

**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. Grzegorz Rogalski
Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
grzrogal@pg.edu.pl



Gdańsk, 10.10.2018 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. Monografia	4
4.2. Autor publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa	4
4.3. Omówienie celu naukowego prac cyklu i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	4
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy.....	16
5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem	16
5.2. Działalność prowadzona po doktoracie.....	18

1. Imiona i nazwisko

Grzegorz Rogalski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe i szkolenia

- **25.09.2009** – **Dyplom Międzynarodowego Inspektora Spawalniczego (IWI – C)** (Comprehensive Level). Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
- **03 – 06. 2008** – **kurs pedagogiczny** na Politechnice Gdańskiej.
- **02.01.2006** – **certyfikat kompetencji** w zakresie badań wizualnych złączy spajanych (VT1+VT2) wg normy PN-EN 473. Instytut Spawalnictwa w Gliwicach. Recertyfikacja 02.01.2016 zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 9712.
- **22.11.2006** – **doktor nauk technicznych**; dyscyplina: *Budowa i Eksploatacja Maszyn*, specjalność: *Spawalnictwo*, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Wyznaczanie czasów stygnięcia przy spawaniu pod wodą metodą lokalnej komory suchej. Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak, recenzenci: dr hab. inż. Henryk Bugłacki, Politechnika Gdańska i prof. dr hab. inż. Andrzej Skorupa, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

- **27.01.2006** – **Dyplom Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (IWE)**. Studium Podyplomowe Europejskiego Inżyniera Spawalnika. Autoryzowany Ośrodek Szkoleniowy, Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa – Zespół Spawalnictwa. Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- **15.12.2005** – **Dyplomy Europejskiego Inżyniera Spawalnika (EWE)**. Studium Podyplomowe Europejskiego Inżyniera Spawalnika. Autoryzowany Ośrodek Szkoleniowy, Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa – Zespół Spawalnictwa. Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- **26.06.2000** – **magister inżynier**; specjalność: *Technologia maszyn*, kierunek: *Mechanika i Budowa Maszyn*, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Technologia zgrzewania i własności płyt z aluminium i stopów zbrojonych drutami stalowymi. Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak.

- **30.04.1998** – **inżynier**; specjalność: *Technologia maszyn*, kierunek: *Mechanika i Budowa Maszyn*, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk.

Temat pracy dyplomowej: Badania właściwości kompozytu drut stalowy + aluminium zgrzewanego wybuchem. Promotor: prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak.

- **28.04.1994** – **technik**; specjalność: *Eksploatacja i naprawa pojazdów samochodowych*, Technikum Samochodowe w Ciechanowie (ZSZ nr 3).

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 - 31.03.2007** – asystent: Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- **01.04.2007 - 31.10.2007** – specjalista / koordynator ds. technicznych (kierownik Laboratorium Spawalnictwa i Obróbki Plastycznej): Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- **01.11.2007 – 30.09.2017** – adiunkt: Katedra Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa (obecnie: Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania), Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- **od 01.10.2017 do chwili obecnej** – starszy wykładowca: Katedra Inżynierii Materiałowej i Spajania, Zespół Inżynierii Spajania, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

4.1. Monografia

Jako 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 (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) wskazuję **monografię** pt.:

PROGNOZOWANIE WŁAŚCIWOŚCI ZŁĄCZY SPAWANYCH POD WODĄ METODĄ LOKALNEJ KOMORY SUCHEJ.

Wskazana monografia habilitacyjna stanowi własne osiągnięcie badawczo – naukowe dotyczące spawania w środowisku wodnym ze szczególnym uwzględnieniem spawania pod wodą metodą lokalnej komory suchej oraz prognozowania właściwości złączy wykonanych tą metodą. Treść i główne wyniki badań zostały przedstawione w punkcie 4.3 niniejszego autoreferatu.

4.2. Autor publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

A.1. Rogalski Grzegorz: *Prognozowanie właściwości złączy spawanych pod wodą metodą lokalnej komory suchej*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej (Monografie 175), Gdańsk 2018.

Recenzenci wydawniczy:

1. prof. dr hab. inż. Andrzej Kolasa
2. dr hab. inż. Dariusz Golański, prof. nadzw. PW

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

Wprowadzenie

Procesy spawania znajdują zastosowanie w wielu gałęziach oraz sektorach przemysłowych. Wykorzystywane są do wytwarzania nowych wyrobów oraz modernizacji i napraw przy zastosowaniu wielu gatunków materiałów podstawowych o odmiennych właściwościach. Charakteryzują się również wieloma zmiennymi zasadniczymi, które

wpływają na możliwość ich aplikacji i jakość wykonanych połączeń. Dlatego wymagają ciągłego monitorowania i nadzorowania w zakresie prefabrykacji elementów, parametrów spawania, jakości stosowanych materiałów dodatkowych, zabiegów technologicznych (podgrzewania wstępnego, obróbki cieplnej) i innych. Z tego powodu uznane są za procesy specjalne, co zostało zdefiniowane m.in. w normie PN-EN ISO 9001. Poza standardowymi zmiennymi podanymi w normach przedmiotowych np. dotyczących kwalifikowania technologii spawania niezwykle istotne jest środowisko spawania. Może ono generować trudności, które istotnie wpływają na właściwe przeprowadzenie procesu i zapewnienie wymaganej jakości połączeń spawanych. Takim środowiskiem są akweny wodne (woda słodka i słona). Przeniesienie procesu spawania pod wodę niesie ze sobą pewne konsekwencje w zależności od zastosowanej odmiany spawania pod wodą. Do najważniejszych zagrożeń można zaliczyć: wzrost prędkości stygnięcia i skrócenie czasu $t_{8/5}$, zwiększona zawartość wodoru dyfundującego, spadek stabilności jarzenia się łuku elektrycznego, zwiększenie zawartości węgla, oraz tlenu. Czynniki te prowadzą do formowania się pęknięć w SWC, powstawania niezgodności spawalniczych typu pory gazowe oraz spadku właściwości mechanicznych.

Pomimo wskazanych problemów spawanie pod wodą znajduje zastosowanie i podlega ciągłemu procesowi rozwoju. Najczęstsze obszary zastosowania to naprawy i modernizacje istniejących obiektów. Do najistotniejszych można zaliczyć: wzmocnienia nabrzeży oraz fałochronów, budowa systemów rurociągów podwodnych (np. rurociągi wody załaczającej, rurociągi do transportu mediów paliwowych), budowy i naprawy konstrukcji mostowych, naprawy jednostek pływających (awaryjne remonty jednostek podtopionych lub zatopionych), naprawy i modernizacje platform, urządzeń portowych i stoczniowych.

Spawanie w środowisku powietrznym wymaga szczegółowej analizy, która uwzględnia wiele czynników, w tym konstrukcyjnych, metalurgicznych oraz technologicznych. Przeniesienie procesu spawania pod wodę jeszcze bardziej wymusza dokładną analizę zmiennych istotnych, tak aby można było spełnić wymagane kryteria akceptacji wynikające z norm przedmiotowych, przepisów oraz specyfikacji technicznych zleciodawcy. W przypadku spawania w środowisku powietrznym znane są narzędzia (równania, algorytmy, metody graficzne) umożliwiające prognozowanie właściwości złączy spawanych w przybliżony sposób. Zaliczyć do nich można m.in. równania do wyznaczania czasu stygnięcia $t_{8/5}$, wykresy CTPc-S, wykres Schaefflera i jego modyfikacje, równania do prognozowania twardości w zależności od równoważnika węgla oraz temperatury podgrzewania wstępnego. Dla spawania pod wodą tego rodzaju pomoce są nieliczne i zazwyczaj dotyczą spawania metodą mokrą procesem 111. W przypadku zastosowania do spawania pod wodą metody lokalnej komory suchej takich informacji nie ma lub są bardzo szczątkowe. Ze względu na fakt, że ten rodzaj spawania jest bardzo dobrą alternatywą w odniesieniu do spawania metodą mokrą (niskie koszty w porównaniu ze spawaniem suchym, trudności metalurgiczne, wyspecjalizowany personel) oraz metodą suchą (bardzo wysokie koszty robót) istotne jest aby możliwe było prognozowanie właściwości złączy spawanych. Jest to tym ważniejsze, że w obszarze, w którym znajdują zastosowanie procesy spawania pod wodą, dochodzi do bardzo dynamicznej wymiany materiałów konstrukcyjnych (stale o zwykłej, podwyższonej i wysokiej wytrzymałości, stale nierdzewne austenityczne, stale duplex), zmiany technologii wytwarzania oraz wymagań jakościowych. Ewolucja wymienionych czynników wymusza ciągłe doskonalenie stosowanych technologii oraz rozwój nowych, a narzędzia pozwalające na prognozowanie właściwości złączy spawanych wpisują się w ten obszar.

