

# LOADING THERMAL CYCLES PRODUCED BY WELDING STEEL MOLDS AND X 30 WCrV9 3 AND 55 NiCrMoV 6

# CICLURI TERMICE PRODUSE LA ÎNCARCARE PRIN SUDARE A OȚELURILOR DE MATRIȚE X 30 WCrV9 3 ȘI 55 NiCrMoV 6

Virgil Nicolae CÂNDEA  
Transilvania University of Brasov, Romania

**Abstract.** The paper presents the influence of thermal cycles upon the thermally influenced area by the loading by welding procedures, 111, 136, 141 EN 287-1/2004 of the materials X 30 WCrV9 3 and 55 NiCrMoV 6 from which hot working moulds are made. The thermal cycles undergone by the test specimens made of the studied materials and the microstructure of the steel X 30 WCrV9 3 and 55 NiCrMoV 6 obtained in different thermal cycles are presented.

In the case of loading by welding of the moulds made of steel X 30 WCrV9 3 and 55 NiCrMoV 6, high productivity welding procedures are not advisable, but manual electrical welding and WIG welding.

**Key words:** materials, welding, mechanical tests

## 1. Introduction

It is useful to know the procedure on the shape of thermal cycles produced in the points of the thermally influenced area, when in all cases are used the same linear energies situated close to  $q/v = 5 \cdot 10^5 \text{ J/m}$  [1, 2].

The thermal cycles obtained in the case of steel 55 NiCrMoV 6 are presented in figure 1.

**Rezumat.** În lucrare se prezintă influența ciclurilor termice în zona influențată termic, datorată procedeelelor de încărcare prin sudare 111, 136 și 141, conform EN 287-1/2004, asupra materialelor X 30 WCrV9 3 și 55 NiCrMoV 6 din care se confecționează matrițele pentru prelucrări la cald. Sunt reprezentate ciclurile termice la care au fost supuse epruvetele din cele două materiale studiate și microstructura oțelurilor X 30 WCrV9 3 și 55 NiCrMoV 6 obținută la diferite cicluri termice.

În cazul încărcării prin sudare a matrițelor din oțeluri X 30 WCrV9 3 și 55 NiCrMoV 6 nu este indicată sudarea prin procedee de mare productivitate, ci sudarea electrică manuală și sudarea WIG.

**Cuvinte cheie:** materiale, sudare, încercări mecanice

## 1. Introducere

Este utilă cunoașterea procedurii de sudare asupra formei ciclurilor termice produse în punctele zonei influențate termic atunci când în toate cazurile sunt utilizate aceleași energii liniare la sudare, situate în apropierea valorii  $q/v = 5 \cdot 10^5 \text{ J/m}$  [1, 2].

Ciclurile termice obținute în cazul oțelului 55 NiCrMoV 6 sunt prezentate în figura 1.

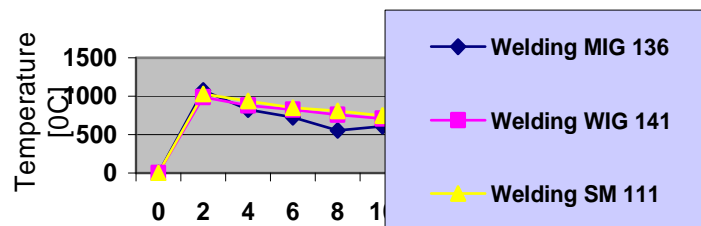


Figure 1. The shape of thermal cycles for different loading procedures in the points situated at an  $r = 2 \text{ mm}$  from the welding area

Figura 1. Forma ciclurilor termice pentru diferite procedee de încărcare în punctele situate la distanța  $r = 2 \text{ mm}$  față de sudură

## 2. Content

One could see the shape of the thermal cycles is influenced by the welding procedure used. The differences which appear are due to the different temperatures and thermal exchanges, specific to each welding procedure, which depend on the properties of the electrodes between which the electrical arc occurs (W, Fe, covered electrode, etc.) and on the properties and quantity of the vapours and gases

## 2. Conținut

Din figura 1 se observă că forma ciclurilor termice este influențată de procedeul de sudare aplicat. Diferențele care apar se datorează temperaturilor și schimburilor termice diferite, specifice fiecărui procedeu de sudare, care depind de proprietățile electrozilor între care se formează arcul electric (W, Fe, electrod învelit etc.) și de proprietățile și cantitatea vaporilor și gazelor

which exist inside the arc as well as on the oxides or clay film which cover the metal bath [1, 3].

