

Dr hab. inż. Janusz Dobrzański, prof. IMŻ;  
Dr hab. inż. Adam Zieliński, prof. IMŻ  
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice

# Sposób wyznaczania czasu bezpiecznej eksploatacji urządzeń energetycznych na podstawie badań pełzania

Przedstawiono sposób wyznaczania trwałości resztkowej i resztkowej trwałości rozporządzalnej na podstawie skróconych prób pełzania dla różnych poziomów temperatury wyższej od eksploatacyjnej i przy poziomie naprężenia odpowiadającego eksploatacyjnemu. Zaproponowano sposób wyznaczania udziału trwałości rozporządzalnej w trwałości oraz wyznaczanie czasu bezpiecznej eksploatacji poza obliczeniowy.

Przedłużenie czasu eksploatacji bloków energetycznych, które pracowały obliczeniowy czas pracy 100 tys. godz. dokonywane jest w oparciu o metodę obliczeniową opartą o dane wytrzymałościowe na pełzanie dla 200 tys. godz. oraz pozytywne wyniki kompleksowych badań diagnostycznych, ze szczególnym uwzględnieniem badań elementów krytycznych części ciśnieniowej kotłów i turbin. Wśród tych elementów szczególne znaczenie mają elementy pracujące powyżej temperatury granicznej, tzn. w warunkach pełzania. W ocenie tych elementów istotną i

niezbędna jest ocena stanu ich materiału [1-7]. Przeprowadza się ją na podstawie nieniszczących badań materiałowych, których wynik odnosi się do posiadanych charakterystyk materiałów po eksploatacji [8-15]. Wyniki tych badań dają dobre oszacowanie stanu materiału, stopnia jego wyczerpania oraz określenie czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji do następnego przeglądu [16-28].

Osiągnięcie 200 tys. godz. eksploatacji materiału elementów wymaga jednak w szeregu przypadkach nie tylko dobrego oszacowania trwałości resztkowej, ale i jej wyznaczenia

na podstawie badań niszczących na pobranym reprezentatywnym wycinku do badań.

Nie zawsze jest to jednak możliwe do przeprowadzenia w praktyce. Możliwe jest to do przeprowadzenia dla oceny stanu materiału nitki głównego rurociągu parowego lub rurociągu przerzutowego, jak również dla części komór i schładzaczy. Musi być to jednak poprzedzone rachunkiem ekonomicznym opłacalności przeprowadzenia takiej procedury.

Problemem w ocenie odporności na pełzanie materiałów długotrwałe eksploatowanych w warunkach

pełzania jest czas niezbędny na wykonanie badań pełzania dla oceny trwałości resztkowej i pozostałego bezpiecznego czasu eksploatacji.

W pracy pokazano sposób wykorzystania dla takiej oceny skróconych prób pełzania, w których wykorzystuje się sposób skrócenia czasu ich trwania poprzez podwyższenie jednego z parametrów w stosunku do parametrów rzeczywistych.

## ■ Badania pełzania

### Skrócone próby pełzania

Wadą sposobu wyznaczania trwałości resztkowej z zastosowaniem długotrwałych prób pełzania jest czas oczekiwania na wyniki badań trwający minimum od 2 do 3 lat. W celu skrócenia czasu wykonywania tych badań i oceny trwałości resztkowej w praktyce inżynierskiej stosowane są tzw. skrócone próby pełzania o czasie trwania od kilkudziesięciu godz. do maks. od 3 do 10 tys. godz. Stwarza to możliwość uzyskania wyników badań w ciągu maksimum kilkunastu miesięcy, dając dobre oszacowanie trwałości resztkowej.

Przyspieszenie procesu pełzania oraz skrócenie okresu wykonywania badań uzyskuje się w próbach pełzania wykonywanych przy jednoosiowym rozciąganiu na próbkach pobranych z materiału elementu instalacji energetycznej przez prowadzenie prób:

- przy stałym naprężeniu badania odpowiadającym eksploatacyjnemu i różnych poziomach temperatury badania znacznie wyższej od temperatury eksploatacyjnej,
- w stałej temperaturze badania odpowiadającej eksploatacyjnej i przy różnych poziomach naprężenia badania znacznie wyższych od naprężeń roboczych.

