

MICROSTRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE MECANICE ALE FIERULUI FORJABIL TRATAT TERMIC

*Inginer Dr. Alan Vaško,
Departamentul de Inginerie a Materialelor,
Facultatea de Inginerie Mecanică,
Universitatea Žilina, Univerzitná 8215/1, 010
26 Žilina, Slovacia*

Rezumat: *Lucrarea discută câțiva factori care influențează microstructura și proprietățile mecanice ale fierului forjabil tratat termic. Structura finală și proprietățile fierului forjabil tratat termic sunt obținute prin procesul controlat exact al tratării la cald a fontei cu grafit nodular. Influența condițiilor tratamentului izotermic la cald asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale fierului forjabil tratat termic, în special temperatura diferită a transformării izoterme a austenitei și durata de menținere diferită a acestei temperaturi sunt prezentate în lucrare.*

Cuvinte cheie: microstructura, forjabil, tratament termic

1. INTRODUCERE

Fierul forjabil tratat termic este un material de construcție nou, de perspectivă, cu o combinație excelentă a rezistenței, plasticității și durtății.

Proprietățile speciale ale fierului forjabil tratat termic sunt date de structura unică a matricei care este creată de ferit acicular și austenită reținută.

Literatura tehnică descrie adesea această matrice ca bainită (deși nu conține carburi).

Matricea mai este denumită și microstructură de ausferit (austenită cu conținut mare de carbon + ferit).

Structura fierului forjabil tratat termic este obținută prin procesul controlat exact al tratării la cald a fontei cu grafit

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON

*Alan Vaško, Ing. PhD.,
Department of Material Engineering, Faculty
of Mechanical Engineering, University of
Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina,
Slovakia*

Abstract: *The paper deals with some factors influencing microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron (ADI). Final structure and properties of ADI are obtained by exactly controlled process of heat treatment of nodular cast iron. The influence of conditions of isothermal heat treatment on microstructure and mechanical properties of ADI, especially different temperature of isothermal transformation of austenite and different holding time at this temperature, is shown in the paper.*

Keywords: microstructure, austempered, treatments thermics

1. INTRODUCTION

Austempered ductile iron (ADI) is new, perspective construction material with an excellent combination of strength, plasticity and toughness.

Special properties of ADI are given by unique structure of matrix which is created by acicular ferrite and retained austenite. Technical literature often describes this matrix as bainite (although it does not contain carbides).

The matrix is also referred to as ausferrite microstructure (high carbon austenite + ferrite).

The structure of ADI is obtained by exactly controlled process of heat treatment of nodular cast iron (Fig. 1) [1,2].

nodular (Fig. 1) [1,2].

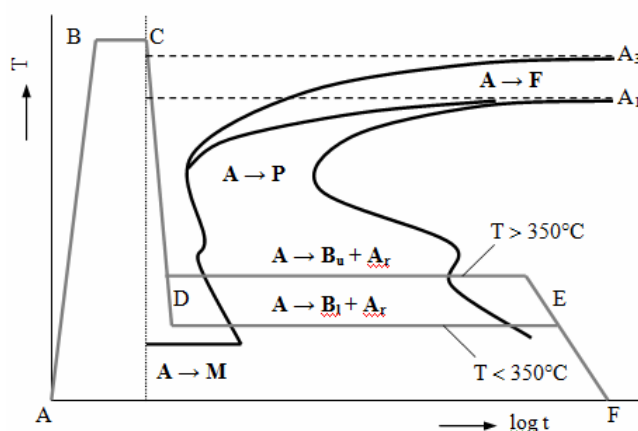


Figura 1. Procesul de tratare izotermică la cald în diagrama transformării izoterme a austenitei

Process of isothermal heat treatment in the diagram of isothermal transformation of austenite

Tratarea izotermică la cald conține următoarele etape:

- Încălzirea la temperatura de austenizare (AB);
- Menținerea temperaturii de austenizare (BC);
- Răcire rapidă la temperatura transformării izoterme a austenitei (CD) astfel încât nicio altă transformare a austenitei să nu se realizeze înainte de a ajunge la temperatura de transformare izotermică;
- Menținerea acestei temperaturi până când austenita este transformată în bainită;
 - Răcirea la temperatura ambientală (EF) care se realizează de obicei pentru a preveni formarea presiunii [3].