The effect of thermal cycles upon the studied steel was emphasized through mechanical tests and by studying the microstructure obtained.

In order to do this, samples of the steel X 30 WCrV9 3 and 55 NiCrMoV 6 were studied, having the shape and dimensions presented in figure 2 [4].

existente în spațiul arcului, precum și de peliculele de oxizi sau zgură care acoperă baia metalică [1, 3].

Efectele ciclurilor termice asupra oțelurilor studiate au fost puse în evidență prin încercări mecanice și prin studiul microstructurii obținute.

Pentru aceasta au fost prelevate probe din oțelurile 55 NiCrMoV 6 și X 30 WCrV9 3, având forma și dimensiunile prezentate în figura 2 [4].

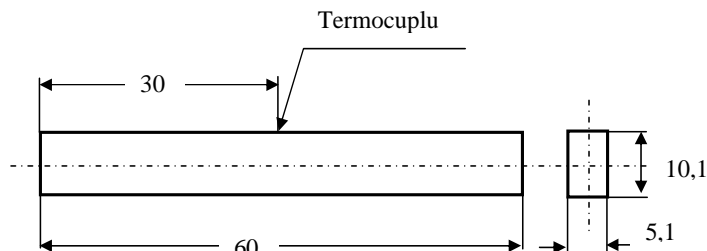


Figure 2. Shape and dimensions of the samples for the study of the influence of thermal cycles  
 Figura 2. Forma și dimensiunile probelor pentru studiul influenței ciclurilor termice

In the same figure is marked the place where the thermocouple was welded to record the thermal cycle each test had been subjected to. It should be noted that instead of this place has been chosen so as to be further eliminated through mechanical processing. The thermal cycles have been applied to the samples by the help of the equipment presented in figure 3. After cooling, the samples have been worked through the chip removing process in order to get the tension specimens indicated in SR EN 876 /1997 and the shock specimens indicated SR EN 10045/1/1993 [4, 5].

În aceeași figură este marcat și locul unde a fost sudat termocuplul pentru a înregistra ciclul termic la care a fost supusă fiecare probă. Mai trebuie menționat că acest loc a fost astfel ales încât prin prelucrări mecanice ulterioare să fie eliminat. Ciclurile termice au fost aplicate probelor cu ajutorul instalației prezentate în figura 3. După răcire probele au fost prelucrate prin aşchiere, pentru obținerea epruvetelor de tracțiune indicate în SR EN 876/1997 și a epruvetelor pentru încercarea prin șoc, indicate în SR EN 10045/1/1993 [4, 5].

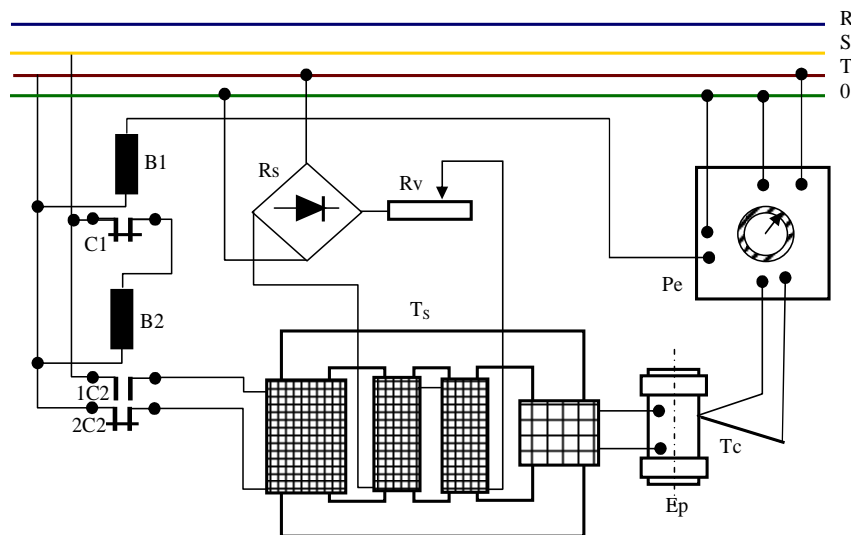


Figure 3. The fundamental circuit of heating by the welding transformer  
 Figura 3. Schema de principiu a încălzirii cu transformator de sudare

The microstructure has been observed on the torn surface of the test specimen, after grinding, polishing and natal metallographic attack (4 % HNO<sub>3</sub> in ethylic alcohol).

