

Powder Steel Consultant

LV



*... the World of Steel!*



# TRATTAMENTO TERMICO



**Powder Steel Consultant LV**

Descrizione processo di Trattamento termico sugli Acciai Speciali

POWDER STEEL CONSULTANT

Approfondimenti Tecnici

sulla Siderurgia in generale

2020 Trattamento termico

40

# Powder Steel Consultant LV

## Acciaio Speciale

L'acciaio è una lega ferro – carbonio nella quale il carbonio che deriva dai processi produttivi dell'acciaio, si presenta in soluzione solida, interstiziale nel reticolo cristallino del ferro.

La percentuale di carbonio nell'acciaio può arrivare fino a 2,11% (oltre si parla di ghisa) e influisce sensibilmente sulle caratteristiche meccaniche del componente.

L'acciaio con un contenuto di carbonio variabile fino a un massimo del 2% è generalmente idoneo alla lavorazione a caldo. Oltre al carbonio le leghe di ferro contengono anche altri elementi, alcuni dei quali sono impurezze tollerate, perché economicamente non conviene eliminarle. Altri elementi ancora, invece, vengono addirittura aggiunti (elementi leganti) per apportare caratteristiche particolari all'acciaio.

Secondo la composizione chimica, gli acciai si distinguono in:

- acciai non legati (acciai al carbonio);
- acciai legati.

Le due classi, a loro volta, si distinguono secondo le rispettive caratteristiche di impiego:

- acciai di base
- acciai di qualità (UNI EN 10027-2);
- **acciai speciali** i quali differiscono dai primi per la loro composizione chimica.

Per comprendere le trasformazioni strutturali degli acciai è fondamentale conoscere – attraverso lo studio del **diagramma di stato ferro-carbonio** (vedi grafico sotto) – le strutture di equilibrio degli acciai, al variare della temperatura e della percentuale di carbonio presente.

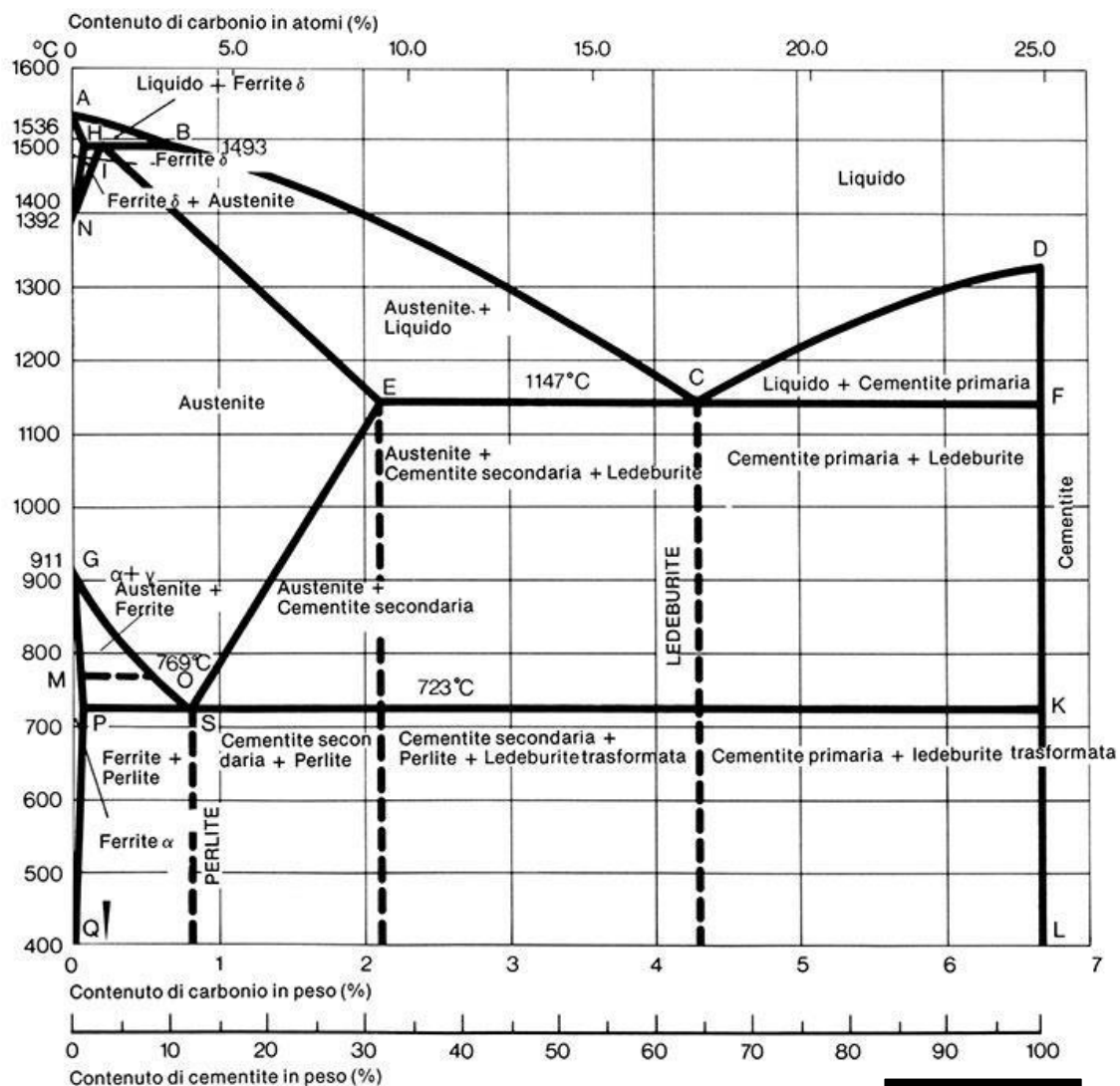


Grafico 1

# Powder Steel Consultant LV

## Diagramma Ferro Carbonio

Il Ferro allo stato puro in natura non esiste.

Allo stato solido si presenta nelle tre seguenti forme allotropiche:

### Ferro $\alpha$ :

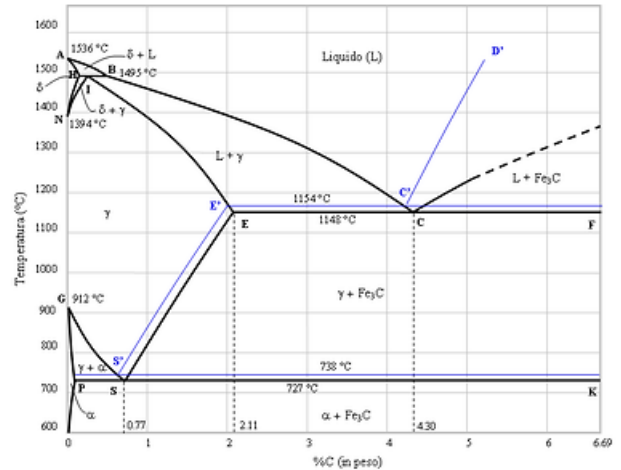
struttura cristallina cubica a corpo centrato (CCC o bcc) con costante di cella 2.86 Å, stabile fino a 912 °C.

### Ferro $\gamma$ :

struttura cristallina cubica a facce centrate (CFC o fcc) con costante di cella 3.65 Å, stabile tra 912 °C e 1394 °C.

### Ferro $\delta$ :

struttura cristallina cubica a corpo centrato (CCC o bcc) con costante di cella 2.93 Å, stabile tra 1394 °C e 1536 °C (temperatura di fusione).



Nel diagramma le fasi presenti sono quindi le seguenti:

### Fase $\alpha$ : Ferrite.

È la soluzione interstiziale formata da piccole quantità di carbonio nel reticolo bcc del **Ferro  $\alpha$** . La presenza di atomi di carbonio nel reticolo bcc del **Ferro  $\alpha$**  produce delle notevoli distorsioni, per questo la solubilità del carbonio nel **Ferro  $\alpha$**  è molto limitata (come si evince dal diagramma) e può raggiungere un valore massimo dello 0.02% (a 727°C).

### Fase $\gamma$ : Austenite.

È la soluzione solida interstiziale del carbonio nel **Ferro  $\gamma$**  (fcc). La struttura cristallina del **Ferro  $\gamma$** , favorisce una maggiore solubilità del carbonio, dal diagramma si nota infatti un campo di stabilità dell'austenite decisamente più ampio.

Fase  $\delta$ : è la **soluzione interstiziale** del Carbonio nel **Ferro  $\delta$**  (bcc).

Valgono per questa fase considerazioni analoghe a quelle fatte sulla **Ferrite  $\alpha$** . La maggiore costante di cella consente tuttavia un lieve aumento della solubilità del Carbonio.

Fase Fe<sub>3</sub>C: **Cementite**.

## Curve di Bain

Le curve di Bain rappresentano le strutture che conseguono con ogni tipo di raffreddamento dell'Austenite. Sono fondamentali in quanto al crescere della velocità di raffreddamento dell'acciaio si ottengono strutture non previste dal diagramma Ferro Carbonio che abbiamo visto sopra. Vorrei fare una breve introduzione, illustrando le temperature fondamentali da conoscere per interpretare sia le curve di Bain, sia il Diagramma Ferro Carbonio, nel prossimo paragrafo.

## Punti critici

### Velocità di raffreddamento o riscaldamento molto lente

**A1** = temperatura alla quale, durante il raffreddamento, l'Austenite divenuta eutettoidica si trasforma in Perlite. Viceversa durante il riscaldamento è la temperatura alla quale la Perlite si trasforma in Austenite Eutettoidica. Il valore è di 723°C.

**A3** = temperatura alla quale, durante il raffreddamento, l'Austenite di un acciaio ipoeutettoide inizia ad emettere cristalli di **Ferrite  $\alpha$** . Viceversa può essere considerata (ovviamente) la temperatura alla quale durante il riscaldamento la lega di acciaio ipoeutettoide termina la trasformazione in Austenite. Il suo valore è compreso tra i 723°C ed i 911°C.

**Acm** = temperatura alla quale, durante il raffreddamento, l'Austenite di un acciaio ipereutettoide inizia ad emettere cristalli di Cementite secondaria. Viceversa durante il riscaldamento è la temperatura alla quale un acciaio ipereutettoide termina la trasformazione in Austenite. Temperatura superiore ai 723°C ed inferiore ai 1300°C circa (attenzione al "circa").