Structura finală și proprietățile fierului forjabil tratat termic depind de următorii factorii metalurgici:

- d. *Microstructura fontei cu grafit nodular* – fonta cu grafit nodular trebuie să aibă un grafit nodular perfect cu nodularitate mai mare de 80 % nodulii grafitici mai mari de 150 mm^{-2} și de obicei are o matrice cu granule fine perlită-ferit. Structura trebuie să fie fără carburi, segregare, porozitate și alte defecte de turnare;

The isothermal heat treatment consists of the following stages:

- a) heating to the austenitization temperature (AB);
- b) holding time at the austenitization temperature (BC);
- c) quick cooling to the temperature of isothermal transformation of austenite (CD) so that no other transformation of austenite is carried out before reaching the temperature of isothermal transformation;
- d) holding time at this temperature (DE) until austenite is transformed into bainite;
- e) cooling to the ambient temperature (EF) which is usually realized slowly in order to prevent formation of stress [3].

The final structure and properties of austempered ductile iron are dependent on the following metallurgical factors:

- *microstructure of initial nodular cast iron* – nodular cast iron has to have perfectly-nodular graphite with the nodularity higher than 80 % and the count of graphitic nodules higher than 150 mm^{-2} and it usually has fine-grained pearlite-ferritic matrix. The structure has to be without

- e. *Compoziție chimică de bază* – conținutul de carbon depinde de grosimea peretelui matriței (conținutul de carbon variază între 3.3 % pentru grosimea peretelui de 100 mm până la 3.7 % pentru grosimea peretelui de 5 până la 25 mm, conținutul de silicon este de la 1.9 % pentru grosimea peretelui de 100 mm până la 2.4 % pentru grosimea peretelui de 5 până la 25 mm), conținutul de mangan trebuie să fie mai mic de 0.2 % deoarece cauzează producerea de martensită la granițele granulelor;
- f. *Temperatura de austenizare și menținerea acestei temperaturi* – vor asigura o matrice austenitică omogenă. Temperatura de austenizare este aleasă între 820 și 950 °C în funcție de conținutul de carbon. Temperatura mai mare cauzează o duritate mai mare, temperatura mai scăzută cauzează o mai mare rezistență de rupere la tracțiune și o bună alungire. Durata de menținere a temperaturii de austenizare este de obicei de la 1 la 3 ore și depinde de structura inițială a fontei cu conținut de grafit nodular. Conținutul ridicat de ferit în matrice înainte de tratamentul termic prelungește durata; matricea de perlită necesită o durată mai scurtă decât cea de ferit;
- g. *Rata de răcire la temperatura de transformare izotermică a austenitei* – rata de răcire trebuie să fie suficient de rapidă pentru a preveni producerea de ferit și perlită nedorite;
- h. *Temperatura transformării izotermice a austenitei și durata de menținere a acestei temperaturi* – ambele determină structura finală și proprietățile fierului forjabil tratat termic într-un mod decisiv. Temperatura transformării izotermice este de obicei între 250 și 450 °C. La temperaturi mai mari (350 la 450 °C) este posibil să se obțină fierul forjabil tratat termic cu rezistență și duritate mai mici free carbide, segregation, porosity and other casting defects;
- *basic chemical composition* – the content of carbon and silicon is dependent on the wallthickness of cast (the content of carbon ranges from 3.3 % for the wallthickness of 100 mm up to 3.7 % for the wallthickness of 5 to 25 mm, the content of silicon is from 1.9 % for the wallthickness of 100 mm up to 2.4 % for the wallthickness of 5 to 25 mm), the content of manganese should be lower than 0.2 % because it causes the occurrence of martensite at grains boundaries;
- *austenitization temperature and holding time at this temperature* – they shall insure homogeneous austenitic matrix. The austenitization temperature is chosen in the range from 820 to 950 °C in dependence on the content of carbon. Higher temperature causes higher hardness, lower temperature causes higher tensile strength and good elongation. Holding time at the austenitization temperature is usually from 1 to 3 hours and it depends on an initial structure of nodular cast iron. High content of ferrite in matrix before the heat treatment lengthens the holding time; pearlitic matrix needs shorter holding time than ferritic;
- *cooling rate to the temperature of isothermal transformation of austenite* – a cooling rate has to be quick enough to prevent the occurrence of undesirable ferrite and pearlite;
- *temperature of isothermal transformation of austenite and holding time at this temperature* – they both determine the final structure and properties of ADI in a decisive way. The temperature of isothermal transformation is usually within 250 and 450 °C. At higher temperatures (350 to 450 °C) it is possible to obtain ADI with lower strength and hardness but higher elongation and toughness and better

