

# INFLUENȚA TRATAMENTULUI DE CARBURARE ADÂNCĂ ASUPRA DURITĂȚII PIESELOR

# INFLUENCE OF DEEP CARBURIZING TREATMENT ON HARDNESS OF WORKPIECES

Sorin Adrian BARABAȘ

Transilvania University of Brasov, Romania

**Rezumat.** Realizarea de cercetări teoretice și experimentale în tratamentul termic de carburare adâncă a condus la rezultate privind influența timpului de carburare asupra durității și adâncimii stratului obținut. Studiul acestor rezultate a condus la optimizarea procesului de carburare prin aplicarea unui tratament termic de recoacere de difuzie ce permite redistribuirea carbonului pe adâncimi mari. Astfel carburarea adâncă se face în două etape, prima fiind etapa de carburare în care carbonul se transferă din atmosferă către suprafața carburată, a doua fiind etapa de recoacere de difuzie în care atomii de carbon sunt redistribuiți în stratul carburat în funcție de temperatura atmosferei, și de compoziția aliajului de oțel, carburat. Aceste cercetări au condus la posibilitatea realizării cu succes a tratamentului termic de carburare adâncă cu toate avantajele ce decurg din aceasta, precum și la necesitatea introducerii unei recoaceri de difuzie cu influențe asupra durității stratului carburat.

**Cuvinte cheie:** carburare adâncă, recoacere de difuzie, potențial de carbon

## 1. Introducere

Tratamentul termochimic de carburare este descris de reacțiile desfășurate între componentele mediului de carburare și piesă, precum și de transferul carbonului din atmosferă către piesă și de difuzia acestuia în matricea metalică. Procesul de carburare se face în două etape, prima, cu un potențial ridicat de carbon pentru accelerarea reacțiilor, a doua având un potențial de carbon peste nivelul concentrației eutectoidului (0,7-1,1 %C). Întreaga cantitate de carbon transferată din atmosferă către piesă este determinată de limitările procesului termochimic, rata maximă de carburare fiind obținută atunci când transferul carbonului din atmosferă către piesă are un nivel mai ridicat decât cel al difuziei acestuia în stratul carburat.

Optimizarea atmosferei de carburare s-a realizat în timpul experimentelor prin aprovizionarea cu propan pentru a obține o rată ridicată de transfer a carbonului pe toată durata procesului de carburare. Transferul de carbon este proporțional cu diferența dintre potențialul de carbon al atmosferei ( $C_p$ ) și potențialul de carbon la suprafața carburată ( $C_s$ ). Analiza microstructurii probelor a relevat un amestec de martensită și austenită reziduală la suprafață și un amestec de martensită și bainită în miez [1].

**Abstract.** In carburizing heat treatment was achieved a theoretical and experimental research of influence of carburizing time on hardness and depth. The study of obtained results through performed experiments leads to optimization of carburizing process by application of an annealing treatment of diffusion to obtain a corresponding carbon concentration on great depths. The carburizing atmosphere determines the rate of carbon transfer from the atmosphere to the steel surface, in the carburizing stage. In the annealing 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. Is established during the studies presented in this papers, possibility of successfully implementing a deep carburizing process concept with all the advantages derived from this and is presented the advantages of use of diffusion annealing and its influence on hardness of carburized layer.

**Key words:** deep carburizing, diffusion annealing process, carbon potential

## 1. Introduction

Carburizing process is generally described by reactions between carburizing environment components, transport and transfer of carbon at the interface carburizing environment - metal surface and diffusion of carbon in the metal matrix. The carburization process is made in two steps, 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 (0.7-1.1 %C). Total carbon transfer from the atmosphere to the steel is thus determined by the limiting process, the maximum carburization rate is obtained when the carbon transfer from the atmosphere is greater than the carbon diffusion rate in the carburized layer.

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 carburizing stage. The carbon transfer is proportional to the difference between the carbon potential in the atmosphere ( $C_p$ ) and the steel surface concentration ( $C_s$ ). Microstructural analysis of the carburized test revealed a mixture of martensite and residual austenite near the surface and a mixture of martensite and bainite in the core [1].

## 2. Tratamentul termic de carburare adâncă

Tratamentul termic de carburare se face la temperatura de 980 °C, timpul necesar încălzirii piesei fiind de 3÷4 ore în funcție de volumul acesteia într-o atmosferă cu potențial de carbon constant ( $C_p = 1,1\div 1,4$ ), gazul care asigură acest lucru fiind propanul. Carburarea, combinată cu un tratament de difuzie la un potențial de carbon mai mic, este urmată de o răcire, menținere și din nou răcire până la temperatura ambiantă. Timpul de carburare este de 60 de ore iar timpul de tratamentul de difuzie este de 20 de ore. Răcirea este controlată în cuptor.

