

Influența diferitelor regimuri de prelucrare termică asupra rezistenței la coroziune a oțelului austenitic GX5CrNi19-10

The influence of various regimes of heat processing on the erosion resistance of the austenitic stainless steel GX5CrNi19-10

M. Trușculescu, I. Pădurean
Universitatea POLITEHNICA Timișoara

Cuvinte cheie

Eroziune cavitațională, tratament termic, oțel inoxidabil austenitic, rezistență la coroziune

1. Introducere

Complexitatea fenomenelor de eroziune și coroziune cavitațională a orientat cercetările spre starea compozițională și structurală a materialelor folosite și spre caracteristicile fluidului cavitant [1], [4], [7].

În construcția mașinilor hidraulice o pondere mare o are folosirea oțelurilor inoxidabile și a superaliajelor pentru a le mări durata de funcționare [2], [3], [4].

La aceleași caracteristici ale fluidului cavitant s-a cercetat rezistența la eroziune cavitațională a unui oțel austenitic prelucrat termic în trei variante:

- Călire de punere în soluție [2];
- Recoacere de sensibilizare;
- Simulare de sudare [3].

2. Materiale, probe și regimuri termice

Oțelul inoxidabil austenitic GX5CrNi 19-10 este folosit la turnarea rotoarelor turbinelor hidraulice. Pentru încercări s-au folosit bare forjate cu următoarea compoziție chimică: 0,07 % C; 1,5 % Si; 1,5 % Mn; 0,04 % P; 0,03 % S; 19 % Cr; 10 % Ni, din care s-au prelevat probe specifice încercării la cavitație prin modelare și simulare în laborator.

S-au aplicat probelor trei variante de prelucrare termică cu diferite regimuri de lucru.

2.1. Călirea de punere în soluție

Se urmărește optimizarea parametrilor tehnologici care să asigure un grad mare de omogenizare a austenitei și o granulație cât mai fină.

S-au practicat încălziri în intervalul de temperaturi: 1.000...1.200 °C, durate de menținere de 30-120 minute și raciri în apă sau aer.

Prelucrarea rezultatelor încercărilor, a stabilit că regimul de călire de punere în soluție: 1.050 °C/ 30 min./ apă, asigură un grad mare de omogenizare a austenitei, separări fine de carburi și mici insule de ferită δ și o granulație conform ASTM: G = 8...9.

Key words

Cavitations erosion, heat treatment, austenitic stainless steel, corrosion resistance

1. Introduction

The complexity of the cavitations erosion and corrosion phenomena started the researches of materials structure and composition and of the characteristics of the cavitations fluid [1], [4], [7].

Within the construction of the hydraulic machines, the stainless steel and the super-alloys steel are usually used in order to increase the their life-time [2], [3], [4].

The researches were made upon the same characteristics of the cavitations fluid and the resistance to cavitations erosion of the austenitic steel, subjected to the following treatments:

- The solution heat treatment [2];
- Sensitizing annealing;
- The welding simulation [3].

2. Materials, samples and thermal regimes

The austenitic stainless steel GX5CrNi19-10 is used for the casting of the hydraulic turbines runners [1], [4]. For the experiments were used forged bars having the chemical composition: 0.07 %C; 1.5 %Si; 1.5 %Mn; 0.04 %P; 0.03 %S; 19 %Cr; 10 %Ni. From these samples were prepared for the cavitations process through laboratory modeling and simulation.

Three variants were applied using the different conditions.

2.1. The heat solution treatment

The experiments aim is to find the optimized technological parameters for a higher rate of a pure homogeneity of the Austenite and the grains.

Heating was made between 1,000...1,200 °C, periods of maintaining between 30-120 minutes, and, also, water and air cooling off.

The processing of the results established that the regime of the heat solution treatment: 1,050 °C/30minutes/water, assure a higher rate of a austenite homogeneity; carbides pure dissolutions and little ferrite δ zones and a granulation under the ASTM standards: G = 8...9.

2.2. Recoacerea de sensibilizare

Probe din oțelul austenitic GX5CrNi 19-10 tratate termic prin călire de punere în soluție - în regim optim - au fost supuse recoacerii la diferite niveluri de temperaturi, durate de menținere și răcite în aer. S-au folosit următoarele regimuri: 500...900 °C/3...180 minute/aer și după prelucrarea rezultatelor s-a construit diagrama TTS(temperatură, timp, sensibilizare) [5] figura 2.1.