Microstructura a fost studiată pe suprafața ruptă a epruvetei, după șlefuire, lustruire și atac metalografic cu nital (4 % HNO<sub>3</sub> în alcool etilic).

În figura 4 (a, b și c) sunt reprezentate ciclurile

In Figure 4 (a, b, and c) are thermal cycles which were subjected to the two materials studied.

termice la care au fost supuse epruvetele din cele două materiale studiate.

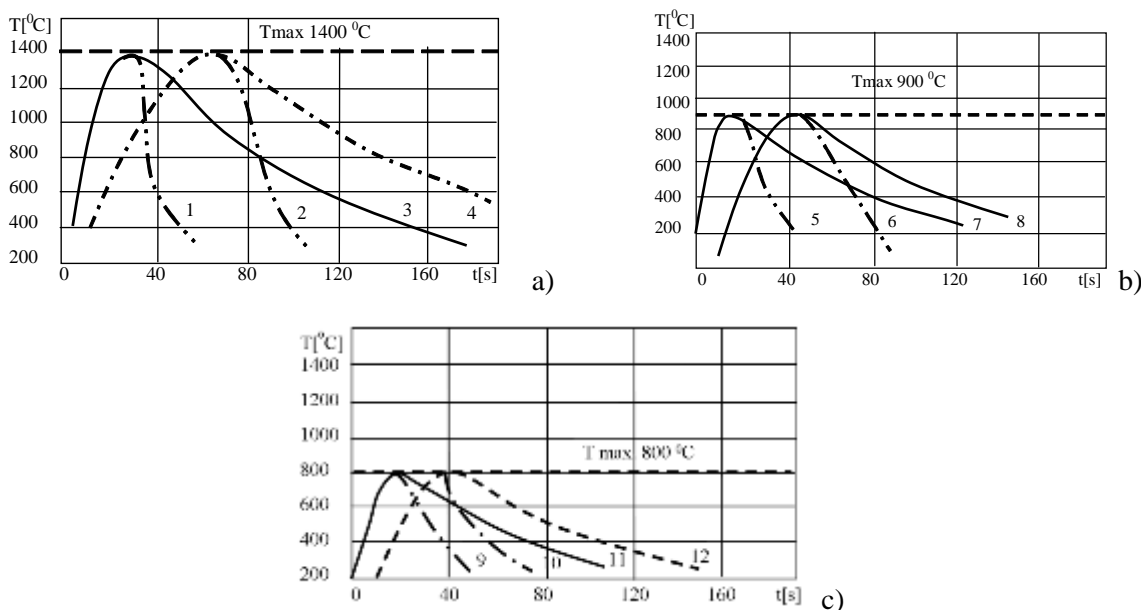


Figure 4. Thermal cycles the studied materials have been subjected to  
 Figura 4. Cicluri termice la care au fost supuse oțelurile studiate

The diagrams have been drawn based on the data recorded in polar coordinates, on the dial of the electronic potentiometer (Pe, figure 3). Among the thermal cycles studied, only the representative ones are presented as well as those which have produced variations of the mechanical properties or of the crystalline structure of the researched test specimens.

The thermal cycles presented can be characterized through the maximum temperature reached, which has varied from 1400 °C, to 900 °C and 800 °C.

Some cycles, such as 1, 3, 5, 7, 9 and 11, can be characterized through their high speed of heating, which can reach an average value of 60-70 °C/s. Cycles 2, 4, 6, 8 and 10 have comparably lower speed of heating, situated under 25-30 °C/s.

A key factor characterizing the thermal cycle to which the material is subjected is the speed of cooling. In this case, the test specimens were cooled down from their different temperatures in some cooling environments (oil, emulsions, water, air). The most significant results were obtained in the case of oil cooling (curves 1, 2, 5, 6, 9, 10) and in the case of calm air cooling (curves 3, 4, 7, 8, 11, 12).

