

Streszczenie

„Zmiana trwałości resztkowej stali Cr-Mo-V długotrwanie eksploatowanej w warunkach pełzania poddanej regenerującej obróbce cieplnej”

Streszczenie

Prezentowana rozprawa doktorska dotyczy problematyki rewitalizacji struktury i właściwości mechanicznych materiałów elementów części ciśnieniowej bloków energetycznych ze stali 13HMF (14MoV6-3) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania poza obliczeniowym czasem pracy o znacznym stopniu wyczerpania charakteryzujących się częściową utratą zdolności do przenoszenia wymaganych obciążeń eksploatacyjnych. Sposobem na rewitalizację jest regenerująca obróbka cieplna.

Ze stali 13HMF, która była przedmiotem badań wykonane są wszystkie główne rurociągi pary pierwotnej 52 pracujących w Polsce bloków energetycznych o mocy nominalnej 200 MW, których czas pracy przekroczył znacznie 200 tys. godzin (obliczeniowy 100 tys. godzin) i oczekuje się ich dalszej pracy przez następne min. 100 tys. godzin. Również w znacznej liczbie spośród pracujących 16 bloków o mocy nominalnej 360 MW oraz 2 o mocy 500 MW stal ta jest zastosowana w takich rurociągach. Problemy z zakupem wyrobów hutniczych z tej stali, ich bardzo ograniczona dostępność, długie terminy dostaw oraz wysoki koszt zakupu powodują poważne trudności w wykonaniu elementów rurociągowych, a więc trudności z realizacją procesów remontowo-modernizacyjnych. Wyjściem naprzeciw jest propozycja rewitalizacji właściwości elementu poprzez jego wycięcie, przeprowadzenie procesu regeneracji i ponowne zainstalowanie.

Główny cel pracy to określenie parametrów obróbki cieplnej, szczególnie parametrów austenitzacji jakie należy stosować w przypadku uzasadnionych potrzeb rewitalizacji elementów rurociągowych eksploatowanych długotrwanie w warunkach pełzania dobieranych w zależności od stanu mikrostruktury oraz odpowiadającego jej stopnia wyczerpania i trwałości resztkowej. Parametry te muszą być powiązane ze stopniem zaawansowania zmian powstałych w wyniku pełzania. Celem z tym związanym jest określenie stopnia zmian pełzaniowych, po których regenerująca obróbka cieplna nie znajduje uzasadnienia technicznego i ekonomicznego. Natomiast cel poznawczy to sporządzenie opisu procesu degradacji materiału podczas długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania oraz zmian w materiale po eksploatacji i regenerującej obróbce cieplnej. Sformułowany cel praktyczny to możliwość wykorzystania uzyskanej wiedzy w praktyce inżynierskiej, szczególnie w obszarze obejmującym przeprowadzanie niezbędnych napraw i prac modernizacyjnych instalacji eksploatowanych znacznie poza obliczeniowym czasem pracy w ramach opracowanego projektu procedury dotyczący rewitalizującej obróbki cieplnej rurociągów po długotrwałej eksploatacji.

Przeprowadzone badania ujawniły, że rodzaj obróbki cieplnej i jej parametry są zależne od poziomu zmian w strukturze materiału elementu po eksploatacji, który jest definiowany klasą struktury i odpowiadającym jej oszacowanemu stopniowi wyczerpania.

Do najważniejszych osiągnięć zrealizowanej pracy doktorskiej należy w pierwszej kolejności zaliczyć opracowany podział materiałów z badanej stali po eksploatacji wg klasy struktury i stopnia wyczerpania na trzy grupy:

- grupa I, gdy klasa struktury wynosi od $\frac{1}{2}$ do 2, stopień wyczerpania $t/t_r \leq 0,3$ i klasy uszkodzenia wynosi 0,
- grupa II, gdy klasa struktury wynosi od $\frac{2}{3}$ do $\frac{3}{4}$, stopień wyczerpania $t/t_r > 0,3 \leq 0,5$ i klasy uszkodzenia wynosi 0,
- grupa III, gdy klasa uszkodzenia > 0 niezależnie od uzyskanych wartości dla pozostałych elementów oceny (nie mogą być poddane regenerującej obróbce cieplnej),

oraz rodzaj obróbki cieplnej w zależności od przypisania do danej grupy.

Materiały po eksploatacji w warunkach pełzania zaliczone do grupy I należy poddać dwuzabiegowej regenerującej obróbce cieplnej polegającej na normalizowaniu z chłodzeniem w spokojnym powietrzu z następnym odpuszczaniem. Natomiast materiały zaliczone do grupy II należy poddać trzyczabiegowej regenerującej obróbce cieplnej. Po zabiegu wstępnym, wyżarzaniu ujednorodniającym w temperaturze wyższej niż normalizowanie należy wykonać normalizowanie z odpuszczaniem w sposób podobny jak dla grupy I. Wprowadzenie dodatkowego zabiegu obróbki cieplnej dla grupy II wynika z występowania stabilnych węglików znacznej wielkości w materiałach o znacznym stopniu wyczerpania, co jest związane ze stopniem zaawansowania procesów wydzieleniowych będącego skutkiem pełzania.

