

Analiza degradării structurale la o conductă din oțel 16Mo3 ce lucrează pe un circuit termic de presiune și temperatură medie

Structural degradation analysis of the 16Mo3 steel pipe working in a thermal circuit of medium pressure and temperature

Dr.ing. Doru-Romulus Pascu¹⁾, fiz. Andreea Bobic²⁾, ing. Virgil Mazălu³⁾

¹⁾ ISIM Timișoara, ²⁾ CM Metal Timișoara, ³⁾ RAAN-ROMAG-TERMO Drobeta Turnu Severin

1. Generalități

Oțelurile nealiate și aliate termorezistente, simbolizate conform EN 10027, sunt folosite frecvent în construcția circuitelor termice de apă de alimentare. Agentul termic are la intrare temperaturi și presiuni medii. Aceste circuite termice sunt conducte tehnologice definite conform PT ISCIR C15 – 2000.

În componentele termoeenergetice ce funcționează la temperaturi și presiuni medii apare o degradare a caracteristicilor structurale după un timp îndelungat de funcționare. Acest fenomen are loc la oțelurile aliate, în general, prin redistribuirea carburilor elementelor de aliere la limitele de grăunți, iar metoda de examinare nedistructivă cu replici metalografice oferă informații detaliate despre acest fenomen.

Unul dintre indicatorii degradării microstructurale îl constituie transformarea carburilor, specifică degradării tenso-termice. Acest fenomen poate fi pus în evidență prin transformări multiple, în urma aplicării tratamentelor termice de revenire sau de detensionare la îmbinările sudate, pe durate îndelungate de timp.

Cunoașterea ciclurilor termice din zona influențată termic a îmbinării sudate are o importanță deosebită pentru prevederea structurilor metalografice, fapt ce a determinat pe unii cercetători să aprofundeze studiul acestor procese, atât pe cale teoretică, cât și pe cale experimentală.

Apa de alimentare livrată de instalația proprie de tratare conține substanțe dizolvate care, sub influența temperaturii din cazan, se concentrează progresiv până la limita de saturație, depunându-se pe suprafețele de schimb de căldură, în funcție de solubilitate. Substanțele cu solubilitate mare (săruri de sodiu) nu se depun, deoarece în condițiile din cazanele de abur nu se atinge concentrația de saturație a acestora.

Apa de alimentare, la intrarea în cazan, trebuie să aibă temperatura de 230°C și presiunea de 15,69 MPa. Pentru a atinge acești parametri, apa de alimentare parcurge drumul de la stația de tratare până la economizor prin mai multe trepte de încălzire. De la ultima treaptă de încălzire, apa de alimentare are parametri descriși anterior și este condusă prin rețeaua de conducte numită circuit de apă de alimentare. Circuitul de apă de alimentare a lucrat până în momentul expertizării timp de 44.041 ore și este fabricat din țevă de $\phi 324 \times 32$ mm, conform STAS 8184-87.

1. Generalities

The thermo-resistant non-alloyed and alloyed steels, symbolized in accordance with EN 10027, are frequently used in the feed water thermal circuits construction. The thermal agent has, at the entrance, the medium pressure and temperature. These thermal circuits are technological pipes, defined in accordance with PT ISCIR C15 – 2000.

Thermo-energetic components, working for long time in conditions of medium pressure and temperature, suffer a degradation of structural characteristics, because of the carbides distribution. This phenomenon is specific to alloyed steels, and the non-destructive examination by metallographic replica method can give information about it.

One of the micro-structural indicators of degradation is the carbides transformation, proper to the tenso-thermic degradation. This degradation can be evinced by many transformations, as a result of the heat treatments applied to welded joints, for long time (annealing or stress relieving).

Knowledge of the thermal cycles in the welded joint heat affected zone is very important to predict the metallographic structures. Many researchers were studied these processes both theoretical, and experimental.

