

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901740955A1

Publication Date

20101212

Applicant

F.A.C.E.M. S.P.A.

Title

PROCEDIMENTO PER LA PRODUZIONE DI UN PEZZO IN ACCIAIO DA
CEMENTAZIONE, BASATO SU STAMPAGGIO A CALDO SEGUITO DA
RAFFREDDAMENTO CONDIZIONATO E RICOTTURA SUBCRITICA, E
RELATIVO IMPIANTO

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

I0135138

"Procedimento per la produzione di un pezzo in acciaio da cementazione, basato su stampaggio a caldo seguito da raffreddamento condizionato e ricottura subcritica, e relativo impianto"

Di: F.A.C.E.M. S.p.A., nazionalità italiana, via Fabbriche 11/C, 10141, Torino (Italia)

Inventori designati: Davide ROLLECAPRA

Depositata il: 12 Giugno 2009

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un procedimento per la produzione di un pezzo in acciaio, comprendente le fasi seguenti:

riscaldare acciaio da cementazione ad una temperatura di stampaggio T_s e sottoporre detto acciaio ad uno stampaggio a caldo, in modo tale da ottenere un pezzo stampato avente una forma prestabilita;

sottoporre detto pezzo stampato ad un trattamento termico preliminare;

successivamente al trattamento termico preliminare, sottoporre detto pezzo stampato ad una lavorazione meccanica per asportazione di truciolo;

successivamente alla lavorazione meccanica, sottoporre detto pezzo stampato a cementazione; e

successivamente alla cementazione, sottoporre detto pezzo stampato ad un trattamento termico finale.

L'invenzione riguarda anche un impianto per la trasformazione di acciaio da cementazione e la produzione di un pezzo stampato a caldo, comprendente:

una stazione di stampaggio a caldo, atta a produrre un pezzo stampato secondo una forma prestabilita;

una stazione di trattamento termico preliminare del pezzo stampato; ed

una stazione di raccolta per lo stoccaggio del pezzo trattato in vista di una successiva lavorazione meccanica.

Come è noto, un acciaio da cementazione rientra nella categoria degli acciai da costruzione bassolegati. Esistono tuttavia vari tipi di acciaio da cementazione che differiscono per il tipo ed il tenore degli elementi di lega. A seconda del tipo di elementi di lega si possono ottenere caratteristiche finali sul componente finito più o meno elevate.

L'organo meccanico più tipicamente di impiego comune realizzato in acciaio da cementazione è la

ruota dentata. La ruota dentata finita assume le caratteristiche di un vero e proprio materiale composito, in quanto il trattamento di cementazione altera completamente le caratteristiche chimiche del materiale andando a realizzare un forte incremento del tenore di carbonio sulla superficie del pezzo, e portandolo ad un'analisi chimica più assimilabile a quella di un acciaio da cuscinetti. Tale arricchimento di carbonio si realizza su uno strato superficiale di spessore variabile tra 0,3 mm e 1,2 mm a seconda delle applicazioni. La differenziazione degli elementi di lega tra un acciaio da cementazione ed un altro è fatta per ottenere caratteristiche meccaniche più o meno elevate nel cuore della ruota dentata non interessato dall'arricchimento di carbonio. A seconda del tenore di elementi di lega dell'acciaio da cementazione si avranno una resistenza ed una resilienza diversa del cuore della ruota dentata dopo il trattamento termico finale di tempra e distensione.

L'operazione di cementazione avviene generalmente sottoponendo il particolare finito di lavorazione a un'atmosfera di tipo carburante. Il carbonio, contenuto nel metano dell'atmosfera (in caso di cementazione gassosa) o direttamente nella pol-

vere di carbonio (per la cementazione in cassetta), si diffonde nella matrice del metallo che alla temperatura di cementazione si presenta in forma austenitica. L'austenite permette di assorbire elevati tenori di carbonio, pertanto tale caratteristica unita all'elevata temperatura (900-920°C) del processo favorisce i fenomeni diffusivi allo stato solido creando uno strato ricco di carbonio sulla superficie del pezzo.

Per ottenere le caratteristiche finali del manufatto, in termini di resistenza, durezza e resilienza, è necessario subito dopo la cementazione procedere con una tempra ed una lieve distensione a 200°C. Tale trattamento è un trattamento finale, ovvero un trattamento che fornisce al pezzo le caratteristiche meccaniche necessarie per essere impiegato definitivamente nel contesto in cui deve operare.

Il trattamento di tempra su tale tipo di acciaio arricchito di carbonio in superficie conferisce una durezza ed una resistenza talmente elevati che sarebbe impossibile farlo seguire da ulteriori lavorazioni meccaniche. Fa eccezione la lavorazione di rettifica che viene eseguita bene anche sul materiale cementato, ma dati gli spessori di sovrame-

tallo molto ridotti (0,02 - 0,1 mm al massimo di asportazione) che essa permette di asportare è più mirata ad avere una finitura eccellente, ma non sarebbe assolutamente adatta a realizzare dal pieno il manufatto per i costi e per i tempi lunghissimi. Senza contare che per la natura stessa della cementazione, che è un arricchimento localizzato sulla superficie del pezzo, non si possono effettuare elevate asportazioni dopo questo trattamento termochimico pena l'asportazione completa dello strato cementato.

Il trattamento termico preliminare è invece eseguito essenzialmente con due scopi:

- conferire al metallo base limitata resistenza e buona lavorabilità alle macchine utensili per asportazione di truciolo;
- conferire al metallo base una struttura di partenza buona che permetta di avere le minori deformazioni possibili dopo il processo di cementazione e tempra.

La struttura che si ottiene tramite il trattamento preliminare deve essere:

- il più possibile uniforme all'interno del pezzo e ripetibile in tutto il lotto di produzione dei pezzi;

- stabile nel tempo, ovvero non deve dare luogo a tensioni interne che rilasciandosi potrebbero comportare la deformazione del pezzo;
- con resistenza e resilienza adeguate a ottenere un'ottima truciolabilità;
- ripetibile nel tempo, ovvero riproducibile paritetivamente ogni volta che si produce un lotto di pezzi.

Il trattamento preliminare più diffuso sugli acciai da cementazione è la ricottura isoterma, così chiamata perché la trasformazione della struttura da struttura austenitica di alta temperatura a struttura stabile a temperatura ambiente passa tramite una trasformazione per l'appunto isoterma, ovvero che avviene ad una temperatura ben prestabilita e costante dall'inizio alla fine della trasformazione.

La ricottura isoterma prevede:

- un riscaldamento del pezzo a circa 860°C (ma a volte si tende a superare la temperatura del successivo trattamento cementante, ovvero 920°C);
- un mantenimento del pezzo a tale temperatura per un tempo sufficiente a uniformare la temperatura all'interno del pezzo e a realizzare il completo discioglimento nell'austenite di tutti i carburi;

- un abbattimento molto repentino della temperatura fino a 600°C. Tale abbattimento avviene di solito tramite ventilazione d'aria forzata al di sotto della carica;
- un mantenimento a temperatura costante a 600°C per permettere la completa trasformazione dell'austenite nella struttura desiderata, ovvero ferrite e perlite.

La struttura di un medio acciaio da cementazione, ricotto isotermicamente, si presenta sotto forma di grani di ferrite e perlite. La perlite presenta i carburi depositati sotto forma di lamelle e prende il nome di perlite lamellare. La natura isotermica del trattamento ha la funzione di creare nella matrice del materiale in contemporanea diversi focolai di trasformazione di ferrite e perlite a partire dall'austenite, il che aiuta a ottenere una struttura il più uniforme possibile.

Da un punto di vista tecnico, la ricottura isotermica è il trattamento ideale e permette di ottenere la struttura più uniforme, unita alla migliore lavorabilità agli utensili. Tuttavia, sarebbe desiderabile concepire un altro tipo di trattamento che permetta di conseguire risultati il più possibile vicini a quelli della ricottura isotermi-

ca, ma con un minor dispendio di energia, di tempo e quindi meno oneroso, in modo da renderlo accessibile e attuabile anche da aziende interessate alla trasformazione di acciaio e non solo da aziende che effettuano trattamenti conto terzi. È infatti noto che la ricottura isotermica richiede attrezzature che, dati gli investimenti richiesti, a volte non sono accessibili alle aziende che si occupano della trasformazione dell'acciaio, le quali pertanto per la sua esecuzione devono ricorrere ad aziende che si occupano di trattamenti per conto terzi e gestire un trasporto di masse considerevoli di materiale, il che provoca un non indifferente impatto ambientale.