dar cu alungire mai mare și cu caracteristici mai bune la solicitare. La temperaturi mai scăzute (250 la 350 °C) este posibil să obținem fier forjabil tratat termic, cu rezistență, duritate și rezistență mai mare la abraziune dar cu alungire mai mică. Durata de menținere la temperatura de transformare izotermică a austenitei este între 0.5 și 4 ore când austenita este transformată în bainită superioară sau inferioară;

- i. *Elemente de aliaj* – acestea au o influență puternică asupra calității și proprietăților fierului forjabil tratat termic. Unele dintre ele (de exemplu, cupru, molibden sau nichel) scad rata de răcire critică mutând diagrama transformării izotermice spre dreapta [4,5].

2. MATERIALE ȘI METODE EXPERIMENTALE

Influența condițiilor tratării izotermice la cald asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale fierului forjabil tratat termic a fost analizată în câteva seturi de specimene diferite în temperatura transformării izotermice a austenitei și a duratei acestei temperaturi.

Fonta cu conținut de grafit nodular cu ferit și perlită a fost folosită ca material de bază pentru tratamentul izotermic la cald. Compoziția chimică a materialului de bază este prezentată în Tab. 1.

Temperatura de austenizare a fost 920°C și durata de menținere la această temperatură a fost de 30 minute. Transformarea izotermică a austenitei a fost realizată în baie de sare AS 140 la temperaturile de 420, 380, 320 și 250 °C iar durata de menținere a acestei temperaturi a fost între 30 și 300 minute (cu 30 min.) [6,7].

fatigue characteristics. At lower temperatures (250 to 350 °C) it is possible to get ADI with higher strength, hardness and abrasion resistance but lower elongation and toughness. The holding time at temperature of isothermal transformation of austenite is within 0.5 and 4 hours when austenite is transformed into upper or lower bainite;

- *alloying elements* – they have strong influence on quality and properties of ADI. Some of them (for example copper, molybdenum or nickel) decrease a critical cooling rate by moving the diagram of isothermal transformation of austenite to the right [4,5].

2. EXPERIMENTAL MATERIAL AND METHODS

The influence of conditions of isothermal heat treatment on microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron was searched on several sets of specimens which were different in temperature of isothermal transformation of austenite and holding time at this temperature.

Ferrite-pearlitic nodular cast iron was used as basic material for isothermal heat treatment. Chemical composition of the basic material is presented in Tab. 1.

The austenitization temperature was 920°C and the holding time at this temperature was 30 minutes. The isothermal transformation of austenite was realized in AS 140 salt bath at the temperatures 420, 380, 320 a 250 °C and the holding time at this temperature was from 30 to 300 minutes (by 30 min.) [6,7].

Tabelul 1. Compoziția chimică a materialului de bază
Table 1. Chemical composition of basic material

Element	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni
conținut (masa %)	2.78	4.69	0.49	0.017	0.050	0.92	1.10

Analiza metalografică a speci­menelor de material bazic (după turnare) și a speci­menelor după tratamentul izotermic la cald s-a efectuat la microscopul metalografic ușor Neophot 32. Microstructura a fost evaluată de STN EN ISO 945 (STN 42 0461) și prin analiza imaginii (folosind software Lucia) [8].

Testul de rupere la tracțiune s-a efectuat de către STN EN 10002-1 cu echipamentul de testare ZDM 30 cu capacitatea de încărcare $F = 0$ la 50 kN. Testul de duritate Rockwell s-a efectuat de către STN EN ISO 6508-cu echipament de testare LECO LR-3E cu diamant forțat în speci­mene la sarcina de $F = 1\,471$ N (150 kp). Valorile măsurate ale duri­tății Rockwell au fost transfor­mate în duritate Brinell cu STN EN ISO 18265.

Testele de rezistență la oboseală a fost efectuate de STN 42 0362 la sarcină cu frecvență ridicată sinusoidală ciclică simetrică (frecvența $f \approx 20$ kHz, raportul de sarcină $R = -1$, temperatura $T = 20 \pm 5$ °C) folosind echipament de testare ultrasonic KAUP-ZU și proceduri de testare.

