

# TRATAMENTUL TERMIC PENTRU OȚELURILE 20NiCrMo7 ȘI 15NiCr13 FOLOSITE LA CONSTRUCȚIA RULMENȚILOR DE MARI DIMENSIUNI

# HEAT TREATMENT FOR 20NiCrMo7 AND 15NiCr13 STEELS USED ON CONSTRUCTION OF EXTRALARGE BEARINGS

Sorin Adrian BARABAȘ, Eugen Cornel ȘERBAN

Transilvania University of Brasov, Romania

**Rezumat.** Această lucrare prezintă unele aspecte ce apar în procesul tratamentului de carburare al rozelor cave folosite la rulmenții de mari dimensiuni, produse din 20NiCrMo7 și 15NiCr13. Programul folosit este specializat în simularea carburării în atmosferă controlată cu potențiale diferite de carbon. Măsurătorile experimentale ale temperaturii și adâncimii de carburare, în timpul tratamentului termic sunt prezentate și confirmă rezultatele teoretice, validând astfel programul folosit în simulare. Modelul matematic se bazează pe legea transferului de masă și pe legea a II-a a lui Fick, iar algoritmul a fost implementat în Visual C++. Obiectivul acestei cercetări a fost acela de a dezvolta o strategie de control și optimizare a procesului de tratament termic.

**Cuvinte cheie:** carburare, potențial de carbon, rulmenți mari

## 1. Introducere

Reducerea maselor inertiiale la rulmenții mari, folosiți în industria energetică eoliană, conduce atât la economii importante de material, cât și la câștiguri energetice, folosirea rozelor cave devenind astfel un element necesar într-o piață concurențială în care reducerea costurilor și calitatea produselor sunt absolut necesare. De asemenea, aduce contribuții importante în susținerea energiei produse la un nivel constant în condițiile variabilității sursei primare.

Obiectivul acestei lucrări este de a prezenta câteva rezultate obținute în cercetarea tratamentului termic al rozelor cave folosite la rulmenții de mari dimensiuni, ca o soluție a reducerii maselor inertiiale. Folosirea rozelor cave, soluție neconvențională și nouă, permite o viteză mărită și o precizie ridicată a elementelor rulmentului de mari dimensiuni.

Au fost cercetate două tipuri de material cărora li se aplică un tratament termochimic de carburare. Materialele folosite în construcția rozelor sunt oțelurile aliate 15NiCr13 și 20NiCrMo7. Analiza chimică făcută înainte de carburare pentru oțelul 20NiCrMo7 a evidențiat următoarele valori: 0,17 %C, 0,64 %Mn, 0,26 %Si, 0,012 %S, 0,012 %P, 2,03 %Ni, 0,38 %Cr, 0,13 %Mo, 0,07 %Cu. Pentru oțelul 15NiCr13, valorile compoziției chimice sunt 0,16 %C, 0,45 % Mn, 0,40 %Si, 0,03 %S, 3,18

**Abstract:** This paper give an overview to the processes appeared in deep carburizing of elements produced with 20NiCrMo7 and 15NiCr13 steels used in construction of hollow rollers. The used software is specialized to simulate heat treat process of carburizing in controlled atmosphere with different level of carbon potential. Experimental measurement of temperatures and carburizing size, during heat treatment, was made as part of this study and confirm theoretical results to validate the software predictions. Mathematical model is based on mass transfer law and Fick second law and the algorithm was implemented in Visual C++. The objective for this work was to develop a strategy for the process control and optimization of heat treatment process.

**Key words:** carburizing, carbon potential, extralarge bearings

## 1. Introduction

Reduction of inertial mass of the extralarge bearings, used in wind power industry lead to important economy of material and energy income, utilization of hollow roller becoming a necessary element in increased request of the market constituting an useful step to define new technologies and high quality products . Also, bring a serious contribution in energy sustantation at constant level, in various conditions of primary source.

The objective of the paper is to show some of the results of investigation into hollow roller heat treatment as a solution for weight reduction in large bearings construction. The use of hallow rollers has mainly been to achieve high speed, accuracy and low maintenance, also is unconventional and new.

