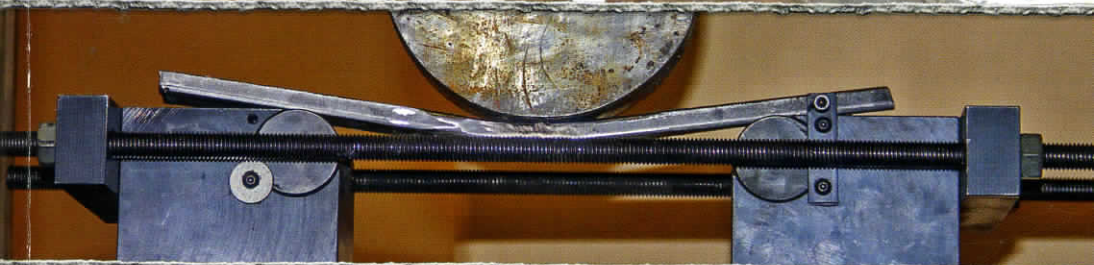
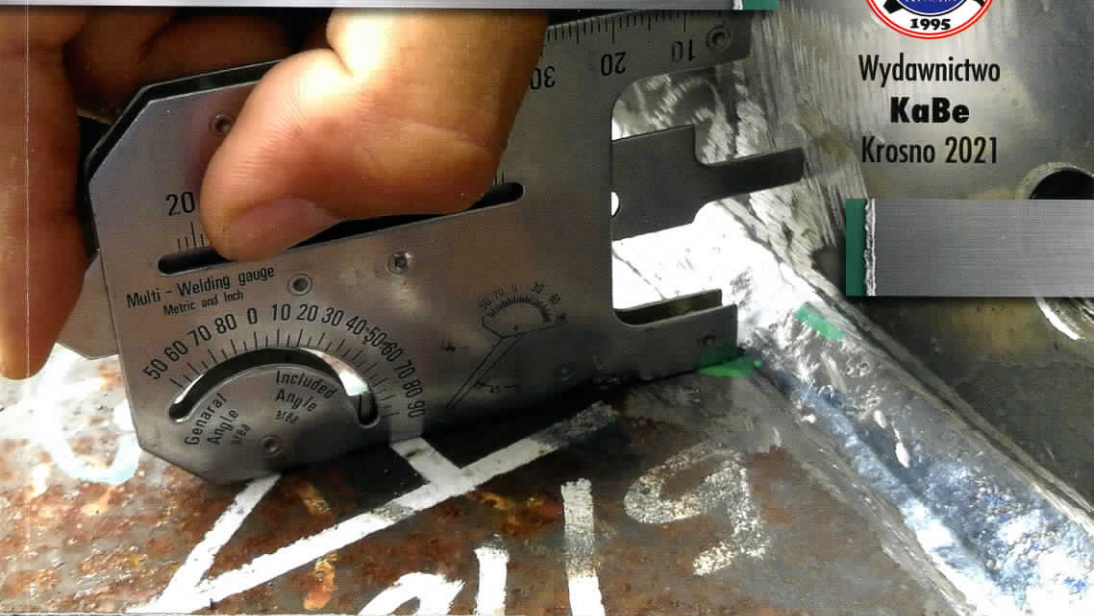


JANUSZ CZUCHRYJ, BOLESŁAW KURPISZ

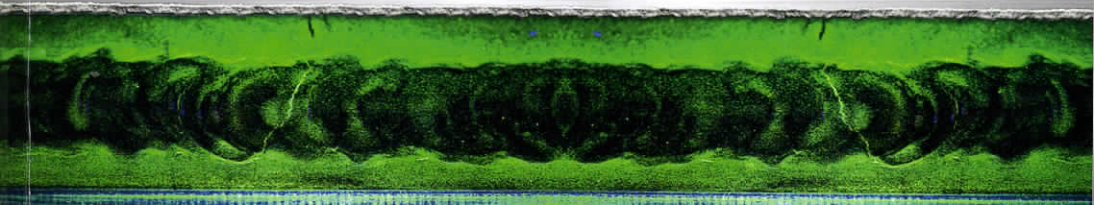


Wydawnictwo
KaBe
Krosno 2021



BADANIE ZŁĄCZY SPAWANYCH

PRZEGLĄD METOD



W książce zebrano i omówiono w sposób wyczerpujący, a jednocześnie zwięzły i przystępne metody badań złączy spawanych stosowane w praktyce przemysłowej i warsztatowej.

