

# Badania nieniszczące spoin

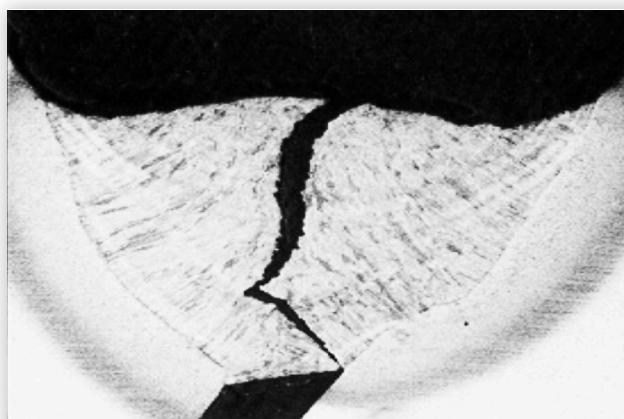
Spawanie łukowe znane jest już od ponad stu lat. Jak w każdej operacji technologicznej także i w spawaniu występują różnego rodzaju błędy. Znajdowanie błędów spawalniczych i ich właściwa ocena są możliwe dzięki różnym metodom badania spoin. Badania spoin mogą być niszczące (DT – *Destructive Testing*) lub nieniszczące (NDT – *Non Destructive Testing*). Te drugie omówiono w artykule.

## Aleksander Łukomski

Pięćdziesiąt lat temu dla jednej z polskich fabryk taboru szynowego zbudowano laboratorium radiologiczne do badania spoin. Było to pomieszczenie wybudowane w wydzielonym miejscu hali produkcyjnej o długości 30 metrów i szerokości 6 metrów, z torowiskiem, tak aby można było wprowadzić tam pojazd szynowy: lokomotywę lub wagon. Brama rozsuwana dwuskrzydłowa pokryta była z każdej strony 6-milimetrową blachą ołowianą – przeszkodą dla promieni rentgenowskich. Ściany pomieszczenia od wewnątrz pokryto specjalnym tynkiem rentgenowskim z dodatkiem kruszywa barytowego, wykorzystywanego do zabezpieczenia przed przenikaniem promieni X i gamma. W tym laboratorium prześwietlane były promieniami rentgena

ważne dla wytrzymałości pojazdu spoiny. Były to wtedy dość powszechnie stosowane metody nieniszczące badania spoin.

Obecnie również prowadzi się takie badania, tylko współczesne rozwiązania techniczne nie wymagają już stosowania tak grubych blach z ołowiu na drzwi czy bramy. Opracowanie elastycznych materiałów osłonowych z tworzyw sztucznych, z wypełniaczem w postaci pyłu wolframowego, silnie osłabiającego promieniowanie X i gamma, znacznie upraszcza formowanie osłon tuż przy lampie rentgenowskiej. Przyciąganie i wyginanie nowego materiału osłonowego o grubości czasem nawet tylko kilku milimetrów jest dużo łatwiejsze w kształtowaniu osłon i to bez niepożądanych szczelin.



5mm  
Pęknięcie



50mm  
Nadmierna penetracja – wyciek

Także lampy rentgenowskie emitują znacznie mniej szkodliwego promieniowania. Prowadzone się udane próby, aby wytworzyć skupioną laserową wiązkę promieni rentgenowskich przy niewielkim zapotrzebowaniu na energię elektryczną. Osiągnięcia te powodują, że strefy niebezpieczne ze względu na szkodliwe działanie promieniowania zostały ograniczone do kilku metrów, nawet trzech. Umożliwia to przeprowadzenie mobilne badań w hali produkcyjnej lub w terenie, bez potrzeby budowy specjalnych dużych pomieszczeń laboratoryjnych.

Podstawą doboru określonej metody badania spoin jest najpierw określenie rodzaju błędu spawalniczego.