Należy również zaznaczyć, że eksploatacja różnego rodzaju konstrukcji w środowisku wodnym związana jest z pewnymi zagrożeniami w przypadku wystąpienia awarii np. awaria rurociągu transportującego ropę naftową lub platformy, która ją wydobywa może doprowadzić do katastrofy ekologicznej. Z tego względu bardzo często stosuje się analizę

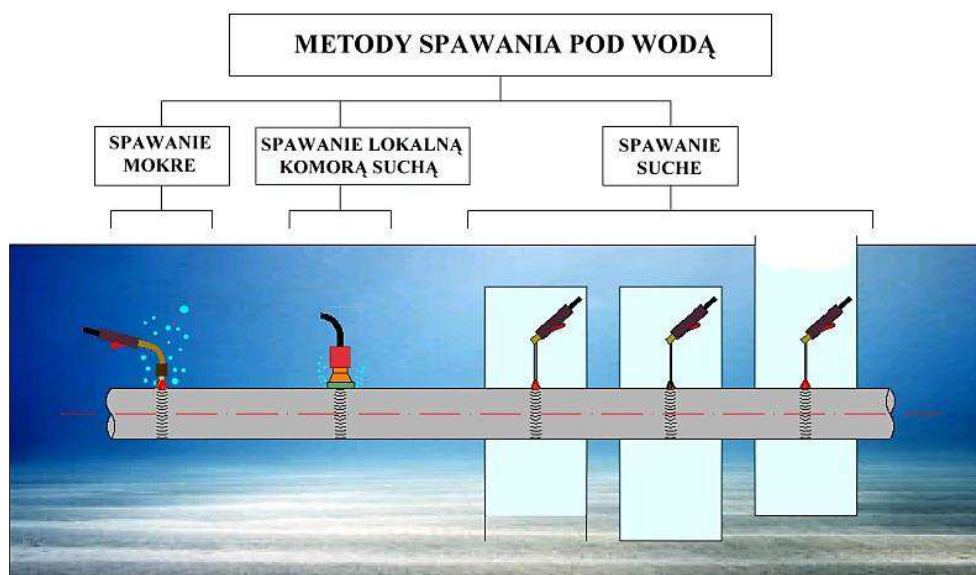
ryzyka w oparciu o doświadczenie w danym zakresie oraz narzędzia, które pozwalają na prognozowanie newralgicznych właściwości decydujących o trwałości eksploatacyjnej. Znajduje do odzwierciedlenie między innymi w obecnym wydaniu normy PN-EN ISO 9001 (rozdział 9.1) oraz przeglądzie API RP 580 dotyczącym kontroli na podstawie ryzyka (Risk Based Inspection – RBI) opublikowanym przez American Petroleum Institute. Poprzez zastosowanie skutecznych i efektywnych działań lub narzędzi ryzyko powinno być niwelowane do poziomu pozwalającego na bezpieczną i bezawaryjną pracę. Można zatem uznać, że i w tym obszarze zaproponowane modele matematyczne do prognozowania właściwości złączy spawanych pod wodą metodą lokalnej komory suchej uzupełniają stan wiedzy i stanowią istotny wkład w jej rozwój.

Głównym celem badań było opracowanie równań pozwalających na szacowanie właściwości złączy spawanych pod wodą metodą lokalnej komory suchej oraz wskazanie metodologii i narzędzi umożliwiających ich wyznaczenie oraz przedstawienie kolejnych kierunków badań.

W pierwszej części pracy omówiono rozwój technologii spawania pod wodą oraz szczegółowo scharakteryzowano poszczególne metody z uwzględnieniem wpływu warunków spawania na właściwości złączy spawanych. Wykorzystano w tym celu wyniki badań własnych oraz innych światowych ośrodków naukowych. Pozwoliło to na przedstawienie poruszanych zagadnień na tle różnych doniesień naukowych. Zaproponowano nowy podział odmian spawania pod wodą, który uwzględnia ich definicje w normach przedmiotowych PN-EN ISO 15618-1 i PN-EN ISO 15618-2 oraz przepisach AWS D3.6M. Do czynników charakteryzujących warunki spawania zaliczono następujące parametry:

- ciśnienie panujące na danej głębokości (p) [Pa];
- prędkość stygnięcia złącza (ω) [$^{\circ}\text{C/s}$];
- wilgotność w obszarze spawania (w) [g/m³].

Zaproponowany podział przedstawiono na rysunku 1 i w tabelicy 1.



Rys. 1. Podział metod spawania pod wodą

Przeniesienie procesu spawania do środowiska wodnego powoduje wyraźną zmianę wymienionych czynników, co zazwyczaj objawia się wyższymi ich wartościami. Należy jednak zaznaczyć, że intensywność zmian jest uzależniona od metody spawania pod wodą

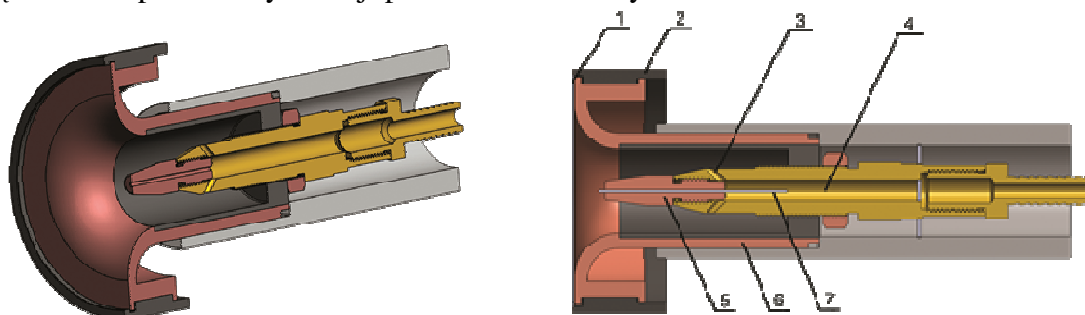
(spawanie mokre, spawanie suche, spawanie lokalną komorą suchą). Transformacji mogą ulegać wszystkie wymienione czynniki jednocześnie bądź też może ona dotyczyć dwóch lub jednego spośród nich. Zaproponowany sposób podziału metod spawania pod wodą uporządkowuje dotychczasowe rozbieżności pomiędzy przywołanymi normami z serii PN-EN ISO oraz przepisami AWS.

Tablica 1 Charakterystyka metod spawania pod wodą uwzględniająca zmianę warunków spawania

Metoda spawania	Parametry charakteryzujące warunki spawania pod wodą		
	Ciśnienie P [Pa]	Prędkość stygnięcia złącza ω [$^{\circ}\text{C/s}$]	Wilgotność bezwzględna w obszarze spawania w [g/m^3]
Spawanie mokre	$p_w > p_a$	$\omega_w \gg \omega_p$	$w_w \gg w_p$
Spawanie lokalną komorą suchą	$p_w > p_a$	$\omega_w \geq \omega_p$	$w_w \geq w_p$
Spawanie suche	$p_w \geq p_a$	$\omega_w \geq \omega_p$	$w_w \geq w_p$
p_w – ciśnienie w wodzie ω_w – prędkość stygnięcia w wodzie w_w – wilgotność w obszarze spawania w wodzie p_a – ciśnienie atmosferyczne ω_p – prędkość stygnięcia na powietrzu w_p – wilgotność w obszarze spawania na powietrzu			

Warunki w lokalnej komorze suchej

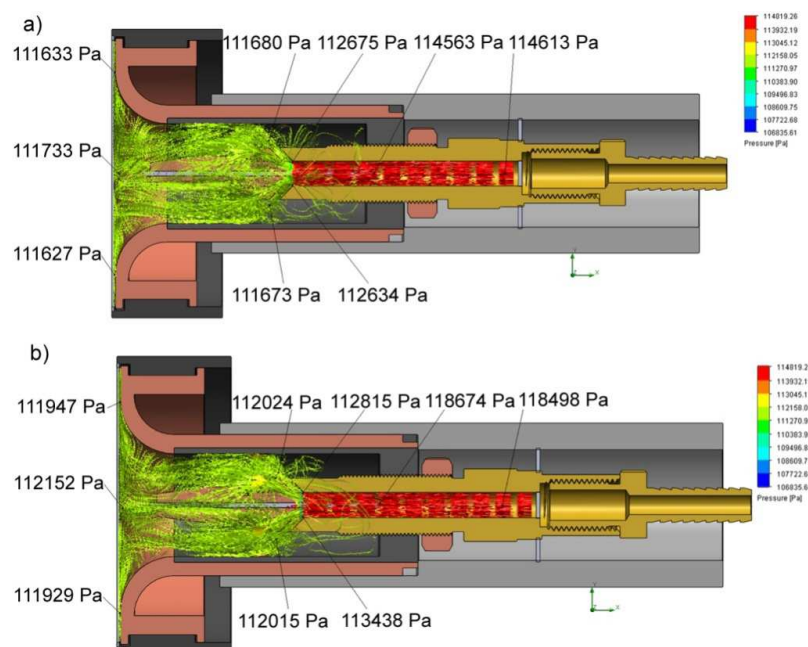
W kolejnej części monografii zweryfikowano konstrukcję zaprojektowanej lokalnej komory suchej (przestrzeni wewnętrznej) na drodze analizy numerycznej (symulowano rozkład prędkości i ciśnienia gazu osłonowego) przy zastosowaniu oprogramowania SOLIDWORKS Flow Simulation (computational fluid dynamics, CFD). Symulację przeprowadzono dla modelu turbulencji najczęściej stosowanego w CFD, czyli $k - \epsilon$, który służy do symulowania średniej charakterystyki przepływu w warunkach turbulencji. Jest to model z dwoma równaniami transportowymi opisującymi to zjawisko. Pierwsza transportowana zmienna to energia kinetyczna turbulencji (k), druga natomiast to szybkość rozpraszania energii turbulencji (ϵ). Model ten nie uwzględnia przemiany fazowej. Widok lokalnej komory suchej w przekroju 3D oraz z elementami składowymi, które zostały uwzględnione w procesie symulacji przedstawiono na rysunku 2.