# Powder Steel Consultant LV

## Velocità di raffreddamento o riscaldamento elevate

Tanto più è rapida la variazione di temperatura e tanto più ritardate saranno le trasformazioni delle leghe Ferro Carbonio. Per tale ragione gli studiosi di Metallurgia hanno preferito attribuire diversi simboli ai punti critici sopra introdotti.

## Riscaldamento

Non cambiano tanto le definizioni quanto il valore stesso delle temperature alle quali si verificano le trasformazioni che vi abbiamo indicato.

**Ac1** = temperatura alla quale, durante un riscaldamento veloce, la Perlite si trasforma in Austenite Eutettoidica.

**Ac3** = temperatura alla quale, durante un riscaldamento veloce, la lega di acciaio ipoeutettoide termina la trasformazione in Austenite. Temperatura detta di **Austenizzazione**.

**ACcm** = temperatura alla quale, durante un riscaldamento veloce, un acciaio ipereutettoide termina la trasformazione in Austenite.

Raffreddamento

**Ar1** = temperatura alla quale, durante un raffreddamento veloce, l'Austenite divenuta eutettoidica si trasforma in Perlite.

**Ar3** = temperatura alla quale, durante un raffreddamento veloce, l'Austenite di un acciaio ipoeutettoide inizia ad emettere cristalli di Ferrite  $\alpha$ .

**ARcm** = temperatura alla quale, durante un raffreddamento veloce, l'Austenite di un acciaio ipereutettoide inizia ad emettere cristalli di Cementite secondaria.

Inoltre sono fondamentali anche i seguenti punti

**Ms** = è la temperatura alla quale durante il raffreddamento l'Austenite rimasta inizia a trasformarsi in Martensite.

**Mf** = è la temperatura alla quale la formazione della Martensite cessa. Per alcuni acciai la temperatura  $M_f$  è inferiore alla temperatura ambiente.

Note

Ricordiamo che una **lega Eutettica** la si ha quando due metalli sono perfettamente miscibili allo stato liquido ma non a quello solido. Tutte le temperature elencate e non, variano in base al tipo di acciaio ma non solo! Spesso la difficoltà nel reperire questi dati sta nel fatto che si tratta di valori ottenuti per vie sperimentali eseguite su una moltitudine di provini. I dati più esatti al riguardo li può senz'altro offrire, tramite apposite tabelle e cataloghi, il fornitore di materiali che contatterete. Con velocità di raffreddamento molto basse  $Ar_3$  e  $Ar_1$  coincidono rispettivamente con  $A_3$  e  $A_1$ .

## Ricottura

Con la denominazione generica di ricottura si fa riferimento a quei trattamenti termici che comprendono un riscaldamento ad una temperatura vicina ad  $Ac_3$  per un determinato tempo a cui fa seguito un raffreddamento piuttosto lento che dà luogo alle strutture previste dal diagramma Ferro-Carbonio.

I trattamenti termici di Ricottura si distinguono nelle seguenti tipologie:

- Ricottura completa;
- Ricottura di omogeneizzazione;
- Ricottura di Globulizzazione;
- Ricottura di Ricristallizzazione;
- Ricottura isotermica;
- Ricottura di Normalizzazione.

## Ricottura di Normalizzazione (o Normalizzazione)

Trattamento termico effettuato nel caso si desideri rendere omogenea una struttura quale ad esempio: cristalli ingrossati per surriscaldamento; strutture fibrose; tutti i pezzi meccanici ottenuti a caldo.

Fasi

Riscaldamento fino ad una temperatura di 40-80°C sopra ad  $Ac_3$  per gli acciai ipoeutettoidi oppure fino ad  $Ac_1$  (più raramente  $Ac_m$ ) per gli acciai ipereutettoidi.

# Powder Steel Consultant LV

Permanenza a tale temperatura per un tempo proporzionale alle dimensioni dei pezzi e sino a che si realizza la completa austenizzazione dell'acciaio.

Raffreddamento di media velocità, all'aria, ma più lento della "velocità critica inferiore".

La velocità critica inferiore si indica con  $V_{c.i.}$  ed è la velocità alla quale **Ar3** e **Ar1** (vedi paragrafo sopra sui punti critici) si sovrappongono. Quando si raggiunge la velocità critica inferiore cessa la formazione della ferrite.

## Tempra

In realtà non vi è un unico trattamento termico di tempra. Ne esistono diverse tipologie: tempra diretta; tempra scalare martensitica; tempra scalare bainitica; tempra con isteresi; tempra incompleta; tempra superficiale; tempra superficiale a induzione; tempra superficiale alla fiamma. Quello che sostanzialmente accomuna tutti i trattamenti termici di tempra è quanto segue. Lo scopo è quello di ottenere una struttura martensitica che conferisce maggior durezza, maggior carico di rottura e carico al limite di elasticità; maggior resistenza all'usura; un'elevata resistenza alle sollecitazioni di fatica. Tuttavia esistono anche degli svantaggi come la diminuzione della resilienza e dell'allungamento percentuale a rottura nonché la presenza di maggiori tensioni interne dei pezzi o addirittura: la distorsione di essi.

Fasi

Riscaldamento a temperatura superiore ad  $A_{c3}$  (acciai ipoeutetoidi) o superiore ad  $A_{c1}$  (acciai ipereutetoidi).

Permanenza alla suddetta temperatura per un tempo sufficiente per ottenere l'equilibrio strutturale delle zone interessate: ovvero l'austenizzazione.

Raffreddamento con una velocità superiore alla velocità critica di tempra fino ad una temperatura prossima ad  $M_s$  (vedi temperatura spiegate nel paragrafo dei punti critici).

Le successive fasi di raffreddamento sono differenti a seconda del tipo di tempra che si desidera ottenere e quindi degli scopi per i quali i trattamenti vengono effettuati.

## Rinvenimento

Si tratta di un trattamento termico che permette al pezzo trattato di acquisire un'elevata resistenza a trazione e, al tempo stesso, buone capacità di allungamento e tenacità. Si riscontra inoltre una diminuzione di fragilità.

Fasi

Riscaldamento fino ad una temperatura inferiore ad  $A_{c1}$  e pari a circa 100-200°C. A queste temperature la struttura martensitica ottenuta con la tempra non cambia tuttavia si riduce la durezza di tale struttura. Tale calo di durezza offre una notevole riduzione delle tensioni interne aumentando la resilienza.

In alternativa riscaldamento fino ad una temperatura inferiore ad  $A_{c1}$  e pari a circa 450-650°C. A queste temperature la struttura martensitica ottenuta con la tempra diventa sorbite e ciò cambia notevolmente tutte le proprietà dell'acciaio nel quale diminuisce notevolmente la resistenza in cambio di allungamento e tenacità ancora maggiori rispetto al primo tipo di riscaldamento.

Permanenza alla suddetta temperatura dalle 2 alle 10 ore.

Raffreddamento veloce (in acqua oppure olio) per gli acciai soggetti alla fragilità al rinvenimento.

Raffreddamento (in aria) a qualsiasi velocità per gli acciai non soggetti alla fragilità al rinvenimento.

## Bonifica

Una Bonifica può essere definita una tempra seguita da rinvenimento a temperatura relativamente alta. Quando si esegue il Trattamento Termico di tempra si rischia che l'acciaio divenuto martensitico rimanga troppo a lungo sotto tensione e si possano quindi formare delle cricche o distorsioni. A tale scopo si esegue il rinvenimento. Il processo di tempra seguito da rinvenimento prende il nome di Trattamento Termico di bonifica.

Fasi

Riscaldamento alla temperatura di tempra e permanenza fino alla completa formazione della struttura austenitica.

Raffreddamento sino alla temperatura ambiente con velocità superiore a quella critica.

Successivo e immediato riscaldamento sino ad una temperatura inferiore ad  $A_{c1}$  (450-700°C).

Permanenza a tale temperatura fino alla trasformazione della martensite in sorbite.

# Powder Steel Consultant LV

Raffreddamento rapido nel caso l'acciaio sia suscettibile alla "fragilità al rinvenimento", in alternativa non è necessario un rapido raffreddamento.

## Cementazione

Le cementazioni sono quei T.T. che modificano più o meno profondamente la composizione di una lega ferrosa, costituente un pezzo, per diffusione di un elemento a partire dalla superficie. Esistono diverse tipologie di cementazione:

- carbocementazione,
- carbocementazione con cementi solidi,
- carbocementazione con cementi gassosi,
- carbocementazione con cementi liquidi.

Fasi carbocementazione

Riscaldamento dei pezzi di acciaio dolce ad una temperatura di 900-930°C in un mezzo contenente carbonio allo stato atomico.

Permanenza a tale temperatura e ambiente per un tempo proporzionale allo spessore dello strato superficiale che si desidera carbocementare.

Successivo T.T. di tempra per indurire solo lo strato superficiale.

Rinvenimento a 130-150°C per attenuare le tensioni sorte nello strato superficiale martensitico dei pezzi.

## Nitrurazione

La nitrurazione è un T.T. durante il quale la zona periferica del pezzo viene arricchita d'azoto. Essa conferisce al pezzo d'acciaio trattato uno strato superficiale fine molto duro, resistente all'usura ed alla corrosione. Tale trattamento non è seguito da nessun altro trattamento e può essere eseguito solo su acciai con una determinata composizione. Il trattamento termico di Nitrurazione viene eseguito ad esempio sugli alberi a gomito (realizzati per l'appunto in acciaio da nitrurazione) solo dopo che il pezzo è stato rettificato e rispetta le dovute tolleranze. Si evitano indesiderate deformazioni disponendo gli alberi a gomito nei forni in modo ordinato evitando accatastamenti di più pezzi e posizioni sfavorevoli.

Fasi

Riscaldamento a 560-590°C dei pezzi di acciaio da trattare in forni contenenti azoto allo stato atomico.

L'assorbimento superficiale di questo elemento provoca la formazione di azoturi o nitrucci di ferro che conferiscono grande durezza.

