

ALEGEREA OȚELURILOR PENTRU ROȚI DINȚATE CEMENTATE

STEEL SELECTION FOR CASE-HARDENED STEEL GEARS

Eugen Cornel ȘERBAN

„Transilvania” University of Brasov, Romania

Rezumat. Având în vedere că majoritatea avariilor roților dințate se datorează ruperilor la oboseala de încovoiere, alegerea oțelurilor pentru angrenaje cementate se face pornind de la acest criteriu. În lucrare sunt prezentate unele aspecte privind alegerea oțelurilor pentru roți dințate cementate pe baza criteriului de rezistență la oboseala de încovoiere.

Rezistența la oboseala a unui oțel cementat și călit depinde foarte mult de starea de tensiuni reziduale, adică acele tensiuni „înghețate” care se găsesc într-o piesă cementată și călită.

Cuvinte cheie: roți dințate cementate, călire, tensiuni, alegerea oțelurilor

1. Introducere

În literatura de specialitate se întâlnește o mare varietate de metode de calcul al angrenajelor la ruperea dintelui prin oboseala, care diferă atât prin ipotezele de calcul admise cât și prin rezistențele admisibile, coeficienții de siguranță, coeficienții dinamici și de repartizare a sarcinii, prin introducerea unor coeficienți speciali etc.

Cauza principală a acestei mari diversități trebuie atribuită pe de o parte complexității acestui organ de mașină, iar pe de altă parte cercetărilor teoretice și experimentale ale capacității portante a angrenajelor, pornind de la diferite valori ale rezistențelor admisibile și ale coeficienților de siguranță cu care au fost determinate rezistențele admisibile. Dacă pentru roțile dințate, îmbunătățite sau călite pătruns, valorile rezistenței la oboseală sunt date cu o bună aproximație în literatura de specialitate, nu același lucru este valabil și pentru oțelurile de cementare, unde valorile „sunt approximate” în funcție de experiența proiectantului sau a firmei respective. Dacă proiectantul nu este limitat de spațiu, greutate sau preț de cost, el poate supradimensiona angrenajul pentru a evita necesitatea unei calități de oțel bune.

În contextul actual, de cele mai multe ori, fie costul excesiv, fie prescripțiile impuse determină alegerea materialului „cel mai economic” pentru care sunt obținute performanțele cerute.

Oțelurile de cementare combină maximum de duritate superficială și rezistența la uzură cu tenacitatea în miez și rezistența la șocuri.

Abstract. Having in view that the most damages of gears are due to fatigue breakdown (rupture) and bending, steel selection for case-hardened gears is achieved by starting from this criterion. Within this paper, several aspects concerning steel selection for case-hardened gears, on grounds of bending fatigue breakdown criterion.

Endurance strength of case-hardened and hardened steel depends a lot on the induced residual tension state, i.e. those “frozen” voltages existing within a case-hardened and hardened item.

Keywords: case-hardened gears, hardening, stresses, steel selection

1. Introduction

Specialty literature presents a large variety of calculation methods for gears based on bending fatigue stress, differing both by the admitted calculation hypotheses and permissible strengths, safety factor, coefficients of impact and load distribution, by introducing some special coefficients, etc.

Main reason of this high diversity has to be assigned, on the one hand, to the complexity of this machinery and on the other hand, to the theoretic and experimental researches concerning carrying capacity of gears, starting from different permissible strengths and safety factor values for which permissible strengths have been determined. If for improved, or depth hardened gears the values of fatigue strength are given within the specialty literature with a good approximation, this is not valid for case-hardened steels too, where the values “are approximated” according to the designer or the respective company’s experience. If the designer is not limited by space, weight or price, for avoiding the need of a good metallurgical steel quality, he may oversize the gear.

In the present context, in the most of situations, either excessive costs or imposed specifications determine the selection of “the most economic” material, leading to the required performances.

Case-hardened steel combines maximal surface hardness and wear hardness with core tenacity and impact resistance.