Formarea unei cantități de austenită reziduală este aproape inevitabilă, ea fiind prezentă în microstructura stratului carburat, mai ales la suprafața pieselor unde îmbogățirea cu carbon atinge niveluri mai mari de 50% cauzând importante scăderi ale durității și rezistenței la oboseală. Cauza principală a apariției austenitei reziduale în exces este conținutul mare de carbon la suprafața stratului carburat. Cele mai uzuale zone de concentrare ale carbonului sunt muchiile și colțurile piesei unde, în primul ciclu de carburare se formează importante cantități de austenită reziduală. În figura 1 se observă cele două cicluri ale tratamentului termochimic și anume, carburarea și difuzia. O altă consecință a conținutului ridicat de carbon este formarea carburilor grosolane care se formează la limita grăunților de austenită și pot avea diverse morfologii în funcție de gradul de aliere al oțelului carburat.

## 2. The process of deep carburizing heat treatment

During heating from ambient temperature to reach 980 °C - carburizing temperature - 3÷4 hours, function of piece volume, the carbon potential of atmosphere is constant ( $C_p = 1.1\div 1.4$ ) and is provided by enrichment with propane. Carburizing combined with diffusion at different carbon potential is follow by cooling, maintaining and cooling again at the ambient temperature. The time of carburizing process is 60 hours and the time of diffusion process is 20 hours. Cooling is done by heat treatment furnace.

Formation of a quantity of residual austenite is almost inevitable in microstructures of carburized layers containing high levels of carbon, who, in quantities of more than 50%, causing a significant decrease in the level of hardness and reduced fatigue. The main cause of excess residual austenite is the existence of higher carbon content in the surface layer. Most common areas of the surface carbon concentration are edges and corner of the parts because they are areas where austenite saturated carbon in the first stage of the cycle of carburizing. In figure 1 is specified the process of carburizing in two steps. Another consequence of high carbon content is revealed by the formation of massive carbides, who, are formed at limit of austenite grains and may have different morphologies in interdependence with the degree of alloying of the carburized steel.

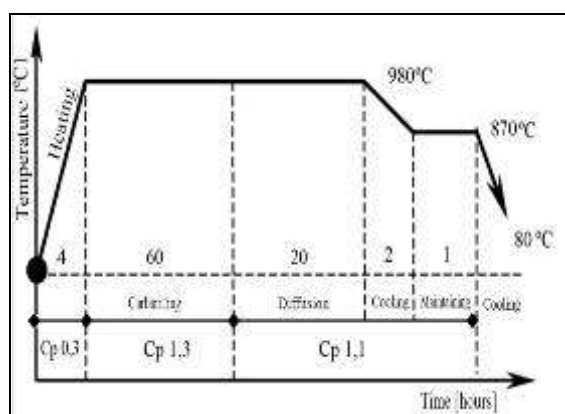
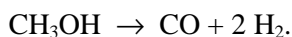


Figura 1. Diagrama procesului de carburare adâncă (carburare+difuzie)  
Figure 1. Diagram of deep carburizing process (carburizing +diffusion)

Potențialul de carbon în recipient, atât în timpul carburării cât și al difuziei, este strict controlat prin senzori. Pregătirea inițială a cuptorului se face prin purjare cu azot și metanol non-activ. Metanolul se găsește în stare lichidă până la 65 °C, peste această temperatură, vaporizează. La 750 °C se comportă după următoarea reacție:

Carbon potential, both on carburizing stage and diffusion stage is strictly controlled by sensors. Initially, the furnace is prepared by purging with nitrogen and methanol non-active gas [2]. Methanol is a liquid up to 65 °C, then vaporize. At 750 °C behave according to the following reaction:

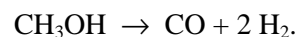


Prin introducerea unui volum aproximativ egal de azot se obține un gaz inert cu următoarea compoziție: 20 %CO, 40 %H<sub>2</sub>, 40 %N<sub>2</sub>. Îmbogățirea cu carbon se face cu ajutorul propanului ajungând la un potențial de carbon în atmosferă C<sub>p</sub> = 1,1÷1,4.

Răcirea, urmată de recoacere, este menită să înlăture tensiunile interne. Recoacerea subcritică de globulizare se aplică după carburare și difuzie deoarece se păstrează încă o cantitate de austenită reziduală, aceasta suferind pe durata recoacerii un proces de transformare în ferită și carburi globulare. Pentru producerea carburilor globulare, recoacerea subcritică se face la aprox. 600 °C timp de 8 ore [3].