Feed water delivered by a proper treating installation, contains soluble substances, which under the influence of the boiler temperature, are concentrated until the saturation limit and are deposited on the heat exchange surfaces. The high solubility substances (sodium salts) are not deposited, because of the lower concentration in the steam boilers.

Feed water intake in the boiler must have the 230°C, temperature and the 15.69 MPa, pressure. To reach these parameters, feed water goes from the treating station to economizer (feed water heater), by many heating stages. In the final stage, the feed water reaches the work parameters and flows in the pipes system, named feed water circuit. This circuit worked for long time before the expertise (44,041 hours). He was made from $\phi 324 \times 32$ mm pipe, in accordance with STAS 8184-87.

Degradare structurală

2. Caracterizarea chimică, structurală și mecanică a oțelului 16Mo3

2.1. Compoziția chimică

Analiza compoziției chimice efectuată pe cale spectrală pune în evidență valorile procentuale ale elementelor constitutive, valori ce se încadrează în norma tehnica STAS 8184-87.

2.2. Structura materialului în stare de livrare

În stare de livrare (nefolosit) oțelul 16Mo3 are o structură ferito-perlitică cu granulația 7 – 8, conform ISO 643-94 și carburi fine plasate în masa feritică (figura 1).

Zonele examinate nu au prezentat defecte de fabricație.

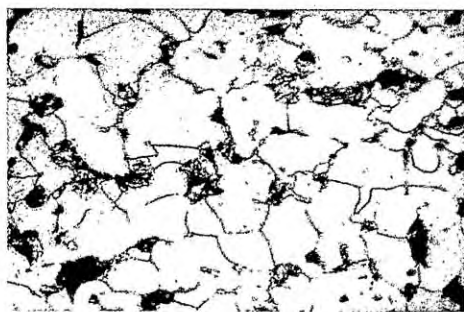


Figura 1. Oțel 16Mo3 – structura metalului de bază (MB),
[Atac Nital 2%, 500x] /

Figure 1. 16Mo3 steel – BM structure
[Etched Nital 2%, 500x]

2. Chemical, structural and mechanical characterization of the 16Mo3 steel

2.1. Chemical composition

The chemical composition analysis, made by spectral method, put in evidence values, which are in accordance with STAS 8184-87.

2.2. Metallographic structure of the base material in the delivered state

In the delivered state (non-used), the 16Mo3 steel has a ferrite-pearlitic structure, with grain size 7 – 8, in accordance with ISO 643-94, and fine carbides located in the ferrite mass, (figure 1).

No fault of fabrication was observed in the investigated zones.

2.3. Mechanical testing

2.3.1. Hardness test

The hardness values HV10 (HB) determined in the pipe cross-section, in the delivered state, are in the range 140 – 145 HV10, and 133 – 138 HB, respectively. Practically, there are no hardened zones in the pipe cross-section.

2.3.2. Tensile test

The mechanical characteristics determined on the longitudinal samples subjected to tensile test are presented in table 1. Also, the table contains the imposed values for the 16Mo3 steel mechanical characteristics, in accordance with STAS 8184-87.

Tabelul 1 / Table 1

Marca de oțel / Steel mark	Limita de curgere / Yield point, $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	Rezistența la tracțiune/ Tensile strength, R_m [N/mm ²]	Alungirea la rupere / Elongation, A_5 [%]	Gâtuirea la rupere/ Reduced area, Z [%]
16Mo3	289	458	56	71
	298	465	59	70
	280	480	58	71
STAS 8184-87	Min. 270	450...460	Min. 20	Min. 50

2.3. Încercări mecanice

2.3.1. Încercarea de duritate

Valorile încercărilor de duritate HV10 (HB) determinate pe grosimea țevii din oțel 16Mo3, în stare de livrare, variază în intervalul 140 – 145 HV10, respectiv 133 – 138 HB. Practic, nu există zone durificate pe grosimea țevii.

