



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2011 01276**

(22) Data de depozit: **30.11.2011**

(41) Data publicării cererii:
30.07.2013 BOPI nr. **7/2013**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE
ASACHI" DIN IAȘI,**
BD. PROF. D. MANGERON NR. 67, IAȘI, IS,
RO

(72) Inventatori:
• **BULANCEA VASILE, STR. ION CREANGĂ
NR. 72, IAȘI, IS, RO;**

• **GHEORGHU DIANA ANTONIA,**
STR. TOMA COZMA NR. 14, IAȘI, IS, RO;
• **ACHIȚEI DRAGOȘ CRISTIAN,**
BD. TUDOR VLADIMIRESCU NR. 105,
SC. A, PARTER, AP. 1, IAȘI, IS, RO

(54) **PROCEDEU DE TRATAMENT TERMIC COMPLEX INCLUSIV
TRATAMENT CRIOGENIC DESTINAT REPERELOR
METALICE REALIZATE DIN OȚEL CU CONȚINUT RIDICAT
DE CARBON**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de tratament termic complex, inclusiv tratament criogenic aplicat reperelor metalice din oțel aliat cu conținut ridicat de carbon, ce reduce durata tratamentului termic cu peste 50% față de durata tratamentului termic standard de 72 h la 16 h, crește repetabilitatea rezultatelor cu până la 25%, și determină o creștere a caracteristicilor mecanice a pieselor, în special a rezistenței la uzură. Procedeu conform invenției constă în creșterea temperaturii maxime de încălzire pentru călire cu 20...30°K peste temperatura maximă standard recomandată, menținerea temperaturii critice de răcire a piesei este înlocuită cu pendularea modestă a temperaturii de răcire într-un interval

de 20°K, pe durata răcirii la temperaturi intens negative de până la 77°K, piesa fiind supusă unui număr de 2...5 cicluri de încălzire/răcire între temperatura minimă și temperatura critică de răcire, iar temperatura critică de răcire, calculată după formula $T_{cr} = M_f - 20^\circ K$, unde M_f este temperatura de încheiere a transformării martensitice, împarte domeniul de temperaturi cuprins între 273...77°K în intervale termice tehnologice care sunt caracterizate de viteze diferite de răcire/ încălzire.

Revendicări: 3
Figuri: 3



Procedeu de tratament termic complex inclusiv tratament criogenic destinat reperelor metalice realizate din oțel cu conținut ridicat de carbon

Procedeu propus pentru recunoaștere aparține familiei tratamentelor termice și are ca domeniu tehnic de aplicație construcția de mașini.

Invenția are ca obiect creșterea performanțelor prelucrării termice complexe călire-tratament criogenic aplicată unor mărci de oțel de scule. Scopul invenției este atins prin modificări de tehnologie. Modificările propuse de invenție cresc eficiența economică a prelucrării termice prin reducerea duratei de lucru, iar valorile caracteristicilor mecanice obținute pentru piesele prelucrate (în special rezistența la uzare) prezintă în urma procesării în conformitate cu recomandărilor cuprinse în prezenta invenție o repetabilitate mult sporită.

Tratamentul criogenic este recomandat unei largi game de piese realizate din materiale feroase și neferoase, metalice și nemetalice, obținute prin turnare, deformare plastică sau sinterizare [US6141974-A], dar se aplică cel mai frecvent în cazul oțelurilor, în special celor mediu și înalt aliate cu conținut ridicat de carbon. O piesă de oțel supusă acestui proces va marca o creștere a durității, îmbunătățirea rezistenței la uzare și creșterea stabilității dimensionale, creșterea tensiunilor de compresiune în straturile superficiale pentru oțelurile carburate, îmbunătățirea proprietăților feromagnetice. Pentru unele mărci de oțel se aplică de curând și în vederea creșterii rezistenței la coroziune.

