

TRATTAMENTI TERMICI

Introduzione

I trattamenti termici sono una successione di operazioni termiche a cui vengono sottoposte le leghe metalliche allo stato solido così allo scopo di ottenere una prefissata microstruttura e conseguentemente prefissate proprietà meccaniche. Il trattamento termico è caratterizzato da tre fasi:

1. Fase di riscaldamento
2. Fase di mantenimento
3. Fase di raffreddamento

I trattamenti termici inoltre possono essere:

- Trattamenti effettuati a temperatura superiori alle temperature critiche cioè i trattamenti supercritici: $T > A_3$ (modifico la microstruttura)
- Trattamenti effettuati a temperatura inferiori alle temperature critiche cioè i trattamenti subcritici: $T < A_1$ (modifico qualcosa che non implichi la trasformazione di gamma)
- Trattamenti termochimici di diffusione

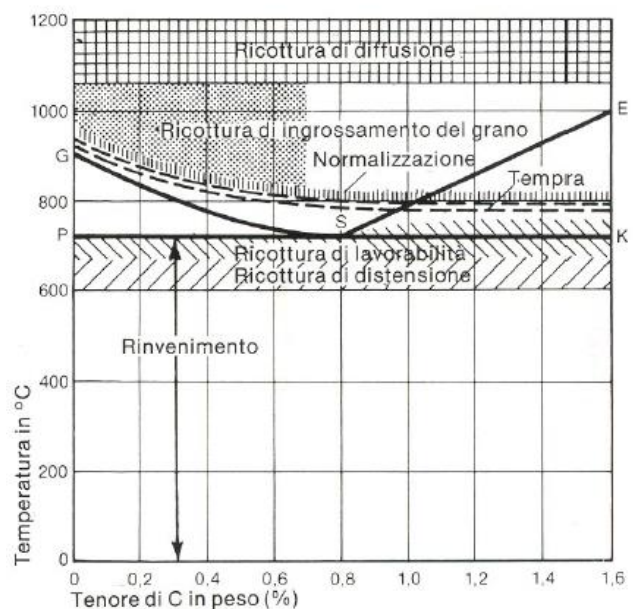
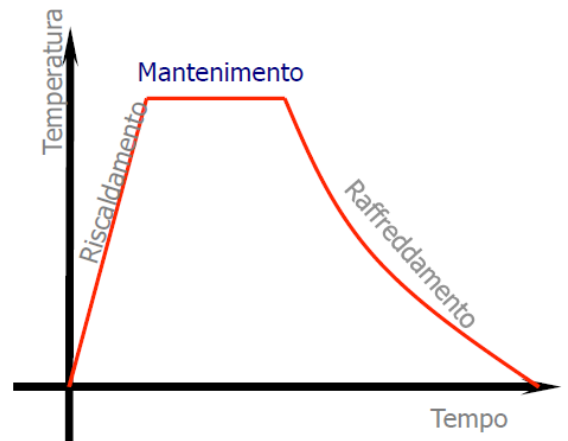
Il riscaldamento del materiale metallico coinvolge tutti i meccanismi di trasporto del calore. Il pezzo interessato dal trattamento si riscalda a partire dalla superficie esterna. Si formano inevitabilmente dei gradienti di temperatura tra superficie riscaldata e cuore ancora freddo e in corrispondenza gradienti di deformazione: le parti calde si dilatano ma sono ostacolate dalla presenza di parti fredde. La garanzia di omogeneità di ciclo termico potrà essere garantita per determinate geometrie. La dimensione del componente gioca inoltre un ruolo importante nella definizione di ruolo termico poiché influenzerà la fase di mantenimento cioè la durata del trattamento termico. Maggiore sarà la dimensione del componente maggiore sarà il tempo necessario per avere una temperatura omogenea. Se mantengo temperature elevate per elevanti tempi si potrebbe presentare il problema dell'ingrossamento del grano e quindi della diminuzione di R_m . È possibile dunque che il grafico del trattamento termico non sia continuo ma abbia un andamento a scalini. In questo modo si minimizzano le temperature perché tutte le volte che aumento la temperatura ingrosso il grano. Si avranno quindi degli step di termostatazione: porto il corpo a una temperatura e aspetto che si omogeneizzi, alzo la temperatura e aspetto, procedo così fino a che non raggiungo la temperatura desiderata, nel caso supercritico ad esempio quando supero A_3 . Nella fascia del trattamento a temperature diverse da quelle critiche esistono tantissime specie di trattamenti termici ma ne vedremo solo alcuni.

