



Poradnik **INŻYNIERA**

1

Spawalnictwo

Wydawnictwo WNT



Poradnik **INŻYNIERA**

1

Spawalnictwo

Autorzy

prof. dr hab. inż. Piotr Adamiec
dr inż. Marek Banasik
doc. dr inż. Jerzy Brózda
dr inż. Eugeniusz Dębcki
dr inż. Edward Dobaj
mgr inż. Stanisław Dziuba
dr inż. Kazimierz Ferenc
prof. dr hab. inż. Andrzej Klimpel
mgr inż. Bolesław Kurpisz
mgr inż. Tadeusz Kuzio
dr inż. Mirosław Łomozik
mgr inż. Jolanta Matusiak
dr inż. Jerzy Niagaj
prof. dr hab. inż. Jan Pilarczyk
dr inż. Piotr Sędek
dr inż. Jacek Słania
dr inż. Eugeniusz Szczok
dr inż. Andrzej Szymański
dr inż. Eugeniusz Turyk
dr inż. Andrzej Winiowski
prof. dr hab. inż. Władysław Włosiński
dr inż. Marian Zeman
mgr Wanda Zeman

Poradnik **INŻYNIERA**

1

Spawalnictwo

pod redakcją
prof. dr. hab. inż. Jana Pilarczyka

Wydanie drugie

Koordinator: *dr inż. Jacek Ślania*
Redaktor: *mgr inż. Marek Kośnik*
Projekt okładki i stron tytułowych: *Grafos*
Redaktorzy techniczni:
Barbara Chojnacka-Flisiuk, Grażyna Miazek
Korekta: *Zespół*
Skład i łamanie: *Ango Bis*
Fotografia na okładce: *max halanskii/shutterstock*

Wydawca: *Karol Zawadzki*

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujemy cudzą własność i prawo
Więcej na www.legalnakultura.pl
Polska Izba Książki

Copyright © by Wydawnictwo WNT
Warszawa 2003, 2008
Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA
Warszawa 2017

ISBN 978-83-01-19180-1 (całość)
ISBN 978-83-01-19181-8 (tom 1)

Wydanie II – 3 dodruk (PWN)
Warszawa 2018

Wydawnictwo Naukowe PWN SA
02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2
tel. 22 69 54 321, faks 22 69 54 288
infolinia 801 33 33 88
e-mail: pwn@pwn.com.pl; reklama@pwn.pl
www.pwn.pl

Druk i oprawa: *ELPIL, Siedlce*

Spis treści

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 jeziorka spawalniczego i jego krystalizacji	67
3.3.1.	Jeziorko 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 pękania	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 mikrostopowe 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 złobienia	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 elektrodużłowego	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. Umieszczenie 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	780
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	813

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 pozabrzeźnych 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

Ekonomia 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.	Koszy robocizny bezpośredniej K_R	976
21.6.4.	Koszt energii elektrycznej K_{EL}	977
21.6.5.	Koszt urządzeń K_U	978
21.6.6.	Koszt remontów K_R	979
21.6.7.	Koszt powierzchni produkcyjnej K_P	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 spajania	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	1016
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	1033

24

Spis spawalniczych przepisów krajowych i zagranicznych 1035

Skorowidz	1061
-----------------	------

Przedmowa

We wszystkich krajach spawalnictwo jest podstawową technologią przetwarzania, zwłaszcza łączenia materiałów metalicznych, a ostatnio również tworzyw sztucznych. Konstrukcje i wyroby spawane występują we wszystkich dziedzinach życia: od olbrzymich supertankowców po elementy mikroelektroniki, od przestrzeni kosmicznej po budowlę podwodne, od budownictwa przemysłowego po zastosowania w gospodarstwach domowych i medycynie. Różnorodność technologii i metod spawalniczych, przetwarzanych i łączonych materiałów, urządzeń spawalniczych oraz problemów badawczych związanych ze spawalnictwem jest przeogromna i wymaga zaangażowania różnych specjalistów: od osób bezpośrednio zatrudnionych w wytwarzaniu, przez badaczy i naukowców, nauczycieli akademickich i zawodowych, inspektorów i instruktorów do wykwalifikowanych spawaczy, dostawców i serwisantów.

Zapotrzebowanie na wiedzę spawalniczą jest ogromne. Wydawane są liczne książki, skrypty i monografie, ukazuje się kilkadziesiąt czasopism. Brakuje jednak opracowania, w którym zawarta byłaby cała wiedza spawalnicza. Stąd powstał pomysł opracowania dzieła pt. „Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo”.

W 1962 roku ukazało się pierwsze wydanie „Poradnika Spawalniczego” (w nakładzie 6000 egz.). Był on później dwukrotnie uzupełniany i rozszerzany. Wydanie II (w nakładzie 10 000 egz.) ukazało się w 1967 roku, natomiast wydanie III (w nakładzie 20 200 egz.) w 1970 roku.