Practicability of hollow rollers in construction of large bearings was examined for two material types aiming deep carburization effect. The used materials are allied steels: 15NiCr13 and 20NiCrMo7. The chemical analysis made before the heat treatment for 20NiCrMo7 dignified the following values: 0,17%C, 0,64%Mn, 0,26%Si, 0,012%S, 2,03%Ni, 0,38%Cr, 0,13%Mo, 0,07%Cu. For 15NiCr13, the chemical composition values are: 0,16%C, 0,45%Mn, 0,40%Si, 0,03%S, 3,18%Ni,

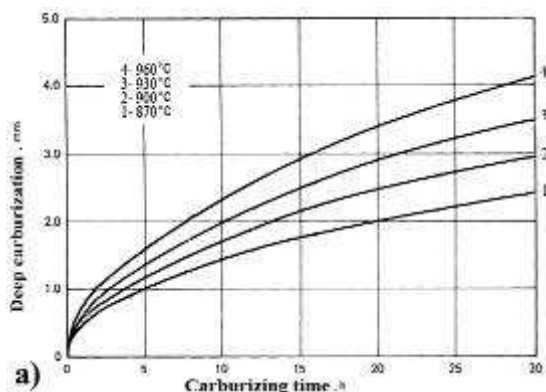
%Ni, 0,72 %Cr.

Modelul simulării optimizează tratamentul termochimic în doi pași, carburarea și difuzia în atmosferă controlată cu potențial diferit de carbon, urmărind mărimea stratului carburat, oferind cercetătorilor posibilitatea de a alege timpul necesar pentru obținerea adâncimii de carburare dorită. Validarea programului este verificată prin măsurători pe epruvete din oțelurile folosite.

## 2. Optimizarea procesului de carburare

Optimizarea procesului de carburare adâncă pentru componentele rulmenților reprezintă un proces de transfer de masă prin difuzia carbonului în oțel, având aspecte teoretice și practice deosebite.

Modelarea inițială a comportării oțelurilor la carburare s-a construit pornind de la ecuația lui Harris[1]. S-au trasat diagramele din Figura1.



0,72%Cr.

The model of this simulation, optimize the thermochemical treatment carburization in two steps, carburizing step and diffusion step in controlled atmosphere with different carbon potentials, aiming the size of carburizing layer and give to the researchers the possibility to choose the time of heat treatment for this. The validation of software is verified by measurements of test bars of the used steels.

## 2. Optimization of carburizing process

The deep carburizing processes optimization for bearings components is an interesting theoretical and practical field-mass transfer process of carbon diffusion in steels.

Initial modeling of carburizing process was based on Harris equations [1]. The result is indicated in Figure 1.

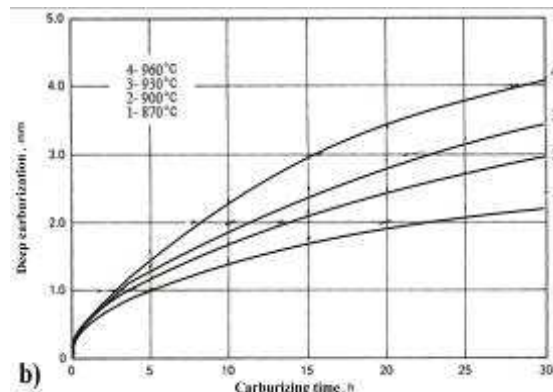


Figura 1. Adâncimea de carburare în funcție de timp și temperatură pentru 20NiCrMo7 (a) și 15NiCr13 (b)

Figure 1. Deep of carburization based on time and temperature for 20NiCrMo7 (a) and 15NiCr13 (b)

În continuare s-a folosit un model complex în care procentul de carbon obținut în stratul carburat se stabilește folosind metoda calculului finit pornind de la legea transferului de masă [2] pentru suprafețe convexe (1, 2) și de la legea a II-a a lui Fick [3]:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta t} \left( D_C \cdot \frac{\delta C}{\delta x} \right) - \frac{D_C}{r-x} \cdot \frac{\delta C}{\delta x}, \quad (1)$$

$$D_C = - \frac{1}{\left( -\frac{1}{x^2} + \frac{1}{x \cdot (r-x)} \right) \cdot t}, \quad (2)$$

unde  $D_C$  este coeficientul de difuzie al carbonului,  $r$  este raza rolei cave, iar  $x$  este adâncimea stratului carburat;

