

# 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                                             | 26 |
| 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 źródeł spawalniczych           | 34 |
| 3.2.2. Prąd spawania                                                       | 35 |
| 3.2.3. Napięcie w stanie bez obciążenia (napięcie stanu jałowego)          | 37 |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.3. Budowa i zasada działania źródeł energii do spawania łukowego</b> | <b>37</b> |
| <b>3.3.1. Transformatory spawalnicze</b>                                  | <b>38</b> |
| <b>3.3.2. Przetwornice spawalnicze („spawarki wirujące”)</b>              | <b>39</b> |
| <b>3.3.3. Prostownikowe zasilacze spawalnicze</b>                         | <b>40</b> |
| 3.3.3.1. Prostowniki diodowe                                              | 41        |
| 3.3.3.2. Prostowniki tyrystorowe                                          | 42        |
| 3.3.3.3. Zasilacze (prostowniki) inwertorowe                              | 42        |
| <b>4. Spawalniczy łuk elektryczny</b>                                     | <b>44</b> |
| 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        |
| <b>5. Charakterystyka metali i stopów przeznaczonych do spawania</b>      | <b>51</b> |
| 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        |
| <b>6. Złącza spawane i spoiny</b>                                         | <b>56</b> |
| 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. Szczepianie 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                          | 103        |
| <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 |
| 12. Niezgodności spawalnicze                                                               | 124 |
| 12.1. Charakterystyka ogólna niezgodności spawalniczych                                    | 124 |
| 12.2. Przegląd niezgodności spawalniczych                                                  | 125 |
| 12.2.3. Poziomy jakości niezgodności spawalniczych                                         | 130 |
| 13. Kontrola jakości w spawalnictwie                                                       | 132 |
| 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 |
| 14. Zagrożenia i bezpieczeństwo prac spawalniczych                                         | 140 |
| 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 |
| 15. Szkolenie, egzaminowanie i kwalifikowanie spawaczy                               | 154 |
| 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                                         | 169 |
| 15.7. Oznaczenia/skróty stosowane w dokumentach kwalifikowania spawaczy            | 170 |
| 16. Przykłady pytań egzaminacyjnych dotyczących zagadnień ogólnych ze spawalnictwa | 171 |
| Literatura                                                                         | 186 |
| Normy                                                                              | 187 |