



I trattamenti termici

I trattamenti termici
sono operazioni termiche
o successioni di operazioni
alle quali vengono sottoposti i metalli
allo scopo di ottenere una determinata struttura
e determinate proprietà
(caratteristiche fisiche, caratteristiche meccaniche ecc.)



I trattamenti termici

I trattamenti termici in metallurgia
costituiscono un mezzo
per ottenere da una lega metallica
caratteristiche strutturali e resistenziali
idonee alle esigenze
delle successive lavorazioni o dell'impiego finale

I trattamenti termici

- Il termine "trattamento termico" nella sua accezione tradizionale non prevede la fusione del metallo trattato
- Tutti i trattamenti termici elencati sono effettuati su materiali allo stato solido
- Le temperature di riscaldamento sono sempre al di sotto degli intervalli di inizio liquefazione

Le fasi dei trattamenti

- Tutti i trattamenti termici prevedono almeno 3 fasi:
 - **riscaldamento**
 - **mantenimento**
 - **raffreddamento**
- Queste fasi possono essere eseguite con modalità molto diverse
 - variabili: tempo, temperatura, velocità
 - e possono anche essere ripetute
- Le modalità di attuazione di queste fasi determinano e differenziano i vari tipi di trattamento

I trattamenti massivi

- un trattamento termico si definisce “massivo” quando viene applicato all’intero pezzo
 - il risultato che si intende raggiungere è unico per tutta la massa
- i trattamenti “massivi” si contrappongono ai “superficiali”
- i trattamenti superficiali
 - mirano ad ottenere caratteristiche particolari limitatamente alla superficie dei materiali
 - in genere elevata durezza e resistenza all’usura
 - e a lasciare il cuore del pezzo nelle condizioni precedenti

Omogeneità dei trattamenti massivi

- spesso non è possibile ottenere una omogeneità completa in tutta la massa coinvolta
- le strutture e le relative durezze presentano differenze anche sensibili tra i vari punti
- entro certi limiti tali differenze non sono difetti
- sono i risultati naturali di un processo che non sempre permette di ottenere una completa omogeneità

Normative di riferimento

- definizioni dei trattamenti termici
 - norma UNI EN 10052 :95 “Vocabolario del trattamento termico dei prodotti ferrosi”
- temperature dei trattamenti termici
 - le norme europee EN riportano per tutti gli acciai gli intervalli di temperatura consigliati per i trattamenti più comuni
 - anche i cataloghi dei produttori riportano le temperature più indicate per i vari acciai

Ricottura

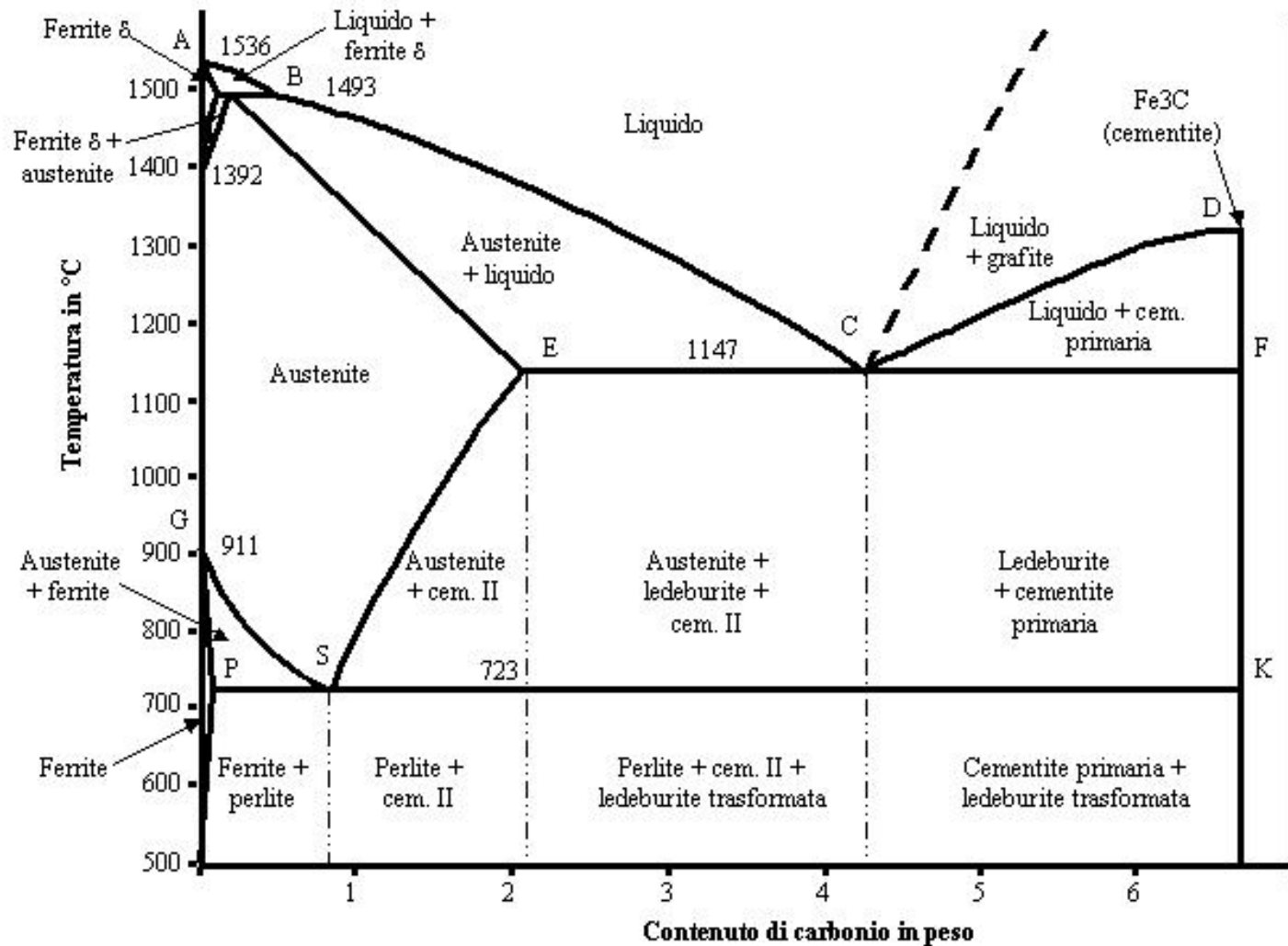
(UNI EN 10052 -95)