Testele mecanice au fost realizate pe speci­mene din material de bază (după turnare) și material după tratarea izotermică la cald.

3. REZULTATE EXPERIMENTALE

3.1 Analiza metalografică

Din punct de vedere microstructural, materialul de bază (după turnare) este fonta cu conținut de grafit nodular cu ferit și perlită (Fig. 2) cu conținut de 57% ferit într-o matrice, mărimea grafitului între 15 și 60 μm și nodulii grafitici de 205 mm^{-2} . Grafitul

The metallographic analysis of specimens of basic material (after casting) and specimens after isothermal heat treatment was made by the light metallographic microscope Neophot 32. The microstructure was evaluated by STN EN ISO 945 (STN 42 0461) and by image analysis (using Lucia software) [8].

The tensile test was made by STN EN 10002-1 by means of the testing equipment ZDM 30 with loading range $F = 0$ to 50 kN. The Rockwell hardness test was made by STN EN ISO 6508-1 by means of the testing equipment LECO LR-3E with a diamond cone forced into specimens under the load $F = 1\,471$ N (150 kp). The measured values of Rockwell hardness were converted to Brinell hardness by STN EN ISO 18265.

The fatigue tests were made by STN 42 0362 at high-frequency sinusoidal cyclic push-pull loading (frequency $f \approx 20$ kHz, load ratio $R = -1$, temperature $T = 20 \pm 5$ °C) using the ultrasonic testing equipment KAUP-ZU and the testing procedures.

The mechanical tests were realized on specimens made from basic material (after casting) and material after isothermal heat treatment.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1 Metallographic analysis

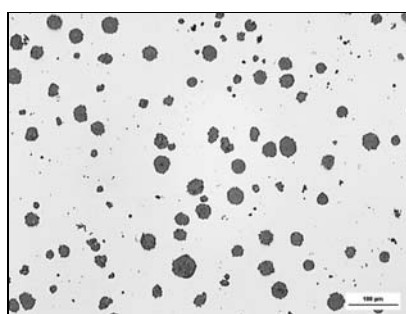
From the microstructural point of view the basic material (after casting) is ferrite-pearlitic nodular cast iron (Fig. 2) with 57% content of ferrite in a matrix, the size of graphite within 15 and 60 μm and count of graphitic nodules 205 mm^{-2} . Graphite occurs only in a perfectly-nodular (80%) and

apare numai în formă perfect nodulară (80%) și imperfect nodulară (20%).

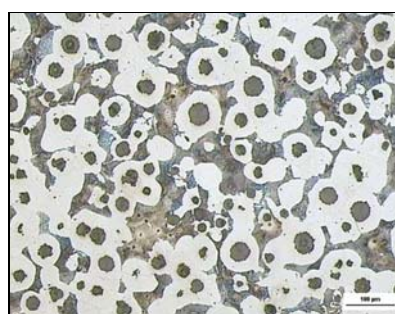
După tratarea izotermică la cald, s-a obținut fier forjabil tratat termic. Specimenele după tratarea izotermică la cald cu temperatura transformării izotermeice a austenitei de 420 și 380 °C au o matrice creată de bainita superioară și austenita reținută (Fig. 3). Specimenele după tratamentul izotermic la cald cu temperatura transformării izotermeice a austenitei de 320 și 250 °C au o matrice creată de bainita inferioară și austenita reținută (Fig. 4). Conținutul austenitei reținute scade ușor odată cu creșterea duratei în toate seturile de specimene. Forma, mărimea și numărul de noduli grafitici din specimene după tratamentul izotermic la cald nu se modifică în comparație cu specimenul materialului de bază (după turnare).

imperfectly-nodular (20%) shape.

After isothermal heat treatment ADI was obtained. The specimens after isothermal heat treatment with the temperature of isothermal transformation of austenite 420 and 380 °C have a matrix created by upper bainite and retained austenite (Fig. 3). The specimens after isothermal heat treatment with the temperature of isothermal transformation of austenite 320 and 250 °C have a matrix created by lower bainite and retained austenite (Fig. 4). The content of retained austenite is slightly decreased with increasing holding time in all sets of specimens. The shape, size and count of graphitic nodules in the specimens after isothermal heat treatment are not changed in comparison with the specimen of basic material (after casting).