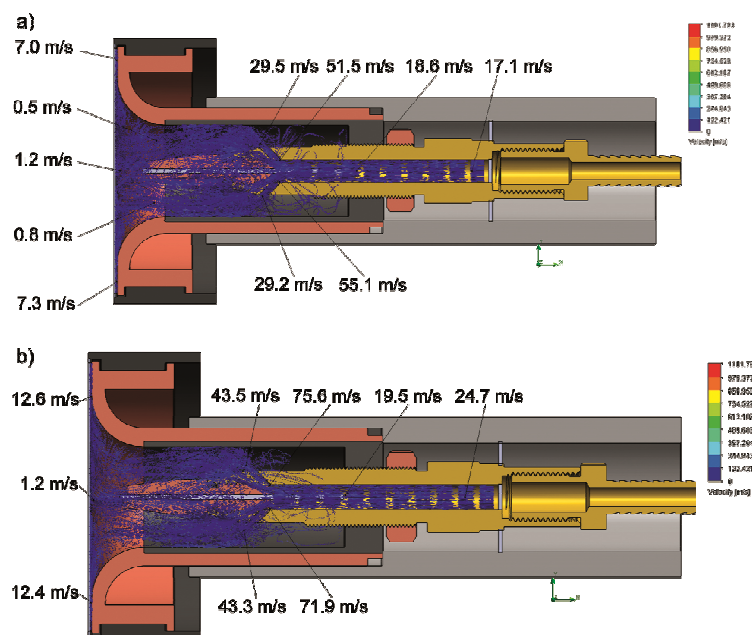
Rys. 2. Geometria lokalnej komory suchej zaimplementowanej w symulacji numerycznej: 1 – spawany element, 2 – opaska elastyczna, 3 – kanały dystrybucji gazu do komory,

4 – dysza doprowadzająca gaz, 5 – końcówka prądowa, 6 – korpus lokalnej komory suchej, 7 – materiał dodatkowy do spawania

Symulacje wykonano dla dwóch różnych gazów osłonowych (Ar i CO₂) oraz dwóch różnych wartości natężenia przepływu gazu osłonowego ($W_g = 20$ l/min i $W_g = 50$ l/min). Przykładowe wyniki symulacji dla prędkości przepływu oraz ciśnienia gazu w lokalnej komorze suchej przedstawiono na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Rozkład ciśnienia w lokalnej komorze suchej w zależności od natężenia przepływu gazu osłonowego W_g , gaz osłonowy C1 (100% CO₂): a) $W_g = 20$ l/min; b) $W_g = 50$ l/min

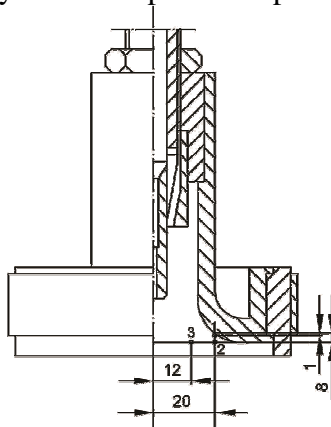


Rys. 4. Rozkład prędkości w lokalnej komorze suchej w zależności od zadanego natężenia przepływu gazu osłonowego W_g , gaz osłonowy C1 (100% CO₂): a) $W_g = 20$ l/min; b) $W_g = 50$ l/min

Na podstawie wykonanych symulacji zaobserwowano wpływ zadanej wartości natężenia przepływu gazu osłonowego na wartości prędkości w kanałach dystrybuujących gaz. Zasilanie komory gazem osłonowym o wyższych wartościach natężenia przepływu (50 l/min) powoduje uzyskanie najwyższych wartości prędkości przepływu w kanałach dystrybuujących gaz do wnętrza lokalnej komory suchej. Z uzyskanych symulacji wynika również, że dla tej samej geometrii kanałów i zadanych wartości natężenia przepływu wyższe wartości uzyskano przy zastosowaniu gazu CO₂. Jest to efektem różnicy w gęstościach gazów i wynikających stąd innych wartości masowego natężenia przepływu. Po wyjściu gazu z kanałów prędkość przepływu istotnie maleje. Dla użytych gazów oraz zadanych wartości natężenia przepływu w obszarze komory parametry się stabilizują i uzyskują zbliżone wartości, co stanowi rezultat dopracowanej geometrii komory. W obszarze jarzenia się łuku elektrycznego prędkości przepływu są najmniejsze. Jest to zjawisko korzystne ze względu na formowanie się spoiny (brak nadmiernego rozplywania się stopionego metalu) oraz stabilność jarzenia się łuku elektrycznego.

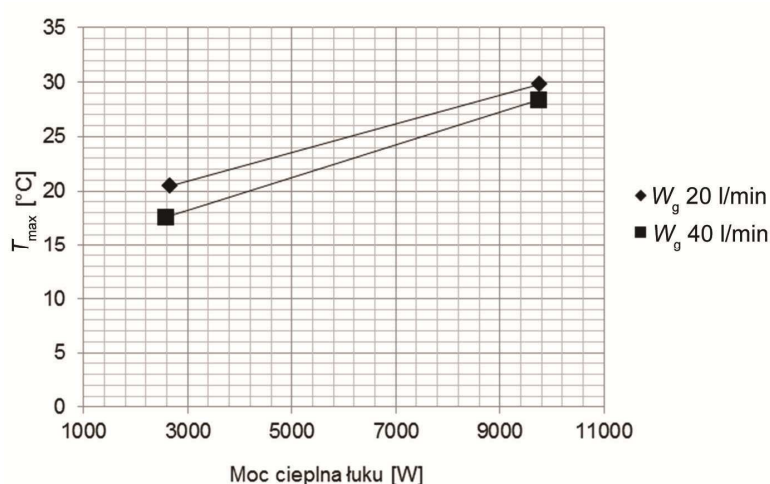
W przypadku symulacji rozkładu ciśnienia w lokalnej komorze najwyższe wartości ciśnienia uzyskano w dyszy doprowadzającej gaz do kanałów, którymi przedostaje się on do wnętrza komory. W kanałach tych następują redukcja ciśnienia oraz ukierunkowanie strumienia gazu na ścianki komory, co wynika z ich geometrii. Zaobserwowano, że dla niższych wartości natężenia przepływu gazu osłonowego (30 l/min) w dolnej przestrzeni komory (miejsce jarzenia się łuku elektrycznego) wartości ciśnienia są wyższe niż na wyjściu z komory, choć różnice są niewielkie. Odwrotną tendencję zauważono dla wyższych wartości natężenia przepływu (50 l/min), co wynika z wyższego ciśnienia gazu na wlocie i ukierunkowania jego większej ilości w przestrzeń wylotową z komory. Ułatwia to usunięcie wody z lokalnej komory suchej przed rozpoczęciem procesu spawania. Można zatem założyć, że większe wartości ciśnienia zmniejszą ilość wody na powierzchni parowania. Omawiane zjawiska są jednakowe dla Ar oraz CO₂. Konstrukcja komory zapewnia odpowiednią dystrybucję gazu oraz rozkład ciśnienia w jej wnętrzu. Różnice ciśnienia w jej przestrzeni są nieznaczne.

Analizy numeryczne rozkładu prędkości oraz ciśnienia, wykazały że zaproponowana konstrukcja komory umożliwia uzyskanie stabilnych warunków w jej wnętrzu, które umożliwiają dla określonych parametrów procesu uzyskanie warunków zapewniających stabilne jarzenie się łuku elektrycznego, a tym samym wykonanie poprawnych złączy spawanych. Analizy numeryczne zostały uzupełnione o badania empiryczne, które umożliwiły określenie warunków termicznych oraz ciśnienia panujących we wnętrzu komory. Rozkład temperatury został ustalony w zależności od wartości parametrów prądowych spawania wyrażonych mocą łuku elektrycznego oraz natężeniem przepływu gazu osłonowego. Pomiar temperatury wykonano w punktach przedstawionych na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych do wyznaczenia warunków termicznych we wnętrzu lokalnej komory suchej

Wykonane pomiary wykazały istnienie zależności pomiędzy maksymalną temperaturą panującą w lokalnej komorze suchej a natężeniem przepływu gazu osłonowego, przy zbliżonej wartości mocy łuku. Przy niższych wartościach natężenia przepływu gazu (20 l/min) uzyskano wyższe temperatury maksymalne dla każdego punktu pomiarowego. Zwiększenie tego parametru (40 l/min) wywołuje odwrotny skutek. Zaobserwowano odwrotnie proporcjonalną zależność temperatury wewnątrz komory od wartości natężenia przepływu gazu osłonowego. Wartości uzyskane dla danych warunków badania uprawniają do stwierdzenia, że warunki termiczne są wystarczające do prowadzenia właściwego procesu spawania. Otrzymane wyniki badań umożliwiły również określenie wpływu mocy łuku generowanego w czasie procesu spawania na temperaturę w lokalnej komorze (rys. 6). Dla wszystkich badanych punktów wzrost wartości mocy łuku powoduje wzrost temperatury w analizowanym obszarze. Wykonane pomiary wykazały też, że korelacja mocy łuku o najwyższych wartościach i natężenia przepływu gazu osłonowego wywołuje duże różnice temperatury dla punktów 1 oraz 2. W punkcie 3 gradient temperatury jest niewielki. Zidentyfikowane warunki termiczne w lokalnej komorze suchej są odpowiednie do uzyskania stabilnej osłony gazowej, która przy uwzględnieniu pozostałych zmiennych istotnych procesu umożliwia wykonanie poprawnych złączy spawanych.