On was applied a complex relational model where the percentage of carbon obtained in carburized layer of steel shall be set using finite element method starting with field-mass transfer law [2] for convex surfaces (1, 2) and the diffusion equation the second Fick's law [3] at limit conditions (3):

where  $D_C$  is diffusion coefficient of carbon,  $r$  is hollow roller radius and  $x$  is deep of measurement to surface carburized;

$$\beta \cdot (C_P - C_S) = -D_C \cdot \frac{\delta C}{\delta x}, \quad (3)$$

unde  $\beta$  este coeficientul transferului de masă,  $C_p$  este potențialul de carbon,  $C_s$  reprezintă concentrația de carbon la suprafață, iar  $C$  reprezintă concentrația de carbon la adâncimea  $x$ , în mm, față de suprafață.

Algoritmul folosit evidențiază influența potențialului de carbon asupra timpului și adâncimii de carburare.

Datele de intrare folosite în algoritmul de calcul sunt: compoziția chimică a oțelului, potențialul de carbon, coeficientul transferului de masă, raza rolei, timpul de menținere în mediul controlat și temperatura acestuia. Pentru obținerea unor rezultate optime se impune atingerea unui anumit procent de carbon la o adâncime dată, funcție de prelucrările de rectificare ulterioare, astfel încât rolele tubulare să prezinte rezistența necesară tensiunilor apărute la încărcarea rulmentului, acoperind în același timp și deformațiile apărute în urma tratamentului termochimic efectuat [4].

În calculul de față s-a ales un procent țintă de carbon de 0,3 % la adâncimea de 2,8 mm. Coeficientul de difuzie  $D_C$  s-a calculat cu relația lui Tibbetts (4):

$$D_{C(\gamma-Fe)} = 0.78 \cdot \exp\left[-\frac{18900}{T} + \left(\frac{4300}{T} - 2.63\right) \cdot C^{1.5}\right], \quad (4)$$

unde  $C$  este procentul de carbon, iar  $T$  reprezintă temperatura absolută.

Modelul matematic este prezentat în Figura 2.

where  $\beta$  represent mass transfer coefficient,  $C_p$  is carbon potential,  $C_s$  is the carbon concentration on surface of roller and  $C$  is the carbon concentration on  $x$ , in mm, from surface.

The algorithm has been used to highlight the gaseous atmosphere carbon potential influence on carburizing time and carbon profile of the case depth. Higher carbon potentials closed to the saturation limit corresponding to the carburizing temperature are used to accelerate the carburizing process.

The entry data are: chemical composition of steel, carbon potential, mass transfer coefficient of steel, the roller radius, time of maintaining in controlled atmosphere and the temperature of this space. For optimal results, is imposed to obtain a controlled percent of carbon to a certain depth, making allowances for rectification processes so that the hollow rollers must be resistant to the load stresses end to the heat treatment [4].

The percentage target of carbon is 0.3 % to a 2.8 mm depth. The diffusion coefficient  $D_C$  is calculated with Tibbetts relation (4):

where  $C$  is the percent of carbon, and  $T$  is the absolute temperature.

The analysis model is presented in Figure 2.

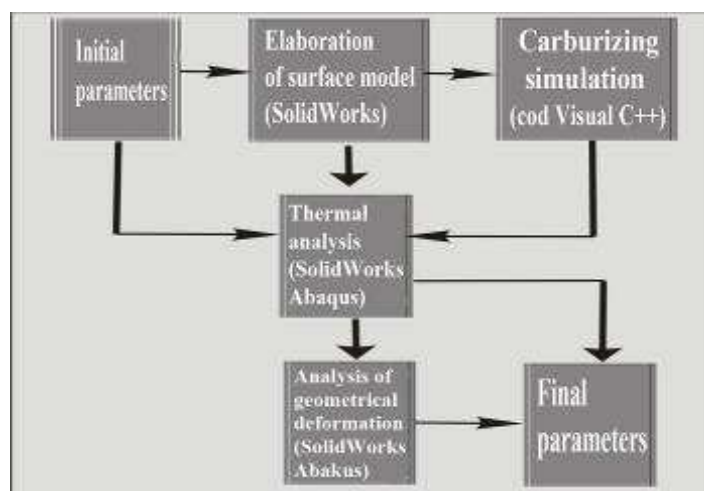


Figura 2. Modelul matematic al analizei geometrice și termice pentru rolele cave  
Figure 2. Mathematical model of geometrical and thermal analysis for hollow rollers