## Carbonitrurazione

La carbonitrurazione ha lo scopo di aumentare notevolmente la durezza superficiale del pezzo trattato, nonché la resistenza all'usura e la resistenza alla fatica.

Fasi

Riscaldamento dei pezzi di acciaio (a bassa percentuale di carbonio) alla temperatura di 700-800°C in forni contenenti carbonio e azoto allo stato atomico.

Permanenza in tali forni per un tempo proporzionale (alcune ore) allo spessore cementato che si desidera ottenere.

Raffreddamento veloce che produce la tempra dello strato carbonitrurato.

## Sinterizzazione

La sinterizzazione è un T.T. che consiste nel riscaldamento di pezzi ottenuti per pressatura al fine di migliorare la coesione delle particelle per diffusione e ricristallizzazione. Migliorano così le proprietà meccaniche dei pezzi.

## Trattamento termico degli acciai per utensili

Gli acciai per utensili vengono generalmente forniti in commercio allo stato ricotto, circa 200/320 Brinell (circa 20/34 HRC), per facilitare le prime lavorazioni come quelle di grossatura.

# Powder Steel Consultant LV

In questa condizione, la maggior parte del contenuto di lega esiste come carburi di lega, dispersi in una matrice tenera.

Questi acciai devono essere sottoposti a trattamento termico per sviluppare le loro proprietà e loro caratteristiche. Il processo di trattamento termico altera la distribuzione della lega e trasforma la matrice tenera in una matrice dura in grado di resistere alla pressione, all'abrasione e agli impatti inerenti alla formatura dei metalli. Ogni fase del ciclo di trattamento termico è progettata per svolgere una funzione ben specifica e, apporta all'acciaio tutte quelle caratteristiche che lo possono far trasformare in acciaio speciale dalle alte caratteristiche meccaniche.

Sebbene possa rappresentare solo il 10% o meno del costo dell'utensile, il processo di trattamento termico è probabilmente il passaggio più importante nel determinare le prestazioni di un utensile.

## Fase di preriscaldamento

Il preriscaldamento o il riscaldamento lento degli acciai per utensili offre due importanti vantaggi.

Innanzitutto, la maggior parte degli acciai per utensili sono sensibili agli shock termici.

Un improvviso e veloce aumento della temperatura di 820/1090°C può provocare l'insorgenza di cricche superficiali e la conseguente rottura degli acciai da utensili.

In secondo luogo, gli acciai per utensili subiscono un cambiamento di densità o volume quando si trasformano dalla microstruttura ricotta fornita in commercio, alla microstruttura ad alta temperatura, detta austenite.

Se questo cambiamento di volume si verifica in modo non uniforme, può causare inutili distorsioni degli utensili, specialmente dove le differenze di sezione causano la trasformazione di alcune parti di un punzone o di una matrice, prima che altre parti abbiano raggiunto la temperatura richiesta.

Gli acciai per utensili dovrebbero essere preriscaldati appena al di sotto di questa temperatura di trasformazione critica e quindi mantenuti abbastanza a lungo da consentire a tutta la sezione trasversale di raggiungere una temperatura uniforme. Una volta equalizzata l'intera parte, un ulteriore riscaldamento alla temperatura austenitizzante consentirà al materiale di trasformarsi in modo più uniforme ottenendo una minore distorsione.

Concludendo gli acciai hanno bisogno di un preriscaldamento lento che non superi i 50°C/ora con soste e omogeneizzazione prima di raggiungere la temperatura di tempra.

## Austenitizzazione

L'importante contenuto di elementi metallici nella lega della maggior parte degli acciai per utensili, si presenta sotto forma di particelle più o meno dure all'interno della struttura dell'acciaio ricotto.

Questo contenuto di lega è almeno parzialmente diffuso nella matrice alla temperatura di indurimento o di austenitizzazione. La temperatura effettiva utilizzata dipende principalmente dalla composizione chimica dell'acciaio. La temperatura può essere variata in qualche modo per adattare le proprietà risultanti ad applicazioni specifiche. Le alte temperature consentono a più elementi di lega di diffondersi, consentendo una durezza o una resistenza alla compressione leggermente superiori. A temperature più basse, meno elementi di lega si diffondono nella matrice e meno dura e quindi meno fragile sarà la stessa.

I tempi di attesa utilizzati dipendono dalle temperature. La diffusione della lega avviene più rapidamente a temperature più elevate e i tempi di immersione sono ridotti di conseguenza. Per la migliore combinazione di proprietà, si consiglia generalmente di utilizzare la temperatura di indurimento più bassa che produrrà una durezza adeguata per l'applicazione. I tempi indicati nella tabella sono tipici per sezioni relativamente piccole (meno di 25 mm) e rappresentano il tempo di permanenza in forno totale dopo che il materiale ha raggiunto la temperatura prescelta. Le sezioni più grandi devono essere tenute più a lungo per consentire al cuore del materiale, di raggiungere la temperatura.

I tempi di permanenza in forno prolungati dipendono dalla tipologia di forno utilizzata, dalle dimensioni del carico (numero di pezzi e relative dimensioni) e dall'esperienza del trattamentista termico.

## Tempra

Dopo che il contenuto di lega è stato ridistribuito come desiderato durante l'austenitizzazione, l'acciaio deve essere raffreddato abbastanza velocemente per indurire completamente la martensite, il che fornirà la resistenza del materiale.

# Powder Steel Consultant LV

La velocità con cui un acciaio deve essere raffreddato per indurirsi completamente dipende dalla composizione chimica. In generale, gli acciai a basso contenuto di lega devono essere spenti in olio per raffreddare abbastanza velocemente.

Lo spegnimento drastico può raffreddare alcune parti di un utensile in modo significativamente più veloce rispetto ad altre parti, causando distorsioni o persino causando cricche nei casi più gravi.

Un maggiore contenuto di lega consente all'acciaio di sviluppare proprietà completamente indurite con un tasso di tempra più lento. Gli acciai per tempra ad aria si raffreddano in modo più uniforme, quindi la distorsione e il rischio di cricatura sono inferiori rispetto agli acciai per tempra in olio.

Per gli acciai per utensili con leghe più elevate che si induriscono oltre i 1090°C, il tempo di raffreddamento da circa 980°C a meno di 650°C è fondamentale per una risposta ottimale al trattamento termico e la tenacità del materiale stesso.

Indipendentemente da come si raffreddano gli acciai da utensili, la struttura risultante, la martensite, è estremamente fragile e sottoposta a forti sollecitazioni. Se utilizzato in questa condizione, la maggior parte degli acciai per utensili si romperebbe. Alcuni acciai per utensili si rompono spontaneamente in questa condizione anche se non vengono toccati a temperatura ambiente. Per questo motivo, non appena gli acciai per utensili sono stati raffreddati ad una temperatura di 50/60°C, devono essere immediatamente eseguite le varie tempre di rinvenimento.

## Rinvenimento

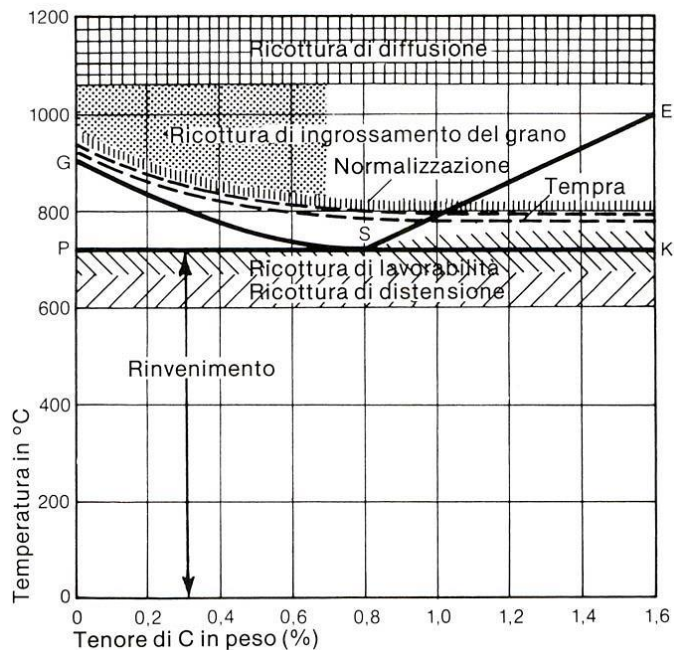
Il rinvenimento viene eseguito per ridurre lo stress della martensite che si è formata durante il raffreddamento. la maggior parte degli acciai presenta una gamma abbastanza ampia di temperature di rinvenimento normalmente tutte accettabili.

In generale utilizzare la massima temperatura di rinvenimento, permette di far raggiungere, salvo imprevisti, la durezza voluta all'utensile.

La velocità di riscaldamento e di raffreddamento dalla temperatura di tempra può essere critica.

Devono essere evitati improvvisi sbalzi di temperatura. Il materiale deve essere lasciato raffreddare completamente a temperatura ambiente (10/25°C) o inferiore tra e dopo i rinvenimenti.

La maggior parte degli acciai deve essere mantenuta a temperatura per un minimo di 2-4 ore per ogni rinvenimento. Una regola empirica è consentire un'ora per ogni 20-25 mm della sezione più spessa per il rinvenimento, ma in nessun caso meno di due ore indipendentemente dalle dimensioni.



## Modifica delle dimensioni

Il processo di trattamento termico comporta inevitabili aumenti delle dimensioni degli acciai per utensili a causa dei cambiamenti nella loro microstruttura.



# Powder Steel Consultant LV

Durante il trattamento termico, la maggior parte degli acciai per utensili cresce tra circa 0,01 e 0,05 mm rispetto alla sua lunghezza originale. Questo varia leggermente in base a una serie di fattori teorici e pratici.