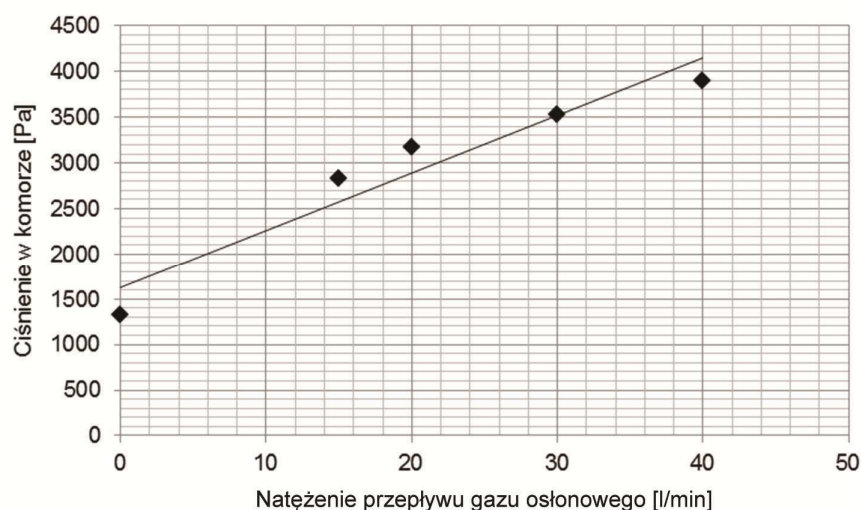
Rys. 6. Wpływ mocy cieplnej łuku i wartości natężenia przepływu gazu na temperaturę maksymalną w punkcie 1 zgodnie z rysunkiem 6

Wykonano pomiary ciśnienia w lokalnej komorze suchej przy różnym natężeniu przepływu gazu osłonowego. Z przeprowadzonych badań wynika (rys. 7), że wzrost natężenia przepływu gazu osłonowego powoduje wzrost ciśnienia w lokalnej komorze, co było zależnością oczekiwaną. Wartość ciśnienia dla prędkości gazu osłonowego równej zero jest równa ciśnieniu hydrostatycznemu na danej głębokości i rośnie wraz z natężeniem przepływu. Wyznaczając równanie linii trendu przedstawionej na rysunku 7, uzyskano zależność, która pozwala na wyznaczenie ciśnienia w komorze w zależności od natężenia przepływu gazu osłonowego:

$$y = 62,837x + 1631,4 \quad (1)$$

gdzie: y – ciśnienie w komorze [Pa],

x – natężenie przepływu gazu osłonowego [l/min].



Rys. 7. Wpływ natężenia przepływu gazu osłonowego na ciśnienie panujące w lokalnej komorze suchej

Dodatkowo ustalono skład chemiczny gazu, który jest efektem reakcji zachodzących podczas procesu spawania we wnętrzu lokalnej komory przy zastosowaniu gazu osłonowego typu C1 (100% CO₂). Z analiz przeprowadzonych chromatografem gazowym wynika, że przy zastosowanym gazie osłonowym (C1) podczas spawania pod wodą zachodzą reakcje chemiczne charakterystyczne dla spawania w środowisku powietrznym. Oznacza to, że warunki panujące w lokalnej komorze suchej są takie same jak podczas spawania na powietrzu. Ustalono również czas potrzebny do usunięcia wody z wnętrza komory, ponieważ rozpoczęcie i zakończenie procesu spawania charakteryzują się najmniej stabilnymi parametrami spawania oraz stabilnością łuku. Często generuje to powstawanie niezgodności na początku i końcu spoiny. Ustalono na podstawie badań, że czas niezbędny do usunięcia wody z jej wnętrza mieścił się w zakresie 5–7 s. W takim samym zakresie czasowym woda wypełniała komorę po wyłączeniu zasilania gazem. Dla założonych warunków obserwacji nie stwierdzono istotnego wpływu wartości natężenia przepływu gazu osłonowego na czas usuwania wody z komory. W przypadku nieprawidłowego docisku symulującego przechylenie komory o 10° nawet wysoka (50 l/min) wartość natężenia przepływu gazu nie zapewniała właściwej ochrony obszaru pod komorą. Nieodpowiednie dociśnięcie komory przez opaskę elastyczną do spawanych elementów powoduje wtargnięcie wody w obszar jarzenia się łuku elektrycznego i formowanie się niezgodności spawalniczych.

Zaproponowano również metodologię wyznaczania modeli matematycznych (równań) oraz weryfikowania ich jakości na drodze analiz statystycznych. Opracowane równania pozwalają na prognozowanie następujących parametrów:

- pracy łamania,
- twardości w SWC,
- czasów stygnięcia $t_{8/5}$.

Badania wykonano dla stali niestopowych stosowanych w przemyśle stoczniowym.

Dokonano również analizy wpływu zmiennych istotnych procesu spawania na wytrzymałość na rozciąganie R_m oraz zidentyfikowano i opisano mechanizmy dystrybucji ciepła podczas spawania pod wodą metodą lokalnej komory suchej (wrzenie pęcherzykowe oraz błonowe).

Praca łamania

Badaniom udarności poddano próbki ze złączy wykonanych na głębokościach 5, 40, 100 oraz 200 m, przy zastosowaniu mieszaniny gazu Ar + O₂ w proporcjach 98% Ar + 2% O₂, 96% Ar + 4% O₂, 94% Ar + 6% O₂, 92% Ar + 8% O₂.

Wyznaczono równanie do prognozowania pracy łamania (KV) o postaci:

$$KV = -7,96 - 3,18 \times R_g + 16,39 \times \text{ściegi} \quad (2)$$

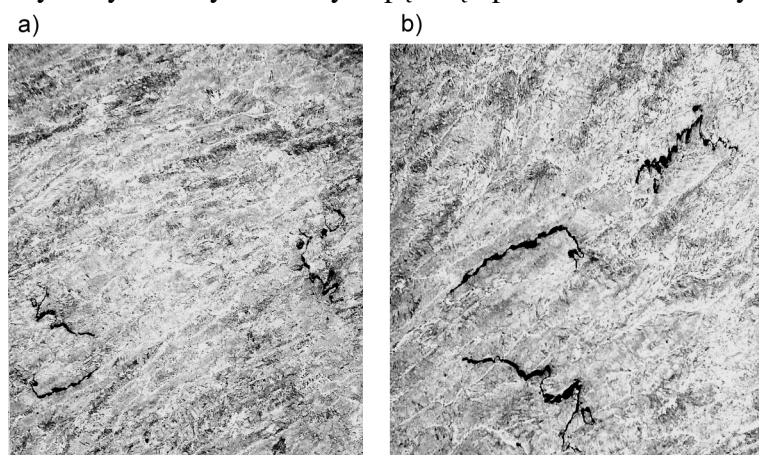
gdzie:

KV – prognozowana praca łamania [J],

R_g – rodzaj zastosowanego gazu osłonowego o różnej zawartości O₂ [%],

ściegi – liczba ściegów.

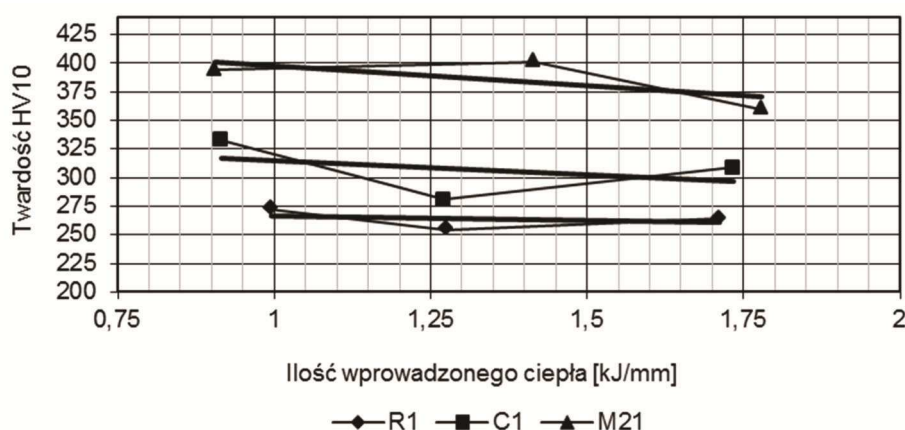
Ustalono również, że wraz z głębokością spawania praca łamania maleje. Spadek ten może wynikać ze spadku stabilności jarzenia się łuku elektrycznego, czego efektem najczęściej są mikroniezgodności spawalnicze, w tym mikropęcherze oraz mikropęknięcia. Badania metalograficzne mikroskopowe ujawniły obecność pęknięć dla próbek wykonanych na głębokościach 100 i 200 m. Na mniejszych głębokościach stwierdzono występowanie mikropęcherzy. Przykłady zidentyfikowanych pęknięć przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Widok pęknięć zlokalizowanych w warstwie licowej dla próbki wykonanej na głębokości 100 m (1/100): a) pow. $\times 50$; b) pow. $\times 200$; trawienie nitałem (Mi1Fe)

Twardość SWC

Głównym celem badań było wyznaczenie równania pozwalającego na prognozowanie twardości w zależności od ilości wprowadzonego ciepła oraz rodzaju zastosowanego gazu osłonowego. Określono również wpływ wymienionych czynników na strukturę próbek. Do wykonania próbek użyto trzech rodzajów gazów osłonowych, oznaczonych według PN-EN ISO 14175 jako C1 (100% CO₂), M21 (18% CO₂ + 82% Ar), R1 (5% H₂ + 95%Ar). Przykładową zależność przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Wpływ ilości wprowadzonego ciepła oraz rodzaju gazu osłonowego na twardość maksymalną SWC

