewentualnie ograniczają jego dyfuzję w metalu spoiny poprzez tworzenie pułapek wodorowych. Drugą grupę działań zmierzających do zmniejszenia nawodorowania złączy stanowią zabiegi technologiczne ukierunkowane na zmniejszenie ilości wodoru potencjalnego (suszenie materiałów dodatkowych) albo wydłużenie cyklu cieplnego spawania (podgrzewanie wstępne i obróbka cieplna po spawaniu). Z nielicznych doniesień literaturowych wynika, że stwierdzono również wpływ energii liniowej (parametrów spawania) na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie uzyskanym podczas spawania w środowisku powietrznym. Dlatego za cel tego etapu pracy przyjąłem eksperymentalne określenie wpływu wybranych warunków i parametrów spawania na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie. Problem rozwiązałem przy pomocy teorii planowania

eksperymentu w dwóch etapach: badania wstępne zrealizowano oznaczając ilość wodoru metodą glicerynową [A6], do badań właściwych wykorzystano metodę rtęciową [A7].

Do przeprowadzenia badań wstępnych zastosowałem dwupoziomowy plan Placketta-Burmana, co pozwoliło na efektywne ilościowe zbadanie wpływu siedmiu wybranych czynników: natężenie prądu spawania, grubość otuliny, stan elektrody (zanieczyszczenie węglowodorami), powłoka ochronna (wodoodporna), zasolenie wody, biegunowość prądu spawania oraz zawilgocenie otuliny elektrody na ilość wodoru generowanego podczas spawania mokrego elektrodami rutyłowymi. Opracowano model postaci [A6]:

$$H_{Dgl} = 55,63 + 0,08 \times I + 8,25 \times s - 2,12 \times z - 2,28 \times b \quad (4)$$

gdzie: H_{Dgl} – zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie oznaczona metodą glicerynową [ml/100g], I – natężenie prądu spawania [A], s – stan elektrody, z – zasolenie wody [‰], b – biegunowość prądu spawania.

Poprawiony współczynnik determinacji równania osiąga wartość $R^2_{popr}=0,97$. Model spełnia założenie normalności. Spośród badanych czynników statystycznie istotne na założonym poziomie istotności $\alpha=0,05$ są: zasolenie wody, biegunowość, natężenie prądu spawania oraz stan elektrody. Trzy pierwsze czynniki wpływają na sposób przechodzenia metalu w łuku oraz objętość jeziora spawalniczego, a więc i intensywność wymiany gazowej na granicy faz gaz-ciecz, i w tym można upatrywać przyczyny ich znaczącego wpływu na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie. Najsilniejszy wpływ na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie ma zasolenie wody, mniejszy - stan elektrody. Siła wpływu dwóch pozostałych czynników jest około pięciokrotnie mniejsza [A6].

Wnioski i spostrzeżenia z pracy [A6] wykorzystałem podczas badań właściwych, które przeprowadziłem według planu kompletnego dwupoziomowego dla trzech czynników niezależnych: natężenie prądu spawania, zasolenie wody oraz biegunowość prądu spawania uzyskując równanie ogólne [A7]:

$$H_{Drt} = -849,202 + 0,186 \times I + 0,166 \times s + 8,422 \times p \quad (5)$$

gdzie: H_{Drt} – zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie oznaczona metodą rtęciową [ml/100g], I – natężenie prądu spawania [A], s – zasolenie wody [‰], p – biegunowość prądu spawania.

Współczynnik determinacji między wartościami wodoru dyfundującego uzyskanymi doświadczalnie a obliczonymi z równania wynosi $R^2_{popr} = 0,87$. Dopasowanie rozkładu reszt surowych do rozkładu normalnego zweryfikowano pozytywnie testem Shapiro-Wilka. Ponieważ biegunowość prądu spawania jest czynnikiem kategoryzacyjnym, zaproponowane równanie (5) można przedstawić w następujących wariantach:

Dla biegunowości ujemnej:

$$H_D = 1,22 + 0,19 \times I + 0,166 \times s \quad (6)$$

Dla biegunowości dodatniej:

$$H_D = 9,64 + 0,19 \times I + 0,166 \times s \quad (7)$$

Najniższe średnie zawartości wodoru dyfundującego w stopiwie (około 40 ml/100g Fe) uzyskano w przypadku spawania biegunowością ujemną przy niskiej wartości natężenia prądu

spawania [A7]. Nie osiągnięto poziomu procesów niskowodorowych, ale zbliżono się do wartości typowych dla spawania elektrodami rutyłowymi w środowisku powietrznym.

A.3. Badania wpływu warunków i parametrów spawania drutem proszkowym na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie

Analiza zagadnienia możliwości kontrolowania ilości wodoru dyfundującego w stopiwie metodami technologicznymi skierowała moje zainteresowanie również na inne procesy spawania. W publikacji [A8] na podstawie badań nawodorowania stopiwa komercyjnego drutu proszkowego w środowisku powietrznym metodą glicerynową opracowałem zależność:

$$H_{Dgl} = 3,131 + 0,603 \times U - 0,016 \times Vd - 0,021 \times Vw - 0,119 \times L - 0,292 \times Fg \quad (8)$$

gdzie: H_{Dgl} – zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie oznaczona metodą glicerynową [ml/100g], U – napięcie łuku [V], Vd – prędkość podawania drutu [m/min], Vw – prędkość spawania [cm/min], L – długość wolnego wylotu [mm], Fg – natężenie przepływu gazu osłonowego [l/min].

Najsilniejszy wpływ (wprost proporcjonalny) na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie stwierdzono w przypadku zmian wartości napięcia łuku. Natomiast zmiany pozostałych czynników powodowały około trzykrotnie mniejsze odwrotnie proporcjonalne zmiany nawodorowania stopiwa [A8]. Otrzymane równanie charakteryzuje się wysoką wartością współczynnika determinacji $R^2_{popr} = 0,92$ i spełnia założenie o normalności rozkładu reszt surowych.

Powodzenie opracowanej metodyki oraz obiecujące wyniki badań wstępnych w środowisku powietrznym zachęciły mnie do zastosowania analogicznych procedur badawczych i analiz dla spawania mokrego drutem proszkowym samoosłonowym [A9]. Przy zastosowaniu planu Placketta-Burmana dokonałem oceny wpływu 5 czynników: długość wolnego wylotu, natężenie prądu spawania, napięcie łuku, prędkość spawania i zasolenie wody na nawodorowanie stopiwa. Ilość wodoru dyfundującego oznaczono metodą glicerynową, jednocześnie przeliczając ją zgodnie z relacją (1) [A3] na wskazania metody rtęciowej. Uzyskałem równanie postaci [A9]:

$$H_{Dgl} = 66,14 + 0,62 \times lw - 0,004 \times I - 1,54 \times U + 18,85 \times v - 0,13 \times z \quad (9)$$

gdzie: H_{Dgl} – zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie oznaczona metodą glicerynową [ml/100 g], lw – długość wolnego wylotu [mm], I – natężenie prądu spawania [A], U – napięcie łuku [V], v – prędkość spawania [cm/s], z – zasolenie wody [‰].

Skorygowany współczynnik determinacji między wartościami wodoru dyfundującego uzyskanymi doświadczalnie a obliczonymi wynosi $R^2_{popr}=0,86$. Rozkład reszt surowych oceniono jako normalny.

W zależności od warunków spawanie mokre drutem samoosłonowym generuje ilość wodoru dyfundującego od 25,85 do 44,12 ml/100g, a więc w zakresie zmienności czynników wejściowych nie osiągnięto poziomu procesów niskowodorowych. Wzrost długości wolnego wylotu drutu elektrodowego oraz prędkości spawania powoduje zwiększenie ilości wodoru dyfundującego, natomiast odwrotny skutek powoduje zwiększenie natężenia prądu spawania, napięcia łuku i zasolenia wody [A9]. Podobnie jak w badaniach [A6,A7,A8] statystycznie istotne okazały się czynniki wpływające na sposób przechodzenia metalu w łuku oraz objętość jeziora spawalniczego.