Conținuturi mai mici de carbon asigură plasticitatea maximă, în timp ce conținuturi mai ridicate de carbon asigură o duritate mai mare în miez. Trebuie precizat, totuși, că proprietățile de utilizare a miezului și stratului cementat sunt determinate de tipul tratamentului termic aplicat.

Având în vedere că majoritatea avariilor roților dințate se datorează ruperilor la oboseala de încovoiere, alegerea oțelurilor pentru angrenaje cementate se face pornind de la acest criteriu.

2. Condiții de utilizare a criteriului

Alegerea mărcii de oțel în funcție de rezistența la oboseală se face în două situații:

- dacă nu este necesară o capacitate de încărcare maximă, criteriul de bază este duritatea în strat, urmărindu-se obținerea unei durități de maximum 57 HRC, ceea ce ar corespunde unei bune rezistențe la oboseala de încovoiere. Pentru aceasta, având în vedere tipul piesei, (roata dințată sau pion), modul de răcire și modulul danturii, se poate determina viteza de răcire (figura 1), în funcție de care se poate alege marca oțelului pentru un anumit conținut de carbon din stratul superficial și modul de călire (călire directă sau dublă) conform tabelului 1.

Lower carbon contents assure a maximal plasticity, while higher carbon contents assure higher core hardness. It has been mentioned that using properties of the core and case-hardened sheet are determined by the applied heat treatment.

Having in view that the most gear failures are due to bending fatigue breakdown, steel selection for case-hardened gears starts from this criterion.

2. Conditions of using the criterion

Steel trademark selection according to the bending-stress durability may be made in two situations:

- if a maximal loading capacity is needed, basic criterion is the sheet hardness, having in view the obtaining of a minimal hardness of 57 HRC, which corresponds to a good bending-stress durability. Therefore, having in view the item type (gear or pinion), cooling manner and toothing module, the cooling rate (figure 1) may be determined according of which, the steel trademark, for a certain carbon content of the surface layer and hardening manner (direct or double hardening) may be determined, according to table 1;

Tabelul 1. Alegerea mărcii de oțel pentru un anumit conținut de carbon din stratul superficial și modul de călire (călire directă sau dublă) în funcție de viteza de răcire

Table 1. The selection of the steel type for a certain carbon content in the superficial layer and in the hardening mode (direct or double hardening) function the cooling rate

Direct hardening			Double hardening		
20Mn10	20Mn10	20Mn10	20Mn10	20Mn10	20Mn10
15CO8	15CO8	15CO8	15CO8	15CO8	15CO8
18MnCr10	18MnCr10	18MnCr10	21TiMnCr12	21TiMnCr12	21TiMnCr12
16CrMn12	16CrMn12	16CrMn12	21TiMnCr12	21TiMnCr12	21TiMnCr12
16CrMn12	16CrMn12	16CrMn12	21TiMnCr12	21TiMnCr12	21TiMnCr12
21TiMnCr12	21TiMnCr12	21TiMnCr12	12CrMo12	12CrMo12	12CrMo12
21TiMnCr12	21TiMnCr12	21TiMnCr12	12CrMo12	12CrMo12	12CrMo12
12MoMnCr13	12MoMnCr13	12MoMnCr13	20CrNi15	20CrNi15	20CrNi15
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	20MoNi35	20MoNi35	20MoNi35
18MoCrNi13	18MoCrNi13	18MoCrNi13	20MoNi35	20MoNi35	20MoNi35
17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6	20MoNi35	20MoNi35	20MoNi35
17CrNiMo6	17CrNiMo6	17CrNiMo6	20MoNi35	20MoNi35	20MoNi35
20MoNi35	20MoNi35	20MoNi35	13CrNi30	13CrNi30	13CrNi30

- în cazul în care este necesară o capacitate de încărcare maximă a angrenajului, iar condițiile de

- if a maximal loading capacity of the gear is needed and stress conditions are special ones, steel

solicitare sunt deosebite, alegerea mărcii din oțel este mult mai complexă și are în vedere mai mulți factori, dintre care amintim: influența compoziției chimice, a modului de elaborare, influența incluziunilor, a temperaturii de tranziție, etc.

trademark selection is much more complex and has in view several factors, such as: influence of chemical composition, smelting manner, influence of inclusions, of transition temperatures etc.

