

Spis treści

Przedmowa	15
O zespole autorskim	17
1 _____	
Spawanie ręczne łukowe elektrodą otuloną	19
1.1. Wstęp.....	19
1.2. Charakterystyka metody.....	19
1.3. Parametry spawania.....	25
1.3.1. Rodzaj prądu spawania.....	25
1.3.2. Natężenie prądu spawania.....	27
1.3.3. Napięcie łuku.....	28
1.3.4. Prędkość spawania.....	28
1.3.5. Średnica elektrody otulonej.....	29
1.3.6. Pochylenie elektrody.....	29
1.4. Podstawowe wyposażenie stanowiska do spawania elektrodami otulonymi.....	32
1.5. Zalecenia technologiczne i techniki spawania elektrodami otulonymi	34
1.6. Zastosowanie spawania elektrodami otulonymi.....	42
Literatura.....	50
2 _____	
Spawanie metodą MIG/MAG	53
2.1. Ogólna charakterystyka spawania metodą MIG/MAG.....	53
2.2. Spawalniczy łuk elektryczny.....	56
2.2.1. Charakterystyka statyczna i dynamiczna łuku spawalniczego.....	56
2.2.2. Charakterystyka statyczna i dynamiczna źródła prądu, samoregulacja łuku spawalniczego.....	57

2.2.3.	Formowanie się kropli metalu elektrodowego.....	60
2.2.4.	Przenoszenie metalu w łuku spawalniczym.....	64
2.2.5.	Łuk pulsujący.....	69
2.3.	Parametry spawania metodą MIG/MAG.....	69
2.4.	Technika spawania metodą MIG/MAG.....	74
2.4.1.	Przygotowanie brzegów do spawania.....	74
2.4.2.	Wykonywanie spoin czołowych.....	78
2.4.3.	Wykonywanie spoin pachwinowych.....	81
2.5.	Technologia spawania.....	81
2.5.1.	Technologia spawania stali niestopowych i stopowych.....	82
2.5.2.	Technologia spawania stali typu duplex.....	88
2.6.	Odmiany procesu spawania MIG/MAG.....	92
2.6.1.	Proces STT.....	92
2.6.2.	Spawanie z impulsowym podawaniem drutu elektrodowego.....	93
2.6.3.	Spawanie punktowe.....	95
2.6.4.	Spawanie wąskoszczelinowe.....	97
2.6.5.	Spawanie elektrodą wahliwą.....	98
2.6.6.	Spawanie orbitalne.....	99
2.6.7.	Lutospawanie metodą MIG/MAG.....	100
2.6.8.	Spawanie z dużą wydajnością.....	101
2.7.	Zakłócenia procesu spawania MIG/MAG.....	111
2.8.	Normowanie prac spawalniczych przy spawaniu metodą MIG/MAG.....	115
	Literatura.....	117

3_____

Spawanie łukowe drutami z rdzeniem proszkowym 121

3.1.	Spawanie łukowe drutem proszkowym w osłonie gazowej.....	121
3.1.1.	Charakterystyka metody.....	121
3.1.2.	Parametry spawania.....	126
3.1.3.	Technologia i technika spawania.....	140
3.2.	Spawanie łukowe drutem proszkowym samoosłonowym.....	146
3.2.1.	Charakterystyka metody.....	146
3.2.2.	Parametry spawania.....	150
3.2.3.	Technologia i technika spawania.....	156
	Literatura.....	169

4_____

Spawanie TIG 173

4.1.	Ogólna charakterystyka procesu.....	173
4.2.	Urządzenia spawalnicze.....	175
4.3.	Elektrody wolframowe.....	179
4.4.	Materiały dodatkowe do spawania.....	182

4.4.1. Gazy osłonowe.....	182
4.4.2. Spoiwa.....	184
4.5. Konstrukcja złączy spawanych.....	184
4.6. Technologia spawania.....	186
4.6.1. Rodzaj prądu i biegunowość.....	186
4.6.2. Przygotowanie do spawania.....	189
4.6.3. Przepływ gazu osłonowego.....	190
4.6.4. Osłona grani.....	192
4.6.5. Przebieg spawania.....	193
4.6.6. Technika spawania.....	195
4.7. Spawanie zmechanizowane.....	197
4.8. Odmiany spawania TIG.....	198
4.8.1. Spawanie łukiem zanurzonym.....	198
4.8.2. Spawanie punktowe.....	199
4.8.3. Spawanie wąskoszczelinowe.....	199
4.8.4. Spawanie w komorze.....	200
4.8.5. Inne odmiany spawania.....	201
4.9. Spawanie metodą A-TIG.....	202
4.10. Zakres stosowania spawania TIG.....	206
Literatura.....	207