Książka jest adresowana do osób bezpośrednio zaangażowanych w wykonawstwo połączeń spawanych oraz do sprawujących nadzór nad tym wykonawstwem, a także do osób zajmujących się badaniem i oceną połączeń i konstrukcji spawanych.

© Copyright by Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe” s.c.,
Krosno 2021

ISBN 978-83-65382-80-1

Wydawca: Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe” s.c., Krosno
Tel./fax 13 432 16 52; biuro@kabe-krosno.com

Wydanie drugie zaktualizowane

Korekta: Ewa Rogucka

Projekt okładki: Piotr Rechenek

Skład: Jadwiga Popowska

Druk: HORNET, Sp. z o.o., Łódź

Część I

Janusz Czuchryj

BADANIA NIENISZCZĄCE ZŁĄCZY SPAWANYCH

Wprowadzenie	13
Pojęcie niezgodności, wady i nieciągłości	15
Budowa złączy spawanych	16
1. Badania wizualne	19
1.1. Podstawy badań wizualnych	19
1.2. Badania wizualne złączy spawanych według normy PN-EN ISO 17637	30
1.3. Środki do badań wizualnych	34
1.4. Informacje uzupełniające	41
2. Badania penetracyjne	43
2.1. Zasada badań penetracyjnych i kolejność procesu	44
2.2. Preparaty do badań	49
2.3. Badania penetracyjne złączy spawanych według normy PN-EN ISO 3452-1	53
2.4. Próbki odniesienia	59
2.5. Informacje uzupełniające	61
3. Badania magnetyczno-proszkowe	63
3.1. Podstawy badań magnetyczno-proszkowych	63
3.2. Zasady ogólne badań magnetyczno-proszkowych	70
3.3. Preparaty, urządzenia i wyposażenie do badań magnetyczno-proszkowych	72
3.4. Próbki odniesienia	81
3.5. Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych według normy PN-EN ISO 17638	85
3.6. Informacje uzupełniające	93

4. Badania radiograficzne	101
4.1. Podstawy badań radiograficznych	101
4.2. Urządzenia do badań	110
4.3. Wybór aparatury radiograficznej	117
4.4. Powstawanie obrazu na błonie i jego jakość	118
4.5. Badania radiograficzne złączy spawanych według normy PN-EN ISO 17636-1	126
4.6. Informacje uzupełniające	144
5. Badania ultradźwiękowe	147
5.1. Rodzaje, własności i sposoby wytwarzania fal ultradźwiękowych	147
5.2. Własności fali ultradźwiękowej	154
5.3. Urządzenia i środki do badań ultradźwiękowych	162
5.4. Metody i techniki badań ultradźwiękowych	174
5.5. Wybrane przykłady interpretacji wskazań	189
6. Ocena jakości złączy spawanych na podstawie badań nieniszczących	193
6.1. Poziomy jakości złączy spawanych	194
6.2. Poziomy akceptacji wskazań	203
6.3. Korelacja między poziomami jakości a poziomami akceptacji wskazań	218
7. Wybrane metody badania szczelności złączy spawanych	221
7.1. Zasady wyboru sposobu badania szczelności	223
7.2. Próba naftą i kredą	226
7.3. Metoda pęcherzykowa z przyssawką próżniową	227
7.4. Metoda amoniakalna	229
7.5. Metoda chlorowcowa	231
7.6. Metoda spektrometryczna	232
7.7. Metoda znaczników radiograficznych	235
7.8. Badania ciśnieniowe	236
7.9. Metoda ultradźwiękowa	241
7.10. Metoda manometryczna	242
7.11. Metoda termowizyjna	244

8. Wybrane niekonwencjonalne metody badań nieniszczących	245
8.1. Tomografia komputerowa z monochromatorem	245
8.2. Mikrotomografia komputerowa	247
8.3. Przemysłowa radiografia komputerowa (CR) z użyciem płyt obrazowych	249
8.4. Mikroskopia akustyczna	251
8.5. Metody oparte na zjawiskach wzbudzanych światłem	252
8.6. Metoda termograficzna	253
8.7. Technika radiografii tangensowej	254
8.8. Radiografia błyskowa	254
8.9. Promieniowanie synchrotronowe	257
8.10. Sztuczne sieci neuronowe (sztuczna inteligencja) w badaniach nieniszczących	259
9. Zasady wyboru metod badań nieniszczących	261
9.1. Zalecenia wyboru metod badań nieniszczących	262
9.2. Ekonomiczne efekty stosowania badań nieniszczących	267
Literatura	271