Poza informacjami o charakterze podstawowym tłumaczącymi mechanizmy i relacje zachodzące między warunkami i parametrami spawania a ilością wodoru dyfundującego w

stopiowie (m.in. liniowość wpływu czynników niezależnych) przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie równań (4), (5), (6), (7), (8), (9) stanowiących narzędzie inżynierskie umożliwiające predykcję stopnia nawodorowania stopiwa w określonych warunkach spawania. Zakres stosowania uzyskanych zależności jest ograniczony do zakresu zmienności czynników badanych oraz konieczności zapewnienia stabilności jarzenia się łuku i wykonania złączy o żądanych właściwościach.

B. Ocena skłonności do tworzenia pęknięć zimnych stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości spawanych pod wodą

Zjawiska niszczenia wodorowego metali, do których zalicza się formowanie pęknięć zimnych, są wciąż aktualnym problemem badawczym. Pęknięcie zimne jest poważnym zagrożeniem, z którym często spotykają się wykonawcy stalowych konstrukcji spawanych. Ze względu na własności fizyko-chemiczne woda stanowi środowisko szczególnie sprzyjające tworzeniu się pęknięć zimnych w stalowych złączach spawanych.

Jako cel tego etapu prac badawczych przyjąłem ocenę skłonności do tworzenia pęknięć zimnych złączy ze stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości wykonanych pod wodą elektrodami otulonymi. Założyłem zakres prac badawczych obejmujący wykonanie prób Tekken (w wybranych przypadkach również CTS) dla blach z 5 gatunków stali (S355J2G3, S355G10+N, S500MC, S460ML, S420G2+M) spawanych metodą mokrą elektrodami otulonymi rutyłowymi Omnia (E 42 0 RC 11). Badaniom poddano również złącza referencyjne wykonane w środowisku powietrznym [A2,A10,A11,A12].

W pracy [A2] przedstawiłem wyniki prób Tekken stali S355J2G3 ($Ce_{IIW}=0,44\%$, $Re=464$ MPa) o grubości 15 mm spawanej metodą mokrą. Stwierdzono występowanie rozległych pęknięć zimnych w całym przekroju złączy, zainicjowanych w grani i przebiegających w linii wtopienia i spoinie. Złącza próbne charakteryzowały się wysoką twardością maksymalną SWC – o wartościach powyżej 400 HV10. Warunki spawania doprowadziły do formowania się w tym obszarze gruboiglastych struktur hartowniczych: bainitu i martenzytu.

Podobne spostrzeżenia były efektem badań opisanych w publikacji [A10]. Na podstawie wyników prób CTS stali S355G10+N ($Ce_{IIW}=0,385\%$) o grubości 18 mm i zbliżonej wartości granicy plastyczności ($Re=420$ MPa) oceniono jej skłonność do pęknięcia jako wysoką. Wprawdzie badania nieniszczące nie wykazały pęknięć, jednak podczas badań metalograficznych mikroskopowych stwierdzono obecność pęknięć zimnych zarówno w SWC, jak i w spoinie. W SWC zidentyfikowano strukturę martenzytyczną, której twardość maksymalna przekraczała 425 HV10.

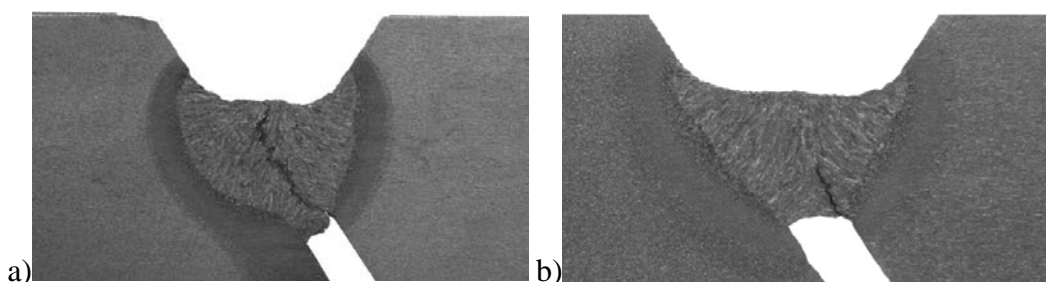
Złącza z normalizowanych stali typu S355 wykonane pod wodą w różnych warunkach utwierdzenia wykazały wysoką skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w spoinie (złącza ze spoinami czołowymi) i SWC (złącza ze spoinami pachwinowymi).

Spawalność stali walcowanych ciepło-mechanicznie w środowisku powietrznym jest lepsza niż ich normalizowanych odpowiedników o tej samej wytrzymałości. Stanowiło to genezę przeprowadzenia badań spawalności stali z tej grupy w warunkach spawania mokrego [A2,A11,A12,A13]. Podczas spawania mokrego złączy doczołowych typu Tekken ze stali S500MC ($Ce_{IIW}=0,38\%$, $Re=525$ MPa) o grubości 15 mm nastąpił wzrost twardości maksymalnej SWC z $240\div 250$ HV10, charakterystycznej dla spawania w środowisku powietrznym, do $260\div 300$ HV10. W SWC badanych złączy nie stwierdzono występowania pęknięć. Zlokalizowano jednak pęknięcia w spoinie, co jest zgodne z informacjami literaturowymi dotyczącymi spawalności stali walcowanych ciepło-mechanicznie. Natomiast w złączach wykonanych w środowisku powietrznym pęknięcia stwierdzono w jednym z dwóch złączy próbnych. Na rys. 2 pokazano fotografie zglądów metalograficznych makroskopowych złączy ze stali S500MC wykonanych w środowisku wodnym i

powietrznym.

Ilościowa ocena występowania pęknięć wykazała, że współczynniki C_f i C_s osiągają wyższe wartości w przypadku spawania pod wodą ($C_f=27,5-43,8\%$; $C_s=44,4-81,4\%$) niż w środowisku powietrznym ($C_f=0-18,5\%$; $C_s=0-30\%$) [A11].

Złącza ze stali S500MC wykonane pod wodą w warunkach utwardzenia wykazały wysoką skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w spoinie. Badania złączy referencyjnych na powietrzu wykazały, że nawet w przypadku zastosowania procesu wysokowodorowego (elektrody rutyłowe) nasilenie występowania pęknięć jest niskie [A11].



Rys. 2. Zgłady makroskopowe próbek Tekken ze stali S500MC: a) środowisko wodne: widoczne pęknięcie zimne w całym przekroju złącza; b) środowisko powietrzne: widoczne pęknięcie zimne zainicjowane w grani [A2]

W kolejnym etapie oceny spawalności stali po obróbce cieplno-mechanicznej przeprowadziłem badania Tekken stali S460ML ($Ce_{IIW}=0,40\%$, $Re=515$ MPa) o grubości 16 mm [A12]. Badania metalograficzne makroskopowe ujawniły obecność rozległych pęknięć propagujących w poprzek złącza. Pęknięcia te najczęściej przebiegały w linii wtopienia, niekiedy przechodząc do SWC albo spoiny. O formowaniu się w tym obszarze złączy struktury hartowniczej świadczą wyniki badań twardości znacznie przekraczające wartość krytyczną dla grupy materiałowej 2.1. Obecność rozległych pęknięć świadczy o wysokiej skłonności stali S460ML do pęknięcia zimnego w przypadku obu zastosowanych procesów wysokowodorowych: spawania mokrego pod wodą oraz spawania w środowisku powietrznym elektrodami o otulinie rutyłowej [A12].