Per quelli supercritici vedremo:

- Ricottura completa = trattamento che avviene per superamento dei punti critici
- Normalizzazione
- Tempra

Per quelli subcritici:

- Ricottura di lavorabilità
- Rinvenimento
- Studieremo anche la ricottura isoterma che non supera che sta sotto i punti critici.



TRATTAMENTI SUPERCRITICI

Austenitizzazione

La fase iniziale di un trattamento termico che prevede una trasformazione di fase è denominata austenitizzazione; tale processo consiste in un riscaldamento effettuato in modo da ottenere il 100% di struttura austenitica. È necessario raggiungere questa fase per poi procedere alla trasformazione seguendo procedure diverse che potranno essere:

- Ricottura completa
- Normalizzazione
- Tempra

Tutti e tre questi trattamenti hanno bisogno di partire da una fase di austenitizzazione. Se abbiamo a che fare con una struttura eutettoidico e quindi un acciaio allo 0,77 la temperatura di austenitizzazione sarà 727° . Se siamo con un acciaio ipoeutettoidico la temperatura di austenitizzazione dipenderà dalla composizione chimica (temperatura sopra i 727 ma non troppo alta altrimenti il grano si ingrossa troppo), non importa tanto la temperatura poiché da questo materiale si nuclea la perlite. Se invece ho un acciaio ipereutettoidico la temperatura di austenitizzazione dipenderà ed è importante tenere la temperatura più bassa per vietare la formazione della cementite secondaria perché modificherebbe troppo le proprietà meccaniche del componente. La fase di austenitizzazione dipende dunque dalla composizione chimica del componente e dalla dimensione del grano austenitico. In generale l'austenitizzazione è caratterizzata da due parametri: la temperatura di austenitizzazione e il tempo di austenitizzazione.

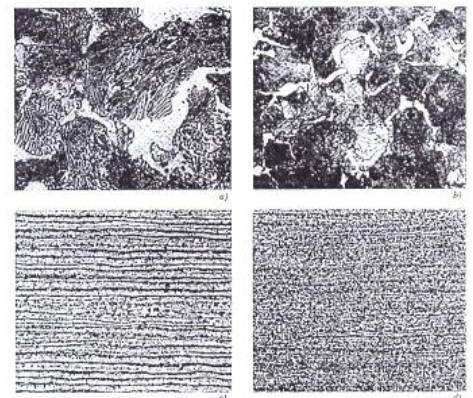
Ricottura completa

Per effettuare questo trattamento termico è necessario portare i componenti eutettoidi o ipoeutettoidi a una temperatura che dev'essere 50° sopra A_3 . Per l'ipoeutettoidico invece la temperatura deve essere 50° sopra A_1 . Dopo questa fase di riscaldamento e dopo la fase di mantenimento si presenta la fase di raffreddamento che deve avvenire nel modo più lento possibile e in generale ciò avviene lasciando raffreddare il pezzo in forma (perde circa 5° al minuto). Questo trattamento termico permette di avere una struttura che è molto simile alla struttura che si otterrebbe nel punto di equilibrio: come sappiamo infatti un acciaio può presentare al suo interno disomogeneità di varia natura ed origine e tramite questo trattamento termico l'acciaio si avvicina ad un stato di equilibrio termodinamico, eliminando, almeno in parte, le disomogeneità. Proprio per questo motivo questo trattamento termico deve essere effettuato prima di cominciare una qualsiasi lavorazione meccanica così da avere una struttura omogenea da un punto di vista della composizione chimica e della dimensione del grano. Questo trattamento dunque cancella le dislocazioni e consente perciò di azzerare la storia del componente. Tramite questo trattamento si ottiene una struttura costituita da ferrite e perlite grossolana.