Datorită în special creșterii rezistenței la uzare, care atinge uneori un spor de 600% față de tratamentul clasic, tratamentul criogenic a cunoscut o utilizare constant ascendentă. Aplicațiile, tot mai frecvente în domeniul construcției de mașini, mai ales în producția de scule destinate prelucrărilor prin așchiere, deformare plastică la cald sau la rece nu au înregistrat totuși o creștere spectaculoasă. Prudența în utilizarea tratamentului criogenic precum și lipsa unor standarde în domeniu se datorează unei repetabilități relativ modeste a rezultatelor, precum și duratei extrem de mari a prelucrării termice în ansamblul ei. Asupra acestor aspecte acționează invenția cuprinsă în prezentul document.

Tratamentul criogenic al pieselor din oțel nu este un tratament de sine stătător. El este o continuare a călirii clasice, răcirea sub zero fiind inițial introdusă cu scopul reducerii

cantității de austenită reziduală. Austenita reziduală este o componentă structurală inerentă la călirea clasică în cazul oțelului cu conținut ridicat de carbon și elemente de aliere. Atingerea punctului de final al transformării austenită – martensită, M_f , pentru oțelul înalt aliat are loc la răcirii în domeniul frigului mediu, cel mult 173 K, dar îmbunătățirile de proprietăți sunt remarcabile la atingerea frigului adânc, aproximativ 77 K, asociate unei mențineri îndelungate la aceste temperaturi.

În esență, tratamentul termic complet, inclusiv tratamentul criogenic pentru o piesă (sculă, rulment, componentă a aparatelor de măsură și alte elemente din construcția de mașini) se desfășoară conform diagramei din figura 1. În vederea prelucrării termice piesa / șarja este încălzită la temperaturi din domeniul de stabilitate al austenitei, temperaturi dependente de compoziția chimică a materialului, temperatura de austenitizare, T_A . Încălzirea materialului are ca scop omogenizarea compoziției chimice, dizolvarea cât mai completă și uniformă a tuturor elementelor de aliere, inclusiv carbonul, în masa dominant alcătuită din fier. Pentru fiecare marcă de oțel există standarde privind domeniul de temperaturi (limita minimă / maximă) în care trebuie încălzit materialul, precum și recomandări legate de durata menținerii. După parcurgerea acestei etape, I , când se poate considera că s-a atins un nivel de omogenitate a compoziției și a temperaturii în toată masa piesei/șarjei, aceasta este răcită rapid (călire clasică) la temperatura ambiantă T_a , într-o variantă tehnologică selectată de asemeni în funcție de compoziția chimică și proprietățile termofizice ale materialului pieselor. Piese din oțel cu conținut ridicat de carbon și cele aliate cu conținut ridicat de carbon prezintă după această primă etapă o structură dominant martensitică alături de un conținut de austenită reziduală ce poate atinge până la 20% din volumul de material la temperatura ambiantă. Deoarece austenita reziduală este o fază caracterizată de duritate redusă, prezența ei în piesele prelucrate termic este de evitat. Menținerea la temperatură ambiantă a pieselor are ca efect creșterea stabilității componentei nedorite, austenita reziduală. De aceea, este necesar ca în cel mai scurt timp posibil, practic în continuare, răcirea să continue sub zero grade, până la atingerea temperaturii de sfârșit de transformare martensitică M_f . Efectul tratamentului, mai ales creșterea rezistenței la uzare atinge un maxim după răcirea la temperaturi mult mai mici decât M_f .

Etapă de încălzire este condusă în funcție de recomandările specifice pentru materialul de prelucrat și geometria piesei conform recomandărilor pentru tratamentul termic clasic de călire.

Etapa de tratament criogenic, **II**, se desfășoară după proceduri dezvoltate experimental, nestandardizate. Sunt acceptate câteva variante privind mediul de răcire (uscat sau umed) și modul de răcire pe domeniul sub zero.

Se consideră mediu uscat atunci când răcirea se realizează în curent gazos de temperatură corespunzătoare celei de tratament, iar mediu umed atunci când răcirea are loc prin imersie în mediul rece.

