

TOM 1

Przedmowa 19

O zespole autorskim 21

1 Klasyfikacja i charakterystyka procesów spawania i pokrewnych 23

Literatura 35

2 Przetwarzanie energii do celów spawalniczych [1] 37

2.0. Wstęp 37

2.1. Nagrzewanie skoncentrowanym światłem 39

2.2. Nagrzewanie indukcyjne 40

2.3. Nagrzewanie ciepłem wydzielonym na rezystancji 40

2.4. Nagrzewanie łukiem elektrycznym 41

2.5. Nagrzewanie strumieniem plazmy niskotemperaturowej 44

2.6. Nagrzewanie wiązką elektronową 45

2.7. Nagrzewanie wiązką laserową 49

2.8. Nagrzewanie tarciove 50

Literatura 52

3 Ciepne procesy spawalnicze 53

3.1. Uwagi ogólne 53

3.2. Przepływ ciepła i pole temperatur przy spajaniu 57

3.2.1. Równanie różniczkowe przewodzenia ciepła 57

3.2.2. Pole temperatur w przypadku napawania lub spawania ciała masywnego 59

3.2.3. Pole temperatur w przypadku spawania i napawania 62

3.2.4. Pole temperatur w przypadku zgrzewania płyt i prętów 65

3.2.5. Napawanie wałków 66

3.3. Wybrane zagadnienia topienia metalu, tworzenia się jeziora spawalniczego i jego krystalizacji 67

3.3.1. Jezioro spawalnicze i jego wymiary 67

3.3.2. Efektywność cieplna procesu spawania 70

3.4. Nagrzewanie i topienie drutu elektrodowego 70

3.5. Spawalniczy cykl cieplny 74

3.5.1. Wielkość strefy wpływu ciepła 76

3.5.2. Wielkości charakterystyczne cyklu cieplnego prostego 77

3.5.3. Uwagi dotyczące cyklu cieplnego złożonego 80

3.6. Metody określania pola temperatur i wyznaczania cyklu cieplnego w procesie spajania 81

3.6.1. Metody numeryczne wyznaczania pola temperatur i cykli cieplnych 82

3.6.2. Metoda termografii do oceny pola temperatur 84

3.6.3. Pomiar bezpośredni temperatur i wyznaczenie cykli cieplnych 85

Literatura 87

4 Metalurgia spawania 88

4.1. Różnorodność metalurgicznych procesów spawania 88

- 4.2. Utlenianie i redukcja 89
- 4.3. Odsiarczanie ciekłego metalu 91
- 4.4. Odfosforowanie ciekłego metalu 92
- 4.5. Wprowadzanie składników stopowych do spoiny 93
- 4.6. Żużle spawalnicze 95

- 4.7. Rozpuszczanie i wydzielanie gazów w ciekłym metalu 98
 - 4.7.1. Wodór w procesie spawania 100
 - 4.7.2. Azot w procesie spawania 102
 - 4.7.3. Tlen w procesie spawania 103

- 4.8. Krystalizacja 105
- 4.9. Pęcherze i pory gazowe w spoinach 107
- 4.10. Wtrącenia niemetaliczne w spoinach 108
- 4.11. Pęknięcia gorące w spoinach 110
- Literatura 112

5 Podstawy metaloznawstwa spawalniczego i spawalność materiałów 113

- 5.1. Proces spawania 113
- 5.2. Cykl cieplny spawania 114
- 5.3. Strefy ogólne złączy spawanych 117

- 5.4. Strefy szczególne złączy spawanych 120
 - 5.4.1. Strefa starzenia w stalach niskowęglowych 120
 - 5.4.2. Strefa podhartowania w stalach C-Mn 122
 - 5.4.3. Strefa martenzytu odpuszczonego w stalach ulepszanych cieplnie 123
 - 5.4.4. Strefa wydzielania węglików w stalach austenitycznych 124
 - 5.4.5. Złącza spawane niejednorodne 126