W latach 80. ubiegłego wieku Wydawnictwa Naukowo-Techniczne podjęły trud wydania cyklu poradników inżynierskich z zakresu technologii mechanicznych. Pierwszym z tego cyklu był „Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo”, poprzedzający późniejsze inne poradniki o tematyce: odlewnictwo, obróbka skrawaniem, obróbka plastyczna. Całkowicie zmienione i powiększone (do 2 tomów) I wydanie „Poradnika Inżyniera. Spawalnictwo” (w nakładzie 25 220 egz.) oddano do rąk Czytelników w 1983 roku.

Obecnie po prawie 20 latach ukazuje się całkiem nowe 3-tomowe wydanie „Poradnika Inżyniera. Spawalnictwo”.

Obydwa zespoły, autorski i wydawniczy, włożyły olbrzymi wysiłek w przygotowanie, opracowanie i wydanie poradnika. Oddając go do rąk Czytelników, liczymy na życzliwe jego przyjęcie, duże zainteresowanie, ale również na cenne uwagi, które będą mogły być w przyszłości wykorzystane. Mamy wielką nadzieję, że „Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo” spełni swoje zadanie i będzie pomocny w nauczaniu w uczelniach, szkołach i ośrodkach szkoleniowych, w produkcji spawalniczej w dużych przedsiębiorstwach, średnich zakładach i małych warsztatach oraz w zawodowym życiu licznych osób zajmujących się i interesujących spawalnictwem.

prof. dr hab. inż. JAN PILARCZYK

O zespole autorskim

Specjalizacja w spawalnictwie posunęła się dzisiaj tak daleko, że niemożliwe jest samodzielne pisanie w sposób wyczerpujący, jasny i obiektywny o wielu jego dziedzinach. Mając to na uwadze, do opracowania bardzo różnorodnego tematycznie i obszernego objętościowo dzieła, jakim jest PORADNIK INŻYNIERA. SPAWALNICTWO, dobrano zespół najlepszych specjalistów w poszczególnych dziedzinach spawalnictwa.

Trzon zespołu autorskiego stanowią doświadczeni, długoletni pracownicy Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. Doc. dr inż. Jerzy Brózda, dr inż. Marian Zeman, dr inż. Mirosław Łomozik i dr inż. Marek Banasik mają rozległą wiedzę z zakresu materiałoznawstwa, a zwłaszcza spawalności materiałów na konstrukcje spawane. Mgr inż. Tadeusz Kuzio, dr inż. Jerzy Niagaj i dr inż. Andrzej Winiowski zajmują się materiałami dodatkowymi do spawania stali i materiałów nieżelaznych. Prof. dr hab. inż. Jan Pilarczyk jest specjalistą w dziedzinie metaloznawstwa spawalniczego, spawalności materiałów i metalurgii procesów spawania. Mgr inż. Stanisław Dziuba specjalizuje się w zagadnieniach łączenia tworzyw termoplastycznych. Dr inż. Piotr Sędek zajmuje się wytrzymałością połączeń spawanych oraz naprężeniami i odkształceniami spawalniczymi. Dr inż. Edward Dobaj jest specjalistą od elektrotechniki i elektrycznych urządzeń spawalniczych. Dr inż. Eugeniusz Turyk interesuje się wykorzystaniem techniki komputerowej w spawalnictwie. Dr inż. Eugeniusz Szczok prowadzi sprawy jakości i certyfikacji w spawalnictwie, po zmarłym przedwcześnie dr. inż. Eugeniuszu Dębskim. Mgr inż. Bolesław Kurpisz i dr inż. Jacek Słania zajmują się szkoleniem i kwalifikowaniem personelu spawalniczego oraz kwalifikowaniem zakładów wytwarzających konstrukcje i wyroby spawane. Mgr inż. Jolanta Matusiak specjalizuje się w zagadnieniach bezpieczeństwa i higieny prac spawalniczych. Mgr Wanda Zeman zajmuje się ekonomiką wytwarzania konstrukcji spawanych.

Do zespołu autorskiego zaproszono wybitnych specjalistów: prof. dr. hab. Władysława Włosińskiego z Politechniki Warszawskiej, w dziedzinie wy-

tworzenia i łączenia materiałów ceramicznych i kompozytów metalowych, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Klimpla z Politechniki Śląskiej, w dziedzinie kontroli jakości połączeń spawanych, prof. dr. hab. inż. Piotra Adamca z Politechniki Śląskiej, zajmującego się teorią cieplnych procesów spawalniczych, dr. inż. Kazimierza Ferenca z Politechniki Warszawskiej, w dziedzinie projektowania konstrukcji spawanych, oraz dr. inż. Andrzeja Szymańskiego z Politechniki Śląskiej, w dziedzinie kontroli jakości w spawalnictwie.