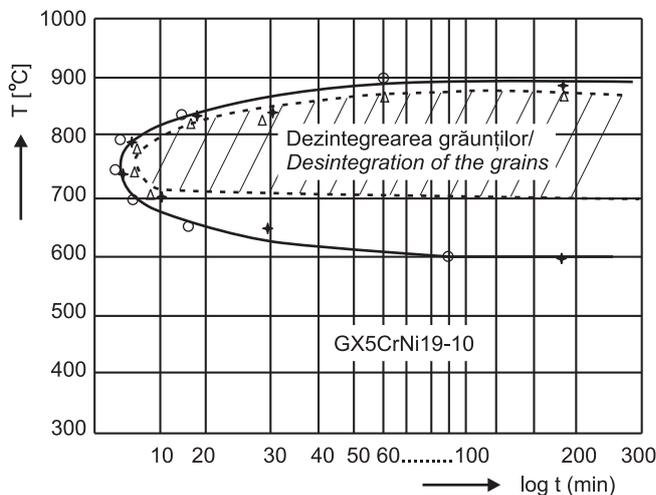


Figura 2.1. Diagrama TTS/ Figure 2.1. Diagram TTS

Oțelul este sensibil la coroziune intercrystalină la încălziri în intervalul de 600...900 °C. La temperatura de 750 °C coroziunea intercrystalină se instalează după durate de încălzire de trei minute, iar la temperaturi mai ridicate apare dezagregarea grăunților.

Se recomandă ca la prelucrarea termică a acestui oțel să se evite menținerea de lungă durată (peste 5 minute) în intervalul de temperaturi de: 700...900 °C [5], [6].

Se va lua în considerare această recomandare la sudarea multistrat – situație întâlnită la repararea zonelor distruse prin eroziune cavitațională ale paletelor mașinilor hidraulice.

2.3. Simularea sudării zonelor degradate prin cavitație

S-au folosit probe cu diametrul $D = 25$ mm, din oțelul austenitic GX5CrNi 19-10 pe care s-au depus straturi succesive. S-a făcut preîncălzirea la 80...100 °C, folosind un electrod cu diametrul $d = 3.2$ mm, tip Selectarc 18.8 Mn, iar depunerea straturilor succesive s-a făcut prin sudare electrică manuală în curent continuu (CC⁺) cu diverse energii termice (10.000...15.000 J/cm²), viteze de sudare: 10...12 cm/min. și apoi răcirea rapidă a straturilor depuse.

S-a ales regimul de sudare: preîncălzire la 100 °C, energie termică: 13.000 J/cm² și viteză de sudare: 11 cm/min.

Proba de încercare la cavitație a fost prelevată din zona influențată termic pentru a testa eroziunea cavitațională.

3. Încercări și analize

3.1. Rezistența la eroziune cavitațională

Cele două probe de oțel tratate termic, conform celor indicate în capitolul 2, au fost supuse eroziunii cavitaționale și după analizarea rezultatelor s-au stabilit: masa erodată în timp și viteza de eroziune cavitațională.

Curbele specifice de eroziune cavitațională ale oțelului GX5CrNi19-10 sunt prezentate în figura 3.1 și 3.2.

2.2. Sensitizing annealing

Samples of the steel GX5CrNi19-10 subjected to thermal treatment, through heat solution treatment were annealing at different heat levels; maintaining periods and air cooling off were also established [5], [6]. The following regimes were used: 500...900 °C/3...180 minutes/air and after results reanalyze, the TTS (temperature/time/sensitizing) diagram was created [5], Figure 2.1.

Steel has a low resistance at the inter-crystalline corrosion, at heating between 600...900 °C. At a 750 °C temperature, the inter-crystalline corrosion appears after 3 minutes heating period, and at higher temperatures, crystalline grains disintegration appears. It is recommended, for the thermal processing of this steel, the avoidance soaking between 700...900 °C, over 5 minutes) [5], [6].

This recommendation will be considered at the welding multilayer – situation which appears at the rebuilt of the damaged zones, through cavitations erosion of the hydraulic machines blades.