Zaobserwowane zależności wykazały wpływ badanych czynników na twardość, jednak nie pozwalały stwierdzić, który z nich jest istotny oraz czy pomiędzy nimi zachodzi interakcja. W tym celu zastosowano analizę statystyczną. Badania przeprowadzono według planu statycznego, zdeterminowanego, trójpoziomowego, dwuczynnikowego PS/DK-32. Otrzymane równanie ma następującą postać:

$$HV10_{max} = -1031528,53 + 20255,59 \times y - 99,39 \times y^2 \quad (3)$$

gdzie: y – rodzaj gazu osłonowego

Czasy stygnięcia $t_{8/5}$

Z punktu widzenia możliwości prognozowania właściwości w SWC czas stygnięcia $t_{8/5}$ jest parametrem bardzo informatywnym. Analizę statystyczną otrzymanych wyników badań przeprowadzono przy zastosowaniu regresji powierzchni odpowiedzi, co umożliwiło opracowanie modelu składającego się z członów liniowych, kwadratowych oraz interakcji pomiędzy nimi. Otrzymane równanie do prognozowania czasu stygnięcia $t_{8/5}$ ma następującą postać:

$$t_{8/5} = -3,61 + 0,3843 \times g - 0,023 \times g^2 + 8,445 \times el - 3,41 \times el^2 + 0,1984 \times g \times el \quad (4)$$

gdzie:

$t_{8/5}$ – czas stygnięcia w zakresie temperatur od 800 do 500°C [s],

g – grubość elementów [mm],

el – ilość wprowadzonego ciepła [kJ/mm].

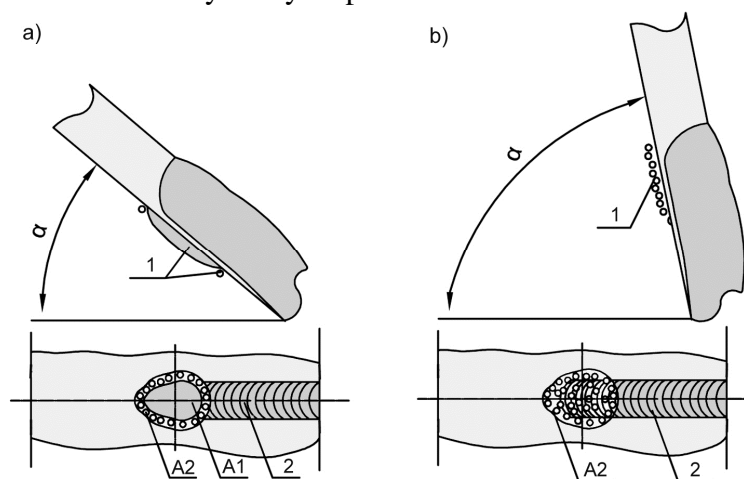
Opracowane równanie można stosować do prognozowania czasów stygnięcia $t_{8/5}$ przy spawaniu pod wodą metodą lokalnej komory suchej i dla założonych warunków eksperymentu (grubości elementów oraz ilości wprowadzonego ciepła).

Porównanie wyników badań z symulacji komputerowej oraz rzeczywistych pomiarów cykli cieplnych wykazuje różnice w uzyskanych wartościach. Stwierdzono, że jest to efektem uwzględnienia przez pomiar *in situ* mechanizmów odpowiadających za odbiór ciepła z badanych elementów. Symulacja dla założonych warunków wykazała krótsze czasy

stygnięcia w porównania z wartościami uzyskanymi eksperymentalnie. Stwierdzono, że zastosowanie lokalnej komory suchej prowadzi do wydłużenia czasu stygnięcia, co stanowi jej główną funkcję oraz zaletę i potwierdza jej przydatność przy spawaniu pod wodą.

Dystrybucja ciepła

Mechanizmy dystrybucji ciepła przy spawaniu pod wodą są znacznie bardziej intensywne niż w przypadku spawania w powietrzu. Wynika to bezpośrednio z różnicy pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi powietrza i wody. Konsekwencją ich oddziaływania są odmienne warunki stygnięcia złącza, co przekłada się na uzyskane właściwości. Na podstawie wykonanych badań zidentyfikowano mechanizmy dystrybucji ciepła do których zaliczono wrzenie błonowe oraz pęcherzykowe. Występują one na powierzchniach granicznych spawanych elementów. Stwierdzono, że w przypadku spawania w pozycji podolnej lub innych, gdy kąt ustawienia spawanych elementów jest niewielki, dominującą rolę odgrywa wrzenie błonowe. Wraz ze zmianą kąta intensywność oddziaływania zmienia się na korzyść wrzenia pęcherzykowego. Zdaniem autora mechanizm wymiany ciepła od strony grani przebiega w bardzo charakterystyczny sposób. Pęcherze będą się odrywać i przemieszczać na skutek różnicy gęstości. Podstawowym mechanizmem jest wrzenie pęcherzykowe. Na rysunku 10 przedstawiono wpływ zmian kąta ustawienia płyt w czasie procesu spawania na formowanie się mechanizmów wymiany ciepła.



Rys. 10. Płyta umieszczona pod kątem. Wpływ zmiany kąta na sposób odprowadzania ciepła z łączonych elementów: a) kąt α , przy którym zachodzi proces wrzenia pęcherzykowego oraz błonowego; b) kąt charakterystyczny dla pozycji naściennej, przy którym zachodzi tylko wrzenie pęcherzykowe; 1 – obszary występowania procesów wrzenia, 2 – grani spoiny lub dolna powierzchnia graniczna, A1 – obszar wrzenia błonowego, A2 – obszar wrzenia pęcherzykowego

Zaobserwowane zjawiska opisano równaniem Rohsenowa, które charakteryzuje wrzenie z wykorzystaniem współczynników empirycznych zależnych od materiału oraz równaniem Mostińskiego, w którym do określenia współczynnika przejmowania ciepła wykorzystano jedynie właściwości fizykochemiczne i gęstość strumienia ciepła. Wykonane działania pozwoliły na opracowanie równania opisującego strumień ciepła od powierzchni grani w następującej postaci:

$$Q = \alpha_{\text{cał}} \cdot \Delta T_e \cdot A \quad (5)$$

gdzie:

Q – strumień ciepła [W],

$\alpha_{\text{cał}}$ – uśredniony współczynnik przejmowania ciepła dla wrzenia i radiacji [W/m²],

ΔT_e ($\Delta T_e = T_s - T_{\text{sat}}$) – różnica pomiędzy temperaturą powierzchni grani a temperaturą nasycenia wody dla danej głębokości (temperatura saturacji) [K] lub [°C]

A – analizowana powierzchnia stanowiąca sumę A_1 i A_2 [m²], [mm²].

Wytrzymałość na rozciąganie R_m

W ramach określenia wytrzymałości złączy spawanych pod wodą metodą lokalnej komory suchej wykonano badania rozpoznawcze oraz właściwe. W ramach badań rozpoznawczych badaniom poddano próbki ze złączy wykonanych na głębokościach 10, 20, 30 m przy zastosowaniu gazów osłonowych I1 (100% Ar) oraz C1 (100% CO₂). Stwierdzono, że złącza próbne bez niezgodności spawalniczych objętościowych, powierzchniowych oraz geometrycznych niezależnie od badanej zmiennej (głębokości spawania, ilości wprowadzonego ciepła) spełniają kryterium akceptacji dla badanego gatunku stali, w tym przypadku 410 MPa. Wpływ głębokości spawania oraz ilości wprowadzonego ciepła dla gazu osłonowego I1 jest niewielki. Wszystkie otrzymane wartości znacznie przekraczają założone kryterium akceptacji. Dla gazu osłonowego C1 nie stwierdzono takiej sytuacji. Wzrost głębokości spawania oraz ilości wprowadzonego ciepła prowadzi do zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie, ale są to wartości wyższe od minimalnego wymagania dla R_m , określonego normą przedmiotową. W kolejnym etapie (badania docelowe) wykonano złącza próbne na głębokościach 5, 40, 100 oraz 200 m przy zastosowaniu mieszaniny gazu Ar + O₂ w następujących proporcjach: 98% Ar + 2% O₂, 96% Ar + 4% O₂, 94% Ar + 6% O₂, 92% Ar + 8% O₂. Określono wpływ głębokości, ilości wprowadzonego ciepła, liczby ściegów oraz zawartości O₂ w gazie osłonowym na zmiany wytrzymałości na rozciąganie złączy spawanych. Wykazano, że dla założonych warunków eksperymentu oddziaływanie czynników wejściowych na badany parametr jest niewielki. Wzrost wytrzymałości zanotowano przy wzroście zawartości tlenu w gazie osłonowym, ale był on nieznaczny. Wszystkie próbki bez niezgodności spawalniczych i niezależnie od badanego czynnika spełniają kryterium akceptacji dla badanego gatunku stali (400 MPa). Dodatkowo określono wpływ niezgodności spawalniczych oraz geometrii próbki (rozciąganie próbek z pozostawionym nadlewem oraz granią spoiny) na wytrzymałość złączy spawanych. Stwierdzono, że niezgodności w istotny sposób wpływają na wytrzymałość połączeń spawanych, szczególnie brak przetopu oraz przyklejenie brzegowe, które dla poziomu jakości B zgodnie z PN-EN ISO 5817 są niedopuszczalne. W przypadku pęcherzy gazowych oraz wtrąceń żużla o dużej intensywności zaobserwowano podobne oddziaływanie. W żadnej z badanych próbek nie stwierdzono występowania pęknięć. Wykonane badania na zginanie wykazały istotny wpływ niezgodności spawalniczych na plastyczność połączeń. Uzyskano kąty zginania poniżej dopuszczalnego kryterium akceptacji 180°. Pęknięcia w obszarze grani i lica spoiny generowane były od kąta gięcia 10°, co świadczy o istotnym wpływie niezgodności na właściwości plastyczne.