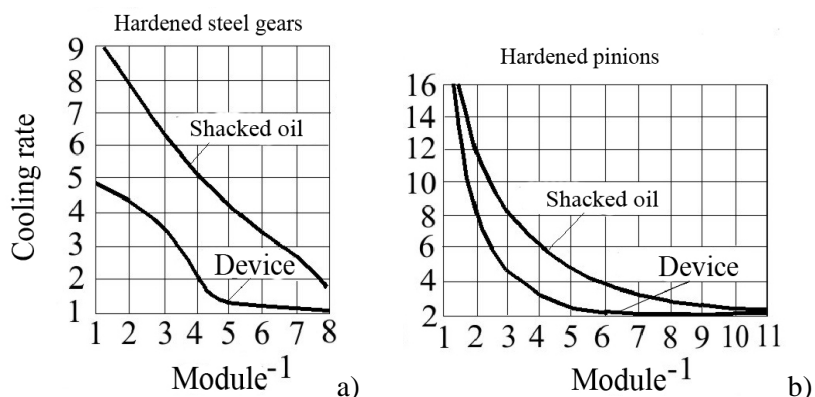


Figura 1. Determinarea vitezei de răcire în funcție de modul de răcire și de modulul danturii: a) roată dințată; b) pinion.
Figure 1. Cooling rate determination according to the cooling manner and toothing shape: a) gear; b) pinion

Unul dintre factorii care influențează foarte mult rezistența la oboseală a angrenajelor este starea de tensiuni remanente, care la rândul ei este determinată de marca de oțel și de condițiile tehnologice.

One of the factors very much influencing gear fatigue is the state of residual tension which, at its turn, is determined by the steel trademark and technological conditions.

3. Stări de tensiune obținute prin cementare și călire

Rezistența la oboseala a unui oțel cementat și călit depinde foarte mult de starea de tensiuni reziduale, adică acele tensiuni „înghețate” care se găsesc într-o piesă cementată și călită.

În cazul cel mai general, conform figurii 2, într-o epruvetă cu concentrator pentru încercarea la oboseala de încovoiere rotativă putem distinge următoarele tensiuni reziduale:

3. Induced stress resulted from case-hardening and hardening

Endurance strength of case-hardened and hardened steel depends a lot on the induced residual tension state, i.e. those “frozen” voltages existing within a case-hardened and hardened item.

In the most general case, according to figure 2, in a concentrator proof sample for the rotating bending-stress durability, the following residual tensions may be distinguished:

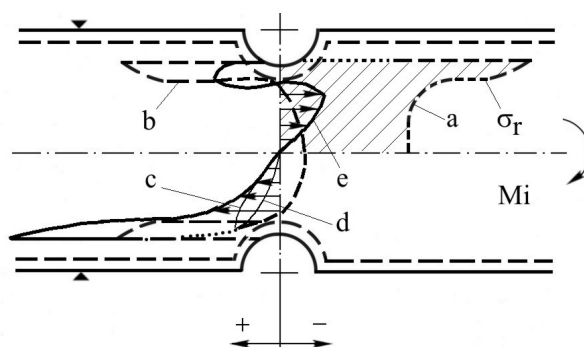


Figura 2. Tensiuni reziduale într-o epruvetă cu concentrator pentru încercarea la oboseala de încovoiere rotativă
Figure 2. Residual tensions in a concentrator proof sample for rotating bending stress durability testing

- tensiuni pur structurale;
- tensiuni datorate variației conținutului de carbon în stratul cementat (a);
- tensiuni termice și structurale (b);
- tensiuni mecanice.
- pure structural voltages
- voltages due to carbon content variation in the case-hardened layer (a)
- thermal and structural voltages (b)
- mechanical voltages.