2.3. The welding simulation of the cavitation damaged zones

Steel samples with $D = 25$ mm were used. The samples were loaded with successive layers. The preheating at 80...100 °C was made with an Selectarc 18.8 Mn electrode of $d = 3.2$ mm; the successive layers processing was made through electric welding, manufactured under direct current (C.C⁺) with different thermal energy (10,000...15,000 J/cm²); welding velocities: 10...12 cm/minute and than the fast cooling off of the layers deposite.

The following welding regime was chosen: preheating at 100 °C; thermal energy 13,000 J/cm² and the welding velocity at 11 cm/minute. The samples were manufactured from the thermal influenced area.

3. Experiments and analysis

3.1. The cavitation erosion resistance

The two steel samples, heat treated, in the indicated regimes from chapter 2, were subjected to cavitations erosion and, after the reanalysis of the results, it was established: the eroded mass, in time and the cavitations erosion velocity.

The curves specific to the cavitations erosion of the GX5CrNi19-10 steel are presented in the Figures 3.1 and 3.2.

In accordance with ASTM standards [9] the tests were carried out on three probes, in distilled water at the temperature $T = 20.00 \pm 1.00$ °C.

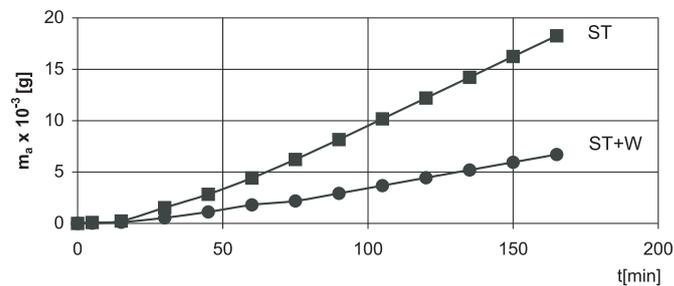
The cavitations attack was realized at Timișoara Hydraulic Machinery Laboratory in a vibratory magnetostrictive test facility with nickel tube. The results are presented as mean value of three specimens. The facility is characterized by the following parameters [1], [4]:

- vibration amplitude: $A = 94.00$ μm;
- frequency: $f = 7,000 \pm 3.00$ Hz;
- pressure at the liquid surface: $p = p_{at}$;
- power: $P = 500.00$ W;
- sample diameter: $d = 14.00$ mm;
- sample immersion: $h = 3.00$ mm.

The total duration of the cavitations attack for 165 minutes was divided in 12 periods, as follows: one of 5 minutes, one of

În conformitate cu normele ASTM [13], încercarea s-a făcut pe trei probe în apă distilată la $T = 20 \pm 1^\circ \text{C}$.

Simularea atacului cavitațional s-a realizat în laboratorul MHT, al Catedrei de mașini hidraulice din Universitatea „Politehnica” din Timișoara utilizând aparatul magnetostrictiv.



Notă: (ST) - Călire de punere în soluție
(ST+W) Călire de punere în soluție și sudare
Note: (ST) - Solution treatment and
(ST + W) - Solution treatment and Welding

Figura 3.1. Masa erodată/ Figure 3.1. Eroded mass $m_a(t)$

Atacul cavitațional s-a realizat pe aparatul vibrator magnetostrictiv cu tub de nichel din LMH Timișoara, caracterizat de următorii parametri funcționali:

- amplitudinea vibrațiilor: $A = 94 \mu\text{m}$;
- frecvența de oscilație: $f = 7000 \pm 3\% \text{ Hz}$;
- presiunea lichidului la suprafață: $p = p_{at}$
- putere: $P = 500 \text{ W}$;
- diametrul probei: $d = 14 \text{ mm}$;
- imersia probei: $h = 3 \text{ mm}$.

Durata totală a atacului cavitațional este 165 minute, împărțită în 12 perioade: câte una de 5 și 10 minute și 10 de câte 15 minute. La începutul și sfârșitul fiecărei perioade probele au fost spălate succesiv în apă potabilă sub presiune de la robinet, apă distilată, alcool, acetonă, uscate cu curent de aer cald și cântărite cu balanța analitică cu șase cifre semnificative.