La maggior parte dei trattamentisti termici ha un'idea di cosa aspettarsi dai processi tipici. In alcuni casi, una combinazione di variabili, tra cui un alto contenuto di lega, un lungo tempo di austenitizzazione o una temperatura elevata, l'interruzione troppo rapida del processo di spegnimento, un raffreddamento inadeguato tra i rinvenimenti o altri fattori nel processo, possono far provocare l'insorgenza nella struttura di austenite residua, che si stabilizza a temperatura ambiente. In altre parole, durante il normale raffreddamento, la struttura non viene completamente trasformata in martensite. Questa condizione di austenite residua di solito è accompagnata da un inatteso restringimento delle dimensioni dell'utensile e il mancato raggiungimento della durezza desiderata. Questa condizione può essere spesso corretta semplicemente raffreddando l'utensile a basse temperature preferibilmente sotto zero, come nei trattamenti criogenici o di refrigerazione, per incoraggiare il completamento della trasformazione da austenite residua a martensite.

## Trattamento criogenico

La maggior parte degli acciai per utensili sviluppa effettivamente la propria struttura indurita (martensite) durante il raffreddamento, tra circa i 310°C e i 90°C.

Per vari motivi, tuttavia, in alcuni casi, la trasformazione in martensite potrebbe non essere completa anche a 50/65°C. In tali casi, una parte della microstruttura ad alta temperatura, l'austenite, può essere trattenuta dopo il normale trattamento termico. L'acciaio 1.2363 e 1.2379 sono due gradi comuni che possono contenere austenite residua significativa (20% o più) dopo il normale trattamento termico. L'austenite residua può essere un problema per una serie di motivi. Raffreddando l'acciaio a temperature criogeniche (sotto zero), questa austenite residua può essere trasformata in martensite. La martensite appena formata è simile alla struttura originale raffreddata e deve essere temperata. I trattamenti criogenici dovrebbero includere un rinvenimento dopo il congelamento. Spesso il congelamento può essere eseguito tra più rinvenimenti normalmente programmati. Tecnicamente, i trattamenti criogenici sono più efficaci come parte integrante della tempra originale, ma a causa dell'elevato rischio di cricature, come discusso nella precedente sezione "Tempra", raccomandiamo di temperare il materiale normalmente almeno una volta prima di eseguire qualsiasi trattamento criogenico.

## Considerazioni sui sistemi di trattamento termico

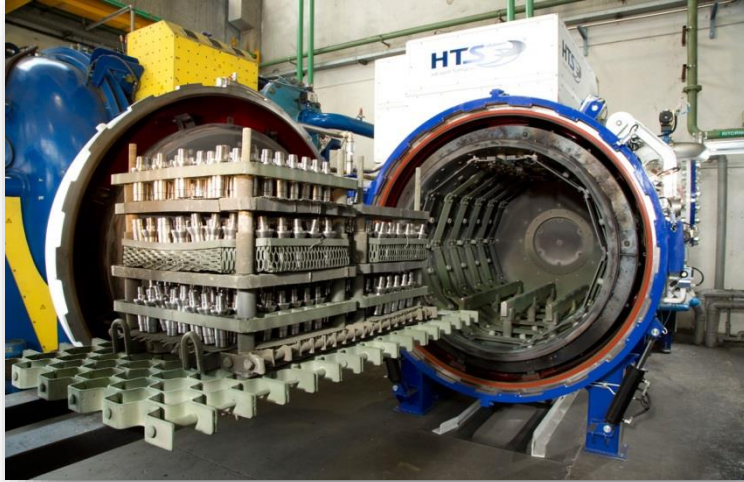
L'esposizione all'ossigeno alle temperature di austenitizzazione provoca ridimensionamento e decarburazione delle superfici dell'utensile. La decarburazione provoca una perdita permanente della durezza raggiungibile sulla superficie dell'utensile. Per questo motivo, è necessario un qualche tipo di protezione superficiale durante l'austenitizzazione. I forni sotto vuoto, ad atmosfera controllata o con bagno di sale neutro offrono tutti una protezione superficiale. Se non sono disponibili forni ad atmosfera neutra, gli utensili possono essere avvolti in un foglio inossidabile per ridurre al minimo l'esposizione all'ossigeno. I forni a sale di solito offrono il riscaldamento più rapido e uniforme, ma lasciano un residuo che deve essere pulito dalla superficie dell'utensile. Il trattamento termico a bagno salino è stato tradizionalmente utilizzato per utensili da taglio per acciaio ad alta velocità HSS e PM, e spesso non può ospitare utensili di grandi dimensioni o tempra ad alto volume. I forni sotto vuoto offrono la migliore protezione superficiale ma di solito richiedono cicli di processo più lunghi.

La velocità di spegnimento può essere limitata a causa dell'incapacità di raffreddare l'utensile abbastanza velocemente, e quindi non permettendo all'utensile di raggiungere la massima durezza. Il trattamento termico sotto vuoto può comportare una durezza leggermente inferiore rispetto a quella ottenuta in bagno di sale. Anche l'avvolgimento di parti in un foglio può rallentare la velocità di spegnimento a causa del leggero effetto isolante dello strato di foglio. Inoltre, il tipo di pellicola deve essere scelto per resistere alla temperatura austenitizzante utilizzata. Durante il trattamento termico di più utensili (matrici e punzoni), è importante caricare i forni in modo che vi sia una chiara circolazione attorno a ciascuna parte. Durante l'austenitizzazione, ogni parte deve essere riscaldata in modo relativamente uniforme in modo da non incontrare tempi di raffreddamento eccessivi. Tempi di raffreddamento eccessivi possono ridurre la durezza del materiale.

Inoltre, un buon posizionamento degli utensili nei cestelli per trattamento termico, favorisce un rapido e una miglior circolazione del sistema di raffreddamento prescelto (olio, gas azoto, bagno di sale o ambiente), il che è positivo per le proprietà metallurgiche e favorisce un raffreddamento più uniforme, che aiuta a controllare la distorsione.

# Powder Steel Consultant LV

I trattamenti termici raccomandati per acciai specifici da utensile, sono descritti dettagliatamente nelle singole schede tecniche. Tuttavia, molte preoccupazioni pratiche possono influire sul processo di trattamento termico. I costruttori di utensili interessati dovrebbero discutere più approfonditamente con i loro trattamentisti termici per scegliere il processo migliore, adatto ai loro utensili e al loro utilizzo dopo tempra.



**Forno trattamento termico sotto vuoto  
in atmosfera controllata**



**Forno trattamento termico a bagno di sali**



**Rotolo foglio inox per proteggere l'utensile  
dall'ossigeno in fase di tempra**



**Cestello posizionamento utensili da tempra**

# Powder Steel Consultant LV

## TERMINI UTILIZZATI NEI TRATTAMENTI TERMICI

### **Ac<sub>1</sub> (°C)**

Temperatura alla quale, in fase di riscaldamento, inizia la formazione dell'austenite

### **Ac<sub>3</sub> (°C)**

Temperatura alla quale, in fase di riscaldamento, termina la trasformazione della ferrite in austenite

### **Ac<sub>m</sub> (°C)**

Temperatura alla quale termina la solubilizzazione della cementite in austenite negli acciai ipereutettoi

### **Ae<sub>1</sub> (°C)**

Temperatura di equilibrio che indica il limite inferiore del campo di esistenza dell'austenite

### **Ae<sub>3</sub> (°C)**

Temperatura di equilibrio che indica il limite superiore del campo di esistenza della ferrite

### **Ae<sub>m</sub> (°C)**

Temperatura di equilibrio che indica il limite superiore del campo di esistenza della cementite in un acciaio ipereutettoide

### **Ar<sub>1</sub> (°C)**

Temperatura alla quale termina la trasformazione dell'austenite in ferrite o in ferrite e cementite

### **Ar<sub>3</sub> (°C)**

Temperatura alla quale termina la formazione della ferrite

### **Ar<sub>m</sub> (°C)**

Temperatura alla quale inizia la formazione della cementite dall'austenite negli acciai ipereutettoi

### **Ms (°C)**

Temperatura alla quale, in fase di raffreddamento, inizia la trasformazione dell'austenite in martensite

### **Mt (°C)**

Temperatura alla quale la trasformazione dell'austenite in martensite è praticamente ultimata

### **Mx (°C)**

Temperatura alla quale l'*x*% dell'austenite si è trasformato in martensite

---

### **Affinazione del grano**

Tattamento termico consistente in un riscaldamento ad una temperatura di poco superiore ad Ac<sub>3</sub> (al di sopra di Ac<sub>1</sub> in acciai ipereutettoi), senza una permanenza prolungata e con un appropriato raffreddamento successivo per rendere più fine ed uniforme il grano del materiale

### **Alluminatura o calorizzazione**

Tattamento termochimico per arricchire di Alluminio lo strato superficiale di un pezzo

### **Andamento del raffreddamento**

Temperatura dipendente dal tempo per un determinato punto del pezzo, dall'inizio del raffreddamento fino alla fine della fase di trattamento

### **Andamento critica di raffreddamento**

Andamento del raffreddamento, per ottenere una trasformazione completa nelle condizioni di raffreddamento comparativamente più blande. L'espressione deve essere completata con l'indicazione del tipo di trasformazione, esempio : andamento critico di raffreddamento per la formazione di martensite o andamento critico di raffreddamento per la formazione di bainite

# Powder Steel Consultant LV

## **Austenitizzazione**

Operazione nel corso della quale il materiale viene portato ad una temperatura tale (oltre  $Ac_1$ ) che la struttura diventa austenitica

## **Atmosfera endotermica**

Atmosfera di forno con un potenziale di Carbonio regolabile

## **Atmosfera esotermica**

Atmosfera di forno prodotta esotermicamente e controllata in modo tale che non ossidi il materiale

## **Ausforming**

Tattamento termomeccanico, durante la quale l'austenite metastabile subisce una deformazione plastica prima di trasformarsi in martensite e/o bainite

## **Autorinvenimento**

Rinvenimento spontaneo della martensite durante lo spegnimento (rinvenimento attraverso il calore residuo rimasto nel pezzo temprato)

## **Auto tempra**

Raffreddamento per conduzione termica verso la parti non riscaldate

## **Auto temprante**

Acciaio la cui temprabilità è tale per cui un raffreddamento in aria consente di conferire una struttura martensitica a dei pezzi di notevoli dimensioni

## **Bonifica**

Tattamento d'indurimento composto da tempra e rinvenimento a temperatura più elevata, per ottenere la combinazione ricercata delle proprietà meccaniche e una buona tenacità e duttilità

## **Borurazione**

Tattamento termochimico per arricchire di boro lo strato superficiale di un pezzo, allo scopo di formare uno strato di boruri

## **Capacità di raffreddamento**

Attitudine di un mezzo (aria, olio, polimero, acqua, bagno di sale) a realizzare un determinato programma di raffreddamento

## **Carbonitrurazione**

Tattamento termochimico di un pezzo allo stato austenitico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di Carbonio e Azoto, elementi che innalzano la durezza. Entrambi gli elementi si trovano quindi in soluzione solida nell'austenite. Questo trattamento è generalmente seguito immediatamente da uno spegnimento, per ottenere una tempra

## **Carburazione**

Tattamento termochimico di un pezzo allo stato austenitico per arricchire lo strato superficiale con Carbonio, il quale è poi presente in soluzione solida nell'austenite. Il pezzo carburato viene successivamente temprato (direttamente o dopo nuovo riscaldamento)

## **Carburazione a gas**

Carburazione in un mezzo gassoso

## **Carburazione eccessiva**

Quando, dopo una carburazione, si ha un tenore di Carbonio che supera il valore prescritto

## **Carburazione in cassetta**

Carburazione in un mezzo solido.

