

## **Badania nieniszczące złączy spawanych ze stali niestopowej**

Badania nieniszczące (NDT) odgrywają bardzo ważną rolę w przemyśle, zapewniając jakość i bezpieczeństwo wytwarzanych elementów i konstrukcji. Są to metody, które pozwalają na ocenę właściwości materiałów i detekcję wad bez ingerowania w ich strukturę, co oznacza, że badane materiały pozostają nienaruszone i zachowują swoje właściwości mechaniczne. Wysoka jakość elementów bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo ich użytkowania, co jest szczególnie ważne w branżach takich jak lotnictwo, motoryzacja czy energetyka.

**Celem tej pracy jest scharakteryzowanie metod badań nieniszczących złączy spawanych oraz opracowanie technologii badań dla wybranych metod.**

Praca dyplomowa przedstawia analizę stali niestopowej, która jest powszechnie używana w konstrukcjach spawanych w różnych sektorach przemysłu. W pracy scharakteryzowano właściwości tej stali, aby zrozumieć, jak można ją efektywnie i bezpiecznie wykorzystać w praktyce inżynierskiej. Zawiera szczegółowy opis składu chemicznego stali niestopowej. Omówiono ilościowy udział pierwiastków, takich jak węgiel, krzem, mangan, fosfor i siarka, które nadają jej specyficzne właściwości mechaniczne i chemiczne. Dzięki temu, można lepiej zrozumieć, jakie elementy wpływają na jej wytrzymałość, elastyczność oraz odporność na korozję i zużycie.

Ponadto, praca zawiera wyjaśnienia dotyczące spawalności stali. Spawalność jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na możliwość jej wykorzystania w konstrukcjach spawanych. Wy tłumaczono, jak pierwiastki wpływają na zdolność materiału do spawania, jego wytrzymałość i inne kluczowe właściwości mechaniczne.

Praca dyplomowa jest głównie skupiona na charakterystyce badań nieniszczących, które są najczęściej wykorzystywane w przemyśle do analizy i oceny złączy spawanych. Skoncentrowano się na czterech głównych technologiach badawczych: badaniach wizualnych (VT), penetracyjnych (PT), magnetyczno-proszkowych (MT) oraz radiograficznych (RT). Każda z tych metod została szczegółowo przeanalizowana i opisana, zaczynając od zasad działania, przez zakres zastosowania, aż po ograniczenia i potencjalne ryzyka.

Dla każdej metody opracowano również szczegółowe protokoły badawcze. Protokoły te obejmują nie tylko procedury samego badania, ale także kryteria oceny jakości złączy

spawanych w odniesieniu do norm i wymogów. Wyniki badań zostały zebrane i poddane analizie, co pozwoliło na obiektywną ocenę efektywności każdej z badanych metod.

Zastosowanie tych technologii na rzeczywistej próbce technologicznej pozwoliło na stworzenie serii protokołów, które zawierają nie tylko wyniki, ale także interpretację danych, rekomendacje i wnioski. Te protokoły mogą służyć jako kompendium wiedzy a także jako podstawa do dalszych badań naukowych w tej dziedzinie.

Zastosowano tutaj szeroki wachlarz materiałów źródłowych, który stanowi podstawę dla merytorycznej wartości pracy. Kluczową rolę odegrały tu przede wszystkim podręczniki akademickie z dziedzin takich jak materiałoznawstwo, spawalnictwo oraz badania złączy spawanych. Wykorzystanie tych podręczników pozwoliło na zrozumienie teoretycznych aspektów zagadnień, a także na zapoznanie się z najnowszymi osiągnięciami w tych dziedzinach.

Oprócz literatury akademickiej, niezwykle pomocne okazały się także czasopisma branżowe, które dostarczyły aktualnych informacji na temat innowacyjnych metod badań, jak i również nowych technologii w dziedzinie spawalnictwa.

Czasopisma te pomogły w zorientowaniu się w praktycznych zastosowaniach teorii oraz w najnowszych trendach i wyzwaniach w badaniach złączy spawanych.

Jako uzupełnienie, wykorzystano również materiały szkoleniowe przeznaczone dla personelu technicznego przeprowadzającego badania nieniszczące. Te materiały szkoleniowe dostarczyły praktycznej wiedzy o tym, jak stosować różne metody badawcze w realnych warunkach przemysłowych, a także jak interpretować wyniki badań.

Nie można również zapomnieć o znaczeniu norm dotyczących badań nieniszczących. Zastosowanie tych norm było kluczowe dla zapewnienia, że wszystkie badania i analizy przeprowadzone w ramach pracy są zgodne z międzynarodowymi standardami jakości i bezpieczeństwa.

W ramach pracy dyplomowej wykonano 4 metody badań nieniszczących, które służyły do gruntownej analizy i oceny złącza spawanego.