Podsumowaniem tego etapu prac nad spawalnością stali w środowisku wodnym jest artykuł [A13]. Przedstawiłem w nim także wyniki kolejnych prac własnych w tym zakresie m.in. ocenę spawalności stali S420G2+M ($Ce_{IIW}=0,37\%$, $Re=480$ MPa) o grubości 16 mm. Na podstawie wyników badań złączy próbnych typu CTS i Tekken wykonanych przy użyciu dwóch gatunków elektrod otulonych: Omnia (E 42 0 RC 1 1) i Barracuda (E 46 2 1 Ni RR 5 1) stwierdzono, że w przypadku spawania w środowisku powietrznym stal jest dobrze spawalna zarówno podczas wykonywania spoin pachwinowych, jak i czołowych. Jednak jej spawanie pod wodą dla złączy doczołowych powoduje wzrost skłonności do tworzenia pęknięć zimnych w spoinie do poziomu skłonności częściowej. Wzrost prędkości stygnięcia spowodowany przeniesieniem spawania pod powierzchnię wody był przyczyną wzrostu twardości maksymalnej SWC o ok. 100 HV10, a zmierzone wartości mieszczą się w zakresie 333-405 HV10 [B21].

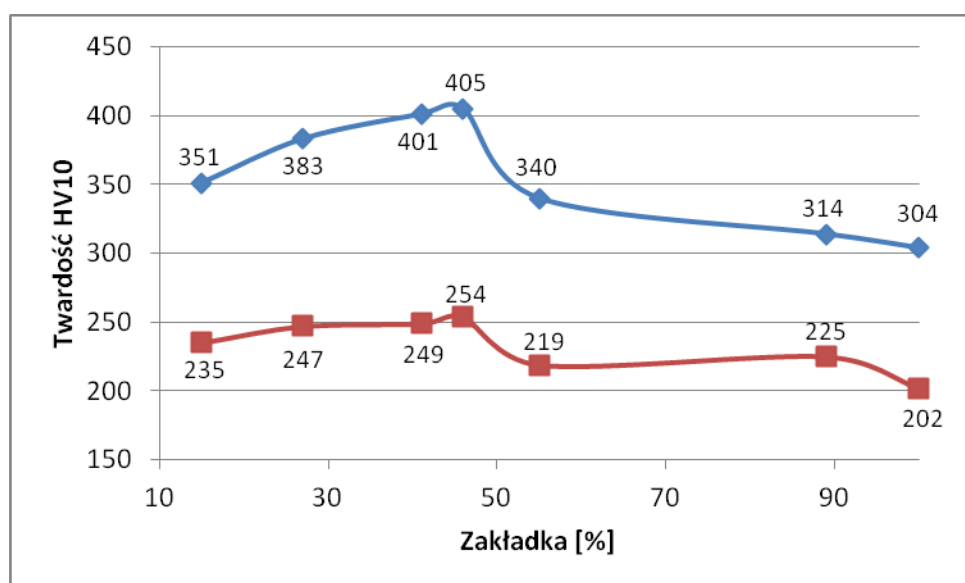
Przedstawione wyniki [A2,A11,A12,A13] wskazują na ograniczoną przydatność niskowęglowych stali po walcowaniu cieplno-mechanicznym na konstrukcje hydrotechniczne wymagające spawania podwodnego. Należy bezwzględnie zachowywać reżim technologiczny i przeprowadzać badania nieniszczące w zakresie przewidzianym dla złączy wykonanych pod wodą. Potwierdzają to również wyniki moich pozostałych badań [B14,B18,B21].

C. Ocena skuteczności techniki ściegu odpuszczającego do metody poprawy spawalności stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości pod wodą

Zapobieganie tworzeniu się pęknięć zimnych w przypadku spawania mokrego pod wodą jest trudniejsze niż przy spawaniu w środowisku powietrznym. Nie ma praktycznej możliwości ograniczenia zawartości wodoru dyfundującego w złączy do poziomu procesów niskowodorowych (H5). Suszenie i pokrywanie powłokami wodoodpornymi elektrod otulonych nie daje w tym zakresie znaczących efektów. Wyniki badań własnych wskazują na to, że stosowanie powłoki wodoodpornej nie spowodowało istotnej zmiany nawodorowania stopiwa elektrod [A4]. Powszechnie stosowane podczas spawania na powietrzu podgrzewanie wstępne elementów nie jest możliwe pod wodą poza warunkami laboratoryjnymi. Próby ograniczenia skłonności do pęknięcia zimnego stali o ograniczonej spawalności, których nie można poddać obróbce cieplnej po spawaniu, polegają na stosowaniu techniki ściegu odpuszczającego. Technika ta bazuje na nakładaniu ściegów w odpowiedniej sekwencji w celu przeprowadzenia obróbki cieplnej obszaru uprzednio ułożonych ściegów. Ciepło od ściegu odpuszczającego powoduje wzmożoną dyfuzję wodoru do otoczenia, obniżenie wartości naprężeń pozostających oraz zmniejszenie twardości złącza.

Przydatność techniki ściegu odpuszczającego do poprawy spawalności stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości spawanej pod wodą metodą mokrą elektrodami otulonymi ocenilem stosując metodykę z powodzeniem wykorzystywaną do badań w środowisku powietrznym polegającą na wykonaniu 2 napoin nierównoległych [A14]. Taka procedura umożliwiła otrzymanie próbek poprzecznych o różnej odległości między osiami napoin (podziałce).

W pracach [A2,B18,B35] zaproponowałem i zweryfikowałem możliwość stosowania techniki ściegu odpuszczającego do poprawy spawalności normalizowanej stali typu S355 podczas spawania mokrego. Wyniki badań wskazują na to, że technologia ukierunkowana na kontrolowane układanie kolejnych ściegów jest skuteczną metodą obniżenia twardości badanych stali. W przypadku stali o $Ce_{IIW}=0,44\%$ nastąpiło obniżenie twardości SWC z poziomu 440 HV10 do 325 HV10 dla podziałki wynoszącej 40% [A2], a w optymalnym zakresie podziałki (65-80%) twardość zmniejszyła się do 253 HV10 [B18]. Natomiast dla stali o $Ce=0,385\%$ w zakresie wyznaczonej optymalnej podziałki (75-100%) stwierdzono spadek twardości maksymalnej gruboziarnistego obszaru SWC do 300-350 HV10 [B35].



Rys. 3. Rozkład twardości stref normalizacji (■ kolor czerwony) i przegrzania (◆ kolor niebieski) SWC napoiny odpuszczanej wykonanej na stali S420G2+M [A14]

Uzyskane dla stali normalizowanych wyniki zweryfikowano stosując identyczną metodykę badawczą dla przypadku spawania mokrego stali walcowanej cieplno-mechanicznie S420G2+M [A14]. Wpływ ciepła pochodzącego od ściegu odpuszczającego obniżył twardość maksymalną SWC napoiny odpuszczanej z poziomu 400 HV10 do wartości z zakresu 304-340 HV10 w szerokim zakresie zakładki wynoszącym 55-100% (rys. 3).

Wyniki pomiarów twardości napoin wykonanych na stalach normalizowanej i walcowanej cieplno-mechanicznie pozwalają stwierdzić, że technika ściegu odpuszczającego przy spawaniu podwodnym umożliwia obniżenie twardości maksymalnej w SWC do poziomu bezpiecznego z punktu widzenia formowania się pęknięć zimnych.

D. Wybrane aspekty spawania mokrego elektrodami otulonymi pod wodą

Zagadnienie spawalności stali w warunkach ekstremalnych, do których zalicza się spawanie pod wodą, jest szczególnie złożone. Niektóre mechanizmy wynikają ze specyfiki spawania pod wodą. Jednym z takich zjawisk jest oddziaływanie namagnesowania elektrod otulonych wynikające z metody podawania ich nurkowi pod wodę (z wykorzystaniem magnezu stałego) na stabilność procesu i jakość złączy [A15]. Badania własne wykazały, że nawet stosunkowo krótki (kilka minut) kontakt z magnesem powoduje namagnesowanie rdzenia dedykowanej do spawania podwodnego elektrody Barracuda Gold, a to skutkuje spadkiem własności spawalniczych elektrod (stabilności łuku) i formowaniem się niezgodności typu: podtopienia, rozprysk. Jednocześnie nie stwierdzono wpływu namagnesowania na strukturę i twardość złączy ze stali S235JR. Na podstawie tych wyników można sformułować zalecenie, że w przypadku zastosowania do spawania podwodnego elektrod otulonych o rdzeniu ze stali ferromagnetycznej do ich transportu do miejsca spawania należy stosować specjalne pojemniki unikając magnesów [A15].