The microstructure of steel 55 NiCrMoV 6 and X 30 WCrV9 3, submitted to different thermal cycles, has been researched upon all torn test specimens and the significant ones have been obtained in the case of maximum heating temperatures ( $T = 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

The microstructure of 55 NiCrMoV 6 steel is

Diagramele au fost construite pe baza datelor înregistrate în coordonate polare, pe cadranul potențiometrului electronic (Pe, figura 3). Dintre toate ciclurile termice studiate, sunt prezentate în figură numai cele care sunt reprezentative și care au produs variații ale proprietăților mecanice și ale structurii cristaline a epruvetelor cercetate.

Ciclurile termice prezentate pot fi caracterizate prin temperatura maximă atinsă, care a variat de la 1400 °C la 900 °C și 800 °C.

De asemenea unele cicluri, cum ar fi ciclurile 1, 3, 5, 7, 9 și 11, pot fi caracterizate prin viteza mare de încălzire care se și observă că atinge o valoare medie de 60-70 °C/s. Ciclurile 2, 4, 6, 8 și 10 au viteze de încălzire mai mici, ale căror valori medii sunt situate între 25-30 °C/s.

Un factor esențial care caracterizează ciclul termic la care este supus un material este viteza de răcire. Din acest motiv epruvetele au fost răcite de la diferite temperaturi în diferite medii de răcire (ulei, emulsii, apă, aer). Cele mai semnificative rezultate au fost obținute în cazul răcirii în ulei (curbele 1, 2, 5, 6, 9, 10) și răcirii în aer liniștit (curbele 3, 4, 7, 8, 11, 12).

Microstructura oțelurilor 55 NiCrMoV 6 și X 30 WCrV9 3 supuse la diferite cicluri termice a fost cercetată în cazul tuturor epruvetelor rupte, cele mai semnificative fiind obținute în cazul temperaturilor maxime de încălzire ( $T = 1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Dintre acestea sunt prezentate microstructurile

presented in figures 5, 6, 7 and the microstructure of X 30 WCrV9 3 steel is presented in figures 8, 9, 10.

oțelului 55 NiCrMoV 6 în figurile 5, 6, 7 și ale oțelului X 30 WCrV9 3 în figurile 8, 9, 10.



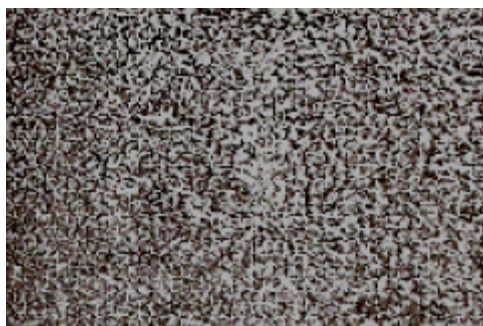
a) x 250



b) x 1000

Figure 5. Microstructure of 55 NiCrMoV 6 steel submitted to thermal cycle I (fast heating to the temperature of 1400 °C, followed by fast cooling), Nital attack

Figura 5. Microstructura oțelului 55 NiCrMoV 6 supus ciclului termic I (încălzire rapidă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire rapidă), atac Nital



a) x 250



b) x 1000

Figure 6. Microstructure of 55 NiCrMoV 6 steel submitted to thermal cycle II (slow heating up to a temperature of 1400 °C, followed by fast cooling), Nital attack

Figura 6. Microstructura oțelului 55 NiCrMoV 6 supus ciclului termic II (încălzire lentă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire rapidă), atac Nital



a) x 250



b) x 1000

Figure 7. Microstructure of 55 NiCrMoV 6 steel submitted to thermal cycle III (fast heating up to a temperature of 1400 °C, followed by slow cooling), Nital attack

Figura 7. Microstructura oțelului 55 NiCrMoV 6 supus ciclului termic III (încălzire rapidă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire lentă), atac Nital

### 3. Conclusion

The mechanical properties and the structure of X 30 WCrV9 3 and 55 NiCrMoV 6 steel are influenced in a similar way by the shape of the thermal cycles they are submitted to.

