

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Jerzy Dobosiewicz,
Ewa Zbroińska-Szczechura

Zmiany własności mechanicznych metalu podczas eksploatacji niektórych walczków

(artykuł dyskusyjny)

Po całkowitym zniszczeniu kilku walczków w elektrowniach krajowych i zagranicznych (Niemcy, Szwecja, Anglia, Węgry) wykonano wnikliwe badania. Wykazały one, że bezpośrednią przyczyną uszkodzeń była niska plastyczność stali w temperaturze otoczenia. Materiał niektórych uszkodzonych walczków charakteryzował się niską udarnością wskutek podniesienia progu kruchości – obniżona ciągliwość. W zależności od stanu wyjściowego i składu chemicznego stali, technologii wytwarzania oraz warunków pracy naczyń ciśnieniowych (temperatura) zachodziły w materiale procesy degradacji struktury prowadzące do spadku własności plastycznych – zdolności do odkształcania.

W wyniku przeprowadzonych badań w materiale niektórych walczków (po 180 000 h) stwierdzono [1]:

- rozpad obszarów ferrytyczno-perlitycznych lub ferrytyczno-bainitycznych,
- wydzielenia węglików po granicach ziarn ferrytu,
- wzrost gęstości dyslokacji w ferrycie,
- wydzielenie miedzi w ferrycie (w stalach stopowych z dodatkiem miedzi).

Wymienione zmiany niewątpliwie mogą przyczyniać się do obniżenia skłonności stali do odkształceń plastycznych, których cechą jest spadek ciągliwości wyrażony niską udarnością. Najczęściej jednak pojawiają się one w materiale elementów pracujących w temperaturach większych od granicznych (powyżej 450°C), nie mogą być usunięte przez obróbkę cieplną w temperaturze niższej od A_{c3} . Metal walczków pracuje w temp. ca 350°C i jego struktura w tych warunkach powinna być stabilna. Możliwość regeneracji własności plastycznych metalu walczków (obróbka cieplna

w temp. 600°C) świadczy, że pewne zmiany w strukturze jednak zachodzą. Jak wiadomo niektóre stale walczkowe, zwłaszcza nieuspokojone, mają skłonność do starzenia po odkształceniu [2]. Podczas produkcji walczek jest kilka razy poddawany obróbce cieplnej, więc zgniot powinien być usunięty.

Walczaki już od wielu lat są wykonywane z uspokoionych stali węglowych i stopowych (zawierających Cu, Ni, Mo, Nb, Ti). Pierwiastki, takie jak Ni, Cu [3] powodują tworzenie się większej liczby dyslokacji, a tym samym przyspieszają starzenie po zgniocie, co może spowodować wyraźny przyrost granicy plastyczności oraz obniżenie udarności.

W energetyce krajowej pracują walczaki wykonane z różnych gatunków stali, a najczęściej ze stali miedziowych (tabela 1). Niektóre z nich przepracowały znaczną liczbę godzin bez uszkodzeń. Na większości jednak (oprócz dwóch rozerwanych w czasie próby

Tabela 1
Skład chemiczny niektórych gatunków stali walczków w energetyce krajowej

Gatunek	Skład chemiczny, %								Udarność KCU, J/cm ² (min)
	Cu	Mn	Si	Cr	Mo*	Ni*	Cu*	Ti*	
17Mn4	0,17	1,10	0,30	-	-	-	-	-	50
17CuMnNi4	0,18	0,70	0,40	-	-	0,90	1,0	-	60
17CuNiMo11.4	0,20	0,90	0,40	-	0,30	1,10	1,1	-	60
11NiMoV53	0,15	1,40	0,40	-	0,40	1,60	-	V-0,3	60
St44K	0,22	0,55	0,35	-	-	-	-	-	60
22K	0,26	1,00	0,40	-	-	-	-	-	60
K22M	0,23	1,10	0,35	-	0,40	-	-	-	70
18CuNMT	0,20	1,00	0,50	-	0,32	1,20	1,20	0,05	70
15NCuMNB	0,17	1,20	0,50	-	1,30	0,40	-	0,06	60

*) podano górne granice zawartości pierwiastków stopowych

T a b e l a 2
Udarność metalu eksploatowanych walczaków

Materiał	Przepracowana liczba godzin	Udarność KCU, J/cm ²	Uwagi
17CuMnNi4	> 200 000	50-53	Lit. } [4-10] Lit. } Lit. }
17CuNiMn11.4	> 170 000	30-60	
17CuMnNi4	> 80 000	42-70	
17CuMnNi4	0	45-85	Lit. } uszkodzenia w czasie próby szczelności u wytwórcy
11NiMoV53	0	50-73	
K22M	160 000	96,0	
CuNi47 Spec.	198 000	58-62	
22K	218 000	60,3-64,0	
22K	235 000	70	
CuNi47 Spec.	250000	75	
K32Nb (15NiCuMnNb)	> 100 000	62	
18CuNMT	140 000	49-62	
18CuNMT	105 000	30-50	
18CuNMT	50 000	35	
18CuNMT	180 000	70	
18CuNMT	> 100 000	30-70	

ciśnieniowej) wystąpiły pęknięcia [3], które zazwyczaj były szlifowane, spawane na zimno lub z odpowiednią obróbką cieplną. W czasie napraw przez spawanie pobierano próbki do badań niszczących. Ich wyniki przytoczono w tabeli 2. Dla porównania wyników uzyskanych z próbek walczaków krajowych w tabeli przytoczono niektóre dane publikowane w literaturze zagranicznej, głównie w VGB [4–10].

