

**Janusz Czuchryj, Sławomir Sikora**

# **Badania nieniszczące w praktyce spawalniczej**



# SPIS TREŚCI

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. WPROWADZENIE</b>                                                                                      | <b>11</b> |
| <b>2. POJĘCIE NIEZGODNOŚCI, WADY I NIECIĄGŁOŚCI<br/>W PRAKTYCE SPAWALNICZEJ</b>                             | <b>13</b> |
| <b>3. BUDOWA I CHARAKTERYSTYKA ZŁĄCZY SPAWANYCH</b>                                                         | <b>14</b> |
| <b>4. BADANIA WIZUALNE</b>                                                                                  | <b>17</b> |
| 4.1. Podstawy badań wizualnych                                                                              | 17        |
| 4.2. Zasady ogólne badań wizualnych                                                                         | 29        |
| 4.3. Badania wizualne złączy spawanych według PN-EN ISO 17637                                               | 31        |
| 4.3.1. Warunki badań                                                                                        | 31        |
| 4.3.2. Personel                                                                                             | 32        |
| 4.3.3. Zakres badań                                                                                         | 33        |
| 4.4. Protokół badań wizualnych                                                                              | 35        |
| 4.5. Wyposażenie do badań wizualnych                                                                        | 35        |
| 4.5.1. Sprawdziany, szablony, przymiary, przyrządy                                                          | 36        |
| <b>5. BADANIA PENETRACYJNE</b>                                                                              | <b>45</b> |
| 5.1. Podstawy badań penetracyjnych                                                                          | 45        |
| 5.1.1. Własności cieczy                                                                                     | 46        |
| 5.1.2. Naprężenia w cieczach, lepkość, spójność i przyleganie                                               | 46        |
| 5.1.3. Napięcie powierzchniowe i kąt zwilżania                                                              | 47        |
| 5.1.4. Zjawisko włoskowatości                                                                               | 48        |
| 5.2. Zasady ogólne badań penetracyjnych                                                                     | 50        |
| 5.3. Preparaty do badań penetracyjnych                                                                      | 52        |
| 5.4. Badania penetracyjne złączy spawanych wg PN-EN ISO 3452-1                                              | 54        |
| 5.4.1. Personel                                                                                             | 55        |
| 5.4.2. Kolejność czynności w procesie badania                                                               | 55        |
| 5.4.3. Badania powtórne                                                                                     | 60        |
| 5.4.4. Protokół badania                                                                                     | 60        |
| 5.5. Wyposażenie do badań penetracyjnych                                                                    | 61        |
| <b>6. BADANIA MAGNETYCZNO-PROSZKOWE</b>                                                                     | <b>65</b> |
| 6.1. Podstawy badań magnetyczno-proszkowych                                                                 | 65        |
| 6.1.1. Terminologia                                                                                         | 65        |
| 6.1.2. Magnetyczne pole rozproszenia                                                                        | 66        |
| 6.1.3. Wybór natężenia pola magnetycznego                                                                   | 68        |
| 6.1.4. Stałokierunkowe, zmiennokierunkowe, poprzeczne i podłużne<br>pole magnetyczne                        | 69        |
| 6.1.5. Podstawowe parametry pola magnetycznego                                                              | 70        |
| 6.1.6. Własności magnetyczne materiałów<br>i charakterystyki magnesowania                                   | 71        |
| 6.1.7. Podział materiałów ferromagnetycznych, wpływ temperatury<br>na własności magnetyczne ferromagnetyków | 73        |



