

Kazimierz Ferenc

# Podręcznik spawania

## Zagadnienia ogólne



AGENDA WYDAWNICZA SIMP

przegląd  
**SPAWALNICTWA**

# SPIS TREŚCI

Wstęp	15
1. Przegląd procesów spajania i pokrewnych	17
1.1. Ogólny podział procesów spawalniczych	17
1.2. Klasyfikacja i charakterystyka powszechnie stosowanych metod spawania	17
1.2.1. Spawanie łukowe elektrodami otulonymi (MMA)	19
1.2.2. Spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazów (MAG i MIG)	20
1.2.3. Spawanie łukowe drutem z rdzeniem proszkowym	21
1.2.4. Spawanie łukowe elektrodą nietopliwą wolframą (TIG)	21
1.2.5. Spawanie gazowe, acetylenowo-tlenowe	22
1.3. Cięcie termiczne	23
1.4. Cięcie i żłobienie łukowe	25
2. Podstawy elektrotechniki	27
2.1. Prąd elektryczny	27
2.2. Indukcja elektromagnetyczna	29
2.3. Właściwości prądu elektrycznego (prawo Ohma)	30
2.4. Moc prądu elektrycznego	31
2.5. Praca prądu elektrycznego	32
2.6. Sprawność elektryczna	32
3. Źródła energii do spawania łukowego	33
3.1. Właściwości cieplne źródeł spawalniczych	33
3.2. Parametry użytkowe źródeł energii do spawania łukowego	34
3.2.1. Zewnętrzna charakterystyka statyczna źródła spawalniczego	34
3.2.2. Prąd spawania	35
3.2.3. Napięcie w stanie bez obciążenia (napięcie stanu jałowego)	37

3.3. Budowa i zasada działania źródeł energii do spawania łukowego	37
3.3.1. Transformatory spawalnicze	38
3.3.2. Przetwornice spawalnicze („spawarki wirujące”)	39
3.3.3. Prostownikowe zasilacze spawalnicze	40
3.3.3.1. Prostowniki diodowe	40
3.3.3.2. Prostowniki tyrystorowe	41
3.3.3.3. Zasilacze (prostowniki) inwerterowe	42
4. Spawalniczy łuk elektryczny	44
4.1. Charakterystyka łuku spawalniczego	44
4.2. Charakterystyka dynamiczna łuku	46
4.3. Ugięcie łuku spawalniczego	48
4.4. Parametry cieplne łuku i spawania	49
5. Charakterystyka metali i stopów przeznaczonych do spawania	51
5.1. Podstawowe wiadomości o materiałach metalowych	51
5.2. Właściwości mechaniczne materiałów metalowych	52
5.3. Podział metali i ich stopów ze względu na charakter pękania	54
5.4. Uwagi o spawalności metali i ich stopów	55
6. Złącza spawane i spoiny	56
6.1. Rodzaje i właściwości złączy spawanych	56
6.2. Rodzaje i właściwości spoin	57
6.2.1. Elementy spoin	57
6.2.2. Rodzaje spoin, ich nazwy i znaki umowne	58
6.2.3. Właściwości spoin	61
6.3. Przedstawianie połączeń spawanych na rysunkach	65
6.3.1. Zasady przedstawiania spoin na rysunkach	65
6.3.2. Wskazanie położenia spoiny na rysunku	66
6.4. Wymiarowanie elementów złączy spawanych	67
6.5. Wymiarowanie spoin na rysunkach	70
6.6. Przykłady oznaczania umownego spoin na rysunkach	73