Viteza de eroziune cavitațională „v” s-a obținut, pentru fiecare perioadă de atac Δt , din masa pierdută Δm_a utilizând relația:

$$v = \Delta m_a / \Delta t \text{ [g/min]} \quad [1]$$

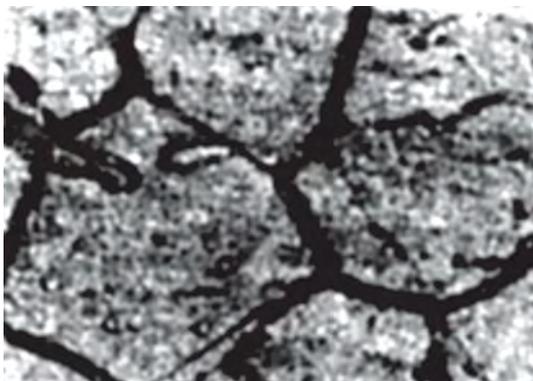
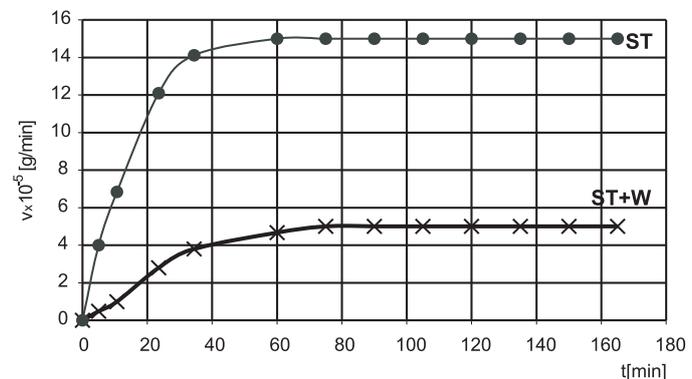


Figura 3.3. Coroziunea intercrystalină/
Figure 3.3. Intercrystalline corrosion

Măsurătorile și prelucrarea rezultatelor sunt prezentate în „Buletinul de încercare” trasându-se apoi următoarele curbe caracteristice eroziunii cavitaționale:

10 minutes and 10 of 15 minutes. At the beginning and at the end of each period the specimens have been washed successively in current water, distilled water, alcohol, acetone, after that desiccated in a hot air current and finally weighed in an analytical balance with six characteristic figures.



Notă: (ST) - Călire de punere în soluție
(ST+W) Călire de punere în soluție și sudare
Note: (ST) - Solution treatment and
(ST + W) - Solution treatment and Welding

Figura 3.2. Viteza de eroziune/ Figure 3.2. Erosion velocity $v(t)$

The cavitations erosion velocities „v” have been obtained, for each attack period Δt , from the mass losses Δm_a using the relation:

$$v = \Delta m_a / \Delta t \text{ [g/min]} \quad [1]$$

The measured and computed data are presented in “Testing Bulletin” and subsequently the following cavitations erosion characteristic curves have been obtained:

- Variation in time of the cavitations eroded mass $m_a(t)$, Figure 3.1;
- Variation in time of the cavitations erosion velocity $v(t)$, Figure 3.2.

3.2. Testing bulletin

Magnetostrictive facility: with nickel tube
Material: cast stainless steel GX5CrNi19-10
Test liquid: distilled water
Control amplitude: $94.00 \mu\text{m}$
Mean frequency: $7,000 \pm 3\% \text{ Hz}$
Temperature of the working liquid: $20.00 \pm 1.00^\circ \text{C}$

Using the experimentally obtained values there have been plotted the functions: $m_a(t)$ and $v(t)$, Figure 3.1 and Figure 3.2.

Taking into account the data from Figure 3.1, 3.2 it results that the austenitic steel GX5CrNi19-10, subjected to the solution treatment and welding, attains after 165 minutes the characteristic cavitation erosion figures: $v_s = 5.00 \times 10^{-5} \text{ [g/min]}$ and $m_a = 6.70 \times 10^{-3} \text{ [g]}$; the total time of the test was, of course, 165 minutes.

The samples sensitizing annealing ($750^\circ \text{C}/5\text{minutes/air}$) were tested first, at the intercrystalline corrosion and in Figure 3.3., it was revealed the boundary of the grains; it appears also the disintegration of the crystalline grain. Under these circumstances, the cavitations attack was considered useless.

3.3. Metallographic analysis and hardness experiments

The samples from the stainless steel GX5CrNi19-10 solution treatment, after the cavitations tests were sectioned on the generatrix, prepared and metallographic analyzed.

