

■ Mateusz Wróbel,
Urząd Dozoru Technicznego

■ Marek Nowak,
Urząd Dozoru Technicznego

■ Tadeusz Uhl,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Diagnostyka urządzeń ciśnieniowych infrastruktury krytycznej z wykorzystaniem metody Small Punch Test

Urząd Dozoru Technicznego od kilku lat konsekwentnie realizuje strategię związaną z rozwojem sieci laboratoriów stacjonarnych i mobilnych. Jednym z głównych celów tego działania jest wzrost dostępności specjalistycznych usług badawczych dla przedsiębiorców działających w Polsce. Oprócz standardowych metod badań nieniszczących oraz niszczących w ofercie laboratoriów UDT znajdują się także badania z wykorzystaniem dronów, robotów inspekcyjnych, a także zaawansowane techniki badań NDT, tj.: PEC (ang. Pulsed Eddy Current) lub UT-TFM (ang. Total Focusing Method).

W nowoczesnej diagnostyce urządzeń ciśnieniowych infrastruktury krytycznej coraz większego znaczenia nabierają również badania z wykorzystaniem minipróbek, czego przykładem stanowią badania metodą Small Punch Test. Zaletą pobierania minipróbek zamiast próbek do klasycznych testów wytrzymałościowych jest brak konieczności naprawy miejsca pobrania i możliwość dopuszczenia do dalszej eksploatacji, co ma również pozytywny wymiar ekonomiczny. Zwiększa to możliwość częstszego badania stanu materiału konstrukcji.

Metoda SPT została opracowana i jest stosowana dla instalacji w elektrowniach jądrowych, ponieważ minimalizuje wpływ napromieniowania próbek na obsługę realizującą badania.

Diagnostyka urządzeń ciśnieniowych infrastruktury krytycznej

Wiele urządzeń ciśnieniowych wchodzących w skład infrastruktury krytycznej przekroczyło planowany na etapie projektowania czas eksploatacji. Ocena stanu technicznego wybranych elementów bloków energetycznych, rafinerii, czy zakładów chemicznych wymaga podejmowania szerokiego spektrum działań. Ich podstawę stanowi zazwyczaj wykonanie badań nieniszczących (NDT, ang. *Non-Destructive Testing*).

Badania NDT, mimo wielu zalet, nie pozwalają jednak na dokładne scharakteryzowanie własności wytrzymałościowych materiałów, które mogą ulegać znaczącym zmianom podczas liczonej w setkach tysięcy godzin pracy. Aby określić parametry, tj. granicę plastyczności, czy też wytrzymałość na pełzanie - konieczne staje się pobranie z danego obiektu wycinków materiału, przygotowanie odpowiednich próbek i przeprowadzenie badań niszczących w warunkach laboratoryjnych.

Tradycyjne metody pobierania wycinków materiału do badań

Pobieranie wycinków materiału do badań wiąże się z wieloma trudnościami.

Tradycyjne sposoby oparte o procesy skrawania lub cięcia palnikiem gazowym wymagają zazwyczaj unieruchomienia danego urządzenia i opróżnienia z medium roboczego. Dochodzi do tego także konieczność wykonania niezbędnych napraw, co dodatkowo zwiększa czas i koszty prowadzonych prac. Nie bez znaczenia pozostaje również możliwość pogorszenia stanu danej konstrukcji, np. poprzez niewłaściwie wykonaną obróbkę cieplną po wstawieniu nowego fragmentu urządzenia.

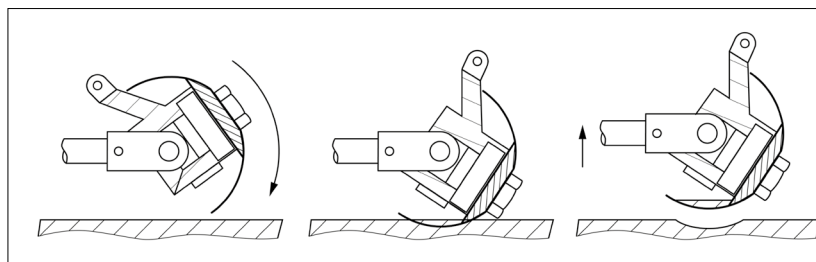
System powierzchniowego pobierania materiału

Licznym wyzwaniem związanym z pobieraniem wycinków materiału do badań pozwala sprostać system powierzchniowego pobierania materiału (ang. *Surface Sampling System*). Urządzeniem, które wykorzystuje tę technologię jest SCOOPER 50 - Scoop Sampling Machine. Składa się ono z głowicy tnącej, panelu sterującego i układu chłodzenia.

Zasadę działania systemu można porównać do łyżki do lodów. Specjalne półkuliste ostrze pokryte materiałem ściernym wykonuje ruch obrotowy wokół



SCOOPER 50 - urządzenie do pobierania wycinków materiału do badań



Sposób pobierania wycinka materiału do badań



Przykładowe wycinki materiału do badań

własnej osi i jednocześnie pochyla się w kierunku prostopadłym do powierzchni danego elementu. Niewielki posuw połączony z chłodzeniem stwarzają warunki, w których nie dochodzi do zmian struktury materiału.