<b>7. Przygotowanie złączy do spawania</b>	<b>75</b>
7.1. Czynniki wpływające na przygotowanie złączy	75
7.2. Przykłady przygotowania złączy do spawania ręcznego	79
7.3. Czyszczenie złącza przed spawaniem	83
<b>8. Wybrane zagadnienia technologiczne</b>	<b>85</b>
8.1. Dokumentacja technologiczna spawania	85
8.2. Pozycje spawania	87
8.3. Podkładki formujące grań spoiny	88
8.4. Szczępienie części przed spawaniem	92
8.5. Kolejność i kierunek spawania	95
<b>9. Naprężenia spawalnicze</b>	<b>97</b>
9.1. Mechanizm powstawania naprężeń i odkształceń cieplnych	97
9.2. Typowe rozkłady naprężeń spawalniczych	99
9.3. Wpływ naprężeń spawalniczych na eksploatację konstrukcji	102
9.4. Redukcja naprężeń spawalniczych	102
<b>10. Odkształcenia spawalnicze</b>	<b>104</b>
10.1. Przyczyny powstawania odkształceń spawalniczych	104
10.2. Formy odkształceń spawalniczych	105
10.2.1. Odkształcenia wzdłużne	105
10.2.2. Wygięcia	106
10.2.3. Odkształcenia poprzeczne	107
10.2.4. Odkształcenia kątowe	109
10.2.5. Utrata płaskości	110
10.2.6. Skręcenia	111
10.3. Usuwanie zaistniałych odkształceń (prostowanie)	111
<b>11. Pękanie połączeń spawanych</b>	<b>117</b>
11.1. Rodzaje pęknięć	117
11.2. Pęknięcia gorące (krystalizacyjne)	117
11.3. Pęknięcia zimne	118

11.4. Pękanie rozwarstwieniowe (lamelarne)	119
11.5. Pękanie kruche	121
11.6. Pękanie zmęczeniowe połączeń spawanych	121
<b>12. Niezgodności spawalnicze</b>	<b>124</b>
12.1. Charakterystyka ogólna niezgodności spawalniczych	124
12.2. Przegląd niezgodności spawalniczych	125
12.3. Poziomy jakości niezgodności spawalniczych	130
<b>13. Kontrola jakości w spawalnictwie</b>	<b>132</b>
13.1. Zakres kontroli jakości	132
13.2. Badania nieniszczące złączy i spoin	132
13.2.1. Badania wizualne (VT)	133
13.2.2. Badania penetracyjne (PT)	133
13.2.3. Badania magnetyczno-proszkowe (MT)	134
13.2.4. Badania radiograficzne (RT)	135
13.2.5. Badania ultradźwiękowe (UT)	136
13.3. Badania niszczące złączy spawanych	137
13.3.1. Badania mechaniczne	137
13.3.2. Badania metalograficzne	138
<b>14. Zagrożenia i bezpieczeństwo prac spawalniczych</b>	<b>140</b>
14.1. Zagrożenia występujące podczas prac spawalniczych	140
14.1.1. Promieniowanie powstające podczas spawania	140
14.1.2. Pyły, dymy i gazy spawalnicze	141
14.1.3. Porażenie prądem elektrycznym	142
14.1.4. Hałas	142
14.2. Sposoby ograniczania zagrożeń przy spawaniu	143
14.3. Wymagania dotyczące pomieszczeń spawalni oraz stanowisk spawalniczych poza spawalnią	143
14.3.1. Wymagania dotyczące pomieszczeń spawalni	143
14.3.2. Wymagania bezpieczeństwa przy wykonywaniu prac spawalniczych poza spawalnią	144

14.3.3. Wymagania bezpieczeństwa przy pracach spawalniczych w warunkach specjalnych	144
14.4. Wymagania dotyczące bezpiecznego użytkowania sprzętu do spawania elektrycznego	147
14.5. Znakowanie butli do gazów technicznych	148
14.6. Wymagania dotyczące obsługi i użytkowania butli z gazem	149
14.7. Wymagania dotyczące magazynowania butli z gazami palnymi i technicznymi	151
14.8. Postępowanie w przypadku awarii i zagrożeń	152
14.8.1. Pierwsza pomoc przy zatruciach inhalacyjnych gazami	152
14.8.2. Pierwsza pomoc przy skażeniu skóry i oczu	152
14.8.3. Postępowanie w przypadku pożaru	153
14.8.4. Postępowanie w przypadku uwolnienia/wycieku gazu	153
<b>15. Szkolenie, egzaminowanie i kwalifikowanie spawaczy</b>	<b>154</b>
15.1. Szkolenie spawaczy w Polsce	154
15.2. Egzamin z wiedzy teoretycznej	157
15.3. Egzamin kwalifikacyjny spawacza (praktyczny)	157
15.3.1. Zmienne zasadnicze i zakres kwalifikowania	157
15.3.2. Kwalifikowanie spawacza ze względu na proces spawalniczy (metodę spawania)	158
15.3.3. Kwalifikowanie spawacza ze względu na typ wyrobu	159
15.3.4. Kwalifikowanie spawacza ze względu na typ spoiny	159
15.3.5. Kwalifikowanie spawacza ze względu na spoiwo	160
15.3.6. Kwalifikowanie spawacza ze względu na typ spoiwa	161
15.3.7. Kwalifikowanie spawacza ze względu na wymiary złącza próbnego i spoin	162
15.3.8. Kwalifikowanie spawacza ze względu na pozycje spawania	163
15.3.9. Kwalifikowanie spawacza z uwzględnieniem szczegółów wykonania spoiny	164
15.3.10. Rodzaje egzaminacyjnych złączy próbnych	165
15.3.11. Warunki spawania na egzaminie kwalifikacyjnym	165
15.4. Metody badania egzaminacyjnych złączy próbnych	166
15.5. Świadectwo kwalifikacyjne egzaminu spawacza	166
15.6. Ważność i przedłużenie kwalifikacji spawacza	169