- Variația în timp a masei erodate prin cavitație $m_a(t)$, figura 3.1
- Variația în timp a vitezei de eroziune cavitațională $v(t)$, figura 3.2

3.2. Buletinul de încercare

Aparatul magnetostrictiv: cu tub de nichel
 Material: oțelul inoxidabil GX5CrNi19-10
 Lichidul pentru testat: apă distilată
 Amplitudinea de control: $A = 94,00 \mu\text{m}$
 Frecvența medie: $f = 7000 \pm 3 \%$ Hz;
 Temperatura lichidului de lucru: $20^\circ \pm 1,00^\circ\text{C}$



Stare/ State - (ST) OM 100X

Figura 3.4. Finisarea granulației/
 Figure 3.4. Granulation finishing

Utilizând valorile experimentale obținute s-au trasat dependențele $v(t)$ și $m_a(t)$ care se dau în figurile 3.1 și 3.2.

Ținând seama de datele din figurile 3.1 și 3.2 rezultă că oțelul austenitic GX5CRNi19-10, supus tratamentului de călire de punere în soluție și sudare, atinge după 165 minute, conform caracteristicilor de eroziune cavitațională: $v_s = 5,00 \times 10^{-5}$ [g/min] și $m_a = 6,70 \times 10^{-3}$ [g]; timpul total de testare a fost de 165 minute.

Probele sensibilizate prin recoacere ($750^\circ\text{C} / 5$ minute / aer) au fost testate întâi la coroziune intercrystalină și s-a constatat un atac masiv la limita grăunților - figura 3.3. În aceste condiții s-a considerat că încercarea la atac cavitațional nu mai are sens.

3.3. Analize metalografice și încercări de duritate

Probele din GX5CrNi19-10, prelucrate termic prin călire de punere în soluție și prin regimurile de sudare, încercate la cavitație, au fost secționare după generatoare și analizate metalografic.

Analiza metalografică a probelor supuse eroziunii cavitaționale pune în evidență următoarele aspecte:

În zona distrusă prin cavitație a probelor călite prin punerea în soluție (figura 3.4) se remarcă: finisarea granulației $G = 8 \dots 9$, precipitări de carburi complexe la limita și în interiorul grăunților austenitici.

La probele încărcate prin sudare analiza metalografică se atestă (figura 3.5):

- Creșteri dendritice ale grăunților perpendiclar pe frontul de sudare;
- Finisarea granulației ($G = 8 \dots 9$);
- Precipitări fine de carburi intragranulare.

S-au făcut măsurători de duritate HV0,1 pe zone neafectate și afectate de eroziune cavitațională a probelor călite prin punere în soluție și pe cele sudate și s-au trasat graficele din figura 3.6.

The metallographic analysis of the samples subjected to cavitations erosion tests put into evidence the following aspects:

In the cavitations damaged zone of the heat solution treatment (Figure 3.4) it can be seen: -the granulation was finishing $G = 8 \dots 9$, the precipitation of the complex carbides at the boundaries and inside of the austenitic grains.

At the welding loaded sample, the metallographic analysis reveals Figure 3.5:

- A dendrite increase of the perpendicular grains on the welding front;
- Grains finishing in the thermal influenced zone;
- Fine precipitation of the inter-granular carbides.



Stare/ State - (ST+W) OM 500X

Figura 3.5. Creștere dendritică perpendicular pe frontul de sudare/
 Figure 3.5. A dendrite increase on the welding front

Notă: MO 100X, 500X - microscop optic cu factor de mărire de 100X sau 500X
 Note: MO 100X, 500X - Optical microscope with 100X or 500X increase factor

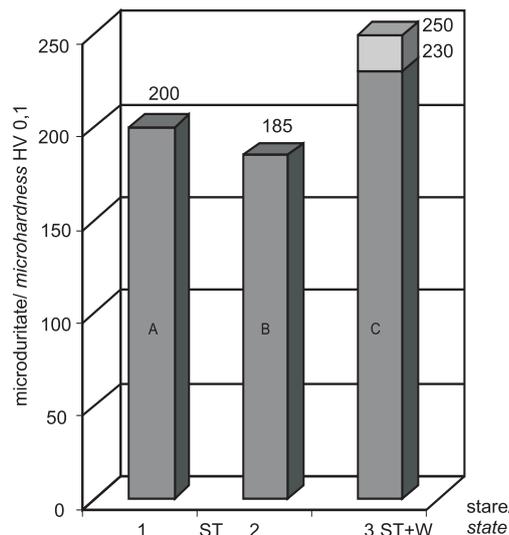


Figura 3.6. Duritatea HV 0,1/ Figure 3.6. Hardness HV 0.1

Hardness test measurements were made, HV 01 type, in zones affected or not by cavitations erosion for samples under heat solution treatment and the heat solution treatment and welding Figure. 3.6 were, afterwards, created.