Błędy spawalnicze można podzielić na wady i niezgodności w złączach spawanych. Zgodnie z normą PN-EN ISO 6520-1 niezgodność spawalnicza jest to nieciągłość w spoinie lub odchylenie od zamierzonej geometrii. Natomiast wada to niedopuszczalna niezgodność spawalnicza. Na fotografiach przedstawiono przykłady możliwych wad spawalniczych.

Najczęstszym powodem powstawania niezgodności czy wad jest czynnik ludzki. I tak mogą to być:

- zbyt niskie kwalifikacje spawaczy,
- niesprawne urządzenia spawalnicze,
- zastosowanie nieprawidłowej technologii spawania,
- dobór niewłaściwych materiałów podstawowych i dodatkowych przy spawaniu,
- złe rozwiązanie konstrukcyjne połączenia spawanego.

Niezgodności mogą być ponadto:

- makroskopowe – np.: żuźle, podtopienia, pęcherze i braki przetopu; wykrywalne nieuzbrojonym okiem lub przy maksymalnie 30-krotnym powiększeniu.
- mikroskopowe – np. mikropęknięcia oraz mikrowtrącenia siarki, krzemu czy fosforu; do ich wykrycia niezbędne są specjalistyczne techniki nieniszczące.



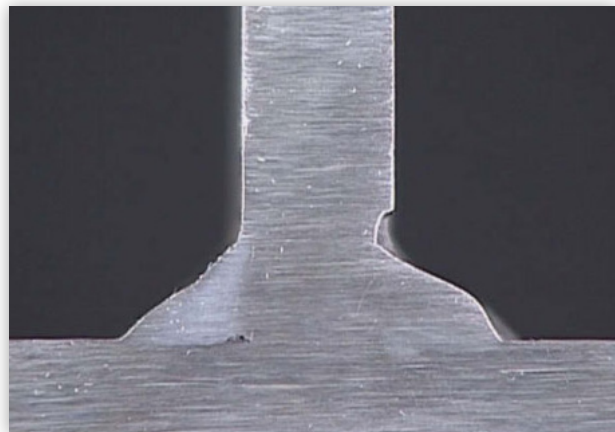
Odpryski



Brak przetopu



Pęcherze – porowatość



Podtopienie

fot.: *Discontinuities and Defects Training Workbook EW-512-4*, Hobart Institute of Welding Technology, 2010



Badanie wizualne VT



Uniwersalny, precyzyjny sprawdzian do spoin. Za jego pomocą bada się wielkość spoiny



Sprawdzian do spoin z odczytem elektronicznym

Ze względu na umiejscowienie niezgodności mogą być zewnętrzne, tj. powstające na powierzchni złącza i wewnętrzne, tj. powstające wewnątrz złączy w wyniku nieumiejętnie przeprowadzonego spawania.

Szerszy zakres niezgodności spawalniczych podany jest w normie PN-EN ISO 6520-1. W części drugiej normy PN-EN ISO 6520-2 podano niezgodności i wady spawalnicze dla zgrzewania. W normie określono zasady i wytyczne stanowiące podstawę dokładnej klasyfikacji i opisu

niezgodności spawalniczych. W celu uniknięcia niejasności poszczególne rodzaje niezgodności spawalniczych zdefiniowano podając ich opis, a w razie potrzeby szkice. Nie uwzględniono metalurgicznych niezgodności spawalniczych.

Jak wspomnieliśmy, w artykule omówimy badania nieniszczące, z którymi mamy do czynienia w spawalnictwie. Zgodnie z normą PN EN ISO 9712 rozróżnia się następujące badania NDT:

- badania wizualne VT – *Visual Testing*,
- badania penetracyjne PT – *Penetrant Testing*,
- badania magnetyczno-proszkowe MT – *Magnetic particle Testing*,
- badania ultradźwiękowe UT – *Ultrasonic Testing*,
- badania radiograficzne RT – *Radiographic Testing*,
- badania szczelności LT – *Liquid penetrant Testing*,
- badania prądami wirowymi ET – *Eddy-current Testing*.