Recomandările tehnologice converg în aplicarea unei răcirii sub zero cu viteze moderate, curba *a*, (0,5...2 K/min) până la temperatura de încheiere a transformării martensitice, M_f . După atingerea acestei temperaturi, se acceptă în general posibilitatea creșterii vitezei de răcire până la atingerea temperaturii minime, cel mai frecvent 77 K. Viteza de răcire în acest domeniu variază între moderată, curba *a* și cea corespunzătoare imersării în agentul de răcire, curba *b*. Alegerea uneia sau alteia din variantele descrise mai sus depinde și de tipul instalației disponibile.

După cum am menționat anterior, după atingerea temperaturii M_f există tehnologii / opinii care acceptă imersarea în agentul de răcire aflat la temperatura minimă șPatente US 5259200-A, US5875636-Aș. Acest tip de tratament scurtează durata răcirii pentru atingerea temperaturii minime. După atingerea temperaturii minime urmează un timp de menținere la această temperatură. Încălzirea la temperatură ambiantă se face de asemenea cu viteze moderate spre mici. Ciclul de tratament este încheiat, la fel ca pentru tratamentul de călire, de o revenire; de regulă după tratamentul criogenic se recomandă o revenire joasă.

Durata minimă de menținere la temperaturi negative se recomandă, în marea majoritate a cazurilor, să fie de minimum 36 ore. Unele tehnologii recomandă mențineri de 72 ore sau chiar de ordinul unei săptămâni. Variantele nu se raportează la o calitate a oțelului tratat sau la obținerea unui anumit tip de caracteristică mecanică. Acest interval de menținere afectează intens eficiența economică și chiar pe cea tehnică a tratamentului criogenic, atât prin timpul intrinsec cât și prin consumurile pe care le generează. Revenirea la temperatura ambiantă este de asemeni de durată, viteza de încălzire fiind comparabilă cu cea de la răcire.

Este de amintit faptul că la răcire unele surse recomandă asigurarea unor praguri de menținere cu rolul de uniformizare a temperaturii în secțiunea pieselor.

La aproape 50 de ani de la primele aplicații repetabilitatea, certitudinea obținerii unor rezultate identice/comparabile pentru tratamentele criogenice este încă o problemă. Pentru același material, același reper și aceeași tehnologie valorile proprietăților țintă obținute după tratament manifestă o dispersie greu de acceptat. A doua problemă este durata tratamentului, uneori inadmisibil de mare din punct de vedere economic.

Problema tehnică care este rezolvată de prezenta invenție este reducerea duratei de tratament. Prin soluția propusă durata etapei de tratament la temperaturi cuprinse între temperatura de sfârșit de transformare martensitică și temperatura minimă de lucru, temperatura azotului lichid, se reduce cu peste 50%. Simultan, în cadrul testelor efectuate pe repere de formă diferită s-a constatat o reducere a dispersiei rezultatelor tratamentului, respectiv uniformizarea valorilor obținute pentru caracteristicile de interes, rezistența la uzare și durabilitatea.

Calitatea tratamentului termic complet depinde de:

- gradul de omogenitate al austenitei după încălzire;
- dimensiunea grăuntelui de austenită rezultat în urma încălzirii;
- capacitatea materialului de a crea la temperaturi negative un număr mare de germeni de cristalizare pentru carburile fine, precementitice, germeni omogen distribuiți în masa metalică.

Tratamentul criogenic se adresează în special mărcilor de oțel carbon cu conținut ridicat de carbon, oțelurilor aliate și înalt aliate precum și oțelurilor ce au suportat un tratament de cemetare și călire. Pentru tratamentul criogenic nu există recomandări standardizate.

Deoarece tratamentul criogenic este continuarea unui tratament clasic de călire este natural să se aibă în vedere acest element la proiectarea ciclului termic de la temperaturi pozitive, respectiv încălzirea pentru călire. Încălzirea pentru călire precum și durata de menținere la temperatură înaltă fixează caracteristicile austenitei la răcire, uniformitatea de compoziție chimică și mărimea grăuntelui austenitic.