Răcirea în vederea călirii se efectuează prin transferul rapid de la cuptorul de austenitizare și cufundarea produsului împreună cu dispozitivul, în baie de sare cu temperatura de 180÷200 °C, figura 2.

Formarea martensitei durifică oțelul în funcție de procentul de carbon observându-se că duritatea maximă se obține la un procent de carbon de 0,8% [4]. Acest lucru se explică prin faptul că peste 0,8%, existența austenitei reziduale micșorează duritatea oțelului. În baia de sare, produsele sunt menținute 6 ore cu scopul transformării martensitei de călire în martensită de revenire, cu reducerea conținutului de austenită reziduală. Durata relativ mare de revenire are ca scop relaxarea și redistribuirea tensiunilor remanente.



Introducerea unui volum aproximativ egal de azot în furnace este obținut un gaz inert cu următoarea compoziție: 20 %CO, 40 %H<sub>2</sub>, 40 %N<sub>2</sub>. Enrichment în carbon se face cu propan, atmosfera carbon potențial este C<sub>p</sub> = 1.1÷1.4.

Recoacerea urmată de revenire este concepută pentru a elimina tensiunile interne. Recoacerea subcritică este aplicată după carburare și difuzie deoarece încă păstrează o cantitate de austenită reziduală, care în timpul recoacerii suferă un proces de transformare în ferită și carburi globulare. Pentru producerea carburilor globulare, recoacerea subcritică se face la aprox. 600 °C timp de 8 ore [3].

Recoacerea în vederea călirii se efectuează prin transferul rapid de la cuptorul de austenitizare și cufundarea produsului împreună cu dispozitivul, în baie de sare cu temperatura de 180÷200 °C. Schemele pentru recoacerea subcritică sunt prezentate în figura 2.

Formarea martensitei durifică oțelul în funcție de procentul de carbon și se observă că duritatea maximă este obținută la o rată de 0,8% carbon [4]. Acest lucru se explică prin faptul că peste 0,8% carbon, austenita reziduală scade și duritatea oțelului. În baia de sare, produsele sunt menținute 6 ore pentru transformarea martensitei de călire în martensită de revenire, cu reducerea conținutului de austenită reziduală. Durata relativ mare de revenire are ca scop relaxarea și redistribuirea tensiunilor remanente.

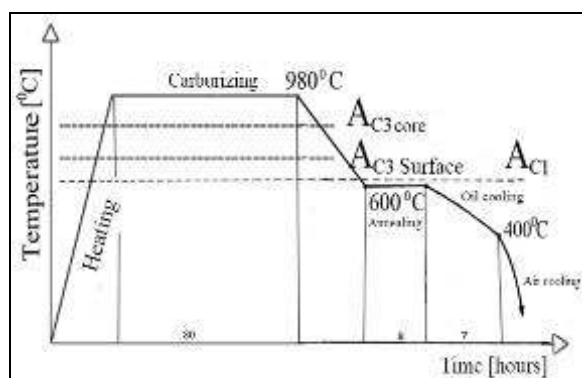


Figura 2. Diagrama procesului de recoacere subcritică de globulizare după carburare  
 Figure 2. Diagram of subcritical annealing process after deep carburizing

### 3. Rezultatele cercetărilor

Cercetările microscopice au fost efectuate după tratamentul termochimic de carburare pe materialul SAE 3310. Timpul de menținere a fost de 60 ore, iar răcirea s-a făcut în apă.

Figurile 3 ÷ 6 corespund rezultatelor experimentale și prezintă structura materialului carburat. Astfel, tratamentul termic de carburare adâncă este însoțit de apariția unei porțiuni

### 3. The results of researches

Microscopic researches were done on material SAE 3310 after heat treatment of deep carburizing. Maintaining time was 60 hours, and cooling was performed in water.

Figures 3 ÷ 6 shows the structure of carburized product and check with the experimental results. In process of deep carburizing treatment, inevitably occurs hyper carburizing to the surface, with

hipercarburate la suprafața materialului conținând niveluri foarte ridicate de austenită. Prin urmare a fost necesară găsirea unei soluții de a reduce cantitatea de carbon în limite normale. Acest lucru a fost realizat prin aplicarea unui tratament termic de difuzie în atmosferă controlată, făcând posibilă redistribuirea atomilor de carbon în stratul carburat.

unacceptable levels of residual austenite. Therefore, was necessary to find a solution to reduce carbon in the normal range. This was achieved by applying a diffusion heat treatment in atmosphere with potential carbon decreased after carburizing treatment, realizing redistribution of carbon atoms in layer.