Niska udarność, a zwłaszcza występowanie przelomu kruchej w temperaturze pokojowej i w temperaturze przejścia FATT (co potwierdziły poawaryjne badania metalu uszkodzonych walczaków), wyraźnie wyższej od temperatury pokojowej, może sugerować, że materiał (blacha) miał już w stanie wyjściowym nieodpowiednią strukturę, nie usuniętą podczas obróbki cieplnej u wytwórcy walczaków [11].

Wg danych literaturowych [12–16] kruchość stali powiązana jest z zawartością takich pierwiastków, jak Cu, Ni, P, S. Pierwiastki te w osnowie stali powodują wydzielenie się wtrąceń międzyziarnowych w postaci węglików siarczków, fosforków i tlenków oraz powstawanie dodatkowych dyslokacji. Zawartość Cu w roztworze stałym po wyżarzaniu odprężającym ściśle zależy od temperatury obróbki cieplnej i szybkości schładzania do temperatury otoczenia.

Najczęstszą jednak przyczyną kruchości są segregacje związków fosforowych wydzielone na granicach pierwotnego austenitu. Z badań wynika, że przy niższych temperaturach i dłuższym wytrzymaaniu w czasie wyżarzania stal wykazuje najmniejszą skłonność do kruchości związanej z obecnością miedzi.

Atomy miedzi w roztworach stałych tworzą skupiska i występują często w towarzystwie atomów Ni, Si, P, Mn. Te skupiska powodują wzrost kruchości stali. Ich występowanie zależy od jakości obróbki cieplnej (funkcja temperatury i czasu).

Dla użytkowników kotłów jest obojętne czy degeneracja struktury materiału jest efektem eksploatacji czy stanu struktury wyjściowej, która prawdopodobnie ma istotny wpływ na udarność stali miedziowych.

Zastosowanie odpowiednich środków (wykonanie próby ciśnieniowej w temp. powyżej 50°C) stwarza możliwość dalszej eksploatacji walczaków z materiału o niskiej udarność. Istnieją jednak podstawy do twierdzenia, że stale kruche są bardziej podatne na zmęczenie małowybiegowe. Doświadczenia wskazują, że główną przyczyną powstawania pęknięć jest niewłaściwa konstrukcja, a następnie eksploatacja walczaków.

Według VGB [17] wykryte pęknięcia na ściankach walczaka należy usuwać do zaniku a w przypadku gdy ubytki przekraczają wartości dopuszczalne uzupełnić przez spawanie. Wskazane jest pobieranie z walczaków naprawianych przez spawanie próbek do badania udarności wg ISO-V.

Dla próby ciśnieniowej obowiązuje jako minimalna temperatura ścianki, temperatura przejściowa, w której udarność wg ISO-V $\geq 35 \text{ J/cm}^2$, co odpowiada mniej więcej temperaturze stali krajowych (18CuNMT) $t = 50^\circ\text{C}$.

Analizując przytoczone dane można stwierdzić, że:

- w większości przypadków na walczakach produkcji zagranicznej, nawet wykonanych ze stali z dodatkiem miedzi, nie zauważono wyraźnego spadku udarności mimo przepracowania ponad 200 000 godzin,
- w niektórych walczakach produkcji krajowej, tylko wykonanych ze stali miedziowej, stwierdzono wyraźny spadek udarności pewnych dzwon,
- istnieją walczaki, w których spadek udarności stwierdzono już po przepracowaniu 50 000 h,
- na tym samym walczaku nie wszystkie dzwona mają niską udarność.

Stąd następujące wnioski:

- najczęściej spadek udarności poraża walczaki wykonane ze stali „miedziowej”,
- liczba godzin pracy walczaka, po której stwierdzono spadek udarności może być różna,
- przypuszczenie, że udarność spada po wielogodzinnej pracy nie koniecznie jest słuszne, albowiem nigdy (z wyjątkiem jednego walczaka) nie pobierano w kraju próbek z walczaków, które przepracowały mniej niż 50 000 h,
- stale nie zawierające dodatków stopowych w postaci Ni i Cu nawet po przepracowaniu ponad 200 000 h nie wykazują spadku udarności.