Dintre cele patru tipuri de tensiuni, numai tensiunile termice și structurale depind de marca de oțel, celelalte fiind pur tehnologice. Valoarea tensiunilor termice și structurale depinde de valoarea raportului tensiunilor structurale și tensiunilor termice, care la rândul lor depind de următorii factori:

- o difuzivitate termică cât mai mare;
- o variație puternică a curbei $HV = f(\Delta t^{700} 300)$;
- o dilatare termică mare;
- o valoare ridicată a temperaturii (Ms);
- geometria și dimensiunile piesei etc.

Deoarece tensiunile remanente nu pot depăși limita de curgere, ele pot fi cu atât mai mari cu cât limita de curgere este mai mare. De precizat că, dacă limita de curgere scade rapid cu temperatura, valoarea tensiunii remanente va fi mai mică, deoarece materialul se poate „adapta” prin curgere plastică chiar în timpul călirii.

Prin urmare, duritatea din miezul unui dinte poate să îmbunătățească comportarea la oboseală a unui angrenaj sau nu, în funcție de factorii amintiți, dar ridică în general capacitatea de încărcare în domeniul durabilității limitate și scade rezistența la solicitarea dinamică.

4. Tendințe și preocupări privind creșterea rezistenței la oboseala de încovoiere

Din punctul de vedere al preocupărilor în vederea adaptării tehnologiilor și condițiilor de tratament, în Europa o mare atenție se acordă nivelului de tensiuni introduse în piesa tratată atât în privința deformațiilor cât și în ceea ce privește creșterea durabilității.

În S.U.A., acest aspect este neglijat, acordându-se o atenție deosebită mai ales uzurii la rodare, care asigură adaptarea suprafețelor.

În Japonia, mai ales prin aplicarea tratamentelor termice la temperatura joasă, se obține o importantă stare de tensiuni reproductibilă și controlabilă, asociată cu o deformație la tratamentul termic, practic neglijabilă [1, 2]. Adâncimile straturilor cementate sunt apreciabil mai mici față de situațiile similare din Europa și S.U.A. și sunt compensate de o duritate superficială foarte ridicată (min. 62 HRC) și o execuție la un înalt grad de precizie.

În Rusia, continuă a se utiliza oțeluri cu înalt grad de aliere, care asigură o bună rezistență la oboseală. Adâncimile straturilor cementate sunt în general cu mult mai mari, dar prezintă o duritate superficială cu mult mai mică (54 ÷ 58 HRC), obținută prin revenire, ceea ce asigură o bună rodare și deci o bună adaptare a suprafețelor.

Out of the four voltage-types, only thermal and structural voltages are depending on the steel trademark, the other voltages being pure technological ones. Thermal and structural voltage values depend on the structural – thermal voltages ratio, which on their turn depend on the following factors:

- thermal diffusivity as high as possible;
- a strong variation of the curve $HV = f(\Delta t^{700} 300)$;
- a high thermal extension;
- a high temperature value (Ms);
- the item's geometry and sizes, etc.

Because residual tensions may not exceed the yield point, they may be just as large as the yield point is higher. It is to remark that if the yield point fast decreases with the temperature, the value of residual tension will be lower, because the material may “adapt” by plastic yield (flow) even during hardening.

Consequently, the hardness of teeth may improve or not the behavior to stress of a gear, according to the above mentioned factors, but, generally increases loading capacity on the limited durability field and decreases resistance to dynamic loading.

4. Trends and concerns for increasing bending-stress durability

From the point of view of the concern for adapting treatment technologies and conditions, in Europe a high attention is paid to the levels of voltages induced within a treated item both concerning strains and durability increases.

In the U.S.A. this aspect is neglected, paying special attention to lapping wear, which assures surface adaptations.

