

WŁAŚCIWOŚCI ZŁĄCZA NAPRAWCZEGO STALI 13HMF

PO 230 000 GODZIN PRACY W WARUNKACH PEŁZANIA

DŁUGOTRWALA EKSPLOATACJA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH NIESIE ZA SOBĄ KONIECZNOŚĆ WYKONYWANIA NAPRAW EKSPLOATACYJNYCH, Z ZASTOSOWANIEM POŁĄCZEŃ SPAWANYCH MATERIAŁÓW O STRUKTURZE ZDEGRADOWANEJ LUB ELEMENTÓW WYKONANYCH Z NOWYCH RUR Z JUŻ EKSPLOATOWANYMI. DOTYCZY TO ZWŁASZCZA ELEMENTÓW KOTŁÓW I CAŁYCH INSTALACJI RUROCIĄGÓW PAROWYCH, PRACUJĄCYCH POWYŻEJ TEMPERATURY GRANICZNEJ W WARUNKACH PEŁZANIA, CZYLI POWOLNEGO, CIĄGŁEGO ODKSZTAŁCANIA W CZASIE, SKUTKUJĄCEGO OSTATECZNIE PĘKNIĘCIEM.



**PAWEŁ
GRZEŚKOWIAK**

Główny Specjalista
ds. Badań Materiałowych
Dział Badań Laboratoryjnych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział w Poznaniu



**ROBERT
WERSTA**

Kierownik Działu
Oceny Zgodności
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu



**PIOTR
NIEMCZYK**

Kierownik Działu Urządzeń
Ciśnieniowych
Urząd Dozoru Technicznego
Oddział we Wrocławiu

Szybkość odkształcenia w czasie pełzania jest funkcją kilku parametrów: naprężenia (σ), temperatury (T), struktury, a w szczególności gęstości i układu dyslokacji, wielkości ziarna, stężenia pierwiastków stopowych rozpuszczonych w osnowie, rozkładu i udziału wydzielen wewnątrz i na granicach ziaren ($Si = S1, S2, S3 \dots Sn$) oraz stanu wewnętrznych uszkodzeń wywołujących pękanie (ω) [1, 2].

$$\dot{\epsilon} = \epsilon(\sigma, T, Si, \omega) \quad (1)$$

Obliczeniowy czas pracy eksploatowanych w Polsce kotłów i rurociągów w większości przypadków to 100 000 godzin.

Rzeczywisty czas pracy tych urządzeń często przekracza 200 000 godzin.

Obliczenia wytrzymałościowe nowych urządzeń energetycznych wykonane zgodnie z obowiązującymi zarówno kiedyś, jak i obecnie specyfikacjami technicznymi:

- uwzględniają wpływ naprężenia (σ) i temperatury pracy (T) z odpowiednim współczynnikiem bezpieczeństwa,
- nie uwzględniają cech struktury (Si) i uszkodzeń wewnętrznych (ω), co zaczyna mieć istotne znaczenie po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy przy wykonywaniu napraw i modernizacji.

Trwałość materiału najczęściej jest różna od trwałości konstrukcji, na którą mają wpływ także inne czynniki.

W energetyce trwałość urządzenia technicznego jest najczęściej mniejsza od trwałości materiału, a naprawy mają na celu przywrócenie własności użytkowych oraz umożliwiają dalszą, bezpieczną ich eksploatację.

Określenie trwałości konstrukcji wymaga wyznaczenia czasu granicznego do zniszczenia (t), granicznej liczby cykli do zniszczenia (N_f), liczby operacji lub zabiegów technologicznych, po których przy założonym kryterium nastąpi zniszczenie lub utrata zdolności spełniania wymaganej funkcji przez element konstrukcyjny.

Uszkodzenia występują w węzłach konstrukcji, w których występuje kumulacja i sumowanie szkodliwych oddziaływań.

- Poznanie własności złączy spawanych, wykonanych podczas napraw na elementach, które przekroczyły obliczeniowy czas pracy, ma kluczowe znaczenie dla bezpiecznej eksploatacji całych instalacji z obszaru energetyki.
- Kwalifikowanie i sprawdzanie technologii spawania było i jest wykonywane najczęściej zgodnie z wymaganiami PN EN ISO 15614-1 [2] na materiałach nowych w stanie wyjściowym struktury. Norma ta ustala zakres badań i wymagania, jakimi powinno charakteryzować się złącze (spoina i strefa wpływu ciepła SWC).

ZŁĄCZE PRÓBNE

W celu sprawdzenia przebadanej technologii, przed wykonaniem złącza naprawczego wykonano **złącze próbne** o wymiarach 323,9 x 40 z materiału 13HMF, który przepracował 230 000 godzin w warunkach pełzania (stary) i 14MoV6-3 (nowy).