LITERATURA

- [1] Kiełus A., Hernas A., Cieśla M., Renowicz D.: Ocena stopnia degradacji stali walczakowej 18CuNMT po długotrwałej eksploatacji. *Dozór Techniczny* 2001, nr 4
- [2] Dobosiewicz J., Rauszer A.: Typowe uszkodzenia walczaków kotłów wysokoprężnych. *Energetyka* 1974, nr 3

- [3] Goczoł J.: Skłonność do starzenia stali 15NiCuMnNb. Konferencja „Stale dla energetyki”. Opole 1979
- [4] Wellinger K., Krageloh E., Kussmaul K.: Die Bruchgefahr bei Reaktordruckbehältern und Rohrleitungen. *Nuclear Engineering and design* 1972, nr 10. North Holland Publishing Company
- [5] Kussmaul K., Wellinger K.: Stähle im Kesselbau. *Brennstoff-Wärme* 1967, nr 2
- [6] Kussmaul K.: Beobachtungen an Hochleistungs-Kesseltrommeln, *VGB* 1969, nr 2
- [7] Piehl K. H.: Untersuchungen über Versagen einer Kesseltrommel bei der Druckprobe. *VGB* 1970 nr 4
- [8] Salzmann F.: Berstversuche an einem geschweißten. *VGB* 1989, nr 4
- [9] Szabols G.: Erfahrungen beim Berstversuch mit einer Kesseltrommel. *VGB* 1970, nr 5
- [10] Schoch W.: Bericht über die aufgetretenen Schäden an Kesseltrommeln. *VGB* 1966, nr 4
- [11] Stefanowicz J., Wachowiak A.: Wady struktury stali z dodatkiem miedzi. *Przegląd Mechaniczny* 1990, nr 1–2
- [12] Osamura K., Okuda H., Ochiai S., Takashima M., Asano K., Furusaka M., Koshida K., Kurosawa F.: Precipitation

- Hardening in Fe-Cu Binary and Quaternary Alloys. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 4, pp 359–365
- [13] Morita M., Sato K., Hosoya Y.: Factors Affecting Texture Formation of Cu-precipitation Hardening Cold-rolled Ate-el Sheet. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 1, pp 92–98
- [14] Osamura K., Okuda H., Asanom K., Furusaka M., Koshida K., Kurosawa F., Uemori R.: SANS Study of Phase Decomposition in Fe-Cu Alloy with Ni and Mn Addition. *ISIJ International*, 1994, vol. 34, No. 4, pp 346–354
- [15] Miller M. K., Russell K. F., Pareige P., Starink M. J., Thomson R. C.: Low temperature copper solubilities in Fe-Cu-Ni. *Materials Science and Engineering A250* (1998), pp 49–54
- [16] Druce S. G., Gage G., Jordan G.: Effect of ageing on properties of pressure vessel steels. *Acta Metall*, 1986, vol. 34, No. 4, pp. 641–652
- [17] Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber Rundschreiben Nr 219. Essen den 9.10.1974. Behandlung von älteren Kesseltrommeln mit niedriger Kersbschlagzähigkeit

□

Marian Szczygielski,
Emil Pizon

Diagnostyka kolan rurociągów parowych

Kolana rurociągów parowych zaliczane są do kategorii względnie słabych elementów rurociągów parowych, szczególnie pary świeżej. Dokonując analizy trwałości kolan na podstawie istniejących norm i wytycznych [1–5] wyłaniają się pewne trudności.

Wymienione wytyczne nie uwzględniają bowiem:

- oddziaływania naprężeń dodatkowych wynikających z ekstremalnych obciążeń i momentów oraz efektów geometrycznych (niekołowość rur),
- wartości rzeczywistych zmieniających się w czasie naprężeń,
- rozrzutu wyjściowych wartości wytrzymałościowych,
- różnic między nominalnymi a rzeczywistymi warunkami pracy,
- miejscowych wpływów technologii (struktura, twardość itp.).

Krajowe i zagraniczne wytyczne zalecają wykorzystywać do obliczeń dolnej granicy wytrzymałości czasowej ($R_z - 20\%$), co w pewnym stopniu uwzględnia wpływ wymienionych czynników na obliczenia trwałości.

Analiza trwałości silnie wytężonych elementów rurociągów pracujących w warunkach pełzania jest zagadnieniem o wzrastającej aktualności.

Uzasadnione jest to z jednej strony niezbędnym zabezpieczeniem rurociągów znajdujących się już od dłuższego czasu w eksploatacji, a z drugiej stosowaniem zaawansowanych metod analiz trwałości w połączeniu z odpowiednimi urządzeniami kontrolnymi i pomiarowymi.

Wyznaczanie trwałości części rurociągów obciążonych pełzaniem wiąże się z dużym marginesem niepewności, wynikającym z:

- rozrzutu wytrzymałości czasowej,
- różnic między nominalną a rzeczywistą geometrią części,
- niepewności przy wyznaczaniu wartości obciążeń (ciśnienie, temperatura, ciężar, wydłużenia cieplne, owalizacja),
- miejscowych wpływów technologii produkcji, zmniejszających wytrzymałościowe własności tworzywa.

Obliczanie trwałości rurociągów parowych powinno składać się z:

- oceny rzeczywistych warunków pracy (geometria, ciśnienie, temperatura),
- ustalenia rzeczywistych naprężeń panujących w ścianie,
- oceny stanu metalu (struktura, twardość, badania nieniszczące, ustalenie naprężeń).