Tale scopo è raggiunto secondo l'invenzione da un procedimento per la produzione di un pezzo stampato a caldo in acciaio avente le caratteristiche definite all'inizio, in cui il trattamento termico preliminare comprende una fase di raffreddamento continuo, in cui detto pezzo stampato si raffredda da una temperatura iniziale residua di stampaggio T_1 prossima alla temperatura di stampaggio T_s fino ad una temperatura finale T_2 inferiore alla temperatura T_{FP} di fine della trasformazione perlitica per detto acciaio da cementazione, mentre il pezzo viene tra-

sferito dalla stazione di stampaggio ad una stazione di raccolta tramite mezzi trasportatori a nastro, ed

in cui detto raffreddamento continuo del pezzo stampato è condizionato dall'inseguimento di una curva di raffreddamento ideale per il pezzo stampato, che definisce nel suo intorno una regione di raffreddamento ideale, per cui, data una velocità di raffreddamento naturale v_N del pezzo stampato, funzione della forma e delle dimensioni di detto pezzo, :

i) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è minore della minima velocità di raffreddamento v_I associata alla regione di raffreddamento ideale, il pezzo stampato viene sottoposto a raffreddamento condizionato durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori, in modo tale che la curva effettiva di raffreddamento del pezzo ricada nella regione di raffreddamento ideale; oppure,

ii) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è compresa nella regione di raffreddamento ideale, il pezzo stampato viene lasciato raffreddare naturalmente durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori;

iii) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è

maggiore della massima velocità di raffreddamento v_I associata alla regione di raffreddamento ideale, il pezzo stampato viene lasciato raffreddare naturalmente durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori, e successivamente viene sottoposto a ricottura subcritica.

Forme di attuazione preferite dell'invenzione risultano dalle rivendicazioni dipendenti.

La curva di raffreddamento ideale definisce una regione di raffreddamento ideale, limitata - per brevi tempi di raffreddamento - dalla regione di naso bainitico (ove si formerebbe una struttura indesiderata per l'eccessivo contenuto di bainite e per le durezza troppo elevate) e - per lunghi tempi di raffreddamento - dalla regione in cui si avrebbe la sferoidizzazione della perlite (ove si formerebbe una struttura indesiderata perché poco lavorabile per asportazione di truciolo e per la durezza troppo bassa), come meglio identificabile dal grafico di figura 3.

Nel processo secondo l'invenzione il trattamento termico preliminare proposto permette di ottenere risultati in termini di struttura ed in termini di caratteristiche meccaniche idonei a renderlo a tutti gli effetti una vera alternativa al

trattamento preliminare di ricottura isoterma. Rispetto alla ricottura isoterma permette però un risparmio notevole in termini di energia e di tempo. Questo avviene principalmente per il motivo che si utilizza parte dell'energia consumata per riscaldare il pezzo alla temperatura di stampaggio per realizzare una parte consistente ed importante del trattamento termico.

Forma ulteriore oggetto dell'invenzione un impianto per la trasformazione di acciaio da cementazione e la produzione di un pezzo stampato a caldo, in cui la stazione di trattamento termico preliminare include mezzi trasportatori del pezzo stampato dalla stazione di stampaggio alla stazione di raccolta, atti a convogliare il pezzo ad una velocità regolabile lungo un tunnel di raffreddamento provvisto di dispositivi di raffreddamento condizionato selettivamente attivabili, ed una stazione di ricottura subcritica, atta ad attuare un trattamento termico di ricottura subcritica di detto pezzo in funzione delle sue condizioni di temperatura all'uscita del tunnel di raffreddamento.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi risulteranno dalla descrizione che segue, con particolare riferimento ai disegni annessi, dati a puro titolo

di esempio non limitativo, in cui:

la figura 1 è uno schema a blocchi che illustra le principali fasi di un processo di produzione di un pezzo in acciaio a partire dallo stampaggio a caldo di acciaio da cementazione;

la figura 2 è un diagramma di flusso che illustra le operazioni di un trattamento termico preliminare secondo l'invenzione nell'ambito del processo della figura 1;

la figura 3 è un diagramma CCT per un acciaio da cementazione in cui sono rappresentate curve di raffreddamento con velocità differenti ed una regione di raffreddamento ideale, nella quale si ottengono una struttura di ferrite e perlite lamellare con durezza ideali o comunque ammissibili per la buona lavorabilità all'utensile;

la figura 4 è una rappresentazione schematica di un'apparecchiatura per il raffreddamento continuo di un pezzo stampato in acciaio nell'ambito di un trattamento termico preliminare secondo l'invenzione; e

la figura 5 è una rappresentazione schematica di un impianto di produzione di un pezzo stampato a caldo in acciaio da cementazione secondo l'invenzione, nel suo complesso.

Con riferimento alla figura 1, un tipico procedimento per la produzione di un pezzo stampato a caldo in acciaio, che utilizza come materiale di partenza acciaio da cementazione, comprende generalmente le fasi qui sotto brevemente descritte.

Inizialmente, si riscalda l'acciaio da cementazione ad una temperatura di stampaggio T_s (generalmente ad una temperatura compresa fra 1200 e 1300°C, alla quale l'acciaio presenta la necessaria plasticità per essere stampato nella forma richiesta), e si sottopone tale acciaio ad uno stampaggio a caldo, in modo tale da ottenere un pezzo stampato avente una forma prestabilita (fase indicata con 10 in figura 1).

Tale pezzo stampato viene quindi sottoposto ad un trattamento termico preliminare (fase 20), avente gli scopi già indicati nella parte iniziale della presente descrizione, ovvero:

- conferire all'acciaio limitata resistenza e buona lavorabilità alle macchine utensili per asportazione di truciolo;
- conferire all'acciaio una struttura di partenza buona che permetta di avere le minori deformazioni possibili dopo i successivi processi di cementazione e tempra.

In seguito, il pezzo stampato viene generalmente sottoposto a sabbiatura (fase 30), e poi a lavorazione meccanica per asportazione di truciolo (fase 40), per conferire al pezzo stampato la desiderata forma finale.

Poi, il pezzo viene sottoposto a cementazione (fase 50), al fine di arricchire di carbonio uno strato superficiale di tale pezzo.

Infine, è previsto un trattamento termico finale (fase 60), per conferire al pezzo le caratteristiche desiderate in termini di resistenza, durezza e resilienza, in funzione dell'applicazione a cui tale pezzo è destinato (ad es., ruota dentata di un ingranaggio).

Secondo l'invenzione, il trattamento termico preliminare del processo di produzione del pezzo stampato comprende essenzialmente una fase di raffreddamento continuo, al quale a seconda delle circostanze segue una ricottura subcritica (si faccia riferimento alle figure 2 e 3).

La fase di raffreddamento continuo avviene con una certa curva di raffreddamento a partire dalla temperatura residua di stampaggio, ovvero ad una temperatura T_1 prossima alla temperatura T_s , ad esempio circa 1150°C . Il raffreddamento continuo av-

viene mentre il pezzo viene trasferito dalla stazione di stampaggio ad una stazione di raccolta tramite mezzi trasportatori a nastro. Tale situazione è rappresentata schematicamente in figura 4, nella quale con ST è indicata la stazione di stampaggio, con SR è indicata la stazione di raccolta, con TN sono indicati i mezzi trasportatori a nastro, e con P sono indicati i pezzi stampati usciti in serie dalla stazione di stampaggio ST e trasportati verso la stazione di raccolta SR. Con TR è invece indicato un tunnel di raffreddamento attraverso il quale i pezzi P vengono fatti passare nel percorso dalla stazione di stampaggio ST alla stazione di raccolta SR.

Il processo di raffreddamento sopra menzionato si può ricondurre ad un raffreddamento continuo normalmente rappresentato dai diagrammi CCT (Continuous Cooling Transformation).

Nel raffreddamento continuo e costante di una lega metallica si possono incontrare diverse fasi di trasformazione, e pertanto ottenere diverse strutture finali, e di conseguenza diverse durezze. Come verrà chiarito nel seguito, tale raffreddamento continuo è "condizionato", nel senso che si tratta di un processo di raffreddamento indotto al

preciso scopo di ottenere la struttura e la durezza desiderata forzando una velocità di raffreddamento ben determinata. Tale struttura è leggibile sul diagramma CCT tracciando la curva di raffreddamento indotta dal processo di raffreddamento condizionato (si veda la figura 3).