## **Carburazione in bagno di sale**

Carburazione in sale fuso, contenente cianuro

# Powder Steel Consultant LV

## Celsius (conversione a Fahrenheit °F)

Calcolo di temperatura normalmente utilizzata in Europa.

1°C Celsius corrisponde a 33,8°F Fahrenheit Formula :  $(1^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32 = \underline{33,8^{\circ}\text{F}}$

A livello pratico per calcolare velocemente la conversione da Celsius a Fahrenheit, eseguire il calcolo:

$^{\circ}\text{C} \times 1,846$  (il valore ottenuto va eventualmente arrotondato per eccesso). Esempio:  $650^{\circ}\text{C} \times 1,846 = \text{a } 1199^{\circ}\text{F}$  arrotondato per eccesso =  $1200^{\circ}\text{F}$

## Cementazione

Trattamento termochimico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di Carbonio, elemento che innalza la durezza e contrasta l'usura

### Cementazione gassosa

Trattamento in un mezzo-ambiente gassoso

### Cementazione liquida

Trattamento in un bagno di sali fusi

### Cementazione solida

Trattamento in un mezzo-ambiente solido, si esegue in casse metalliche chiuse

## Cianurazione

Carbonitrurazione eseguita in un bagno di sali fusi contenente dei cianuri

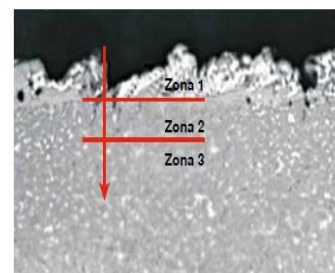
## Ciclo termico

Evoluzione della temperatura in funzione del tempo

## Coltre bianca

Strato composto da  $\text{Fe}_2\text{N}$  e  $\text{Fe}_4\text{N}$  (Zona 1), che si viene a formare sulla superficie del pezzo generalmente dopo lavorazione di sgrossatura con elettroerosione a filo o nitrurazione superficiale. Tale strato cede l'azoto all'acciaio sottostante per generare la diffusione dell'azoto nella matrice metallica. Lo strato di coltre bianca, normalmente con uno spessore superficiale di 3-5  $\mu$ , può essere eliminato con la rettifica o con successivi passaggi di finitura con l'elettroerosione a filo EdmW; altrimenti, con l'introduzione di una fase a potenziale nitrurante ridotto (si aumenta il grado di dissociazione) prima della fine del processo si può ridurre o eliminare totalmente la coltre bianca.

Nella costruzione di punzoni e matrici per stampi, le elevate prestazioni di avanzamento in fase di sgrossatura e le alte temperature di erosione raggiunte, circa  $15.000^{\circ}\text{C}$ , creano un'altra zona termicamente alterata che si trova immediatamente sotto la Zona 1; questa zona può raggiungere e a volte superare, una profondità di circa 9  $\mu$ . E' molto importante che questa seconda zona compromessa venga del tutto asportata con diversi passaggi di finitura di erosione. La Zona 3, è una zona priva di danni apparenti e dove ritroviamo la struttura del materiale al massimo delle sue caratteristiche meccaniche. Sul numero di passaggi di finitura che occorrono per eliminare completamente le Zone 1 e 2 sono a discrezione dell'operatore, in base alla macchina ed alla sua esperienza.



## Cromizzazione

Trattamento termochimico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di Cromo

## Cromatura

Trattamento di rivestimento galvanico atto a depositare su barre rettificate, un film di Cromo di elevata durezza. Questo trattamento conferisce resistenza all'abrasione e alla corrosione, determina un più basso coefficiente di attrito negli accoppiamenti mobili e in particolare con la gomma delle guarnizioni

## Curva di raffreddamento

Rappresentazione grafica di un ciclo di raffreddamento

# Powder Steel Consultant LV

## **Decarburazione**

Impoverimento di Carbonio nello strato superficiale di un prodotto ferroso. Lo spessore dello strato impoverito può essere definito con riferimento ad uno strato strutturale o ad un livello di durezza oppure al tenore di Carbonio del metallo base non alterato. Può consistere in una riduzione parziale (decarburazione parziale) o quasi totale (decarburazione totale) del Carbonio

## **Deformazione**

Alterazione della forma e delle dimensioni iniziali (misure) di un prodotto nel corso dei trattamenti termici

## **Diagrammi di rinvenimento**

Rappresentazione grafica della relazione tra le caratteristiche meccaniche e la temperatura di rinvenimento per un determinato tempo di permanenza

## **Diagrammi di trasformazione**

Insieme di curve tempo/temperature che definiscono per ciascun livello di temperatura, gli istanti iniziali e finali della trasformazione dell'austenite in condizioni isotermeche

## **Diagramma TTT (Temperatura-Tempo-Trasformazione) per trasformazione isotermeica**

Famiglie di curve nel sistema semilogaritmico di coordinate tempo-temperatura che per ogni isoterma descrive l'inizio ed il termine della trasformazione austenitica (generalmente è anche riportata la curva che corrisponde ai punti di una trasformazione al 50%; sono inoltre compresi dati sulla struttura di trasformazione e sulla sua durezza)

## **Diagramma CCT per raffreddamento continuo (Tempo-Temperatura-Trasformazione)**

Famiglie di curve nel sistema semilogaritmico di coordinate tempo-temperatura che descrive per ogni ciclo di raffreddamento l'inizio ed il termine della trasformazione austenitica (sono inoltre compresi dati sulla struttura di trasformazione e sulla sua composizione quantitativa. Per ogni curva di raffreddamento viene anche indicata la durezza della struttura, misurata a temperatura ambiente)

## **Diffusione**

Operazione avente per scopo la diffusione verso l'interno del metallo base, di elementi precedentemente introdotti in superficie

## **Distensione pre tempra**

Tattamento necessario allo scopo di ridurre le tensioni causate dalle lavorazioni meccaniche di sgrossatura, che si possono liberare durante le fasi di trattamento termico (tempra e rinvenimento), causando delle deformazioni sul pezzo di acciaio. Generalmente sugli acciai da lavorazioni a freddo si esegue ad una temperatura di 600-650°C, con permanenza in forno per circa 2 ore e con raffreddamento prima lento in forno e poi successivamente in aria

## **Distensione post tempra**

Tattamento eseguito allo scopo di ridurre le tensioni causate dalle operazioni di finitura, senza però ridurre la durezza. Generalmente si esegue a 50°C in meno rispetto all'ultimo rinvenimento eseguito sui pezzi

## **Durata di raffreddamento**

Intervallo tra due temperature caratteristiche di un ciclo di raffreddamento. E' necessario indicare con precisione queste temperature

## **Fahrenheit (conversione in Celsius °C)**

Calcolo di temperatura normalmente utilizzata negli Stati Uniti.

1°F Fahrenheit corrisponde a -17,22°C Celsius (centigradi) Formula :  $(1^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9 = -17,22^{\circ}\text{C}$

A livello pratico per calcolare velocemente la conversione da Fahrenheit a Celsius eseguire il calcolo:

°F : 1,846 (il valore ottenuto va eventualmente arrotondato per difetto). Esempio:  $1200^{\circ}\text{F} : 1,846 = a 650^{\circ}\text{C}$

## **Fragilità**

Si presenta in alcuni acciai temprati e rinvenuti dopo una permanenza ad una temperatura compresa tra 450-525°C, oppure durante un raffreddamento lento entro tale intervallo. Causa perdita di tenacità

# Powder Steel Consultant LV

## **Fragilità reversibile di rinvenimento**

Infragilimento reversibile che si verifica in determinati acciai da bonifica dopo una permanenza a circa  $450\div 525^{\circ}\text{C}$ , oppure durante un lento raffreddamento attraverso questo campo di temperatura. Questo infragilimento si esprime in un aumento della temperatura di transizione della curva temperatura-resilienza. Esso può essere evitato tramite un riscaldamento ad una temperatura superiore a  $550^{\circ}\text{C}$  e successivo raffreddamento rapido

## **Globulizzazione**

Evoluzione geometrica delle particelle di carburi, quali le lamelle di cementite, verso la forma sferica stabile

## **Indurimento mediante tempra a cuore**

Indurimento effettuato in modo tale che la profondità di indurimento non sia minore della distanza tra il cuore e la superficie del prodotto ferroso

## **Indurimento per precipitazione**

Incremento della durezza di un materiale ferroso mediante precipitazione di un componente di lega in una soluzione soprassatura

## **Indurimento secondario**

Indurimento (aumento di durezza) ottenuto in seguito a uno o più rinvenimenti che fanno precipitare un composto o danno origine alla formazione di martensite oppure bainite a partire dall'austenite residua. Nel caso del rinvenimento viene destabilizzata e si trasforma durante il raffreddamento

## **Ingrossamento del grano**

Fenomeno normalmente causato da alte temperature, nettamente maggiori di  $A_{c3}$

## **Invecchiamento artificiale**

Trattamento termico, al quale viene sottoposto un pezzo solubilizzato per ottenere i valori richiesti per determinate caratteristiche. Esso consiste in uno o più riscaldamenti alla/e temperatura/e prestabilita/e, nella permanenza a questa/e temperatura/e ed in un appropriato raffreddamento successivo