Prezenta invenție propune pentru creșterea uniformității rezultatelor adaptarea regimului de încălzire în vederea călirii solicitărilor specifice tratamentului criogenic. În acest sens se propune creșterea temperaturii maxime recomandate de încălzire în vederea călirii cu 20...30K, simultan cu reducerea duratei de încălzire.

În domeniul temperaturilor negative pentru reducerea duratei de tratament invenția folosește variația temperaturii piesei pe două paliere: zona temperaturilor frigului mediu, sub temperatura de sfârșit de transformare martensitică și zona temperaturilor foarte joase. Variația de temperatură are ca efect reducerea drastică a duratei de menținere la temperaturi negative. Reducerea duratei este consistent mai mare în cazul instalațiilor cu posibilitate de imersare în azot a șarjei, variația de temperatură fiind obținută prin scufundarea – extragerea șarjei / piesei.

Aplicarea acestei scheme de lucru aduce următoarele avantaje.

Încălzirea la temperaturi superioare cu max 30 K a temperaturii maxime recomandate pentru austenitizare asigură omogenizarea austenitei la încălzire. O soluție solidă omogenă permite obținerea unei martensite dispuse în plachete relativ mari și un nivel mediu de austenită reziduală. Această structură de temperatură înaltă este uniformă și capabilă să asigure existența ambelor faze după călire. Prezența unei soluții omogene și a unei cantități corespunzătoare de austenită reziduală va asigura o structură martensitică uniformă. Nu trebuie omis timpul de menținere mai scurt sau cel mult egal cu durata standard corespunzătoare dimensiunilor piesei. Durata maximă include și timpul aferent reducerii temperaturii maxime până la valoarea recomandată pentru începerea tratamentului clasic.

Aplicarea schemei de tratament sub zero constând din pendulari la temperaturi inferioare temperaturii de sfârșit de transformare martensitică, temperatura critică de răcire, precum și pendularea în domeniul $T_{cr} \dots T_{min}$ are ca efect reducerea duratei de tratament sub zero. Cel de al doilea efect este o distribuie mai uniformă a carburilor fine în masa metalică.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a tehnologiei în conformitate cu figura 2.

Figura 1 prezintă ciclul termic clasic de tratament.

Figura 2 se prezintă ciclul termic în conformitate cu soluțiile propuse de prezenta invenție.

Figura 3 compară ciclurile termice clasic cu cel propus.

Ciclul termic propus este prezentat în figura 2. Încălzirea pieselor ce vor suporta un tratament criogenic să se realizeze cu depășirea temperaturii maxime recomandate de austenitizare cu 20...30K.

Creșterea temperaturii de încălzire determină dizolvarea unei cantități mari de carburi în austenită, mărindu-i gradul de aliere și implicit stabilitatea la transformările ulterioare. Se introduce noțiunea de temperatură de austenitizare pentru tratament criogenic, $T_{A cr}$. Simultan timpul de menținere este redus în medie la $\frac{1}{2}$ din timpul calculat pentru condițiile standard de încălzire. Se obține astfel o structură adaptată mai bine transformărilor ce se vor desfășura în domeniul sub zero, respectiv grăunți mari de austenită și o compoziție chimică omogenă a acestora.

Pentru faza de tratament sub zero se introduce noțiunea de temperatură critică la răcire, mărime dependentă de compoziția chimică a materialului și legată strâns de punctul de încheiere al transformării martensitice. Temperatura critică la răcire împarte domeniul 273...77 K în intervale termice tehnologice ce sunt caracterizate de viteze diferite de răcire / încălzire.

Temperatura critică la răcire este definită de relația:

$$T_{cr} = M_f - 20 \quad [K]$$

În funcție de material, temperatura M_f este o valoare determinată experimental pentru marca de oțel sau poate fi adoptată teoretic pe baza relațiilor de calcul.