In funzione delle caratteristiche strutturali desiderate, si identifica quindi una regione ideale R_I di intorno di una curva di raffreddamento ideale C_I , che origina da un punto di inizio processo alla temperatura iniziale T_1 residua di stampaggio e termina ad un punto di fine processo desiderato alla temperatura finale T_2 (temperatura inferiore alla temperatura T_{FP} di fine della trasformazione perlitica). A tale curva C_I è associato un insieme di velocità di raffreddamento ideali v_I , ovvero un valore medio di velocità compreso nella regione ideale (passo 201 del diagramma di figura 2). Un processo ideale di raffreddamento è in particolare quello descritto da una curva di raffreddamento tracciata sul diagramma CCT che passa al di sopra della regione di naso bainitico R_B , ovvero che fa finire il punto di fine processo nella regione della ferrite + perlite (R_{FP}), senza che la curva abbia mai incrociato la regione di naso bainitico.

In queste condizioni il materiale del pezzo presenta una struttura costituita da ferrite e perlite la cui percentuale è legata al contenuto di carbonio dell'acciaio di base. Se il trattamento di raffreddamento è condotto bene, ovvero con le modalità sopra citate, la differenza riscontrabile tra la struttura ottenuta con una ricottura isotermica ed una struttura ottenuta con il raffreddamento condizionato è minima e si sintetizza solo in una dimensione delle lamelle di perlite e del grano ferritico che può essere leggermente diversa, proprio per il fatto che in un caso la perlite si crea in un processo isoteramico, ovvero a temperatura costante, mentre nell'altro caso la perlite si crea in un processo a temperatura variabile con continuità. Molto spesso tale differenza è riscontrabile solo da un occhio di un esperto che disponga della possibilità di confrontare le micrografie del pezzo sottoposto a raffreddamento condizionato e di un pezzo analogo sottoposto a ricottura isotermica. Anche in questo caso, comunque, la differenza è minima e i due processi possono essere spesso confusi se giudicati solo dal risultato strutturale.

A seconda delle caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura di raffreddamento (ovvero mez-

zi trasportatori TN e tunnel di raffreddamento TR), ed a seconda di forma e dimensioni del pezzo da trattare, il processo di raffreddamento ideale si può effettuare solo in alcuni casi. Ciò si può spiegare nel modo seguente.

Il pezzo stampato a caldo alla temperatura alla quale presenta la necessaria plasticità, tende a raggiungere la temperatura ambiente in tempi più o meno lunghi. In questa fase le cause che agiscono sui tempi di raffreddamento sono essenzialmente le seguenti:

- 1) differenza ΔT tra temperatura di stampaggio e temperatura dell'ambiente in cui il pezzo è posto a raffreddarsi;
- 2) condizioni di aria calma o presenza di ventilazione;
- 3) capacità riflettente del contenitore in cui è contenuto il pezzo;
- 4) forma del pezzo;
- 5) rapporto volume/superficie.

In un processo convenzionale di stampaggio, ovvero un processo nel quale il pezzo una volta stampato viene fatto cadere o posto in un contenitore metallico atto ad ospitare pezzi che vi giungono intorno ai 1100-1250°C, i fattori 1, 2 e 3 va-

riano in continuazione: il primo pezzo a contenitore vuoto si trova in un ambiente tra i 5 ed i 35°C a seconda del periodo stagionale, per cui la velocità di raffreddamento è rapida a causa del grande ΔT . Intorno ad esso trova un contenitore vuoto e le pareti del medesimo, a parte quella su cui grava il pezzo, sono piuttosto distanti. All'opposto, un pezzo scaturito successivamente alla produzione di alcune centinaia di pezzi (il numero comunque dipende dalla dimensione del pezzo e dalle dimensioni del contenitore) si trova al centro del contenitore, ed è circondato da numerosi altri pezzi a temperatura simile e pertanto si raffredda molto lentamente fino alla temperatura ambiente, in quanto giace in un ambiente a temperatura paragonabile a quella del pezzo stesso, per cui il ΔT è molto basso e altrettanto bassa è la perdita di calore per conduzione. Anche le condizioni di irraggiamento sono completamente diverse rispetto al primo pezzo. L'ultimo pezzo si trova in un ambiente ancora diverso, adagiato com'è su di un letto di pezzi a temperatura paragonabile alla propria e sovrastato dall'aria dell'ambiente.

Considerando che in un acciaio da costruzione, sia esso da cementazione o da bonifica, la struttu-

ra del materiale è fortemente influenzata dalla velocità di raffreddamento, come si può evincere dalla lettura dei diagrammi CCT, si può capire facilmente come i pezzi stampati in acciaio che si raffreddano dalla temperatura di stampaggio all'interno di un contenitore che si riempie progressivamente al ritmo di un pezzo ogni 4-15 secondi a seconda della dimensione e del peso (la cadenza produttiva è influenzata per l'appunto dalla massa e dalle dimensioni), possano presentare strutture metallografiche completamente diverse a seconda se si sono trovati all'inizio del processo ad entrare in un contenitore vuoto, piuttosto che in un contenitore riempito a metà, o pieno.

A titolo di esempio, se si analizza la struttura di pezzi in acciaio 20MnCr5 del peso di 1-2 Kg contenuti in un contenitore metallico nel quale si sono raffreddati dalla temperatura del processo di stampaggio a caldo, si potrà facilmente verificare la totale diversità di struttura, di dimensione del grano ferritico, delle lamelle di perlite e la percentuale di bainite che può oscillare tra lo 0% ed il 15%.

Se si considera che i pezzi stampati in acciaio da cementazione subiscono successivamente più

lavorazioni meccaniche, si può capire come il fatto di lavorare pezzi che per effetto del raffreddamento dopo stampaggio hanno una struttura non uniforme e non ripetibile all'interno del lotto di produzione possa portare a risultati scadenti sia dal punto di vista della finitura superficiale che della durata degli utensili.

Infatti, in una produzione in serie che vede parametri di taglio molto esasperati è fondamentale tarare le caratteristiche degli utensili (angoli di spoglia e di attacco del tagliente, materiale dell'utensile, trattamenti termici e superficiali dell'utensile) e i parametri di taglio (velocità di taglio e avanzamento) alla durezza ed al grado di truciolabilità del pezzo, ovvero alla tendenza di produrre un truciolo più o meno continuo, frammentato o a dare tagliente di riporto. Considerando che esiste quasi sempre l'utensile adatto ad un certo materiale ed a una certa struttura, il lavorare pezzi che si presentano in condizioni di non uniformità strutturale all'interno del lotto di produzione non permette praticamente mai di raggiungere i risultati desiderati di finitura superficiale del pezzo e di durata dell'utensile.

Nel seguito si citano in ordine di importanza

le tre caratteristiche più importanti che deve avere il materiale che compone un lotto di pezzi da sottoporre a lavorazione meccanica per asportazione di truciolo:

- 1) uniformità di caratteristiche strutturali all'interno del lotto;
- 2) durezza ottimale, ovvero pezzo non troppo morbido da creare tagliente di riporto e non troppo duro da compromettere la durata del tagliente;
- 3) truciolabilità ottimale, data da una resilienza non troppo elevata.

Lo scopo principale del raffreddamento condizionato è quello di perseguire il massimo risultato relativamente al primo e più importante aspetto, ovvero l'uniformità delle caratteristiche.

Se è pur vero che la durezza e la truciolabilità sono importantissime, l'uniformità del lotto è delle tre sicuramente la caratteristica più importante. È infatti vero che è più facile lavorare pezzi che sono un po' più duri del desiderato, ma che sono tutti uguali, rispetto a lavorare pezzi che presentano caratteristiche fortemente variabili all'interno del lotto; nel primo caso si tratta di trovare l'utensile ed i parametri di taglio giusti, nel secondo caso questo è impossibile e ci si tro-

verà ad avere finiture superficiali di aspetto fortemente variabile, mentre la durata del tagliente dell'utensile sarà sempre un'incognita, influenzata com'è dalla durezza variabile e dal fenomeno del tagliente di riporto che si può presentare quando gli angoli di attacco dell'utensile non sono adatti alle caratteristiche del materiale.