- 5.5. Obróbka cieplna złączy spawanych 127
- 5.6. Określenie i definicja spawalności 130
- 5.7. Rodzaje spawalności 132

- 5.8. Metody oceny spawalności 134
 - 5.8.1. Metody teoretyczne 134
 - 5.8.2. Metody praktyczne 138
- 5.9. Próby badania skłonności stali do pęknięcia 147
- Literatura 151

6 Stale stosowane na konstrukcje spawane 152

- 6.0. Podział stali i ich oznaczanie 152
- 6.1. Stale niestopowe 154

- 6.2. Stale stopowe 159
 - 6.2.1. Węglowo-manganowe i mikroskopowe stale o podwyższonej wytrzymałości 159
 - 6.2.2. Stale walcowane termomechanicznie 164
 - 6.2.3. Stale ulepszone cieplnie 164
 - 6.2.4. Spawalność i wytyczne spawania drobnoziarnistych stali konstrukcyjnych 166
 - 6.2.5. Stale do pracy w bardzo niskich temperaturach (stale kriotechniczne) 175
 - 6.2.6. Stale konstrukcyjne do ulepszania cieplnego 180

6.2.7. Stale na narzędzia 183

6.2.8. Stale stopowe specjalne 186

6.3. Stale do pracy w podwyższonych temperaturach 189

6.3.1. Wprowadzenie 189

6.3.2. Stale energetyczne niestopowe 190

6.3.3. Stale energetyczne stopowe 194

6.3.4. Spawalność stali energetycznych niestopowych 199

6.3.5. Spawalność stali energetycznych stopowych 204

6.4. Wysokostopowe stale odporne na korozję 217

6.4.1. Ogólna charakterystyka stali odpornych na korozję 217

6.4.2. Klasyfikacja stali odpornych na korozję według mikrostruktury 218

6.4.3. Chromowe stale martenzytyczne 218

6.4.4. Chromowe stale ferrytyczne 221

6.4.5. Chromowo-niklowe stale z miękkim martenzytem 224

6.4.6. Chromowo-niklowe stale austenityczne 226

6.4.7. Austenityczno-ferrytyczne stale odporne na korozję (stale typu duplex) 232

Literatura 235

7 Metale nieżelazne stosowane na konstrukcje spawane 238

7.1. Nikiel i jego stopy 238

7.1.1. Właściwości niklu 238

7.1.2. Spawalność niklu 241

7.1.3. Stopy niklu 242

7.1.4. Spawalność stopów niklu 248

7.1.5. Spawanie niklu i jego stopów 248

7.1.6. Problemy występujące podczas spawania stopów niklu i zalecenia odnośnie do technologii ich łączenia 250

7.2. Miedź i jej stopy 252

7.2.1. Właściwości miedzi 252

7.2.2. Spawalność miedzi 254

7.2.3. Spawanie miedzi 255

7.2.4. Stopy miedzi 256

7.3. Aluminium i jego stopy 264

7.3.1. Charakterystyka aluminium 264

7.3.2. Spawalność aluminium i jego stopów 265

7.3.3. Spawanie aluminium i jego stopów 269

7.3.4. Badanie technologii spawania aluminium i jego stopów 276

7.3.5. Zgrzewanie aluminium i jego stopów 278

7.3.6. Lutowanie aluminium i jego stopów 280

7.4. Magnez i jego stopy 282

7.4.1. Charakterystyka magnezu i jego stopów 282

7.4.2. Stopy magnezu i ich spawalność 283

7.4.3. Spawanie stopów magnezu 285

7.4.4. Obróbka cieplna po spawaniu 289

7.4.5. Zgrzewanie stopów magnezu 289

7.4.6. Lutowanie stopów magnezu 290

- 7.5. Tytan i jego stopy 291
- 7.5.1. Wprowadzenie 291
- 7.5.2. Spawanie tytanu i jego stopów 298
- 7.5.3. Spawalność stopów tytanu 300
- 7.5.4. Spajanie tytanu i jego stopów 301
- 7.5.5. Problem zgrzewania tytanu i jego stopów 311
- 7.5.6. Problem lutowania tytanu i jego stopów 312