|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.1.8. Natężenie pola magnetycznego i indukcja magnetyczna na powierzchni granicznej ośrodka ferromagnetycznego | 73        |
| 6.1.9. Demagnetyzacja obiektów                                                                                  | 74        |
| 6.1.10. Ogólne zasady badań magnetyczno-proszkowych                                                             | 75        |
| 6.2. Preparaty, urządzenia i wyposażenie do badań magnetyczno-proszkowych                                       | 78        |
| 6.2.1. Preparaty                                                                                                | 78        |
| 6.2.2. Urządzenia                                                                                               | 80        |
| 6.2.3. Wyposażenie dodatkowe                                                                                    | 84        |
| 6.2.4. Próbkę odniesienia                                                                                       | 87        |
| 6.3. Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych według normy PN-EN ISO 17638                                | 91        |
| 6.3.1. Wprowadzenie                                                                                             | 91        |
| 6.3.2. Personel                                                                                                 | 91        |
| 6.3.3. Stan powierzchni i jej przygotowanie                                                                     | 91        |
| 6.3.4. Magnesowanie, stosowane techniki badania i środki wykrywające                                            | 91        |
| 6.3.5. Kontrola i warunki obserwacji                                                                            | 95        |
| 6.3.6. Wskazania pozorne, zapisywanie wskazań i rozmagnesowanie                                                 | 96        |
| 6.3.7. Protokół badania                                                                                         | 96        |
| <b>7. BADANIA RADIOGRAFIK</b>                                                                                   | <b>97</b> |
| 7.1. Podstawy badań radiograficznych                                                                            | 97        |
| 7.1.1. Powstawanie promieniowania X i $\gamma$                                                                  | 98        |
| 7.1.2. Własności promieniowania X i $\gamma$                                                                    | 101       |
| 7.2. Źródła promieniowania jonizującego                                                                         | 104       |
| 7.2.1. Aparaty rentgenowskie                                                                                    | 104       |
| 7.2.2. Akceleratory                                                                                             | 107       |
| 7.2.3. Aparaty gammagraficzne                                                                                   | 109       |
| 7.2.4. Wybór aparatury radiograficznej                                                                          | 110       |
| 7.3. Powstawanie obrazu na błonie i jego jakość                                                                 | 111       |
| 7.3.1. Budowa błony radiograficznej                                                                             | 111       |
| 7.3.2. Krzywa charakterystyczna błony, gradient i kontrast radiogramu, czułość błony                            | 112       |
| 7.3.3. Obróbka fotochemiczna błon radiograficznych                                                              | 114       |
| 7.3.4. Klasyfikacja systemów błon dla radiografii przemysłowej                                                  | 114       |
| 7.4. Powstawanie obrazu radiograficznego, wskaźnik kontrastu i okładki wzmacniające                             | 115       |
| 7.5. Jakość obrazu radiograficznego                                                                             | 118       |
| 7.6. Badania radiograficzne złączy spawanych według PN-EN ISO 17636-1                                           | 120       |
| 7.6.1. Definicje                                                                                                | 120       |
| 7.6.2. Klasyfikacja technik radiograficznych                                                                    | 121       |
| 7.6.3. Przygotowanie powierzchni i faza wytwarzania                                                             | 122       |