Normalizzazione

La normalizzazione prevede invece un riscaldamento del componente a 70° sopra A_3 . Il raffreddamento poi non viene effettuato nel forno come invece per la ricottura completa, ma fuori dal forno stesso. Questo raffreddamento in aria, più veloce di quello della ricottura completa, permette di ricristallizzare, ma non dà tempo al grano di accrescersi. Per gli ipoeutettoidico la temperatura sarà invece 70° sopra A_1 . Questo trattamento termico è più conveniente dal punto di vista economico poiché si libera il forno per un nuovo trattamento. Tramite la normalizzazione si ottiene una struttura costituita da ferrite e perlite fine.

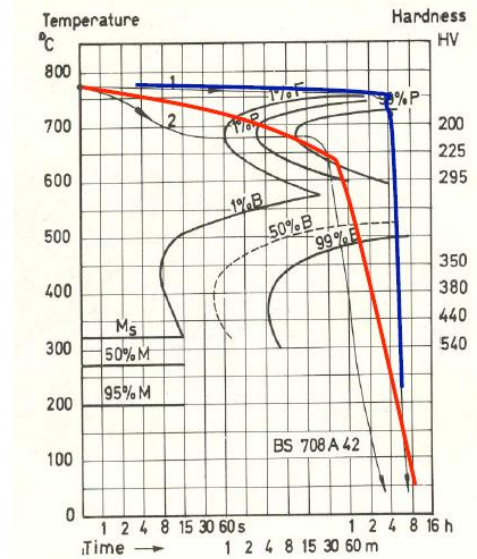
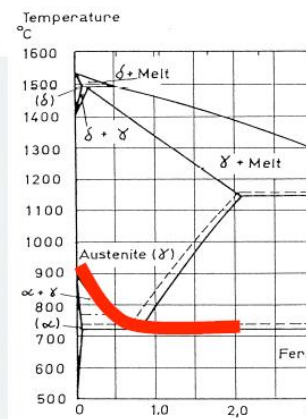
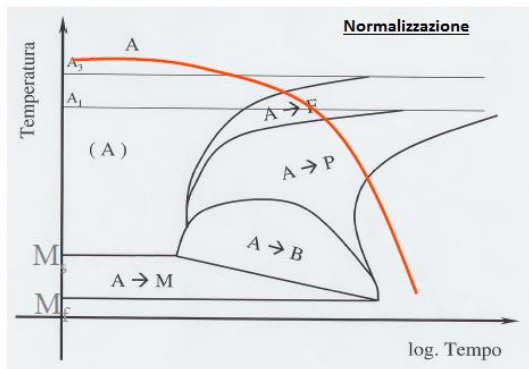
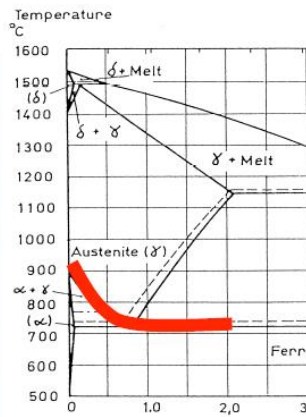
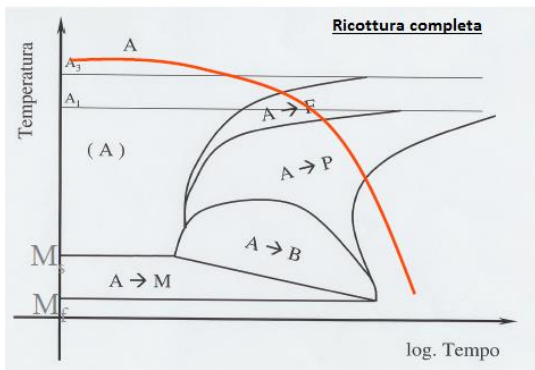
La normalizzazione in generale segue dunque lo stesso ciclo termico della ricottura e permette quindi di ottenere strutture ferrite-perlitiche. Tuttavia la temperatura di austenitizzazione è superiore a quella della ricottura e il raffreddamento in aria permette di ottenere una struttura



