

TRATTAMENTI TERMICI

È risaputo che un acciaio legato, solitamente, è definito non soltanto dalla sua composizione, ma anche dalla stato di trattamento in cui si trova. (Gabriele Di Caprio – GLI ACCIAI INOSSIDABILI – Hoepli (*))

Trattare termicamente un acciaio significa sottoporlo ad un ciclo più o meno complesso di riscaldamenti e di raffreddamenti a temperature ben definite, con tempi di mantenimento rigorosi e con altrettanto rigorosi gradienti di temperatura.

I trattamenti termici agiscono sulla struttura cristallina degli acciai influenzandone sia le caratteristiche fisiche che la resistenza alla corrosione, con meccanismi diversi e con differenti risultati in funzione della composizione (e quindi della “famiglia” di appartenenza).

(*) Il testo “GLI ACCIAI INOSSIDABILI” del Prof. Ing. Gabriele Di Caprio, pubblicato da HOEPLI EDITORE nel 1997 (ultima edizione anno 2003) resta tutt’oggi un riferimento essenziale per chi vuole approfondire la conoscenza degli acciai inossidabili in maniera chiara ed accessibile anche per chi non è esperto di metallurgia. **Acciai Martensitici**

Gli acciai martensitici possono essere sottoposti a quattro tipi di trattamento termico: -

ricottura

- **tempra**

- **rinvenimento -
distensione**

Ricottura

Ha lo scopo di agevolare le lavorazioni del materiale tanto quelle per asportazione di truciolo quanto quelle per deformazione plastica a freddo. Può essere **ricottura completa** quando l’acciaio viene riscaldato ad una temperatura di circa $900 \div 950$ °C, mantenuto per circa tre ore (in funzione delle dimensioni del pezzo da trattare) e successivamente lasciato raffreddare molto lentamente in forno. E’ un trattamento costoso perché richiede tempi molto lunghi, ed è destinato alle applicazioni che richiedono considerevoli deformazioni plastiche a freddo. La **ricottura isoterma** richiede il riscaldamento alla stessa temperatura della ricottura completa; la temperatura viene ridotta di $150 \div 180$ °C, e dopo una adeguata permanenza il materiale viene raffreddato in aria sino alla temperatura ambiente. Il trattamento è più rapido, non essendo necessario il mantenimento in forno sino al raffreddamento. La **ricottura di lavorabilità** (o ricottura subcritica) infine prevede un riscaldamento ad una temperatura di qualche decina di gradi inferiore a quella dei due precedenti tipi, seguito da un raffreddamento in aria, eventualmente preceduto da una prima fase di raffreddamento in forno. La ricottura subcritica non

conferisce il massimo addolcimento all'acciaio, ma ne migliora le caratteristiche di lavorabilità alla macchina utensile o di deformabilità plastica.

Il meccanismo di trasformazione della struttura cristallina dal punto di vista metallurgico e le differenze nei trattamenti in funzione della geometria dei pezzi trattati o in funzione della percentuale di Carbonio o della presenza in lega di Nichel in tenori superiori a 1% esulano dalla finalità di questa presentazione, e tutti gli approfondimenti sono disponibili sulla citata opera dell'Ing. Di Caprio e nella copiosa letteratura tecnica disponibile. Una ricca documentazione è reperibile presso il Centro Inox sia sul sito internet (www.centroinox.it) sia contattando direttamente l'Associazione.

Tempra

Conferisce agli acciai martensitici il massimo livello di durezza e di resistenza meccanica, a discapito ovviamente della plasticità dell'acciaio (attitudine alle deformazioni plastiche a freddo, quindi bassi valori di allungamento e strizione) e della resistenza agli shock meccanici (quindi bassissimi valori di resilienza). Dopo un riscaldamento ad adeguata temperatura ed il mantenimento indispensabile per le trasformazioni delle fasi cristalline e l'omogeneizzazione della struttura, l'acciaio viene raffreddato rapidamente "congelando" una struttura martensitica pura.

I valori delle caratteristiche meccaniche sono in funzione sia del tenore in Carbonio che della temperatura raggiunta dal materiale prima del rapido raffreddamento. Un ulteriore parametro che influirà sulle caratteristiche di resistenza a corrosione dell'acciaio trattato è la durata della permanenza alla temperatura di tempra.

Rinvenimento

Fa parte con la tempra del trattamento di bonifica: un acciaio martensitico bonificato sarà stato dunque **temprato e rinvenuto**. La finalità del trattamento è di favorire la formazione di una struttura in equilibrio fisico-chimico, conferendo omogeneità al materiale. Per il rinvenimento l'acciaio può essere riscaldato a diversi livelli di temperatura che si tradurranno in diversi livelli di caratteristiche di resistenza meccanica (temperatura di rinvenimento e resistenza a trazione sono inversamente proporzionali).