Badania nieniszczące NDT polegają na ocenie złącza spawanego bez naruszenia jego struktury. Pozwalają na wykrycie niezgodności spawalniczych znajdujących się zarówno na powierzchni spoiny (poprzez badania wizualne VT, badania penetracyjne PT czy badania magnetyczno-proszkowe MT), jak też wewnątrz spoiny (poprzez badania radiograficzne RT oraz badania ultradźwiękowe UT).

### **Badania wizualne VT**

Badania te stanowią podstawową i zarazem najprostszą metodę oceny spoin pod kątem występowania w niej zewnętrznych niezgodności spawalniczych występujących od strony lica i grani spoiny. Badania wizualne VT wykorzystują światło widzialne i niekiedy prosty przyrząd optyczny. Powinny być stosowane jako pierwszy krok kontroli jakości po spawaniu, bo pozwalają – na ogół nieuzbrojonym okiem – wykryć szeroki zakres niezgodności i od razu skierować

spoinę do naprawy. Podczas tego badania można specjalnym wzornikiem sprawdzić również wielkość spoiny, czy jej wymiar jest zgodny z dokumentacją konstrukcyjną.

### Badania penetracyjne PT

Badania PT spoin wykorzystują zjawisko wnika-  
nia do materiału złącza spawanego penetrantu,  
który wnika do wąskich i trudnodostępnych prze-  
strzeni wbrew sile grawitacji. Preparat barwny lub  
fluorescencyjny wnika we wszelkie nierówności,  
w tym szczelności i pęknięcia, które następnie  
będzie można zauważyć na kontrastowym tle lub  
przy wykorzystaniu światła UV. Badania pene-  
tracyjne PT są wykorzystywane przede wszyst-  
kim dla materiałów niemagnetycznych, gdzie nie  
można zastosować badania MT. Ograniczeniem  
do stosowania tej metody jest porowatość badanej  
powierzchni materiału. Penetrant wnika wtedy  
w porowatą strukturę materiału, przez co można  
otrzymać nieprawdziwe wyniki. Badanie penetra-  
cyjne świetnie nadaje się do wykrywania wad na  
powierzchni spoiny.

### Badania magnetyczno-proszkowe MT

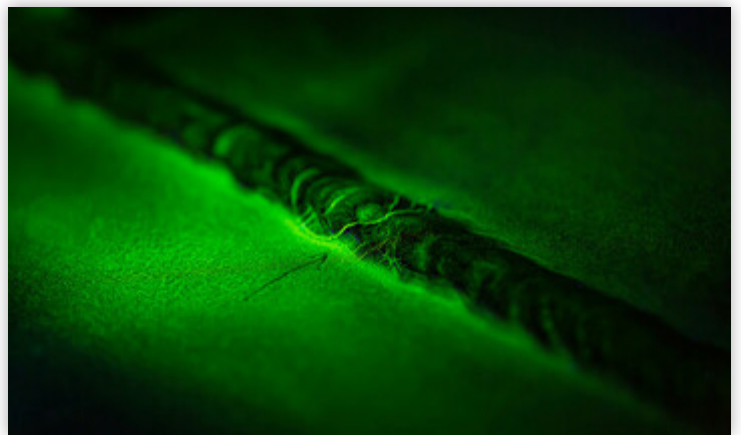
Badanie MT jest podobne do badania PT, wymaga  
użycia barwnego lub fluorescencyjnego proszku  
magnetycznego. Ten przyciągany jest magnesem,  
aby wnikał w nierówności i pęknięcia, które  
następnie można zauważyć w świetle UV lub na  
kontrastowym tle. Badanie magnetyczno-prosz-  
kowe pozwala na wykrycie wad spoiny na jej  
powierzchni oraz ok. 2-3 mm pod nią. Wiąże się  
jednak ze znaczącym ograniczeniem, sprawdza  
się tylko przy materiałach ferromagnetycznych.  
Zaletą badań magnetyczno-proszkowych MT jest  
brak potrzeby dokładnego przygotowania badanej  
powierzchni. Dlatego są one często wykonywane  
na elementach konstrukcji stalowych.