Końcowym efektem pracy doktorskiej jest projekt „Procedury rewitalizacji struktury i właściwości użytkowych poprzez regenerującą obróbkę cieplną elementów ciśnieniowych urządzeń energetycznych po eksploatacji w warunkach pełzania poza obliczeniowym czasem pracy wykonanych z niskostopowych stali Cr-Mo-V” zweryfikowany wynikami badań. Projekt ma charakter aplikacyjny i jest propozycją dla inżynierów technologów do wykorzystania w bieżącej praktyce przemysłowej.

Abstract

"Change in residual life of Cr-Mo-V steel subject to long term operations in creep conditions following regenerative heat treatment"

Abstract

The presented doctoral dissertation concerns themes referring to revitalization of the structure and mechanical properties of the components of pressure part of power engineering units of 13HMF steel (14MoV6-3) following long-term operations in creep conditions, beyond the design worktime of substantial degree of wear, characterized with partial loss of capability to transfer the required operational loads. The manner of revitalization consists in regenerative heat treatment.

All major primary steam pipelines of 52 power units operating in Poland of nominal power 200 MW, the length of operations of which has significantly exceeded 200 thousand hours (design operating time 100 thousand hours) with further operations of which during subsequent at least 100 thousand hours are expected, are made of 13HMF steel that was subject of the research. Additionally, the said steel is applied in many of the operating 16 units of nominal power 360 MW and 2 of nominal power 500 MW. Simultaneously steel products such as: tubes, forgings or other both rolled and forged of the said steel are now hardly available as majority of European steel plants do not have such products in their portfolio. These are not present in product portfolio as they do not offer or they offer very limited application in newly built power units. These are, however, necessary during revamping and modernizations of the installations of the aforesaid power units. Problems with purchase of steel products made of this steel and their scarcity, long terms of supply and high cost result in significant difficulties in production of the components of pipelines and thus difficulties in completion of repair and modernization works. A solution to that might be the proposal of revitalization of the given component's properties by cutting out thereof, its reclamation/regeneration and reinstallation.

The main goal of the study was to determine parameters of heat treatment, mainly parameters of austenitization which should be applied in case of justified needs of revitalization of the pipeline components subject to long term exploitation in creep conditions, selected depending on the condition of the microstructure and respective degree of wear and residual life. These parameters need to be related to the advancement of changes resulting from creep. A goal related to that is definition of the degree of creep changes, following which regenerating heat treatment is not technically and economically justified, while cognitive goal is preparation of the description of the process of degradation of material during long term operations in creep conditions and changes in the material following exploitation and regenerative heat treatment. Practical goal formulated covers the possibility to use the obtained knowledge in engineering practice, especially in the area encompassing execution of the necessary repairs and modernization works of the installations exploited long beyond the design operating time under the project of developed procedure concerning revitalizing heat treatment of pipelines following long term operations.

The adopted scope of research was based on the assumption that the possibility exists of achieving the structure and set of functional properties similar to those characteristic for material in initial state, owing to regenerative heat treatment of material following long term operations in creep conditions. Efficiency of heat treatment may depend on the degree of material wear following long term operations.

The conducted research has shown that the type of heat treatment and its parameters depend on the level/advancement of changes in the structure of material of the component following exploitation that is defined with structure class and its respective estimated degree of wear.

The most significant achievements of the completed doctoral dissertation include firstly - the developed division of materials of the examined steel following exploitation as per the class of structure and degree of wear, into three groups:

- group I, when structure class ranges from $\frac{1}{2}$ to 2, degree of wear $t/t_0 \leq 0.3$ and damage class is 0,
- group II, when structure class ranges from $\frac{2}{3}$ to $\frac{3}{4}$, degree of wear $t/t_0 > 0.3 \leq 0.5$ and damage class is 0,
- group III, when damage class > 0 , irrespective of the values obtained for the remaining components of assessment (these can not be subject to regenerative heat treatment), as well as type of heat treatment depending on assignment to particular group.

Materials following operations in creep conditions assigned to group I should be subject to **double - operation regenerative heat treatment** consisting in normalization with cooling in calm air with subsequent tempering. Materials assigned to group II should, on the other hand, be subject to **triple - operation regenerative heat treatment**. Following initial treatment, i.e. homogenizing annealing at temperature higher than normalizing, one should execute normalization with tempering in the manner similar to that described for group I. Implementation of additional operation of heat treatment for group II stems from presence of stable carbides of significant volume in materials of significant degree of wear, which is related to the advancement of precipitation processes resulting from creep.

A final effect of the concerned doctoral dissertation is draft of the "Procedure of revitalization of the structure and functional properties by means of regenerative heat treatment of pressure parts of power units following operations in creep conditions beyond design work time, made of low alloy Cr-Mo-V steels" verified with results of research, that is of application nature and constitutes a proposal for technical engineers to use it in the present industrial practice.