Podsumowanie

W przypadku procesu spawania istnieją tzw. zmienne zasadnicze, które odgrywają istotną rolę w procesie kształtowania złączy spawanego. Ich wpływ bada się w odniesieniu do różnych standardów, np. norm, przepisów oraz specyfikacji technicznych. Pozwalają one na wyznaczenie zakresów stosowania zmiennych istotnych, które prowadzą do uzyskania złączy

spawanych spełniających wymagania odnośnie do warunków użytkowania oraz zadanych obciążeń. Wymagania stawiane złączom spawanym pod wodą są bardzo często wysokie, podobnie jak podczas spawania w środowisku powietrznym. To determinuje potrzebę określenia ich właściwości poprzez badania empiryczne oparte na przepisach AWS D3.6M czy normie PN-EN ISO 15614-9. Nie ma jednak ogólnie dostępnych narzędzi umożliwiających ich prognozowanie na podstawie równań uwzględniających specyfikę spawania metodą lokalnej komory suchej oraz warunki realizacji prac. Przedstawione w monografii badania i wyznaczone na ich podstawie modele matematyczne uzupełniają dotychczasowy stan wiedzy na ten temat. Wpisują się w nurt badań realizowanych na całym świecie. Prognozowanie właściwości złączy spawanych pozwala na uwzględnienie warunków spawania w procesie technologicznym, co z jednej strony wpływa na warunki eksploatacyjne (zmniejsza ryzyko awarii), a z drugiej prowadzi do optymalizacji procesu. Przekłada się to na uzyskanie połączeń charakteryzujących się dobrymi właściwościami i uwzględnienie analizy ryzyka w procesach projakościowych. Jest to bardzo istotne w odniesieniu do prac wykonywanych pod wodą, dla których warunki wykonania złączy oraz ich eksploatacji są diametralnie odmienne od warunków prac wykonywanych w środowisku powietrznym.

Wykazano również, że dla poprawnie zaprojektowanego eksperymentu możliwa jest analiza przy zastosowaniu różnych narzędzi statystycznych (analiza wariancji ANOVA, regresji wielorakiej, powierzchni odpowiedzi), a opracowane modele wykazują dobre dopasowanie wyników przewidywanych opracowanym równaniem do wartości uzyskanych podczas eksperymentu. Należy jednak pamiętać, że wyniki badań statystycznych muszą być poddane weryfikacji merytorycznej. Takie postępowanie umożliwia – poza wyznaczeniem modelu matematycznego – uzasadnienie wpływu poszczególnych czynników wejściowych na wielkość szukaną.

Przedstawione możliwości wyznaczania modeli matematycznych pozwoliły na określenie kolejnych kierunków badań, wśród których do najważniejszych można zaliczyć:

- rozszerzenie zakresu badań o różne gatunki stali używane do budowy konstrukcji pracujących w środowisku wodnym, np. stale o wysokiej granicy plastyczności stosowane do budowy platform wiertniczych;
- uwzględnienie w badaniach spawania z zastosowaniem techniki ściegu odpuszczającego;
- rozszerzenie równania do wyznaczania czasów stygnięcia $t_{8/5}$ o dodatkowe zmienne, np. pozycję spawania;
- określenie ilościowego wpływu niezgodności spawalniczych na właściwości mechaniczne złączy spawanych,
- podjęcie próby modelowania numerycznego spawania pod wodą metodą lokalnej komory suchej przy zastosowaniu metody elementów skończonych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy

5.1. Działalność prowadzona przed doktoratem

W 1994 roku skończyłem Technikum Samochodowe w Ciechanowie (ZSZ Nr 3) i podjąłem studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn. Podczas studiów szczególnie zainteresowałem się procesami spajania oraz dziedzinami z nimi związanymi np. inżynierią materiałową. Z tego powodu zdecydowałem się wybrać specjalność Technologia Maszyn i realizować prace dyplomowe pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Włodzimierza Walczaka na studiach inżynierskich (I stopnia) oraz magisterskich (II stopnia). Prace dyplomowe związane były z tematyką zgrzewania wybuchowego, szczególnie wytwarzania tą metodą kompozytów metalowych.

Temat pracy dyplomowej inżynierskiej dotyczył badania właściwości kompozytu drut stalowy + aluminium zgrzewanego wybuchem, natomiast tematem pracy dyplomowej magisterskiej technologii zgrzewania i własności płyt z aluminium i stopów zbrojonych drutami stalowymi. Kształcenie zakończyłem stopniem mgr. inż. w roku 2000. Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak zaproponował mi podjęcie kariery naukowej i w październiku 2000 r. zostałem przyjęty na Studium Doktoranckie „Współczesne technologie i konwersja energii” przy Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. W początkowym okresie moje zainteresowania wciąż były ukierunkowane na zgrzewanie wybuchowe oraz technologie łączenia wyrobów wytwarzanych tą metodą, np. spawanie łączników aluminium-stal czy wysokostopowa nierdzewna stal austenityczna – tytan. Wyniki badań w tym zakresie prezentowałem na VI Krajowej Naukowo – Technicznej Konferencji Spawalniczej „Jakość w spawalnictwie” w Międzyzdrojach (8–10.05.2001). Następnie zająłem się zagadnieniami związanymi z metalurgią spawania oraz pomiarami spawalniczych cykli cieplnych, co związane było z badaniami realizowanymi w KTMMIS (obecnie Zespół Inżynierii Spajania). Dotyczyły one „Badania niestacjonarnego pola temperatur pochodzącego od spawalniczych źródeł ciepła”. Efektem tych działań było sprawozdanie z grantu badawczego KBN 7T08C01016, w którym uczestniczyłem jako wykonawca. W kolejnych latach moje zainteresowania ewoluowały od normalizacji procesów spawalniczych poprzez spawalność różnych grup materiałów konstrukcyjnych i kończąc na spawaniu pod wodą. To ostatnie zainteresowanie związane było z działalnością prowadzoną w ówczesnej Katedrze Technologii Materiałów Maszynowych i Spawalnictwa przez Doc. dr. inż. Krzysztofa Lesińskiego. Swoje dokonania w tym obszarze referowałem podczas VII Sympozjum Spawalników w Gdańsku we wrześniu 2005 roku. W 2005 roku otworzyłem również przewód doktorski, a moim promotorem został Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Walczak. Pracę doktorską pod tytułem: „Wyznaczanie czasów stygnięcia przy spawaniu pod wodą metodą lokalnej komory suchej” obroniłem w 2006 roku. Wykazałem w niej, że możliwe jest wyznaczanie czasów stygnięcia $t_{8/5}$ pod wodą, zbudowałem stanowisko badawcze, opracowałem autorski sposób pomiaru rzeczywistych cykli cieplnych spawania w środowisku wodnym oraz udowodniłem istotny wpływ ilości wprowadzonego ciepła i grubości elementów na charakterystykę spawalniczych cykli cieplnych. Na realizację pracy doktorskiej uzyskałem Grant Promotorski nr.: 3 T08C 053 28 (Nr. Umowy 1017/T08/2005/28), którego byłem autorem / koordynatorem oraz głównym wykonawcą. W tym okresie czynnie uczestniczyłem w organizacji 7 corocznych Spotkań Spawalników Wybrzeża połączonych z Pomorskimi Sympozjami Spawalnictwa (lata 2000 – 2006). Przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych 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 9 studentów realizujących prace dyplomowe. W 2002 roku byłem również opiekunem grupy studentów ze specjalności „Spawalnictwo” podczas wycieczki specjalnościowej na targi INTERWELDING 2002 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. Uczestniczyłem w corocznych sympozjach Środowiskowego Studium Doktoranckiego (2001 r. – 2004 r.) przy Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej, na których wygłaszałem referaty z zakresu spawania pod wodą.

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 spawania pod wodą, obejmuje zagadnienia związane z spawalnością stali odpornych na korozję (stale nierdzewne austenityczne, ferrytyczne, duplex), stali do pracy w podwyższonych temperaturach (P5, P11, P22, P91), bimetali zgrzewanych wybuchowo (np. stal konstrukcyjna – monel), niklu i jego stopów (np. Inconel 625, Incoloy 800HT), tytanu i jego stopów (Gr.1, Gr.2), stopów miedzi Cu-Ni (Cunifer). Innym obszarem mojej działalności jest normalizacja w procesach spawania, która dotyczy kwalifikowania i certyfikowania według odpowiednich norm przedmiotowych oraz przepisów (np. PN-EN ISO 15614-1, PN-EN ISO 15614-8, PN-EN ISO 15613, PN-EN ISO 9606-1, 2, 3, 4, 5, ASME Sec. IX) oraz systemów zarządzania jakością (np. PN-EN ISO 3834, PN-EN 1090, PN-EN ISO 9001). W ostatnim czasie szczególnie skupiłem się na procesie lutowania próżniowego stali nierdzewnych austenitycznych, czego efektem są wykonywane badania i w niedalekiej przyszłości publikacje naukowe.