### 3. Concluzii

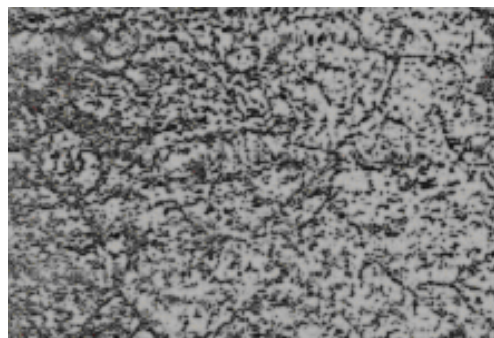
Proprietățile mecanice și structura oțelurilor X 30 WCrV9 3 și 55 NiCrMoV 6 sunt influențate în mod asemănător de forma ciclurilor termice la care au fost supuse.

Thus, the thermal cycles which produce a marked modification of the microstructure and a maximum decrease of the mechanical properties are those cycles for which the heating speed has high values (over 65 °C/s), and the cooling speed is reduced (under 20 °C/s).

Astfel, ciclurile termice care provoacă o modificare pronunțată a microstructurii și o scădere maximă a proprietăților mecanice sunt acele cicluri la care viteza de încălzire are valori ridicate (peste 65 °C/s), iar viteza de răcire are valori reduse (sub 20 °C/s).



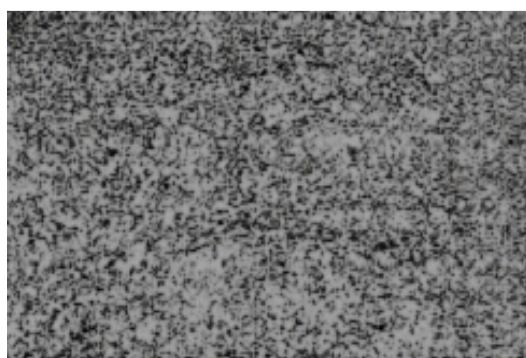
a) x 250



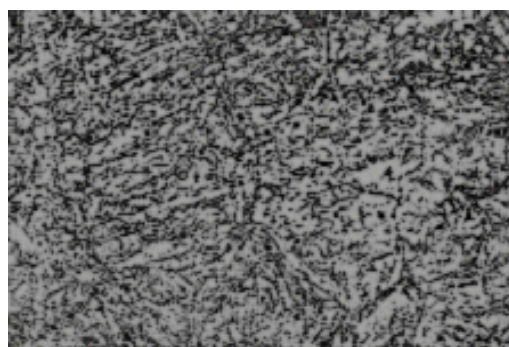
b) x 1000

Figure 8. Microstructure of X 30 WCrV9 3 steel submitted to thermal cycle I (fast heating up to a temperature of 1400 °C, followed by fast cooling), Nital attack

Figura 8. Microstructura oțelului X 30 WCrV9 3 supus ciclului termic I (încălzire rapidă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire rapidă), atac Nital



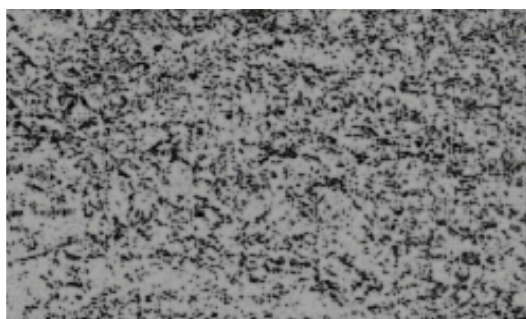
a) x 250



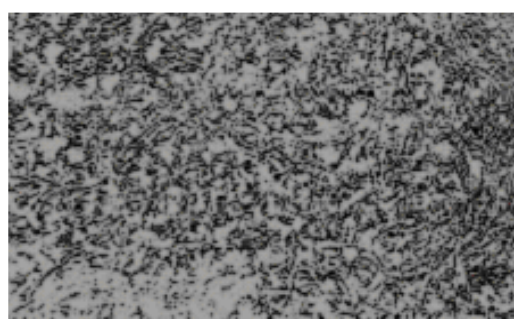
b) x 1000

Figure 9. Microstructure of X 30 WCrV9 3 steel submitted to thermal cycle II (slow heating up to a temperature of 1400 °C, followed by fast cooling), Nital attack

Figura 9. Microstructura oțelului X 30 WCrV9 3 supus ciclului termic II (încălzire lentă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire rapidă), atac Nital



a) x 250



b) x 1000

Figure 10. Microstructure of X 30 WCrV9 3 steel submitted to thermal cycle III (fast heating up to a temperature of 1400 °C, followed by slow cooling), Nital attack

Figura 10. Microstructura oțelului X 30 WCrV9 3 supus ciclului termic III (încălzire rapidă la temperatura de 1400 °C, urmată de răcire lentă), atac Nital

The thermal cycles which have the least influence upon the microstructure and the mechanical properties of the tested steel are those cycles for which the heating speed is lower (under 25 °C/s), and the cooling speed is higher (over 50 °C/s). High cooling speed is not advisable in the case of this steel, because of the internal tensions they produce, even if they present certain advantages as to finishing granulation.