2.3.2. Încercarea la tracțiune

În tabelul 1 se prezintă caracteristicile mecanice determinate pe epruvete longitudinale, încercate la tracțiune. De asemenea, tabelul cuprinde și valorile impuse de STAS 8184-87 pentru caracteristicile mecanice ale oțelului 16Mo3.

Caracteristicile mecanice ale oțelului 16Mo3 determinate la temperatura camerei (+20°C) se încadrează în limitele impuse de STAS 8184-87.

2.3.3. Încercarea la încovoiere prin șoc

În cazul oțelului aliat 16Mo3, reziliența KCU₂ determinată

The mechanical characteristics of the 16Mo3 steel determined at room temperature (+20°C) are within the imposed limits in accordance with STAS 8184-87.

2.3.3. Notch bending test

The notched-bar strength, KCU₂, for the 16Mo3 steel, determined on the longitudinal samples must be min. 60 J/cm², in accordance with STAS 8184-87. In the table 2, there are presented the 16Mo3 steel toughness characteristics.

3. Experimental program for expertise

The aim of the expertise program for the feed water thermal circuit (230°C; 15.69 MPa) was the determination of the structural degradation degree for the 16Mo3 steel. The experiments were been made on the "critic zones", i.e. weld zones. The location of the metallographic replica in the critic zones is presented in figure 2.

The aim of the metallographic replica examination was:

- discovering of the possible unacceptable imperfections, as micro-cracks;

pe epruvete longitudinale conform STAS 8184-87 trebuie să fie de minim 60 J/cm^2 . Această valoare reprezintă media aritmetică a trei încercări, unul din rezultate putând fi de 80% din valoarea prescrisă. În tabelul 2 s-au inserat caracteristicile de tenacitate determinate pentru oțelul aliat 16Mo3.

Tabelul 2 / Table 2

Marca de oțel / Steel mark	Energia de rupere / Impact energy, KV [J]	Reziliența / Notched-bar strength, KCU ₂ , [J /cm ²]	Temperatura de încercare / Test temperature [°C]
16Mo3	129	162	+ 20
	119	148	+ 20
	121	152	+ 20

3. Programul experimental de expertizare

Programul de expertizare a circuitului termic de apă de alimentare (230°C; 15,69 MPa) a urmărit determinarea gradului de degradare structurală a oțelului 16Mo3.

Pentru expertizare s-au ales zone cu suduri, considerate ca fiind „zone critice”. Modul de amplasare a replicilor metalografice pe zonele critice este prezentat în figura 2.

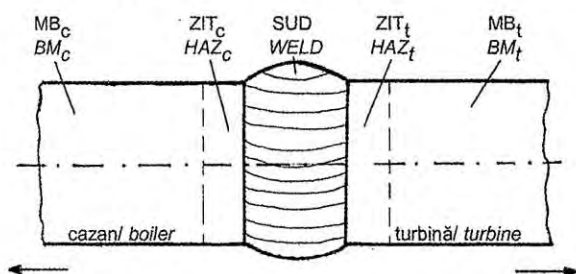


Figura 2. Modul de amplasare a replicilor metalografice în zonele critice /

Figure 2. The location of the metallographic replica in the critic zones

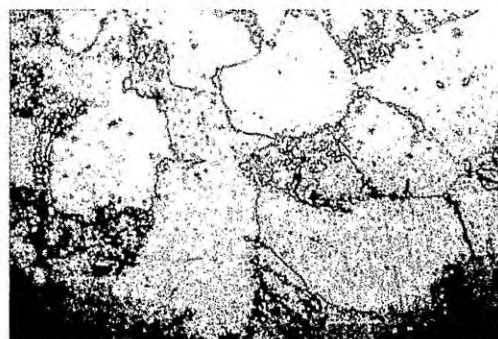


Figura 3. Structura zonei MB₁₅ [Atac Nital 3%, 500x] /

Figure 3. The structure of the BM₁₅ zone [Etched Nital 3%, 500x]

Examinarea cu replici metalografice a urmărit:

- decelarea eventualelor imperfecțiuni neadmise (microfisuri);
- examinarea calitativă a structurilor metalografice ale zonelor caracteristice conform EN 1321;
- examinarea stereometrică a carburilor din structurile metalografice (metal de bază, suduri).