a) necorodat



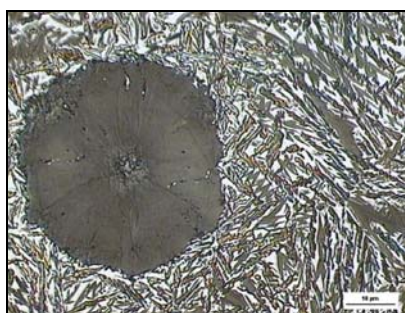
b) corodat cu 3 % Nital + acid pikric

Figura 2. Microstructura materialului de bază (după turnare) – fontă cu grafit nodular cu ferită și perlită

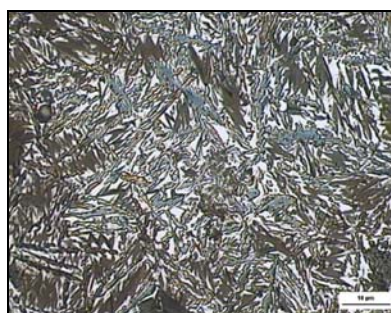
a) non-etched

b) etched by 3 % Nital + pikric acid

Figure 2. Microstructure of basic material (after casting) – ferrite-pearlitic nodular cast iron



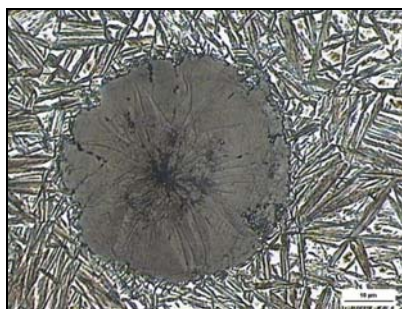
a) corodat cu 3 % Nital



b) corodat cu Klemm I

a) etched by 3 % Nital b) etched by Klemm I

Figura 3. Microstructura speciemenelor după tratarea izotermică la cald – $380^{\circ}\text{C}/60'$, Fier forjabil tratat termic – matricea creată de bainita superioară și austenita reținută
Figure 3. Microstructure of specimens after isothermal heat treatment – $380^{\circ}\text{C}/60'$, ADI – matrix created by upper bainite and retained austenite



a) corodat cu 3 % Nital



b) corodat cu Klemm I

Figura 4. Microstructura speciemenelor după tratarea izotermică la cald – $320^{\circ}\text{C}/60'$, Fier forjabil tratat termic – matricea creată de bainita inferioară și austenita reținută

a) etched by 3 % Nital

b) etched by Klemm I

Figure 4. Microstructure of specimens after isothermal heat treatment – $320^{\circ}\text{C}/60'$, ADI – matrix created by lower bainite and retained austenite

3.2 Proprietăți mecanice

Modificările în microstructura speciemenelor după tratarea izotermică la cald au cauzat o modificare a proprietăților mecanice.

Rezistența la ruperea de tracțiune a materialului de bază (fonta cu grafit nodular cu ferit și perlită) este de 711 MPa, duritatea materialului de bază este 250 HB. Tratarea izotermică la cald a indus o îmbunătățire considerabilă a rezistenței de rupere la tracțiune și duritate în comparație cu materialul de bază. Rezistența de rupere la tracțiune și duritatea speciemenelor după tratamentul izotermic la cald au crescut odată cu scăderea temperaturii transformării izotermice a austenitei (Tab. 2). Duritatea scade cu creșterea duratei de menținere a temperaturii transformării izotermice a austenitei în toate seturile de specimene (Fig. 5).

Rezistența la oboseală a materialului de bază este aproximativ 390 MPa. Tratarea izotermică la cald a indus o scădere a

3.2 Mechanical properties

The changes in microstructure of specimens after isothermal heat treatment caused a change in mechanical properties.

Tensile strength of the basic material (ferrite-pearlitic nodular cast iron) is 711 MPa, hardness of the basic material is 250 HB. The isothermal heat treatment induced considerable improvement of tensile strength and hardness in comparison with the basic material. The tensile strength and hardness of the specimens after isothermal heat treatment are increased with a decreasing temperature of isothermal transformation of austenite (Tab. 2). The hardness is decreased with an increasing holding time at the temperature of isothermal transformation of austenite in all sets of specimens (Fig. 5).