Procesul de cementare se face în două etape, prima etapă cu un potențial de carbon ridicat pentru accelerarea reacției, a doua etapă având un potențial de carbon apropiat de concentrația eutectoidului (0,7-0,8 %). Se urmăresc două ținte: concentrația de

The carburization process is made in two stages, the first with a high carbon potential for acceleration of the reactions, the second having the carbon potential at a level close of the concentration to eutectoid (0.7-0.8 %). Have in view two aims: the

carbon și adâncimea de carburare. Pentru construirea modelului teoretic s-au ales: temperatura  $T = 950^{\circ}\text{C}$ , timpul  $t_I = 35$  h și  $t_{II} = 10$  h, coeficientul transferului de masă  $\beta_I = 2,5 \times 10^{-5}$ , respectiv  $\beta_{II} = 3 \times 10^{-5}$ . În diagrama obținută, calculul curbei II este efectuat folosind ca parametri inițiali valorile rezultate în calculul curbei I [5].

Transferul total de carbon efectuat din atmosfera de carburare către oțel este astfel controlat în limitele procesului în cele două stagii de carburare. Luând în considerare cinetica procesului, rata maximă de carburare se obține atunci când rata de transfer a carbonului din atmosferă către oțel este egală sau mai mare cu rata de difuzie a carbonului în stare solidă.

Considerând potențialul de carbon în etapa a II-a egal cu procentul de carbon la suprafața rolei, iar pătrunderea carbonului făcându-se pe o adâncime de aproximativ 6 mm, programul stabilește valorile optimizate ale curbei II, precum și timpul de menținere în cele două etape.

Atmosfera de carburare determină rata de transfer a carbonului din mediul gazos către suprafața oțelului, deci are cel mai mare efect asupra impulsării carburării în prima fază.

În timpul etapei de difuzie, rata de transfer a carbonului este limitată de difuzia carbonului în austenită, la rândul ei influențată de temperatură și compoziția chimică a oțelului [6, 7].

Așadar, optimizarea procesului de carburare urmărește ca prin asigurarea unei atmosfere îmbogățită în carbon să mărească rata de transfer a carbonului și să asigure potențialul de carbon necesar în timpul etapei de carburare. Viteza de transfer a carbonului este proporțională cu diferența dintre potențialul de carbon al atmosferei de carburare ( $C_p$ ) și concentrația de carbon măsurată la suprafața oțelului ( $C_s$ ) [8]. Analiza microstructurală a epruvetelor dezvăluie un amestec de martensită și austenită reziduală la suprafața carburată și un amestec de martensită și bainită în miez.

Forma curbei S depinde de fiecare parametru inclus în program, iar în cazul de față, pentru aceste epruvete forma este ajustată la valoarea dorită, modificând valoarea adâncimii de carburare și modificarea procentului de carbon. Introducerea acestor valori conduce la trasarea de către program a curbilor de carburare și returnarea unor valori pentru fiecare etapă cu potențiali de carbon diferite. În cazul de față adâncimea de carburare a fost selectată la 2,8 mm, cu o concentrație a carbonului de 0,3 %. Valorile timpului de cementare prescrise de program au fost 35,3 h pentru etapa de

carbon concentration and the depth of the carburization. For the construction of the theoretical model it were selected: temperature  $T = 950^{\circ}\text{C}$ , time  $t_I = 35$  h and  $t_{II} = 10$  h, the coefficient transferring of mass  $\beta_I = 2.5 \times 10^{-5}$ , respectively  $\beta_{II} = 3 \times 10^{-5}$  [5, 6]. In obtained diagram, the calculation of curve II is performed to use as initial parameters the values resulted in calculation of the curve I [5].

Total carbon transfer from the atmosphere to the steel is thus determined by the limiting process, which kinetically becomes the rate controlling stage of carburizing. Considering kinetics of the process, the maximum carburization rate is obtained when the carbon transfer from the atmosphere is equal to or greater than the carbon diffusion rate in the solid state.

Considering the carbon potential in the second stage equivalent with the percentage of the carbon at surface of the roller and the penetration of the carbon making on the depth about 6 mm, the software establishes improved values of the curve II as well as the time of preserving in the two stages.