### Badania ultradźwiękowe UT

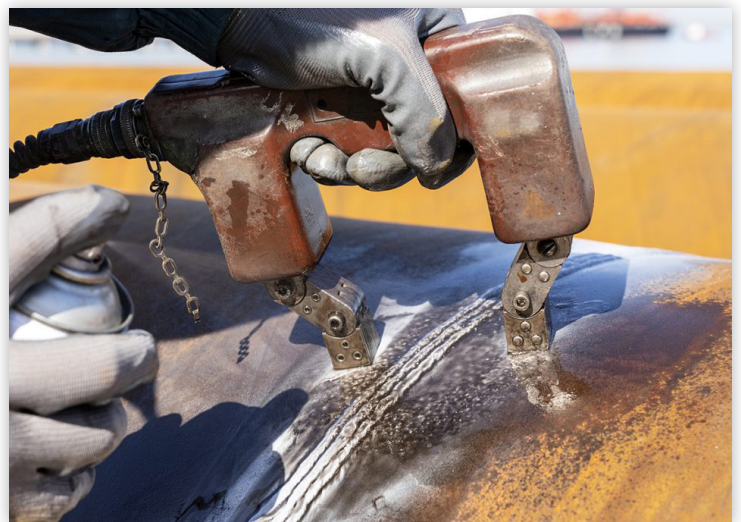
Badanie UT jest bardzo nowoczesną, a przy tym  
niezwykle efektywną metodą, która pozwala na



Badanie penetracyjne PT



Badanie magnetyczno-proszkowe MT



Badanie magnetyczno-proszkowe MT

wykrycie wad wewnątrz spoiny. Do wykona-  
nia badania potrzebny jest jednak specjalistycz-  
ny sprzęt. Badania UT wykrywają niezgodności  
płaskie, takie jak pęknięcia, braki przetopu czy  
przyklejenia. Pozwalają też na wykrycie wewnętr-  
znych niezgodności występujących w spoinach.  
Wykorzystuje się tu zjawisko rozchodzenia się fali



Badanie ultradźwiękowe UT



Badanie rentgenowskie RT



Badanie rentgenowskie RT

ultradźwiękowej w materiale oraz możliwość rejestracji odbicia fali ultradźwiękowej od niezgodności spawalniczej.

#### **Badania rentgenowskie RT**

Badania te wykorzystują promieniowanie rentgenowskie X bądź promieniowanie gamma,

powstające w wyniku rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Podstawowym wymaganiem przy wykonywaniu tych badań jest konieczność dostępu do badanej spoiny z obu stron. Badania te umożliwiają wykrycie takich niezgodności spawalniczych jak brak przetopu, pęcherze gazowe, wtrącenia, przyklejenia, pęknięcia, podtopienia czy wycieki.

Istnieją lampy RTG o różnej budowie i zastosowaniu, zarówno analogowe jak i cyfrowe. Można zatem uzyskiwać zdjęcie na tradycyjnej błonie fotograficznej, jak i obraz na monitorze komputera, czy wydruk komputerowy na przezroczystej folii. Pracownie i laboratoria oraz stanowiska mobilne rentgenograficzne podlegają restrykcyjnym przepisom bezpieczeństwa.

#### **Badania szczelności LT**

Badania LT wykorzystuje się w zbiornikach bądź rurociągach. Polegają one na wykorzystaniu podciśnienia oraz zjawiska przenikania gazu lub cieczy z przestrzeni z wyższym ciśnieniem do przestrzeni z niższym ciśnieniem. Często wykonuje się specjalne instalacje z dokładnymi manometrami do odczytu ubytku gazu. Przy cieczach w zbiorniku widoczne są drobne nieszczelności, podobnie jak w metodzie penetracyjnej PT.

#### **Badania prądami wirowymi ET**

Te badania wykorzystują zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Prądy wirowe to prądy indukcyjne powstające w materiale przewodzącym prąd na skutek oddziaływania zmiennego pola magnetycznego. Są wykorzystywane do wykrywania niezgodności powierzchniowych i podpowierzchniowych.