- 7.6. Metale specjalne 312
- 7.6.1. Cyrkon 313
- 7.6.2. Hafn 314
- 7.6.3. Tantal 314
- 7.6.4. Niob 315
- 7.6.5. Beryl 316
- 7.6.6. Uran 317
- 7.6.7. Molibden i wolfram 317
- 7.6.8. Srebro 318
- 7.6.9. Złoto 319
- 7.6.10. Platyna 319
- 7.6.11. Ołów 320
- Literatura 322

8 Inne materiały stosowane na konstrukcje spawane 325

- 8.1. Materiały ceramiczne 325
- 8.1.1. Obszar zastosowań materiałów ceramicznych 325
- 8.1.2. Wybrane właściwości materiałów ceramicznych 328
- 8.1.3. Podstawy procesów spajania materiałów ceramicznych 331
- 8.1.4. Techniki spajania 337
- 8.1.5. Konstrukcja złączy ceramiczno-metalowych 341
- 8.2. Kompozyty metalowe 342
- 8.2.1. Charakterystyka kompozytów metalowych 342
- 8.2.2. Materiały wyjściowe 344
- 8.2.3. Materiały faz wzmacniających 345
- 8.2.4. Materiały osnowy 347
- 8.2.5. Techniki spajania kompozytów metalowych 349
- 8.3. Materiały do spajania materiałów ceramicznych i kompozytowych 351
- 8.3.1. Spoiwa 351
- 8.3.2. Inne materiały pomocnicze używane do spajania ceramiki i kompozytów 363
- 8.4. Żeliwa 364
- 8.4.1. Ogólna charakterystyka i podział żeliw 364
- 8.4.2. Spawalność żeliw 369
- 8.4.3. Wytyczne spawania żeliw 371
- 8.5. Materiały dodatkowe do spawania żeliwa 377
- 8.6. Tworzywa termoplastyczne 378
- 8.6.1. Ogólne wiadomości o tworzywach termoplastycznych 378

- 8.6.2. Ważniejsze właściwości tworzyw termoplastycznych 380
- 8.6.3. Rodzaje tworzyw termoplastycznych 385
- 8.6.4. Metody spajania tworzyw termoplastycznych 390

8.7. Materiały dodatkowe do zgrzewania i spawania tworzyw termoplastycznych 392

- 8.7.1. Materiały dodatkowe do zgrzewania 392
- 8.7.2. Materiały dodatkowe do spawania 395

Literatura 396

9 Materiały dodatkowe do spawania 398

9.0. Wstęp 398

9.1. Rodzaje materiałów dodatkowych 398

9.2. Spoiwa 399

- 9.2.1. Charakterystyka ogólna spoiw 400
- 9.2.2. Wymiary spoiw 407
- 9.2.3. Stan dostawy spoiw 410
- 9.2.4. Znakowanie spoiw 412
- 9.2.5. Opakowanie 413
- 9.2.6. Warunki transportu i magazynowania 414
- 9.2.7. Przygotowanie spoiw do użycia 415

9.3. Gazy techniczne 416

- 9.3.1. Gazy osłonowe 416
- 9.3.2. Gazy palne 421
- 9.3.3. Gazy podtrzymujące palenie 425

9.4. Topniki 426

- 9.4.1. Topniki do spawania łukiem krytym 426
- 9.4.2. Topniki do spawania innymi metodami 435

9.5. Inne materiały dodatkowe 437

- 9.5.1. Elektrody wolframowe 437
- 9.5.2. Elektrody węglowe 440
- 9.5.3. Elektrody topliwe do cięcia i żłobienia 441
- 9.5.4. Podkładki formujące 441
- 9.5.5. Pierścienie ceramiczne 443
- 9.5.6. Mieszanki termitowe 443