Microstruttura dell' acciaio C60:

- a) dopo ric. completa
- b) dopo normalizz.
- c) laminato a caldo
- d) laminato a caldo dopo normalizz.

con uno spazio inter-lamellare molto ridotto. Anche la normalizzazione ha lo scopo di uniformare e raffinare la microstruttura di un acciaio annullandone la storia termo-meccanica precedente.

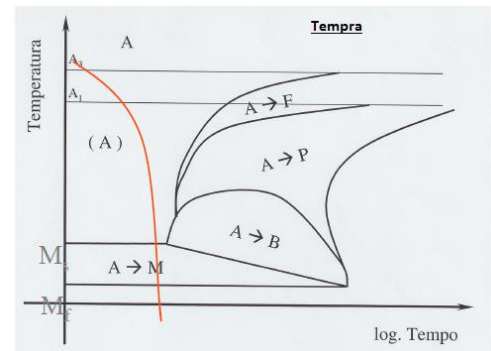


Tempra

La tempra è un trattamento termico che consiste nel raffreddare rapidamente un pezzo precedentemente austenitizzato per ottenere, al termine del raffreddamento, una struttura martensitica. Da un punto di vista del grafico notiamo che la struttura sarà martensitica poiché la curva di raffreddamento interseca l'orizzontale del M_s . La trasformazione da γ a martensite è una trasformazione che implica un aumento di volume poiché avviene una distorsione del reticolo che da cubico diventa tetragonale. La presenza di carbonio influenza la distorsione: più carbonio si ha più il reticolo sarà distorto. Per poter ottenere una distorsione minima è necessario utilizzare un mezzo di raffreddamento che sia meno drastico ma che comunque attraversi l'orizzontale della martensite start: bisogna prestare attenzione alla velocità di raffreddamento: deve attraversare la zona della martensite ma con la minor velocità possibile. Per gli ipereutetoidici serve una temperatura sopra A_3 ma non troppo alta in modo tale da evitare la fusione di alcune regioni (segregazione fosforo e zolfo). Per gli acciai ipoeutetoidici invece serve una temperatura di 50° sopra.

La velocità di raffreddamento cambierà in base alla composizione chimica dell'acciaio stesso. Meno elementi di lega si avranno più le curve sono spostate verso sinistra, più elementi di lega sono presenti più le curve sono spostate verso destra. Capiamo dunque che la riuscita della tempra dipende dalla percentuale di martensite che si forma, rispetto alle altre strutture concorrenti quali bainite e perlite. Tale trattamento termico sarà dunque influenzato da:

1. Composizione dell'acciaio: come già detto influenzerà la posizione delle curve CCT
2. Mezzo di tempra: influenzerà la posizione delle traiettorie di raffreddamento
3. Geometria del pezzo: influenzerà la capacità termica e i gradienti termici



La velocità con cui viene raffreddato il pezzo è denominata severità di tempra e dipende principalmente da due fattori:

1. Mezzo di tempra: aria, olio, soluzione di acqua + polimeri
2. Grado di agitazione del mezzo di tempra

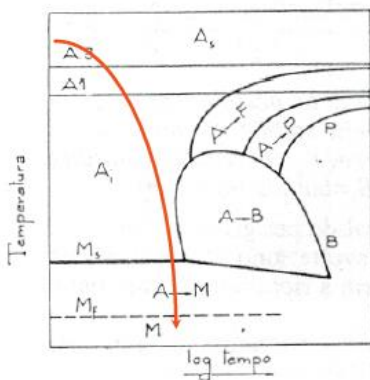
La scelta della severità della tempra dipende soprattutto dalla composizione chimica dell'acciaio e dalla necessità di limitare distorsioni. In modo particolare esistono delle indicazioni che permettono di scegliere il mezzo di tempra più adeguato a partire dalla percentuale di carbonio presente nel componente:

- $C < 0,4\%$ e senza elementi di lega: acqua
- $C > 0,4\%$ con elementi di lega: olio
- $C + Cr + Ni > 5\%$: aria

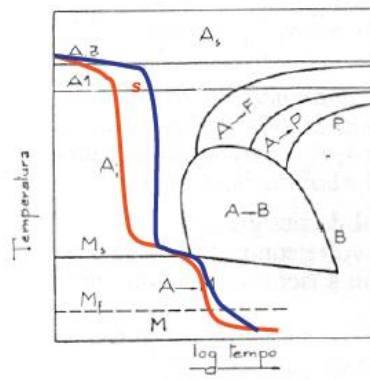
Se il pezzo si raffredda troppo velocemente poiché il mezzo temprante risulta essere troppo severo si possono ottenere delle cricche cioè delle fratture. Le cricche sono la conseguenza di tensioni interne che si producono nel pezzo a causa di due fenomeni contrapposti:

1. Contrazione termica del pezzo per effetto del brusco raffreddamento
2. Aumento del volume associato alla formazione martensitica: la prima parte del componente che si raffredda è ovviamente la superficie e a questo raffreddamento corrisponde un aumento del volume. Non appena si raffredda anche il cuore questo non riuscirà più ad aumentare il proprio volume a causa di della restrizione dovuta ormai al completo raffreddamento della superficie. All'interno del componente si creano dunque tensioni molto elevate. In conclusione queste tensioni sono causate dal fatto che non si ha una variazione di volume uniforme su tutto il pezzo.

Per ridurre il rischio di cricche da tempra quando è possibile si cerca di uniformare la temperatura tra la superficie e il cuore del componente. Uno dei metodi utilizzati per evitare la formazione di cricche è la martempering. Questa tecnica consiste nel raffreddare rapidamente il pezzo fino a 50° prima del M_s così da portare sia la superficie che il cuore alla stessa temperatura: in questo modo quindi le curve CCT intercettano l'orizzontale della martensite start nello stesso momento riducendo le tensioni nel componente. Il problema di questo trattamento è che è necessario conoscere perfettamente le curve CCT inoltre sarebbe necessario avere le curve spostate a destra così da poter aspettare del tempo prima di attraversare l' M_s .



Tempra classica



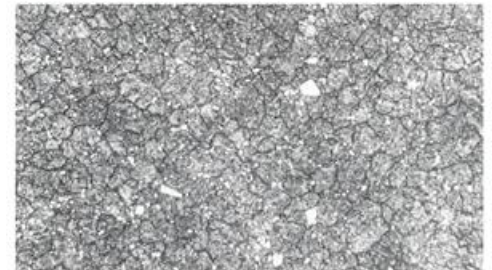
Martempering

Sia l' M_s che l' M_f , come già accennato, possono essere modificate dagli elementi di lega e dalla presenza di carbonio negli acciai: in modo particolare all'aumentare della percentuale di carbonio si hanno progressive riduzioni delle temperature di M_s e M_f e quindi si ha la formazione dell'austenite residua. All'aumentare della percentuale di carbonio aumenta la durezza ma si arriva a T ambiente senza aver attraversato M_f cioè avrà parte di martensite molto dura ma parte che sarà austenite instabile detta appunto austenite residua. Questo nuovo costituente strutturale è caratterizzato da una bassa durezza e una spiccata instabilità infatti tenderà a

trasformarsi. Per capire la durezza del materiale o si fa una prova di durezza oppure si conosce la percentuale di martensite nel pezzo: andando quindi ad analizzare una serie di curve che mettono in relazione la durezza corrispondente alla percentuale di martensite che si ha nel componente, tenendo come parametro la percentuale di carbonio, sarà possibile conoscere quanta martensite c'è.