5 _____

Spawanie łukiem krytym

209

5.1. Ogólna charakterystyka metody spawania łukiem krytym.....	209
5.2. Wyposażenie stanowiska spawalniczego.....	211
5.3. Spawalnicze materiały dodatkowe.....	213
5.4. Technika spawania łukiem krytym.....	214
5.4.1. Przygotowanie brzegów do spawania.....	218
5.4.2. Stosowanie podpawania i podkładek technologicznych.....	218
5.4.3. Zajarzanie łuku.....	222
5.4.4. Wykonywanie spoin czołowych w pozycji podolnej.....	223
5.4.5. Wykonywanie spoin pachwinowych w pozycji podolnej i nabocznej.....	225
5.4.6. Spawanie w pozycjach przymusowych.....	227
5.5. Odmiany procesu spawania łukiem krytym.....	229
5.5.1. Spawanie wieloelektrodowe i wielołukowe.....	229
5.5.2. Spawanie wąskoszczelinowe łukiem krytym.....	232
5.5.3. Spawanie drutem proszkowym.....	234
5.5.4. Spawanie taśmą elektrodową.....	234
5.5.5. Spawanie z dodatkowym materiałem proszkowym.....	235
5.5.6. Spawanie łukiem krytym prądem pulsującym.....	235
5.5.7. Spawanie z elektromagnetycznym oddziaływaniem.....	236
5.5.8. Spawanie drutem gorącym.....	237

SPIS TREŚCI

5.6.	Typowe niezgodności spawalnicze, przyczyny ich powstawania, zapobieganie.....	237
5.6.1.	Pęcherze gazowe.....	237
5.6.2.	Pęknięcia.....	238
5.6.3.	Wtrącenia żużla.....	240
5.6.4.	Przyklejenie i brak przetopu.....	241
5.6.5.	Niezgodności spawalnicze dotyczące kształtu i wymiarów.....	241
5.7.	Normowanie prac spawalniczych przy spawaniu łukiem krytym.....	243
	Literatura.....	244

6_____

Spawanie plazmowe 247

6.1.	Wstęp.....	247
6.2.	Charakterystyka metody.....	248
6.3.	Przygotowanie złączy.....	251
6.4.	Techniki spawania plazmowego.....	252
6.5.	Zastosowanie spawania plazmowego.....	255
6.6.	Odmiany spawania plazmowego.....	258
6.6.1.	Spawanie plazmowo-proszkowe.....	258
6.6.2.	Spawanie plazmowe MIG.....	259
	Literatura.....	260

7_____

Spawanie elektronowe i laserowe 261

7.1.	Spawanie elektronowe.....	261
7.1.1.	Ogólna charakterystyka metody.....	261
7.1.2.	Oddziaływanie wiązki elektronów na powierzchnię materiału spawanego.....	262
7.1.3.	Proces formowania się spoiny.....	263
7.1.4.	Zalety technologii spawania wiązką elektronów.....	266
7.1.5.	Parametry technologiczne procesu.....	267
7.1.6.	Charakterystyka podstawowych rodzajów złączy stosowanych przy spawaniu elektronowym.....	276
7.1.7.	Projektowanie elementów przeznaczonych do spawania elektronowego.....	280
7.1.8.	Dokładność obróbki mechanicznej elementów przeznaczonych do spawania wiązką elektronów.....	284
7.1.9.	Pasowania elementów o symetrii obrotowej.....	285
7.1.10.	Inne uwarunkowania procesu spawania elektronowego.....	286
7.1.11.	Przygotowanie powierzchni do spawania.....	287
7.1.12.	Podstawowe uwarunkowania spawalności wiązką elektronów typowych materiałów konstrukcyjnych.....	288
7.1.13.	Dokumentacja procesu spawania wiązką elektronów.....	292