9.6. Materiały pomocnicze 444

- 9.6.1. Materiały do czyszczenia przed spawaniem 444
- 9.6.2. Środki ochronne przed odpryskami 444
- 9.6.3. Materiały termoizolacyjne 445
- 9.6.4. Kredki termoindykatorowe 445
- 9.6.5. Środki trawiące po spawaniu 445

Literatura 446

10 Dobór materiałów na konstrukcje spawane 448

10.1. Zalecenia ogólne 448

10.2. Charakterystyki mechaniczne stali na konstrukcje spawane 450

- 10.3. Wybór kategorii wytrzymałości stali 458
- 10.4. Dobór stali ze względu na pękanie kruche 461
- 10.5. Dobór stali do pracy w podwyższonych temperaturach 465
- 10.6. Stale trudno rdzewiejące 468
- 10.7. Dobór stali na konstrukcje obciążone zmęczeniowo 470
- 10.8. Charakterystyka i dobór stopów aluminium na konstrukcje spawane 472
- Literatura 477

11. Materiały dodatkowe do spawania stali stosowanych na konstrukcje spawane 479

11.0. Wstęp 479

- 11.1. Materiały dodatkowe do spawania stali niestopowych i drobnoziarnistych 480
 - 11.1.1. Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego 481
 - 11.1.2. Druty elektrodowe do spawania łukowego elektrodą topliwą w osłonie gazów i ich stopiwo 484
 - 11.1.3. Pręty i druty do spawania łukowego w osłonie gazów elektrodą wolframową (TIG) oraz ich stopiwo 485
 - 11.1.4. Druty elektrodowe i kombinacje drut-topnik do spawania łukiem krytym 487
 - 11.1.5. Druty proszkowe do spawania łukowego w osłonie i bez osłony gazowej 488
 - 11.1.6. Pręty do spawania tlenowo-gazowego 491
 - 11.1.7. Druty i kombinacje drut-topnik do spawania elektrożułowego 492

11.2. Materiały dodatkowe do spawania stali o wysokiej wytrzymałości 492

- 11.2.1. Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego 493
- 11.2.2. Druty elektrodowe, druty i pręty do spawania łukowego w osłonie gazów oraz ich stopiwo 496
- 11.2.3. Druty elektrodowe i kombinacje drut-topnik do spawania łukiem krytym 499
- 11.2.4. Druty proszkowe do spawania łukowego w osłonie gazowej 499

11.3. Materiały dodatkowe do spawania stali żarowytrzymałych 501

- 11.3.1. Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego 501
- 11.3.2. Druty elektrodowe, druty i pręty do spawania łukowego oraz ich stopiwo 504
- 11.3.3. Druty proszkowe do spawania łukowego w osłonie gazowej 506
- 11.3.4. Pręty do spawania tlenowo-gazowego 508

11.4. Materiały dodatkowe do spawania stali nierdzewnych i żaroodpornych 509

- 11.4.1. Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego 509
- 11.4.2. Druty elektrodowe, druty i pręty do spawania łukowego 513
- 11.4.3. Druty proszkowe do spawania łukowego w osłonie i bez osłony gazowej 517
- Literatura 520