Pertanto, lo scopo del raffreddamento condizionato è prima di tutto quello di perseguire sul lotto l'uniformità di caratteristiche, dopodiché si cerca di ottimizzare anche la durezza e la truciolabilità. Un raffreddamento ideale è quello che riesce a forzare sui pezzi una curva di raffreddamento non troppo veloce da non intersecare la regione di naso bainitico o comunque non intersecarla per un lungo tratto (percentuali molto elevate di bainite sono di solito non desiderate perché aumentano molto la durezza del materiale, mentre percentuali ridotte di bainite sono anche gradite perché aumentano di poco la durezza rispetto ad una struttura di pura ferrite e perlite, che essendo molto morbida può innescare il fenomeno del tagliente di riporto).

Considerando la velocità di raffreddamento ideale v_1 come quella che permette al pezzo di otte-

nere la struttura desiderata di ferrite e perlite con assenza di bainite, o eventualmente con la percentuale desiderata di bainite, il pezzo posto in un ambiente neutro, ovvero con un contatto non molto esteso con la superficie di supporto e in un ambiente in aria calma, può raffreddarsi naturalmente con una velocità di raffreddamento naturale v_N maggiore o minore a seconda della forma del pezzo e del rapporto volume/superficie.

Il procedimento secondo l'invenzione presuppone quindi una determinazione empirica di tale velocità di raffreddamento naturale v_N (passo 202 del diagramma di figura 2) tramite uso di software di simulazione dedicato o tramite una prova pratica.

Tramite accorgimenti tecnici, è possibile forzare la velocità di raffreddamento creando una curva assimilabile a quella ideale o tale da ricadere in una regione di intorno della curva di raffreddamento ideale, definita regione di raffreddamento ideale.

In generale, in caso di pezzo con velocità naturale v_N superiore alla velocità ideale v_I sarà necessario rallentare il raffreddamento agendo sui seguenti parametri:

- uso di pareti isolanti o addirittura riflet-

tenti;

- superficie d'appoggio del pezzo isolante;
- in assenza di una o entrambe le prime due caratteristiche sopraccitate, apporto di calore dall'esterno in modo da portare il ΔT medio al valore che permette di rallentare la velocità di raffreddamento;
- permanenza nell'ambiente di raffreddamento sufficiente per far giungere il materiale nelle condizioni di struttura stabile desiderata.

In caso di pezzo con velocità naturale v_N inferiore alla velocità ideale v_I sarà necessario accelerare il raffreddamento agendo sui seguenti parametri:

- uso di pareti non riflettenti;
- superficie d'appoggio del pezzo con buona conducibilità;
- ventilazione forzata con lo scopo di accelerare la trasmissione di calore per convezione;
- nebulizzazione nell'ambiente in cui giace il pezzo di acqua che evaporando sottragga calore all'ambiente.

È chiaro che esiste una certa difficoltà a conciliare la necessità di creare le necessarie condizioni di smaltimento di calore, con l'esigenza

di smaltire la portata di pezzi che vengono prodotti nel processo di stampaggio, in quanto non si può agire su di una camera statica, ma queste caratteristiche devono essere presenti su di un convogliatore TN che permetta di ricevere i pezzi alla temperatura di stampaggio e dal quale i pezzi escano a trasformazione terminata e ad una temperatura alla quale l'effetto massa che si avrà nel contenitore SR posto a valle del convogliatore non comporti una successiva variazione apprezzabile delle caratteristiche del materiale. Il convogliatore deve inoltre essere sufficientemente lungo per lasciare al pezzo il tempo necessario ad arrivare ad assumere la struttura definitiva e stabile nel tempo.

Secondo l'invenzione, il convogliatore sarà dotato di un tunnel nel quale saranno create le condizioni di isolamento, apporto o smaltimento di calore ideali per ottenere la velocità di raffreddamento desiderata e il risultato strutturale voluto.

Molto spesso i pezzi che vengono prodotti dalla stessa linea di stampaggio a caldo hanno caratteristiche geometriche molto variabili e lotti di produzione abbastanza ridotti in relazione alla cadenza produttiva del processo, per cui è molto pro-

babile che nell'arco di un turno di produzione sia necessario effettuare molte regolazioni a seconda che il pezzo prodotto tenda a raffreddarsi naturalmente con velocità maggiore od inferiore a quella ideale. Questo comporta una notevole complicazione dell'attrezzatura di raffreddamento che per soddisfare tutte le esigenze di raffreddamento di tutti i pezzi, dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- velocità del convogliatore sufficiente e regolabile per smaltire la portata di pezzi prodotti senza che i pezzi si sovrappongano o che siano posti ad una distanza troppo piccola che potrebbe influenzare il raffreddamento degli stessi a causa del reciproco irraggiamento;
- lunghezza sufficiente del convogliatore affinché all'interno del tunnel si svolga tutto il raffreddamento necessario, ed affinché alla fine il pezzo si trovi ad avere la struttura desiderata stabile e non più influenzabile dalle modalità di raffreddamento successivo nel contenitore in cui il pezzo cadrà o sarà posto. Tale lunghezza sarà tanto maggiore quanto maggiore è la cadenza del processo e pertanto la velocità del nastro;

- * possibilità di variare la forma e il grado di isolamento delle pareti, di creare una ventilazione forzata all'interno del tunnel o di iniettare acqua nebulizzata per smaltire il calore, oppure di apportare calore per mezzo di resistenze elettriche o di insufflaggio di fumi caldi provenienti da uno o più bruciatori posti all'esterno del tunnel.

Tutte queste caratteristiche sono tecnicamente realizzabili su di un convogliatore, ma molto spesso non sono conciliabili con gli spazi limitati presenti nelle aziende di stampaggio. Inoltre, la compresenza di una serie di dispositivi per apportare o smaltire calore in quantità più o meno grande porta il tutto ad un livello di complicazione meccanica e ad una difficoltà di utilizzo e di variazione corretta dei parametri, oltre che a dimensioni (lunghezza, altezza) e massa elevate, che ne rendono di fatto impossibile o non conveniente l'uso, specialmente quando si debbano variare anche 4 o 5 volte per ogni turno di lavoro i parametri di funzionamento a seconda delle caratteristiche dei pezzi prodotti.

Di fatto, è possibile utilizzare un'apparecchiatura non troppo complessa e di facile uso che

non permette di ottenere però sempre la velocità ideale di raffreddamento v_I .

Con riferimento alla figura 4, in tale apparecchiatura semplificata i mezzi trasportatori a nastro TN sono costituiti da un nastro a catena di lunghezza limitata (ad es. inferiore a 10 m), mosso da un motore elettrico che permette di regolare la velocità del nastro; il tunnel è un tunnel di raffreddamento, provvisto di dispositivi di raffreddamento forzato DR ad aria (ad es. turbosoffianti) e/o ad acqua (ad es. ugelli per la spruzzatura di acqua nebulizzata), e sprovvisto di dispositivi di riscaldamento. In sostanza, la regolazione del raffreddamento in tale apparecchiatura semplificata avviene esclusivamente mediante regolazione della velocità del nastro ed attivazione selettiva dei dispositivi di raffreddamento.

L'apparecchiatura semplificata permette di approssimare la velocità di raffreddamento ideale v_I per quasi tutti i pezzi per i quali la velocità di raffreddamento naturale v_N è inferiore o uguale a quella ideale (caso rappresentato dalla curva C_L in figura 3), asportando più o meno calore per mezzo della ventilazione forzata e/o della spruzzatura di acqua nebulizzata (passo 203 del diagramma di figu-

ra 2). Al limite, per i pezzi per i quali la velocità di raffreddamento naturale v_N è compresa nella regione di raffreddamento ideale R_I , si agisce esclusivamente sulla velocità del nastro convogliatore per tendere ad una ugualizzazione della temperatura dei pezzi al raggiungimento della stazione di raccolta. La velocità di raffreddamento naturale deve essere comunque non troppo bassa rispetto alle capacità dell'apparecchiatura, in modo che per mezzo dell'asportazione di calore tramite la ventilazione o l'iniezione di acqua nebulizzata, sia possibile completare la trasformazione sul convogliatore ed avere all'uscita i pezzi alla temperatura tale che non siano più trasformati nel contenitore posto al fondo del nastro. Tale situazione è rappresentata da un punto sul grafico compreso nella regione di raffreddamento ideale nell'area R_{FP} .