Microstructurile zonelor cu metale de bază ale țevelor (MB_c și MB_t) sunt feritice cu perlită lamelară și globulară, și carburi de molibden plasate inter- intragranular (figura 3).

- qualitative examination of the characteristics zones structures, in accordance with EN 1321;
- stereo-metric examination of the carbides within the metallographic structures (base metal, weld zone).

The microstructures of the base metal (BM_c and BM_t) are ferritic with lamellar and globular pearlite and molybdenum carbides, located inter -intra-granular (figure 3).

In the weld zone (WELD), the dendritic microstructures are pearlito-ferritic, located inter-intra-dendrites, (figure 4).

In all the examined zones didn't were observed the unacceptable imperfections, as cracks or micro-cracks.

The expertise of the welded component from RL.00 circuit was made using metallographic replica. In this case, the quantitative method to number the damaged grain boundaries with carbides and the undamaged boundaries was applied. Using this method, it can define the P parameter:

$$P = P_D / (P_D + P_N) \quad (1)$$

Where: P_D – number of the damaged grain boundaries, with carbides,

P_N – number of the undamaged grain boundaries, without carbides.

It can take into consideration that, if the number of the grain boundaries with carbides is more than the number of the grain boundaries without carbides it is possible to appear the structural degradation phenomenon.

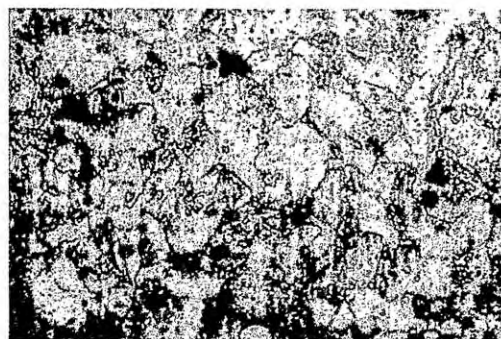


Figura 4. Structura zonei sudurii, SUD [Atac Nital 3%, 500x] /

Figure 4. The structure of the WELD zone, [Etched Nital 3%, 500x]

The structural degradation degree, D, has values between 0 and 1. It is considered that the value 1 corresponds to total degradation (100%). In the table 3, the maximum and minimum of the P parameter values are presented. Also, in this table are showed the D values.

The structural degradation range in the investigated characteristics zones is presented in figure 5.

În zona sudurii (SUD), microstructurile dendritice sunt perlito-feritice cu carburi fine plasate inter- intradendritic (figura 4).

Toate zonele examinate cu replici metalografice nu au prezentat imperfecțiuni neadmise, de tip fisuri sau microfisuri.

Expertizarea componentei sudate cu pe circuitul RL.00 s-a efectuat cu replici metalografice, aplicând metoda cantitativă de numărare a limitelor degradate cu carburi și a celor nedegradate (fără carburi), prin care se definește parametrul P:

$$P = P_D / (P_D + P_N) \quad (1)$$

în care: P_D – numărul de limite degradate cu carburi;
 P_N – numărul de limite nedegradate.

Se consideră că, dacă numărul de limite cu carburi este mai mare decât numărul limitelor fără carburi este posibilă apariția fenomenului de degradare structurală.

Gradul de degradare structurală, D variază între 0 și 1. Se consideră că valoarea 1 corespunde unei degradări structurale totale (100%). În tabelul 3 se prezintă valorile minime și maxime ale parametrului P, precum și valoarea gradului de degradare structurală D.