Influență regimuri

4. Concluzii și recomandări

Distrugerea prin cavitație are la bază mecanisme de coroziune tensofisurantă cu expulzare de material.

Starea structurală a oțelului inoxidabil austenitic GX5CrNi 19-10, influențează puternic rezistența la coroziune și la eroziune cavitațională.

Mărirea rezistenței la coroziune și eroziune cavitațională a acestui oțel se realizează prin regimul de călire de punere în soluție, care asigură o granulație fină și un grad ridicat de omogenizare a austenitei.

Se recomandă călirea de punere în soluție cu regimul termic: 1,050 °C / 30 minute / apă. Timpul va fi ales în funcție de grosimea materialului: 2 min. / mm.

Reparațiile prin sudare a zonelor cavitate ale paletelor se fac prin procedeul de sudare electrică manuală. Se va folosi curent continuu (CC⁺), un electrod de tip Selectarc 18.8 Mn cu diametrul d = 3,2 mm., o energie termică de sudare de 13,000 J/cm² și o viteză de sudare de 11 cm/min. Antesudare se aplică preîncălzirea la 100 °C și postsudare se aplică recoacerea de detensionare (300 °C / 30 minute / aer).

La recoaceri și la sudări multistrat se vor evita încălzirile peste 5 minute în intervalul de temperaturi 700...900 °C, care sensibilizează oțelul la coroziune.

Bibliografie/ References

[1]. ANTON, I.: Cavitația, Vol. I, II, Editura Academia R.S.R., București 1984, 1985.

[2]. PĂDUREAN I.: Researches upon Cavitation Erosion Resistance of the Heat Treated Stainless Steel GX5CrNi19-10, Scientific Bulletin Of The „Politehnica” University Of Timișoara, IXth Edition Timișoara Academic Days International Symposium Engineering Materials New Horizons And Processing Techniques, M.T.P. (2005).

[3]. PĂDUREAN I.: Researches regarding the cavitation erosion resistance of the martensitic stainless steel from zones reconditioned by welding, Scientific Bulletin Of The „Politehnica” University Of Timișoara, IXth Edition Timișoara Academic Days International Symposium Engineering Materials New Horizons And Processing Techniques, M.T.P. (2005).

4. Conclusions and recommendations

The cavitations damage is based on the corrosion mechanisms of tensed-cracks with expulsion of material particles.

The structural crystalline state of the stainless steel GX5CrNi19-10, highly influences the cavitations corrosion and erosion resistance.

The cavitations erosion and corrosion resistance increase of this steel type is made through the regime of the heat solution treatment, which assures a pure granulation (G = 6...7) and a high rate of Austenite homogeneity. It is highly recommended the heat solution treatment with thermal regime: 1,050.00 °C / 30 minutes / water (the time will be chosen after the material thickness: 2 minutes / mm).

The welding rebuilt of blades cavitations zones are made through the process of manufactured electric welding. A direct current will be used (C.C⁺); a Selectarc 18.8 Mn electrodes with d = 3.2 mm; a thermal welding energy, 13,000 J/cm² and a welding velocity of 11 cm/minute. Before the welding, the preheating at 100 °C is applied and a post-welding is applied to the stabilizing annealing (300 °C / 30 minutes / air).

Annealing and multilayer welding are the aim to avoid the heating over 5 minutes between 700-900 °C, otherwise, sensitizing the steel at corrosion.

[4]. PĂDUREAN I.: Cercetări asupra măririi rezistenței la eroziune cavitațională a rotoarelor de turbină turnate din oțeluri inoxidabile. Teză de doctorat, Timișoara, 2005

[5]. TRUȘCULESCU M.: Studiul metalelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977

[6]. TRUȘCULESCU M., IEREMIA: Oțeluri inoxidabile și refractare, Editura Facla 1983.

[7]. ***: SR EN 10283/1999 Oțeluri turnate rezistente la coroziune

[8]. ***: CR 12361/1999, Reactivi pentru oțelurile inoxidabile.

[9]. ***: Standard method of vibratory cavitation erosion test, ASTM, Standard G32-85.