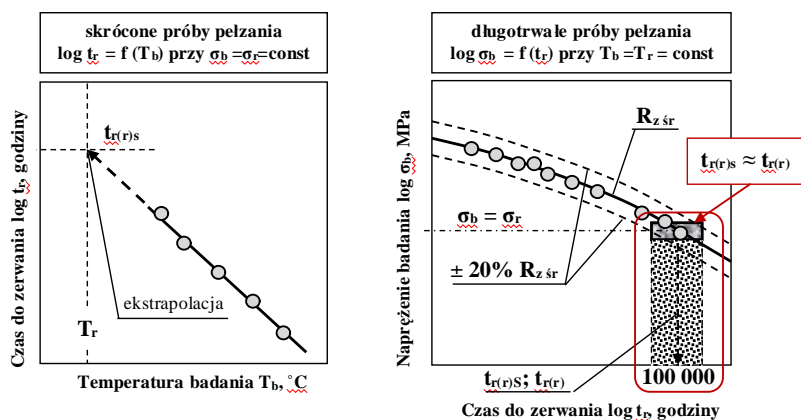
Sposób przedstawiania wyników skróconych prób pełzania pro-

wadzonych przy stałym naprężeniu badania odpowiadającym robocznemu ( $\sigma_b = \sigma_r = \text{const}$ ) dla różnych poziomów temperatury badania  $T_b$  oraz prowadzonych w stałej temperaturze odpowiadającej eksploatacyjnej ( $T_b = T_r = \text{const}$ ) i przy różnych poziomach naprężenia badania  $\sigma_b$  oraz ich wiarygodność oszacowania pokazano graficznie na rys. 1 i 2.

Na podstawie co najmniej 40-letniej praktyki Laboratorium Badań Pełzania ŁUKASIEWICZ - IMŻ w zakresie porównywania wyników skróconych prób pełzania i ich ekstrapolacji z wynikami prób długotrwałych, nawet do 100 tys. godz., stwierdzono ich przydatność i możliwość stosowania dla szacowania trwałości i trwałości resztkowej. Wyznaczenie trwałości resztkowej dla materiału po eksploatacji nie wymaga znajomości historii i warunków dotychczasowej pracy materiału, a jedynie zdefiniowania parametrów roboczych dalszej pracy ( $\sigma_r$ ,  $T_r$ ). Duża zbieżność wyników uzyskiwanych w skróconych i długotrwałych próbach pełzania umożliwia zasto-

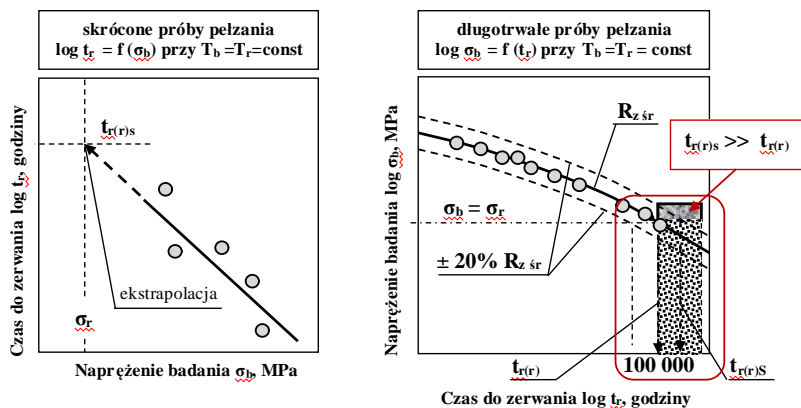
sowanie w praktyce metody skróconych prób pełzania prowadzonych przy stałym naprężeniu odpowiadającym robocznemu. Wadą tej metody jest ograniczenie w zakresie stosowanych poziomów temperatury badania wynikające z zachodzących w materiale procesów wydzieleniowych. Poziomy temperatury muszą być zatem dobierane indywidualnie dla każdego badanego gatunku materiału.

W praktyce diagnostycznej dla wyznaczenia trwałości resztkowej materiałów elementów pracujących w warunkach pełzania (rurociągów, węzłownic przegrzewaczy pary), należy zatem stosować wyłącznie skrócone próby pełzania przy stałym naprężeniu i różnych poziomach temperatury badania znacznie wyższej od temperatury eksploatacyjnej. Badania takie są zalecane do stosowania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy, najczęściej 100 000 godz. W przypadku przekroczenia czasu obliczeniowego o 50% (1,5 to) badania takie są obligatoryjne.