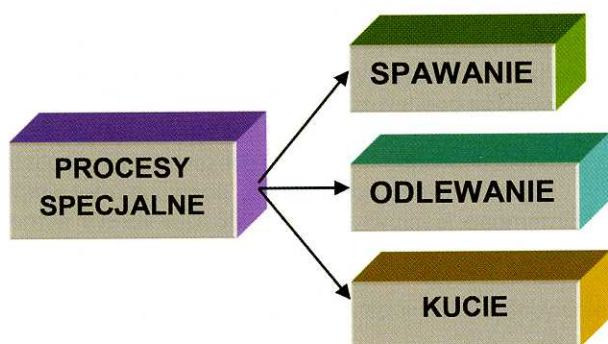
|                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.6.4. Umiejscowienie spoiny na radiogramie, identyfikacja radiogramów,<br>znakowanie obiektu, nakładanie się błon. ....  | 123        |
| 7.6.5. Wskaźniki jakości obrazu<br>i ocena jakości obrazu radiograficznego .....                                          | 124        |
| 7.6.6. Układy geometryczne badań radiograficznych. ....                                                                   | 126        |
| 7.6.7. Wybór napięcia lampy rentgenowskiej, źródeł promieniowania gamma<br>oraz promieniowania X o wysokiej energii. .... | 131        |
| 7.6.8. Systemy błon i okładek .....                                                                                       | 132        |
| 7.6.9. Usytuowanie wiązki promieniowania,<br>zmniejszenie wpływu promieniowania rozproszonego .....                       | 135        |
| 7.6.10. Odległość źródła promieniowania od obiektu .....                                                                  | 136        |
| 7.6.11. Gęstość optyczna radiogramu. ....                                                                                 | 137        |
| 7.6.12. Obróbka fotochemiczna błon .....                                                                                  | 137        |
| 7.6.13. Warunki przeglądania radiogramów .....                                                                            | 137        |
| 7.6.14. Protokół badania. ....                                                                                            | 137        |
| <b>8. BADANIA ULTRADŹWIĘKOWE .....</b>                                                                                    | <b>140</b> |
| 8.1. Podstawy badań ultradźwiękowych – wprowadzenie. ....                                                                 | 140        |
| 8.2. Fale ultradźwiękowe, rodzaje .....                                                                                   | 140        |
| 8.2.1. Fala podłużna (L). ....                                                                                            | 140        |
| 8.2.2. Fala poprzeczna (T). ....                                                                                          | 141        |
| 8.2.3. Fala powierzchniowa (R). ....                                                                                      | 142        |
| 8.2.4. Fala podpowierzchniowa .....                                                                                       | 142        |
| 8.2.5. Fala Lamba .....                                                                                                   | 142        |
| 8.2.6. Fala Love'a .....                                                                                                  | 143        |
| 8.3. Generowanie fal ultradźwiękowych .....                                                                               | 144        |
| 8.4. Właściwości fali ultradźwiękowej. ....                                                                               | 146        |
| 8.4.1. Parametry pola bliskiego. ....                                                                                     | 146        |
| 8.4.2. Parametry pola dalekiego .....                                                                                     | 148        |
| 8.4.3. Kąt rozbieżności wiązki. ....                                                                                      | 148        |
| 8.4.4. Szerokość wiązki ultradźwiękowej .....                                                                             | 149        |
| 8.4.5. Tłumienie fali ultradźwiękowej .....                                                                               | 150        |
| 8.4.6. Zjawiska zachodzące na granicy ośrodków. ....                                                                      | 152        |
| 8.4.6.1. Kąty graniczne fal ultradźwiękowych .....                                                                        | 154        |
| 8.5. Aparatura do badań ultradźwiękowych. ....                                                                            | 154        |
| 8.5.1. Próbkę odniesienia – wzorce ultradźwiękowe .....                                                                   | 155        |
| 8.5.2. Defektoskopy ultradźwiękowe. ....                                                                                  | 157        |
| 8.5.3. Głowice ultradźwiękowe .....                                                                                       | 159        |
| 8.5.4. Środki sprzęgające .....                                                                                           | 167        |
| 8.6. Techniki badań ultradźwiękowych .....                                                                                | 167        |
| 8.6.1. Przygotowanie do badań. ....                                                                                       | 171        |
| 8.6.2. Wybór rodzaju badań. ....                                                                                          | 174        |
| 8.6.3. Ruchy głowicy podczas badania .....                                                                                | 178        |
| 8.6.4. Lokalizacja niezgodności .....                                                                                     | 178        |
| 8.6.5. Określenie wymiarów niezgodności. ....                                                                             | 180        |

|                                                                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.7. Przykłady interpretacji wskazań . . . . .                                                                               | 182        |
| 8.8. Badanie spoin pachwinowych . . . . .                                                                                    | 190        |
| 8.9. Badanie złączy ze stali austenitycznych. . . . .                                                                        | 191        |
| 8.10. Protokół badania . . . . .                                                                                             | 192        |
| <b>9. OCENA JAKOŚCI ZŁĄCZY SPAWANYCH NA PODSTAWIE<br/>PODSTAWOWYCH METOD BADAŃ NIENISZCZĄCYCH . . . . .</b>                  | <b>194</b> |
| 9.1. Poziomy jakości złączy spawanych . . . . .                                                                              | 194        |
| 9.2. Poziomy akceptacji wskazań . . . . .                                                                                    | 211        |
| 9.3. Korelacja między poziomami jakości<br>a poziomami akceptacji wskazań . . . . .                                          | 223        |
| <b>10. INNE METODY BADAŃ NIENISZCZĄCYCH ZŁĄCZY SPAWANYCH. . . . .</b>                                                        | <b>225</b> |
| 10.1. Badania elektromagnetyczne . . . . .                                                                                   | 225        |
| 10.1.1. Metoda magnetograficzna. . . . .                                                                                     | 225        |
| 10.1.2. Metody wykorzystujące przetworniki pomiarowe. . . . .                                                                | 226        |
| 10.1.3. Metody wiropądowe. . . . .                                                                                           | 227        |
| 10.2. Wybrane metody badań szczelności . . . . .                                                                             | 230        |
| 10.2.1. Zasady wyboru badań szczelności . . . . .                                                                            | 232        |
| 10.2.2. Próba naftą i kredą . . . . .                                                                                        | 235        |
| 10.2.3. Metoda pęcherzykowa z przyssawką próżniową . . . . .                                                                 | 235        |
| 10.2.4. Metoda spektrometryczna. . . . .                                                                                     | 238        |
| 10.2.5. Metoda akustyczna . . . . .                                                                                          | 241        |
| 10.2.6. Badania ciśnieniowe . . . . .                                                                                        | 241        |
| 10.2.6.1. Próba wodna . . . . .                                                                                              | 242        |
| 10.2.6.2. Próba pneumatyczna . . . . .                                                                                       | 244        |
| 10.3. Wybrane metody niekonwencjonalnych badań nieniszczących. . . . .                                                       | 246        |
| 10.3.1. Termowizja . . . . .                                                                                                 | 246        |
| 10.3.2. Metoda magnetycznej pamięci metalu . . . . .                                                                         | 246        |
| 10.3.3. Magnetyczny rezonans jądrowy. . . . .                                                                                | 249        |
| 10.3.4. Mikroskopia akustyczna . . . . .                                                                                     | 249        |
| 10.3.5. Technika radiografii tangensowej . . . . .                                                                           | 250        |
| 10.3.6. Radiografia neutronowa . . . . .                                                                                     | 250        |
| 10.3.7. Promieniowanie synchrotronowe . . . . .                                                                              | 253        |
| 10.3.8. Badania penetracyjne metodą cząstek odsączalnych,<br>zwilżania wstępnego, fuksyny lub błękitu metylenowego . . . . . | 254        |
| 10.3.9. Reflektometria. . . . .                                                                                              | 256        |
| <b>LITERATURA . . . . .</b>                                                                                                  | <b>257</b> |
| <b>WYKAZ NORM WYKORZYSTANYCH I ZWIĄZANYCH . . . . .</b>                                                                      | <b>260</b> |