In Japan especially by applying heat treatments at low temperature, an important state of tensions, repeatable and controllable, associated to a practical negligible deformation during heat treatment [1, 2]. The thickness of case-hardened layers is much lower than similar in Europe and U.S.A. and it is compensated by a very high surface hardness (min. 62 HRC) and with an execution of high accuracy.

In Russia there goes on to use high degree alloyed steels, providing a good fatigue resistance. Case-hardened layers depths are generally much higher, but present a much lower hardness (54 ÷ 58 HRC), obtained by tempering, this providing a good lapping wear, thus a good surface adaptation.

Prin urmare, stării de tensiuni remanente nu i se acordă aceeași atenție pretutindeni, problema creșterii rezistenței la oboseala de încovoiere fiind soluționată pe căi diferite.

5. Influența stării de tensiuni asupra comportării angrenajelor în exploatare

Încercările efectuate au urmărit influența stării de tensiune remanentă asupra caracteristicilor mecanice de utilizare a angrenajelor cementate din 18MoCr10, STAS 791-80.

Valoarea stării de tensiune remanentă a fost determinată pe epruvete cilindrice pe baza criteriului de similitudine [3] cu metoda Sachs-Mesnager [4].

Folosindu-se epruvete pentru oboseala cu concentrator și lise și epruvete pentru reziliențe cementate și călite pentru care s-a urmărit obținerea unei stări de tensiune ridicate (min. 300 N/mm²), s-a constatat atât o creștere a rezistenței la oboseala de încovoiere, cât și o creștere a „rigidității” acestora.

Solicitările din domeniul de rezistență nelimitate (107 cicluri) arată o creștere importantă a rezistenței la oboseala, fiind cu 25 ÷ 30% superioare epruvetelor detensionate considerate ca etalon, și prezintă o bună grupare a rezultatelor.

La solicitările din domeniul rezistenței limitate, domeniu ce prezintă interes pentru angrenajele cutiilor de viteză, se constată în general aproximativ aceeași creștere, dar crește împrăștierea rezultatelor mai ales pentru epruvetele cu concentrator.

În domeniul solicitărilor aligociclice, rezistența la oboseala de încovoiere prezintă avantaje pentru anumite variante de tratament pentru epruvetele lise și nu îmbunătățește sau chiar micșorează rezistența la oboseala de încovoiere a epruvetelor cu concentrator.

Având în vedere că domeniul solicitărilor aligociclice caracterizează cel mai bine comportarea angrenajelor la solicitări cu șocuri și suprasarcini, au fost făcute determinări privind tenacitatea materialului în stare cementată și călită.

Rezultatele încercărilor efectuate au permis să se facă următoarele observații:

- creșterea adâncimii de cementare duce la creșterea rezistenței la oboseala de încovoiere rotativă, dar scade portanta și suprasarcina dinamică. Acesta este rezultatul creșterii tensiunilor datorate variației conținutului de carbon din stratul cementat;
- creșterea durității miezului și stratului cementat, printr-o călire energetică corespunzătoare vitezei de răcire la 3 ÷ 5 mm de capătul probei Jominy, duce la creșterea rezistenței la oboseala de încovoiere, dar scade în proporție cu mult mai mare suprasarcina dinamică. Aceasta poate fi atribuită efectului

Consequently not everywhere in the world, the same attention is paid to residual tension, the question of increasing bending-stress durability being solved on different ways.

5. Influence of the tension state on the behavior in service of gears

The tests carried out have studied the influence of the residual tension state on the mechanical using features of case-hardened gears made of 18MoCr10, STAS 791-80.

The value of residual tension has been determined on cylindrical proof samples, on grounds of the similitude criterion [3] by the Sachs-Mesnager method [4].

By using the concentrator test sample for stress and bars and proof samples for case-hardened and hardened resilience, having in view to obtain a high tension (min. 300 N/mm²), both an increase of bending-stress durability and an increase of their “rigidity” has been observed.