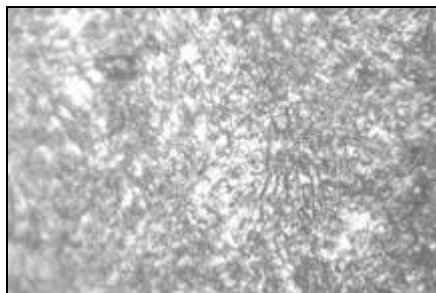


Figura 3. Structura miezului

-carburare 60 ore  
-sorbită fină, duritate 34 HRC  
-atac: nital 2%, mărirea: 100x

Figure 3. Core structure

-carburizing 60 hours  
-fine sorbite, hardness 34 HRC  
-attack: nital 2%, magnification:100x

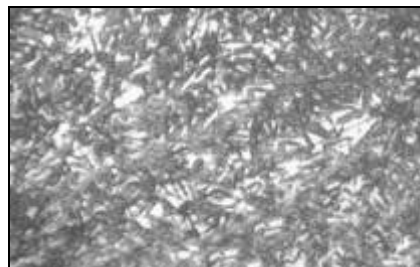


Figura 4. Structura stratului carburat (3 mm)

-carburare 60 ore  
-martensită de călire + austenită reziduală 20% + carburi fine, duritate 59 HRC  
-atac: nital 2%, mărirea: 400x

Figure 4. Carburized layer structure (3 mm)

-carburizing 60 hours  
-hardening martensite + residual austenite 20% + fine carbides, hardness 59 HRC  
-attack: nital 2%, magnification: 400x

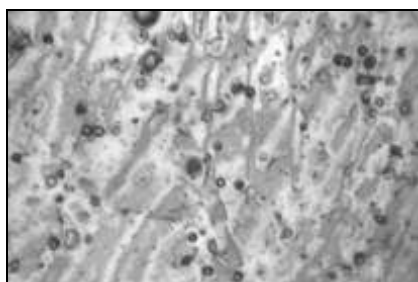


Figura 5. Structura stratului carburat (1 mm)

-carburare 60 ore  
-austenită reziduală 70% + carburi fine + urme de martensită, duritate 40 HRC  
-atac: nital 2%, mărirea: 800x

Figure 5. Carburized layer structure (1 mm)

-carburizing 60 hours  
-residual austenite 70% + fine carbides + traces of martensite, hardness 40 HRC  
-attack: nital 2%, magnification: 800x

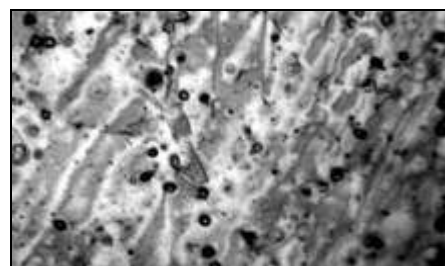


Figura 6. Structura stratului carburat (la limita zonei cu conținut maxim de austenită reziduală)

-carburare 60 ore  
-stânga: austenită reziduală + carburi fine  
-dreapta: martensită cu duritate mare  
-atac: nital 2%, mărirea: 800x

Figure 6. Carburized layer structure (to limit zone of maxim residual austenite content)

-carburizing 60 hours  
-left: residual austenite + fine carbides  
-right: hardening martensite  
-attack: nital 2%, magnification: 800x

Cercetările microscopice demonstrează prezența austenitei reziduale la suprafața pieselor carburate, prezența martensitei de temperare și a carburilor în strat, precum și prezența sorbitei în miez.

Rezultatele conduc la observarea faptului că introducerea tratamentului termic de difuzie conduce la reducerea austenitei reziduale la suprafața pieselor, implicit a durității stratului exterior, aspect vizibil în graficul din figura 7.

Microscopic investigation showed the presence of residual austenite on the surface of carburized product, the presence of tempering martensite and carbides in the carburized layer and presence of sorbite structure in core.[5]

The results lead to the observation that the introduction of diffusion in the carburizing treatment is absolutely necessary. That is visible in graph of hardness in figure 7.