System powierzchniowego pobierania materiału pozwala na otrzymanie próbek o średnicy około 25 mm i wysokości do 3,2 mm. Ubytek materiału powstały w danym obiekcie nie zawiera ostrych krawędzi.

Sposoby wykorzystania wycinków materiału

Wycinki materiału pobrane za pomocą systemu Scooper 50 mogą zostać wykorzystane do przeprowadzenia wielu rodzajów badań materiałowych. Odpowiednia preparatyka pozwala na wykonanie m. in.:

- badań mikrostruktury za pomocą mikroskopu świetlnego i skaningowego mikroskopu elektronowego,
- pomiarów twardości,
- analiz składu chemicznego i fazowego.

Ciekawa aplikacja dotyczy badań wytrzymałościowych z wykorzystaniem

minipróbek, np. badań metodą Small Punch Test.

Small Punch Test - wyznaczenie własności wytrzymałościowych materiałów

Small Punch Test jest metodą służącą do wyznaczania własności wytrzymałościowych materiałów. Polega ona na wciskaniu wgłębnika w kształcie kulki w sztywno umocowaną próbkę o średnicy 8 mm i grubości 0,5 mm. Badania realizowane są zgodnie z normą PN-EN 10371:2021-9 „Metale - Metoda badania małym stemplem” wprowadzającą normę europejską EN 10371:2021 - Metallic materials - Small Punch Test method.

Będąca na wyposażeniu aparatury umożliwia przeprowadzanie badań metodą Small Punch Test w warunkach pokojowych oraz w temperaturach obniżonych (do -193°C).

Prezentowane metody badań znajdują zastosowanie do określenia:

- umownej granicy plastyczności,
- wytrzymałości na rozciąganie,
- wydłużenia do zerwania,
- temperatury przejścia w stan kruchy (ang. *Ductile to Brittle Transition temperature*, DBTT).

Możliwe jest również wyznaczenie odporności na pękanie podczas skróconych prób pękania (tzw. Small Punch Creep Test). Najważniejsze parametry dotyczące prób pękania możliwe do osiągnięcia na aparaturze będącej w dyspozycji Urzędu Dozoru Technicznego to:

- czas trwania próby: do 5000 h,
- temperatura badania: do 800°C ,
- obciążenie: do 500 N.

Metoda należy do metod empirycznych i jej zastosowanie wymaga doświadczonego wyznaczenia parametrów współczynników umożliwiających otrzymanie podstawowych wielkości charakteryzujących materiały stosowane w energetyce oraz instalacjach w przemyśle chemicznym, czy petrochemicznym. Dla typowych materiałów współczynniki te podaje norma.

Przykładowe wyniki badań

W ramach wspólnych prac rozwojowych UDT i Centrum Energetyki AGH przeprowadzono szereg badań mających na celu porównanie wyników badań jednoosiowego rozciągania realizowanych z wykorzystaniem standardowych znormalizowanych próbek z wynikami otrzymanymi podczas badań metodą

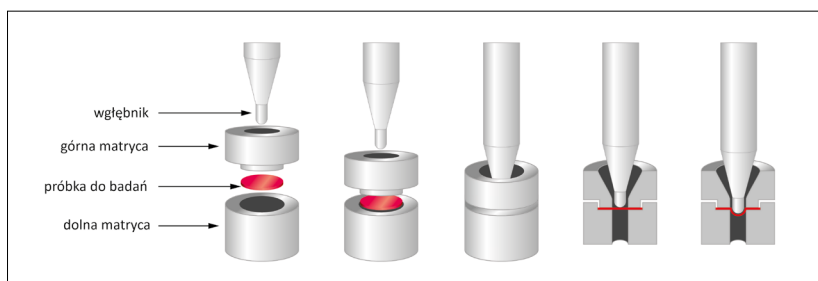
Small Punch Test. Analizom poddano różne gatunki stali, znajdujące się zarówno w stanie po eksploatacji, jak i materiały nowe. W przypadku materiałów drobnoziarnistych, parametry wyznaczone podczas badań metodą Small Punch Test, tj.: $R_{p0,2}$, R_m są zbliżone z parametrami wyznaczanymi podczas badań próbek znormalizowanych. Na podstawie przeprowadzonych badań statystycznych metodą SPT, dla większej populacji próbek, można, dla przebadanych stali, rozróżnić stopień degradacji materiału.