Per i pezzi che presentano una velocità di raffreddamento naturale v_N superiore a quella ideale v_I (caso rappresentato dalla curva C_v in figura 3) dal momento che il convogliatore presenta una lunghezza fissa ed il tunnel non è in grado di appor-
tare calore o di variare in modo significativo le proprie condizioni di isolamento, si lascia che i pezzi si raffreddino naturalmente, durante il loro

trasferimento. La durezza che si otterrà sarà più elevata e sarà pertanto abbassata sottoponendo i pezzi ad un trattamento successivo di ricottura subcritica (passo 204 del diagramma di figura 2).

Tale trattamento di ricottura subcritica sarà necessario anche per quei pezzi che presentando una velocità di raffreddamento naturale molto inferiore a quella ideale, non si riescono a raffreddare sufficientemente nel tunnel TR per poter uscire dal nastro ad una temperatura tale per cui non ci siano ulteriori trasformazioni indotte dal calore residuo del pezzo nel contenitore posto alla fine del nastro. Questo caso è rappresentato da quei pezzi che per massa elevata e per intrinseco rapporto massa-superficie molto alto posseggono una velocità di raffreddamento naturale così ridotta che all'uscita del nastro convogliatore, nonostante l'uso combinato dei mezzi raffreddanti, si trovano ancora nella zona di trasformazione Austenite-Ferrite-Perlite, ossia per cui $T_2 > T_{FP}$ (passo 205 del diagramma di figura 2). Pertanto, un successivo raffreddamento nel contenitore caratterizzato da una velocità variabile, perché dipendente dal grado di isolamento/conduzione termica che il pezzo troverà nel contenitore che si riempie progressivamente, può pro-

vocare variazioni strutturali e/o di durezza notevoli.

Per questi pezzi sarebbe possibile ottenere la struttura e la durezza necessarie con un tunnel più lungo, e di conseguenza con maggior capacità raffreddante del quale però non è possibile disporre qualora vi siano spazi limitati. Per questo motivo si potrebbero costruire nastri a più piani in modo da avere una lunghezza sufficiente in minor spazio, purché le altezze che ne conseguono siano compatibili con lo spazio a disposizione.

Onde evitare di predisporre strutture di trattamento eccessivamente complesse ed ingombranti, secondo l'invenzione si propone quindi di abbinare al raffreddamento condizionato una successiva fase di ricottura subcritica (passo 204 del diagramma di figura 2).

Il trattamento di ricottura subcritica è eseguibile presso una stazione di ricottura subcritica RS disposta a valle del tunnel di raffreddamento TR, verso la quale sono selettivamente indirizzabili i pezzi semilavorati che, all'uscita del tunnel di raffreddamento presentano ancora una temperatura $T_2 > T_{FP}$, ad esempio rilevata da sensori di temperatura STMP per sé noti nella tecnica. Una rappresen-

tazione schematica complessiva dell'impianto è fornita in via esemplificativa in figura 5, ove sono schematicamente rappresentati mezzi deviatori DEV associati ai mezzi trasportatori a nastro TN, atti a convogliare i pezzi stampati che presentano una temperatura superiore alla temperatura T_{FP} verso la stazione di ricottura subcritica RS, prima dello stoccaggio presso la stazione di raccolta SR.

La ricottura subcritica è una sorta di rinvenimento. Essa permette di diminuire la durezza di una struttura preesistente, senza alterarla. Il limite della ricottura subcritica, per il quale nel passato le è stata generalmente preferita la ricottura isotermica, è dato dal fatto che, non portando il materiale ad una struttura austenitica, non permette di ottenere una struttura uniforme di ferrite e perlite, ma livella solo i picchi di durezza della preesistente struttura di stampaggio che nei processi convenzionali è non uniforme e non ripetibile nel lotto per i motivi precedentemente citati.

L'abbinamento della ricottura subcritica con il raffreddamento condizionato permette di evitare il problema della non uniformità. Infatti, anche se il raffreddamento non porta alla struttura ed alla durezza ideale, come nel caso dei pezzi con veloci-

tà di raffreddamento naturale superiore alla velocità di raffreddamento ideale, esso in ogni caso permette di conseguire una piena uniformità dei pezzi stampati. Il fatto di trattare quindi pezzi assolutamente uniformi permette di evitare il limite intrinseco della ricottura subcritica, ovvero l'incapacità di imporre uniformità strutturale a pezzi in partenza non uniformi.

Agendo sui due parametri fondamentali della ricottura subcritica, ovvero:

- temperatura di ricottura tra circa 600°C e circa 700°C;
- permanenza a tale temperatura da circa 1h a circa 4 h,

si riesce ad ottenere sul pezzo stampato caratteristiche di durezza e lavorabilità ottimali ed uniformi.

Come si potrà apprezzare, l'abbinamento tra raffreddamento condizionato (che uniforma i pezzi) e l'eventuale successiva ricottura subcritica di fatto elimina i difetti della ricottura subcritica esaltandone i pregi, e di conseguenza permette un trattamento termico preliminare dei pezzi stampati con l'impiego di un'attrezzatura estremamente semplice e relativamente poco ingombrante. Secondo

l'invenzione è quindi possibile conseguire i seguenti vantaggi rispetto alla tecnica nota che ricorre alla ricottura isotermaica:

- costi ridotti;
- basso impatto ambientale per il minor consumo energetico;
- agendo sulla temperatura e sul tempo di ricottura si hanno maggiori possibilità di pilotare la durezza incrementandola di un 10-20% rispetto ai valori standard solitamente molto bassi tipicamente ottenibili con la ricottura isotermaica che, essendo di norma eseguita in forni continui a tunnel, permette di agire con minori gradi di libertà sui parametri di processo. Questo spesso è un pregio perché consente di effettuare lavorazioni con qualità di finitura superficiale superiore rispetto al pezzo ricotto isotermicamente;
- limitato investimento per un forno di ricottura subcritica (forno a camera) rispetto a un forno in continuo per ricottura isotermaica, il che lo rende adatto ad essere installato in loco ovvero presso l'azienda che stampa i pezzi. Questo porta all'evidente vantaggio della eliminazione dei trasporti da e verso le aziende di trattamento che effettuano la ricottura isotermaica;

- ottima truciolabilità anche con durezza più elevate rispetto alla ricottura isoterma. Molto spesso per esigenze di lavorazione viene richiesto di avere un trattamento preliminare con una durezza abbastanza alta. Dato che questo non si può ottenere con una ricottura isoterma, spesso si ricorre ad un trattamento di bonifica di precementazione, il quale ha però due difetti sostanziali, dati dal costo superiore alla ricottura isoterma e dalla scarsa truciolabilità causata dalla alta tenacità della struttura sorbitica che ne deriva.

In conclusione, l'abbinamento del raffreddamento condizionato con la ricottura subcritica permette di ottenere risultati paragonabili o migliori di quelli ottenibili dalla ricottura isoterma, con un costo ed un impatto ambientale che con buona approssimazione è pari al 50% di quello che si avrebbe con la ricottura isoterma.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di costruzione e le forme di attuazione potranno ampiamente variare rispetto a quanto descritto ed illustrato a puro titolo di esempio, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, definito dalle rivendicazioni allegate.

RIVENDICAZIONI

I0135138

1. Procedimento per la produzione di un pezzo stampato a caldo (P) in acciaio, comprendente le fasi seguenti:

riscaldare acciaio da cementazione ad una temperatura di stampaggio T_s e sottoporre detto acciaio ad uno stampaggio a caldo, in modo tale da ottenere un pezzo stampato (P) avente una forma prestabilita;

sottoporre detto pezzo stampato ad un trattamento termico preliminare;

successivamente al trattamento termico preliminare, sottoporre detto pezzo stampato ad una lavorazione meccanica per asportazione di truciolo;

successivamente alla lavorazione meccanica, sottoporre detto pezzo stampato a cementazione; e

successivamente alla cementazione, sottoporre detto pezzo stampato ad un trattamento termico finale;

caratterizzato dal fatto che il trattamento termico preliminare comprende una fase di raffreddamento continuo,

in cui detto pezzo stampato si raffredda da una temperatura iniziale residua di stampaggio T_1 prossima alla temperatura di stampaggio T_s fino ad

una temperatura finale T_2 inferiore alla temperatura T_{FP} di fine della trasformazione perlitica per detto acciaio da cementazione, mentre il pezzo (P) viene trasferito dalla stazione di stampaggio (ST) ad una stazione di raccolta (SR) tramite mezzi trasportatori a nastro (TN), ed

in cui detto raffreddamento continuo del pezzo stampato è condizionato all'inseguimento di una curva di raffreddamento ideale (C_I) per il pezzo stampato, che definisce nel suo intorno una regione di raffreddamento ideale (R_I), per cui, data una velocità di raffreddamento naturale v_N del pezzo stampato, funzione della forma e delle dimensioni di detto pezzo (P):

- i) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è minore della minima velocità di raffreddamento v_I associata alla regione di raffreddamento ideale (R_I), il pezzo stampato (P) viene sottoposto a raffreddamento condizionato durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori (TN), in modo tale che la curva effettiva di raffreddamento del pezzo ricada nella regione di raffreddamento ideale (R_I); oppure,

- ii) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è compresa nella regione di raffreddamento ideale (R_I), il pezzo stampato (P) viene lasciato raffreddare naturalmente durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori (TN), oppure
- iii) se la velocità di raffreddamento naturale v_N è maggiore della massima velocità di raffreddamento v_I associata alla regione di raffreddamento ideale (R_I), il pezzo stampato (P) viene lasciato raffreddare naturalmente durante il suo trasferimento lungo i mezzi trasportatori (TN), e successivamente viene sottoposto a ricottura subcritica.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui, nel caso i), se al termine della fase di raffreddamento condizionato durante il trasferimento lungo i mezzi trasportatori (TN) il pezzo stampato (P) presenta una temperatura ancora superiore alla temperatura di fine della trasformazione perlitica (T_{FP}), il pezzo stampato (P) viene inoltre sottoposto a ricottura subcritica successivamente al raffreddamento condizionato.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2,

in cui la regolazione del raffreddamento continuo del pezzo stampato (P) avviene esclusivamente mediante regolazione della velocità di avanzamento di detti mezzi trasportatori a nastro (TN) e/o attivazione selettiva di mezzi di raffreddamento condizionato (DR) disposti lungo i mezzi trasportatori a nastro (TN), in funzione della velocità di raffreddamento naturale V_N del pezzo stampato (P).

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in cui il raffreddamento condizionato comprende l'insufflazione di aria e/o la nebulizzazione di acqua.

5. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la ricottura subcritica comprende un rinvenimento termico ad una temperatura compresa tra 600°C e 700°C della durata compresa tra 1 ora e 4 ore.

6. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta curva di raffreddamento ideale (C_I) è compresa tra una regione di naso bainitico (R_B) per tempi di raffreddamento inferiori ed una regione di sferoidizzazione della perlite per tempi di raffreddamento superiori.

7. Impianto per la trasformazione di acciaio da cementazione e la produzione di un pezzo stampato (P) a caldo, comprendente:

una stazione (ST) di stampaggio a caldo, atta a produrre un pezzo stampato (P) avente una forma prestabilita;

una stazione di trattamento termico preliminare del pezzo stampato (P); e

una stazione di raccolta (SR) per lo stoccaggio del pezzo trattato, in vista di una successiva lavorazione meccanica;

caratterizzato dal fatto che la stazione di trattamento termico preliminare include:

mezzi trasportatori (TN) del pezzo stampato (P) dalla stazione di stampaggio (ST) alla stazione di raccolta (SR), atti a convogliare il pezzo (P) ad una velocità regolabile lungo un tunnel di raffreddamento (TR) provvisto di dispositivi di raffreddamento condizionato (DR) selettivamente attivabili; ed

una stazione di ricottura subcritica (RS), atta ad attuare un trattamento termico di ricottura subcritica di detto pezzo (P) in funzione delle sue condizioni di temperatura all'uscita del tunnel di raffreddamento (TR).

8. Impianto secondo la rivendicazione 7, in cui detti dispositivi di raffreddamento condizionato (DR) includono mezzi insufflatori di aria e mezzi

spruzzatori di acqua nebulizzata.

9. Impianto secondo la rivendicazione 7, comprendente mezzi di controllo per l'attivazione selettiva dei dispositivi di raffreddamento condizionato (DR) in funzione della velocità di raffreddamento naturale V_N del pezzo stampato (P).

10. Impianto secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente mezzi sensori di temperatura (STMP), atti a rilevare la temperatura del pezzo stampato (P) all'uscita del tunnel di raffreddamento (TR) e mezzi deviatori, atti a convogliare i pezzi stampati (P) che presentano una temperatura ancora superiore alla temperatura di fine della trasformazione perlitica (T_{FP}) verso la stazione di ricottura subcritica (RS), prima dello stoccaggio presso la stazione di raccolta (SR).

CLAIMS

I0135138

1. A method for producing a forged steel piece (P), comprising the following steps:

heating case hardening steel to a forging temperature T_s and subjecting said steel to drop-forging, so as to obtain a forged piece (P) having a predetermined shape;

subjecting said forged piece to preliminary heat treatment;

after the preliminary heat treatment, subjecting said forged piece to machining for chip removal;

after machining, subjecting said forged piece to case hardening; and

after case hardening, subjecting said forged piece to final heat treatment;

characterised in that the preliminary heat treatment comprises a continuous cooling step,

wherein said forged piece cools off from an initial residual forging temperature T_1 close to the forging temperature T_s to a final temperature T_2 lower than the temperature T_{FP} at the end of the pearlite transformation for said case hardening steel, while the forged piece (P) is transferred from the forging station (ST) to a collecting sta-

tion (SR) through belt conveying means (TN), and

wherein said continuous cooling of the forged piece is conditioned to tracking an ideal cooling curve (C_I) for the forged piece, which defines an ideal cooling region (R_I) in its neighbourhood, whereby, given a natural cooling rate v_N for the forged piece as a function of the shape and size of said piece (P):

- i) if the natural cooling rate v_N is lower than the minimum cooling rate v_I associated with the ideal cooling region (R_I), the forged piece (P) is subjected to conditioned cooling during transfer thereof along the conveying means (TN), in such a way that the actual cooling curve for the forged piece is comprised in the ideal cooling region (R_I); or,
- ii) if the natural cooling rate v_N is comprised in the ideal cooling region (R_I), the forged piece (P) is left cooling naturally during transfer thereof along the conveying means (TN), or
- iii) if the natural cooling rate v_N is greater than the maximum cooling rate v_I associated with the ideal cooling region (R_I),

the forged piece (P) is left cooling naturally during transfer thereof along the conveying means (TN), and is then subjected to subcritical annealing.

2. A method according to claim 1, wherein, in instance i), if at the end of the conditioned cooling step during transfer along the conveying means (TN) the forged piece (P) has a temperature still greater than the temperature at the end of the pearlite transformation (T_{FP}), the forged piece (P) is further subjected to subcritical annealing after the conditioned cooling.

3. A method according to claim 1 or 2, wherein controlling the continuous cooling of the forged piece (P) is performed exclusively by adjusting the forward moving rate of said belt conveying means (TN) and/or by selectively activating conditioned cooling means (DR) arranged along the belt conveying means (TN), as a function of the natural cooling rate v_N of the forged piece (P).

4. A method according to claim 3, wherein the conditioned cooling comprises blowing in air and/or atomizing water.

5. A method according to any of the preceding claims, wherein the subcritical annealing comprises

tempering at a temperature between 600°C and 700°C for a time between 1 hour and 4 hours.

6. A method according to any of the preceding claims, wherein said ideal cooling curve (C_I) is comprised between a bainitic bay region (R_B) at shorter cooling times and a pearlite spheroidizing region for longer cooling times.

7. A plant for transforming case hardening steel and producing a forged piece (P), including:

- a forging station (ST), adapted to produce a forged piece (P) with a predetermined shape;

- a station for the preliminary heat treatment of the forged piece (P); and

- a collecting station (SR) for stocking the so treated forged piece, in view of subsequent machining thereof;

- characterised in that the station for the preliminary heat treatment includes:

- means (TN) for conveying the forged piece (P) from the forging station (ST) to the collecting station (SR), adapted to convey the forged piece (P) at a controllable speed along a cooling tunnel (TR) equipped with conditioned cooling devices (DR) which may be selectively activated; and

- a station for subcritical annealing (RS),

adapted to perform a subcritical annealing heat treatment of said forged piece (P) depending on its temperature condition at the exit of the cooling tunnel (TR).

8. A plant according to claim 7, wherein said conditioned cooling devices (DR) include air blowing means and means for spraying atomized water.

9. A plant according to claim 7, comprising control means for selectively activating the conditioned cooling devices (DR) as a function of the natural cooling rate v_N of the forged piece (P).

10. A plant according to any of the preceding claims, comprising temperature sensing means (STMP), adapted to detect the temperature of the forged piece (P) at the exit of the cooling tunnel (TR) and deviating means, adapted to convey the forged pieces (P) having a temperature still higher than the temperature at the end of the pearlite transformation (T_{FP}) towards the station for subcritical annealing (RS), before stocking at the collecting station (SR).

FIG.1

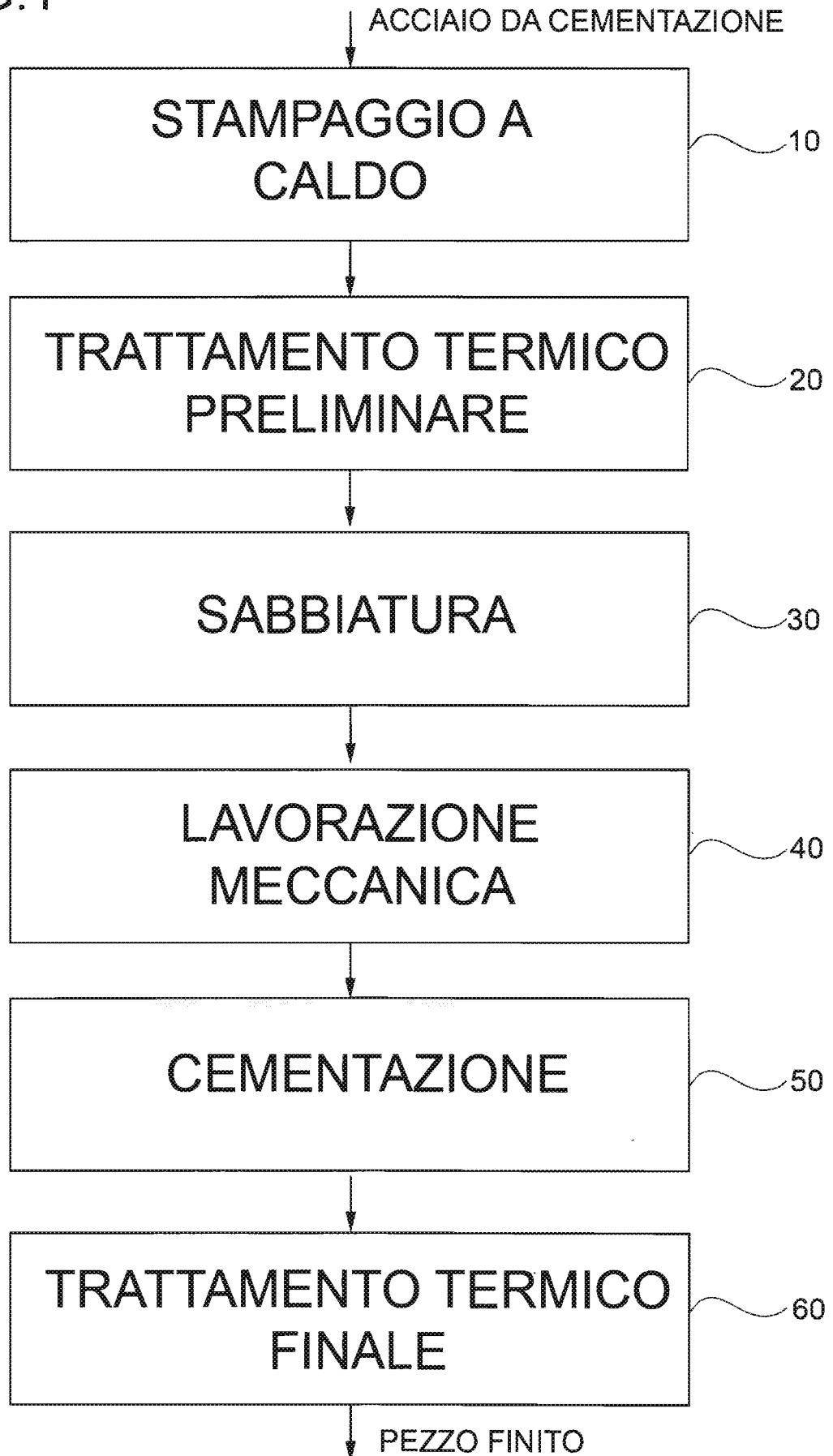
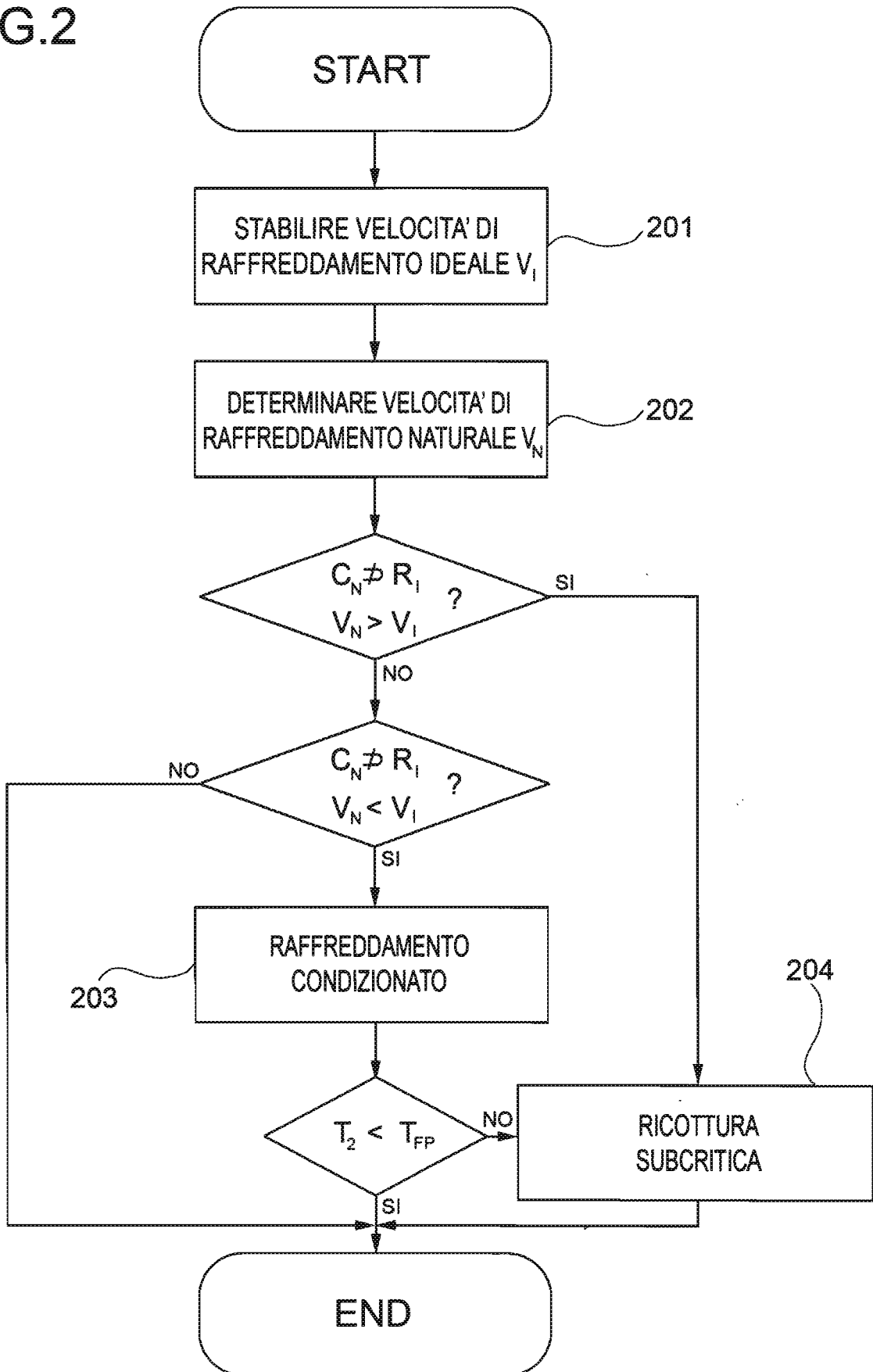