W obszarze spawalności materiałów konstrukcyjnych brałem i biorę udział w pracach przy projektowaniu i ocenie technologii spawania oraz jej kwalifikowaniu zgodnie z odpowiednimi normami i przepisami, w tym towarzystw klasyfikacyjnych zrzeszonych ICAS (International Association of Classification Societies) np. DNV-GL, PRS, ABS. Moje działania w tym obszarze związane są również z przemysłem stoczniowym, rafineryjnym oraz energetycznym, gdzie współpracuję z jednostkami certyfikowanymi i notyfikowanymi np. UDT, TUV NORD, PRS.

Aktywnie uczestniczę we wszystkich aspektach działalności Zespołu Inżynierii Spajania, Katedry Inżynierii Materiałowej i Spajania, Wydziału Mechanicznego i Politechniki Gdańskiej łącznie z pozyskiwaniem materiałów wykorzystywanych w ramach realizowanych zajęć laboratoryjnych oraz badań naukowych. Dotyczy to materiałów podstawowych w formie różnych półwyrobów oraz materiałów dodatkowych.

Od roku 2008 do 2015 roku byłem redaktorem (associate editor) wydawanego przez Politechnikę Gdańską czasopisma naukowego Advances in Materials Science (11 punktów, wykaz B MNiSW).

W ramach działalności opiniotwórczej recenzowałem 2 artykuły dla czasopisma z listy JCR:

1. Journal of Materials Processing and Technology (**2**, 2017-2018, IF=3,647),
oraz **41** artykułów dla czasopism wydawanych w języku polskim:

1. Przegląd Spawalnictwa (**31**, 2012-2018, 9 punktów wg wykazu MNiSW),
2. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa (**9**, 2014-2018, 11 punktów wg wykazu MNiSW),
3. Inżynieria Maszyn (**1**, 2014, 6 punktów wg wykazu MNiSW)

a także **4** artykuły dla krajowego czasopisma anglojęzycznego:

1. Metallurgy and Foundry Engineering (**4**, 2013-2016, 9 punktów wg wykazu MNiSW),

Wykonałem również opinie na zlecenie firm zewnętrznych. Najważniejsze z nich to:

1. Opinia na zlecenie firmy Kemppi Sp. z o.o., ul. Borzymowska 32, Warszawa na temat: Urządzenia do spawania procesem 141 (TIG) MasterTig MLS 2300. 2012.

2. Opinia na zlecenie ESAB Poland na temat urządzenia do spawania procesem 121 (SAW) firmy ESAB, model: Automat spawalniczy A2 Multiarc ze źródłem prądu LAF 1001. 2013.
3. Opinia na zlecenie Przedsiębiorstwa Budowlanego Górski Sp. z o.o. SKA z siedzibą w Gdańsku, ul. Wita Stwosza 31A/31 na temat: Ocena możliwości naprawy złączy spawanych w pompie do mieszanki betonowej typu SPB85W.32-28R4. Konstrukcja wykonana ze stali 18G2A oraz Weldox 700. 2013.
4. Opinia na zlecenie firmy HYDROMEGA Sp. z o.o., ul. Wrocławska 93, Gdynia na temat: Możliwości spawania stali duplex UNS S31803 ze stalą wysokostopową nierdzewną austenityczną 316L (Wr. Nr.: 1.4404). 2010.
5. Opinia na zlecenie firmy Marszał Sp. z o.o. , ul. Handlowa, Gdańsk na temat: Materiałów dodatkowych do spawania firmy Böhler (pręty do spawania procesem 141 stali nierdzewnych austenitycznych, drut lity do spawania procesem 135 stali nierdzewnych austenitycznych). 2013.
6. Opinia o innowacyjności projektu urządzenia do przetwarzania odpadów gumowych metodą termolizy firmy TTU Urbanowicz Sp. z o.o. Gdańsk 2017.

Odbyłem trzy staże przemysłowe (każdy sześciotygodniowy) w przedsiębiorstwach polskich (SECESPOL Sp. z o.o. – od 15.08.2011 r. do 29.09.2011 r., T.T.U Urbanowicz – od 10.08.2015 r. do 18.09.2015 r., SEC Pomorze – od 18.08.2014 r. do 30.09.2014 r.), zajmujących się wytwarzaniem różnego rodzaju konstrukcji spawanych oraz jeden staż przemysłowy zagraniczny (czterotygodniowy) w firmie SEC NORGE (od 02.09.2013 r. do 30.09.2013 r.). Staże te pozwoliły na współpracę z przedsiębiorstwami, czego wynikiem jest opracowanie i wdrożenie dwóch zintegrowanych systemów zarządzania jakością (PN-EN ISO 3834-2, PN-EN ISO 1090, OHSAS 18001), jednego systemu jakości opartego o wymagania PN-EN ISO 3834-2 oraz ISO 9001 oraz systemów zgodnych z innymi standardami np. ASME, 3A, China ML. Innym ważnym aspektem współpracy ze środowiskiem przemysłowym jest opracowanie i wdrożenie kilkudziesięciu technologii spawania dla różnych grup materiałowych oraz technologii lutowania próżniowego. Szczegółowe informacje dotyczące wybranych wdrożonych technologii w przemyśle przedstawiono w załącznikach (Karty Aplikacji Produktu).

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. Obecnie jestem kierownikiem prac badawczo – rozwojowych w granie uzyskanym w ramach szybkiej ścieżki NCBiR: POIR.01.01.01-00-1313/17: „Opracowanie innowacji procesu spawania podwodnego przy wykorzystaniu stanowiska laboratoryjnego i kwalifikowania technologii spawania podwodnego obiektów hydrotechnicznych.”

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 4 wniosków grantowych do różnych instytucji. Opiniowałem również dwa projekty finansowane z różnych źródeł środków na badania naukowe.

Decyzją Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej zostałem powołany na funkcje promotora pomocniczego w przewodzie doktorskich prowadzonym przez dr. hab. inż. Jerzego Łabanowskiego: mgr inż. Karoliny Prokop – Strzelczyńskiej (praca pt. „Spawalność ferrytyczno-austenitycznej stali odpornej na korozję typu duplex 2205 w warunkach podwodnych”. Planowany termin obrony w 2018 r.) oraz Decyzją Rady Wydziału

Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej na promotora pomocniczego mgr. inż. Jacka Szulca (praca pt. „Wysokowydajne spawanie hybrydowe Plazma+MAG stali S700MC”, Planowany termin obrony w 2018 r.).

W obszarze organizacji konferencji wykazywałem duże zaangażowanie. Byłem członkiem komitetu organizacyjnego 55. Naukowo-Technicznej Konferencji Spawalniczej: „Ziemia-Woda-Powietrze”, Gdańsk-Sobieszewo 2013, byłem i jestem członkiem komitetu organizacyjnego: 13 edycji Pomorskiego Sympozjum Spawalniczego w Gdańsku (od 2006 do 2018 r.), 1 edycji Konferencji Naukowo-Technicznej: „Diagnostyka Materiałów i Urządzeń Technicznych” w Gdańsku (2010 r.) 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 2 spotkania Koła Spawalników Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP) na Wydziale Mechanicznym (12.04.2013 r., 18.11.2016 r.). Byłem również członkiem Komitetu Naukowego XXIV Naukowo-Technicznej Krajowej Konferencji Spawalniczej na temat: "Postęp, innowacje i wymagania jakościowe procesów spajania". Międzyzdroje 2018.

Wygłaszałem referaty dotyczące badanych zagadnień na 3 międzynarodowych i 13 krajowych konferencjach tematycznych, uczestniczyłem w 3 sesjach plakatowych. Jestem również współautorem 21 prezentacji wygłoszonych na konferencjach międzynarodowych i krajowych.

W latach 2006-2018 wykonałem 12 ekspertyz oraz ponad 100 innych opracowań na zamówienie przedsiębiorców i innych podmiotów. Dotyczyły one: planów technologicznych spawania instalacji rurociągowych, technologii spawania stosowanych do budowy urządzeń ciśnieniowych (zbiorniki wielkogabarytowe, wymienniki ciepła) oraz elementów konstrukcyjnych platform wiertniczych i wydobywczych, dokumentacji powykonawczej w zakresie procesów spawalniczych dla urządzeń ciśnieniowych, technologii naprawy i remontu konstrukcji spawanych i raportów z badań odbiorowych konstrukcji. W załącznikach 5 i 6 (Karty Aplikacji Produktu) zestawilem wybrane elementy mojego dorobku 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., "EXPLORER" Bałtyckie Przedsiębiorstwo Nurkowe, PC Divers, AQUA WORKS, ALSTOM Power, SECESPOL Sp. z o.o., T.T.U Urbanowicz, SEC Pomorze, SEC NORGE, Marszał Sp. z o.o., HYDROMEGA Sp. z o.o., Przedsiębiorstwo Budowlane Górski Sp. z o.o. SKA, ALSTOM Power Sp. z o.o., Kromet Sp. z o.o., Damen Marine Components Gdańsk Sp. z o.o., BVT Sp. z o.o. Żukowo.

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 104 prac i projektów dyplomowych studentów kierunków: Mechanika i Budowa Maszyn (studia stacjonarne i niestacjonarne), Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Inżynieria Materiałowa, Technologie Podwodne, w tym 62 prace stopnia inżynierskiego i 42 prace magisterskie oraz 48 recenzji prac dyplomowych (12 prac II stopnia i 36 prac I stopnia). Ponadto uczestniczyłem w 16 obronach prac dyplomowych w charakterze egzaminatora.