Przykłady praktycznej weryfikacji skuteczności spawania podwodnego do naprawy pęknięć i uzupełnienia ubytków korozyjnych rurociągu wykonanego ze stali API 5L X65M o grubości 5,7 mm ($C_{eIIW}=0,41\%$, $Re>450$ MPa) opisano w pracy [A16]. W przypadku rur izolowanych wykonano spawalnicze prace naprawcze osiągając postawiony cel bez formowania się pęknięć w próbkach, natomiast usunięcie powłoki polimerowej wpłynęło na wzrost twardości maksymalnej SWC (z poziomu 300-318 HV10 do wartości 385 HV10) i pojawienie się w niej pęknięć zimnych. Można oczekiwać, że w przypadku spawania elementów o większej grubości wymagających zastosowania technologii wielościęgowej nastąpi spadek twardości maksymalnej SWC wynikający ze zjawiska odpuszczania [A16].

Podsumowanie

Prezentowany cykl publikacji stanowi spójne osiągnięcie naukowe i wpisuje się w aktualne światowe trendy badawcze. Do najważniejszych wniosków wynikających z badań i analiz składających się na przedstawione osiągnięcie zaliczam:

- a. Wyznaczenie zależności między wskazaniami ilości wodoru dyfundującego w stopiwie otrzymanymi metodami glicerynową i rtęciową w zakresie dla nisko- i wysokowodorowych procesów spawania (do 79 ml/100g). Opracowana zależność jest liniowa i w zakresie do 35 ml/100g stopiwa ma przebieg zbliżony do zależności opisywanych w literaturze. Umożliwienie przeliczania ilości wodoru dyfundującego do poziomu 79 ml/100g stopiwa znacznie upraszcza realizację badań spawalności stali spawanej procesami wysokowodorowymi i w środowisku wodnym, co jest wykorzystywane podczas prac badawczych w Zespole Inżynierii Spajania Politechniki Gdańskiej.
- b. Zaproponowanie i opis matematyczny technologicznej metody kontrolowania ilości wodoru dyfundującego w stopiwie podczas spawania mokrego elektrodami otulonymi i drutem proszkowym samoosłonowym. Opracowane zależności stanowią narzędzie

umożliwiający prognozowanie nawodorowania stopiwa w warunkach eksperymentu. Zakres praktycznego wykorzystania wyników predykcji jest ograniczony przez konieczność zapewnienia stabilności łuku i otrzymania złączy o wymaganej jakości.

- c. Ustalenie, że największy wpływ na zawartość wodoru dyfundującego w stopiwie przy spawaniu mokrym elektrodami otulonymi ma natężenie prądu spawania, w dalszej kolejności biegunowość prądu spawania i zasolenie wody. Natomiast podczas spawania pod wodą drutem proszkowym wpływ na nawodorowanie stopiwa ma długość wolnego wylotu, prędkość spawania, zasolenie wody, napięcie łuku i natężenie prądu spawania. W przyjętym zakresie zmienności czynników badanych nie istnieje możliwość osiągnięcia poziomu procesów niskowodorowych, jednak osiągnięto poziom zbliżony do nawodorowania stopiwa w środowisku powietrznym.
- d. Postawienie hipotezy, że istotny wpływ na ilość wodoru dyfundującego w stopiwie mają czynniki, które wpływają na sposób przechodzenia metalu w łuku oraz objętość jeziora spawalniczego, a więc i intensywność wymiany gazowej. Zweryfikowanie tej hipotezy wymaga przeprowadzenia złożonych badań o charakterze podstawowym.
- e. Wykazanie, że stale o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości normalizowane S355J2G3, S355G10+N i walcowane termomechanicznie S500MC, S460ML, S420G2+M spawane metodą moką elektrodami rutyłowymi są skłonne do formowania się pęknięć zimnych w spoinach złączy doczołowych (próby Tekken) i złączy ze spoinami pachwinowymi (próby CTS) pomimo niskich wartości równoważników węgla.
- f. Ustalenie na podstawie wyników prób Tekken i CTS, że skłonność do pęknięcia badanych stali spawanych pod wodą jest wyższa niż podczas spawania w środowisku powietrznym, a w większości przypadków pęknięcia formowały się w spoinie. Badane stale uznawane są za dobrze spawalne w środowisku powietrznym, więc obecność pęknięć w złączach referencyjnych spowodowana jest zastosowaniem wysokowodorowych elektrod rutyłowych.
- g. Wykazanie, że w stalach spawanych pod wodą formują się struktury charakterystyczne dla złączy wykonanych w warunkach szybkiego odprowadzenia ciepła.
- h. Zaproponowanie i zweryfikowanie skuteczności techniki ściegu odpuszczającego do poprawy spawalności stali normalizowanej i walcowanej cieplno-mechanicznie spawanych pod wodą. Zastosowanie techniki ściegu odpuszczającego spowodowało obniżenie twardości maksymalnej SWC badanych złączy do wartości poniżej kryteriów właściwych dla odpowiedniej grupy materiałowej według normy ISO/TR 15608:2017. Na tej podstawie wyznaczono optymalne zakresy podziałki.
- i. Sformułowanie zalecenia unikania namagnesowania rdzenia elektrod otulonych podczas transportu do miejsca spawania.
- j. Zweryfikowanie możliwości wykorzystania spawania mokrego elektrodami otulonymi do prac naprawczych uszkodzonego rurociągu ze stali API 5L X65M.

Na podstawie wyników dotychczasowych osiągnięć wyznaczyłem również kierunki dalszych prac:

- a. Wpływ czynników, których zadaniem jest ograniczenie ilości wodoru wnikającego do złącza: zwiększenie grubości otuliny w celu nasilenia ilości emitowanych gazów osłonowych, stosowanie powłok wodoodpornych, zapobieganie zawilgoceniu otuliny jest statystycznie nieistotny. Zweryfikowanie tego wniosku wymaga przeprowadzenia szczegółowych badań źródeł wodoru przy spawaniu mokrym elektrodami otulonymi.
- b. W praktyce stoczniowej podgrzewanie wstępne elementów spawanych w środowisku wodnym nie jest stosowane. Istnieją jednostkowe doniesienia o pomyślnych próbach wykorzystania do tego celu w warunkach laboratoryjnych nagrzewania indukcyjnego.

Z tej przyczyny wydaje się, że celowe jest podjęcie próby przystosowania tego zabiegu do warunków przemysłowych.

- c. Skłonność do pęknięcia stali w środowisku wodnym nie jest funkcją równoważnika węgla C_{IIW} . Wynika z tego konieczność wyznaczenia analogicznego wskaźnika adekwatnego dla gatunków stali stosowanych na konstrukcje pracujące w zanurzeniu.
- d. Skuteczność zastosowania techniki ściegu odpuszczającego zależy, poza podziałką, od wielu innych czynników m.in. pozycji spawania, parametrów spawania (ilości wprowadzonego ciepła), kąta ustawienia uchwytu oraz czasu między wykonaniem ściegów. Opracowanie bardziej szczegółowych wytycznych do technologii spawania wykorzystującej technikę ściegu odpuszczającego dla złączy spawanych metodą mokrą wymaga prowadzenia dalszych systematycznych badań.
- e. Ponieważ komercyjne programy komputerowe nie umożliwiają przeprowadzenia symulacji procesów spawania pod wodą metodami numerycznymi, należy podjąć próbę dostosowania istniejących rozwiązań do warunków spawania podwodnego.