15.6.1. Potwierdzenie ważności	169
15.6.2. Przedłużanie kwalifikacji spawacza	169
15.6.3. Odebranie (cofnięcie) kwalifikacji	170
15.7. Oznaczenia / skróty stosowane w dokumentach kwalifikowania spawaczy	170
16. Przykłady pytań egzaminacyjnych dotyczących zagadnień ogólnych ze spawalnictwa	171
Literatura	186
Normy	187

Szkolenie teoretyczne spawaczy w Polsce jest prowadzone w oparciu o zintegrowany system modułowy, opracowany przez Europejską Federację Spawalniczą (EWF) i zalecany przez Międzynarodowy Instytut Spawalnictwa (IIW). W piętnastu rozdziałach tego podręcznika przedstawiono (patrz spis treści) tematy nauczania wspólne dla wszystkich powszechnie stosowanych metod spawania, tj.: MMA, TIG, MAG, spawanie gazowe. Tematy te są omawiane na trzech poziomach szkolenia spawaczy, a mianowicie: spoin pachwinowych, blach i rur. W programach nauczania są one oznaczone jako zestawy tematyczne A, B i C.

Oprócz zagadnień ogólnospawalniczych – podanych w tym podręczniku – słuchacz uzyskuje wiadomości z określonej metody spawania (zestaw S), np. TIG, MAG, a jeśli uczestniczy w kursie spawania stali nierdzewnych lub aluminium, to otrzymuje wiedzę o spawaniu tych materiałów, ujętą w zestawach CrNi i Al.

Aby ułatwić kursantowi zdobycie niezbędnej wiedzy w każdej z metod spawania stali niestopowych, stali wysokostopowych nierdzewnych typu CrNi oraz aluminium i jego stopów, a także miedzi, niniejszy podręcznik jest/będzie uzupełniony kolejnymi podręcznikami serii wydawniczej, a mianowicie:

- Podręcznik spawania aluminium i jego stopów metodą TIG
- Podręcznik spawania stali nierdzewnych metodą TIG
- Podręcznik spawania i cięcia gazowego
- Podręcznik spawania stali niestopowych metodą TIG
- Podręcznik spawania stali niestopowych metodą MAG
- Podręcznik spawania stali niestopowych elektrodami otulonymi
- Podręcznik spawania stali nierdzewnych metodą MAG
- Podręcznik spawania stali nierdzewnych elektrodami otulonymi
- Podręcznik spawania aluminium i jego stopów metodą MIG
- Podręcznik spawania miedzi i jej stopów metodą TIG

Podręcznik ten – wspólny dla wszystkich procesów spawania – oraz dobrany tematycznie podręcznik stanowią więc pełny, zwięźle podany słuchaczowi materiał dydaktyczny. Ponieważ na poszczególnych kursach programy szkolenia, tematyka wykładów i liczba przeznaczonych na nie godzin mogą się różnić, wykładowca może wybrać – spośród tematów zawartych w podręczniku ogólnym i uzupełniających – tylko te, które uzna za właściwe i przydatne na określonym poziomie nauczania.

Z opracowanego cyklu podręczników, przeznaczonych przede wszystkim dla słuchaczy i wykładowców kursów spawania, mogą korzystać również instruktorzy spawania na tych kursach oraz technolodzy i inspektorzy nadzoru spawalniczego.