Loads from the field of unlimited stresses (10⁷ cycles) are showing important increases of durability stress, being at 25 ÷ 30% higher to the tension released proofs, considered as gauges, presenting a good grouping of results.

For loads on the field of limited resistances, field presenting interest for gears of gear boxes, generally, approximately the same increase is found out, but scattering of results increases, especially for concentrator proof samples.

On the field of aligo-cyclic loading, bending-stress durability presents advantages for certain treatment variants for bar proof samples, not ageing, or even reducing the bending-stress durability of concentrator proof samples.

Having in view that the field of aligo-cyclic loads feature in the best way gears behavior to impacts and overloads, tests concerning material tenacity in case-hardened and hardened state have been carried out.

Test results allowed make following considerations:

- increase in hardening depth leads to increase in rotating bending-stress durability, but reduces the carrying capacity and dynamic overload. This results in tension increase due to the carbon content variation in the case-hardened layer;
- increase in core and case-hardened layer resistance, by using a strong hardening, according to cooling rates of 3 ÷ 5 mm at the end of Jominy’s test, leads to bending-stress durability increase, but dynamic overload decreases in a much higher proportion. This may be done to the favorable

favorabil al creșterii limitei de curgere pe toată secțiunea epruvetei asupra rezistenței la oboseala și scăderii corespunzătoare a tenacității;

- scăderea durtății miezului, pentru aproximativ același conținut de carbon din miez și aceeași adâncime de strat cementat, duce la o scădere importantă a rezistenței la oboseala, asociată cu o creștere pronunțată a solicitării dinamice. Analiza metalografică arată ca în miez s-a obținut în aceste condiții o structură aproape exclusiv de bainita superioară, iar în strat s-a obținut o structură martensitică cu urme de bainită inferioară. Acest constituent din stratul cementat se pare că este responsabil de scăderea importantă a rezistenței la oboseală. Interes prezintă și observațiile făcute numai prin analiza rezultatelor obținute la încercarea la șoc a epruvetelor cementate și călite la durtăți diferite ale miezului. Acestea au fost introduse pe aceeași șarjă din aceeași bară de oțel – 18MoCr10, variația durtății miezului fiind determinată în exclusivitate de condițiile de recirculare a uleiului cu o temperatură de 70°C;
- comportarea elastică a epruvetelor este determinată de starea de tensiuni remanente. Epruvetele detensionate prezintă o tenacitate mai ridicată decât cele cu tensiuni remanente. Această apreciere s-a făcut având în vedere că energia de rupere este suprafața totală de sub curba caracteristică, efort unitar – deformare. Așadar nivelul stării de tensiuni remanente modifică comportarea elastică a pieselor cementate și călite;
- cu creșterea adâncimii stratului cementat scade tenacitatea epruvetelor. Aceasta scădere se datorează creșterii limitei de elasticitate și scăderii proporției constituenților mai tenace ai miezului;
- solicitările dinamice presupun o mare tenacitate a materialului, care nu totdeauna poate fi asigurată prin lucrul mecanic de deformare plastică. Miezul poate asigura o deformare plastică în funcție de caracteristicile mecanice proprii și de starea remanentă de tensiuni. De precizat că materialul ales, cu un conținut de mangan și crom spre limita inferioară, a permis realizarea încercărilor pentru o stare de tensiuni de compresiune în strat fără a ajunge la o schimbare de sens a stării de tensiuni din strat.