## **Nitrurazione**

Trattamento termochimico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di Azoto. Elemento che innalza la durezza e contrasta l'usura. A differenza della carburazione o della carbonitrurazione, l'incremento di durezza non viene ottenuto mediante tempra successiva. A seconda del mezzo nitrurante utilizzato si distingue fra: nitrurazione gassosa, in bagno di sali, in cassetta ed al plasma

## **Nitrurazione ionica**

Bombardamento di ioni. La scarica luminescente avviene in una miscela gassosa, sotto una pressione minore di quella atmosferica, in cui il prodotto ferroso costituisce il catodo

## **Nitrocarburazione**

Trattamento termochimico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di Azoto e Carbonio, elementi che formano uno strato di combinazione

## **Normalizzazione**

Si esegue ad una temperatura appena superiore ad  $A_{c3}$  ( $A_{c1}$  per gli acciai ipereutetoidi  $C\% > 0.80$ ) seguita da raffreddamento in aria calma. Il compito principale è quello di omogeneizzare la struttura e di affinare il grano (grana fine) ingrossato da precedenti operazioni di trasformazione a caldo. Questo trattamento è sconsigliato per gli acciai da utensili e per quelli autotemperanti

## **Ossidazione**

Precipitazione, a maggiore o minore profondità, verso l'interno del prodotto, di ossidi formati a partire dall'ossigeno diffusosi dalla superficie

## **Patentamento**

Trattamento termico per filo o nastro, consistente nell'austenitizzazione e successivo raffreddamento per ottenere una struttura favorevole alla successiva trafilatura o laminazione

# Powder Steel Consultant LV

## **Patentamento in continuo**

Quando le operazioni di riscaldamento e di raffreddamento della matassa generalmente srotolata, avvengono in modo continuo senza interruzioni

## **Patentamento per immersione**

Quando il materiale rimane avvolto in matasse, fasci o rotoli nel corso del trattamento termico e viene immerso per intero nel mezzo di raffreddamento. I mezzi di raffreddamento più comuni sono aria, bagno di piombo, bagno di sali e letto fluido

## **Permanenza**

Periodo di una sequenza tempo-temperatura, durante il quale la temperatura viene mantenuta costante ( a tal scopo si dovrà ancora precisare se per temperatura del forno si intende quella della superficie, quella dell'intera sezione oppure quella di un determinato punto del pezzo)

## **Polimero**

Fluido sintetico composto da acqua e prodotti organici ad alto peso molecolare (polimeri). La drasticità, con soluzione al 35%, di tempra è appena superiore a quella dell'olio e permette di trattare una maggior gamma di acciai, senza rischi di rotture. Questi bagni stanno sostituendo l'olio da tempra, più inquinante e costoso

## **Preriscaldamento**

Consiste nel portare e mantenere superficialmente per un certo periodo di tempo il materiale ad una o più temperature intermedie tra la temperatura iniziale e quella massima programmata

## **Profondità di decarburazione**

Distanza perpendicolare della superficie di un pezzo fino al limite che contraddistingue lo spessore dello strato decarburato. Questo limite è diverso in funzione del tipo di decarburazione (vedi *decarburazione*) e può essere caratterizzato da uno stato strutturale, da un valore di durezza, dal tenore di Carbonio del materiale base o da un altro tenore di Carbonio concordato

## **Profondità di carburazione**

Distanza verticale dalla superficie fino ad un limite che contraddistingue lo spessore dello strato arricchito di Carbonio. Questo limite deve essere indicato con precisione. Esempio: il limite per l'intera profondità carburata corrisponde a quel tenore di Carbonio che non si distingue più da quello del materiale di base

## **Profondità di cementazione**

Distanza tra la superficie e lo strato la cui durezza Vickers, misurata sotto un carico di 9,81 N, è HV1 = 550 (vedasi Euronorm 105)

## **Profondità di indurimento**

Distanza tra la superficie e lo strato la cui durezza Vickers, misurata sotto un carico di 9,81 N, è uguale al 80% della durezza massima richiesta in superficie

## **Profondità di indurimento di nitrurazione**

Profondità di nitrurazione caratterizzata da un valore limite di durezza

## **Profondità di nitrurazione**

Distanza verticale dalla superficie fino ad un limite che contraddistingue lo spessore dello strato arricchito di Azoto. Questo limite deve essere indicato con precisione

## **Profondità di tempra**

Distanza verticale tra la superficie di un pezzo ed il limite che contraddistingue lo spessore dello strato temprato. Il limite può essere caratterizzato da uno stato strutturale o da un valore di durezza concordato

## **Profondità di tempra dopo tempra superficiale**

Distanza verticale tra la superficie di un pezzo e lo strato, la cui durezza Vickers, con un carico di prova di 9,81 N, ammonta all'80% del valore minimo della durezza prestabilita per la superficie (vedasi Euronorm 116)



# Powder Steel Consultant LV

## **Prova Jominy**

Procedimento di prova unificato, nel quale una provetta di acciaio viene austenitizzata e raffreddata con un getto d'acqua su una delle sue superfici frontali. La curva di durezza, partendo dalla superficie frontale temprata, contraddistingue la temprabilità

## **Raffreddamento**

Condizioni nelle quali si effettua il raffreddamento, abbassamento della temperatura, di un prodotto sottraendo calore: natura e temperatura del mezzo-ambiente, movimenti relativi etc.

## **Ricottura**

Il compito principale di questo trattamento termico è quello di ottenere un abbassamento di durezza sui materiali deformati a caldo, laminati e trafilati a freddo. In alcuni casi si introduce la ricottura per eliminare tensioni oppure strutture disomogenee. Trattamento termico consistente: nel riscaldamento ad una determinata temperatura, nella permanenza e nel raffreddamento in modo che lo stato del materiale a temperatura ambiente sia prossimo allo stato di equilibrio. Dato che questa definizione è piuttosto generica, si raccomanda di specificare con maggior precisione lo scopo della ricottura

## **Ricottura blu**

Trattamento in un mezzo ossidante per creare un sottilissimo strato blu sulla superficie lucida del pezzo

## **Ricottura completa (isotermica di globulizzazione)**

Si esegue a 20/30°C sopra  $A_{c3}$ . Questo trattamento termico permette di rigenerare la struttura e di eliminare completamente eventuali incrudimenti. Gradiente di salita 50°C/h, mantenimento a regime un'ora per ogni 25 mm di spessore, i forni devono essere provvisti di circolazione di aria forzata e il raffreddamento deve essere rapido, possibilmente in forno, fino alle temperature indicate dalle schede tecniche. Mantenimento almeno per 2 ore poi scaricare in aria

## **Ricottura di distensione**

E' fatta a temperature fra 600 e 650°C (meglio 650) con raffreddamento in forno fino a 250-300°C e successivo scarico in aria per l'eliminazione di tensioni interne senza sostanziali variazioni della struttura

## **Ricottura di globulizzazione**

Ricottura per la globulizzazione dei carburi. Essa prevede una permanenza prolungata alla temperatura di  $A_{c1}$ , eventualmente con una variazione oscillante intorno a questa temperatura

## **Ricottura di ingrossamento grano**

Ricottura ad una temperatura al di sopra di  $A_{c3}$  con permanenza sufficientemente lunga; per ottenere un grano grossolano ad esempio per la lavorabilità con asportazione di truciolo

## **Ricottura di lavorabilità**

Viene eseguita a 30/50°C sotto il punto  $A_{c1}$ . Questo trattamento non modifica la struttura ma conferisce un adeguato addolcimento e elimina le tensioni dovute a lavorazioni precedenti. Il raffreddamento può avvenire in forno o in aria

## **Ricottura di omogeneizzazione**

Si esegue a temperature elevate e ha lo scopo di ridurre, mediante diffusione, le eterogeneità di composizione chimica dovute al fenomeno della segregazione

## **Ricottura di ricristallizzazione**

E' consigliata per il materiale laminato a freddo e va eseguita alla temperatura  $A_{c1}$ . Durante la laminazione, la struttura tende ad orientarsi verso la direzione della deformazione principale, la durezza aumenta e la capacità dell'acciaio di essere sottoposto ad ulteriori lavorazioni, come ad esempio la trafilatura, diminuisce

## **Ricottura di rigenerazione**

Ricottura di un pezzo incrudito a freddo per ripristinare, almeno in parte, le caratteristiche meccaniche e fisiche esistenti prima della deformazione a freddo, senza modificare in modo considerevole la struttura (la temperatura di trattamento è al di sotto di quella per la ricottura di ricristallizzazione)

# Powder Steel Consultant LV

## Ricottura di stabilizzazione

Ricottura per la precipitazione o per la globulizzazione di componenti strutturali di tipo fine ad esempio, dei carburi in acciai austenitici stabilizzati a circa 850°C

## Ricottura in bianco

Viene eseguita in un mezzo-ambiente che evita l'ossidazione superficiale del pezzo e conserva l'aspetto metallico iniziale

## Rinvenimento

Trattamento termico al quale viene sottoposto un acciaio dopo indurimento mediante tempra, atto a portare le proprietà meccaniche al livello desiderato. Dopo tempra, il materiale si trova in uno stato di forti tensioni che vanno eliminate perché la loro forza, superando il carico di rottura, potrebbe spaccare il materiale.

Questo è uno dei compiti del rinvenimento, il secondo è quello di abbassare la resistenza fino al punto di compromesso fra buon carico di rottura e buona tenacità (resilienza).