# 1. WPROWADZENIE

W normie PN-EN ISO 9001 zdefiniowano pojęcie specjalnych procesów produkcyjnych, do których zaliczono również spawanie (rys. 1).



Rys. 1. Przykłady specjalnych procesów produkcyjnych

Spawanie stanowi zatem proces, którego wynik nie może być w pełni sprawdzony przez kontrolę i badania wyrobu oraz gdzie niedostatki przebiegu procesu mogą się ujawnić dopiero podczas jego eksploatacji. Wynika stąd, że spawanie powinno być zawsze realizowane przez wykwalifikowany personel, natomiast parametry spawania w sposób permanentny nadzorowane i monitorowane.

Odstępstwa od prawidłowej technologii spawania mogą być przyczyną powstawania w wykonywanych połączeniach niezgodności spawalniczych, powodujących z reguły obniżenie ich wytrzymałości i trwałości. Może to prowadzić do poważnych awarii konstrukcji i powstawania dużych strat materialnych. Z tego powodu zarówno ilość jak i wielkość niezgodności w wykonywanych złączach powinna być możliwie najmniejsza.

Do wykrywania oraz określania wymiarów niezgodności spawalniczych w złączach konstrukcji spawanych stosuje się różne metody badań nieniszczących.

Z ich zestawu każdy wytwórca może wybrać metodę najefektywniejszą i najekonomiczniejszą dla realizowanego wyrobu. Jednak warunkiem właściwego wyboru metody (lub metod) kontroli jest znajomość ich cech charakterystycznych, zakresu zastosowania, skuteczności, istniejącego wyposażenia, kryteriów oceny jakości itp. Aby wybór ułatwić opracowano poradnik (podręcznik), który czytelnikom będzie służył pomocą podczas zdobywania niezbędnej wiedzy z zakresu badań nieniszczących złączy spawanych lub podczas wykonywania obowiązków służbowych związanych z kontrolą konstrukcji spawanych.

W poradniku wyjaśniono pojęcie niezgodności, wady i nieciągłości oraz omówiono budowę złączy spawanych z metali. Scharakteryzowano najczęściej stosowane w praktyce spawalniczej metody i techniki badań nieniszczących. Podano sposoby oceny jakości złączy spawanych według obowiązujących przepisów i zasady wyboru tych metod. Dostęp do materiałów źródłowych ułatwiają czytelnikowi załączone na końcu opracowania wykaz literatury i wykorzystanych norm.

Poradnik przeznaczony jest dla inżynierów i technologów spawalników oraz inspektorów spawalniczych, 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 spawalnictwie. Jako zbiór podstawowych informacji na temat badań nieniszczących, poradnik jest przydatny wszystkim tym czytelnikom, którzy planują uzyskanie odpowiedniego stopnia kwalifikacji według wymagań normy PN-EN ISO 9712.