După răcirea conform normelor de produs până la 293...273 K piesele sunt răcite în instalația de frig cu viteză redusă (1...5 K/min.) până la atingerea temperaturii critice la răcire.

La atingerea acestei temperaturi, **etapa 1**, piesa / șarja este menținută timp de 10 min. Se crește temperatura incintei cu 20K după care temperatura este din nou redusă la valoarea T_{cr} și menținută la această temperatură alte 10 min. Viteza de încălzire / răcire este funcție de posibilitățile instalației, fiind chiar de dorit viteze de 10 K/min. Ciclul se repetă de 2...5 ori, mai multe cicluri pentru piesele cu dimensiunea minimă a secțiunii a, mai mare, vezi tabel 1.

La încheierea acestui ciclu se trece la tratamentul criogenic profund.

După atingerea temperaturii critice la răcire specifice fiecărei mărci de oțel dar nu mai mult de 153 K, viteza de răcire crește substanțial. Creșterea vitezei de răcire în acest domeniu de temperaturi nu este limitată decât de posibilitățile instalației. În funcție de tipul de instalație disponibil se poate merge până la imersarea piesei în azot lichid, în cazul instalațiilor cu baie de azot. Pentru instalațiile de tip uscat se va crește debitul de gaz. Pentru eficiență maximă sunt recomandate incintele cu baie de azot lichid.

După atingerea temperaturii minime, **etapa 2**, piesa este menținută un timp la această temperatură un timp proporțional cu dimensiunea cea mai mică a secțiunii. Calculul duratei de menținere se face cu relația:

$$t_{ment} = 30s \times a,$$

unde a este dimensiunea cea mai mică a secțiunii piesei, măsurată în milimetri.

Durata de menținere nu va fi mai mică de 10 minute.

Considerând cazul unei piese imersate în azot lichid, după menținerea timp de 10 minute în baie piesa se extrage și este plasată într-un curent de azot cu temperatura egală cu temperatura critică de răcire un timp egal cu timpul de imersie. Acest ciclu se aplică piesei / șarjei de trei ... cinci ori, conform regulilor de la temperatura critică de răcire. După ultimul ciclu și încălzirea până la 173 K se aplică în continuare tehnologia adecvată materialului și reperului respectiv.

Reducerea duratei de tratament este consistentă, așa cum se observă din figura 3, unde sunt suprapuse ciclurile termice.

Obiectivele propuse au fost: reducerea duratei de tratament termic(1) și creșterea repetabilității rezultatelor(2). Cele două soluții introduse în desfășurarea procesului tehnologic contribuie în măsură diferită la ambele obiective.

Schema tehnologică poate fi aplicată în toate cazurile în care este recomandată tratarea criogenică a pieselor, cu referire în special la repere fabricate din oțel înalt aliat cu conținut mare de carbon. Aplicarea schemei are ca efect reducerea duratei de tratament la un nivel inferior pragului de 24h, în medie 16h față de durate de până la 72h precum și creșterea repetabilității rezultatelor cu până la 25% față de aplicația tratamentului fără aceste modificări de tehnologie.

Tabel 1

Număr de pendulări în domeniul temperaturii critice la răcire în funcție de dimensiunea minimă a secțiunii, a

Dimensiunea secțiunii, a, mm	Număr de pendulări
Sub 20	2
20...40	3
40...75	4
Peste 75	5

REVENDICĂRI

1. Procedeu de tratament termic complex inclusiv tratament criogenic destinat reperelor metalice realizate din oțel cu conținut ridicat de carbon caracterizat prin aceea că temperatura de încălzire pentru călire se realizează cu o creștere a temperaturii maxime cu 20...30 K peste temperatura maximă standard recomandată pentru material simultan cu reducerea timpului de menținere.
2. Procedeu de tratament termic complex inclusiv tratament criogenic destinat reperelor metalice realizate din oțel cu conținut ridicat de carbon caracterizat prin aceea că menținerea la temperatura critică de răcire este înlocuită cu pendularea modestă a temperaturii (20K).
3. Procedeu de tratament termic complex inclusiv tratament criogenic destinat reperelor metalice realizate din oțel cu conținut ridicat de carbon caracterizat prin aceea că pe durata răcirii la temperaturi intense negative (77K) se aplică un număr de 2...5 cicluri de încălzire / răcire între temperatura minimă și temperatura critică de răcire.