7.2.	Spawanie laserowe.....	293
7.2.1.	Spawanie laserowe - charakterystyka podstawowych metod.....	293
7.2.2.	Spawanie z wykorzystaniem różnych typów laserów.....	301
7.2.3.	Parametry procesu i możliwości technologiczne metody.....	307
7.2.4.	Rozwiązania konstrukcyjne i przygotowanie złączy do spawania laserowego.....	317
7.2.5.	Obszar zastosowań spawania laserowego.....	319
	Literatura.....	321

8_____

Inne metody spawania 323

8.1.	Spawanie gazowe.....	323
8.1.1.	Charakterystyka ogólna procesu.....	323
8.1.2.	Gazy stosowane do spawania.....	325
8.1.3.	Spoiwa.....	325
8.1.4.	Płomień spawalniczy.....	325
8.1.5.	Konstrukcja złączy spawanych.....	327
8.1.6.	Technologia spawania.....	329
8.2.	Spawanie łukowo-wodorowe.....	334
8.3.	Spawanie elektrodą węglową.....	335
8.4.	Spawanie elektrodożłowe.....	337
8.5.	Spawanie elektrogazowe.....	341
8.6.	Spawanie termitowe.....	343
	Literatura.....	345

9_____

Technologia zgrzewania rezystancyjnego 347

9.1.	Wiadomości ogólne.....	347
9.2.	Technologia zgrzewania doczołowego zwarciovego.....	351
9.2.1.	Zasada zgrzewania.....	351
9.2.2.	Zakres zastosowania.....	352
9.2.3.	Parametry zgrzewania.....	353
9.2.4.	Jakość zgrzewania.....	356
9.3.	Technologia zgrzewania doczołowego iskrowego.....	359
9.3.1.	Zasada zgrzewania.....	359
9.3.2.	Zakres zastosowania.....	361
9.3.3.	Zalecenia ogólne.....	362
9.3.4.	Parametry zgrzewania.....	367
9.3.5.	Jakość zgrzewania.....	371
9.4.	Technologia zgrzewania punktowego.....	375
9.4.1.	Zasada zgrzewania.....	375
9.4.2.	Zakres zastosowania.....	381

9.4.3.	Zalecenia ogólne.....	383
9.4.4.	Programy i parametry zgrzewania.....	389
9.4.5.	Charakterystyka połączeń.....	418
9.5.	Technologia zgrzewania garbowego.....	421
9.5.1.	Zasada zgrzewania.....	421
9.5.2.	Zakres zastosowania.....	424
9.5.3.	Zalecenia ogólne.....	426
9.6.	Technologia zgrzewania liniowego.....	445
9.6.1.	Zasada zgrzewania.....	445
9.6.2.	Zakres zastosowania.....	453
9.6.3.	Zalecenia ogólne.....	454
9.6.4.	Parametry zgrzewania.....	458
9.6.5.	Charakterystyka połączeń.....	462
	Literatura.....	466

10_____

Zgrzewanie tarciove

469

10.1.	Zasada zgrzewania.....	469
10.2.	Zalecenia ogólne.....	474
10.3.	Parametry zgrzewania.....	480
10.4.	Zakres zastosowania zgrzewania tarciovego.....	486
10.5.	Charakterystyka połączeń.....	488
10.6.	Zgrzewanie tarciove z mieszaniem materiału zgrzeiny - FSW.....	493
10.6.1.	Proces FSW.....	493
10.6.2.	Narzędzia do zgrzewania.....	497
10.6.3.	Parametry zgrzewania.....	500
	Literatura.....	502

ri_____

Inne metody zgrzewania

509

11.1.	Technologia zgrzewania dyfuzyjnego.....	509
11.1.1	Zasada zgrzewania.....	509
11.1.2	Zalecenia ogólne.....	512
11.1.3	Parametry zgrzewania.....	514
11.1.4	Zakres zastosowania.....	517
11.1.5	Charakterystyka połączeń.....	517
11.2.	Technologia zgrzewania łukiem wirującym.....	518
11.2.1	Zasada zgrzewania.....	518
11.2.2	Zakres zastosowania.....	520
11.2.3	Parametry zgrzewania.....	522
11.2.4	Charakterystyka połączeń.....	524