Inne obszary mojej działalności naukowej związane z poruszonym w autoreferacie zagadnieniem spawania pod wodą obejmują: analizę wpływu spawania wielościegowego na ilość wodoru dyfundującego w złączach, analizy relacji między miarami ilości wodoru dyfundującego w złączach, ocenę możliwości zastosowania izolacji cieplnej do zmniejszenia prędkości stygnięcia złączy wykonanych metodą suchą, badania spawalności stali ulepszanych cieplnie, badania procesów spawania metodą lokalnej komory suchej, podwodne spawanie stali dupleks oraz stopów aluminium, wykonywanie złączy różnoimiennych typu stal niestopowa-stal wysokostopowa, badania niezgodności typu ślady zajarzania łuku, ocenę skłonności do tworzenia pęknięć gorących stali o podwyższonej wytrzymałości spawanej spoiwem austenitycznym, zastosowanie emisji akustycznej do badania propagacji pęknięć oraz pomiaru nasiąkliwości otulin elektrod dedykowanych do spawania pod wodą.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy

5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem

W 1994 roku skończyłem Technikum Samochodowe w Gdańsku i podjąłem studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Podczas studiów zainteresowałem się procesami spawalniczymi i zachowaniem materiałów podczas spajania, dlatego zdecydowałem się wybrać specjalność Technologia Maszyn i realizować pracę dyplomową pod kierunkiem Prof. dr. hab. inż. Włodzimierza Walczaka. Pracę magisterską pt.: „Badania wpływu temperatury na wytrzymałość i strukturę połączeń Al-stal w łączniku stal-Al-stop AlMg” obroniłem w październiku 2000 r. Prof. dr. hab. inż. Włodzimierz Walczak zaproponował mi podjęcie kariery naukowej i w październiku 2000 r. zostałem również przyjęty na Studium Doktoranckie „Współczesne technologie i konwersja energii” przy Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. W początkowym okresie moje zainteresowania naukowe koncentrowały się na jakości łączników zgrzewanych wybuchowo. Wyniki badań w tym zakresie prezentowałem na VI Krajowej Naukowo-Technicznej Konferencji Spawalniczej „Jakość w spawalnictwie” w Międzyzdrojach (8-10.05.2001) oraz międzynarodowej konferencji: XI. Internationale Tagung „Forschung Praxis Didaktik im modernen Maschinenbau” w Stralsundzie (Niemcy, 22.10.-24.10.2001). Równocześnie uczestniczyłem w realizacji badań do grantu KBN 7T08C01016 pt. „Badania niestacjonarnego pola temperatur pochodzącego od spawalniczych źródeł ciepła” (kierownik: prof. dr. hab. inż. Włodzimierz Walczak), a następnie zacząłem prowadzić badania spawalności stali okrętowych metodą implant. Pod wpływem Doc. dr. inż. Krzysztofa

Lesińskiego moje zainteresowania naukowe ukierunkowały się na spawanie pod wodą metodą lokalnej komory suchej. Swoje dokonania w tym obszarze referowałem podczas VII Sympozjum Spawalników w Gdańsku we wrześniu 2005 roku. W 2004 roku otworzyłem przewód doktorski, a moim promotorem został Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak. Pracę doktorską pod tytułem: „Wpływ warunków spawania na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych przy spawaniu pod wodą” obroniłem w październiku 2005 roku. Wykazałem w niej, że stal o podwyższonej wytrzymałości typu S355 charakteryzuje się ograniczoną spawalnością podczas spawania metodą lokalnej komory suchej pomimo wykorzystania jako gazu osłonowego CO₂, a także ustaliłem ilościowy wpływ warunków cieplnych reprezentowanych przez energię liniową spawania i ilości wodoru dyfundującego w stopiwie na skłonność badanej stali do tworzenia pęknięć zimnych określoną metodą implant.

W tym okresie czynnie uczestniczyłem w organizacji 6 corocznych Spotkań Spawalników Wybrzeża połączonych z Pomorskimi Sympozjami Spawalnictwa (lata 2000-2005).

Przed uzyskaniem stopnia doktora prowadziłem zajęcia laboratoryjne z przedmiotów: Spawalnictwo, Spawalnictwo II, Spajanie Materiałów, Konstrukcje Spawane, Materiały i Ich Zachowanie przy Spawaniu, Technologia Spawania, Technologia Procesów Bezwiórowych, Konstrukcje Metalowe, projekty w ramach Pracy Przejściowej, ćwiczenia rachunkowe z przedmiotu: Konstrukcje Spawane, a także byłem opiekunem 11 studentów realizujących prace dyplomowe oraz opiekunem grupy studentów podczas wycieczki specjalnościowej na targi INTERWELDING 2001 w Katowicach.

Byłem również w tym okresie wykonawcą w 6 projektach Wydziału Mechanicznego (badania własne i działalność statutowa) z zakresu technologii zgrzewania wybuchowego i spawania pod wodą oraz spawalności stali okrętowych.

5.2. Działalność prowadzona po doktoracie

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa (obecnie: Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania) Politechniki Gdańskiej, w której aktualnie pracuję.

Moja działalność naukowa w Zespole Inżynierii Spajania kierowanym przez dr hab. inż. Jerzego Łabanowskiego, poza tematyką spawalności stali pod wodą, obejmuje zagadnienia związane z oceną spawalności stali (niestopowych i odpornych na korozję) w środowisku powietrznym, badania jakości złączy zgrzewanych wybuchowo, tematykę niszczenia wodorowego złączy spawanych ze stali wysokostopowych. Rozwijam również metody badania spawalności oraz interpretacji ich wyników. W obszarze spawalności metali nieżelaznych brałem udział w pracach przy ocenie technologii spawania stopów aluminium, niklu i tytanu. Angażuję się w badania wpływu warunków przechowywania drutów proszkowych na ich jakość. Zajmuję się również typologią urządzeń spawalniczych i materiałów dodatkowych do spawania metodami data mining.

Aktywnie uczestniczę we wszystkich aspektach działalności Zespołu Inżynierii Spajania, Katedry Inżynierii Materiałowej i Spajania, Wydziału Mechanicznego i Politechniki Gdańskiej. W roku 2007 byłem członkiem Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Mechanicznego, w latach 2009 – 2016 uczestniczyłem w pracach Komisji ds. Nauki Wydziału Mechanicznego, a od roku 2013 jestem członkiem wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia. Od września 2016 r. jestem przedstawicielem grupy nauczycieli akademickich ze stopniem doktora w Radzie Wydziału Mechanicznego i uczestniczę w tym samym charakterze w obradach Senatu Politechniki Gdańskiej.

Od roku 2013 r. jestem redaktorem (associate editor) wydawanego przez Politechnikę Gdańską czasopisma naukowego *Advances in Materials Science* (11 punktów, wykaz B MNiSW).

W ramach działalności opiniotwórczej recenzowałem 10 artykułów dla czasopism z listy JCR:

1. *Materials Research Innovations* (**1**, 2014, IF=0,83),
2. *Journal of Materials Processing and Technology* (**3**, 2015-2016, IF=2,359),
3. *Materials and Design* (**2**, 2016, IF=3,997),
4. *International Journal of Hydrogen Energy* (**3**, 2016-2017, IF=3,205),
5. *Kovove Materialy-Metallic Materials* (**1**, 2017, IF=0,365)

oraz 42 artykuły dla czasopism wydawanych w języku polskim:

1. *Przegląd Spawalnictwa* (**34**, 2012-2017, 9 punktów wg wykazu MNiSW),
2. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* (**4**, 2014-2016, 11 punktów wg wykazu MNiSW),
3. *Mechanik* (**1**, 2012, 11 punktów wg wykazu MNiSW),
4. *Przegląd Mechaniczny* (**1**, 2013, 8 punktów wg wykazu MNiSW),
5. *Inżynieria Powierzchni* (**1**, 2017, 8 punktów wg wykazu MNiSW),
6. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* (**1**, 2017, 7 punktów wg wykazu MNiSW),

a także 8 artykułów dla krajowych czasopism anglojęzycznych:

1. *Metallurgy and Foundry Engineering* (**7**, 2013-2016, 9 punktów wg wykazu MNiSW),
2. *Archives of Materials Science and Engineering* (**1**, 2014, 13 punktów wg wykazu MNiSW).

