

Spis treści

1. SPAWALNICZE PROCESY CIEPLNE	9
1.1. Rodzaje i właściwości spawalniczych źródeł ciepła	9
1.2. Spawalniczy łuk elektryczny	9
1.3. Źródła prądu do spawania łukowego	14
1.4. Przepływ ciepła w materiale spawanym	15
1.4.1. Modele ciał i źródeł ciepła	15
1.4.2. Cykle cieplne spawania	17
1.4.3. Charakterystyczne wielkości cyklu cieplnego spawania	18
2. CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW SPAWANIA	22
2.1. Ogólny podział procesów spawalniczych	22
2.2. Charakterystyka i podział metod spawania	23
2.3. Pozycje spawania	25
2.4. Spawanie gazowe	27
2.5. Spawanie acetylenowo-tlenowe	27
2.6. Spawanie łukowe elektrodami otulonymi	29
2.7. Spawanie łukiem krytym (pod topnikiem)	31
2.8. Spawanie łukowe elektrodą wolframową w osłonie gazowej (TIG)	35
2.9. Spawanie łukowe elektrodą topliwą w osłonie gazowej (MAG i MIG)	37
2.10. Spawanie łukowe drutem z rdzeniem proszkowym	42
2.11. Spawanie elektrogazowe	42
2.12. Spawanie elektrożuźłowe	43
2.13. Spawanie plazmowe	45
2.14. Spawanie wiązką elektronów	47
2.15. Spawanie laserowe	49
3. MATERIAŁY DODATKOWE DO SPAWANIA	52
3.1. Spoiwa do spawania i napawania	52
3.1.1. Elektrody otulone	53
3.1.2. Druty elektrodowe lite ciągłe	56
3.1.3. Druty elektrodowe z rdzeniem proszkowym	57
3.1.4. Druty i pręty do spawania i napawania	58
3.2. Topniki do spawania	58
3.3. Spawalnicze gazy osłonowe	59
3.4. Klasyfikacja gazów osłonowych do łukowego spawania i cięcia	63
3.5. Spawalnicze gazy palne	64
4. METALURGIA PROCESÓW SPAWALNICZYCH	68
4.1. Dysocjacja gazów	68

4.2.	Utlenianie metali podczas spawania	69
4.3.	Odtlenianie (redukcja tlenków)	70
4.4.	Rola azotu w procesie spawania	72
4.5.	Rola wodoru w procesie spawania	72
4.6.	Rola żużli w procesie spawania	74
4.7.	Odsiarczanie stopiwa	75
4.8.	Odfosforowanie stopiwa	75
4.9.	Wprowadzanie składników stopowych do stopiwa	76
5.	STRUKTURA ZŁĄCZY SPAWANYCH I ICH WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNE	77
5.1.	Krystalizacja spoiny	77
5.2.	Mikrostruktura i właściwości złącza spawanego	78
5.2.1.	Materiał rodzimy	78
5.2.2.	Strefa wpływu ciepła	78
5.2.3.	Spoina	82
5.3.	Starzenie złączy spawanych	83
5.4.	Pękanie złączy spawanych	83
5.4.1.	Pękanie gorące (krystalizacyjne) spoin	84
5.4.2.	Pękanie zimne (wodorowe)	86
5.4.3.	Pękanie wyżarzeniowe	89
5.4.4.	Pękanie rozwarstwieniowe (Iamelarne)	90
5.5.	Zabiegi cieplne przy spawaniu	91
6.	POŁĄCZENIA SPAWANE I ICH WŁAŚCIWOŚCI	96
6.1.	Charakterystyka (konstrukcyjna) złączy i spoin	96
6.2.	Naprężenia spawalnicze	102
6.2.1.	Mechanizm powstawania cieplnych naprężeń własnych	102
6.2.2.	Typowe rozkłady naprężeń spawalniczych	105
6.2.3.	Wpływ naprężeń spawalniczych na eksploatację konstrukcji	106
6.2.4.	Odprężanie konstrukcji spawanych	108
6.3.	Odkształcenia spawalnicze	110
6.4.	Właściwości eksploatacyjne połączeń spawanych	113
6.4.1.	Pękanie kruche	113
6.4.2.	Wytrzymałość statyczna połączeń spawanych	116
6.4.3.	Pękanie zmęczeniowe i wytrzymałość zmęczeniowa połączeń spawanych	116
6.4.4.	Korozja złączy spawanych	119
7.	SPAWALNOŚĆ I TECHNOLOGIA SPAWANIA METALI I STOPÓW	123
7.1.	Spawalność metali i stopów	123
7.2.	Wpływ pierwiastków na spawalność stali	124
7.3.	Sposoby oceny spawalności stali	128
7.4.	Spawanie stali niestopowych (niskowęglowych)	130
7.5.	Spawanie stali konstrukcyjnych węglowo-manganowych	131
7.6.	Spawanie stali drobnoziarnistych	131