12. Materiały dodatkowe do spawania metali nieżelaznych stosowanych na konstrukcje spawane 522

12.0. Wstęp 522

12.1. Materiały do spawania niklu i jego stopów 523

- 12.1.1. Spoiwa niklowe 524
- 12.1.2. Gazy osłonowe 533
- 12.1.3. Topniki 534

12.2. Materiały do spawania miedzi i jej stopów 536

- 12.2.1. Spoiwa 537

12.2.2. Gazy osłonowe 543

12.2.3. Topniki 543

12.3. Materiały do spawania aluminium i jego stopów 544

12.3.1. Spoiwa aluminiowe 544

12.3.2. Gazy osłonowe 551

12.3.3. Topniki 551

12.4. Materiały do spawania magnezu i jego stopów 552

12.4.1. Spoiwa 552

12.4.2. Gazy osłonowe 553

12.5. Materiały do spawania metali reaktywnych i ich stopów 554

12.5.1. Materiały do spawania tytanu i jego stopów 554

12.5.2. Materiały do spawania cyrkonu i berylu oraz ich stopów 555

12.6. Materiały do spawania metali wysokotopliwych i ich stopów 555

12.7. Materiały do spawania metali szlachetnych i ich stopów 556

12.8. Materiały do spawania metali niskotopliwych i ich stopów 556

12.8.1. Materiały do spawania cynku i jego stopów 556

12.8.2. Materiały do spawania ołowiu i jego stopów 557

Literatura 558

13 Naprężenia i odkształcenia spawalnicze 559

13.1. Ciepłno-mechaniczne właściwości metali i stopów 559

13.2. Powstawanie naprężeń własnych 563

13.3. Rozkłady naprężeń własnych 568

13.4. Odkształcenia spawalnicze 572

13.4.1. Odkształcenia poprzeczne 573

13.4.2. Odkształcenia podłużne 574

13.4.3. Odkształcenia kątowe 577

13.5. Zasady minimalizacji naprężeń i odkształceń spawalniczych 580

13.6. Odprężanie mechaniczne 587

13.7. Stabilność wymiarowa konstrukcji 592

13.8. Stabilizacja wibracyjna 594

Literatura 597

14 Projektowanie połączeń spawanych 598

14.1. Charakterystyka złączy i spoin 598

14.2. Przygotowanie brzegów złączy do spawania 605

14.3. Oznaczanie i wymiarowanie spoin na rysunkach 608

14.3.1. Postanowienia ogólne 608

14.3.2. Znaki spoin 609

14.3.3. Umiejscowienie znaków spoin na rysunkach 609

14.3.4. Oznaczenia uzupełniające 612

14.4. Wymiarowanie spoin 613
14.5. Technologiczność konstrukcji spawanych 615
14.6. Projektowanie połączeń spawanych - zalecenia ogólne 616
Literatura 635

15 Wytrzymałość połączeń spawanych 636

15.1. Obliczenia statyczne 636
15.2. Obliczanie wytrzymałości zmęczeniowej 647
15.3. Obliczanie odporności na kruche pękanie 661
Literatura 669

16 Klasyfikacja i certyfikacja w spawalnictwie 670

16.1. Klasyfikacja wytwórców wyrobów spawanych 670
16.1.1. Klasyfikacja zakładów przemysłowych na podstawie PN-87/M-69009 670
16.1.2. Klasyfikacja zakładów przemysłowych przez niektóre krajowe organizacje nadzorcze (UDT i PRS) 672
16.1.3. Klasyfikacja zakładów przemysłowych w normach i przepisach europejskich 675

16.2. Szkolenie i kwalifikowanie personelu spawalniczego 677
16.2.1. System szkolenia i kwalifikowania personelu spawalniczego w Polsce 677
16.2.2. Europejski system szkolenia i kwalifikowania personelu spawalniczego 680

17 Zapewnienie jakości w spawalnictwie 699

17.1. Zarządzanie przez jakość 699

17.2. Systemy zapewnienia jakości 700
17.2.1. System zapewnienia jakości według norm serii PN-ISO 9000:1996 701
17.2.2. System zapewnienia jakości według norm serii PN-EN ISO 9000:2001 703
17.2.3. Systemy zarządzania środowiskowego 711
17.2.4. Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy 713
17.2.5. Systemy zapewnienia jakości według normy PN-EN 729 713

17.3. Procedura oceny zgodności wyrobu 723
17.3.1. Moduły stosowane w ocenie zgodności wyrobu 723
17.3.2. Dokumentacja techniczna 726
17.3.3. Deklaracja zgodności 727
17.3.4. Jednostki notyfikowane 729
17.3.5. Znakowanie CE 730