Odbyłem czterotygodniowy staż przemysłowy na stanowisku spawalnika w firmie wykonującej konstrukcje spawane Pracownia Konstrukcji i Mechaniki „Techmeco”, Gdańsk (od 03.08.2009 r. do 28.08.2009 r.) oraz sześciotygodniowy (od 02.02.2014 do 16.03.2014 r.) staż naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Spawalnictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Pracowałem jako wykonawca w grantie MNiSW 3 T08C 049 28 (2005-2008): „Opracowanie modelu kwantyfikacji spawalności stali” (kierownik: dr inż. Tomasz Kozak), a od 1 czerwca 2017 jestem wykonawcą w projekcie nr POIR.01.01.01-00-0860/16 pt. „Opracowanie prototypu innowacyjnego intermodalnego kontenera modułowego składanego, do zastosowania w transporcie drogowym, kolejowym i morskim”. W latach 2007-2010 roku byłem kierownikiem grantów DS/BW dziekana Wydziału Mechanicznego dla młodych naukowców pt. „Badanie procesów spawania pod wodą” i wykonawcą w 9 innych pracach statutowych Wydziału Mechanicznego. W latach 2014-2015 brałem udział w katedralnych pracach organizacyjnych związanych z realizacją projektu: „Stworzenie nowoczesnej infrastruktury technicznej dla realizacji programu kształcenia Inżynierów Przyszłości w Politechnice Gdańskiej” współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko.

Brałem udział w opracowywaniu 8 wniosków grantowych do różnych instytucji. Jeden z wniosków uzyskał finansowanie. Opiniowałem również dwa projekty finansowane z różnych źródeł środków na badania naukowe.

Decyzją Rady Wydziału Mechanicznego zostałem powołany na funkcje promotora pomocniczego w dwóch przewodach doktorskich prowadzonych przez dr. hab. inż. Jerzego Łabanowskiego: dr inż. Aleksandry Świerczyńskiej (praca pt.: „Niszczenie wodorowe złączy spawanych ze stali ferrytyczno-austenitycznej typu superdupleks” obroniona z wyróżnieniem: 18.11.2015 r.) oraz mgr. inż. Jacka Tomków (przewód doktorski pt.: Wpływ warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej

wytrzymałości” otwarty 14.05.2014 r., przewidywany termin obrony: grudzień 2017 r.). Byłem również protokolantem na 4 obronach prac doktorskich.

W obszarze organizacji konferencji wykazywałem duże zaangażowanie. Pełniłem funkcję sekretarza 55. Naukowo-Technicznej Konferencji Spawalniczej: „Ziemia-Woda-Powietrze”, Gdańsk-Sobieszewo 2013, byłem i jestem członkiem komitetu organizacyjnego: 12 edycji Pomorskiego Sympozjum Spawalniczego w Gdańsku (od 2006 do 2017 r.), 3 edycji Konferencji Naukowo-Technicznej: „Diagnostyka Materiałów i Urządzeń Technicznych” w Gdańsku (lata: 2010, 2012 i 2014) i Konferencji Naukowo-Technicznej „Dobór i eksploatacja materiałów w konstrukcjach offshore oraz w przemyśle rafineryjnym i stoczniowym” w Gdańsku (2015). Współorganizowałem również seminarium naukowe Katedry Inżynierii Materiałowej i Spajania (20.09.2011) i 3 spotkania Koła Spawalników Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP) na Wydziale Mechanicznym (12.04.2013 r., 18.11.2016 r. i 27.04. 2017 r.).

Wygłaszałem referaty dotyczące badanych zagadnień na 3 międzynarodowych i 14 krajowych konferencjach tematycznych, uczestniczyłem w 4 sesjach plakatowych. Jestem również współautorem 38 prezentacji wygłoszonych na konferencjach międzynarodowych i krajowych. Poza tym pełniłem rolę jurora w Międzynarodowym Seminarium Doktorantów w maju 2008 w Gdańsku.

W latach 2006-2016 wykonałem 15 ekspertyz oraz 20 innych opracowań na zamówienie przedsiębiorców i innych podmiotów realizujących zadania publiczne: technologii spawania, dzienników spawania i raportów z badań odbiorowych konstrukcji budowlanych, m.in. Muzeum II Wojny Światowej, Olivia Business Center, Mercor, budynków Uniwersytetu Gdańskiego, hipermarketu IKEA, hipermarketu NOMI w Pruszczu Gdańskim, biurowca „Transatlantyk” w Gdyni, instalacji artystycznej: „Koncert na milion wstążek” w Gdańsku. W załącznikach 6 i 7 zestawiałem mój dorobek w wymienionych obszarach. Podczas realizacji prac naukowo-badawczych współpracowałem również z innymi firmami: Crist S.A., ESAB Polska Sp. z o.o., Lincoln Electric Bester Sp. z o.o., Kemppi Sp. z o.o., Fronius Polska Sp. z o.o., Remontowa S.A., Vistal Offshore Sp. z o.o., Stocznia Remontowa "NAUTA" S.A., NST Polska Sp. z o.o., PC Divers, ALSTOM Power, Secespol Sp. z o.o., Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o.

W latach 2005-2011 byłem członkiem Pomorskiego Towarzystwa Genealogicznego, a od roku 2013 jestem członkiem Koła Spawalników w Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP).

Działalność dydaktyczna

Poza działalnością naukową i organizacyjną od początku zatrudnienia silnie angażuję się w działalność dydaktyczną, w szczególności w opiekę nad studentami. Byłem promotorem 111 prac i projektów dyplomowych studentów kierunków: Mechanika i Budowa Maszyn (studia stacjonarne i niestacjonarne), Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Inżynieria Materiałowa oraz Technologie Bezpieczeństwa Wewnętrznego, w tym 67 prac stopnia inżynierskiego i 44 prace magisterskich oraz 76 recenzji prac dyplomowych (22 prac II stopnia i 54 prac I stopnia). Prowadziłem również 2 prace w języku angielskim w ramach programu Erasmus. Ponadto uczestniczyłem w 27 obronach prac dyplomowych w charakterze egzaminatora. Opiekowałem się także grupą studentów z Politechniki Śląskiej odbywającej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej praktyki (1-31.07.2014 r. - projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego).

W maju 2016 roku założyłem i zostałem opiekunem Koła Naukowego Spawalników „MMA” skupiającego obecnie 28 studentów zainteresowanych pogłębianiem wiedzy o technologiach spajania. Współpracowałem też z innymi studenckimi kołami naukowymi z Politechniki Gdańskiej (Koło Naukowe „Mechanik”, Koło Naukowe Konstruktorów

Pojazdów, Koło Naukowe Technologii Polimerów "TECH-POL"), Politechniki Śląskiej (Studenckie Koło Naukowe „SWC”) i Politechniki Warszawskiej (Spawalnicze Koło Naukowe „JOINT”). Byłem opiekunem grup studentów z Politechniki Gdańskiej i Francji podczas 2 wycieczek technicznych do Gliwic, Sosnowca i Bielawy. Poza tym jestem współautorem 6 publikacji naukowych ze studentami, których byłem promotorem. Tematyka tych prac była inspirowana prowadzonymi przeze mnie pracami badawczymi.

Po zatrudnieniu na stanowisku adiunkta prowadziłem wykłady wraz z zajęciami laboratoryjnymi z następujących przedmiotów: Materiały i Ich Zachowanie przy Spawaniu (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne i niestacjonarne), Technologia Spajania (Zarządzanie i Inżynieria Produkcji; studia stacjonarne i Mechanika i Budowa Maszyn; studia niestacjonarne), Sterowanie Procesami Spawalniczymi (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Eksploatacja i Naprawy Konstrukcji Spawanych (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Procesy i Urządzenia Spajania (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Techniki Kształtowania, Spajania i Regeneracji (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Technologie Materiałowe II (Inżynieria Materiałowa; studia stacjonarne), Technologia i Spajanie Metali (Mechatronika; studia stacjonarne i Inżynieria Mechaniczno-Medyczna; studia stacjonarne). W semestrze letnim roku akademickiego 2011/2012 prowadziłem wykłady z Technologii Materiałowych w ramach projektu "Inżynieria Materiałowa - przyszłość gospodarki". Wykładałem również przedmioty: Obróbka Metali Wybuchem (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Podstawy Nowoczesnych Technologii Materiałowych (Inżynieria Materiałowa; studia stacjonarne), prowadziłem ćwiczenia z Ekonomii (Mechatronika; studia stacjonarne i Inżynieria Mechaniczno-Medyczna; studia stacjonarne), zajęcia laboratoryjne z przedmiotów Technologia Procesów Bezwiórowych (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Konstrukcje Metalowe (Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska; studia stacjonarne i niestacjonarne), Technologie Materiałowe (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne), Programowanie Obliczeń Inżynierskich (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne) i projekty w ramach Pracy Przejściowej (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne i niestacjonarne, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji; studia stacjonarne).