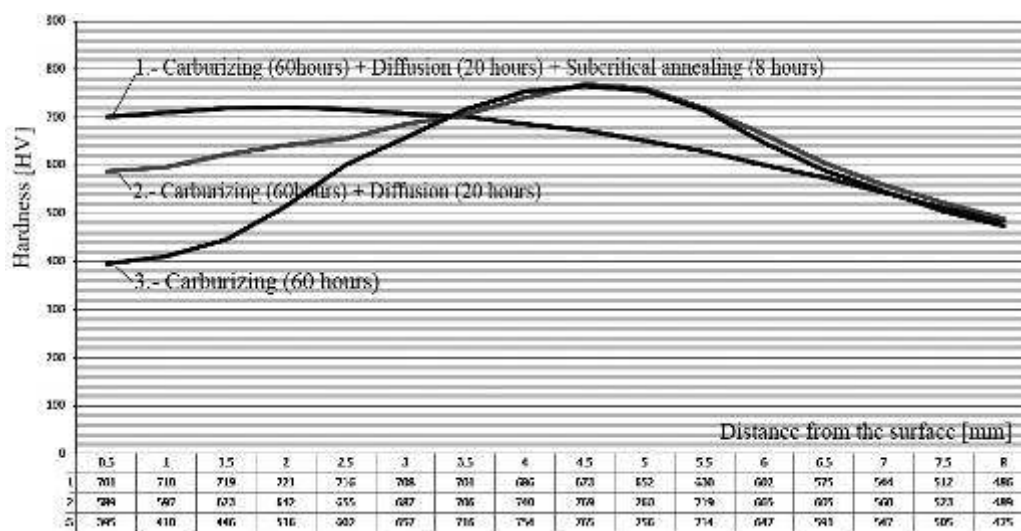


Figura 7. Graficul durității în funcție de adâncimea stratului cercetat și timpul de carburare  
 Figure 7. Graph of hardness based on depth and time-keeping of carburizing heat treatment

### 5. Concluzii

Formarea unei cantități de austenită reziduală în stratul carburat este inevitabilă, ajungând la suprafața acestuia la 50% și cauzând astfel importante scăderi ale durității și rezistenței la oboseală. Urmărind experimentele și comparând rezultatele acestora, atât practic cât și teoretic, s-au tras concluzii ce au condus la îmbunătățirea procesului de carburare adâncă.

S-au obținut astfel valori concrete ale durității funcție de timpul de menținere în atmosfera cu potențial de carbon controlat cât și funcție de adâncimea stratului, conducând la crearea unei diagrame ce poate fi folosită în alegerea parametrilor procesului de carburare adâncă. Cauza principală a prezenței austenitei reziduale în exces este cantitatea foarte mare a carbonului în stratul superficial. Prin tratamentul suplimentar de difuzie se poate observa scăderea conținutului de carbon în strat, implicat a cantității de austenită reziduală, conducând la creșterea importantă a durității în zonă.

### 5. Conclusions

Formation of a quantity of residual austenite is almost inevitable in steel microstructures of carburized layers, containing high levels of carbon, however, excessive residual austenite in quantities of more than 50%, causing a significant decrease in the level of hardness and reduced fatigue. Following experiments and comparisons can be drawn conclusions, both, theoretical and practical, leading to the improvement of large depth carburization.

Were obtained concrete hardness values depending on carburizing time and carburized layer depth, creating a diagram that can be used to choose parameters of deep carburizing. The main cause of excess residual austenite is the existence of excessive carbon content in the surface layer. From the comparative and microscopic study of the diffusion and carburizing treatments can be observed decrease in residual austenite content located on the surface of the piece after diffusion, which leads to increased hardness in the area.

### References

1. Karabelchtchikova, O., Brown, C.A., Sisson, R.D. (2007) *Effect of surface roughness on kinetics of mass transfer during gas carburizing*. International Heat Treatment & Surface Engineering, ISSN 1749-5148, vol. 1, no. 4, December, p. 164-170
2. Palaniradja, K., Alagumurthi, N., Soundararajan, V. (2005) *Optimization of Process Variables in Gas Carburizing Process*. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, ISSN 1300-0160, no. 29, p. 279-284
3. Lee, S.J., Matlock, D.K., Van Tyne, C.J. (2012) *Comparison of two finite element simulation codes used to model the carburizing of steel*. Computational Materials Science, ISSN 0925-0256, vol. 68, p. 47-54
4. Haruman, E., Sun, Y., Triwiyanto, A. (2012) *An Investigation on Low-Temperature Thermochemical Treatments of Austenitic Stainless Steel in Fluidized Bed Furnace*, Journal of Materials Engineering and Performance ISSN 1059-9495 vol. 21, no. 3, March 2012, p. 388-394
5. Barabaș, S.A., Șerban, C. (2010) *Tratamentul termic pentru oțelurile 20NiCrMo7 și 15NiCr13 folosite la construcția rulmenților de mari dimensiuni / Heat treatment for 20NiCrMo7 and 15NiCr13 steels used in construction of extralarge bearings*. RECENT, ISSN 1582-0246, vol. 11(2010), no. 2(29), July 2010, p. 67-72