In funzione del tipo di acciaio la scelta dei valori meccanici finali richiede cautela e buona perizia nell'esecuzione, perché per determinati intervalli di temperatura il raggiungimento delle caratteristiche auspiccate potrebbe comportare un aumento del rischio di corrosione.

Distensione

È un trattamento analogo al rinvenimento, ma si realizza in un intervallo di temperature più basso, e permette di ottenere il massimo grado di detensionamento dopo il trattamento di tempra. Per gli acciai martensitici ad alto contenuto in Carbonio la distensione sostituisce il rinvenimento.

Acciai Ferritici

Le caratteristiche meccaniche degli acciai inossidabili ferritici non sono modificabili con un trattamento termico. L'unico trattamento realizzabile per la famiglia di acciai è la **ricottura di cristallizzazione** (detta anche semplicemente "ricristallizzazione", che ha la funzione di rendere omogenea la struttura dell'acciaio dopo una deformazione plastica (per esempio la trafilatura). La temperatura del trattamento è in genere compresa tra i 700 ed i 900 °C, ed il raffreddamento può avvenire in aria o in acqua. L'unico accorgimento consiste nell'evitare una permanenza prolungata nell'intervallo di temperature 400 ÷ 570 °C, per evitare fenomeni di infragilimento dell'acciaio. **Acciai Austenitici**

Il trattamento termico più noto per gli acciai austenitici è la solubilizzazione, che sostanzialmente annulla gli effetti dell'incrudimento.

Per questa famiglia di acciai in realtà sono realizzabili quattro diversi tipi di trattamento termico:

- **solubilizzazione**
- **sensibilizzazione**
- **distensione**
- **stabilizzazione**

Solubilizzazione

Detta anche "tempra di solubilizzazione" o "ipertempra" è il processo che, alla temperatura di circa $1000 \div 1100$ °C, rende solubile allo stato solido il Carbonio contenuto nell'acciaio sotto forma di carburi (in prevalenza carburi di Cromo); il mantenimento deve essere sufficiente perché detta temperatura arrivi "a cuore" del pezzo, e viene seguito da raffreddamento abbastanza rapido da impedire una nuova precipitazione dei carburi (indicativamente nell'intervallo di temperatura $450 \div 850$ °C). Il meccanismo di riscaldamento + mantenimento + raffreddamento rapido è analogo al trattamento di tempra degli acciai martensitici, ma negli acciai austenitici conferisce lo stato di massimo addolcimento, anziché innalzare i valori resistenziali. Per tale motivo la solubilizzazione è anche detta "tempra negativa" o "tempra inversa".

Sensibilizzazione

è un trattamento termico che non viene messo in atto su un acciaio per migliorarne qualche caratteristica, ma unicamente per valutare il grado di resistenza alla corrosione intercristallina. Consiste infatti in un mantenimento prolungato nell'intervallo critico di temperatura ($450 \div 850$ °C) per "provocare" la precipitazione di carburi di Cromo e conseguentemente valutare il comportamento delle diverse marche di acciaio austenitico. L'intervallo critico di temperatura per gli acciai stabilizzati (con l'aggiunta di Titanio o di Niobio) è notevolmente più elevato (circa $1250 \div 1300$ °C), perché nell'intervallo $450 \div 850$ °C si verifica una precipitazione, ma si tratta di carburi di Titanio e di Niobio, e pertanto non vi è un impoverimento in Cromo della matrice dell'acciaio.

Distensione

la deformazione plastica o la lavorazione meccanica di un acciaio austenitico comportano uno stato tensionale e la formazione di plaghe di martensite (l'acciaio diventa lievemente ferromagnetico), e si riscontra una diminuzione delle proprietà elastiche.

Un trattamento di solubilizzazione sarebbe sicuramente risolutivo, ma per l'elevata temperatura necessaria comprometterebbe sia l'aspetto estetico del pezzo per la formazione di ossidi a caldo (ovviabile eseguendo il trattamento in atmosfera controllata) sia, soprattutto, la geometria del pezzo (quote di lavorazione, rettilineità, ecc.); la distensione è invece un trattamento termico attuato a temperature molto inferiori (circa $350 \div 400$ °C), quindi più bassa anche della temperatura di sensibilizzazione. Uno stato tensionale più critico riguarda i manufatti saldati, perché un intervento efficace richiederebbe delle temperature di trattamento più elevate, mantenendo però l'esigenza di evitare l'intervallo della sensibilizzazione. L'individuazione del tipo di trattamento più appropriato sarà pertanto di competenza di strutture specializzate.

Stabilizzazione è un trattamento analogo alla distensione, ma viene effettuato in prevalenza su acciai stabilizzati (al

Titanio o al Niobio) ad una temperatura più elevata, dell'ordine di $840 \div 900$ °C e può essere poi seguito da una distensione all temperatura di circa 700 °C. **Acciai Duplex**

Il solo trattamento termico che viene realizzato sugli acciai duplex è la **solubilizzazione** effettuata ad una temperatura di $920 \div 1100$ °C. Dopo il trattamento di solubilizzazione la struttura bifasica dell'acciaio è in condizioni di equilibrio (50% austenite / 50% ferrite). Un successivo riscaldamento dell'acciaio comporterebbe il rischio di formazione di fasi cristalline indesiderate; Una permanenza prolungata a $600 \div 900$ °C favorirebbe la formazione di fase σ che comporterebbe un infragilimento a temperatura ambiente, mentre a prolungando la permanenza a $350 \div 550$ °C si segregherebbe la fase α' che deteriorerebbe la resilienza e la resistenza a corrosione.

Acciai PH

Il più diffuso degli acciai inossidabili a indurimento strutturale è l'AISI 630 (EN 1.4542) noto con la designazione commerciale "17-4 PH". La marca appartiene al gruppo di acciai indurenti per precipitazione con struttura martensitica e, come per i martensitici è suscettibile di modifica delle caratteristiche meccaniche mediante un trattamento termico, ma il meccanismo della trasformazione è molto differente dal punto di vista metallurgico.

Nei martensitici "classici" (AISI 410, AISI 420, AISI 431, ...) il trattamento termico modifica la struttura cristallina dell'acciaio, modificando la dimensione del reticolo. Negli acciai PH sono gli atomi dell'elemento indurente (Alluminio, Niobio, Titanio, o – nel caso dell'AISI 630 – il Rame) che vengono messi in soluzione nella prima fase del trattamento termico (**la solubilizzazione**), e vengono poi mantenuti in soluzione mediante un rapido raffreddamento, che in taluni casi è effettuato a temperature di decine di °C sotto zero.

La seconda fase del trattamento (**l'invecchiamento**) consente di ottenere un ben definito livello di caratteristiche meccaniche che, a differenza di quanto avviene per i martensitici classici, può essere superiore a quello del materiale dopo il raffreddamento rapido. Questa seconda fase del trattamento causa la precipitazione submicroscopica dell'elemento indurente o dei suoi composti, che si distribuiscono fra i grani cristallini fungendo come aghi che ostacolano lo scorrimento dei piani, aumentando la resistenza meccanica dell'acciaio.

I livelli di caratteristiche meccaniche dell'AISI 630 ottenibili mediante trattamento termico sono specificati sia nella norma ASTM A564/A564M che nella norma EN 1.10088-3.

Dopo la solubilizzazione l'acciaio viene definito "in condizione A" dalla norma americana e "in condizione AT" da quella europea. In questo stato metallurgico (ottenuto con un riscaldamento a $1030 \div 1050$ °C seguito da un rapido raffreddamento) viene garantito unicamente un valore massimo di durezza pari a circa 360 HB (o, per la norma europea, un carico di rottura che non deve essere superiore a 1200 MPa).

Effettuando la seconda fase del trattamento (invecchiamento), sono stati individuati diversi livelli di caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura del trattamento; oltre alla temperatura le norme indicano anche la durata del mantenimento ed il tipo di raffreddamento consigliato (*).

La ASTM prevede otto livelli identificati dalla lettera "H" seguita da un numero, mentre l'UNI individua quattro livelli di caratteristiche meccaniche indicandoli con la lettera "P" seguita da un numero. Il numero che segue la lettera "H" indica la temperatura in °F del trattamento, ed il numero che segue la lettera "P" indica il valore minimo in N/mm² (o MPa) della resistenza meccanica (R_m) ottenibile.

Nello schema sottostante sono riportati indicativamente i soli valori di temperatura, di R_m e di HB; chi fosse interessato alle tabelle complete di ulteriori valori meccanici potrà farne richiesta agli enti citati.

Norma	Stato metallurgico	Temperatura invecchiamento	R _m N/mm ²	HB
ASTM A564/564M	H900	900 °F	≥ 1310	≥ 388
ASTM A564/564M	H925	9255 °F	≥ 1170	≥ 375
ASTM A564/564M UNI EN 10088-3	H1025 P1070	1025 °F 550 °C	≥ 1070 1070 ÷ 1270	≥ 331 -
ASTM A564/564M	H1075	1075 °F	≥ 1000	≥ 311
ASTM A564/564M UNI EN 10088-3	H1100 P960	1100 °F 595 °C	≥ 795 960 ÷ 1160	≥ 302 -
ASTM A564/564M UNI EN 10088-3	H1150 P930	1150 °F 620 °C	≥ 725 930 ÷ 1100	≥ 277 -
ASTM A564/564M UNI EN 10088-3	H1150M P800	1400 °F + 1150 °F 760 °C + 620 °C	≥ 795 800 ÷ 950	75 -
ASTM A564/564M	H1150D	1150 °F + 1150 °F	≥ 725	255 ÷ 311