Rys. 1. Wiarygodność oszacowania czasu do zerwania  $t_r$  dla parametrów roboczych w oparciu o wyniki skróconych prób pełzania przy stałym naprężeniu badania odpowiadającym robocznemu  $\sigma_b = \sigma_r = \text{const}$ . i różnej temperaturze badania  $T_b$  wyższej niż eksploatacyjna

$T_b$  - temperatura badania,  $T_r$  - temperatura robocza,  $\sigma_b$  - naprężenie badania,  $\sigma_r$  - naprężenie robocze,  $t_r$  - czas do zerwania,  $R_{z\ sr}$  - średnia czasowa wytrzymałość na pełzanie (wynik długotrwałych prób pełzania),  $t_{r(is)}$  - czas do zerwania dla parametrów roboczych uzyskany w skróconych próbach pełzania jako wynik ekstrapolacji,  $t_{r(r)}$  - czas do zerwania dla parametrów roboczych uzyskany w długotrwałych próbach pełzania do 100 000 godz.



Rys. 2. Wiarygodność oszacowania czasu do zerwania  $t_r$  dla parametrów roboczych w oparciu o wyniki skróconych prób pełzania w stałej temperaturze odpowiadającej eksploatacyjnej  $T_b = T_r = \text{const}$ . i różnym poziomom naprężenia badania  $\sigma_b$  wyższym niż eksploatacyjne

$T_b$  - temperatura badania,  $T_r$  - temperatura robocza,  $\sigma_b$  - naprężenie badania,  $\sigma_r$  - naprężenie robocze,  $t_r$  - czas do zerwania,  $R_z \text{ sr}$  - średnia czasowa wytrzymałość na pełzanie (wynik długotrwałych prób pełzania),  $t_{r(s)}$  - czas do zerwania dla parametrów roboczych uzyskany w skróconych próbach pełzania jako wynik ekstrapolacji,  $t_{r(r)}$  - czas do zerwania dla parametrów roboczych uzyskany w długotrwałych próbach pełzania do 100 000 godz.

Wiarygodność uzyskiwanych wyników skróconych prób pełzania jest uzależniona od wymagań dotyczących dochowania stałości poziomu zadanej temperatury badania  $T_b$  na długości pomiarowej próbki w całym czasie trwania próby. Wyznaczenie trwałości resztkowej z błędem nieprzekraczającym 20% w stosunku do czasu wyznaczonego na podstawie wyników długotrwałych prób pełzania gwarantuje prowadzenie skróconych prób pełzania w temperaturze badania  $T_b$  (znacznie wyższej od eksploatacyjnej) z dokładnością równą lub większą od  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  na długości pomiarowej próbki, niezależnie od poziomu temperatury badania.

Sposób wyznaczania czasu bezpiecznej pracy materiału po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy

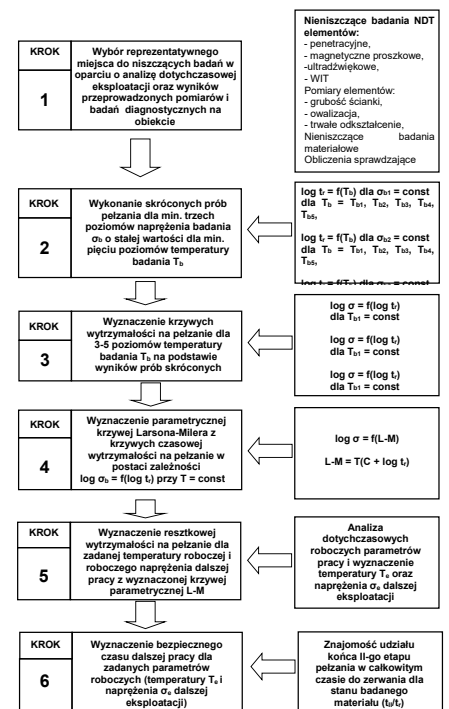
Najważniejszym w proponowanym sposobie wyznaczania czasu dalszej eksploatacji jest wyznaczenie trwałości resztkowej. Jej wyznaczenie oparte jest o wyniki prób pełzania. Próby te są dotychczas jedynym znany sposobem wyznaczenia czasu

eksploatacji dla rzeczywistych parametrów pracy materiałów będących w eksploatacji. W próbach pełzania decydującym o czasie ich trwania jest czas do zerwania. W przypadku opracowywania charakterystyk materiałowych nie ma możliwości jego skrócenia. Jednak w ocenie konkretnego materiału, zarówno w stanie wyjściowym, jak i po eksploatacji - taka możliwość istnieje. Zastosowane w tym celu metody badawcze muszą być jednak zweryfikowane wynikami długotrwałych prób pełzania [16].

Zaproponowany sposób postępowania w wyznaczaniu trwałości resztkowej oraz resztkowej trwałości rozporządzalnej będącej czasem bezpiecznej eksploatacji poza obliczeniowy, przedstawiono w postaci algorytmu na rys. 3. Algorytm obejmuje 6 kolejnych kroków.