Esperienza per i trattamentisti:

considerando  $\sigma$  la resistenza dopo 2 ore di rinvenimento, si vedano le variazioni in N/mm<sup>2</sup> ottenute aumentando e diminuendo i tempi di permanenza

Durata rinvenimento	Ore	30'	1	2	3	4	5	7	10
Variazione della resistenza	N/mm <sup>2</sup>	+60	+30	0	-30	-45	-50	-60	-80

## Riscaldamento passante

Riscaldamento di un pezzo dopo il raggiungimento della temperatura prestabilita nello strato superficiale, fino al raggiungimento della stessa temperatura sull'intera sezione

## Riscaldamento totale

Riscaldamento di un pezzo fino al raggiungimento della temperatura prestabilita sull'intera sezione, cioè riscaldamento superficiale + riscaldamento passante

## Riscaldamento o riscaldamento

Innalzamento della temperatura di un acciaio con un gradiente termico prestabilito

## Silicizzazione

Trattamento termochimico con lo scopo di ottenere un arricchimento superficiale di silicio

## Solfocarbonitrurazione

Trattamento termochimico per arricchire lo strato superficiale di un pezzo con Zolfo, Azoto e Carbonio

## Solubilizzazione (tempra degli acciai austenitici)

Trattamento termico per portare e mantenere in soluzione componenti strutturali precedentemente precipitati. Trattamento generalmente condotto a 1000/1100°C, con successivo raffreddamento rapido in acqua o aria forzata

## Solubilizzazione con spegnimento

Trattamento termico usato per acciai austenitici, consiste nel riscaldamento ad alta temperatura e successivo raffreddamento sufficientemente rapido fino a temperatura ambiente, per ottenere una struttura austenitica omogenea. Questo trattamento termico viene anche definito semplicemente "spegnimento", anche se avviene in aria calma

## Sovraesposizione

Riscaldamento e mantenimento ad alta temperatura, di un pezzo, per un tempo così lungo da provocare un eccessivo ingrossamento del grano (l'ingrossamento del grano può essere fatto regredire tramite un appropriato trattamento termico oppure tramite formatura a caldo)

## Spegnimento

Ciclo di trattamento termico, durante il quale un pezzo viene raffreddato con velocità maggiore che in aria calma (vedi anche *Solubilizzazione con spegnimento*). Si raccomanda di indicare con precisione le condizioni di spegnimento, ad esempio, spegnimento in corrente d'aria, in acqua (tempra in acqua), spegnimento graduale

# Powder Steel Consultant LV

## **Spegnimento diretto**

Spegnimento immediatamente successivo ad un trattamento termochimico

## **Spegnimento graduale**

Spegnimento con interruzione del processo di raffreddamento mediante permanenza in un mezzo a temperatura idonea

## **Spegnimento interrotto**

Spegnimento in un mezzo che provoca un raffreddamento rapido ed interruzione del processo di raffreddamento, prima che il pezzo di acciaio abbia assunto del tutto la temperatura del mezzo di raffreddamento

## **Strato di diffusione**

Lo strato superficiale formatosi durante un trattamento termochimico nel quale l'elemento o gli elementi diffusi sono contenuti in soluzione solida, eventualmente in parte anche come precipitati. Il tenore di questi elementi decresce progressivamente fino al corrispondente tenore del materiale base. I precipitati nello strato di diffusione, possono essere nitruri, carburi etc

## **Strato di tempra in profondità**

Strato superficiale temprato, lo spessore del quale è determinato dalla profondità di tempra (vedi)

## **Surriscaldamento**

Riscaldamento di un pezzo ad una temperatura tanto alta da provocare un ingrossamento indesiderato del grano (l'ingrossamento del grano può essere fatto regredire tramite un appropriato trattamento termico oppure tramite formatura a caldo)

## **Temperatura di austenitizzazione**

Temperatura massima alla quale viene mantenuto un pezzo durante l'austenitizzazione

## **Temperatura di trasformazione (punto critico)**

Temperatura, alla quale un materiale subisce una variazione di fase, oppure quella temperatura alla quale inizia o termina una trasformazione, se la trasformazione si svolge in un intervallo di temperatura

## **Temperatura di spegnimento**

Temperatura, a partire dalla quale si effettua lo spegnimento. Se lo spegnimento avviene dalla temperatura di austenitizzazione, si usa anche l'espressione " temperatura di tempra ", in inglese " hardening temperature "

## **Tempo di esposizione**

Intervallo che intercorre tra l'introduzione del pezzo in un forno sino alla sua estrazione, cioè durante il riscaldamento + la durata di permanenza

## **Tempo di riscaldamento**

Intervallo che intercorre tra l'inizio del riscaldamento fino al raggiungimento della temperatura prestabilita nel punto prescritto del pezzo

## **Tempra**

Operazione che consiste nel raffreddare un prodotto ferroso più rapidamente che in aria calma con trasformazione più o meno completa dell'austenite in martensite ed eventualmente in bainite. E' buona norma, non ricorrere ad un mezzo temprante più drastico del necessario perché maggiore è la velocità di raffreddamento, maggiori saranno le tensioni all'interno dei pezzi. I bagni per la tempra devono essere agitati per evitare che bolle di vapore rimangano aderenti al materiale.

I bagni più utilizzati sono: miscele di gas (per trattamenti sotto zero), acqua, bagni di Sali, polimeri (acqua con additivi), olio, aria forzata o calma. Il peso dei bagni deve essere almeno 10-15 volte superiore a quello del materiale da temprare.

## **Tempra a cuore**

Profondità di tempra che corrisponde almeno alla distanza tra superficie e cuore del pezzo (parte interna centrale)

# Powder Steel Consultant LV

## **Tempra diretta**

Tempra di un pezzo mediante spegnimento diretto. Generalmente questo trattamento viene eseguito dopo una carbocementazione, eventualmente dopo raffreddamento alla temperatura più idonea per la tempra del pezzo

## **Tempra doppia**

Tempra ripetuta due volte, effettuando generalmente lo spegnimento da temperature diverse. Per pezzi carbocementati la prima tempra può essere diretta, mentre la seconda avviene partendo da una temperatura più bassa

## **Tempra in profondità**

Tempra che parte dalla superficie del pezzo. La tempra in profondità è normalmente caratterizzata dalla profondità di tempra (vedi)

## **Tempra locale**

Tempra che si limita ad una zona parziale del pezzo

## **Tempra per precipitazione**

Trattamento termico consistente nella solubilizzazione ed invecchiamento. In tedesco la tempra per precipitazione degli acciai a matrice martensitica (acciai Maraging), viene definito indurimento per precipitazione della martensite

## **Tempra sotto-vuoto**

L'impiego della tecnologia del vuoto con spegnimento tramite gas pressurizzati, unito ai sistemi di controllo e gestione dei parametri di trattamento termico tramite software consente di rispondere alle sempre crescenti richieste in termini qualitativi dei materiali dopo trattamento termico. Tra i vantaggi, rispetto ai trattamenti eseguiti con tecnologie tradizionali, vi sono: la possibilità di ottenere superfici esenti da ossidazione e decarburazione, la possibilità di gestire la velocità di raffreddamento in funzione del materiale, della geometria dei pezzi e delle caratteristiche meccaniche richieste tramite l'intervento sulla pressione di spegnimento, sui tempi e sulle zone di raffreddamento. La tempra in vuoto è impiegata principalmente per gli acciai rapidi e super-rapidi HSS, acciai per utensili per lavorazioni a caldo e a freddo, per gli acciai inossidabili martensitici e per gli acciai in Metallurgia delle polveri. La tecnologia del vuoto è massivamente impiegata per il trattamento di solubilizzazione di acciai inox austenitici, indurenti per precipitazione (PH) e per il trattamento delle superleghe di Ni e Co

## **Tempra superficiale**

Tempra con una austenitizzazione limitata allo strato superficiale. Secondo il tipo di riscaldamento si distingue, ad esempio, in tempra alla fiamma e tempra ad induzione

## **Tempra termale**

Trattamento termico consistente nell'austenitizzazione, nel successivo spegnimento ad una temperatura appena superiore ad  $M_s$  con una velocità tale da impedire la formazione di ferrite, perlite o bainite, ed in una permanenza di sufficiente durata alla temperatura idonea per ottenere una compensazione di temperatura sulla sezione, tuttavia di durata non eccessiva, in modo da evitare una formazione di bainite. Il raffreddamento finale avviene generalmente in aria

## **Temprabilità**

Attitudine dell'acciaio a dar luogo alla trasformazione martensitica e/o bainitica. In condizioni predeterminate di tempra, la temprabilità è caratterizzata dall'andamento di durezza dipendente dalla distanza rispetto ad una superficie temprata per spegnimento, ad esempio attraverso la curva della durezza nella prova di temprabilità di Jominy (vedi *Prova Jominy*)

## **Temprabilità alla massima durezza**

Durezza massima ottenibile in un materiale tramite tempra in condizioni ideali

## **Tempo di permanenza**

Tempo che intercorre da quando il pezzo ha raggiunto la temperatura prestabilita a cuore e la successiva variazione di temperatura. Normalmente si utilizza una permanenza ½ ora per ogni 25 mm di spessore in fase di

# Powder Steel Consultant LV

tempra e 1 ora in fase di rinvenimento (questi parametri sono validi per fucinati in genere e spessori oltre i 50 mm)

## Tensioni termiche

Questo tipo di tensioni si creano in fase di riscaldamento ed aumentano se il riscaldamento avviene rapidamente o in modo non uniforme. La causa è da ricercarsi nel fatto che durante il riscaldamento il volume dell'acciaio aumenta (la dilatazione termica è direttamente proporzionale alla temperatura). Se tale riscaldamento non è uniforme, si possono avere delle variazioni di volumi localizzate, con conseguenti tensioni e distorsioni. Occorre quindi riscaldare sempre in modo sufficientemente lento per garantire una temperatura uguale in ogni punto del pezzo (vedere sulle schede tecniche le indicazioni delle temperature e dei tempi di permanenza in forno dei vari pre-riscaldi che possono essere a seconda del tipo di acciaio da 1 a tre pre-riscaldi, prima di raggiungere la temperatura di austenitizzazione. Anche i tempi e i modi di raffreddamento possono incidere sulle deformazioni e anche sulla durezza del materiale. Seguire sempre quanto indicato sulle schede tecniche dei vari acciai

## Trasformazione isoterma in campo bainitico

Trattamento termico consistente nell'austenitizzazione e nel successivo spegnimento ad una temperatura al di sopra di  $M_s$  con una velocità tale da impedire qualsiasi formazione di ferrite o perlite e nella permanenza a questa temperatura per trasformare parzialmente o completamente, l'austenite in bainite, il successivo raffreddamento

## Trattamento sottozero

Trattamento che viene eseguito dopo la tempra per trasformare in ampia misura l'austenite residua in martensite. Essa consiste in un raffreddamento e permanenza ad una temperatura molto al di sotto di quell'ambiente

## Trattamento termico

Sequenza di fasi, durante le quali un pezzo di acciaio viene assoggettato interamente o parzialmente a cicli di tempo-temperatura per determinare una variazione delle sue caratteristiche e/o della sua struttura. Durante il trattamento, può essere eventualmente modificata la composizione chimica del materiale (trattamento termochimico).