17.4. Certyfikacja w spawalnictwie 731
17.4.1. Certyfikacja wyrobów spawalniczych 731
17.4.2. Certyfikacja personelu 732
17.4.3. Certyfikacja systemów jakości 734
17.4.4. Instytut Spawalnictwa jako jednostka certyfikująca 735

17.5. Przebieg procesu certyfikacji systemu jakości 738

17.6. Jednostki akredytujące i autoryzujące 747
17.6.1. Polskie Centrum Akredytacji 747

17.6.2. Europejska Federacja Spawalnicza 748
17.6.3. Międzynarodowy Instytut Spawalnictwa 750
Literatura 754

18 Niezgodności spawalnicze złączy spawanych, zgrzewanych i lutowanych 757

18.0. Wstęp 757

18.1. Niezgodności spawalnicze złączy spawanych 760
18.1.1. Pustki gazowe 760
18.1.2. Wtrącenia stałe 768
18.1.3. Przyklejenia 775
18.1.4. Brak przetopu 777
18.1.5. Pęknięcia 7g0
18.1.6. Niezgodności spawalnicze dotyczące kształtu złączy spawanych 794

18.2. Niezgodności spawalnicze złączy zgrzewanych 802

18.3. Niezgodności spawalnicze złączy lutowanych 810
Literatura

19. Kontrola jakości w spawalnictwie 816

19.1. Zakres kontroli procesów spawalniczych 816

19.2. Nieniszczące metody badań połączeń spajanych 820

19.2.1. Badania wizualne 822
19.2.2. Badania szczelności 825
19.2.3. Badania penetracyjne 830
19.2.4. Badania magnetyczno-proszkowe 835
19.2.5. Badania prądami wirowymi 844
19.2.6. Badania radiologiczne 845
19.2.7. Badania ultradźwiękowe 866

19.3. Niszczące metody badań 878

19.3.1. Badania mechaniczne 878
19.3.2. Badania metalograficzne 891
Literatura 898

20 Dokumentacja procesów spawalniczych 914

20.1. System jakości w spawalnictwie 914

20.2. Opracowanie dokumentacji systemu jakości w spawalnictwie 915

20.3. Warunki techniczne przygotowania produkcji 921

20.3.1. Analiza dokumentacji technicznej 921
20.3.2. Technologiczny plan spawania 922

20.4. Kwalifikowanie procedur spawalniczych 925

20.4.1. Wstępna instrukcja technologiczna spawania pWPS 925
20.4.2. Instrukcja technologiczna spawania WPS 925

20.5. Uznawanie technologii spawania 928

20.5.1. Uznawanie technologii spawania na podstawie badań technologii spawania 929

- 20.5.2. Uznawanie technologii spawania na podstawie stosowanych uznanych materiałów dodatkowych do spawania 934
- 20.5.3. Uznawanie technologii spawania na podstawie uzyskanego doświadczenia 936
- 20.5.4. Uznawanie technologii spawania na podstawie standardowej technologii spawania łukowego 936
- 20.5.5. Uznawanie technologii spawania na podstawie badania przedprodukcyjnego spawania 937
- 20.5.6. Uznawanie technologii spawania lądowych i pozabrzeżnych rurociągów przesyłowych 937
- 20.5.7. Protokół uznania technologii spawania WPAR 937

20.6. Technologiczny plan spawania belek dwuteowych mostu drogowego 937
Literatura 954

21. Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych 956

21.1. Wstęp 956

21.2. Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych na koszty spawania 957