11.3. Technologia zgrzewania prądami wielkiej częstotliwości.....	524
11.3.1 Zasada zgrzewania.....	524
11.3.2 Charakterystyka technologiczna sposobów zgrzewania.....	525
11.3.3 Zgrzewanie prądami wielkiej częstotliwości stali nierdzewnych oraz materiałów nieżelaznych.....	530
11.3.4. Ocena jakości zgrzewania.....	531
11.4. Technologia zgrzewania ultradźwiękowego.....	533
11.4.1. Zasada zgrzewania.....	533
11.4.2. Zalecenia ogólne.....	536
11.4.3. Parametry zgrzewania.....	537
11.4.4. Charakterystyka złączy.....	540
11.4.5. Zakres zastosowania.....	541
11.5. Technologia zgrzewania wybuchowego.....	542
11.5.1. Zasada zgrzewania.....	542
11.5.2. Zalecenia ogólne.....	544
11.5.3. Parametry zgrzewania.....	545
11.5.4. Charakterystyka złączy.....	548
11.5.5. Zakres zastosowania.....	549
11.6. Technologia zgrzewania zgniotowego.....	551
11.6.1. Zasada zgrzewania.....	551
11.6.2. Zakres zastosowania.....	553
11.6.3. Ogólne zalecenia.....	553
11.6.4. Parametry zgrzewania.....	556
11.6.5. Charakterystyka połączeń.....	558
11.7. Łukowe zgrzewanie kołków metalowych.....	559
11.7.1. Zasada procesu.....	559
11.7.2. Zalecenia ogólne.....	561
11.7.3. Parametry zgrzewania.....	561
11.7.4. Badania złączy i kwalifikowanie technologii.....	562
11.7.5. Zakres stosowania.....	562
Literatura.....	562

12

Lutowanie

565

12.1. Charakterystyka, podstawowe pojęcia i definicje.....	565
12.2. Fizyczno-chemiczne podstawy lutowania.....	569
12.3. Klasyfikacja i charakterystyka metod lutowania.....	576
12.4. Materiały dodatkowe do lutowania.....	581
12.4.1. Spoiwa do lutowania.....	582
12.4.2. Topniki do lutowania.....	600
12.4.3. Atmosfery kontrolowane do lutowania.....	611
12.5. Konstrukcja i wytrzymałość połączeń.....	618
12.6. Przygotowanie elementów do lutowania.....	621

12.7. Technologia lutowania podstawowych materiałów konstrukcyjnych ..	622
12.7.1. Lutowanie żelaza i jego stopów.....	622
12.7.2. Lutowanie miedzi i jej stopów.....	627
12.7.3. Lutowanie materiałów narzędziowych.....	629
12.7.4. Lutowanie niklu oraz stopów niklu i kobaltu.....	631
12.7.5. Lutowanie metali lekkich.....	632
12.7.6. Lutowanie metali reaktywnych i ich stopów.....	636
12.7.7. Lutowanie metali wysokotopliwych i ich stopów.....	638
12.7.8. Lutowanie metali szlachetnych i ich stopów.....	641
12.7.9. Lutowanie metali niskotopliwych.....	642
12.7.10. Uznawanie technologii lutowania.....	643
Literatura.....	644

13_____

Technologia cięcia tlenowego 647

13.1. Podstawy procesu cięcia tlenowego.....	647
13.2. Uwarunkowania procesu.....	649
13.3. Technika cięcia.....	653
13.3.1. Cięcie ręczne.....	653
13.3.2. Cięcie zmechanizowane.....	656
13.3.3. Plany cięcia.....	658
13.3.4. Ukosowanie.....	660
13.4. Jakość cięcia tlenowego.....	661
13.4.1. Zmiany w strefie wpływu ciepła.....	661
13.4.2. Deformacje materiału ciętego.....	661
13.4.3. Jakość cięcia.....	662
13.4.4. Zalecenia praktyczne.....	663
Literatura.....	664

14_____

Cięcie plazmowe 665

14.1. Wstęp.....	665
14.2. Charakterystyka metody.....	665
14.3. Parametry cięcia.....	666
14.4. Gazy plazmowe.....	668
14.5. Elektrody i dysze.....	671
14.6. Jakość cięcia plazmowego.....	672
14.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy cięciu.....	675
14.8. Odmiany cięcia plazmowego.....	677
Literatura.....	681