- *"Trattamento termico che comporta un **riscaldamento** ed una **permanenza** ad una temperatura appropriata, seguiti da un **raffreddamento** effettuato in condizioni tali che il metallo, dopo ritorno alla temperatura ambiente, venga a trovarsi trovi in uno stato strutturale **più prossimo allo stato di equilibrio stabile**."*
- *"Nota: Poiché questa definizione è molto generale, si raccomanda di usare una formulazione che precisi lo scopo del trattamento."*

Le ricotture

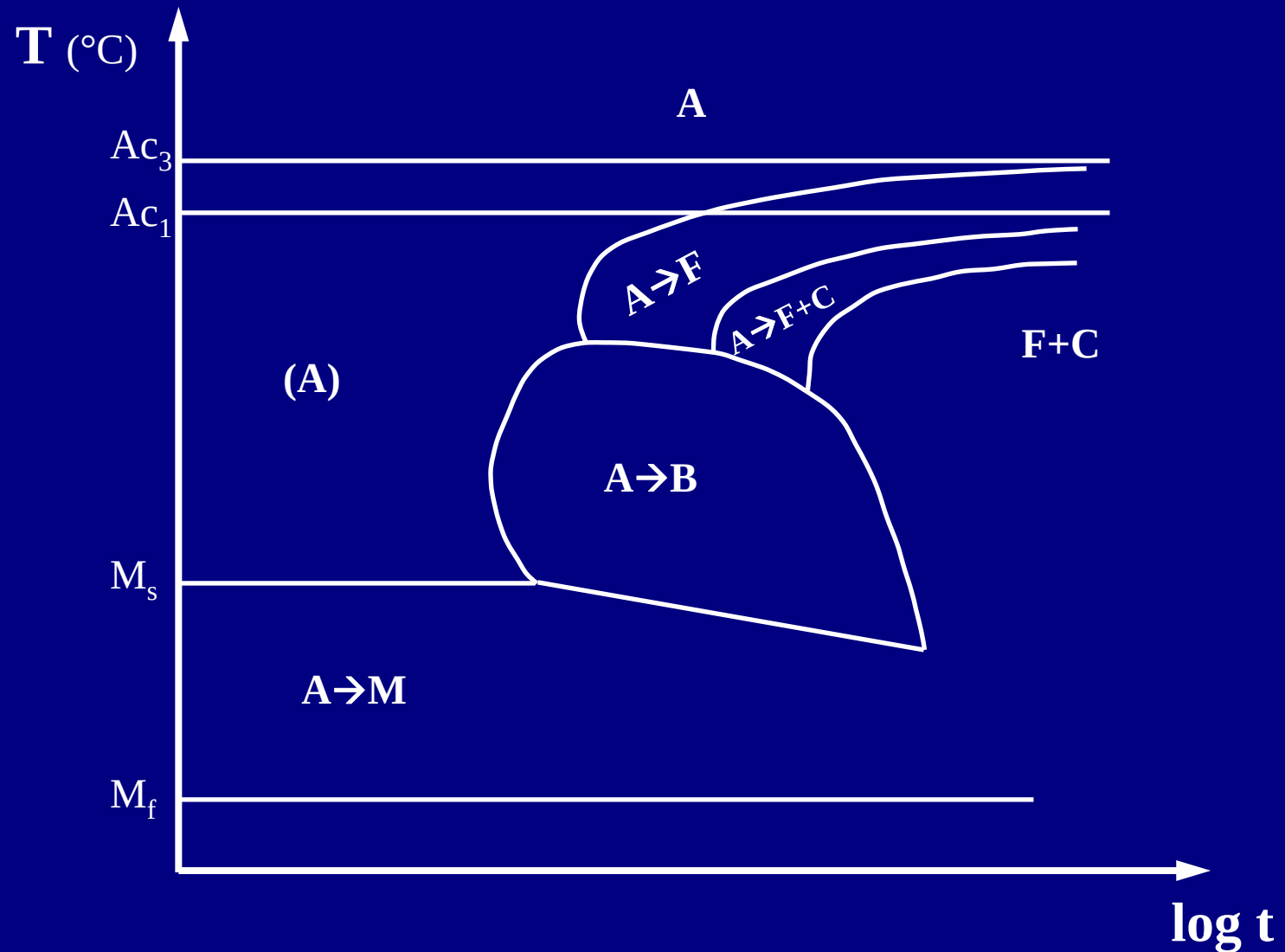
- Sono trattamenti termici di diffusione
- Non prevedono trasformazioni austenite/martensite
- Tendono a porre il materiale in equilibrio strutturale
 - L'equilibrio si ottiene mediante la diffusione di atomi (soprattutto C e altri elementi) che, grazie alla temperatura, si muovono da posizioni di instabilità verso posizioni di equilibrio
 - Queste posizioni di equilibrio coincidono con una netta separazione della ferrite e della cementite
 - La cementite assume la forma voluta
 - lamellare o globulare

Diagramma ferro-carbonio





Schema diagramma CCT



Strutture e temperature

- Struttura di origine: qualsiasi
 - grezzo di colata, fucinato, lavorato a freddo, temprato ecc.
- Strutture finali: molto varie
 - cementite globulare, cementite lamellare con lamelle più o meno compatte, con grano grosso o piccolo ecc.

di conseguenza

- molti tipi di acciaio da trattare
 - molti trattamenti diversificati
 - diverse temperature a cui operare
- Occorre conoscere le temperature di trasformazione

Le temperature di trasformazione

In condizioni di equilibrio

- Ae_1 : equilibrio austenite – ferrite/cementite
- Ae_3 : equilibrio austenite – ferrite (ipoeutettoidi)
- Ae_m : equilibrio austenite - cementite (ipereutettoidi)