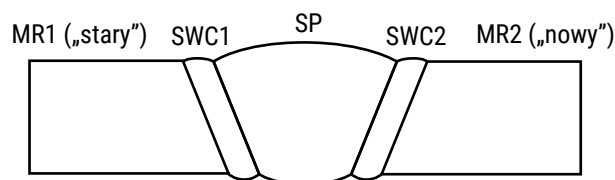
STALE KONSTRUKCYJNE STOPOWE CHROMOWO-MOLIBDENO-WO-WANADOWE

DO PRACY PRZY PODWYŻSZONYCH TEMPERATURACH

ZASTOSOWANE PARAMETRY SPAWANIA

- Podgrzewanie 250°C
- T max międzyścięgowa 350°C
- Przetop, z zastosowaniem materiału dodatkowego DMV 83-Kb, wykonano metodą 141
- Wypełnienie wykonano metodą 111 materiałem dodatkowym FOX DMV 83-Kb

Po spawaniu wykonano obróbkę cieplną w temperaturze 490/710 \pm 10°C. Na rysunku 1 schematycznie przedstawiono złącze spawane z przedstawieniem oznaczeń badanych stref.



Rys. 1. Schemat badanego złącza z oznaczeniami badanych stref

NIE MA AKTUALNIE NORM OKREŚLAJĄCYCH KRYTERIA AKCEPTACJI DLA ZŁĄCZY NAPRAWCZYCH WYKONANYCH Z ZASTOSOWANIEM MATERIAŁÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA, ZWŁASZCZA PO PRZEKROCZENIU OBLICZENIOWEGO CZASU.

PROBLEM JEST ZŁOŻONY I GENERUJE PYTANIA.

- Czy zastosowanie do napraw urządzeń, technologii spawania zbadanej na materiale w stanie wyjściowym struktury, da wyniki badań porównywalne do próbek przygotowanych na elementach po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania?
- Jaki wpływ na strukturę, wielkość ziarna, wydzielenia i uszkodzenia mają spawalnicze cykle cieplne w obszarze SWC naprawianego urządzenia?
- Jakie kryteria akceptacji stosować przy ocenie własności wytrzymałościowych i jaką wytrzymałość na pełzanie mają złącza naprawcze $R_z/100000/T$?

Jednoznacznej odpowiedzi na te pytania w dostępnej literaturze nie ma, zaś naprawy są wykonywane. Kompleksowo natomiast opisana została ocena mikrostruktury stali, co pozwala oszacować trwałość resztkową i stopień wyczerpania materiału [1, 3, 4].

BADANIA

Badania niszczące, próby rozciągania oraz udarnościami, przeprowadzono w Laboratorium UDT (CLDT) w Poznaniu. Wykonano je dla złącza próbnego $\varnothing 324 \times 40$ wykonanego z materiału 14MoV6-3 w stanie wyjściowym struktury oraz materiału 13HMF, który przepracował 230 000 godzin w warunkach pełzania.

Badania mają pomóc w uzyskaniu odpowiedzi na postawione wcześniej pytania.

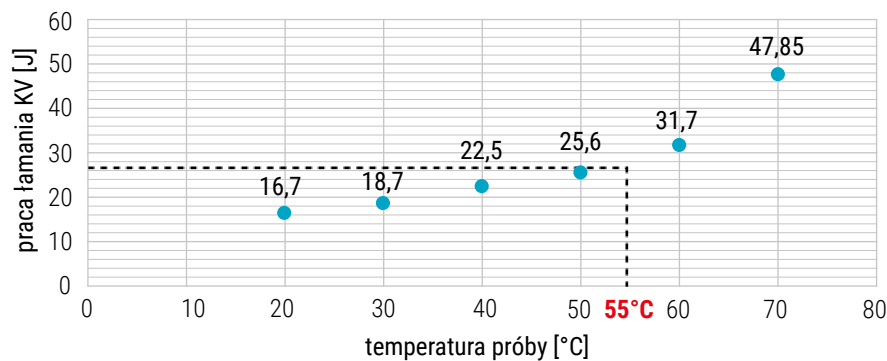
Otrzymane wyniki badań R_e , R_m , A_5 , $R_{p0,2}^{500}$ przedstawia tabela nr 1 wraz z dokumentami odniesienia i zawartymi w nich wymaganiami. Zbadana została praca łamania materiału podstawowego, który przepracował w warunkach pełzania 230 000 godzin, zarówno w kierunku (T), jak i (L), a na ich podstawie wyznaczono temperaturę przejścia w stan kruchy, co przedstawiają rysunki 2 i 3.