Pierwszym krokiem jest wybór reprezentatywnych miejsc do badań niszczących. Na materiale z pobranego wycinka do badań w wyznaczonym miejscu należy wykonać skrócone próby pełzania przy stałym poziomie naprężenia o min. 3 różnych wartościach (krok drugi). Na podstawie zależności uzyskanych z

wyników skróconych prób pełzania wyznacza się krzywe czasowej wytrzymałości na pełzanie w stałej temperaturze dla kilku poziomów temperatury (krok trzeci). Tak wyznaczone krzywe wytrzymałości na pełzanie pozwalają wyznaczyć parametryczną krzywą wytrzymałości na pełzanie, gdzie parametr jest funkcją temperatury i czasu do zerwania (krok czwarty). Otrzymana krzywa parametryczna wytrzymałości na pełzanie pozwala wyznaczyć resztkową wytrzymałość na pełzanie dla parametrów roboczych dalszej eksploatacji (temperatury i naprężenia) (krok piąty). Znając resztkową wytrzymałość na pełzanie dla parametrów dalszej eksploatacji, można wyznaczyć resztkową trwałość rozporządzalną. Jest ona bezpiecznym czasem dalszej eksploatacji dla przyjętych parametrów roboczych (krok szósty).



Rys. 3. Sposób postępowania w wyznaczaniu czasu dalszej bezpiecznej eksploatacji poza czas obliczeniowy na podstawie charakterystyk wytrzymałości na pełzanie w oparciu o skrócone próby pełzania przy stałym poziomie naprężenia

Literatura

1. Sroka M., Zieliński A., Mikula J. (2016). *The service life of the repair welded joint of Cr-Mo / Cr-Mo-V*. Archives of Metallurgy and Materials. 61. 969-974.
2. Zieliński A., Golański G. (2015). *The influence of repair welded joint on the life of steam pipeline made of Cr-Mo steel serviced beyond the calculated working time*. Archives of Metallurgy and Materials, 60(2). 1045-1049.
3. Zieliński A., Dobrzański J., Purzyńska H., Golański, G. (2015). *Properties, structure and creep resistance of austenitic steel Super 304H*. Materials Testing 57. 859-865.
4. Golański G., Jasek J., Zieliński A., Kolan C., Urzyncok M., Wieczorek P. (2017). *Quantitative analysis of stability of 9%Cr steel microstructure after long-term ageing*. Archives of Metallurgy and Materials. 62. (1). 273-281.
5. Sroka M., Zieliński A., Dziuba-Kaluża M., Kremzer M., Macek M., Jasiński A. (2017). *Assessment of the Residual Life of Steam Pipeline Material beyond the Computational Working Time*. Metals - Open Access Metallurgy Journal. 7 (3).
6. Dziuba-Kaluża, M.; Zieliński, A., Dobrzański, J., Sroka, M., Urbańczyk, P., (2018). *Residual life of boiler pressure parts made of the 13CrMo4-5 steel after long-term operation in a creep conditions*, Archives of Metallurgy and Materials. 63.(2). 889-897.
7. Purzyńska H., Golański G., Zieliński A., Dobrzański J., Sroka M., *Precipitation study in Ti-stabilised austenitic stainless steel after 207,000 h of service*, Mater. High Temp. 2019, DOI:10.1080/09603409.2018.1546919.
8. Zieliński A., Sroka M., Dudziak T., *Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 740H after Long-Term Service*, Materials, 2018, 11, 2130; doi:10.3390/ma11112130.
9. Zieliński A, Dobrzański, J., Purzyńska, H., Sikora, R., Dziuba-Kaluża, M., Kania, Z. (2017). *Evaluation of creep strength of heterogeneous welded joint in HR6W alloy and Sanicro 25 steel*. Archives of Metallurgy and Materials. 62.(4). 2057-2064.
10. Sroka, M., Zieliński, A., Hernas, A., Kania, Z., Rozmus, R., Tanski, T., Sliwa, A. (2017). *The effect of long-term impact of elevated temperature on changes in the microstructure of inconel 740H alloy*. Metalurgija, Volume: 56, Issue: 3-4. Pages: 333-336.
11. Sroka, M., Nabialek, M., Szota, M., Zieliński, A. (2017). *The influence of the temperature and ageing time on the NiCr23Co12Mo alloy microstructure*. REVISTA DE CHIMIE. Volume: 68. Issue: 4. Pages: 737-741.
12. Golanski, G., Zielinska-Lipiec, A., Zielinski, A., Sroka, M. (2017). *Effect of long-term service on microstructure and mechanical properties of martensitic 9% Cr Steel*. Journal of Materials Engineering And Performance. Volume: 26. Issue: 3, 1101-1107
13. Zieliński A., Golański G., Sroka M. (2017). *Influence of long-term ageing on the microstructure and mechanical properties of T24 steel*. Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing. 682. 664-672.
14. Zieliński A., Golański G., Sroka M. (2017). *Comparing the methods in determining residual life on the basis of creep tests of low-alloy Cr-Mo-V cast steels operated beyond the design service life*. International Journal of Pressure Vessels and Piping. doi.org/10.1016/j.ijpvp.2017.03.002.
15. Dobrzański J., Hernas A. (1995b), *Correlation between phase composition and life-time of 1Cr-0,5Mo steels during long term service at elevated temperature*, J. of Mat. Proc. Tech. Vol.53, No1÷2, p. 101, Amsterdam.
16. Dobrzański J., Hernas A., *Relationship between microstructure and remanent life-time of low alloy Cr-Mo steels*, 6 Int. Conf. Creep and Fatigue, p. 451, Londyn. 1996.
17. Dobrzański J., *The classification method and the technical condition evaluation of the critical elements' material of power boilers in creep service made from the 12Cr-1Mo-V*, J. of Mat. Proc. Tech. Vol.164-165, p. 785-794, 2005.
18. Dobrzański J.; Hernas, A., Pasternak, J., Zieliński A. *Microstructure and mechanical properties characteristics of welded joints made of creep - resistant steel with 12% Cr, V, W and Co additions*. Advances in materials technology for fossil power plants, p.303-319, 2008. DOI: 10.1361/cp2007epri0303.
19. Zieliński A., Dobrzański J., Renowicz D., Hernas A. *The estimation of residual life of low-alloy cast steel Cr-Mo-V type after long-term creep service*. Advances in materials technology for fossil power plants, p. 616-626, 2008. DOI: 10.1361/cp2007epri0616.
20. Neubauer B., *Creep damage evolution in power plants*, Proc. Symp. Creep and Fracture of Eng. Mat. And Structures, Swansea, 2. 1984.
21. Dobrzański J., *Internal damage processes in low alloy chromium-molibdenum steels during high-temperature creep service*, J. of Mat. Proc. Tech. Vol.157-158, p. 297-303. 2004.
22. Dobrzański J., Sroka M., Zieliński A., *Methodology of classification of internal damage the steels during creep service*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 18, p. 263-266. 2006.
23. Dobrzański J., Sroka M., *Computer aided classification of internal damages the chromium-molybdenum steels during creep service*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 24, Issue 3, p. 143-146. October 2007.
24. Zieliński A., Dobrzański J., Krztoń H., *Structural changes in low alloy cast steel Cr-Mo-V after long time creep service*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 25, Issue 1, p. 33-36. August 2007.
25. Dobrzański J., Krztoń H., Zieliński A., *Development of the precipitation processes in low-alloy Cr-Mo type steel for evolution of the ma-*