Per fenomeni di isteresi:

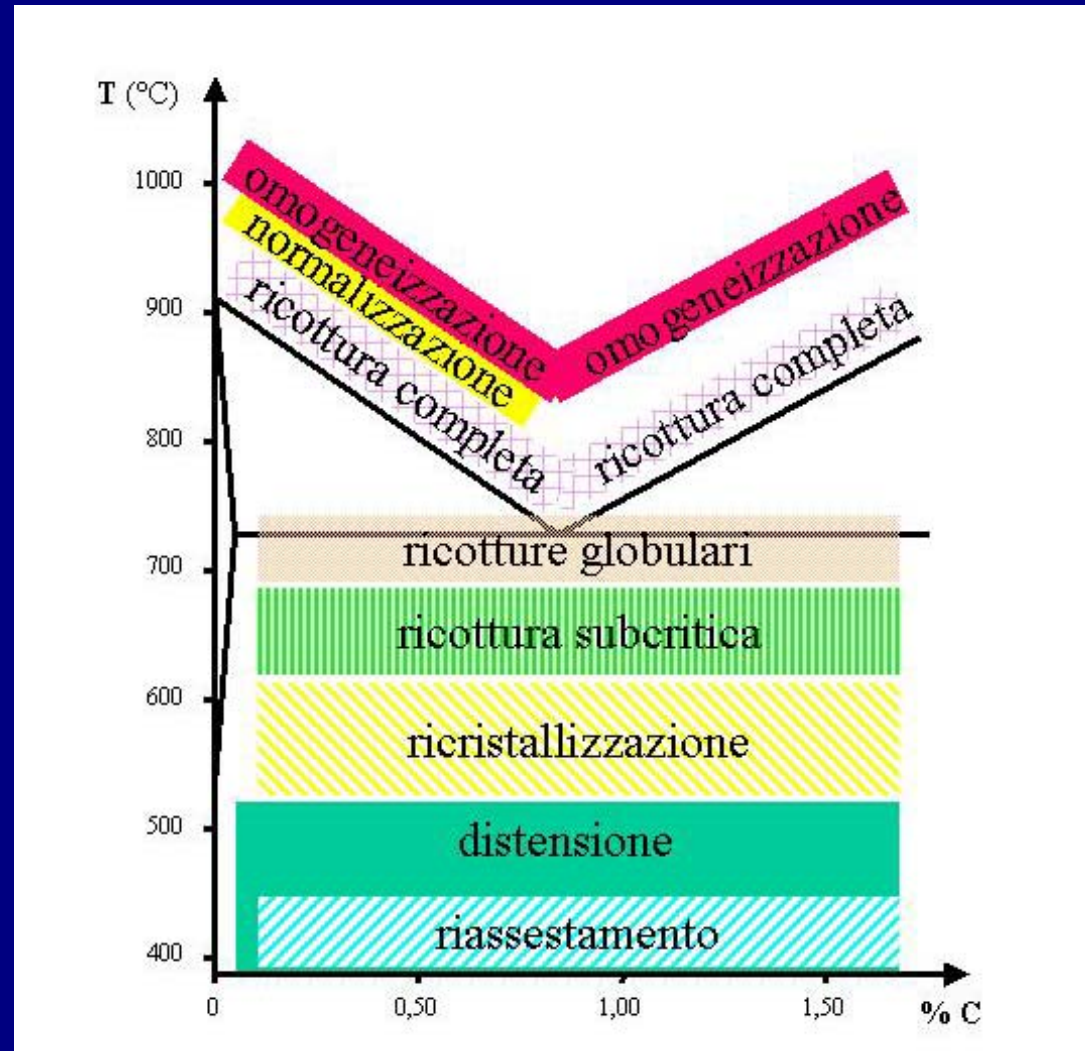
- al riscaldamento: $Ac_1 - Ac_3 - Ac_m$
- al raffreddamento: $Ar_1 - Ar_3 - Ar_m$

In presenza di elementi in lega ci sono forti variazioni

Si usano formule per calcolare le temperature di trasformazione

Temperature di ricottura

Schema generale





Ricottura completa

Definizioni

Secondo UNI EN 10052:

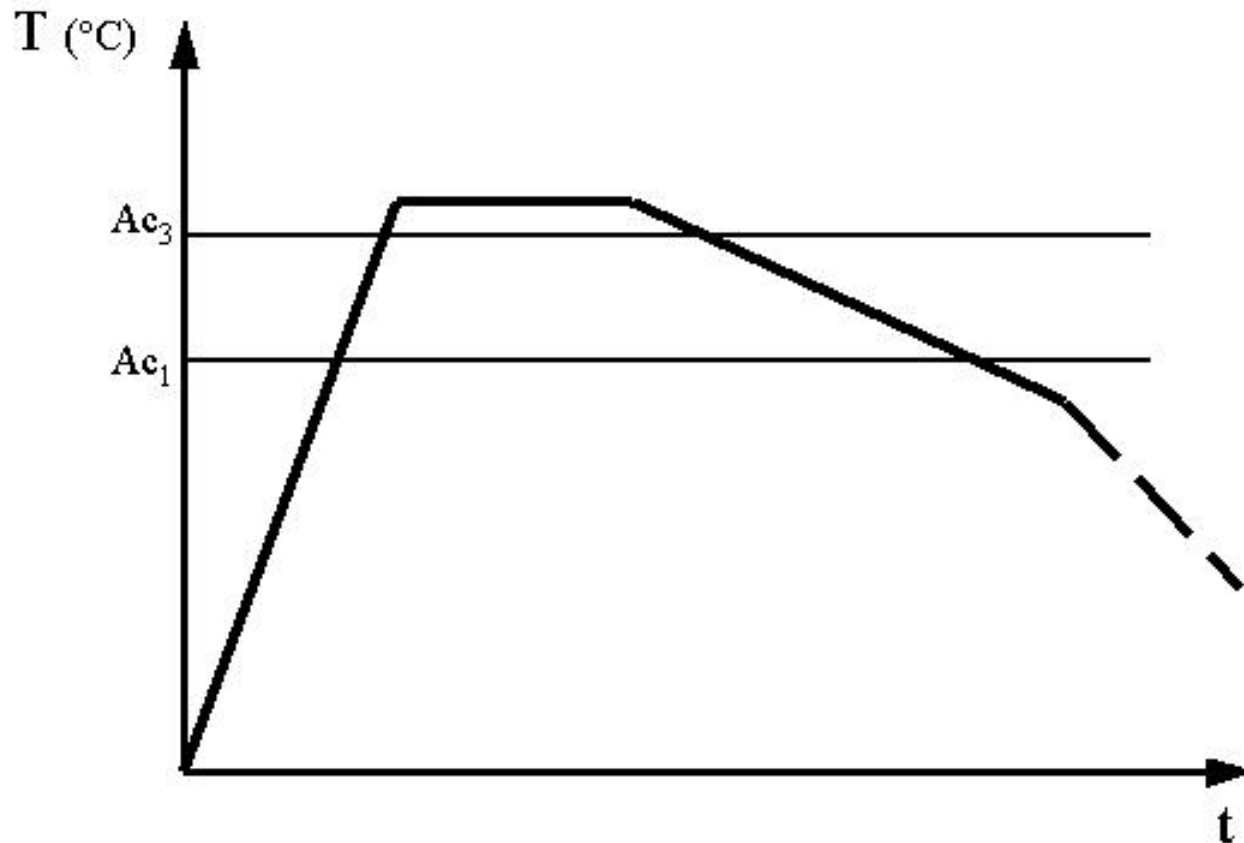
“Ricottura ad una temperatura maggiore di A_{c3} ”

Ciclo termico:

- riscaldamento di austenitizzazione
- permanenza
- raffreddamento lento in forno fino ad A_{r1}

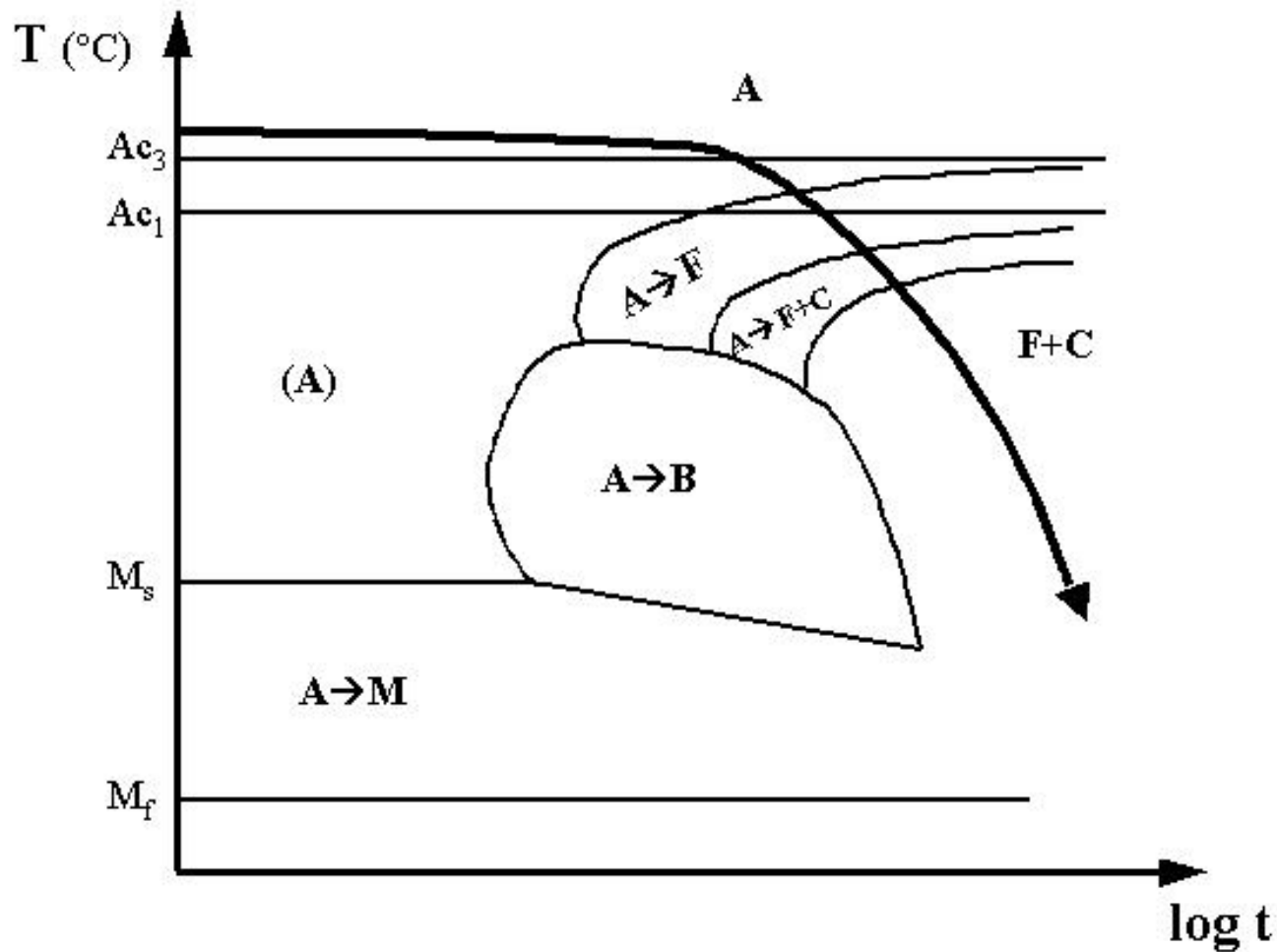
Ricottura completa

Schema generale



Ricottura completa

Diagramma CCT



Ricottura completa

Ciclo termico

- **riscaldamento** di austenitizzazione: 20-50°C sopra A_{c3}
- **permanenza** per austenitizzare fino al cuore e poi per diffondere il carbonio
 - da quando la superficie è in temperatura,
1' per ogni mm di spessore + 20' per la diffusione
- **raffreddamento** fino ad A_{r1} : lento in forno
 - da 5 a 30°C/h
 - per trasformare l'austenite in condizioni di quasi equilibrio
- **raffreddamento** dopo A_{r1} : anche più veloce (in aria).

Ricottura completa

Obiettivi

- rigenerare completamente il grano
 - grazie alle temperature elevate
- eliminare precedenti strutture
 - cancellare la “storia termica” del pezzo

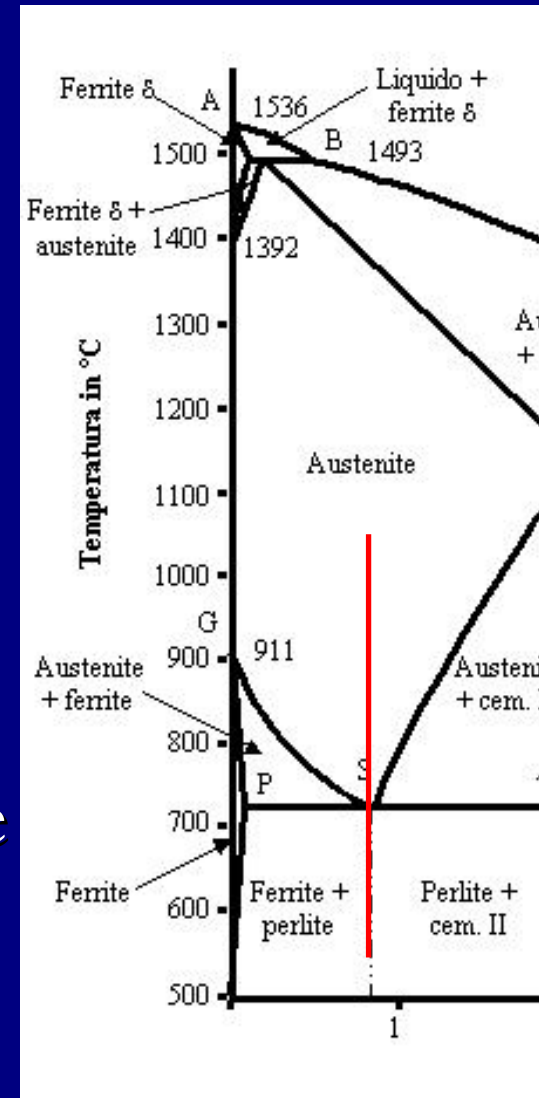
Note

- le durezze finali sono funzione della velocità di raffreddamento, cioè della distanza tra le lamelle di cementite nella perlite
- con raffreddamento molto lento si possono ottenere globulizzazioni (metodo non ottimale)

Ricottura completa

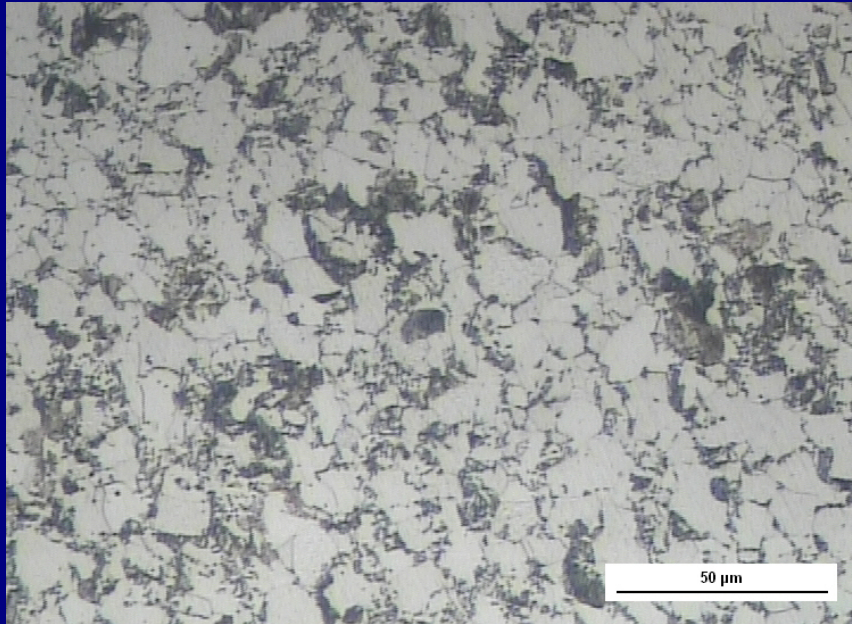
Strutture ottenibili

- acciai eutettoidi
 - 100% perlite lamellare
- acciai ipoeutettoidi
 - perlite lamellare e ferrite
- acciai ipereutettoidi
 - perlite lamellare e cementite

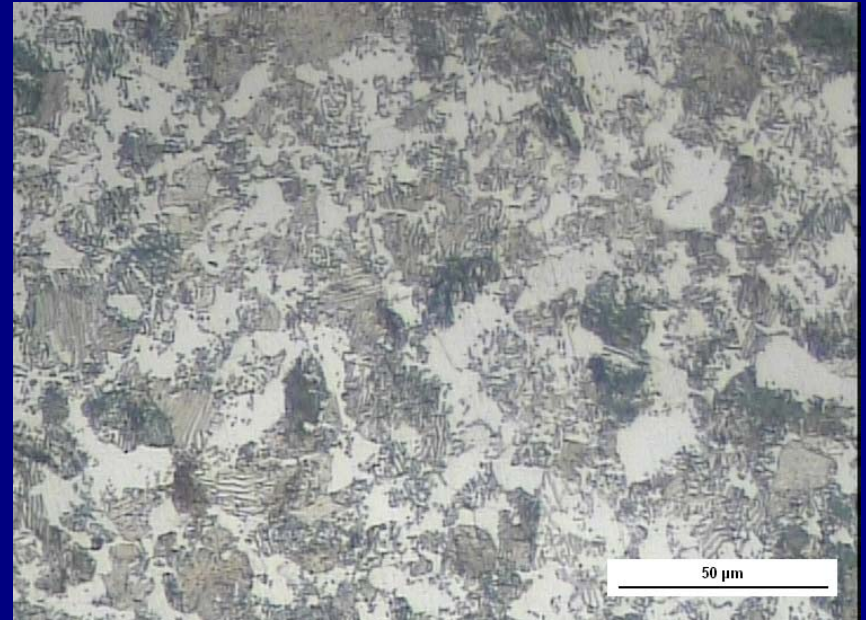


Ricottura completa

Esempi di strutture



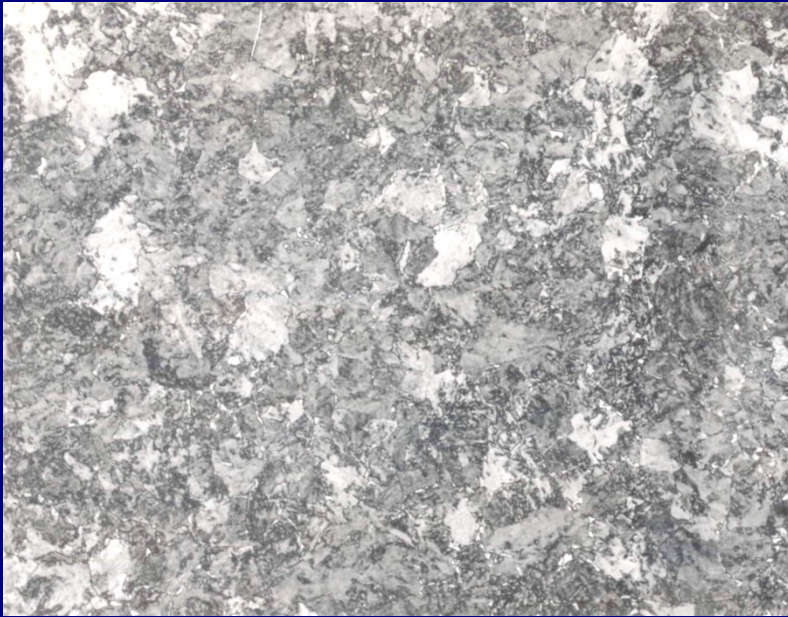
16CrNiS4: ricottura completa



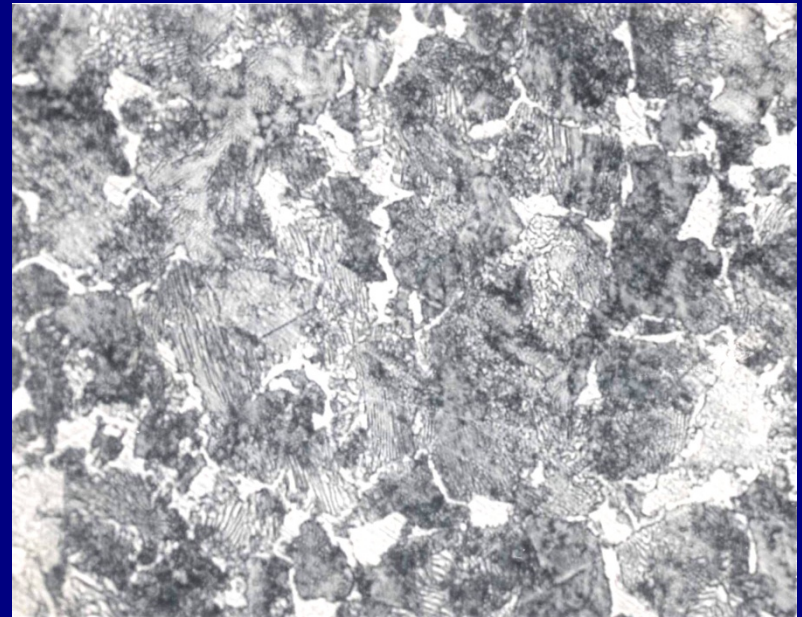
C45: ricottura completa

Ricottura completa

Esempi di strutture



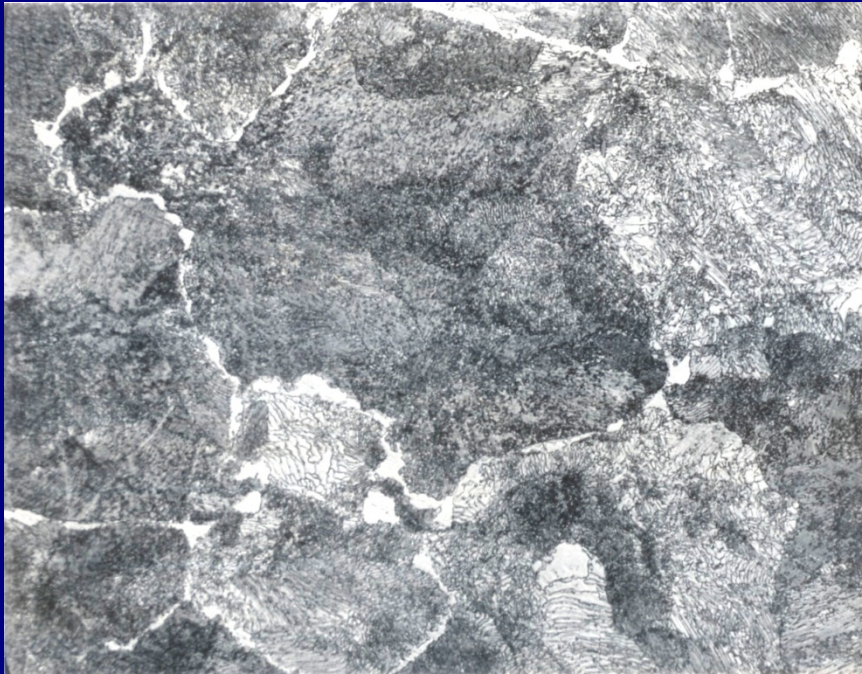
C60: grezzo di laminazione



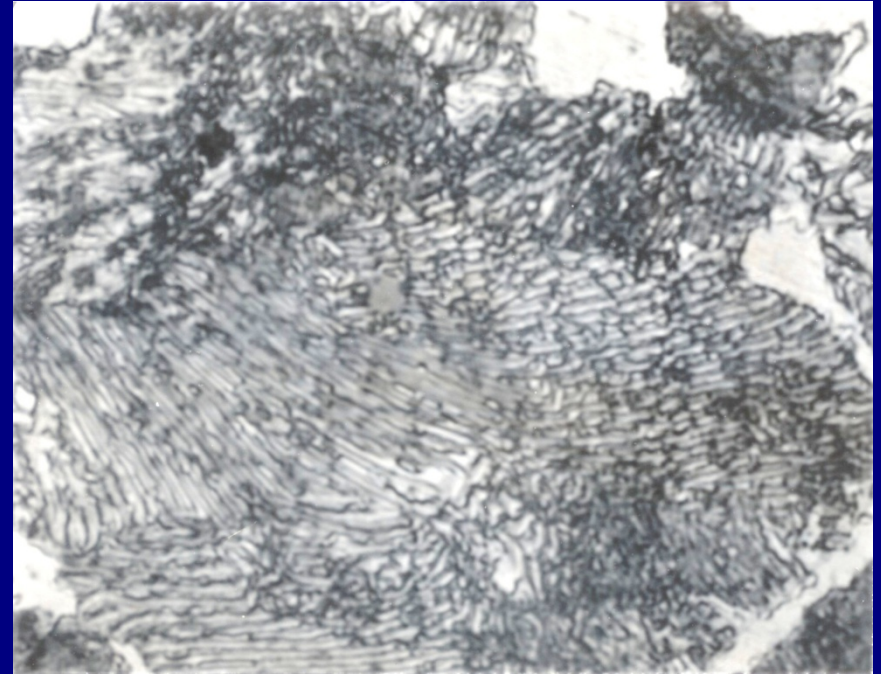
C60: ricottura completa

Ricottura completa

Esempi di strutture



C60: ricottura completa



C60: ricottura completa

Ricottura subcritica (o di lavorabilità)

Definizioni



Secondo UNI EN 10052:

‘Ricottura effettuata ad una temperatura leggermente minore di A_{c_1} ’

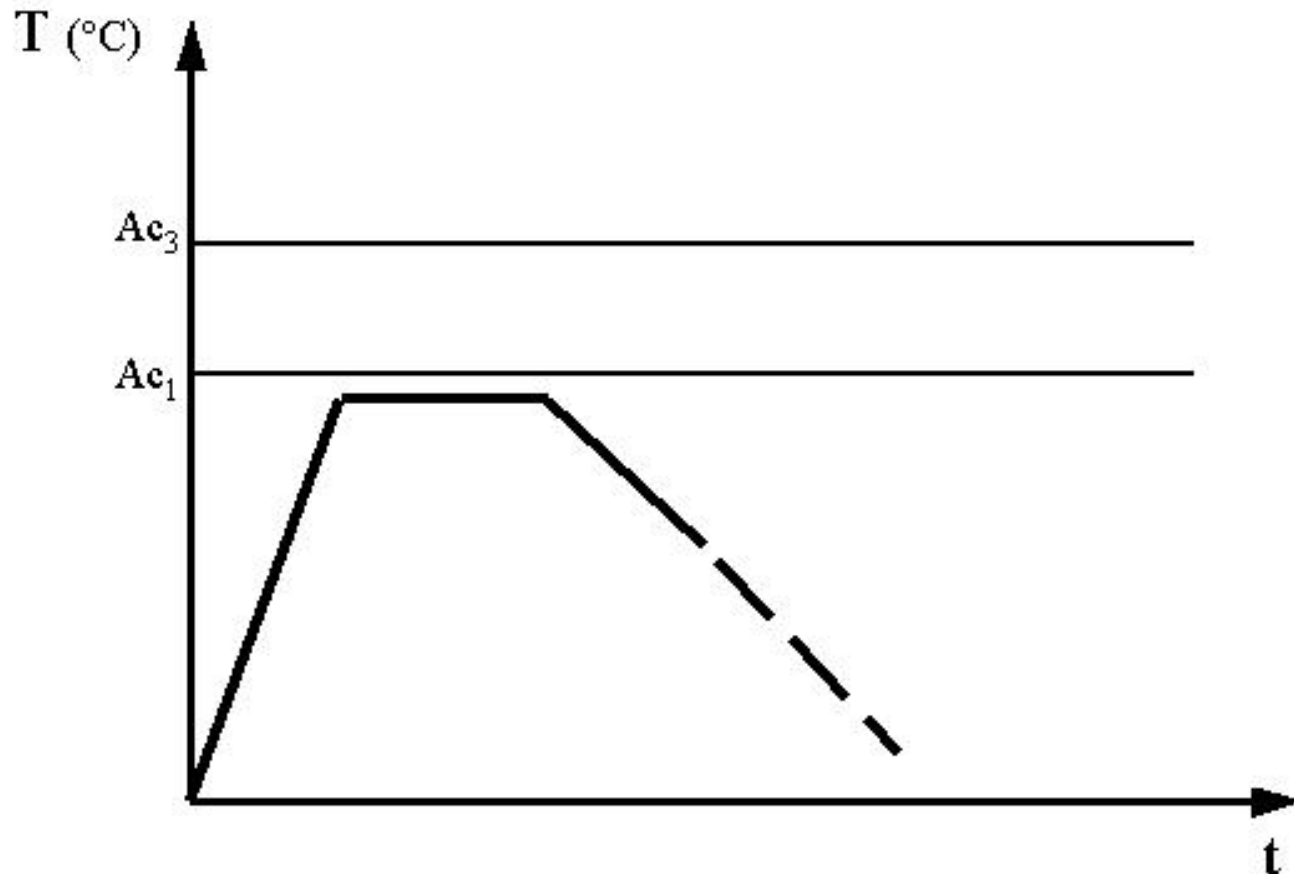
Ciclo termico:

- riscaldamento sotto A_{c_1}
 - senza austenitizzazione
- permanenza
- raffreddamento anche veloce