7.7.	Spawanie stali stosowanych na części maszyn	133
7.8.	Spawanie stali niskostopowych do pracy w niskich temperaturach	134
7.9.	Spawanie stali do pracy w podwyższonych temperaturach	135
7.10.	Spawanie stali trudno rdzewiejących	137
7.11.	Spawalność i spawanie wysokostopowych stali nierdzewnych	138
7.11.1.	Struktura i właściwości stali nierdzewnych	138
7.11.2.	Spawanie chromowych stali ferrytycznych	143
7.11.3.	Spawanie stali chromowych martenzytycznych	144
7.11.4.	Spawanie stali chromowo-niklowych austenitycznych	145
7.11.5.	Spawanie stali chromowo-niklowych z miękkim martenzytem	146
7.11.6.	Spawanie stali austenityczno-ferrytycznych (duplex)	146
7.12.	Spawanie żeliwa	147
7.13.	Spawanie aluminium i jego stopów	149
7.14.	Spawanie magnezu i jego stopów	149
7.15.	Spawanie miedzi i jej stopów	150
7.16.	Spawanie niklu i jego stopów	151
7.17.	Spawanie tytanu i jego stopów	152
8.	PROCESY ZGRZEWANIA	154
8.1.	Charakterystyka i klasyfikacja procesów zgrzewania	154
8.2.	Zgrzewanie rezystancyjne - zasady ogólne	155
8.3.	Zgrzewanie rezystancyjne doczołowe	157
8.3.1.	Zgrzewanie rezystancyjne zwarciove	157
8.3.2.	Zgrzewanie rezystancyjne iskrowe	158
8.4.	Zgrzewanie rezystancyjne punktowe	161
8.5.	Zgrzewanie rezystancyjne garbowe	165
8.6.	Zgrzewanie rezystancyjne liniowe	166
8.7.	Zgrzewanie łukiem wirującym	168
8.8.	Zgrzewanie rezystancyjne prądem wielkiej częstotliwości	169
8.9.	Zgrzewanie ultradźwiękowe	170
8.10.	Zgrzewanie dyfuzyjne	171
8.11.	Zgrzewanie tarciove	173
8.12.	Zgrzewanie wybuchowe	177
8.13.	Zgrzewanie zgniotowe na zimno	178
9.	LUTOWANIE	180
9.1.	Charakterystyka procesu	180
9.2.	Fizyczne podstawy lutowania	181
9.3.	Luty	183
9.4.	Topniki i atmosfery kontrolowane do lutowania	186
9.5.	Źródła ciepła do lutowania i metody lutowania	188
9.6.	Kształtowanie połączeń i ich właściwości	190
9.7.	Przygotowanie części do lutowania	194
9.8.	Lutowanie wybranych materiałów	194
10.	SPAWALNICZE PROCESY NANOSZENIA POWŁOK	199
10.1.	Charakterystyka procesów	199

10.2. Materiały dodatkowe do nanoszenia powłok	202
10.3. Metody napawania	205
10.4. Charakterystyka natryskiwania	211
10.5. Metody natryskiwania powłok	212
11. CIĘCIE TERMICZNE	217
11.1. Uwagi wstępne	217
11.2. Cięcie tlenowe	219
11.3. Cięcie plazmowe	224
11.4. Cięcie laserowe	226
11.5. Cięcie łukowe	228
11.6. Cięcie strumieniem wody	230
12. KONTROLA JAKOŚCI W SPAWALNICTWIE	233
12.1. Niezgodności spawalnicze, poziomy jakości i poziomy akceptacji	234
12.2. Badania nieniszczące złączy spawanych	238
12.2.1. Badania wizualne (VT)	238
12.2.2. Badania penetracyjne (PT)	239
12.2.3. Badania magnetyczno-proszkowe (MT)	240
12.2.4. Badania radiologiczne (RT)	241
12.2.5. Badania ultradźwiękowe (UT)	245
12.2.6. Badania szczelności (LT)	246
12.2.7. Badania prądami wirowymi (ET)	248
12.3. Badania niszczące złączy spawanych	249
12.3.1. Badania mechaniczne	249
12.3.2. Badania metalograficzne	251
LITERATURA	253
WYKAZ NORM	255
SKOROWIDZ	259