CZĘŚĆ II

Bolesław Kurpisz

BADANIA NISZCZĄCE ZŁĄCZY SPAWANYCH

Wprowadzenie	279
1. Badania własności mechanicznych	281
2. Statyczna próba rozciągania materiałów, stopiw i spoin	283
3. Statyczna próba poprzecznego rozciągania doczołowych złączy spawanych	293

4. Statyczna próba rozciągania złączy spawanych krzyżowych i zakładkowych	299
5. Statyczna próba zginania złączy spawanych	303
6. Statyczna próba łamania złączy spawanych	311
7. Dynamiczna próba łamania złączy spawanych	319
8. Dynamiczna próba udarności materiałów i złączy spawanych	321
8.1. Dynamiczna próba udarności – zasada	321
8.2. Dynamiczne próby udarności w niskiej i podwyższonej temperaturze	328
9. Badanie zmęczeniowe materiałów i złączy spawanych	329
10. Długotrwałe próby pełzania materiałów	337
11. Badanie twardości materiałów i złączy spajanych	343
11.1. Wprowadzenie	343
11.2. Badanie twardości metodą Brinella	344
11.3. Badanie twardości metodą Rockwella	346
11.4. Badanie twardości metodą Vickersa	350
11.5. Badanie makrotwardości złączy spawanych łukowo	353
11.6. Pomiary mikrotwardości złączy spajanych	357
11.7. Kryteria oceny pomiarów twardości złączy spajanych	358
12. Badania metalograficzne – makroskopowe i mikroskopowe metalowych złączy spajanych	361
13. Badania niszczące złączy spajanych prętów ze stali do zbrojenia betonu	369
13.1. Pręty ze stali do zbrojenia betonu – własności	369
13.2. Złącza spajane prętów ze stali do zbrojenia betonu	370
13.3. Badania niszczące złączy spajanych prętów ze stali do zbrojenia betonu	375
13.3.1. Typy badań niszczących złączy spajanych prętów ze stali zbrojeniowej	375

13.3.2. Przykłady typowych próbek do badania złączy spajanych prętów ze stali zbrojeniowej	376
13.3.3. Badanie na rozciąganie	379
13.3.4. Badanie na zginanie	379
13.3.5. Badanie na ścinanie	380
14. Badania niszczące zgrzewanych łukowo kołków	381
14.1. Wprowadzenie	381
14.2. Badania niszczące zgrzewanych łukowo kołków	383
15. Badanie wrażliwości na spajanie materiałów i spoiw stosowanych na spajane konstrukcje	389
15.1. Wprowadzenie	389
15.2. Badanie skłonności stali do powstawania pęknięć kruchych	390
15.3. Badanie skłonności stali do powstawania pęknięć zimnych	393
15.3.1. Wprowadzenie	393
15.3.2. Próba kołkowa (próba implant)	395
15.3.3. Próba Tekken (próba Lehigh)	396
15.3.4. Próba regulowanej ostrości cieplnej CTS	399
15.3.5. Próba krzyżowa	400
15.4. Badanie skłonności stali i spoiw do powstawania pęknięć gorących	401
15.4.1. Wprowadzenie	401
15.4.2. Próba teowa ze spoiną pachwinową	402
15.4.3. Próba rozciągania metalu spoiny	405
15.4.4. Próba wzdłużnego zginania złącza spawanego	406
15.5. Badanie skłonności stali do powstawania pęknięć lamelarnych	408
15.6. Badanie skłonności stali i spoiw do powstawania pęknięć wyzarzeniowych	412
Literatura	415



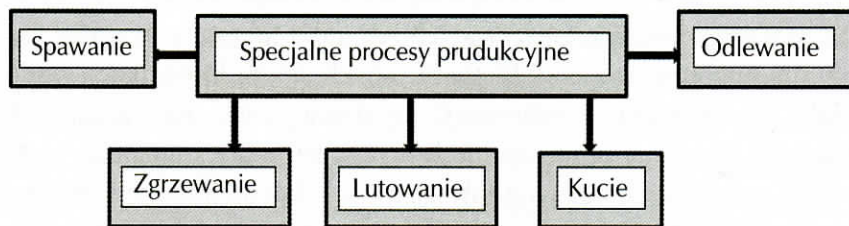
Część I

Janusz Czuchryj

BADANIA NIENISZCZĄCE
ZŁĄCZY SPAWANYCH



Do specjalnych procesów produkcyjnych zalicza się takie sposoby wytwarzania, których wynik nie może być w pełni sprawdzony przez kontrolę lub badania wyrobu oraz gdzie niedostatki przebiegu procesu wytwarzania mogą się ujawnić dopiero podczas jego eksploatacji. Wynika stąd, że procesy specjalne powinny być zawsze realizowane przez wykwalifikowany personel, natomiast parametry procesów w sposób permanentny nadzorowane i monitorowane. Do specjalnych procesów wytwórczych zaliczono, między innymi, spawanie (rys. 1) [1].