21.3. Przygotowanie konstrukcji do spawania 963

21.4. Organizacja produkcji 965

21.5. Podstawowe wskaźniki wpływające na ekonomikę spawania 965

21.5.1. Techniczna norma czasu spawania T_n 966

21.5.2. Współczynnik czasu jarzenia się łuku W_j 967

21.5.3. Współczynnik stapiania i wydajność stapiania 968

21.5.4. Masa spoin 971

21.5.5. Wskaźnik uzysku stopiwa U_c 974

21.6. Koszty spawania 974

21.6.1. Charakterystyka kosztów spawania 974

21.6.2. Koszt materiałów dodatkowych do spawania 975

21.6.3. Koszt robocizny bezpośredniej KR 976

21.6.4. Koszt energii elektrycznej KEL 977

21.6.5. Koszt urządzeń K_v 978

21.6.6. Koszt remontów KR 979

21.6.7. Koszt powierzchni produkcyjnej KF 979

21.6.8. Wzory na obliczanie kosztów bezpośrednich spawania poszczególnymi metodami 979

21.6.9. Struktura kosztów spawania 980

21.7. Możliwości obniżki kosztów spawania 981

21.8. Efektywność ekonomiczna stosowanych metod spawania 982

21.9. Koszty jakości 983

Literatura 984

22 Technika komputerowa w spawalnictwie 985

22.1. Wstęp 985

22.2. Spawalnicze bazy danych 986

22.3. Komputerowe wspomaganie projektowania technologii spawania 988

22.4. Komputerowe wspomaganie projektowania konstrukcji spawanych 991

22.5. Modularne pakiety programowe 991

22.6. Komputerowe wspomaganie projektowania stanowisk spawalniczych 993

22.7. Komputerowe sterowanie procesami technologicznymi 993

22.8. Komputerowe wspomaganie zapewnienia jakości 994

22.9. Komputerowe wspomaganie obliczeń ekonomicznych 996
22.10. Komputerowe wspomaganie ochrony zdrowia i środowiska 996
22.11. Komputerowe wspomaganie w szkoleniu i egzaminowaniu 997
22.12. Komputerowe wspomaganie badań w spawalnictwie 997
22.13. Komputerowe wspomaganie w informacji naukowo-technicznej 999
22.14. Spawalnictwo w Internecie 1000
22.15. Kryteria oceny i wyboru oprogramowania 1001
Literatura 1002

23 Bezpieczeństwo i higiena prac spawalniczych 1004

23.1. Zagrożenia zdrowia i bezpieczeństwa występujące przy pracach spawalniczych 1004
23.1.1. Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe 1004
23.1.2. Promieniowanie łuku spawalniczego 1013
23.1.3. Hałas jQjg
23.1.4. Pole elektromagnetyczne 1018

23.2. Wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy podczas prac spawalniczych 1021
23.2.1. Wymagania bezpieczeństwa w organizacji spawalni i stanowiska spawalniczego 1021
23.2.2. Wymagania bezpieczeństwa podczas użytkowania urządzeń spawalniczych i osprzętu oraz podczas wykonywania prac spawalniczych 1024

23.3. Środki ochrony zbiorowej i indywidualnej stosowane na stanowiskach spawalniczych 1026
23.3.1. Środki ochrony zbiorowej. Wentylacja 1026
23.3.2. Środki ochrony indywidualnej. Ochrony oczu i twarzy 1027
23.3.3. Środki ochrony indywidualnej. Odzież ochronna 1031
Literatura IO33

24 Spis spawalniczych przepisów krajowych i zagranicznych 1035
Skorowidz 1061

TOM 2

Przedmowa
O zespole autorskim

1 Spawanie ręczne łukowe elektrodą otuloną

1.1 Wstęp
1.2. Charakterystyka metody

1.3. Parametry spawania
1.3.1. Rodzaj prądu spawania
1.3.2. Natężenie prądu spawania
1.3.3. Napięcie łuku
1.3.4. Prędkość spawania
1.3.5. Średnica elektrody otulonej
1.3.6. Pochylenie elektrody

1.4. Podstawowe wyposażenie stanowiska do spawania elektrodami otulonymi
1.5. Zalecenia technologiczne i techniki spawania elektrodami otulonymi