terial state after exceeding the assessed lifetime, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 23, Issue 2, p. 19-22. August 2007.

26. Dobrzański J., Zieliński A., Krztoń H., *Mechanical properties and structure of the Cr-Mo-V low-alloyed steel after long-term service in creep condition*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 23, Issue 1, p. 39-42. July 2007.

27. Zieliński A., *Wpływ długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania na własności mechaniczne staliwa Cr-Mo-V*, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa - Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, Częstochowa 2007 Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, tom II str. 717-721.

28. Hernas A., Dobrzański J., *Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2003.

29. Dobrzański J.; Hernas, A., Pasternak, J., Zieliński A. *Microstructure and mechanical properties characteristics of welded joints made of creep - resistant steel with 12% Cr, V, W and Co additions*. *Advances in materials technology for fossil power plants*, p.303-319, 2008. DOI: 10.1361/cp2007epri0303.

30. Zieliński A., Dobrzański J., Renowicz D., Hernas A. *The estimation of residual life of low-alloy cast steel Cr-Mo-V type after long-term creep service*. *Advances in materials technology for fossil power plants*, p. 616-626, 2008. DOI: 10.1361/cp2007epri0616.



**Zapraszamy do udziału**

**w XI Konferencji "Gaz w Energetyce  
- Realizacja i Eksploatacja Bloków  
Gazowych i Gazowo-Parowych"**

**27-28 sierpnia 2020 r. - Piła (Hotel Forma)**

**Szczegóły: <https://konferencje.nowa-energia.com.pl/gaz/2020/>**

Partner:



Patronat Medialny:



Organizator:

