

5 Acciai

Acciai speciali

Influenza degli elementi leganti degli acciai

Negli acciai, oltre al carbonio, si trovano in lega altri elementi, quali silicio, manganese, cromo, nichel ecc. Alcuni elementi aggiunti vengono introdotti appositamente per modificare le caratteristiche meccaniche, altri sono il risultato del tipo di fabbricazione impiegato.

Normalmente gli elementi leganti dell'acciaio, sia provenienti da procedimento adottato per la fabbricazione dell'acciaio, sia volutamente aggiunti, si possono trovare disciolti nella ferrite e nella cementite, o legati con quest'ultima sotto forma di carburi complessi.

Gli elementi aggiunti possono però essere anche dispersi nella struttura sotto forma di carburi e di composti intermetallici.

A causa dell'aggiunta di altri elementi negli acciai si ha la variazione dei punti critici e la possibilità di avere strutture austenitiche anche a bassa temperatura o strutture ferritiche ad alta temperatura.

I metalli che solidificano nel sistema cubico a corpo centrato restringono il campo di esistenza del ferro γ , mentre i metalli che solidificano nel sistema cubico a facce centrate lo allargano. Gli elementi ferritizzanti (cioè che allargano il campo di esistenza della ferrite) che si trovano negli acciai sono:

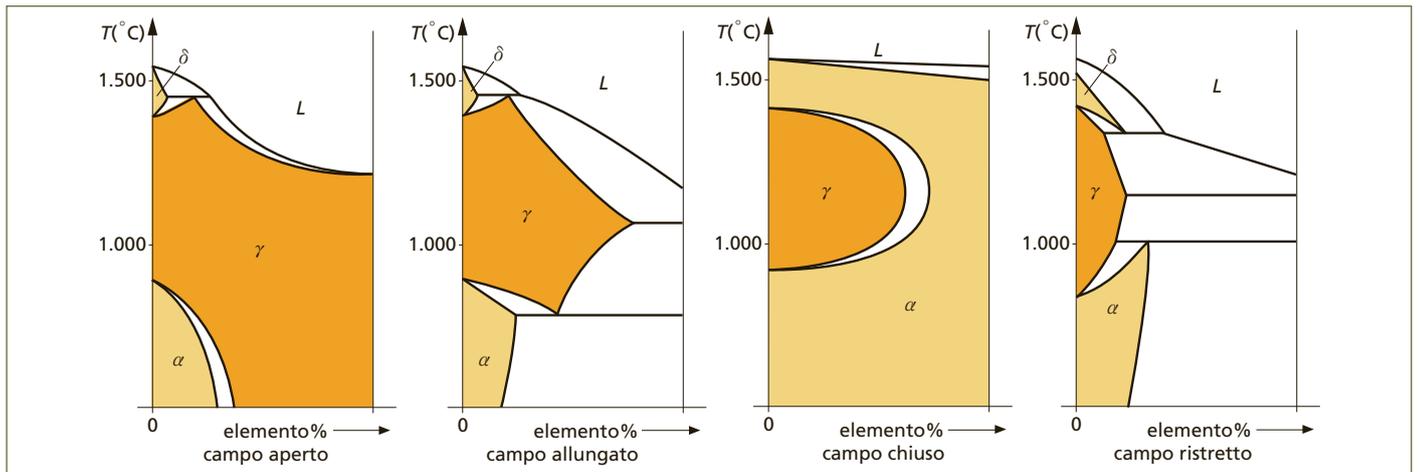
- cromo;
- molibdeno;
- alluminio;
- vanadio;
- titanio;
- silicio;
- zolfo;
- fosforo;
- tungsteno.

Gli elementi austenitizzanti (cioè che allargano il campo di esistenza della austenite) che si trovano negli acciai sono:

- manganese;
- nichel;
- azoto;
- rame;
- cobalto.

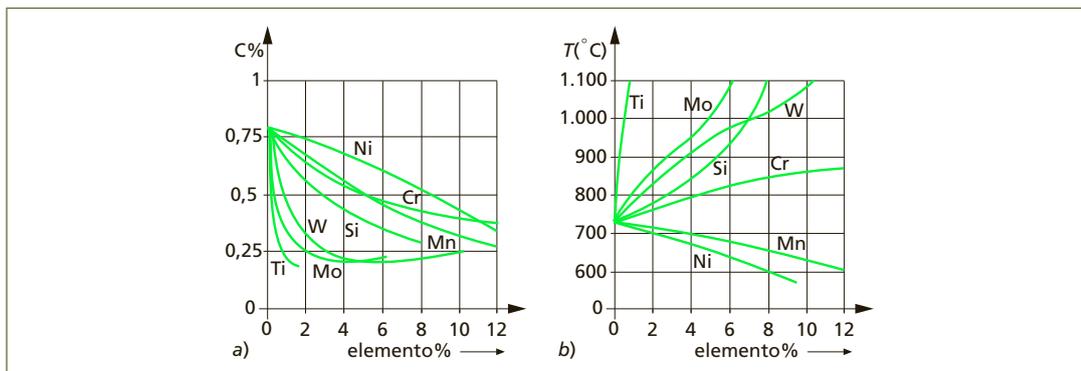
Nei diagrammi in **figura 1** sono rappresentate le variazioni del campo di esistenza dell'austenite.

Figura 1
Variazioni del campo di esistenza dell'austenite.



Tutti gli elementi aggiunti fanno variare le temperature del punto critico A_1 (alzandola o abbassandola) e spostano la concentrazione dell'eutettoide (per gli acciai al solo carbonio 0,8% di C) verso valori più bassi. Nella **figura 2** sono presentati i diagrammi che mettono in relazione la concentrazione del carbonio dell'eutettoide al variare della concentrazione dell'elemento in lega (**fig. 2a**), e la temperatura dei punti critici in funzione del contenuto di elementi speciali (**fig. 2b**).

Figura 2
Diagrammi concentrazione di carbonio e temperatura in funzione dell'elemento in lega.



Esame delle caratteristiche degli elementi che più frequentemente si trovano negli acciai

Silicio

Il silicio è sempre presente nell'acciaio. Con il ferro forma il siliciuro di ferro, che si solubilizza nel ferro δ , γ , α .

Una piccola parte di silicio si trova nelle inclusioni metalliche sotto forma di diossido di silicio.

Il silicio è un elemento grafitizzante, riduce la velocità critica di raffreddamento per la tempra, aumenta il limite elastico, migliora la resistenza all'usura e al surriscaldamento. Ad alta temperatura riduce le deformazioni della struttura dell'acciaio. Viene aggiunto alla lega fusa perché ha un elevato potere disossidante e calmante.

Gli acciai che hanno dal 3 al 5% di silicio e un basso contenuto di carbonio hanno struttura ferritica. Date l'elevata permeabilità magnetica e l'alta resistività, questi acciai vengono impiegati per la costruzione di lamierini per nuclei di trasformatori.

Gli acciai con silicio fino al 2% hanno un buon carico di rottura e di elasticità; quelli con tenori più alti sono fragili.

Nel diagramma di Guillet in **figura 3** sono riportati i campi degli acciai al silicio per vari contenuti di carbonio e di silicio.

Manganese

Il manganese allarga il campo di esistenza del ferro γ e rende più stabile la cementite.

Modifica sostanzialmente i punti critici: abbassa il punto A_{C3} e innalza il punto A_{C4} .

Il manganese ha ottime qualità: per questo è sempre presente negli acciai in percentuali più o meno elevate. L'alto potere disossidante lo rende utile nella fabbricazione degli acciai.

Inoltre, reagisce facilmente con lo zolfo del solfuro di ferro, eliminandolo, e migliora la tenacità della lega.

Il diagramma di Guillet in **figura 4** si riferisce alle strutture degli acciai al manganese in funzione del contenuto di carbonio e di manganese.

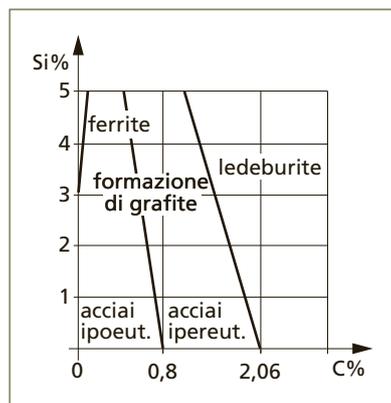


Figura 3

Acciai al silicio.

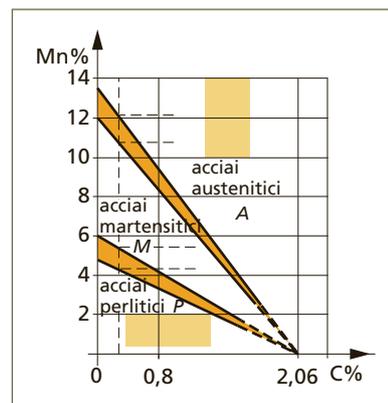


Figura 4

Acciai al manganese.

Cromo

Il cromo è uno degli elementi che più frequentemente si trovano negli acciai.

È usato negli acciai da bonifica, perché aumenta la temprabilità. Inoltre, dà resistenza e tenacità agli acciai, riduce il pericolo del surriscaldamento ed evita l'ingrossamento del grano a caldo. Dal cromo dipendono infine una maggiore stabilità al rinvenimento e una migliore resistenza alla corrosione.

Le percentuali con cui il cromo entra nella lega sono variabili da 0,25 al 30%.

Il cromo forma con il carbonio un carburo che si combina con il carburo di ferro, rendendo così più stabile la cementite e riducendo l'effetto grafitizzante.

Gli acciai contenenti l'1 ÷ 1,5% di cromo, con struttura perlitica, hanno elevata resistenza meccanica, bassa duttilità e ottima temprabilità. Il cromo in percentuali fino all'1,8% è richiesto negli acciai da nitrurazione, perché favorisce la formazione dei nitruri. Alte percentuali di cromo, superiori al 10%, servono per ottenere acciai resistenti ad alta temperatura.

Gli acciai al cromo possono essere anche di tipo austenitico o ferritico. Gli acciai austenitici o ferritici sono facilmente saldabili e si impiegano per lavori di imbutitura e stampaggi sia a caldo che a freddo. Per l'ottima resistenza a caldo e alla corrosione, sono usati nelle costruzioni di apparecchiature per impianti chimici e per apparecchiature con campo di impiego ad alta temperatura.

In **figura 5** il diagramma strutturale allo stato ricotto degli acciai al cromo:

F = ferrite; M = martensite; P = perlite.

In **figura 6** il diagramma strutturale degli acciai al cromo-nichel con C = 0,3%.

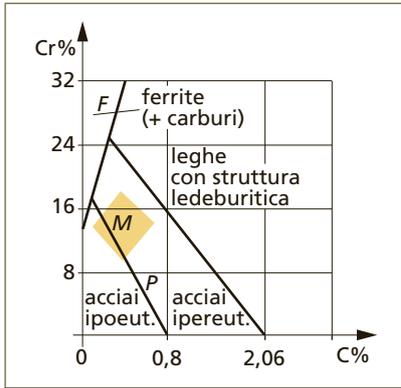


Figura 5
Acciai al cromo.

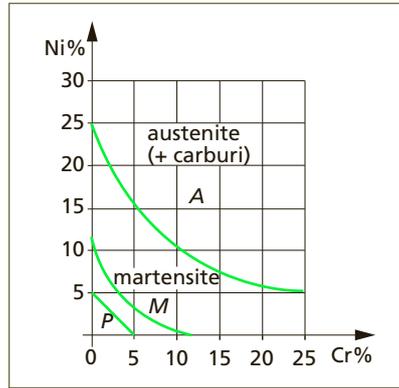


Figura 6
Acciai al cromo-nichel.

Molibdeno

È spesso presente negli acciai da bonifica, da cementazione carburante e da nitrurazione, perché contribuisce ad aumentare la temprabilità e la stabilità al rinvenimento.

Gli acciai al molibdeno hanno buona tenacità e resistenza a trazione. Il molibdeno impedisce l'ingrossamento del grano austenitico a caldo e aumenta la resistenza allo scorrimento viscoso.

Normalmente il molibdeno è contenuto in percentuali variabili da 0,5 a 1%. Il molibdeno ha una influenza notevole sulla saldabilità e sulla lavorabilità meccanica dell'acciaio; inoltre ha un effetto positivo sulla durezza.

Nichel

Il nichel allarga il campo di esistenza del ferro γ e abbassa le temperature dei punti critici Ac_1 e Ac_3 . Al nichel deve essere attribuito un miglioramento della resistenza a trazione, della resistenza alla corrosione e una migliore inossidabilità a caldo. Gli acciai contenenti nichel sono migliori degli acciai comuni, perché l'elemento abbassa i punti di trasformazione.

Il nichel viene spesso aggiunto assieme ad altri elementi, quali per esempio il cromo.

Cristallizza nel reticolo cubico a facce centrate e si lega come tale facilmente al ferro γ . Si scioglie perfettamente anche nella ferrite. Gli acciai che contengono nichel fino al 5% sono più duri degli acciai al carbonio. La resistenza a trazione risulta più elevata di quella degli acciai comuni.

Il diagramma di Guillet in **figura 7** rappresenta le strutture degli acciai al nichel in funzione del contenuto di carbonio e nichel.

Tungsteno

Quando il tungsteno è presente negli acciai, lo è in misura elevata.

Il tungsteno forma con il carbonio il carburo di tungsteno.

La sua presenza è richiesta perché diminuisce la velocità critica di tempra, riduce la fragilità di rinvenimento e aumenta la resistenza a caldo.

In **figura 8** è riportato il diagramma strutturale degli acciai al tungsteno allo stato ricotto.

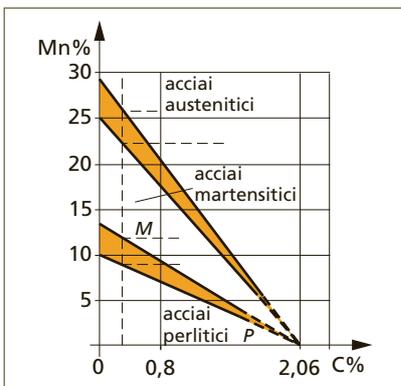


Figura 7
Acciai al nichel.

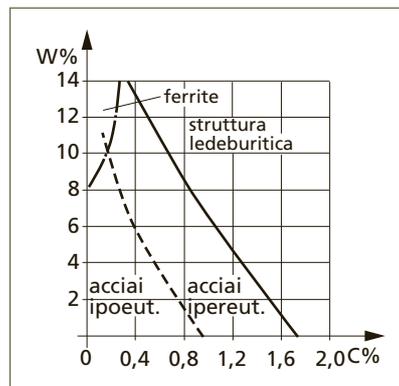


Figura 8
Acciai al tungsteno.

Vanadio

Il vanadio migliora le caratteristiche meccaniche degli acciai, sia allo stato ricotto che bonificato. Forma carburi che si solubilizzano difficilmente nell'austenite e rendono pertanto l'acciaio insensibile al surriscaldamento.

Il vanadio è richiesto soprattutto nella fabbricazione degli utensili per la lavorazione alle macchine utensili.

L'effetto del vanadio è simile a quello del molibdeno. Il vanadio inoltre è un ottimo desossidante e conferisce agli acciai elevata purezza, perché reagisce con le impurità.

Con il carbonio forma carburi che rimangono finemente dispersi nella struttura, affinandola.

Il vanadio cristallizza nel sistema cubico a corpo centrato e forma con il ferro α , che ha lo stesso reticolo, soluzioni solide. Spesso viene unito al cromo perché riduce la tendenza all'ingrossamento del grano che rende fragili gli acciai. Il vanadio migliora la resistenza all'urto degli acciai.

Altri elementi leganti

Cobalto

Si utilizza negli acciai rapidi perché ha la proprietà di dare stabilità al rinvenimento e fa conservare alla lega, anche a caldo, una buona durezza.

Alluminio

L'alluminio si impiega negli acciai di nitrurazione perché facilita l'assorbimento dell'azoto.

Si può trovare negli acciai come impurezza nella forma di ossido di alluminio, se è stato aggiunto quale elemento calmante desossidante.

Boro

Il boro viene introdotto in piccolissime percentuali nell'acciaio perché contribuisce ad aumentare la resistenza meccanica e il limite di snervamento.

Il boro rende l'acciaio più duro e ne migliora la fusibilità.

Rame

Il rame si può trovare negli acciai come impurezza.

Tuttavia, può anche essere introdotto fino al 3% nei getti per aumentare la fluidità e la durezza dei pezzi che hanno poco carbonio e per migliorare la resistenza alla corrosione atmosferica.

Il rame abbassa le temperature dei punti critici.

Titanio

Il titanio aggiunto in piccole percentuali all'acciaio aumenta la temprabilità. Questo elemento viene aggiunto agli acciai inossidabili per evitare la separazione della cementite e dei carburi. Il titanio con il carbonio forma carburi che difficilmente si sciolgono nella lega e che si disperdono nella massa riducendo qualsiasi forma di accrescimento granulare.

L'effetto desossidante del titanio nell'acciaio è apprezzabile e come tale pertanto viene usato.

Zolfo

Lo zolfo si trova in tutte le leghe metalliche quale impurezza derivante dal carbone usato per la combustione, oppure derivante dal minerale impiegato.

È tollerabile nella percentuale di 0,1% che serve a rendere più facile la lavorazione alle macchine utensili.

Lo zolfo e il ferro formano solfuri che non si sciolgono nella lega. Il solfuro di ferro con il ferro tende a formare un eutettico che si deposita attorno ai grani, riducendo la resistenza dell'acciaio e conferendogli notevole fragilità.

Per l'eliminazione dello zolfo dalla lega si effettua la scorificazione con ossido di manganese. La presenza di solfuro di manganese nella lega non dà effetti dannosi come il solfuro di ferro.

Fosforo

Il fosforo è una impurità nociva dell'acciaio e come tale deve essere evitato. Il fosforo forma composti intermetallici con il ferro.

Non si distribuisce uniformemente nella lega e dà elevata fragilità.

Un contenuto di fosforo fino allo 0,16%, con aggiunte di silicio, è richiesto per aumentare la resistenza alla corrosione.

Stagno

Lo stagno è una impurità dell'acciaio e come tale deve essere evitato.

Anche in piccole percentuali lo stagno conferisce notevole fragilità alla lega.

■ Acciai legati

Gli acciai legati sono leghe che oltre al carbonio contengono elementi particolari, introdotti per modificare le caratteristiche strutturali e per creare nuove strutture.

Gli elementi che più frequentemente si aggiungono agli acciai, perché modificano notevolmente e migliorano le caratteristiche fisiche, tecnologiche e meccaniche, quali per esempio la resistenza a trazione, la durezza, la imbutibilità, la permeabilità magnetica ecc. sono: cromo, nichel, manganese, silicio, tungsteno e vanadio.

Gli effetti degli elementi aggiunti possono essere così elencati:

- modificano le caratteristiche chimiche, fisiche, tecnologiche e meccaniche;
- possono creare strutture a base di carburi in soluzione solida e sotto forma di miscugli;
- spostano le temperature di trasformazione del diagramma ferro-carbonio;
- apportano modifiche sostanziali alle curve di Bain, aumentando il tempo di incubazione e di trasformazione della austenite;
- possono dare a temperatura ambiente delle strutture che negli acciai comuni si possono avere solamente ad alta temperatura;
- possono consentire delle velocità di tempra più basse e quindi la tempra anche in olio o in aria.

Acciai al manganese

Il manganese in lega all'acciaio può dare strutture perlitiche, martensitiche e austenitiche.

La formazione delle strutture indicate dipende dal contenuto di carbonio e manganese della lega.

Gli acciai perlitici contengono una percentuale di manganese non troppo elevata.

Appartengono a questa categoria acciai che possono subire trattamenti termici di tempra. Quanto più alto è il contenuto di carbonio tanto più basso deve essere quello di manganese.

Gli acciai austenitici al manganese si possono ottenere per alti contenuti di manganese e di carbonio. Quanto maggiore è il contenuto di manganese, tanto più basso può essere il contenuto di carbonio per mantenere la struttura austenitica.

Acciai perlitici al manganese

La percentuale di manganese contenuta negli acciai perlitici è $1 \div 1,8\%$.

Il carbonio è in percentuale tra $0,1$ e $0,6\%$.

La maggior parte degli acciai comuni rientra in questa categoria, in quanto il manganese è sempre introdotto nelle forme di ghisa speculare o di ferro-lega per effettuare le ordinarie operazioni di affinazione durante la fabbricazione.

Infatti, il manganese ha una potente azione desolforante.

Gli acciai contenuti $0,1 \div 0,18\%$ di carbonio e 1% di manganese sono utilizzati per i trattamenti termici di cementazione.

Gli acciai contenenti 1% di manganese e $0,8 \div 1\%$ di carbonio sono utilizzati per la fabbricazione di utensili.

Acciai con $1 \div 2\%$ di manganese e $0,3\%$ di carbonio sono impiegati per la costruzione di rotaie. Il manganese aumenta la temprabilità di un acciaio, perciò gli acciai al manganese sono impiegati al posto di acciai legati di costo più alto, anche se presentano un certo pericolo di surriscaldamento e fragilità di rinvenimento.

Acciai perlitici di più comune impiego

Acciaio di tipo dolce con $C = 0,11\%$ e $Mn = 1,50\%$.

Impiego: fabbricazione di pezzi cementati e temprati, quali per esempio ingranaggi, camme, perni ecc.

Acciaio semiduro con $C = 0,19\%$ e $Mn = 1,5\%$.

Impiego: fabbricazione di pezzi mediamente sollecitati e facilmente saldabili.

Trattamento termico: si esegue la tempra in acqua del materiale austenizzato alla temperatura di $850\text{ }^\circ\text{C}$.

La ricottura e la normalizzazione sono eseguite rispettivamente alla temperatura di $650\text{ }^\circ\text{C}$ e $875\text{ }^\circ\text{C}$.

Acciaio semiduro con $C = 0,25\%$ e $Mn = 1,5\%$; $C = 0,32\%$ e $Mn = 1,50\%$, $C = 0,37\%$ e $Mn = 1,75\%$.

Impiego: l'acciaio semiduro è utilizzato per parti di costruzioni meccaniche sollecitate a urto e usura.

Trattamenti termici: si esegue la tempra in acqua del materiale austenizzato alla temperatura di $830\text{ }^\circ\text{C}$.

La ricottura e la normalizzazione vengono effettuate alla temperatura di $850\text{ }^\circ\text{C}$.

Il carico di rottura del materiale, dopo tempra, è $R = 750 \div 950\text{ N/mm}^2$.

Acciai austenitici al manganese

Gli acciai austenitici al manganese contengono $0,9-1\%$ di carbonio e $12 \div 14\%$ di manganese.

Sono così denominati in quanto, pur con un raffreddamento in acqua dell'acciaio riscaldato preventivamente ad alta temperatura, mantengono sempre la struttura austenitica.

Gli acciai austenitici al manganese sono tenaci dopo aver subito il trattamento di tempra in acqua, dalla temperatura di 1.000 °C.

Allo stato grezzo si presentano invece fragili, a causa di un deposito intergranulare di carburi.

Gli acciai austenitici al manganese tendono però a incrudirsi a seguito delle sollecitazioni a cui sono sottoposti e sono perciò difficilmente lavorabili alle macchine utensili.

La resistenza a trazione che si raggiunge negli acciai austenitici al manganese è $R = 1.000 \text{ N/mm}^2$.

Per la loro elevata resistenza all'usura e per la loro tenacità questi acciai sono impiegati per parti di frantoi, corazze ecc.

Acciai martensitici al manganese

Data la loro elevata durezza e fragilità non trovano impiego in costruzioni meccaniche.

Acciai al cromo

Gli acciai al cromo possono essere raggruppati a seconda della loro composizione nelle quattro categorie seguenti:

- acciai perlitici;
- acciai austenitici;
- acciai ferritici;
- acciai martensitici.

La forma strutturale secondo cui essi si presentano a temperatura ambiente dipende dalla quantità di carbonio e di cromo in essi contenuti.

Negli acciai al cromo, per particolari concentrazioni di carbonio e di cromo, si può avere la formazione di carburi doppi di carbonio e di cromo.

Il cromo impedisce la separazione dei carburi e della ferrite: è richiesto pertanto negli acciai da cementazione poiché favorisce l'assorbimento del carbonio.

Acciai martensitici al cromo

Gli acciai martensitici al cromo contengono una percentuale di cromo variabile dal 13 al 17%. Il contenuto di carbonio varia da 0,1 a 1%.

Gli acciai martensitici che hanno un contenuto di cromo e di carbonio elevati si temprano direttamente all'aria.

Quando il contenuto di carbonio e di cromo sono rispettivamente $0,2 \div 0,4\%$ e $2 \div 4\%$ hanno anche della perlite e ferrite e pertanto per essi si richiede il trattamento termico di tempra.

Gli acciai al cromo di tipo martensitico hanno elevata resistenza a caldo fino a temperature di 800 °C, se il contenuto di cromo è del $4 \div 5\%$, ma possono servire anche per temperature superiori se il contenuto di cromo viene elevato.

Il cromo conferisce anche elevata resistenza a corrosione.

La fucinatura sugli acciai martensitici viene fatta alla temperatura sempre superiore a 900 °C perché a temperatura più bassa questi acciai sono fragili e possono spaccarsi facilmente.

Trattamenti termici per gli acciai martensitici

La lavorazione meccanica eseguita sugli acciai martensitici, sia a caldo che a freddo produce un notevole incrudimento.

Per ridurre le tensioni interne e addolcire l'acciaio, si esegue la ricottura di lavorabilità riscaldando l'acciaio alla temperatura di $750 \div 780 \text{ °C}$, comunque al di sotto della temperatura di trasformazione.

L'operazione richiede un tempo molto lungo, che può arrivare anche a $8 \div 12$ ore.

La ricottura sugli acciai martensitici riduce in parte la resistenza alla corrosione.

Per conferire la massima dolcezza, che favorisce la lavorazione meccanica, è necessario procedere con un riscaldamento al di sopra della temperatura di trasformazione, seguito da un raffreddamento con velocità inferiore a 15 °C/h in forno sino alla temperatura di 500 °C e successivamente all'aria.

Il carico di rottura (R) varia da 600 a 1.100 N/mm^2 .

Tra gli acciai martensitici al cromo si segnalano seguenti.

- Acciaio con 0,17% di carbonio e 17% di cromo, temprabile all'aria.
Ha carico di rottura $R > 750 \text{ N/mm}^2$.
Data la sua alta resistenza alla corrosione, è impiegato per alberi, per eliche navali e per corpi di valvola per industria casearia.
- Acciaio con 0,27% di carbonio e 13,5% di cromo. Ha una elevata resistenza meccanica (R) che può arrivare fino a 1.100 N/mm^2 .
Per la sua alta resistenza chimica e meccanica è impiegato per alberi, bulloni ecc.

Acciai ferritici al cromo

Gli acciai ferritici contengono come principale elemento il cromo, oltre al carbonio.

In linea di massima il contenuto di cromo è $14 \div 28\%$, mentre quello di carbonio è $0,05 \div 0,28\%$.

Gli acciai ferritici non sono temprabili. Hanno una durezza HB = $155 \div 215$, mentre la resistenza a trazione è $R = 450 \div 550 \text{ N/mm}^2$.

Gli acciai ferritici al cromo sono facilmente saldabili. Hanno una elevata resistenza alla ossidazione e alla corrosione e per tale motivo sono utilizzati dove l'ambiente è corrosivo od ossidante.

Sono acciai ferritici i seguenti.

- Acciaio con 0,1% di carbonio e 17,5% di cromo. Ha una elevata resistenza agli acidi, per esempio all'acido nitrico.
- Acciaio con 0,25% di carbonio e 25% di cromo. Ha una elevata resistenza ad alta temperatura e presenta una buona lavorabilità.
- Nella **figura 9** è presentato il diagramma che riporta i valori relativi ai numeri di imbutibilità Erichsen in funzione dello spessore della lamiera per un acciaio ferritico con 0,1% di C e 17,5% di Cr.

Acciai al cromo per cuscinetti a sfera e a rulli

Gli acciai per cuscinetti a sfere sono i seguenti.

- Acciaio 100 Cr 6 contenente 1% di carbonio e 1,5% di cromo.
Allo stato ricotto ha una durezza HP 210.
Dopo tempra e rinvenimento la durezza è HRC 64.
Il trattamento termico per la tempra consiste nel riscaldare l'acciaio alla temperatura di 850°C e, dopo averlo mantenuto a tale temperatura per il tempo necessario alla completa austenitizzazione, nel raffreddamento successivo alla temperatura ambiente con olio.
- Acciaio 100 CrMn 4 con 1% di C, 1% di Cr e 1% di Mn.
È impiegato per la fabbricazione di cuscinetti a rotolamento, quando lo spessore del pezzo è rilevante. Il manganese consente una maggiore penetrazione di tempra.
La durezza dopo tempra è HRC 64. Il trattamento di tempra viene eseguito con riscaldamento alla temperatura di 850°C e raffreddamento in olio. Negli acciai al cromo-nichel si può avere un aumento della durezza e maggiore fragilità se l'acciaio viene rinvenuto a 500°C , perché si ha una precipitazione di carburi intergranulare.

Nella **figura 10** viene presentato il diagramma che mette in evidenza la durezza HRC dell'acciaio alle diverse temperature di rinvenimento alla temperatura di $150 \div 250^\circ\text{C}$.

- Acciaio 38 NiCrMo 4, contiene 0,38% di carbonio, 0,85% di nichel, 0,8% di cromo e 0,20% di molibdeno.
È impiegato per la costruzione di pezzi di qualsiasi dimensione.
Il trattamento a cui può essere sottoposto questo acciaio e quello di bonifica per raggiungere la durezza HRC 57.
La tempra è fatta per raffreddamento in olio dalla temperatura di 850°C . Il rinvenimento è effettuato alla temperatura di 600°C .

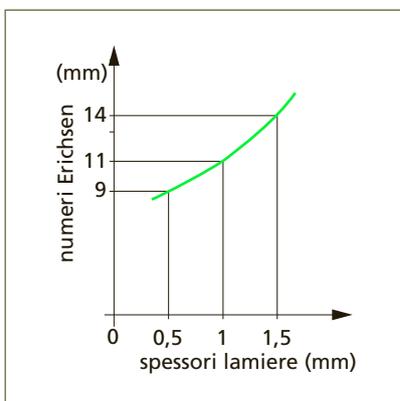


Figura 9

Numeri di Erichsen in funzione dello spessore della lamiera.



Figura 10

Durezza in funzione della temperatura di rinvenimento.

Acciai austenitici al cromo

Gli acciai al cromo austenitici contengono $12 \div 25\%$ di cromo, oltre a $8 \div 25\%$ di nichel. Gli acciai austenitici hanno una elevata resistenza meccanica e una elevata tenacità. Gli acciai austenitici non prendono la tempra, hanno una elevata resistenza alla corrosione e alla ossidazione e sono facilmente saldabili. Gli acciai austenitici riscaldati a $500 \div 900^\circ\text{C}$ possono presentarsi più fragili a causa di una precipitazione intercrystallina di carburi.

Acciai austenitici al cromo nichel sono i seguenti:

- acciaio con $C = 0,10$, $Cr = 10\%$, $Ni = 8,5\%$, avente carico di rottura $R = 650 \text{ N/mm}^2$.

Gli acciai austenitici sono sottoposti a trattamento termico di ricottura. Per la ricottura l'acciaio viene portato alla temperatura di $1.050 \div 1.070^\circ\text{C}$ e, dopo averlo mantenuto per il tempo strettamente necessario, viene raffreddato velocemente in acqua, impedendo così la separazione dei carburi.

Acciai austenitici-ferritici

Gli acciai austenitici-ferritici hanno una struttura intermedia tra quelle degli acciai esaminati. In linea di massima si può dire che raggruppano le buone qualità dei due tipi. Hanno elevata resistenza alla rottura e alla corrosione.

Sono ferritico-austenitici i seguenti acciai:

- Acciaio con $C = 0,13\%$; $Cr = 26\%$ e $Ni = 4\%$;
- Acciaio con $C = 0,13\%$; $Cr = 26\%$; $Ni = 4\%$ e $Mo = 1,5\%$.

Gli acciai ferritico-austenitici hanno un elevato limite elastico, oltre a una buona resistenza alla corrosione.

Sono impiegati per la costruzione di alberi di pompa, rubinetteria per soluzioni saline e acide.

Acciai perlitici al cromo

Il cromo negli acciai perlitici conferisce durezza e tenacità. Viene impiegato per migliorare la temprabilità degli acciai, anche con aggiunte di altri elementi speciali, quali il molibdeno e il nichel. Data l'alta resistenza all'usura gli acciai al cromo vengono impiegati per la costruzione di cuscinetti a sfera. Gli acciai al cromo-nichel-molibdeno sono anche impiegati per la costruzione di acciai da bonifica, quando è richiesta una elevata durezza e tenacità.

Acciai al nichel

Il nichel, come il cromo e il manganese, può formare strutture perlitiche, austenitiche, se si trova nelle leghe in determinate percentuali insieme al carbonio.

Gli acciai perlitici hanno mediamente fino al 6% di Ni. Il nichel migliora il limite elastico degli acciai e innalza il carico di rottura.

Il nichel conferisce maggiore penetrazione di tempra e impedisce l'ingrossamento del grano austenitico: viene per questo consigliato nella tempra di grossi pezzi e per cementazioni carburanti.

Acciai con alto contenuto di nichel sono resistenti alla corrosione e alla ossidazione.

Consigliabili sono gli acciai contenenti il 20% di Ni, perché resistono alla corrosione di acidi e da acqua.

Acciai al silicio

Gli acciai al silicio possono presentare struttura ferritica e perlitica.

Si possono formare se il tenore di silicio non supera il 6% .

Per tenori superiori di silicio si hanno solamente strutture ferritiche.

Il silicio conferisce agli acciai maggiore resistenza a trazione e un carico di rottura e di snervamento più elevati. Al contenuto di silicio nell'acciaio è anche da imputarsi una maggiore stabilizzazione del rinvenimento ad alta temperatura.

Gli acciai al silicio trovano applicazioni per la fabbricazione di lamierini per trasformatori ($Si = \text{max } 5\%$, $C = 0,05\%$, $Mn = 0,09\%$), nella fabbricazione delle molle ($Si = \text{max } 2\%$, $C = 0,5\%$, $Mn = 1,3 \text{ max}$) e nella fabbricazione di valvole per motori a scoppio. In tal caso sono consigliabili acciai ferritici contenenti $Cr = 0,4\%$, $Si = 3,25 \div 3,75\%$, $Cr = 7,5 \div 8,5\%$ e $Ni = 0,5\%$.

Acciai al tungsteno

Gli acciai al tungsteno trovano applicazione nella costruzione degli utensili da taglio, di punzoni, mandrini, punte elicoidali, stampi ecc. in quanto conferisce agli acciai durezza a causa della formazione di carburi che tendono a sciogliersi nell'austenite ad alta temperatura.

Come il cromo e il silicio, il tungsteno contribuisce a dare all'acciaio una maggiore stabilità di rinvenimento, a causa della precipitazione di carburi che contribuiscono ad aumentare la durezza.

Acciai al molibdeno

Normalmente il molibdeno non si trova mai da solo negli acciai speciali, ma in aggiunta al cromo, nichel e tungsteno.

Il molibdeno viene aggiunto per contribuire a ottenere una buona tenacità e resistenza meccanica, per ridurre le probabilità di cricatura conseguente alla tempra e per conferire una migliore resistenza alla corrosione.

Il contenuto di molibdeno in un acciai legato può raggiungere lo 0,5%.

Acciai al vanadio

Poiché il vanadio ha effetto affinante degli acciai, viene introdotto nelle leghe, assieme ad altri elementi, quali cromo, molibdeno ecc., per migliorare le caratteristiche meccaniche e tecnologiche. Il vanadio riduce il contenuto di impurezze nell'acciaio, quali l'ossigeno e l'azoto.

Il vanadio consente la realizzazione di strutture a grano austenitico fine e impedisce il suo ingrossamento ad alta temperatura.

Aumenta anche la stabilità di rinvenimento ed è molto impiegato nella costruzione degli acciai per utensili.

Normalmente il contenuto di vanadio in un acciaio non supera lo 0,2%.

Acciai Maraging

Gli acciai Maraging appartengono a una categoria di leghe siderurgiche dotate di elevatissima resistenza meccanica che si mantiene tale fino a $350 \div 400^\circ\text{C}$.

Si impiegano perciò dove si richiedono costruzioni resistenti e leggere.

Notevole è l'interesse per questi acciai nel campo missilistico e aeronautico, ma data la buona attitudine a essere lavorati meccanicamente e saldati trovano impiego anche nella costruzione di serbatoi per elevate pressioni, in applicazioni navali ecc.

Il maggior costo degli acciai Maraging è abbondantemente compensato dalla semplicità di lavorazione e dal minor peso del materiale occorrente per un adeguato proporzionamento.

Gli acciai Maraging contengono un elevato quantitativo di nichel in lega, oltre a cobalto e molibdeno. La caratteristica di ottima resistenza a trazione deriva dalla martensite ferro-nichel che si ottiene in sostituzione di quella ferro-carbonio. La martensite dà fragilità e provoca forti variazioni di volume nel processo di formazione.

Negli acciai Maraging il carbonio è quindi praticamente eliminato e sostituito da nichel.

In **figura 11** è presentato il diagramma ferro-nichel. In esso sono visibili le temperature di trasformazione dell'austenite in martensite e in ferrite.

La martensite ferro-nichel ha una durezza che si mantiene costante anche con il variare del contenuto del nichel in lega.

La martensite ferro-nichel è molto tenace e non eccessivamente dura.

L'intervallo di temperature in cui si ha la formazione di martensite è inoltre molto ampio e lo spessore del pezzo non ha eccessiva influenza sulle caratteristiche strutturali che si ottengono. Poiché la distribuzione della martensite formata avviene a temperature elevate, gli acciai tollerano condizioni di impiego anche ad alta temperatura.

Composizione, elementi non desiderati e elementi aggiunti

Gli acciai Maraging consigliati dal Centro Informazioni del Nichel hanno le seguenti composizioni:

- 18% MiCrMo con $17 \div 19\%$ di Ni; $8 \div 9\%$ di Co; $3 \div 3,5\%$ di Mo; $0,15 \div 0,25\%$ di Ti; $0,05 \div 0,15\%$ di Al;
- 18% NiCrMo con $17 \div 19\%$ di Ni; $7,5\%$ di Co; $4,6 \div 5,1\%$ di Mo; $0,3 \div 0,5\%$ di Ti; $0,005 \div 0,015\%$ di Al;
- 18% NiCrMo con $18 \div 19\%$ di Ni; $8,5 \div 9,5\%$ di Co; $4,7 \div 5,2\%$ di Mo; $0,5 \div 0,7\%$ di Ti; $0,05 \div 0,15$ di Al;
- 20% NiTiAl con $18 \div 20\%$ di Ni; $1,3 \div 1,6\%$ di Ti; $0,15 \div 0,35\%$ di Al; $0,3 \div 0,5\%$ di Nb;
- 25% NiTiAl con $25 \div 26\%$ di Ni, $1,3 \div 1,6\%$ di Ti; $0,15 \div 0,35\%$ di Al; $0,3 \div 0,5\%$ di Nb.

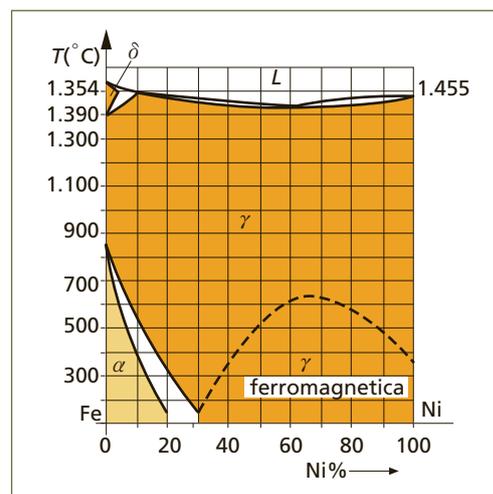


Figura 11
Diagramma Fe-Ni.

Gli elementi che non sono desiderati e che devono essere mantenuti sotto attento controllo sono i seguenti:

- carbonio: quantitativo massimo tollerato = 0,03%;
- manganese: quantitativo massimo tollerato = 0,1%;
- silicio: quantitativo massimo tollerato = 0,1%;
- zolfo: quantitativo massimo tollerato = 0,01%;
- fosforo: quantitativo massimo tollerato = 0,01%.

Per conferire, con l'invecchiamento per precipitazione, maggiori durezza alle leghe Maraging si aggiungono titanio, alluminio e niobio. Piccole percentuali di zirconio, calcio e boro hanno pure un effetto benefico sull'indurimento per precipitazione.

Il nichel, il titanio e il ferro producono composti intermetallici che contribuiscono ad aumentare la durezza per precipitazione quando, dopo la ricottura di solubilizzazione (a temperatura superiore a 800 °C), si esegue l'invecchiamento a temperatura di 650-700 °C.

I composti intermetallici che si formano con gli elementi indicati e che danno un apprezzabile contributo sull'aumento di durezza per precipitazione sono i seguenti: Ni₃ Ti, TiAl, FeNi.

Trattamento di indurimento per precipitazione

Il trattamento Maraging viene effettuato riscaldando l'acciaio, che ha subito già la ricottura di solubilizzazione, a 480 °C.

Con la permanenza a tale temperatura la durezza, che dopo pochi minuti raggiunge HV 400, arriva a HV 500 dopo 3 ore.

Generalmente, per tutti gli acciai Maraging si richiedono trattamenti di indurimento per precipitazione con riscaldamenti non superiori alla temperatura di 480 °C, per tempi non superiori a 4 ore.

Permanenze troppo prolungate ad alta temperatura e temperature superiori a quella indicata possono determinare il riformarsi della austenite e quindi una riduzione di alcune qualità meccaniche.

Il trattamento di indurimento non produce deformazioni sul pezzo, perché non si verificano quelle variazioni di volume che si riscontrano negli acciai comuni, e che sono dovute alla formazione di martensite.

Trattamenti termici degli acciai legati

I procedimenti usuali per i trattamenti termici sono simili a quelli degli acciai comuni.

Si dovranno però prendere tutte le precauzioni necessarie per non ridurre le caratteristiche di resistenza alla corrosione e alla ossidazione.

Gli acciai martensitici al cromo e al nichel e quelli perlitici contenenti gli stessi elementi leganti devono essere sottoposti a trattamento di tempra, ricottura, stabilizzazione ecc.

Tempra

Si preriscalda il pezzo lentamente nel forno fino a 780 °C. Si cerca così di evitare le bruciate che possono essere prodotte da aumenti localizzati di temperatura per effetto della bassa conducibilità termica degli acciai legati.

Si mantiene costante la temperatura per il tempo necessario a raggiungere, anche nelle parti interne, lo stesso valore raggiunto nella parte esterna.

Si riscalda rapidamente in bagni di sali fusi dalla temperatura di 780 °C alla temperatura di 1.000 °C. Si rileva che negli acciai legati è necessario effettuare il riscaldamento di tempra a temperature superiori a quelle richieste per gli acciai comuni, perché la solubilizzazione dei carburi nell'austenite richiede temperature più alte.

Non è possibile il riscaldamento diretto dalla temperatura ambiente fino alla temperatura di austenizzazione, perché la permanenza del pezzo a temperature tanto alte può provocare l'ingrossamento del grano.

Per evitare alterazioni strutturali si prescrive il mantenimento alla temperatura di 1.000 °C per un tempo non superiore a 15 minuti.

Se si tratta di acciaio perlitico o di acciaio martensitico autotemprante, il raffreddamento per la tempra avviene in olio.

Dopo lo spegnimento di tempra si deve eseguire il trattamento di distensione.

Si riscalda lentamente il pezzo fino a temperatura di 300 °C in forno e si mantiene tale temperatura per il tempo necessario a eliminare le tensioni.

Si raffredda in aria o in olio.

Rinvenimento

È l'ultima operazione, e serve per diminuire la fragilità. Il ciclo termico di rinvenimento comprende:

- riscaldamento lento fino a 450 °C in bagni di sali fusi;
- mantenimento della temperatura per 3 ÷ 4 ore per trasformare la martensite;
- raffreddamento nel mezzo più idoneo, acqua, olio o anche aria.

Nella **figura 12** a fianco è rappresentato il ciclo termico di tempra, distensione e rinvenimento.

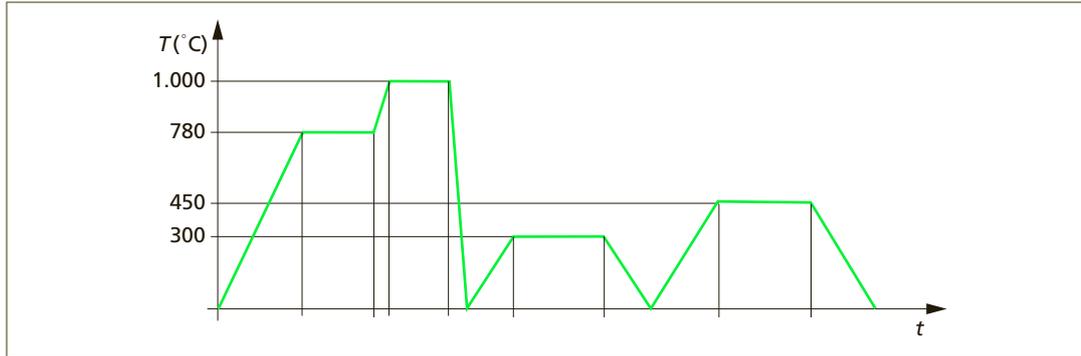


Figura 12

Ciclo termico di tempra, distensione e rinvenimento.

Ricottura

Per il trattamento termico di ricottura si procede come segue.

Si riscalda gradualmente il pezzo fino alla temperatura di 900 °C.

Si mantiene il pezzo a tale temperatura per il tempo di 2 o 3 ore.

Si raffredda lentamente fino a 780 °C e si mantiene il pezzo a tale temperatura per 5 ore circa. Successivamente si raffredda lentamente in forno alla velocità di 15 °C all'ora sino alla temperatura di 580 °C.

Il pezzo deve essere estratto dal forno per completare il raffreddamento successivo in aria da 580 °C fino alla temperatura ambiente.

Nella **figura 13** è presentato il ciclo termico.

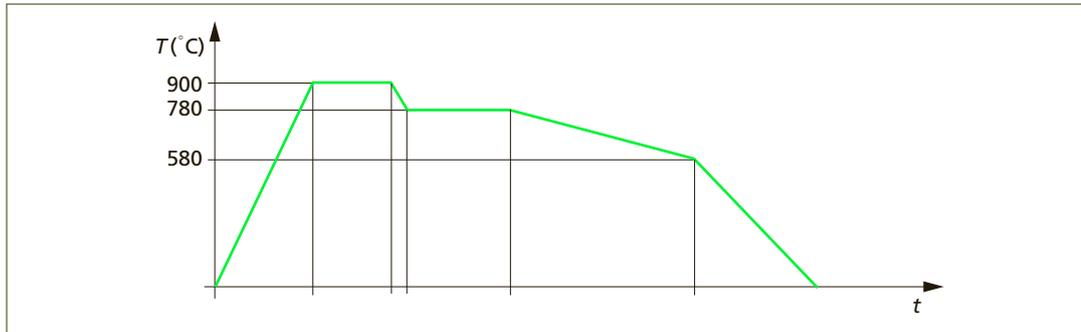


Figura 13

Ciclo termico di ricottura.

Gli acciai ferritici al cromo non prendono tempra, con il raffreddamento veloce in acqua raggiungono la durezza HB 270, sono magnetici e possono divenire fragili per ingrossamento del grano.

Il ciclo di ricottura per gli acciai ferritici richiede le seguenti operazioni:

- riscaldamento lento in forno fino a 850 °C;
- permanenza nel forno per 2 ore;
- raffreddamento in acqua.

La ricottura eseguita sugli acciai ferritici serve per eliminare le tensioni interne.

Gli acciai austenitici possono subire trattamento di ricottura per eliminare le tensioni interne e per solubilizzare i carburi.

Per la ricottura degli acciai austenitici si deve procedere come segue:

- si riscalda l'acciaio fino a 1.000 °C in forno per solubilizzare i carburi;
- si attende fino a far avvenire la completa solubilizzazione dei carburi;
- si raffredda velocemente in acqua per mantenere in soluzione, anche a bassa temperatura, i carburi solubilizzati.

Gli acciai austenitici possono essere sottoposti a rinvenimento per eliminare le tensioni interne. Pertanto, dopo il raffreddamento veloce in acqua è bene effettuare successivo lento riscaldamento fino a temperatura di 400 °C. Dopo aver mantenuto il pezzo a tale temperatura per 1 ÷ 2 ore si raffredda all'aria.

■ Trattamenti termici degli acciai rapidi

Gli acciai rapidi sono caratterizzati da un elevato contenuto di elementi speciali che formano carburi. Durante la solidificazione questi carburi, essendo di difficile solubilità allo stato solido, tendono a separarsi e danno una struttura reticolare fragile.