Po zatrudnieniu na stanowisku adiunkta prowadziłem wykłady wraz z zajęciami laboratoryjnymi z następujących przedmiotów: Materiały i ich zachowanie przy spajaniu (Mechanika i Budowa Maszyn, studia niestacjonarne), Eksploatacja i naprawy konstrukcji spawanych (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne II stopnia), Sterowanie procesami spawalniczymi (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne II stopnia), Zachowanie materiałów w czasie spajania i eksploatacji (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne I stopnia), Technologie Spajania Materiałów (Inżynieria Materiałowa, studia stacjonarne II stopnia), Zapewnienie jakości w procesach spajania (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne I stopnia), Automatyzacja i robotyzacja procesów wytwarzania (Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, studia stacjonarne I stopnia, lab.), Technologia i Spajanie Metali (Inżynieria Mechaniczno-Medyczna, studia stacjonarne, I stopnia, lab.), Technologia Spajania (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne, I stopnia, lab.), Technologia Spajania (Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, I stopnia, lab.), Wybrane zagadnienia materiałoznawstwa i ochrony korozyjnej (Technologie Podwodne, studia stacjonarne II stopnia, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa), Technologie Materiałowe II (Inżynieria Materiałowa, studia stacjonarne I stopnia lab.), Techniki Kształtowania, Spajania i Regeneracji (Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, studia stacjonarne I stopnia, lab.), Automatyzacja i Robotyzacja Procesów Wytwarzania (Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, studia stacjonarne I Stopnia, wykłady, lab.), Technologie Procesów Bezwiórowych (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne, I stopnia, lab.), Automatyzacja Procesów Spawania (Mechatronika, studia stacjonarne, wykład), Technologia i Spajanie Metali (Mechatronika, studia stacjonarne I stopnia, lab.), Praca Przejściowa (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne, projekt).

Opracowałem materiały dydaktyczne do przedmiotów autorskich: Sterowanie procesami spawalniczymi (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne II stopnia), Zachowanie materiałów w czasie spajania i eksploatacji (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne I stopnia), Technologie Spajania Materiałów (Inżynieria Materiałowa, studia stacjonarne II stopnia), Zapewnienie jakości w procesach spajania (Mechanika i Budowa Maszyn, studia stacjonarne I stopnia), Wybrane zagadnienia materiałoznawstwa i ochrony korozyjnej (Technologie Podwodne, studia stacjonarne II stopnia, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa), Zapewnienie jakości w branży technicznej. Procesy Produkcyjne. Metody łączenia powierzchni metalowych. Studia Podyplomowe „Zapewnienie jakości w branży technicznej – innowacyjna praktyka i teoria” (I, II, III edycja). Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska. 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: Wprowadzenie do zagadnienia zapewnienia jakości w konstrukcjach spawanych, Kontrola jakości podczas produkcji, Pomiary, kontrola i rejestracja danych w spawalnictwie, Analiza przypadków. Przygotowałem również autorskie materiały dydaktyczne na zlecenie Gdańskiej Stoczni Remontowej pt.: „Instrukcja spawania stali okrętowych przy zastosowaniu procesu spawania 111 (MMA)” do szkoleń personelu nadzoru spawalniczego i spawaczy.

Od 2005 roku prowadziłem na zlecenie różnych podmiotów szkolenia związane z procesami spajania:

1. Szkolenia z zakresu spawalności i zgrzewalności metali oraz certyfikacji w zakresie procesów spajania: Linde Gaz Polska, IWNORT s.c., BMT Sp. z o.o., Kromet Sp. z o.o., Dellner Components, Dellner Construction, Western Global, SECESPOL Sp. z o.o., SEC NORGE, Marszał Sp. z o.o.

2. Szkolenia z zakresu kontroli jakości złączy spawanych ze szczególnym uwzględnieniem badań nieniszczących: Dellner Components, Dellner Construction, Western Global.
3. Szkolenie z zakresu spawania pod wodą dla nurków spawaczy zgodnie z wytycznymi AWS D.6M oraz PN-EN ISO 15618-1 dla: Bałtyckie Przedsiębiorstwo Nurkowe „Explorer”; Polskie Centrum Atestacji Sp. z o.o.
4. Szkolenie (kurs) zgodnie z wytycznymi IIW dla Międzynarodowego Mistrza Spawalniczego (IWS): BIST Sp. z o.o.
5. Szkolenia z zakresu spawania zrobotyzowanego aluminium i jego stopów: Flextronics International Poland Sp. z o.o..
6. Szkolenie z zakresu spawalności stali nierdzewnych austenitycznych oraz ich degradacji na drodze korozji: SECESPOL Sp. z o.o.
7. Szkolenie z zakresu czytania rysunku izometrycznego przy pracach montersko – spawalniczych rurociągów na platformach oraz jednostkach pływających: SEC Pomorze Sp. z o.o.

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 Gliwicach (Katedra Spawalnictwa). W zakres tej współpracy wchodziły: rozwój bazy laboratoryjnej, wymiana materiałów dydaktycznych: próbek i konspektów zajęć oraz wygłoszenie 3 prezentacji dla pracowników i studentów nt. spawania pod wodą oraz spawalności materiałów konstrukcyjnych na seminariach spawalniczych ZIS Politechniki Warszawskiej.

Za osiągnięcia dydaktyczne byłem trzykrotnie nagradzany przez Rektora Politechniki Gdańskiej. W latach 2010 i 2012 nagrodą zespołową III stopnia, a w 2016 roku nagrodą zespołową I stopnia za wyróżniającą działalność dydaktyczną.

Działalność popularyzująca naukę

Do swoich sukcesów w zakresie działalności popularyzującej naukę zaliczam pełnienie w latach 2013-2018 funkcji wykładowcy / laboranta w ramach akcji promocyjnej POLITECHNIKA OTWARTA (POLITECHNIKA OPEN) oraz autorstwo następujących artykułów:

1. Rogalski G.: Obrona pracy doktorskiej Pana Jacka Tomkowa. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* 2/2018, s. 63-64
2. Rogalski G.: Dariusz Fydrych doktorem habilitowanym nauk technicznych. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* 3/ 2018, s 79.
3. Rogalski G.: Habilitacja Dariusza Fydrycha „Spawalność stali o podwyższonej i wysokiej wytrzymałości w środowisku wodnym”. *Przegląd Spawalnictwa*. 3/2018, s. 70
4. Rogalski G.: Obrona pracy doktorskiej Pana Jacka Tomków „Wpływ warunków spawania pod wodą na skłonność do tworzenia pęknięć zimnych w stalach o podwyższonej wytrzymałości. *Przegląd Spawalnictwa*. 3/2018, s. 71

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). 2005, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk i Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
2. Kurs Międzynarodowego Inspektora Spawalniczego (IWI – C) (Comprehensive Level). Instytut Spawalnictwa w Gliwicach. 2009
3. Kurs pedagogiczny na Politechnice Gdańskiej. 2008
4. Kurs Badań wizualnych VT1 i VT2 dla uzyskania certyfikatu kompetencji stopnia 2 wg PN-EN 473:2002, od 22.11.2005 do 25.11.2005, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach.
5. Szkolenia z zakresu kwalifikowania technologii spawania zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 15614-1:2017 prowadzone przez Urząd Dozoru Technicznego. Gdańsk 2017.
6. Szkolenie SJS_GD Urzędu Dozoru Technicznego na temat: „Wymagania jakości w procesach spawania materiałów metalowych”, Gdańsk 28.06.2007.
7. Szkolenie SKB_GD Urzędu Dozoru Technicznego na temat: „Wymagania dla wytwórców stalowych konstrukcji budowlanych zgodnie z normami serii PN-EN 1090”, Gdańsk 28.09. 2011.

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

- Odpowiedzialny za całokształt prac spawalniczych zgodnie z wymaganiami norm PN-EN ISO 9001, PN-EN ISO 3834-2, ASME Sec. IX, China ML, 3A w firmie SECESPOL Sp. z o.o., Nowy Dwór Gdański.
- Odpowiedzialny za całokształt prac spawalniczych zgodnie z wymaganiami norm PN-EN ISO 9001, PN-EN ISO 3834-2, PN-EN 1090 w firmie T.T.U Urbanowicz, Gdańsk.
- Szkolenia wg wytycznych Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach w zakresie spawania procesami 111, 135, 136, 138, 141, 311: Centrum Szkoleniowo Spawalnicze IWNORT s.c., Gdynia: 2008 – obecnie

Zestawienie danych bibliometrycznych na dzień 09.10.2018

Baza	Liczba cytowań	Indeks Hirscha
Web of Science	70	5
Scopus	81	6
ResearchGate	155	7
Google Scholar	370	10

Sumaryczna liczba punktów wg wykazu MNiSW wynosi **486** (z uwzględnieniem udziału autorskiego: **178,9**). Sumaryczny **IF = 10,326**.

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	7	7
2	Publikacje w czasopiśmie nie posiadającym współczynnika wpływu (IF), indeksowanym w bazie Web of Science	0	4	4
3	Publikacje w czasopiśmie nie posiadającym współczynnika wpływu (IF), wykaz B MNiSW	0	43	43
4	Publikacje w czasopiśmie krajowym albo zagranicznym spoza wykazu MNiSW	4	5	9
5	Autorstwo monografii	0	1	1
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	12	12
9	Udział w projektach badawczych	2	1	3
10	Udział w konferencjach międzynarodowych	0	3	3
11	Udział w konferencjach krajowych	2	17	19
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	1	1
15	Stáže w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	0	0	0
16	Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych lub krajowych	0	47	47
17	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	0	2	2
18	Opieka naukowa nad studentami i promotorstwo prac i projektów dyplomowych	9	104 (62 inż. i 42 mgr)	113
19	Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki	0	4	4
20	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	0	3	3



10.10.2018