În figura 5 se prezintă banda de degradare structurală pe zonele caracteristice analizate.

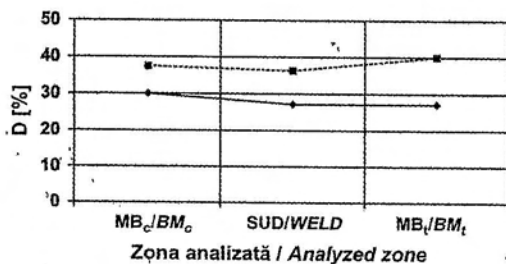


Figura 5. Variația $D = f(\text{zona analizată})$ /
 Figure 5. $D = f(\text{analyzed zone})$

4. Concluzii

4.1. Oțelul 16Mo3, este un oțel aliat termorezistent în stare normalizată și are o structură ferito-perlitică cu ferită globulară și lamelară, respectiv carburi fine plasate inter-intragranular.

4.2. Examinarea nedistructivă a suprafețelor componentelor critice din circuitul termic de apă de alimentare s-a realizat prin metoda replicilor metalografice. Scopul acestei metode este evidențierea microstructurilor, a repartizării carburilor și a eventualelor imperfecțiuni din zonele critice supuse examinării (metal de bază, zona sudurii).

4.3. Evaluarea fenomenelor de degradare structurală datorate modului de repartizare a carburilor evidențiază grade de degradare cuprinse între 27,2 și 40 % pentru metalele de bază și între 27,2 și 36,3 % pentru sudurile examinate.

4. Conclusions

4.1 The 16Mo3 steel is an alloyed thermoresistant steel, in the normalized state, and has a ferrito-pearlitic structure with globular and lamellar ferrite, and fine carbides located inter-intra-granular, respectively.

Tabelul 3 / Table 3

Zona critică/ Critic zone	Parametrul P / P parameter		Gradul maxim de degradare structurală / Maximum degree of the structural degradation, D [%]
	Valoarea minimă/ Minimum value	Valoarea maximă/ Maximum value	
MB_c / BM_c	0.058	0.300	30,0
	0.071	0.300	30,0
	0.062	0.333	33,3
	0.071	0.333	33,3
	0.071	0.375	37,5
MB_t / BM_t	0.076	0.400	40,0
	0.076	0.375	37,5
	0.066	0.333	33,3
	0.090	0.375	37,5
	0.090	0.272	27,2
SUD / WELD	0.090	0.272	27,2
	0.090	0.300	30,0
	0.090	0.333	33,3
	0.083	0.363	36,3
	0.076	0.333	33,3

4.2 The nondestructive examination of the critic components surfaces from the feed water thermal circuit was made by metallographic replica. The aim of this method is to evince the microstructures, the carbides distribution, and the possible imperfections in the examined zones (base metal, weld zone).

4.3 The evaluation of the structural degradation phenomena, because of the carbides distribution, evinces the degradation degrees between 27.2% and 40% for the base metals, and between 27.2% and 36.3% for the weld zones.

Bibliografie / References

- [1]. Brear, M. ș.a.: Metallographic techniques for condition assessment and life prediction in SP 249 Guideline, 1999, London, England
- [2]. Fleșer, T.: Posibilități de evaluare a durabilității remanente la produse energetice și chimice, OID-ICM, SID 108, 1991, București, România
- [3]. Mitelă, I. și Budău, V.: Materiale și tratamente termice pentru sudare, Editura de Vest, 1992, Timișoara, România
- [4]. Pascu, D.R. ș.a.: Cercetări experimentale pentru evaluarea degradării structurale a echipamentelor industriale ce lucrează la presiuni și temperaturi ridicate, folosind tehnica replicilor metalografice conform ISO 3057, Raport de cercetare, 2005, ISIM Timișoara, România
- [5]. xxx: STAS 8184-87: Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi ridicate, București, România