Per eliminare questa struttura reticolare è necessaria una operazione di fucinatura molto spinta. Solamente così si potrà avere una successiva applicazione pratica.

Nel materiale esiste, a causa della operazione di fucinatura, una certa fibrosità che ne consiglia l'uso secondo la direzione dell'andamento delle fibre.

I trattamenti comunemente eseguibili sono i seguenti:

- ricottura;
- tempra;
- rinvenimento.

Ricottura

Per ottenere una bassa durezza e quindi un certo grado di addolcimento si può procedere come segue. Si riscalda velocemente il pezzo fino alla temperatura di 500 °C, poi lentamente da 500 a 900 °C e si mantiene la temperatura per 4-8 ore.

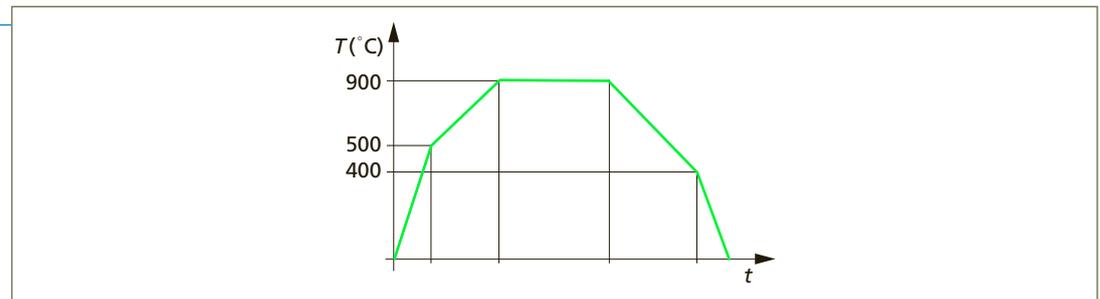
Si raffredda all'aria il materiale estratto dal forno alla temperatura di 400 °C.

Nella **figura 14** è presentato il ciclo di ricottura per gli acciai rapidi.

È da rilevare che le caratteristiche del trattamento dipendono dalla velocità di raffreddamento. Gli acciai rapidi sono soggetti alla decarburazione e quindi devono essere trattati in atmosfera controllata.

Figura 14

Ciclo termico di ricottura.



Tempra

La tempra è sempre preceduta da ricottura per eliminare le tensioni interne.

Il ciclo comprende:

- preriscaldamento a 600 °C in bagni di sali fusi;
- preriscaldamento da 600 a 850 °C e mantenimento fino a raggiungere la temperatura richiesta in ogni punto;
- riscaldamento rapido da 850 °C fino alla temperatura di tempra e mantenimento di questa per il tempo di 25 secondi per ogni millimetro di spessore;
- raffreddamento con spegnimento in bagno di sale a 530 ÷ 580 °C, fino a raggiungere una temperatura uniforme in ogni punto interno ed esterno; a questo punto si continua il raffreddamento in aria.

Quando si deve effettuare un trattamento di tempra su un utensile già trattato, è necessario fare prima una ricottura prolungata per eliminare le tensioni interne e l'ingrossamento del grano. L'operazione richiede un preriscaldamento lento a 675 ÷ 790 °C per 2 ore circa.

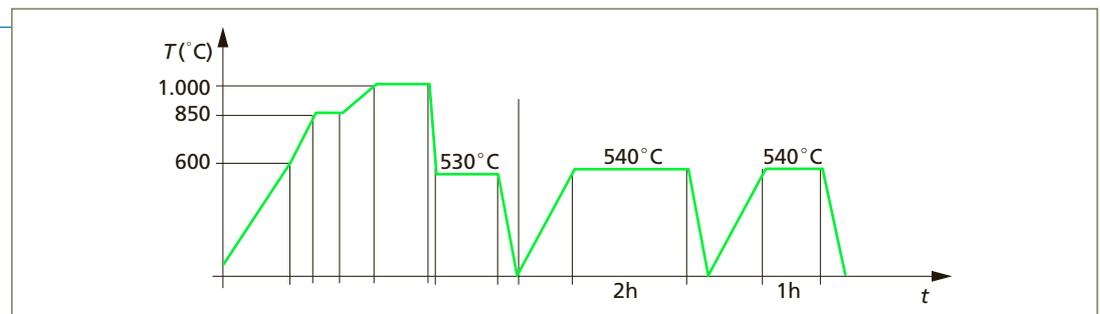
Rinvenimento

Il rinvenimento si esegue normalmente sugli acciai per utensili a temperatura di 540 ÷ 580 °C.

Con il rinvenimento si raggiunge il massimo di durezza. Il ciclo termico è presentato nella **figura 15**.

Figura 15

Ciclo termico di tempra, distensione e rinvenimento.



Tipi di acciai rapidi

I più comuni acciai rapidi sono quelli al tungsteno-cromo-vanadio o al tungsteno-vanadio.

Il tipo al tungsteno-cromo-vanadio contiene mediamente 0,73% di carbonio, 0,32% di silicio, 0,25% di manganese, 4% di cromo, 10% di tungsteno e 1% di vanadio.

Il tipo al tungsteno-vanadio contiene 0,9% di carbonio; 0,25% di silicio; 4,5% di cromo; 8% di tungsteno; 2% di vanadio.

Gli acciai rapidi presentano buone caratteristiche di resistenza a caldo e resistenza all'usura.

L'andamento della durezza al variare della temperatura di rinvenimento è presentato nella **figura 16**.

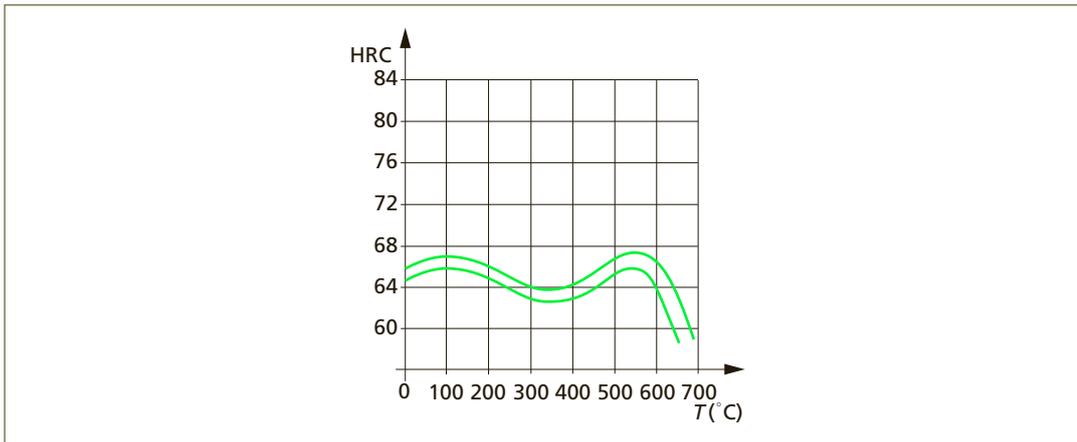


Figura 16

Durezza in funzione della temperatura di rinvenimento.

Acciai super-rapidi

Gli acciai super-rapidi sono leghe del ferro con un contenuto elevato di elementi speciali, quali carbonio, silicio, manganese, cromo, tungsteno, vanadio e cobalto.

Gli acciai super-rapidi mostrano una notevole resistenza all'usura e buona durezza. Sono indicati per utensili per macchine che lavorano con asportazione di truciolo. Il vanadio riduce la fragilità a caldo e aumenta la durezza. Il tungsteno e il cobalto conferiscono un maggior grado di resistenza all'usura, al rosso e al rinvenimento.

I tipi più comuni sono:

- acciaio super-rapido con C = 1,57%; Si = 0,25%; Mn = 0,25%; Cr = 4,75%; W = 12,5%; Co = 5,00%;
- acciaio rapido con C = 0,8%; Si = 0,30%; Mn = 0,25%; Cr = 4,25%; Mo = 0,65%; W = 20%; V = 1,6%; Co = 12,35%;
- acciaio super-rapido con C = 0,78%; Si = 0,30%; Mn = 0,25%; Cr = 4,25%; W = 18,5%; Mo = 0,75%; V = 1,85%; Co = 9,75%.

Fragilità di rinvenimento

La fragilità di rinvenimento, o malattia di Krupp, si riscontra soprattutto negli acciai legati a nichel e cromo riscaldati a $500 \div 600^\circ\text{C}$ per un certo tempo e raffreddati all'aria.