The carburizing atmosphere determines the rate of carbon transfer from the atmosphere to the steel surface, hence, it has the major effect on the 'boost' stage carburizing.

During the 'diffuse' stage, the rate of carbon transfer becomes limited by the carbon diffusion in austenite which is primarily determined by the carburizing temperature and alloy composition of the steel [6, 7].

Therefore, optimization of the carburizing atmosphere in this work focuses on the enriching gas supply to ensure faster rate of carbon transfer and faster carbon potential evolution during the 'boost' stage carburizing. The driving force for carbon transfer in gas carburizing is proportional to the difference between the carbon potential in the atmosphere ( $C_p$ ) and the steel surface concentration ( $C_s$ ) [8]. Microstructural analysis of the carburized test probe revealed a mixture of martensite and retained austenite near the surface and a mixture of martensite and bainite in the core.

The form of S curve depend by every parameters included in program but in particular, for these test bars, the form is adjusted to a desired value modifying the dictated deep with dictated percent of carbon. Once these conditions are introduced, the program traces the carburizing curves and returns the time values for each stage with different potential of carbon. In this case the value of carburizing deep was selected 2.8 mm with 0.3 %C. The values of time are returned 35.3 h for carburizing stage and 10 h for diffusion stage

carburare și 10 h pentru difuzie (15NiCr13), respectiv 35,7 h și 10,2 h (20NiCrMo7). În figura 3 sunt comparate rezultatele teoretice și experimentale.

(15NiCr13) and 35.7 h respective 10.2 h (20NiCrMo7). In figures 3 is compared the theoretical and experimental results obtained in deep carburizing process with used parameters.

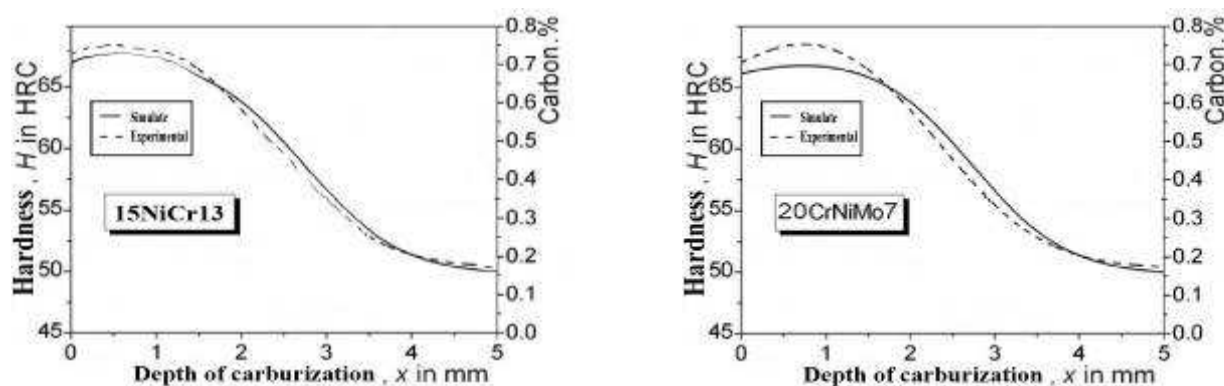


Figura 3. Rezultate teoretice și experimentale pentru oțelurile 15NiCr13 și 20CrNiMo7  
Figure 3. The experimental and theoretical results for 15NiCr13 and 20CrNiMo7 steels

Diferența dintre datele experimentale și cele obținute prin folosirea computerului este în jur de 3 %. Ambele figuri reprezintă rezultatele obținute prin metoda teoretică de simulare numerică și prin metoda experimentală.

Rezultatele experimentale sunt prezentate în tabelul 1.

The difference between the experimental and predicted concentration is within 3 %. The both figures summarized the results obtained by means of the reported theoretical-numerical method and experimental method.

The experimental results are declared in Table 1.