Fatigue strength of the basic material is about 390 MPa. The isothermal heat treatment induced a decrease of fatigue properties in comparison with the basic material. Fatigue endurance of the specimens after isothermal heat treatment is decreased

proprietăților de oboseală în comparație cu materialul de bază. Rezistența la oboseală a specimenelor după tratamentul izotermic la cald scade cu scăderea temperaturii transformării izoterme a austenitei.

with a decreasing temperature of isothermal transformation of austenite.

Tablelul 2. Proprietățile mecanice ale specimenelor alese
Mechanical properties of chosen specimens

Specimen	Matricea	R _m (MPa)	HB	σ _c (MPa)
Materialul de bază	ferit + perlită	711	250	390
420 °C/ 60'	bainită superioară + austenită reținută	980	474	378
380 °C/ 60'		1040	495	361
320 °C/ 60'	bainită inferioară + austenită reținută	1164	492	328
250 °C/ 60'		1551	530	276

Creșterea rezistenței de rupere la tracțiune și durității odată cu scăderea temperaturii transformării izoterme a austenitei este cauzată de modificarea matricei de la bainita superioară la bainita inferioară. Scăderea rezistenței la oboseală cu scăderea temperaturii transformării izoterme a austenitei se datorează aceleiași modificări a microstructurii.

The increase of tensile strength and hardness with a decreasing temperature of isothermal transformation of austenite is caused by a change of matrix from upper bainite to lower bainite. The decrease of fatigue strength with a decreasing temperature of isothermal transformation of austenite is due to the same change of microstructure.

Valorile măsurate ale rezistenței de rupere la tracțiune, ale durității și rezistenței la oboseală corespund rezultatelor experimentelor similare din străinătate, de exemplu [9,10].

The measured values of tensile strength, hardness and fatigue strength correspond to results of similar experiments abroad, for example [9,10].

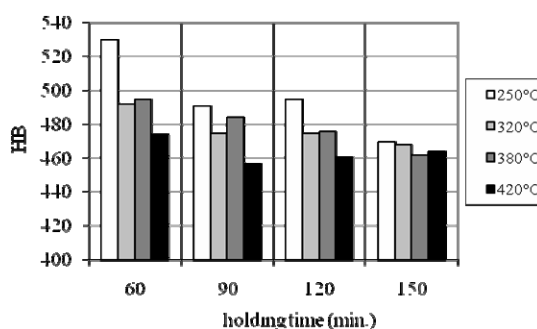


Figura 5. Influența temperaturii transformării izoterme a austenitei și durata de menținere a acestei temperaturi la duritatea Brinell

Influence of temperature of isothermal transformation of austenite and holding time at this temperature on Brinell hardness

4. CONCLUZII

Microstructura finală și proprietățile mecanice ale pieselor turnate ale fierului forjabil tratat termic depind marcant de temperatura transformării izotermice a austenitei și de durata de menținere a acestei temperaturi. Influența lor asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale fierului forjabil tratat termic pot fi rezumate după cum urmează:

- j. Specimenele cu temperatură mai ridicată a transformării izotermice a austenitei au matricea creată de bainita superioară și austenita reținută, iar speci­me­nele cu temperatură mai scăzută a transformării izotermice a austenitei au matricea creată de bainita inferioară și austenita reținută;
- k. Conținutul de austenită reținută scade cu creșterea duratei de menținere a temperaturii transformării izotermice;
- l. Forma, dimensiunea și numărul nodulilor grafitici nu se modifică în funcție de temperatura transformării izotermice a austenitei și în funcție de durata de menținere a acestei temperaturi;
- m. Rezistența de rupere la tracțiune și duritatea specimenelor cresc odată cu scăderea temperaturii transformării izotermice a austenitei, dar alungirea scade;
- n. Duritatea specimenelor scade odată cu creșterea temperaturii transformării izotermice;
- o. Rezistența la oboseală scade odată cu scăderea temperaturii transformării izotermice a austenitei.