L'aumento di durezza che si riscontra è dovuto alla precipitazione di carburi complessi che si formano con determinati elementi della lega in seguito alla trasformazione dell'austenite residua, trattenuta dopo la tempra, e a prolungati riscaldamenti nel campo delle temperature indicate.

Oltre al cromo e al nichel, influiscono sulla fragilità di rinvenimento il fosforo, l'azoto e il manganese.

Il molibdeno e l'alluminio hanno effetto negativo sulla fragilità di rinvenimento e per tale qualità vengono aggiunti agli acciai che devono essere sottoposti a temperature elevate per un lungo periodo di tempo.

In **figura 17** è riportato l'andamento della resilienza in funzione della temperatura di rinvenimento per un acciaio che presenta la fragilità di rinvenimento.

La fragilità di rinvenimento può essere espressa come rapporto tra il valore di resilienza che si ottiene con raffreddamento veloce dalla temperatura di rinvenimento normale e quello che si ottiene in condizioni di fragilità, con raffreddamento lento.

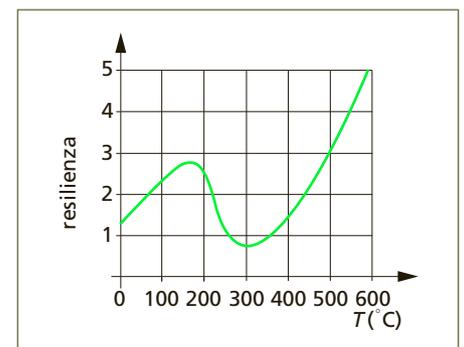


Figura 17

Resilienza in funzione della temperatura di rinvenimento.

■ Acciai indurenti per precipitazione

Mentre in alcuni acciai la precipitazione di carburi complessi può determinare la fragilità di rinvenimento, in altri può produrre un miglioramento delle caratteristiche meccaniche.

I vantaggi che si possono ottenere negli acciai indurenti per effetto della durezza secondaria derivano da una velocità non elevata di raffreddamento per la tempra e da un successivo prolungato riscaldamento alla temperatura di 500 °C.

In questo modo si eliminano tutti i pericoli di distorsioni e rotture derivanti da velocità di tempra troppo elevate.

L'effetto desiderato può essere ottenuto generalmente aggiungendo titanio ad acciai che contengono nichel e cromo.

Gli acciai indurenti per precipitazione possono essere distinti nei tre gruppi seguenti:

- acciai austenitici;
- acciai semiaustenitici;
- acciai martensitici.

Acciai austenitici

Gli acciai austenitici indurenti per precipitazione hanno la composizione chimica seguente:

C = 0,12%; Cr = 16 ÷ 18,5%; Ni = 9,5 ÷ 14,5%; Si = 0,5 ÷ 0,6%; Mn = 0,75%; Ti = 0,25%;
Si = 0,002 ÷ 0,02%; P = 0,02%.

La struttura degli acciai austenitici è sempre la medesima, indipendentemente dal trattamento termico. Se dopo la tempra si effettua un rinvenimento ad alta temperatura per un tempo sufficientemente lungo si ottiene un aumento di durezza, derivante dalla precipitazione di carburi complessi.

Il trattamento termico comporta:

- solubilizzazione dei carburi nell'austenite per riscaldamento alla temperatura di 1.120 °C per il tempo di 30 secondi;
- raffreddamento in acqua ed eventualmente in aria per spessori < 16 mm;
- riscaldamento successivo alla temperatura di 705 °C per 16 ore per ottenere una migliore durezza.

Acciai semiaustenitici

Sono costituiti da 0,1 ÷ 0,7% di C; 0,6 ÷ 0,8% di Mn; 15 ÷ 16% di Cr; 0,25 ÷ 0,40% di Si; 4,3 ÷ 7% di Ni; 4,3 ÷ 7% di Cu.

Gli acciai semiaustenitici sono simili a quelli martensitici. La trasformazione in martensite viene eseguita raffreddando l'acciaio a -73 °C, dopo un riscaldamento alla temperatura di solubilizzazione da 925 °C a 1.040 °C.

Per ottenere un maggior indurimento si esegue un rinvenimento alla temperatura di 455 °C per alcune ore, allo scopo di consentire la precipitazione dei carburi complessi.

Acciai martensitici

Hanno la composizione seguente:

C = 0,04 ÷ 0,07%; Mn = 0,25 ÷ 0,55%; Si = 0,6%; Cr = 16 ÷ 17%; Ni = 4 ÷ 7%; Ti = 0,7%;
Al = 0,20%.

La solubilizzazione avviene a 1.040 °C ed è seguita da rinvenimento a 510 °C per dare una maggiore durezza.

Caratteristiche degli acciai indurenti per precipitazione

La resistenza meccanica degli acciai indurenti per precipitazione si mantiene elevata fino alla temperatura di indurimento per precipitazione.

In alcuni di questi acciai un riscaldamento prolungato alla temperatura richiesta per l'indurimento può provocare infragilimento dal materiale in esercizio.

La resistenza meccanica degli acciai indurenti per precipitazione è buona a temperatura sotto zero.

Le caratteristiche meccaniche sono determinate dalla composizione chimica e dal trattamento termico effettuato.

Nella **figura 18a** è riportato il diagramma che indica il carico di rottura e l'allungamento di un acciaio martensitico.

Nella **figura 18b** è presentato il diagramma relativo a un acciaio semiaustenitico. Il diagramma indica i valori della resistenza a trazione R e dell'allungamento A per diverse temperature di prova.

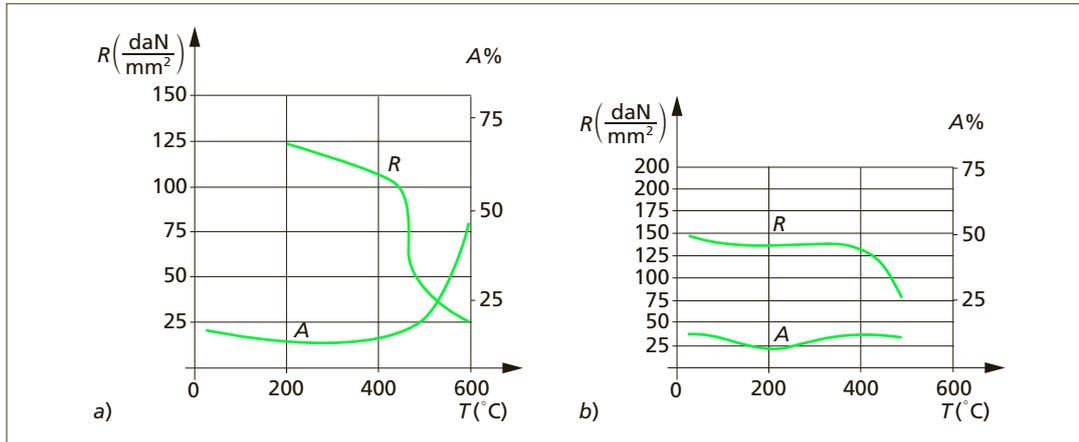


Figura 18

Diagramma carico di rottura e allungamento in funzione della T .

Proprietà meccaniche degli acciai indurenti per precipitazione

Le caratteristiche meccaniche degli acciai austenitici dipendono dalla temperatura richiesta per il trattamento di solubilizzazione, dal tempo di permanenza nel forno, dalla velocità di raffreddamento, dalle condizioni di invecchiamento e dalla composizione di invecchiamento e dalla composizione chimica.

La resistenza a trazione è $R = 600 \div 1.000 \text{ N/mm}^2$.

La durezza è $\text{HB} = 308$.

L'allungamento è $A = 19 \div 70\%$.

A secondo del trattamento di solubilizzazione e di invecchiamento a cui sono sottoposti, gli acciai semiaustenitici possono presentare resistenza a trazione $R = 1.000 \div 1.800 \text{ N/mm}^2$, allungamento $A = 2 \div 40\%$ e durezza $\text{HRC} = 20$.

In funzione del trattamento termico a cui sono stati sottoposti gli acciai martensitici, le caratteristiche meccaniche che si possono ottenere sono le seguenti: $R = 950 \div 1.300 \text{ N/mm}^2$, durezza $\text{HRC} = 26 \div 44$, allungamento $A = 14 \div 19\%$.