Rys. 1. Przykłady specjalnych procesów produkcyjnych

Odstępstwa od prawidłowej technologii spawania mogą być przyczyną powstawania w wykonywanych złączach spawanych niezgodności spawalniczych. Obecność niezgodności w złączach powoduje z reguły obniżenie ich trwałości eksploatacyjnej. Niezgodności mogą być również przyczyną poważnych awarii i dużych strat materialnych. Z tego powodu zarówno ilość jak i wielkość niezgodności w wykonywanych połączeniach powinna być możliwie najmniejsza.

Do wykrywania oraz określania wymiarów niezgodności spawalniczych w konstrukcjach spawanych stosuje się wiele różnych metod badań nieniszczących. Z bogatego, w miarę rozwoju nauki i technologii ciągle uzupełnianego, ich zestawu każdy wytwórca może wybrać

metodę najefektywniejszą i najekonomiczniejszą dla realizowanego przez siebie wyrobu. Jednak warunkiem właściwego wyboru metod kontroli jest znajomość ich cech charakterystycznych, zakresu zastosowania, skuteczności, istniejącego wyposażenia, techniki wykonywania badań, kryteriów oceny jakości itp. Aby wybór ułatwić opracowano podręcznik, który czytelnikom zajmującym się pełnieniem nadzoru nad wykonawstwem, remontami, regeneracją, odtwarzaniem kształtu za pomocą spawania (napawania) różnych wyrobów, problemami ich jakości, stosowaniem badań nieniszczących (NDT) w praktyce przemysłowej itp. będzie służyć pomocą podczas wykonywania obowiązków służbowych.

W szczególności opracowanie przeznaczone jest dla inżynierów i technologów spawalników oraz inspektorów spawalniczych, dla czytelników planujących uzyskanie trzeciego stopnia kwalifikacji z zakresu badań nieniszczących lub, jako literatura uzupełniająca, dla operatorów z certyfikatami innych stopni kwalifikacji. Jako zbiór podstawowych informacji na temat badań nieniszczących różnych wyrobów opracowanie jest przydatne dla studentów wyższych uczelni technicznych lub uczniów szkół średnich o kierunku mechanicznym oraz tych osób, których zamiarem jest poszerzenie wiadomości o kontroli jakości stosowanej w różnych dziedzinach wytwórczości.

W podręczniku scharakteryzowano najczęściej stosowane w praktyce przemysłowej metody i techniki badań nieniszczących i niszczących. Podano sposoby oceny jakości złączy spawanych według obowiązujących przepisów. Opisano podstawowe sposoby badania szczelności i wytrzymałości wyrobów wraz z łatwymi do zastosowania próbami warsztatowymi. Zwrócono uwagę na możliwość szerszego wykorzystywania niekonwencjonalnych metod NDT. Podano obowiązujące zasady wyboru metod badań nieniszczących oraz ekonomiczne efekty ich stosowania. Dla wygody czytelników podano w ostatnich rozdziałach wykazy wykorzystanych w opracowaniu i związanych z omawianą tematyką norm i przepisów.



Część II

Bolesław Kurpisz

BADANIA NISZCZĄCE
ZŁĄCZY SPAWANYCH

Badaniem niszczącym (ang. Destructive Testing – DT) nazywane jest postępowanie badawcze umożliwiające uzyskanie informacji o stanie fizycznym, wadach, anomaliach i własnościach badanego materiału lub obiektu, powodujące jednak zmiany jego cech użytkowych. Często zmiany te są tak znaczne, że uniemożliwiają użytkowanie badanego materiału czy obiektu. Badania nieniszczące (ang. Non-Destructive Testing – NDT) tym różnią się od badań niszczących, że nie powodują zmian użytkowych badanego materiału lub obiektu.

