

STRESZCZENIE

Celem rozprawy jest opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania i spawania rur stalowych z trudnościeralnymi wykładkami kompozytowymi do zastosowań w transporcie hydraulicznym lub pneumatycznym mediów powodujących ścieranie oraz występowanie korozji. Praca ma bezpośredni związek z realnymi potrzebami przemysłu energetycznego, górniczego oraz spożywczego w zakresie łączenia stalowych rur zawierających wykładki z nowoczesnych materiałów kompozytowych odpornych na korozję i ścieranie. Celem badań jest opracowanie podstaw naukowych i technologicznych dotyczących możliwości spajania metodami spawalniczymi materiałów dotychczas uznawanych za niespawalne. Realizacja tego celu wymaga analizy wpływu ilości wprowadzanego ciepła na proces łączenia, tak aby możliwe było uzyskanie połączeń o stabilnych właściwościach strukturalnych, mechanicznych i chemicznych, w tym odporności na zużycie ścierne oraz korozję. Praca ma na celu nie tylko wypracowanie nowego rozwiązania technologicznego, lecz także poszerzenie wiedzy teoretycznej w zakresie zjawisk zachodzących w strefie spawania materiałów o podwyższonej trudności spawalniczej.

Opracowanie składa się z dwóch części. W pierwszej części dokonano przeglądu literatury, w którym omówiono problemy technologiczne występujące w transporcie pneumatycznym i hydraulicznym, związane z zużyciem ściernym i korozyjnym. Przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat stali trudnościeralnych, materiałów stalowych z wykładkami oraz metod nakładania powłok, w tym powłok kompozytowych o zwiększonej odporności na ścieranie i korozję. Następnie opisano zagadnienia dotyczące spawalności stali trudnościeralnych, technologii łączenia tego typu materiałów oraz problemów spawania stali z wykładkami.

W drugiej części, badawczej, przedstawiono tezę i cele rozprawy, przedstawiając metodykę badań, ich wyniki, wyciągając wnioski z każdego zakończonego etapu badań. Na początkowym etapie badań przeprowadzono proces spawania rur wykonanych ze stali węglowej bez wyładek z przygrzаныmi termoparami laboratoryjnymi od strony grani w celu rejestracji cykli cieplnych nagrzewania i chłodzenia materiału. Do realizacji połączeń zastosowano metodę spawania MMA, gdzie analizowano różne warianty przygotowania krawędzi do spawania, w celu określenia optymalnego sposobu ukosowania.

Dla wybranego sposobu przygotowania rowka spawalniczego przeprowadzono badania technologii przy zastosowaniu łukowych metod spawania, w tym TIG, MMA oraz MAG w pozycji PH, a dodatkowo metodą MAG w pozycji PJ. W badaniach wykorzystano tę samą aparaturę pomiarową co w poprzednim etapie, w celu określenia metody charakteryzującej się najniższą energią liniową oraz najkorzystniejszym rozkładem temperatur w trakcie procesu spawania. Analizowano czasy nagrzewania i chłodzenia w zakresie od 120°C do maksymalnej temperatury oraz od maksymalnej temperatury do 120°C.

Następnie przeprowadzono porównanie technologii spawania blach ze stali węglowej bez wykładek, wykorzystując metodę łukową wyłonią jako najbardziej optymalną w poprzednim etapie oraz spawanie ręczne metodą LBW. W obu przypadkach zastosowano identyczną aparaturę pomiarową, jak w poprzednich badaniach.

Dla każdego wariantu przeprowadzono badania nieniszczące, obejmujące ocenę wizualną, badania penetracyjne, ultradźwiękowe lub radiograficzne, a także badania niszczące, w tym analizę makro- i mikrostrukturalną oraz pomiary twardości.

Na podstawie uzyskanych wyników poszczególnych etapów badań przeprowadzono proces spawania blach pokrytych wykładkami, wykorzystując metodę spawania ręcznego LBW. Po wykonaniu badań zgodnych z wcześniejszymi etapami eksperymentalnymi, przystąpiono do spawania rur stalowych z wykładkami. W ramach badań opracowano technologię spawania rur z wykładkami, a następnie przeprowadzono szereg testów umożliwiających ocenę ich właściwości mechanicznych oraz odporności na korozję. Przeprowadzone analizy obejmowały badania nieniszczące złączy, testy przyczepności wykładki metodą odrywową oraz badania właściwości mechanicznych, w tym pomiary twardości i próby rozciągania. Wyniki tych badań pozwoliły na jednoznaczną ocenę wpływu zastosowanej technologii spawania na właściwości zarówno samego złącza spawanego, jak i wykładki kompozytowej. Dodatkowo wykonano numeryczną symulację termometalurgiczną w środowisku MES, wykorzystując program ESI VisualWeld 2023.5. Celem symulacji było wygenerowanie trójwymiarowego modelu złącza spawanego zawierającego wykładki, co umożliwiło szczegółową analizę parametrów cieplnych oraz strukturalnych zachodzących w procesie spawania.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że proces spawania rur z wykładkami kompozytowymi, umożliwia uzyskanie połączeń o wymaganej jakości spoin oraz zapewnienie odpowiedniej szczelności pomiędzy wykładkami kompozytowymi, bez ryzyka ich uszkodzenia. Opracowana technologia spawania pozwala na spełnienie założonych kryteriów

wytrzymałościowych oraz eksploatacyjnych, co potwierdzają przeprowadzone analizy strukturalne i mechaniczne.

Słowa kluczowe: **badanie technologii spawania, spawanie rur, spawanie rur z wykładką kompozytową, transport hydrauliczny, transport pneumatyczny, rury**