

Tytuł: Stale konstrukcyjne i ich spawalność – wydanie III

Opracował: doc. Dr inż. Jerzy Brózda,
dr inż. Robert Jachym,
mgr inż. Krzysztof Kwieciński,
dr hab. Inż. Mirosław Łomozik,
dr inż. Marek St. Węglowski

Rok wydania: 2017

Wydawca: Instytut Spawalnictwa

Liczba stron: 170

Format: B5



SPIS TREŚCI

1. SPAWALNOŚĆ STALI.....	7
1.1. Cykle cieplne spawania.....	7
1.1.1. Charakterystyka cyklu cieplnego spawania.....	7
1.1.2. Określanie czasu stygnięcia $t_{8/5}$	7
1.1.3. Przykłady wyznaczania czasu stygnięcia $t_{8/5}$	12
1.1.4. Symulacja cykli cieplnych spawania.....	12
1.2. Wpływ czasu stygnięcia $t_{8/5}$ na strukturę i własności strefy wpływu ciepła złączy spawanych.....	15
1.2.1. Metodyka badań przemian strukturalnych austenitu w stalach w warunkach spawalniczych (wykresy CTP _c -S).....	17
1.3. Wpływ temperatury maksymalnej cyklu cieplnego spawania na strukturę i własności strefy wpływu ciepła.....	22
1.4. Struktura spoiny.....	24
1.5. Twardość złącza spawanego.....	25
1.6. Naprężenia własne i ich wpływ na własności połączeń spawanych.....	27
1.6.1. Powstawanie naprężeń własnych.....	28
1.6.2. Rozkład naprężeń własnych w złączach doczołowych.....	29
1.6.3. Wpływ naprężeń własnych na zachowanie się konstrukcji spawanych.....	30
1.7. Definicja spawalności.....	30
2. PĘKNIĘCIA W STALOWYCH ZŁĄCZACH SPAWANYCH.....	34
2.1. Wprowadzenie i rodzaje pęknięć.....	34
2.2. Pęknięcia zimne.....	34
2.2.1. Krucha mikrostruktura.....	34
2.2.2. Wodór dyfundujący.....	35
2.2.3. Naprężenia.....	37

2.2.4. Zapobieganie powstawaniu zimnych pęknięć.....	37
2.2.5. Próby z utwierdzeniem własnym stosowane do oceny skłonności stali do powstawania zimnych pęknięć.....	39
2.3. Pęknięcia gorące.....	41
2.3.1. Pęknięcia krystalizacyjne.....	41
2.3.2. Pęknięcia likwacyjne.....	46
2.3.3. Zapobieganie powstawaniu gorących pęknięć.....	47
2.3.4. Próby stosowane do oceny skłonności złączy spawanych do pęknięcia na gorąco.....	47
2.4. Pęknięcia wyżarzeniowe.....	50
2.4.1. Charakterystyka pęknięć.....	50
2.4.2. Mechanizm powstawania pęknięć.....	50
2.4.3. Pęknięcia pod napoinami.....	52
2.4.4. Ocena skłonności stali do powstawania pęknięć wyżarzeniowych.....	52
2.4.5. Badanie skłonności stali do powstawania pęknięć wyżarzeniowych.....	53
2.5. Pęknięcia lamelarne.....	54
2.5.1. Charakterystyka pęknięć.....	54
2.5.2. Badanie skłonności stali do pęknięcia lamelarnego.....	55
2.5.3. Zapobieganie pęknięciom lamelarnym.....	57
2.5.4. Wymagana odporność stali na pęknięcie lamelarne.....	59
3. STALE NIESTOPOWE OGÓLNEGO PRZEZNACZENIA I WĘGLOWO-MANGANOWE.....	61
3.1. Stale niestopowe.....	61
3.1.1. Stale niestopowe wg PN-EN 10025-2 {12}.....	63
3.2. Spawalność i zasady spawania stali niestopowych.....	66
3.2.1. Metoda A zapobiegania powstawaniu pęknięć zimnych.....	67
3.2.2. Metoda B zapobiegania powstawaniu pęknięć zimnych.....	72
3.2.3. Kontrola temperatury podgrzewania wstępnego.....	75
3.2.4. Kontrola zawartości wodoru dyfundującego.....	76
3.2.5. Stale niestopowe - praca łamania.....	77
4. STALE DROBNOZIARNISTE.....	80
4.1. Ogólna charakterystyka stali drobnoziarnistych.....	80
4.2. Mechanizmy umocnienia stali.....	80
4.2.1. Umocnienie przez pierwiastki znajdujące się w roztworach stałych.....	80
4.2.2. Regulacja wielkości ziarna.....	82
4.2.3. Umacnianie przez cząstki fazy wtórnej.....	83
4.2.4. Umacnianie przez dyslokacje.....	84
4.2.5. Umacnianie w wyniku przemian strukturalnych.....	84
4.3. Wpływ wtrąceń niemetalicznych.....	85
4.4. Stale drobnoziarniste normalizowane lub walcowane normalizująco.....	86
4.4.1. Wyżarzanie normalizujące, a walcowanie normalizujące.....	86
4.4.2. Przegląd stali normalizowanych lub walcowanych normalizująco.....	87
4.4.3. Spawalność drobnoziarnistych stali normalizowanych lub walcowanych normalizująco.....	89
4.5. Stale ulepszone cieplnie.....	90
4.5.1. Charakterystyka stali ulepszonych cieplnie.....	90
4.5.2. Spawalność stali ulepszonych cieplnie.....	98
4.6. Stale trudno rdzewiejące.....	102