Opiekę merytoryczną i organizacyjną nad całością prac sprawował prof. dr. hab. inż. Jan Pilarczyk, znany specjalista w dziedzinie spawalnictwa, doskonale znający polskie środowisko spawalnicze, badacz, naukowiec i wykładowca w Instytucie Spawalnictwa i na wielu uczelniach, a jednocześnie Dyrektor Instytutu Spawalnictwa, Prezydent European Federation for Welding, Joining and Cutting, były Wiceprezydent International Institute of Welding, Redaktor Naczelny Przeglądu Spawalnictwa oraz autor wielu publikacji i organizator licznych imprez spawalniczych w kraju i za granicą.

Klasyfikacja i charakterystyka procesów spawania i pokrewnych

Autor
dr inż. Jacek Słania

W rozdziale 1 przedstawiono klasyfikację i charakterystykę:

- metod spawania, zgrzewania i lutowania,
- procesów pokrewnych spawaniu,
- metod łączenia tworzyw termoplastycznych.

Do klasyfikacji metod spawania, zgrzewania i lutowania skorzystano z normy PN-EN 24063:1993 (ISO 4063:1990). Norma ta ustala nazwy metod spawania, zgrzewania i lutowania oraz ich oznaczenia numeryczne. Każda metoda jest identyfikowana przez oznaczenie numeryczne. Oznaczenia te są stosowane głównie do umownego przedstawiania połączeń spawanych, zgrzewanych i lutowanych na rysunkach.

0 Spawanie

Odmiana spajania realizowana przez lokalne stopienie łączonych elementów bez wywarcia docisku.

1 Spawanie łukowe

Spawanie, w którym źródłem ciepła jest łuk elektryczny.

101 Spawanie łukowe elektrodą metalową

Spawanie łukowe elektrodą metalową, która stapiając się w tym procesie, służy jako spoiwo.

11 Spawanie łukowe elektrodą metalową bez osłony gazów

Spawanie, w którym łuk jarzy się między gołym drutem elektrodowym a przedmiotem spawanym bez jakiegokolwiek osłony zewnętrznej.

111 Spawanie łukowe elektrodą otuloną; spawanie łukowe elektrodą metalową ręczne

Spawanie łukowe z użyciem otulonej elektrody topliwej.

112 Spawanie łukowe grawitacyjne

Spawanie łukowe z użyciem elektrody otulonej zamocowanej w przyrządzie,

który umożliwia jej grawitacyjne opadanie i przemieszczanie się łuku wzdłuż styku.

113 Spawanie łukowe elektrodą nieotuloną

Spawanie, w którym spoiwem jest drut połączony z jednym z biegunów zasilacza łuku spawalniczego.

114 Spawanie łukowe drutem elektrodowym proszkowym samoosłonowym

Spawanie, w którym stapiający się proszkowy drut elektrodowy wytwarza gazową osłonę jeziorka spawalniczego.

115 Spawanie łukowe elektrodą opłatana

Spawanie elektrodą otuloną dodatkowo opłatana drutem lub siatką.

118 Spawanie łukowe elektrodą leżącą

Spawanie łukowe, w którym nieruchomą elektrodę otuloną układa się wzdłuż brzegów podlegających spawaniu, a łuk przemieszcza się w miarę stapiania się elektrody.

12 Spawanie łukiem krytym

Spawanie łukowe, w którym łuk lub łuki są przykryte topnikiem proszkowym, którego część stapia się, tworząc na spoinie usuwalną warstwę żużla.

121 Spawanie łukiem krytym drutem elektrodowym

Spawanie łukiem krytym z użyciem gołego drutu.

122 Spawanie łukiem krytym elektrodą taśmową

Spawanie łukiem krytym z użyciem elektrody taśmowej.

13 Spawanie łukowe w osłonie gazów ochronnych

Spawanie, w którym łuk i jeziorko spawalnicze są chronione przed otaczającą atmosferą osłoną gazową pochodzącą z zewnętrznego źródła.

131 Spawanie łukowe w osłonie gazu obojętnego elektrodą topliwą; spawanie metodą MIG

Spawanie łukowe w osłonie gazów obojętnych topliwym drutem elektrodowym.

135 Spawanie łukowe w atmosferze gazu aktywnego elektrodą topliwą; spawanie metodą MAG

Spawanie łukowe w osłonie gazów aktywnych topliwym drutem elektrodowym.

136 Spawanie łukowe drutem elektrodowym proszkowym w atmosferze gazu aktywnego

Spawanie łukowe drutem proszkowym, w którym łuk spawalniczy i jeziorko są osłaniane gazem aktywnym.