## Trattamento termochimico

Processo effettuato in un mezzo-ambiente opportunamente scelto, per ottenere una modifica della composizione chimica del materiale base, mediante lo scambio di elementi con il mezzo utilizzato (ad esempio carburazione, nitrurazione etc).

## Trattamento termomeccanico acciai da costruzione

E' un procedimento di formatura a caldo, nel quale la temperatura e la formatura vengono controllate e regolate nel loro decorso per mettere a punto un determinato stato e di conseguenza determinate caratteristiche del materiale. Nel trattamento termomeccanico rientrano le seguenti tecniche di processo:

- **Formatura di normalizzazione**

La formatura di normalizzazione <sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup> è un trattamento termomeccanico con formatura finale nel campo della temperatura di normalizzazione con ricristallizzazione completa dell'austenite, determinando uno stato di materiale che equivale a quello risultante dopo una normalizzazione. L'indice di questo stato di fornitura è N.

- **Formatura termomeccanica**

La formatura termomeccanica <sup>2)</sup> è un trattamento termomeccanico con formatura finale in un campo di temperatura, nel quale l'austenite, durante questa trasformazione, non si ricristallizza o si ricristallizza in modo insignificante. La formatura finale avviene a temperature al di sopra del punto critico  $A_3$  oppure tra  $A_1$  e  $A_3$ . Una formatura termomeccanica determina la messa a punto di uno stato di materiale con definite caratteristiche. Questo stato di materiale non è ottenibile con un semplice trattamento termico. L'indice di questo stato di fornitura è TM.

N.B. La formatura termomeccanica può essere combinata con un raffreddamento accelerato, raffreddamento intensivo, tempra diretta e/o con un rinvenimento dopo la formatura. Anche lo stato di materiale messo a punto in questo modo non è ottenibile o ripetibile tramite un semplice trattamento termico.

# Powder Steel Consultant LV

- (1) Finora la formatura di normalizzazione è stato spesso definita laminazione a temperatura controllata  
(2) Sia per la formatura di normalizzazione che per quella termomeccanica, nel linguaggio e nella letteratura internazionale si usa l'espressione " controlled rolling ". Riguardo all'impiego dei diversi tipi di acciaio è assolutamente necessario distinguere i due concetti di formatura.

## Velocità di raffreddamento

Indica la variazione di temperatura in funzione del tempo (raffreddamento lento, veloce etc)

## Velocità critica di raffreddamento

Velocità di raffreddamento che corrisponde all'andamento critico di raffreddamento (vedi)

## Zona di arricchimento

Strato che si forma direttamente in superficie durante un trattamento termochimico, costituito da uno o più composti chimici risultanti o dagli elementi diffusi e da determinati elementi del materiale di base. Esempi: strato di nitruri dopo una nitrurazione, strato di boruri dopo una borurazione, strato di carburi di Cromo dopo la cromizzazione di un acciaio a più alto tenore di Carbonio

## Simbologia

+A	Ricotto addolcito	+P	Indurito per precipitazione
+AC	Ricotto globulare	+Q	Temprato
+AR	Grezzo di laminazione stato naturale	+QA	Tempra in aria
+AT	Ricottura di solubilizzazione	+QO	Tempra in olio
+C	Trafilato a freddo	+QT	Temprato e rinvenuto (bonificato)
+Cnnn	Trafilato a freddo per ottenere nnn N/mm <sup>2</sup>	+QW	Temprato in acqua
+CR	Laminato a freddo	+PL	Lucidato
+DC	Stato di fornitura a scelta del fornitore	+RA	Ricottura di ricristallizzazione
+FP	Trattato per struttura ferrite-perlite e durezza	+S	Ricottura per cesoiatura a freddo
+HC	Laminato a caldo e trafilato a freddo	+SH	Pelato rullato
+I	Ricottura isotermica	+SL	Rettificato
+LC	Skin pass (spianato o trafilato a freddo)	+T	Rinvenuto
+M	Laminato termo-meccanicamente	+TH	Temprato per forcilla di durezza
+N	Normalizzato	+U	Non trattato
+NT	Normalizzato e rinvenuto	+WW	Saldato a caldo

## Simboli e unità di misura

### FATT

Temperatura di transizione alla quale l'area di frattura intergranulare è il 50% dell'area originale dopo rottura di varie provette Charpy con intaglio a "V". Possono essere impiegate diverse temperature da -180°C (azoto liquido) fino a +150°C e oltre

### Em

Energia nella prova di rottura, al pendolo, di resilienze tipo Kv, KCU, DVM, Mesnager

### Inches

Pollici = 25,4 mm

### N

Newton (forza)

### Mpa = N/mm<sup>2</sup>

(Mega Pascal = Newton/mm<sup>2</sup>) = 0,10197 Kg/mm<sup>2</sup>

### Kg/mm<sup>2</sup>

(Kilogrammi/mm<sup>2</sup>) = 9,8066 Mpa = N/mm<sup>2</sup>

# Powder Steel Consultant LV

## J

Joule (energia) = 1,356 ft lb (foot-pounds)

## Ksi

Migliaia di libbre, forza per pollice quadro (tensione) = 0,7032 Kg/mm<sup>2</sup>

## lbf

Libbra (forza) = 0,45359 Kg

## Rm o R

Carico unitario di rottura determinato con provette proporzionali di trazione, si esprime N/mm<sup>2</sup>

## Rp0.2

Carico di snervamento superiore normalmente preso allo 0,2% e in alcuni casi allo 0,02%. Valore dedotto da prova di trazione, si esprime in N/mm<sup>2</sup>

## Re

Carico totale al limite di snervamento, viene letto direttamente sul quadrante della macchina di trazione perché corrisponde ad un arresto nella salita del carico

## A%

Allungamento dopo rottura. Valore dedotto da prova di trazione:

$$A\% = [(Lu - Lo) : Lo] \times 100$$

Lu = lunghezza tra i riferimenti, dopo rottura

Lo = lunghezza iniziale tra i riferimenti

## C% o Z%

Contrazione dopo rottura. Valore dedotto da prova di trazione

## Kcu

Resilienza con intaglio a "U", provette proporzionali rotte al pendolo con rilievo energia espressa in J

## Kv

Resilienza con intaglio a "V"

## HB 10/3000

Durezza Brinell EN 10003, determinata sulla superficie del materiale, è utile per conoscere, indicativamente, il valore di rottura del materiale: 10 = Ø sfera 3000 = Kg di pressione

## HRC Scala 150

Durezza Rockwell "C" EN 10109, normalmente determinata su materiale con resistenza da 760 N/mm<sup>2</sup> a 2420 N/mm<sup>2</sup>

## HV

Durezza Vickers, normalmente impiegata su materiale con resistenza da 1320 N/mm<sup>2</sup> a oltre 2500 N/mm<sup>2</sup>

## Denominazioni più usate

Italia		Germania	USA - Inghilterra	Francia
Rottura	R	Zugfestigkeit	Tensile strength	Resistance
Snervamento	Rp	Streckgrenze	Yield point/stress	Limite d'élasticité
Allungamento	A%	Dehnung	Elongation	Allongement
Contrazione	C%	Einschnürung	Striction	Reduction
Resilienza	K	Kerbschlagzähigkeit	Impact strength	Resilience
Durezza	HB	Haerte	Hardness test	Dureté
	HV			
	HRC			

## Prove meccaniche (posizione di prelievo rispetto alla superficie esterna)

### Norma ASTM

¼ T (T = spessore)

### Norma AFNOR

12,5 mm fino a Ø 250

### Norma DIN

1/3 del diametro

### Norma UNI

1/6 del Ø con un

## Prove di laboratorio per controllo acciaio

### Analisi chimica

Analisi quantometrica su acciaio al carbonio e legati

### Controllo Inclusionale UNI 3244 DIN 50602

Controllo per la valutazione inclusioni non metalliche presenti nella struttura del materiale

### Decarburazione UNI 4839

Controllo e misura della profondità di decarburazione superficiale

### Durezza UNI 10003 ASTM A 370

Prova di durezza Brinell, Vickers, Rockwell

### Esame Macroscopico UNI 3138

Controllo per mettere in evidenza segregazioni e difettosità interne alla struttura del materiale

### Esame Strutturale UNI 3137

Interpretazione e valutazione della struttura del materiale

### Ferrite ASTM E 562

Controllo e determinazione del contenuto di Ferrite su acciai prevalentemente inossidabili

### Fotografia

Foto in bianco nero formato 10x15 cm

### Grano Austenitico UNI 3245 ASTM E 112

Controllo e determinazione della dimensione del grano

### Impronta Baumann ISO 4968

Rilievo dell'area di distribuzione dei solfuri

### Impronta Wragge UNI 5683

Controllo per il rilievo della distribuzione del Piombo

### Jominy

Controllo e rilievo dei valori di durezza in HRC

### Piega UNI 564 ASTM A 370

Controllo piega a 90°C e oltre

### Resilienza EN 10045/1 ASTM A 370

Prova di resilienza a temperatura ambiente

### Resilienza EN 10045/1

Prova di resilienza da 0°C a - 180°C

### Trazione EN 10002/1 ASTM A 370

Controllo trazione a temperatura ambiente con l'utilizzo di un estensimetro.  
Determinazione Rp 0.2, Rm, A%, Z%

### Trazione EN 10002/5

Controllo trazione rapida a caldo fino a 900°C.  
Determinazione Rp 0.2, Rm, A%, Z%

## Altre prove di Laboratorio

Permeabilità magnetica; Prove di corrosione; Microdurezza; Microanalisi; K1C; Fratture; Prove a fatica; Prove Pellini; Tensioni residue.