4.6.1. Charakterystyka stali trudno rdzewiejących.....	102
4.6.2. Przegląd stali trudno rdzewiejących.....	103
4.6.3. Spawalność i spawanie stali trudno rdzewiejących.....	104
5. STALE WALCOWANE TERMOMECHANICZNIE.....	105
5.1. Charakterystyka stali walcowanych termomechanicznie.....	105
5.1.1. Porównanie stali.....	106
5.2. Przegląd stali walcowanych termomechanicznie.....	109
5.3. Spawalność i spawanie stali walcowanych termomechanicznie.....	110
5.3.1. Zmiany twardości w SWC.....	110
5.3.2. Skłonność do zimnych pęknięć.....	112
5.3.3. Materiały dodatkowe do spawania i własności złączy.....	114
5.4. Korzyści wynikające ze stosowania stali walcowanych termomechanicznie.....	118
6. STALE DO PRACY W NISKICH TEMPERATURACH.....	119
6.1. Ogólna charakterystyka stali.....	119
6.1.1. Kruche pękanie stali i konstrukcji spawanych.....	119
6.1.2. Materiały stosowane do budowy urządzeń pracujących w niskich i bardzo niskich temperaturach.....	120
6.2. Spawanie stali do pracy w niskich temperaturach.....	122
6.2.1. Stale niskowęglowe.....	122
6.2.2. Stale o podwyższonej wytrzymałości.....	123
6.2.3. Stale zawierające 3,5 i 5% niklu.....	124
6.2.4. Stale o zawartości 9% niklu.....	126
6.2.5. Stale austenityczne.....	128
6.3. Jakość złączy spawanych.....	129
7. STALE DO PRACY W PODWYŻSZONYCH TEMPERATURACH.....	130
7.1. Charakterystyka stali do pracy w podwyższonych temperaturach.....	130
7.1.1. Odporność na utlenianie.....	130
7.1.2. Żarowytrzymałość.....	131
7.2. Przegląd stali do pracy w podwyższonych temperaturach.....	134
7.2.1. Stale żaroodporne nowej generacji.....	137
7.3. Spawanie stali do pracy w podwyższonych temperaturach.....	143
7.3.1. Spawalność.....	143
7.3.3. Wpływ obróbki cieplnej na własności złączy spawanych.....	149
7.3.4. Cykle spawania i obróbki cieplnej stali bainitycznych i martenzytycznych.....	154
7.3.5. Pęknięcia pod wpływem obróbki cieplej (pęknięcia wyżarzeniowe).....	156
7.4. Spawanie połączeń mieszanych ze stali do pracy w podwyższonych temperaturach.....	158
7.4.1. Dyfuzja reaktywna węgla.....	158
8. LITERATURA.....	162
9. WYKAZ NORM.....	167