The heating speed of a point on the surface to be loaded by welding is lower as the thermal field approaches the point to be considered and as the material thermal conductivity is lower.

Therefore, the decrease of the heating speed for a certain kind of steel can be achieved by reducing the welding speed to minimum. In this case, the linear energy increases as well as the possibility of overheating the base material.

In order to prevent overheating, which can occur in the case of low speed welding, linear energy should be reduced by also reduced amperage and reducing the dimensions of the welding electrode diameter.

The rising danger of cracking can be reduced by using pre-heating or post-heating of the base metal, thereby the cooling speed can be directed inside the desired array.

Consequently, just like in the case of loading by welding the moulds made of steel 55 NiCrMoV 6 and X 30 WCrV93, welding by following high productivity procedures is not advisable, but the manual electric welding and WIG welding.

Ciclurile termice care prezintă cea mai redusă influență asupra microstructurii și asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor încercate sunt acele cicluri la care viteza de încălzire are valori mai reduse (sub 25 °C/s), iar viteza de răcire are valori ridicate (peste 50 °C/s). Vitezele mari de răcire nu sunt însă indicate în cazul acestor oțeluri, datorită tensiunilor interne pe care le produc, chiar dacă prezintă avantaje în ceea ce privește finisarea granulației.

Viteza de încălzire a unui punct situat pe suprafața care va fi încărcată prin sudare este cu atât mai mică cu cât câmpul termic se apropie mai încet de punctual considerat și cu cât conductivitatea termică a materialului este mai redusă.

Reducerea vitezei de încălzire pentru un anumit oțel se poate realiza prin reducerea vitezei de sudare la valori minime. În acest caz crește energia liniară, respectiv posibilitatea de supraîncălzire a metalului de bază.

Pentru preîntâmpinarea supraîncălzirilor care pot avea loc în cazul sudării cu viteze reduse de sudare este indicată reducerea energiei liniare, prin reducerea intensității de curent, respectiv a micșorării diametrului electrodului de sudare.

Pericolul de fisurare, care crește în acest caz, poate fi micșorat utilizând preîncălzirea sau încălzirea ulterioară a metalului de bază, prin care viteza de răcire poate fi dirijată între limitele dorite.

Rezultă că în cazul încărcării prin sudare a matrițelor din oțeluri 55 NiCrMoV 6 și X 30 WCrV9 3 nu este indicată sudarea prin procedee de mare productivitate, ci sudarea electrică manuală și sudarea WIG.

## References

1. Miclosi, V., Scorobeti, L. (1982) *Bazele proceselor de sudare (Basics of welding processes)*. Editura Didactică și Pedagogică, București, Romania (in Romanian)
2. Solomon, Gh., Cicic, D. (2009) *Teoria proceselor de sudare. Partea a II-a. (Theory of welding processes. Part II)*. Bren Publishing House, ISBN 978-973-648-905-1, Bucharest, Romania (in Romanian)
3. Machedon, T., Bigioi, O. (2009) *Researches Regarding the Welding of 15NiMn6 Steel Used for Spherical Tanks*. Metalurgia Internațional, ISSN 1582-2214, vol. XIV – 2009, special issue no. 2, p. 159
4. SR EN 876/1997: *Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea la tracțiune longitudinală a metalului depus din îmbinările sudate prin topire (Destructive tests on welds in metallic materials. Longitudinal tensile test on weld metal in fusion welded joints)*. Romanian standard (in Romanian)
5. SR EN 10045/1/1993: *Materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy (Metallic materials. The shock bending trial on Charpy test rods)*. Romanian standard (in Romanian)

Lucrare primită în Septembrie 2013

Received in September 2013