Przykłady zastosowań przemysłowych

Mało inwazyjny sposób pobierania wycinków materiału do badań oraz sama metoda Small Punch Test zyskują coraz większe zainteresowanie wśród przedsiębiorców odpowiedzialnych za kluczowe elementy infrastruktury krytycznej w kraju. W ostatnim czasie zrealizowano już zlecenia w zakładach energetyki

MATERIAŁ	PARAMETR	ŚREDNIE WARTOŚCI OTRZYMANE PODCZAS BADANIA SERII PRÓBEK	
		BADANIA STANDARDOWE	SMALL PUNCH TEST
Eksploatowany	$R_{p0,2}$ [MPa]	333	316
	R_m [MPa]	526	549
Nowy	$R_{p0,2}$ [MPa]	357	386
	R_m [MPa]	525	546

Wyniki badań porównawczych dla wybranego gatunku stali



Przebieg badania metodą Small Punch Test



Pobieranie wycinka do badań z rurociągu

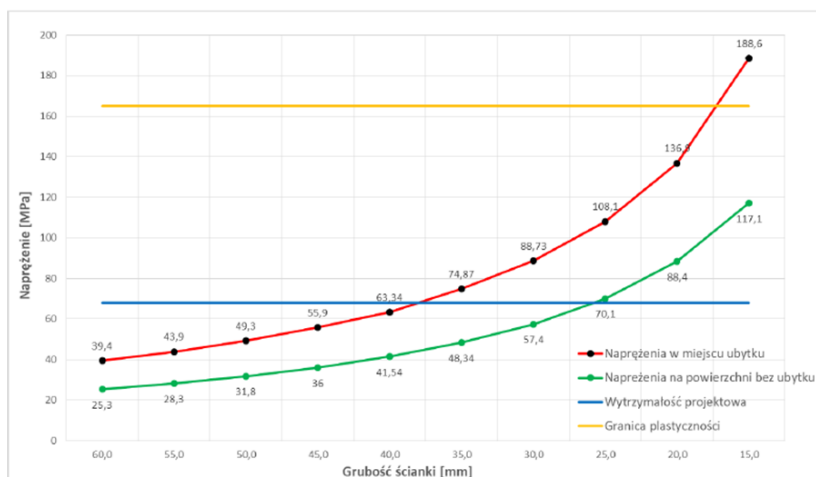
cieplej, a także w firmach działających w branży petrochemicznej.

Planowane jest, aby metoda Small Punch Test znalazła szersze zastosowanie w następujących obszarach:

- diagnostyka i ocena trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania,
- diagnostyka pieców technologicznych,
- diagnostyka wybranych urządzeń, np. turbin parowych,
- wyznaczanie rzeczywistych własności wytrzymałościowych materiałów.

Wpływ powstających ubytków materiału na stan konstrukcji

W celu scharakteryzowania wpływu powstających ubytków materiału na wytrzymałość całej konstrukcji przeprowadzono szereg symulacji Metodą Elementów Skończonych. Przykładem analizowanej konstrukcji jest rurociąg wykonany ze stali 10H2M (10CrMo9-10) o średnicy wewnętrznej 273 mm i ciśnieniu wewnętrznym 13,5 MPa. W zależności od przyjętej grubości ścianki zmianie ulegają naprężenia w miejscu powstającego ubytku. Przeprowadzona symulacja potwierdza, że w rozpatrywanym przypadku, dla rurociągu o grubości ścianki powyżej 35 mm powstający ubytek materiału jest bezpieczny. Nie dochodzi wówczas do przekroczenia naprężeń dopuszczalnych (projektowych). Ewentualna naprawa, np. poprzez napawanie, również nie jest konieczna, co często może wprowadzić dodatkowe naprężenia, wynikające z miejscowego nagrzewania w czasie naprawy.



Wyniki symulacji Metodą Elementów Skończonych

Korzyści wynikające z mało inwazyjnego sposobu pobierania wycinków materiału i badań metodą Small Punch Test

Prezentowane rozwiązania niosą za sobą wiele korzyści. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- Możliwość pobierania wycinków materiału do badań bez konieczności wyłączenia i/lub opróżnienia urządzenia z medium roboczego.
- Brak ostrych korbów w miejscach po pobraniu wycinka do badań. Nie dochodzi do tworzenia miejsc koncentracji naprężeń. Dodatkowa naprawa może nie być konieczna.
- Możliwość charakterystyki materiałów pod kątem ich własności wytrzymałościowych, ale także mikrostruktury, składu chemicznego, itp.
- Omawiane badania metodą SPT, wykonywane w laboratoriach, cha-

rakteryzują się większą dokładnością od innych metod badawczych wykorzystujących techniki przenośne.

Podsumowanie

Mało inwazyjny sposób pobierania wycinków do badań wraz z badaniami metodą Small Punch Test stanowią ciekawe rozwiązanie, które znajduje coraz szersze zastosowanie w przemyśle. Omawiane techniki są dobrą alternatywą dla tradycyjnych badań wytrzymałościowych materiałów eksploatowanych w instalacjach przemysłowych. Dotychczasowe doświadczenia potwierdzają, że własności wytrzymałościowe wyznaczone podczas badań metodą Small Punch Test są spójne z wynikami otrzymywanymi podczas standardowej próby rozciągania. Prezentowane rozwiązanie może przyczynić się do redukcji czasu i kosztów prac diagnostycznych realizowanych dla określonych urządzeń ciśnieniowych. □