Metody badań nieniszczących dzieli się także na:

- powierzchniowe – występujące na powierzchni spoiny i do 2 mm w głąb materiału. Mogą to być badania VT, PT, MT oraz ET.
- objętościowe – występujące wewnątrz złącza spawanego, niewidoczne na powierzchni. Tu wykonuje się badania RT i UT.

Rodzaj i zakres badań powinien wynikać z umowy lub ustaleń z klientem. Przy niektórych badaniach np. ciśnieniowych i szczelnych, dobrze jest posługiwać się normą PN-EN 13480-5, która określa jakie badania należy wykonać, uwzględniając materiał i rodzaj spoiny.

Dla konstrukcji stalowych można posługiwać się normą PN-EN 1090-2, z której wynika jaki zakres dodatkowych badań nieniszczących należy wykonać.

W niektórych przypadkach, gdy nie ustalono z klientem rodzaju i zakresu badań NDT (lub gdy nie ma odpowiednich sugestii w normie), należy ustalić zakres badań w wyniku analizy, gdzie powinno się wziąć pod uwagę materiały złącza, możliwe obciążenia, odpowiedzialności spoiny, wybraną metodę spawania i ewentualne warunki wykonania spoiny.

W rzeczywistości przemysłowej zdarzają się też niestandardowe przypadki. Przykładowo w lokomotywie spalinowej Blue Tiger, która ciągnie skład wagonów przez dżunglę w Malezji, przez kilka dni w jedną stronę (i musi zabrać olej napędowy na całą trasę, w jedną i drugą stronę), rozwiązano to tak, że ramę podwozia tej lokomotywy wykonano jako zbiornik paliwa na 11 tys. litrów. Zbiornik musi więc spełniać warunki wytrzymałościowe ramy podwozia. Potrzeba było przeprowadzić badania spoin, których w tej ramie-zbiorniku było dużo. Zdecydowano się na badanie, które jest połączeniem badania ciśnieniowego z penetracyjnym. Polega to na tym, że wypełnia się ramę-zbiornik maksymalną ilością oleju napędowego (takiego samego jaki później używany jest do napędu lokomotywy), zamyka się szczelnie wszystkie otwory zbiornika i pod lekkim ciśnieniem przeprowadza się oględziny wszystkich spoin mających wpływ na szczelność. Okazało się, że mimo zastosowania



Lokomotywa Blue Tiger w brawach malezyjskich kolei KTM

odpowiednich technologii spawania i przestrzegania procedur technologicznych nieszczelności się pojawiły. Widoczne były wypływy paliwa cienką strużką i „pocenie” się złącza spawanych. Aby to wyeliminować przeprowadzono – nie spuszczać paliwa, a tylko zmniejszając ciśnienie – operację wycinania szlifierką wadliwych spoin i pospawano spoiny na nowo, nadal nie spuszczać paliwa. Badanie to i naprawa złącza przy takiej ilości paliwa wydaje się czymś nieprawdopodobnym. Oczywiście, cały czas podczas tego badania był na hali w pobliżu stanowiska badawczego odpowiednio wyposażony wóz strażacki wraz z zespołem przeszkolonych strażaków oraz zachowano wszelkie inne sposoby zabezpieczeń przed pożarem i wybuchem. W fabryce pojazdów szynowych, w której zbudowano nadwozie tej lokomotywy (w wielu egzemplarzach) nic się nie przytrafiło, a nawet nie było śladu niebezpiecznej sytuacji, więc procedura tego badania okazała się prawidłowa.

W większości badań NDT jednak tak ekstremalne sytuacje nie występują. Ciągły postęp techniczny w tej dziedzinie również powoduje, że badania te są coraz bezpieczniejsze oraz dają coraz większe prawdopodobieństwo uzyskania pewności co do badanych złącz.

*Aleksander Łukomski*