6. Concluzii

Creșterea rezistenței la oboseala de încovoiere a angrenajelor este un lucru cert și poate constitui un important câștig atunci când solicitările dinamice au valori relativ mici sau pot fi diminuate prin creșterea preciziei angrenajelor.

effect of the increase of flowing rate on the whole proof sample's section on the fatigue stress and the accordingly decrease of tenacity;

- reducing core hardness for approximately the same carbon content of the core at the same depth of case-hardened layer, leads to an important decreasing of endurance strength, associated to a pronounced increase of dynamic stress. Metallographic test shows that in the core, almost exclusively, an upper bainite structure and in the layer, a martensite structure with traces of lower bainite has been obtained. This constituent within the case-hardened layer seems to be responsible for the important decrease of endurance strength. Of a special interest are also the observations made only by checking the results obtained for the impact test of case-hardened and hardened proof samples with different core hardness. These have been introduced in the same charge resulted from the same steel bar – 18 MoCr10, hardness variation of the core being determined exclusively by the recycling conditions of the oil having temperature of 70°C;
- the elastic behavior of proof samples is determined by the residual tension state. Stress removed proof samples are more tenacious than those with residual tensions. This appreciation has been made having in view that breaking energy represents the total surface under the characteristic curve, unit stress – deformation. Thus, the residual tension state level modifies elastic behavior of case-hardened and hardened items;
- by increasing the case-hardened layer, tenacity of proof samples decreases. This decrease is due to the increase of elasticity limit and decrease of the core's strong components;
- dynamic stresses presume a high tenacity or, better said, a minimal tenacity of the material, which not always can be assured by the deformation energy. Core may assure a plastic deformation, according to its own mechanical features and the state of residual tension. It has to be specified that the selected material, having manganese and chromium contents near to the lower limit, allowed to achieve test for a compression tensions state, without leading to a reversal of the layer's tensions.

6. Conclusions

Increases in bending-stress durability of gears is a fact and may result in an important gain, when dynamic loading has relative low values or may be reduced by increase of the gear's accuracy.

Un nivel ridicat al tensiunilor remanente duce la o creștere accentuată a rezistenței la oboseală, dar prezintă o comportare mai „rigidă” a dintelui, favorizând apariția defectelor la suprasolicitarea dinamică.

Un nivel scăzut al stărilor de tensiuni remanente permite comportarea mai elastică a dintelui și o antrenare a solicitării dinamice. Pe măsură ce angrenajul funcționează, angrenarea devine mai lină.

Valoarea, sensul și uniformitatea stării de tensiuni influențează puternic deformație angrenajului [3].

Deformarea plastică remanentă suferită de un angrenaj poate modifica mult geometria și deci condițiile de angrenare, ducând la creșterea pronunțată a solicitărilor dinamice. În aceste situații alegerea unui material cu caracteristici mecanice superioare este unica soluție.

A high level of residual tensions leads to an important increase in fatigue strength, but presents a more “rigid” behavior of the tooth, allowing breakdowns by dynamic overloads.

Low residual tension levels allow a more “elastic” behavior of the tooth driving to dynamic loads. As gear works, especially as it lines up gearing becomes smoother.

Value, direction and uniformity of tension state strongly influence the deformation of the gear [3].

Residual plastic deformation of a gear may change its geometry and, thus, the gearing conditions, leading to an important increase of dynamic loads. In such situations, selection of materials having higher mechanical features represents the only solution.

References

1. Haik, R.El.: *Thermal Treatments in U.S.A.and Japan*. Thermal Treatment, no. 157, 1989, p. 45-49, ISSN: 00353159, France (in French)
2. Bouttier, Y., Ishisone, J.: *Aspects of Thermal Treatment in Japan*. Thermal Treatment, no. 157, 1989, p. 49-55, ISSN: 00353159, France (in French)
3. Ionica, I.: *Study concerning deformation of case-hardened steel gears*. Documentation Guide, UTB, no. 70, 1984, Brașov, Romania (in Romanian)
4. Amza, Gh.: *Dissertation of materials technology*. Romanian Academy Publishing House, ISBN 973-27-0910-3, Bucharest, Romania, 2002 (in Romanian)
5. Trușculescu, M., Demian, M.: *Materials Handbook*. Vol. I. „Politehnica” Publishing House, ISBN 973-99140-7-1, Timișoara, Romania, 2006 (in Romanian)

Lucrare primită în Noiembrie 2008

Received in November 2008