Na szczególną uwagę zasługuje wykonane badanie pracy łamania SWC i złącza łączącego dwie rury, które umożliwiają pobranie próbek (L) wzdłużnych.

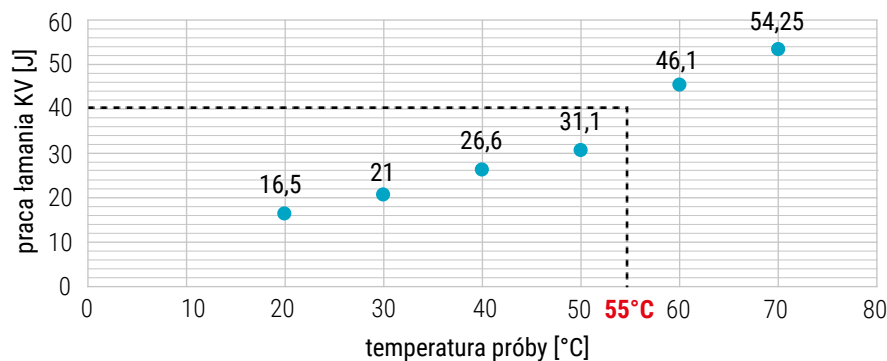
Wymusza to zastosowanie kryterium akceptacji pracy łamania w kierunku wzdłużnym (L) – 40 J, które jest inne od kryterium dla badania w kierunku poprzecznym (T) wynoszącym 27 J.

Tabela 1. Wyniki badań R_e , R_m , A_5 , $R_{p0,2}^{500}$ króćca 324x40 mm z materiału 13HMF (14MoV6-3)

Oznaczenie	Gatunek stali Wymiary, mm	Oznaczenie wycinka	Własności wytrzymałościowe			
			R_m MPa	R_e MPa	A_5 %	$R_{p0,2}^{500}$ MPa
1	2	3	4	5	6	7
Materiał rodzimy MR1 („stary”)	13HMF Ø324x40	ozn. MR1	476	339	29,4	203
Wymagania dla stali 13HMF_W Stanie Wyjściowym WG PN-75/H-84024			490÷690	min 365	min 18	min 216
Obwodowe złącze jednorodne stal 14MoV6-3 (13HMF)		ozn. ZS1	494	358	18	274
Materiał rodzimy MR2 („nowy”)	14MoV6-3 Ø324x40	ozn. MR2	505	368	29,6	228
WYMAGANIA DLA STALI 14MoV6-3 W STANIE WYJŚCIOWYM WG PN-EN10216-2			490÷610	min 320	min 18	min 200



Rys. 1. Praca łamania w funkcji temperatury dla wyznaczenia minimalnej temperatury, przy której zostanie osiągnięta minimalna wymagana praca łamania: KV2 = 27 J dla próbek poprzecznych „T”



Rys. 2. Praca łamania w funkcji temperatury dla wyznaczenia minimalnej temperatury, przy której zostanie osiągnięta minimalna wymagana praca łamania: KV2 = 40 J dla próbek wzdłużnych „L”

ANALIZA WYNIKÓW

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników badań własności wytrzymałościowych złącza naprawczego z materiału 13HMF, który przepracował 230 000 godzin w warunkach pełzania, można wysnuć wnioski.

Niskie wartości pracy łamania w materiale podstawowym 13HMF rosną ze wzrostem temperatury badania.

Przy naprawach urządzeń, po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy, należy wykonywać badania własności wytrzymałościowych i struktury materiału dla określenia stopnia wyczerpania naprawianego węzła, oraz wyznaczyć jego temperaturę przejścia w stan kruchy,

Należy w razie potrzeby skorygować instrukcje uruchamiania rurociągu, w celu wyeliminowania szybkiego obciążenia ciśnieniem bez kontroli temperatury ścianki i zapobiegania uderzeniom hydraulicznym, podobnie należy przeanalizować podejście do prób ciśnieniowych.

Do oceny przydatności kwalifikowanej technologii spawania przy naprawach urządzeń, które przekroczyły obliczeniowy czas pracy, króćce kontrolne należałoby wykonywać z materiału w wyjściowym stanie struktury i materiału pobranego z naprawianego miejsca.

Należy kontynuować badania, aby ustalić kryteria akceptacji pracy łamania SWC złącza dla naprawianych i modernizowanych urządzeń pracujących w warunkach pełzania i po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy.

Literatura:

1. Dobrzański J., Materiałowa interpretacja trwałości stali dla energetyki, Open Access Li-brary, Volume3, 2011.
2. Hernas A., Żarowytrzymałość stali i stopów. Część I, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
3. Instrukcja UDT badania komór i rurociągów pracujących w warunkach pełzania”.
4. PN-EN ISO 15614-1:2008 „Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu”.