Tabelul 1. Rezultate experimentale  
Table 1. Experimental results

Depth of carburization (mm)	20NiCrMo7		15NiCr13	
	Hardness H (HRC)	Carbon percent (%)	Hardness H (HRC)	Carbon percent (%)
0	66	0.70	67	0.71
0.5	68	0.74	68	0.73
1	66	0.72	67	0.72
1.5	65	0.62	65	0.64
2	64	0.51	63	0.54
2.5	60	0.40	59	0.43
3	55	0.29	56	0.32
3.5	53	0.25	52	0.26
4	50	0.19	50	0.20
4.5	49	0.18	49	0.18
5	48	0.17	49	0.16

## 6. Concluzii

Modelarea numerică conduce la posibilitatea simulării și anticipării privind tratamentul de carburare și procesul de difuzie a carbonului, precum și transformările ce au loc în timpul carburării, face mult mai ușoară achiziționarea de date, ia în considerare parametrii de material și de calitate a procesului și determină în final specificațiile tuturor componentelor procesului de

## 6. Conclusions

The numerical modeling directs to the possibility of simulation and anticipation of the results regarding the heating and diffusion processes and of the transformation in solid state in time of carburization, making easy the achievement of the data banks, the influence of parameters material and of process to the quality of using and finally the designing processes of thermo chemical treatment

carburare. În lucrarea de față a fost prezentat un astfel de model conceput să simuleze tratamentul termochimic de carburare.

Aproximarea folosește pentru modelare variabile termomecanice considerate utile în acest proces, care permit analiza datelor ce prevăd comportarea diferitelor oțeluri în timpul carburării.

Ușurința de a calcula timpul de carburare cu acuratețe și de a proiecta transformările oțelului într-un calcul sau într-o secvență de calcul este cheia previzionării și optimizării tratamentului termochimic de carburare. Succesul previziunii depinde de calitatea datelor de intrare, ce includ proprietăți chimice și termice ale materialului. De asemenea, depinde de modelul matematic al transformărilor, precum și de claritatea tuturor condițiilor apărute în transferul de căldură.

depending specifications of the components. A simplified model developed to simulate heat treatment of metals was presented.

The approximation used to model the thermo mechanical variables was found to be useful in this case who permits to make an initial analysis with a minimal amount of data which may predict the attitude of different steels in time of carburization.

The ability to accurately calculate time and draw the metallurgical transformations in a single calculation or in a sequence of calculations is the key to prediction and optimization of process. Successful prediction depend of the input data who include chemical and thermal properties of the alloy during the heat treat process, the mathematical description of the transformation kinetics, and the accuracy of the heat transfer boundary conditions.

### Acknowledgement

This paper is supported by the Sectoral Operational Programme Human Resources Development (SOP HRD), financed from the European Social Fund and by the Romanian Government under the contract number POSDRU/6/1.5/S/6.

### References

1. Karabelchtchikova, O., Maniruzzaman, M., Sisson, Jr. R.D.: *Carburization Process Modeling and Sensitivity Analysis using Numerical Simulation*. Proc. MS&T, Cincinnati, OH, USA, Sept. 25-28/ 2006, p. 375-386
2. Gegner, J.: *Analytical modeling of carbon transport processes in heat treatment technology of steels*. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Mathematical Modeling and Computer Simulation of Materials Technologies, Ariel, College of Judea and Samaria, 2004, p. 95-106
3. Palaniradja, K., Alagumurthi, N., Soundararajan, V.: *Optimization of Process Variables in Gas Carburizing Process: A Taguchi Study with Experimental Investigation on SAE 8620 and AISI 3310 Steels*. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 29 /2005, p. 279-284
4. Gegner, J.: *Komplexe Diffusionsprozesse in Metallen*. Renningen, expert Verlag, 2006
5. Ferguson, B.L., Li, Z., Freborg, A.M.: *Modeling Heat Treatment of Steel Parts*. Computational Materials Science, 3/2005, p. 274-281
6. Druga, L., Manta, L.: *Optimization of the computerized carburizing process for bearings components with deep case depths*. Metalurgia International, 04/2008, p. 3-7, ISSN 1582-2214
7. Machedon Pisu, T., Țierean, M.H., Baltas, L.: *Aspects concerning the technical diagnosis of material and welding joints of air conditioning tower in cement industry*. Metalurgia International, 05/2010, p. 45-51, ISSN 1582-2214
8. Soica, A.O., Popescu, R.M.: *Reconditioning of metal covered car parts*. Metalurgia International, Special Issue nr.8/2010, p. 37-39, ISSN 1582-2214

Lucrare primită în iunie 2010

Received in June 2010