1.6. Zastosowanie spawania elektrodami otulonymi
Literatura

2 Spawanie metodą MIG/MAG

2.1. Ogólna charakterystyka spawania metodą MIG/MAG

2.2. Spawalniczy łuk elektryczny

2.2.1. Charakterystyka statyczna i dynamiczna łuku spawalniczego

2.2.2. Charakterystyka statyczna i dynamiczna źródła prądu, samoregulacja łuku spawalniczego

2.2.3. Formowanie się kropli metalu elektrodowego 60

2.2.4. Przenoszenie metalu w łuku spawalniczym 64

2.2.5. Łuk pulsujący gg

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

2.4.3. Wykonywanie spoin pachwinowych

2.5. Technologia spawania gj

2.5.1. Technologia spawania stali niestopowych i stopowych 82

2.5.2. Technologia spawania stali typu duplex gg

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 9g

2.6.6. Spawanie orbitalne 99

2.6.7. Lutowanie metodą MIG/MAG 100

2.6.8. Spawanie z dużą wydajnością 10j

2.7. Zakłócenia procesu spawania MIG/MAG UI

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 12i

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 14g

3.2.2. Parametry spawania 15Q

3.2.3. Technologia i technika spawania 156

Literatura .go

4 Spawanie TIG ^ 73

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

5.6. Typowe niezgodności spawalnicze, przyczyny ich powstawania, zapobieganie 937

- 5.6.1. Pęcherze gazowe 937
- 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 2ńo

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 tlenowo-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
9.4.4. Programy i parametry zgrzewania 389
9.4.5. Charakterystyka połączeń 418

9.5. Technologia zgrzewania garbowego 422
9.5.1. Zasada zgrzewania
9.5.2. Zakres zastosowania 424
9.5.3. Zalecenia ogólne

9.6. Technologia zgrzewania liniowego 445
9.6.1. Zasada zgrzewania
9.6.2. Zakres zastosowania

9.6.3. Zalecenia ogólne
9.6.4. Parametry zgrzewania 458
9.6.5. Charakterystyka połączeń 462
Literatura 466
10 Zgrzewanie tarciove 469

10.1. Zasada zgrzewania
10.2. Zalecenia ogólne 474
10.3. Parametry zgrzewania 480
10.4. Zakres zastosowania zgrzewania tarciovego 486
10.5. Charakterystyka połączeń

10.6. Zgrzewanie tarciove z mieszaniem materiału zgrzeiny - FSW 403
10.6.1. Proces FSW
10.6.2. Narzędzia do zgrzewania 497
10.6.3. Parametry zgrzewania 500
Literatura

11 Inne metody zgrzewania 599

11.1. Technologia zgrzewania dyfuzyjnego 509
11.1.1 Zasada zgrzewania
11.1.2 Zalecenia ogólne
11.1.3 Parametry zgrzewania 514
11.1.4 Zakres zastosowania
11.1.5 Charakterystyka połączeń 517

11.2. Technologia zgrzewania łukiem wirującym 518
11.2.1 Zasada zgrzewania
11.2.2 Zakres zastosowania
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 529

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 547

13.1. Podstawy procesu cięcia tlenowego 647

13.2. Uwarunkowania procesu 640

13.3. Technika cięcia

13.3.1. Cięcie ręczne

13.3.2. Cięcie zmechanizowane

13.3.3. Plany cięcia
13.3.4. Ukosowanie

13.4. Jakość cięcia tlenowego
13.4.1. Zmiany w strefie wpływu ciepła 661
13.4.2. Deformacje materiału ciętego 661
13.4.3. Jakość cięcia
13.4.4. Zalecenia praktyczne
Literatura

14 Cięcie plazmowe 665

14.1. Wstęp
14.2. Charakterystyka metody 665
14.3. Parametry cięcia ,fi,
14.4. Gazy plazmowe 6fi,,
14.5. Elektrody i dysze 67J
14.6. Jakość cięcia plazmowego 672
14.7. Bezpieczeństwo i higiena pracy przy cięciu 675
14.8. Odmiany cięcia plazmowego 677
Literatura

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 osnowie 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