Pierwszą z metod są badania wizualne VT, które polegają na wzrokowym badaniu powierzchni spawów bez lub przy użyciu sprzętu optycznego, takiego jak lupy czy kamery wysokiej rozdzielczości. Jest to metoda podstawowa, ale efektywna w wykrywaniu wad powierzchniowych, takich jak pęknięcia czy porowatość. Ze względu na jej prostotę i niski koszt, jest najczęściej stosowaną techniką w przemyśle.

Kolejną metodą są badania penetracyjne PT. Wykorzystują one specjalne środki chemiczne, które są nanoszone na powierzchnię spawu. Dzięki zjawisku włoskowatości, te

substancje wnikają w wszelkie wady i nieciągłości, które następnie są "wyciągane" na powierzchnię, co umożliwia ich wykrycie. Jest to metoda szczególnie efektywna w wykrywaniu mikropęknięć.

Trzecia metoda to badania magnetyczno-proszkowe MT. Tutaj wykorzystuje się pole magnetyczne do wykrywania nieciągłości w strukturze materiału. Na badaną powierzchnię nanosi się specjalny proszek ferromagnetyczny, który pod wpływem pola magnetycznego skupia się nad defektami, umożliwiając ich identyfikację.

Ostatnia z metod to badania radiograficzne RT. Za pomocą promieniowania X oraz gamma, możliwe jest zobrazowanie wnętrza badanego obiektu. Ta metoda jest jedną z najbardziej zaawansowanych i skutecznych, ale też wymaga specjalistycznego sprzętu i przestrzegania surowych norm BHP. W tym celu wykorzystywane są specjalistyczne lampy, detektory oraz urządzenia do wywoływania klisz.

Wspólne wykorzystanie tych różnorodnych metod badań w pracy dyplomowej pozwoliło na holistyczne podejście do problemu oceny jakości złącza spawanego.

### **Wyniki badań oraz wnioski**

Praca dyplomowa miała na celu scharakteryzowanie wybranych metod badań nieniszczących (NDT).

Wyniki uzyskane za pomocą tej metody VT wykazały, że próbka nie spełniła wymagań, co jest znaczące w kontekście jej potencjalnego zastosowania. Pomimo że geometria badanej próbki była zgodna z oczekiwaniami, odpryski i podtopienia zdyskwalifikowały ją jako akceptowalny element. Tym samym, metoda wizualna udowodniła swoją wartość w wykrywaniu wad powierzchniowych, ale jej ograniczenia są oczywiste, gdyż nie jest w stanie ocenić wad ukrytych poniżej powierzchni. Ostatecznie, ta metoda może być użyteczna jako początkowy etap badania, ale nie może być jedynym narzędziem w kompleksowej analizie jakości.

W metodzie penetracyjnej wyniki były pozytywne, z jednym miejscowym podtopieniem, które mieściło się w obowiązującej normie. To sugeruje, że metoda penetracyjna jest skuteczna w wykrywaniu pewnego typu wad, ale jej ograniczenia są również jasne. Pomimo że jest stosunkowo prosta i szybka, wykrywa tylko wady otwarte na powierzchni materiału. Wady ukryte wewnątrz pozostają niewykryte, co może prowadzić do niewłaściwych wniosków, jeśli metoda ta jest używana jako jedyne narzędzie diagnostyczne.

Analiza wyników badania magnetyczno-proszkowego pokazała, że próbka spełniła wszystkie wymagania, co jest świetnym rezultatem, ale również wskazuje na ograniczenia tej metody. Podobnie jak metoda penetracyjna, jest skuteczna tylko w odniesieniu do pewnych

rodzajów wad i nie jest w stanie wykryć wad głęboko ukrytych w materiale. Jej dodatkowym ograniczeniem jest fakt, że można ją zastosować jedynie do materiałów ferromagnetycznych. Ogranicza to jej uniwersalność i wymaga dodatkowego badania w przypadku zastosowania do materiałów niemagnetycznych.

Badanie radiograficzne doprowadziło do wykrycia poważnych wad w postaci porów i wtrąceń wewnątrz spoiny, co automatycznie zdyskwalifikowało próbkę. Jest to metoda objętościowa i jest w stanie wykryć wady, które inne metody mogą przeoczyć. Jej zaletą jest zdolność do pełnej charakterystyki złącza, w tym wad ukrytych. Ograniczeniem są znaczące koszty oraz skomplikowane procedury, co czyni ją mniej dostępną dla szerokiego zastosowania.

W oparciu o te wyniki, można stwierdzić, że każda z badanych metod ma swoje specyficzne mocne i słabe strony. Ich efektywność jest uzależniona od typu materiału, rodzaju wad, jakie mają być wykryte, oraz od kontekstu ich zastosowania. Ostateczna ocena jakości elementu nie powinna być oparta na wynikach tylko jednej metody, ale na połączeniu różnych metod NDT.