Opracowałem od podstaw dwa wykłady autorskie: Spawalność Materiałów Zaawansowanych (Mechanika i Budowa Maszyn; studia stacjonarne II stopnia) oraz Źródła Wiedzy Historycznej (wybieralny przedmiot humanistyczny przeznaczony dla studentów wszystkich Wydziałów Politechniki Gdańskiej; studia stacjonarne i niestacjonarne II stopnia). Ponadto opracowałem według wytycznych Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa i prowadziłem wykłady i zajęcia laboratoryjne dla uczestników Studium Podyplomowego IWE I, IWE II i IWE III w Autoryzowanym Ośrodku Szkoleniowym Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa przy Politechnice Gdańskiej z zakresu przedmiotów: Materiały i Ich Zachowanie w Czasie Spawania, Procesy Spawalnicze i Sterowanie Procesami Spawalniczymi.

Od 2005 roku prowadziłem na zlecenie różnych podmiotów szkolenia z zakresu spawalności metali dla personelu spawalniczego wszystkich poziomów w następujących firmach: Linde Gaz Polska (Gdańsk), Flextronics (Tczew), Famos (Starogard Gdański), Nyborg Mawent (Malbork), Kromet (Elbląg), Franke (Gdynia), AIC (Gdynia), Marszał (Gdańsk), Vistal (Gdynia), Ciecholewski-Wentylacje Sp. z o.o. (Koźmin), Follet LLC (Mokry Dwór) oraz Mercor (Cieplewo).

Rozwijałem współpracę dydaktyczną z następującymi ośrodkami krajowymi: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (Pracownia Obróbki Ciepłej i Spajania), Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (Zakład Spawalnictwa), Politechnika Warszawska (Zakład Inżynierii Spajania), Politechnika Wrocławska (Zakład Spawalnictwa), Politechnika Śląska w Katowicach (Zakład Materiałów Inżynierskich) oraz

Politechnika Śląska w Gliwicach (Katedra Spawalnictwa). W zakres tej współpracy wchodziły: rozwój bazy laboratoryjnej, wymiana materiałów dydaktycznych: próbek i konspektów zajęć oraz wygłoszenie 2 prezentacji dla pracowników i studentów nt. spawalności stali pod wodą.

Za osiągnięcia dydaktyczne byłem trzykrotnie nagradzany przez Rektora Politechniki Gdańskiej (w latach 2010 i 2012 nagrodą zespołową III stopnia, a w 2015 roku nagrodą zespołową I stopnia za wyróżniającą działalność dydaktyczną).

Działalność popularyzująca naukę

Do swoich największych sukcesów w zakresie działalności popularyzującej naukę zaliczam pełnienie w latach 2013-2016 funkcji koordynatora Dnia Otwartego Wydziału Mechanicznego w ramach akcji promocyjnej POLITECHNIKA OPEN oraz autorstwo i współautorstwo następujących artykułów:

1. **Fydrych D.:** Wizyta studentów i pracowników Politechniki Gdańskiej w firmie Lincoln Electric. *Pismo PG*, 4, 2010, 20-21.
2. Krzyżankowska-Glińska A., **Fydrych D.:** Działalność Pomorskiego Towarzystwa Genealogicznego. *Pismo PG*, 6, 2010, 63.
3. Świerczyńska A., **Fydrych D.:** XIV Spotkanie Spawalników Wybrzeża i XII Pomorskie Sympozjum Spawalnictwa. *Pismo PG*, 4, 2011, 31.
4. **Fydrych D.:** XV Spotkanie Spawalników Wybrzeża. *Pismo PG*, 8, 2011, 23-24.
5. Prokop K., **Fydrych D.:** 55. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza „Spawalnictwo w trzech żywiołach. Ziemia – Woda – Powietrze”. *Pismo PG*, 9, 2013, 15-18.
6. **Fydrych D.:** Konferencja Naukowo-Techniczna „Dobór i eksploatacja materiałów w konstrukcjach offshore oraz w przemyśle rafineryjnym i stoczniowym”. *Pismo PG*, 1, 2016, 34-35.
7. **Fydrych D.:** Jubileuszowe XX Spotkanie Spawalników Wybrzeża, XVIII Pomorskie Sympozjum Spawalnictwa. *Pismo PG*, 8, 2016, 24-25.
8. **Fydrych D.:** XV Spotkanie Spawalników Wybrzeża. *Przegląd Spawalnictwa*, 1, 2012, 44.
9. Prokop K., **Fydrych D.:** 55. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza „Spawalnictwo w trzech żywiołach. Ziemia – Woda – Powietrze”. *Przegląd Spawalnictwa*, 1, 2014, 34.
10. Tomków J., **Fydrych D.:** XVII Spotkanie Spawalników Wybrzeża. XV Pomorskie Sympozjum Spawalnictwa. *Przegląd Spawalnictwa*, 1, 2014, 50.
11. **Fydrych D.:** Konferencja Naukowo-Techniczna „Dobór i eksploatacja materiałów w konstrukcjach offshore oraz w przemyśle rafineryjnym i stoczniowym”. *Przegląd Spawalnictwa*, 1, 2016, 53-54.
12. **Fydrych D.:** Jubileuszowe XX Spotkanie Spawalników Wybrzeża, XVIII Pomorskie Sympozjum Spawalnictwa, *Przegląd Spawalnictwa*, 12, 2016, 52-53.
13. **Fydrych D.:** Obrona pracy doktorskiej Krzysztofa Samsona. *Przegląd Spawalnictwa*, 3, 2017, 60.
14. Prokop K., **Fydrych D.:** 55. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza „Spawalnictwo w trzech żywiołach. Ziemia – Woda – Powietrze”. *Spajanie*, 4, 2013, 45-46.
15. Tomków J., **Fydrych D.:** XVII Spotkanie Spawalników Wybrzeża. XV Pomorskie Sympozjum Spawalnictwa. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, 1, 2014, 11-12.
16. Prokop K., **Fydrych D.:** 55. Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza „Spawalnictwo w trzech żywiołach. Ziemia – Woda – Powietrze”. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, 1, 2014, 20-22.

Poza tym organizowałem spawalnicze pokazy laboratoryjne i warsztaty podczas Dnia Otwartego Politechniki Gdańskiej oraz Bałtyckiego Festiwalu Nauki (2008-2012, 2017).

O aktualności i istotności prowadzonej przeze mnie tematyki badawczej może stanowić fakt wybrania i opublikowania tłumaczeń 4 artykułów z Przeglądu Spawalnictwa (B2,B3,B4,B11) w renomowanym czasopiśmie Welding International (Woodhead Publishing Ltd, Wielka Brytania) indeksowanym m.in. w bazie Scopus. Ponadto artykuł A10 został przetłumaczony na język portugalski i opublikowany w brazylijskim czasopiśmie Corte e Conformação de Metais (nr 134/2016), a praca B19 została przedrukowana w czasopiśmie Materiały Kompozytowe (nr 2/2017).