FIG.2



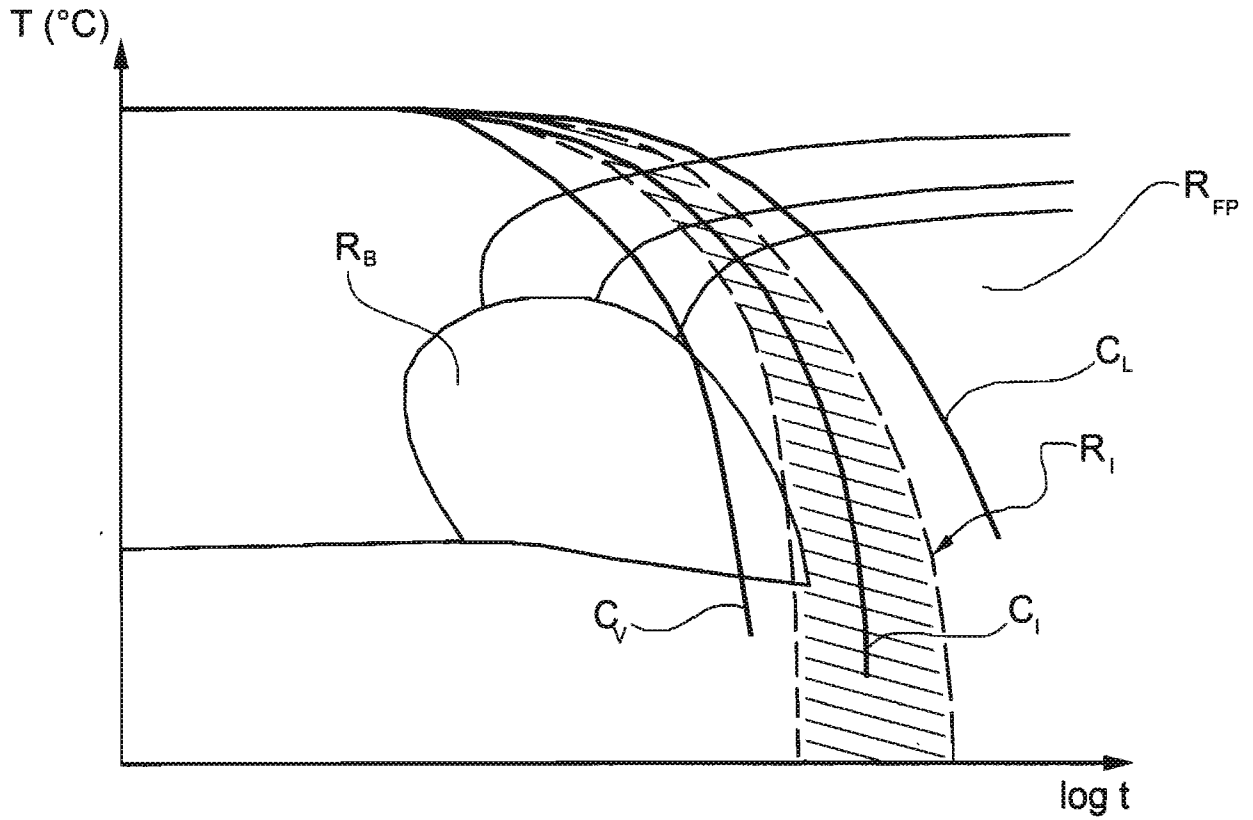


FIG.3

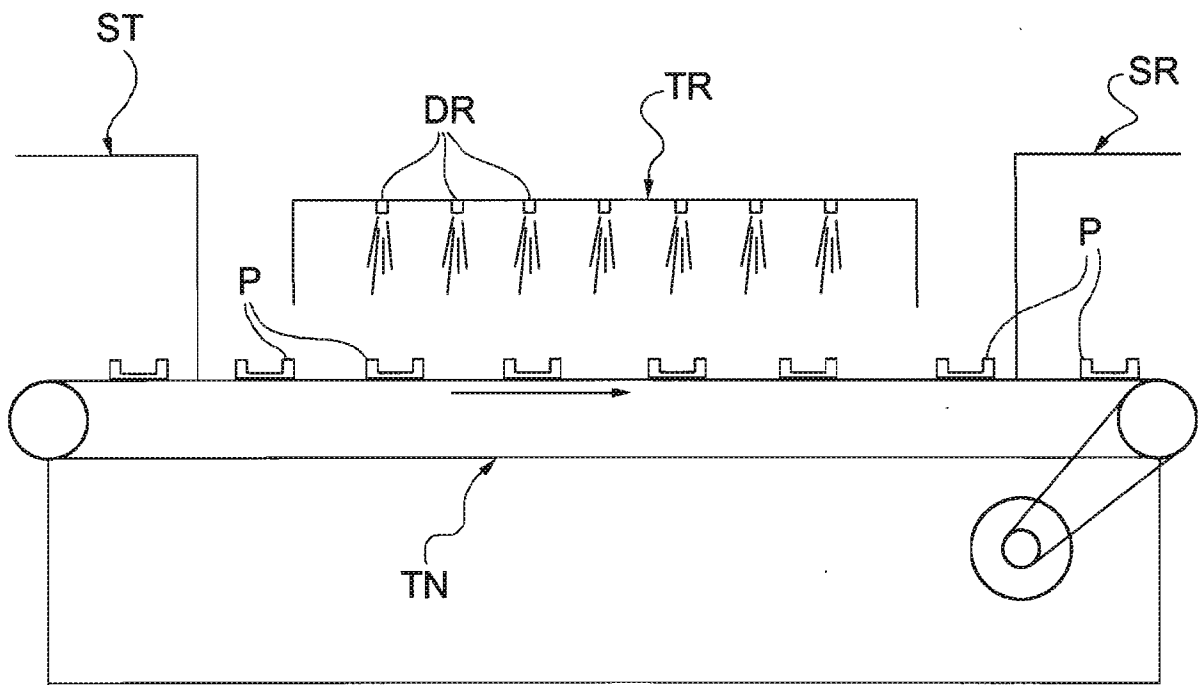


FIG.4

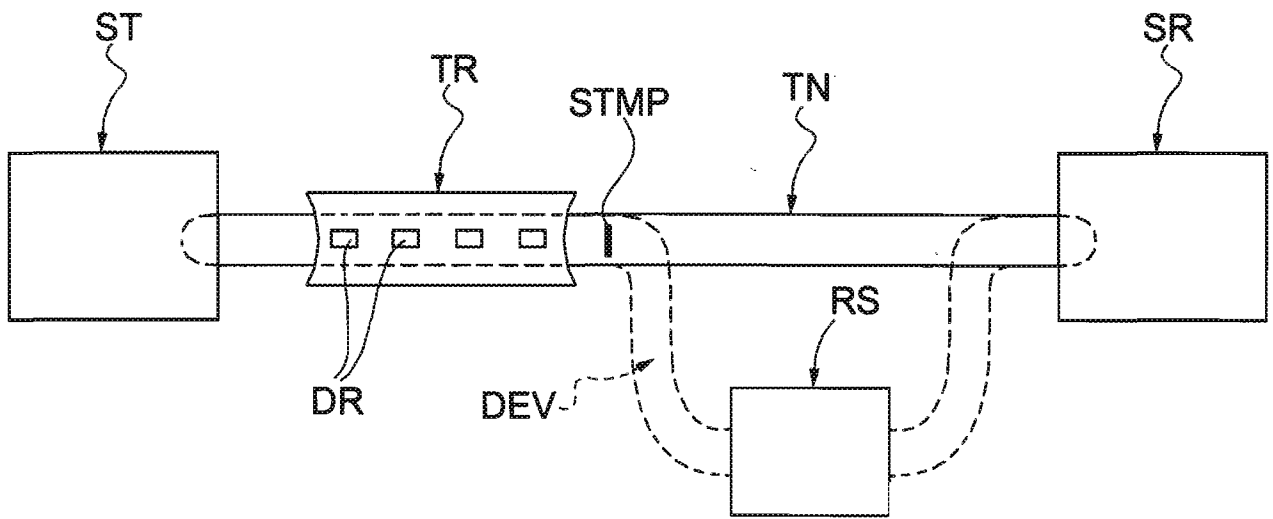


FIG.5