Queste curve sono importanti perché consentono di progettare il trattamento termico in modo che il risultato finale permetta di avere martensite. Ottenere il 100% di martensite è difficile ma va già bene avere almeno il 50%. Se un componente ha almeno 50% di martensite a cuore si dice che il componente è stato temprato in modo efficace.

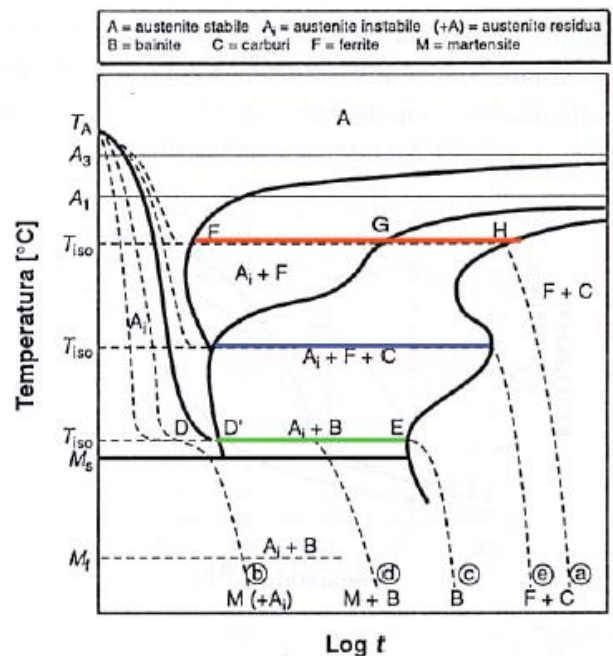
Per definire a livello industriale il trattamento termico occorrono diversi elementi quali la composizione chimica dell'acciaio utilizzato, la temperatura di austenitizzazione, il mezzo temprante e il tempo di austenitizzazione. Per acciai basso-leganti si può calcolare A_3 nota la composizione chimica tramite una formula empirica. Gli elementi di lega modificano il diagramma di stato e quindi modificheranno anche il valore di A_3 .



TRATTAMENTI ISOTERMICI

Esistono diversi tipi di trattamenti isotermitici quali:

- **Ricottura isoterma:** si ottiene 100% di ferrite e perlite. La ferrite che nuclea nel punto F del grafico ha la stessa forma della ferrite che nuclea nel punto G e H. Ho un'omogeneità nella struttura dei grani; risulta però essere un trattamento estremamente costoso.
- **Tempra bainitica** = è un processo di trattamento termico che consente di ottenere una struttura bainite. I pezzi vengono riscaldati alla temperatura di indurimento, quindi raffreddati in modo sufficientemente rapido ad una temperatura superiore a quella di inizio martensite (M_s) e mantenuta in temperatura per un tempo sufficiente ad ottenere la microstruttura di bainite desiderata. È l'unico trattamento che permette di ottenere 100% di bainite.
- **Patentamento** = è una forma di tempra attenuata. Consiste nel portare il materiale ad una temperatura superiore ad A_3 e immergerlo in un bagno di piombo fuso mantenuto a temperatura costante che è quella del naso della perlite e della ferrite. Posso ottenere il 100% di perlite, la più fine possibile in cui le lamelle sono molto ravvicinate. Tale trattamento viene fatto per fare le trafilate delle funi.