Pozostałe osiągnięcia

W czasie pracy na stanowisku adiunkta podnosiłem swoje kwalifikacje naukowo-badawcze, dydaktyczne i organizacyjne uczestnicząc w następujących szkoleniach:

1. Studia Podyplomowe Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (International Welding Engineer III). 2006-2007, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk i Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
2. Seminarium „Statistica blisko ciebie”. 11.10.2006, StatSoft Polska Sp. z o.o., Gdynia.
3. Seminarium „Zastosowania statystyki i data mining w badaniach naukowych”. 18.10.2006, StatSoft Polska Sp. z o.o., Warszawa.
4. Szkolenie w zakresie obsługi pakietu Statistica: „Komputerowe wspomaganie planowania i analizy statystycznej doświadczalnych badań innowacyjnych”. 16-17.05.2007, StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków.
5. Szkolenie w zakresie obsługi pakietu Statistica: „Analizy wielowymiarowe”. 29-30.05.2008, StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków.
6. Szkolenie: „Badania wizualne złączy spajanych (VT1 i VT2) stopień 2 wg normy PN-EN ISO 9712”. 4-7.11.2008, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
7. Szkolenie w zakresie obsługi pakietu Statistica: „Statystyka w medycynie-metody zaawansowane”. 17-18.10.2011, StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków.
8. Szkolenie „Przedsiębiorczy pracownik naukowy”. 10-14.12.2012; 24-28.05.2013, EPRD Biuro Polityki Gospodarczej i Rozwoju Regionalnego Sp. z o.o., Warszawa.
9. Szkolenie: Jak z sukcesem przygotować wniosek o grant. 6.06.2014, Instytut PWN, Warszawa.
10. Warsztaty: Pisanie artykułów naukowych. 21.01.2016, Centrum Promocji Informatyki, Warszawa.
11. Szkolenie z oprogramowania: Simufact.forming, Simufact.welding, MSC Nastran, MSC Apex. 22-25.02.2016, EC Engineering Sp. z o.o. Kraków.
12. Szkolenie z zakresu wykorzystania aplikacji Mendeley. 5.04.2016, Politechnika Gdańska, Gdańsk.
13. Wiley Author Workshop. Warsztaty dla autorów publikacji. Wydawnictwo Wiley, 20.04.2016, Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
14. Szkolenie w zakresie obsługi pakietu Statistica: 19.04.2016, StatSoft Polska Sp. z o.o., Gdańsk.
15. Seminarium dla redaktorów czasopism naukowych: Scopus editor seminar. Elsevier 24.05.2016, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
16. Szkolenie on-line DeGruyter z zakresu obsługi Managing Editor System, 8.06.2016.
17. Szkolenia on-line Elsevier z zakresu wykorzystania bazy Scopus do oceny renomy czasopism, dorobku naukowego naukowców i uczelni, pozyskiwania grantów oraz aplikacji czasopism do bazy, grudzień 2016.

Natomiast kompetencje z zakresu praktycznej wiedzy z procesów spawalniczych podnosiłem pełniąc różne funkcje w podmiotach zewnętrznych, m.in.:

- Odpowiedzialny za całokształt prac spawalniczych zgodnie ze Świadectwami Kwalifikacyjnymi Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach (PN-M-60009) w zakresie spawania procesami 111, 135, 136, 138, 141, 311, 78: Techmeco Home Sp. z o.o. w Pruszczu Gdańskim w okresie: 2009 - obecnie.
- Odpowiedzialny za całokształt szkolenia wg wytycznych Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach w zakresie spawania procesami 111, 131, 135, 136, 138, 141, 311: Ośrodek Szkolenia Zawodowego Gracjan Nowotarski w Gdańsku w okresie: 2010 - obecnie.

Zestawienie osiągnięć naukowych i dydaktycznych

L.p.	Wykaz osiągnięć	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
1	Publikacje w czasopiśmie wyróżnionym w Journal Citation Reports, posiadającym współczynnik wpływ (IF), wykaz A MNiSW	0	5	5
2	Publikacje w czasopiśmie nie posiadającym współczynnika wpływu (IF), indeksowanym w bazie Web of Science	0	5	5
3	Publikacje w czasopiśmie nie posiadającym współczynnika wpływu (IF), wykaz B MNiSW	0	38	38
4	Publikacje w czasopiśmie krajowym albo zagranicznym spoza wykazu MNiSW	4	6	10
5	Autorstwo monografii	0	0	0
6	Opracowania w ramach działalności statutowej i badań własnych	6	15	21
7	Patenty	0	0	0
8	Wykonanie ekspertyz i innych opracowań na zamówienie przedsiębiorców i innych podmiotów realizujących zadania publiczne	0	35	35
9	Udział w projektach badawczych	1	2	3
10	Udział w konferencjach międzynarodowych	1	3	4
11	Udział w konferencjach krajowych	2	18	20
12	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji i seminariów	5	17	22
13	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	0	1	1
14	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	0	2	2
15	Stáže w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	0	2/(10 tygodni)	2
16	Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych lub krajowych	0	62	62
17	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	0	2 (1 zakończona obroną)	2
18	Opieka naukowa nad studentami i promotorstwo prac i projektów dyplomowych	11	111 (67 inż. i 44 mgr)	122
19	Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki	0	7	7
20	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	0	3	3

Zestawienie danych bibliometrycznych

wskaźnik/baza	Web of Science	Scopus	Google Scholar
liczba cytowań	35	40	271
indeks Hirscha	3	4	8

Wydruk z bazy Web of Science:

Results found	10
Sum of the Times Cited [?]	35
Sum of Times Cited without self-citations [?]	17
Citing Articles [?]	16
Citing Articles without self-citations [?]	9
Average Citations per Item [?]	3.50
h-index [?]	3

Sumaryczna liczba punktów wg wykazu MNiSW wynosi 470 (z uwzględnieniem udziału autorskiego: 208,3), w tym liczba punktów publikacji wchodzących w skład cyklu powiązanego tematycznie: 160 (z uwzględnieniem udziału autorskiego: 91,7). Sumaryczny IF = 6,715 (w tym IF publikacji wchodzących w skład cyklu powiązanego tematycznie: 5,125).

Wykaz cytowań prac wchodzących w skład cyklu w artykułach mających w dniu złożenia Wniosku status „Article in Press” i nie uwzględnionych do tej pory w bazie Web of Science (10 cytowań):

Artykuł A2:

1. Li H., Liu D., Song Y., Yan Y., Guo N., Feng J. (2017). Microstructure and mechanical properties of underwater wet welded high-carbon-equivalent steel Q460 using austenitic consumables. Journal of Materials Processing Technology (article in Press)
2. Saini N., Pandey C., Mahapatra M. M. (2017). Effect of diffusible hydrogen content on embrittlement of P92 steel. International Journal of Hydrogen Energy (article in Press)
3. Feng J., Wang J., Sun Q., Zhao H., Laijun W., Xu P. (2017). Investigation on dynamic behaviors of bubble evolution in underwater wet flux-cored arc welding. Journal of Manufacturing Processes (article in Press)

Artykuł A3:

1. Yadav U., Pandey C., Saini N., Thakre J. G., Mahapatra M. M. (2017). Study on hydrogen-assisted cracking in high-strength steels by using the Granjon implant test. Metallography, Microstructure and Analysis (article in Press)
2. Saini N., Pandey C., Mahapatra M. M. (2017). Effect of diffusible hydrogen content on embrittlement of P92 steel. International Journal of Hydrogen Energy (article in Press)

Artykuł A7:

1. Yadav U., Pandey C., Saini N., Thakre J. G., Mahapatra M. M. (2017). Study on hydrogen-assisted cracking in high-strength steels by using the Granjon implant test. Metallography, Microstructure and Analysis (article in Press)
2. Saini N., Pandey C., Mahapatra M. M. (2017). Effect of diffusible hydrogen content on embrittlement of P92 steel. International Journal of Hydrogen Energy (article in Press)

3. Feng J., Wang J., Sun Q., Zhao H., Laijun W., Xu P. (2017). Investigation on dynamic behaviors of bubble evolution in underwater wet flux-cored arc welding. Journal of Manufacturing Processes (article in Press)

Artykuł A14:

1. Li H., Liu D., Song Y., Yan Y., Guo N., Feng J. (2017). Microstructure and mechanical properties of underwater wet welded high-carbon-equivalent steel Q460 using austenitic consumables. Journal of Materials Processing Technology (article in Press).
2. Feng J., Wang J., Sun Q., Zhao H., Laijun W., Xu P. (2017). Investigation on dynamic behaviors of bubble evolution in underwater wet flux-cored arc welding. Journal of Manufacturing Processes (article in Press)

Dariusz Fydrych