Fig. 1.

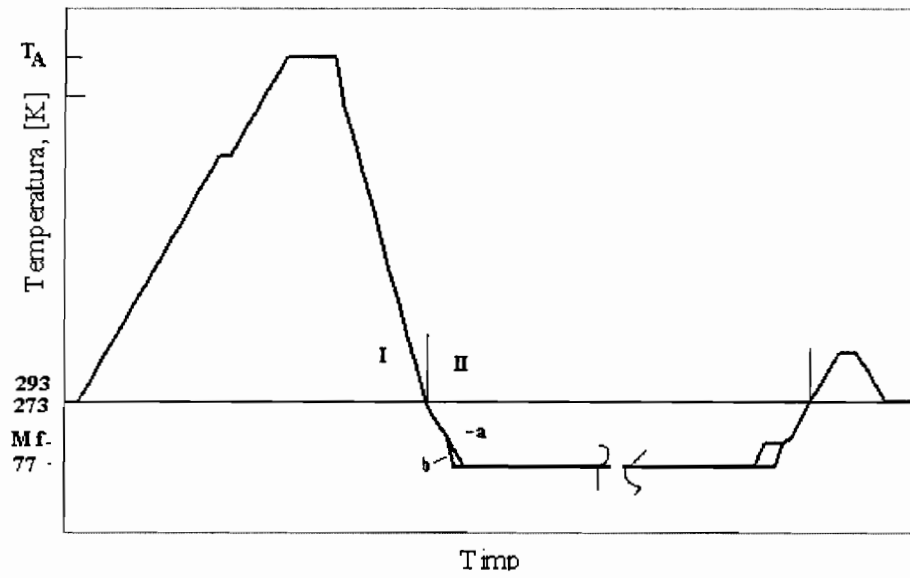


Fig. 2.

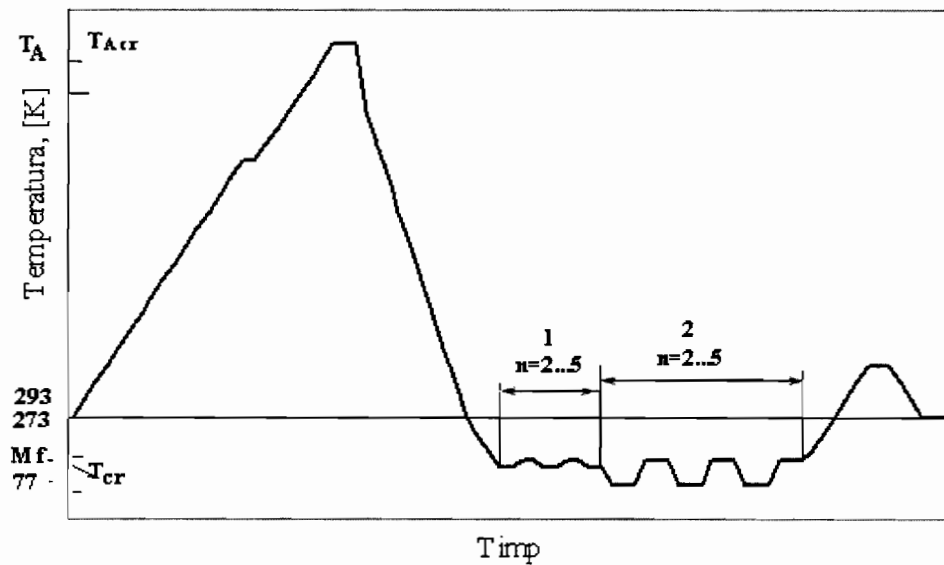


Fig. 3