TRATTAMENTI SUBCRITICI

Introduzione

I trattamenti subcritici sono trattamenti termici che avvengono a una temperatura inferiore ai 600°: si fornisce calore al componente per modifiche strutturali che non influenzano la variazione di fase.

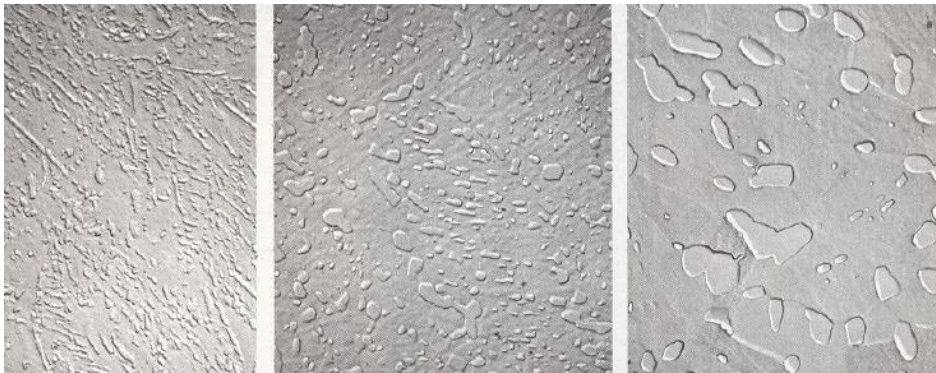
Rinvenimento

È un trattamento termico che viene effettuato sempre subito dopo la tempra. Dopo la tempra si ha un componente martensitico molto duro ma altrettanto tensionato e quindi non può essere messo sotto sforzo altrimenti si potrebbero formare delle cricche. Proprio per questo motivo

subito dopo la tempra si fa il rinvenimento. Dopo questo trattamento la durezza del componente diminuisce, ma aumenta l'allungamento percentuale: diventa più duttile e quindi più deformabile. Se sono con rinvenimenti a:

- sotto i 200° = non do abbastanza energia al sistema a e quindi il carbonio rimane intrappolato nella martensite ma le tensioni si rilassano e quindi il componente perde la fragilità rimanendo duro
- tra i 250-450° = il carbonio comincia a diffondere e forma un piccolo precipitato all'interno della matrice
- a 600° = non avrò più martensite ma un costituente bifasico con una struttura fine, che avviene per smiscelamento del carbonio, che prende il nome di martensite rinvenuta costituita da fasi α e fasi di Fe_3C . Si riducono le tensioni interne, la fragilità e si riduce anche la durezza. La martensite rinvenuta è ancora più fine della bainite inferiore. Il processo di tempra più il rinvenimento prende il nome di bonifica. La temperatura di rinvenimento dipenderà dal tipo di acciaio ma varierà tra i 200 e i 600°.

All'aumentare della temperatura o all'aumentare del tempo si avrà una diminuzione della durezza.



Ricotture subcritiche

Esistono diversi tipi di ricotture subcritiche quali, ad esempio:

- Ricottura di addolcimento = è un trattamento termico effettuato principalmente su acciai con lo scopo di migliorarne le caratteristiche di lavorabilità, duttilità e deformazione a freddo. Si effettua dopo la normalizzazione per ridurre l'elevata durezza dei materiali in seguito ad essa. Il processo di normalizzazione più questa ricottura prende il nome di rigenerazione
- Ricottura di distensione = ha lo scopo di attenuare gli sforzi residui nel materiale, senza modificare apprezzabilmente le sue proprietà; la temperatura a cui viene mantenuto il pezzo durante la distensione è quindi inferiore alla temperatura di ricottura.
- Ricottura di ricristallizzazione = è un processo applicato al metallo lavorato a freddo per ottenere la nucleazione e la crescita di nuovi grani, senza variazione di fase. Questo trattamento termico promuove la ricristallizzazione dopo l'incrudimento.