MULȚUMIRI

Această lucrare a fost sprijinită de Agenția pentru Grant Cultural și Educațional a Ministerului Educației din Republica Slovacă, grant No. 3/6078/08 *Crearea unei laborator și a unor manuale pentru predarea*

4. CONCLUSIONS

Final microstructure and mechanical properties of casts from ADI are markedly dependent on the temperature of isothermal transformation of austenite and holding time at this temperature. Their influence on the microstructure and mechanical properties of ADI can be summarized in following points:

- the specimens with higher temperature of isothermal transformation of austenite have the matrix created by upper bainite and retained austenite and the specimens with lower temperature of isothermal transformation of austenite have the matrix created by lower bainite and retained austenite;
- the content of retained austenite is decreased with increasing holding time at the temperature of isothermal transformation;
- the shape, size and count of graphitic nodules are not changed in dependence on the temperature of isothermal transformation of austenite and in dependence on the holding time at this temperature;
- the tensile strength and hardness of the specimens are increased with decreasing temperature of isothermal transformation of austenite, but the elongation and toughness is decreased;
- the hardness of the specimens is decreased with increasing holding time at the temperature of isothermal transformation;
- the fatigue strength is decreased with decreasing temperature of isothermal transformation of austenite.

ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by the Cultural and Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic, grant No. 3/6078/08 *Creation of a laboratory and textbooks for the teaching of*

disciplinei „Proprietăți și utilizări a materialelor”.

the subject “Properties and use of materials”.

BIBLIOGRAFIE

- Dorazil, E.: Fierul forjabil tratat termic – ADI, Slevarenstvi, Vol. 41, 4/1993, p. 181-183. (in cehă).
- Skočovský, P., Bokůvka, O., Konečná, R., Tillová, E.: Știința materialelor pentru specializarea de inginerie mecanică, EDIS Žilina, 2006. (in slovacă).
- Skočovský, P., Podrábský, T.: Fonta cu grafit nodular, EDIS Žilina, 2005. (in slovacă).
- Gedeonová, Z., Jelč, I.: Metalurgia fontei, HF TU Košice, 2000. (in slovacă).
- Věchet, S., Kohout, J., Klakurková, L.: Proprietățile de oboseală a fierului forjabil tratat termic în funcție de temperatura de transformare, Știința Materialelor (Medziagotyra), Vol. 14, 4/2008, p. 324-327.
- Vaško, A., Kopas, P.: Influența condițiilor tratării izotermice la cald asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale fierului forjabil tratat termic (ADI), In: TRANSCOM 2007, Secțiunea 6, Žilina, 2007, p. 255-258.
- Kopas, P., Hanzlíková, K., Zapletal, J., Vaško, M.: Influența tratării la cald și compoziției chimice asupra proprietăților chimice a fierului forjabil tratat termic, In: Nekonenčné technológie 2006, Žilina, 2006, p. 1/18-9/18. (in slovacă).
- Skočovský, P., Vaško, A.: Evaluarea cantitativă a structurii fontelor, EDIS Žilina, 2007. (in slovacă).
- Salman, S., Findik, F., Topuz, P.: Efectele diverselor temperaturi de tratare termică asupra proprietăților de oboseală a fierului forjabil, [Materials and Design](#), Vol. 28, 7/2007, p. 2210-2214.

REFERENCES

- Dorazil, E.: Austempered ductile iron – ADI, Slevarenstvi, Vol. 41, 4/1993, p. 181-183. (in Czech).
- Skočovský, P., Bokůvka, O., Konečná, R., Tillová, E.: Material science for specializations of mechanical engineering, EDIS Žilina, 2006. (in Slovak).
- Skočovský, P., Podrábský, T.: Graphitic cast irons, EDIS Žilina, 2005. (in Slovak).
- Gedeonová, Z., Jelč, I.: Metallurgy of cast irons, HF TU Košice, 2000. (in Slovak).
- Věchet, S., Kohout, J., Klakurková, L.: Fatigue properties of austempered ductile iron in dependence of transformation temperature, Materials Science (Medziagotyra), Vol. 14, 4/2008, p. 324-327.
- Vaško, A., Kopas, P.: Influence of conditions of isothermal heat treatment on microstructure and mechanical properties of austempered ductile iron (ADI), In: TRANSCOM 2007, Section 6, Žilina, 2007, p. 255-258.
- Kopas, P., Hanzlíková, K., Zapletal, J., Vaško, M.: Influence of heat treatment and chemical composition on mechanical properties of ADI, In: Nekonenčné technológie 2006, Žilina, 2006, p. 1/18-9/18. (in Slovak).
- Skočovský, P., Vaško, A.: Quantitative evaluation of structure of cast irons, EDIS Žilina, 2007. (in Slovak).
- Salman, S., Findik, F., Topuz, P.: Effects of various austempering temperatures on fatigue properties in ductile iron, [Materials and Design](#), Vol. 28, 7/2007, p. 2210-2214.