15**Cięcie laserowe 683**

15.0.	Wstęp.....	683
15.1.	Cięcie laserowe - charakterystyka metody.....	683
15.2.	Typy laserów wykorzystywanych do cięcia.....	686
15.3.	Możliwości technologiczne metody i parametry procesu.....	692
15.4.	Technika i optymalizacja procesu cięcia laserowego.....	699
15.5.	Jakość cięcia.....	706
15.6.	Przemysłowe zastosowania cięcia laserowego.....	708
	Literatura.....	710

16**Spawalnicze metody nanoszenia warstw 713**

16.0.	Wstęp.....	713
16.1.	Napawanie.....	717
16.1.1.	Ogólna charakterystyka napawania.....	717
16.1.2.	Materiały dodatkowe do napawania.....	719
16.1.3.	Technologie napawania ręcznego i zmechanizowanego.....	746
16.1.4.	Problemy spawalności i zabiegi cieplne przy napawaniu.....	763
16.1.5.	Odształcenia w czasie napawania.....	767
16.1.6.	Jakość warstw napawanych.....	768
16.1.7.	Trwałość zmęczeniowa i kontaktowa napawanych elementów maszyn.....	771
16.1.8.	Ekonomiczna efektywność napawania.....	782
16.1.9.	Przykłady zastosowań napawania prewencyjnego i regeneracyjnego ..	787
16.2.	Natryskiwanie cieplne.....	795
16.2.1.	Ogólna charakterystyka natryskiwania.....	795
16.2.2.	Materiały dodatkowe do natryskiwania.....	798
16.2.3.	Technologie natryskiwania powłok.....	806
16.2.4.	Obecne i perspektywiczne obszary zastosowania natryskiwania cieplnego.....	817
16.3.	Inne metody nanoszenia warstwy wierzchniej.....	822
16.3.1.	Napawanie indukcyjne.....	822
16.3.2.	Platerowanie wybuchowe.....	824
16.3.3.	Nanoszenie powłoki metodą przygrzewania rezystancyjnego.....	825
16.3.4.	Napawanie tarciove.....	826
16.3.5.	Napawanie termitowe.....	827
16.3.6.	Napawanie łukowe z użyciem past.....	828
16.4.	Kwalifikowanie technologii napawania i natryskiwania.....	828
	Literatura.....	831

17**Procesy pokrewne spajaniu metali 841**

17.1.	Zgrzewanie tworzyw sztucznych termoplastycznych	841
17.1.1.	Zgrzewanie doczołowe	842
17.1.2.	Zgrzewanie mufowe (polifuzyjne)	848
17.1.3.	Zgrzewanie elektrooporowe	850
17.1.4.	Zgrzewanie gorącym klinem	853
17.1.5.	Zgrzewanie tarciove	853
17.1.6.	Zgrzewanie w polu elektrycznym wielkiej częstotliwości	854
17.1.7.	Zgrzewanie ultradźwiękowe	860
17.1.8.	Zgrzewanie promieniami podczerwonymi	864
17.2.	Spawanie tworzyw sztucznych termoplastycznych	866
17.2.1.	Spawanie gorącym powietrzem	867
17.2.2.	Spawanie ekstruzyjne	872
17.2.3.	Spawanie laserowe	878
17.3.	Spajanie nowoczesnych materiałów	882
17.3.1.	Materiały ceramiczne	882
17.3.2.	Kompozyty	890
17.3.3.	Stopy na podstawie faz międzymetalicznych	893
17.4.	Klejenie materiałów	899
17.4.1.	Wprowadzenie	899
17.4.2.	Historia klejenia	900
17.4.3.	Zjawiska fizykochemiczne występujące podczas klejenia	901
17.4.4.	Zalety i wady klejenia	903
17.4.5.	Czynniki wpływające na powstanie połączeń klejowych	905
17.4.6.	Wytwarzanie połączeń klejowych	909
17.4.7.	Podział klejów	912
17.4.8.	Kleje reaktywne (utwardzające się chemicznie)	913
17.4.9.	Kleje utwardzające się w wyniku procesów fizycznych	918
17.4.10.	Klejenie ważniejszych materiałów	920
17.4.11.	Naprawy za pomocą klejenia	924
17.4.12.	Badania połączeń klejowych	925
	Literatura	927

Skorowidz**935**