Badania niszczące stosowane są podczas kontrolowania własności mechanicznych:

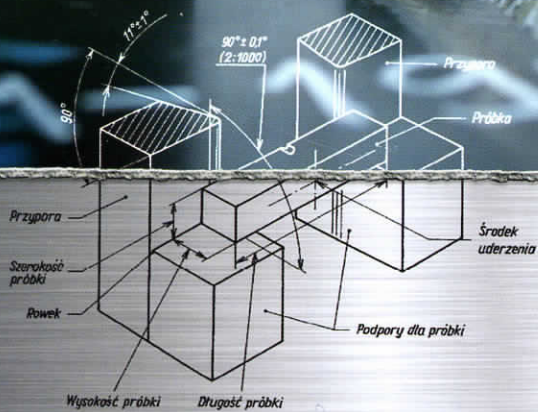
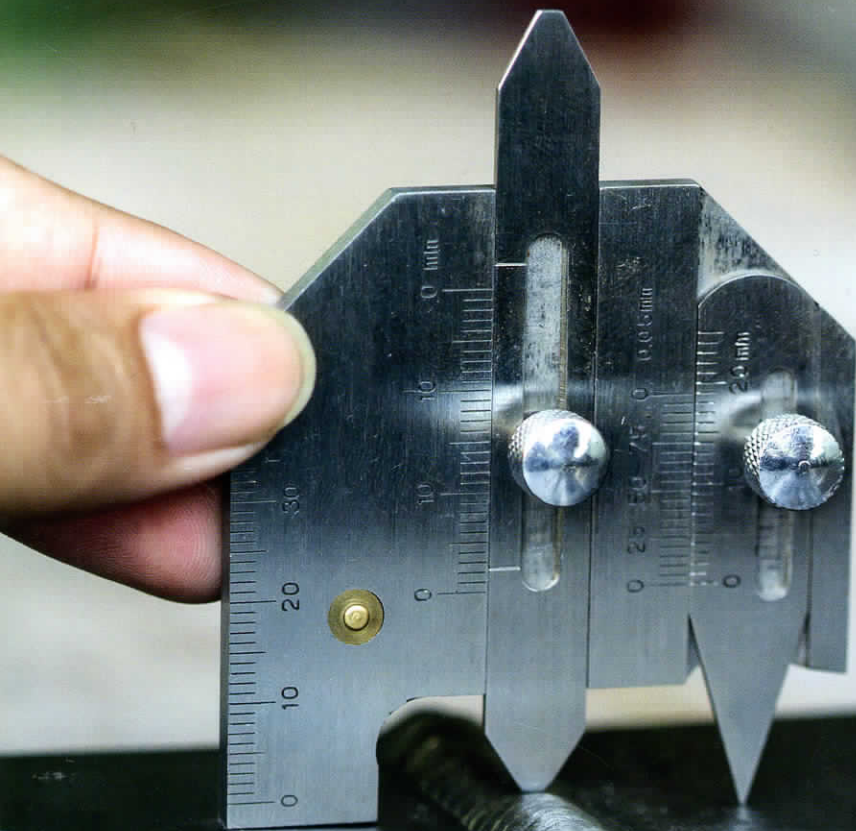
- ☞ materiałów podstawowych, stosowanych na spajane konstrukcje,
- ☞ stopiw materiałów dodatkowych do spawania,
- ☞ złączy próbných wykonywanych przez spawaczy w trakcie egzaminu kwalifikacyjnego,
- ☞ złączy próbných wykonywanych w ramach kwalifikowania technologii spajania przez badanie technologii według norm PN-EN ISO 14555, PN-EN ISO 15613, wieloczęściowej normy PN-EN ISO 15614, PN-EN ISO 15620 i dwuczęściowej normy PN-EN ISO 17660,
- ☞ złączy roboczych wykonywanych przez nadzór spawalniczy zakładów spawalniczych w ramach nadzoru nad zastosowaną w produkcji technologią spajania.

Badania niszczące, choć rzadziej, stosowane są również do kontroli i odbioru spajanych konstrukcji poprzez:

- ☞ badanie próbek wyciętych ze złączy próbných wykonywanych równolegle ze spajaną konstrukcją w identycznych warunkach,

- ☞ badanie próbek wyciętych bezpośrednio z wykonanej konstrukcji, co zwykle pociąga za sobą częściowe zniszczenie konstrukcji. To badanie stosowane jest najczęściej przy określaniu przyczyn awarii konstrukcji.

Osobną dziedziną zastosowania badań niszczących są badania wrażliwości na spajanie materiałów i spoiw stosowanych na spajanie konstrukcje.



ISBN 978-83-65382-80-1



9 788365 382801