Ricottura subcritica (o di lavorabilità)



Schema generale



Ricottura subcritica (o di lavorabilità)



Ciclo termico

- **riscaldamento:** 30-50°C sotto A_{c1}
 - senza austenitizzazione
- **permanenza** anche breve (2-4 h)
 - il carbonio non diffonde significativamente
 - lo scopo principale non è la diffusione del carbonio
- **raffreddamento** in aria
 - la velocità è praticamente influente

Ricottura subcritica (o di lavorabilità)

Strutture ed obiettivi



■ Strutture

- strettamente dipendenti da quelle di partenza
(non varia il numero dei grani)

■ Obiettivi e prescrizioni

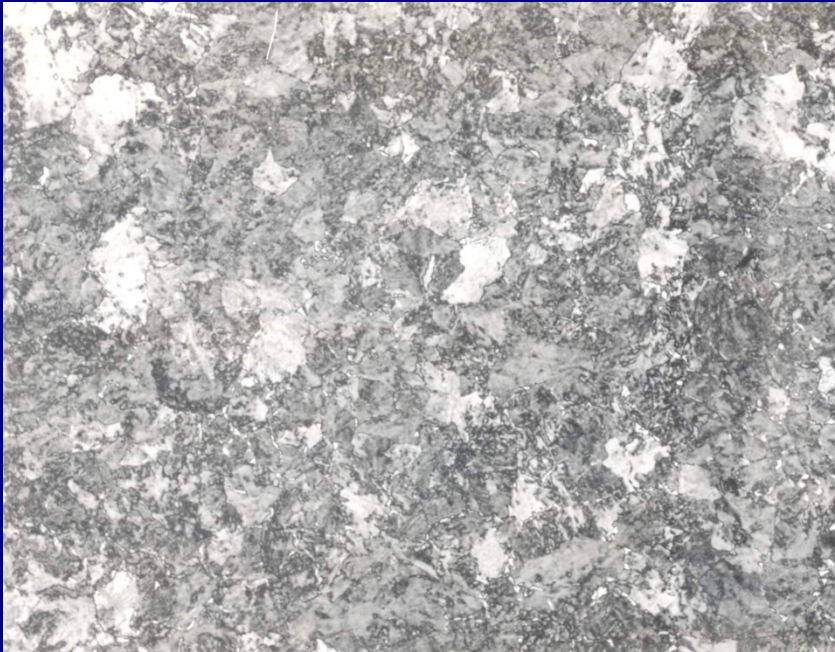
- molto usata su acciai deformati plasticamente a caldo
- permette di ottenere discreta lavorabilità all'utensile

■ Note

- prescrivibili limiti di durezza
- non prescrivibili strutture

Ricottura subcritica

Esempio di struttura



strutture miste

- ferritico/perlitiche
- bainitiche
- tracce di martensite

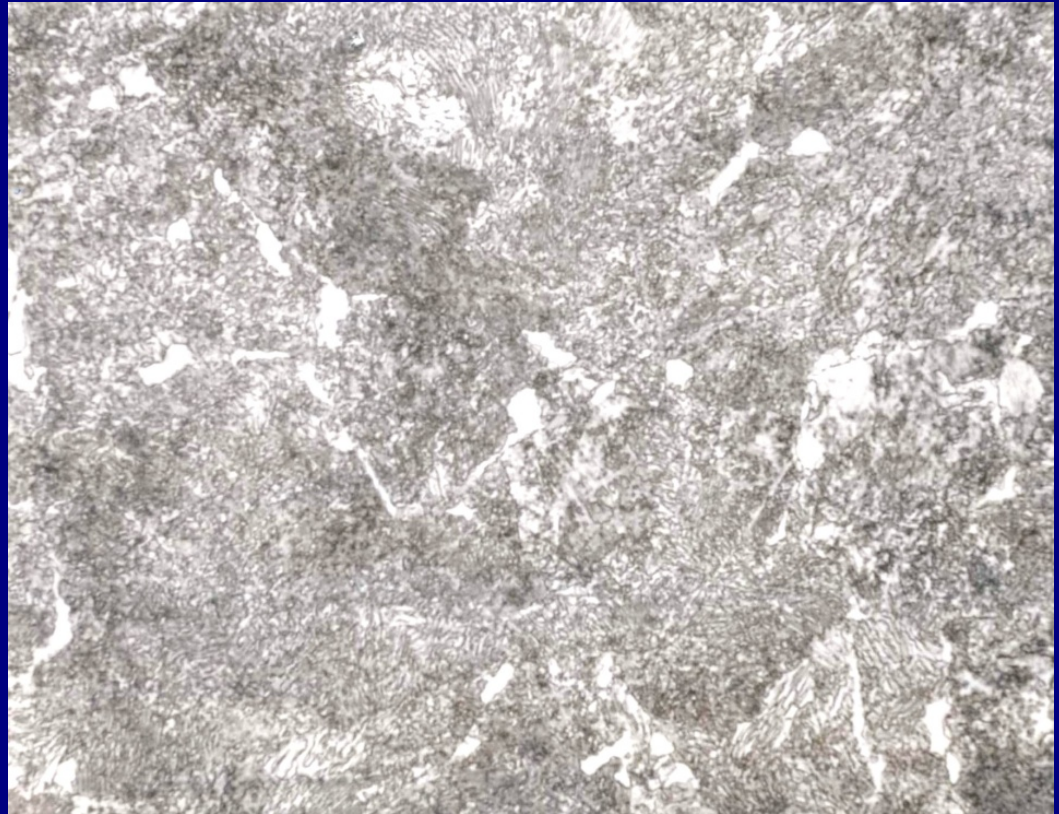
C60: grezzo di laminazione

Ricottura subcritica

Esempio di struttura

la martensite e la bainite
sono rinvenute fino a
formare perlite
tendenzialmente
globulare,

la perlite è evoluta con
una più netta separazione
delle lamelle (ora
chiaramente individuabili)



C60: ricottura subcritica

Ricottura subcritica

Esempio di struttura

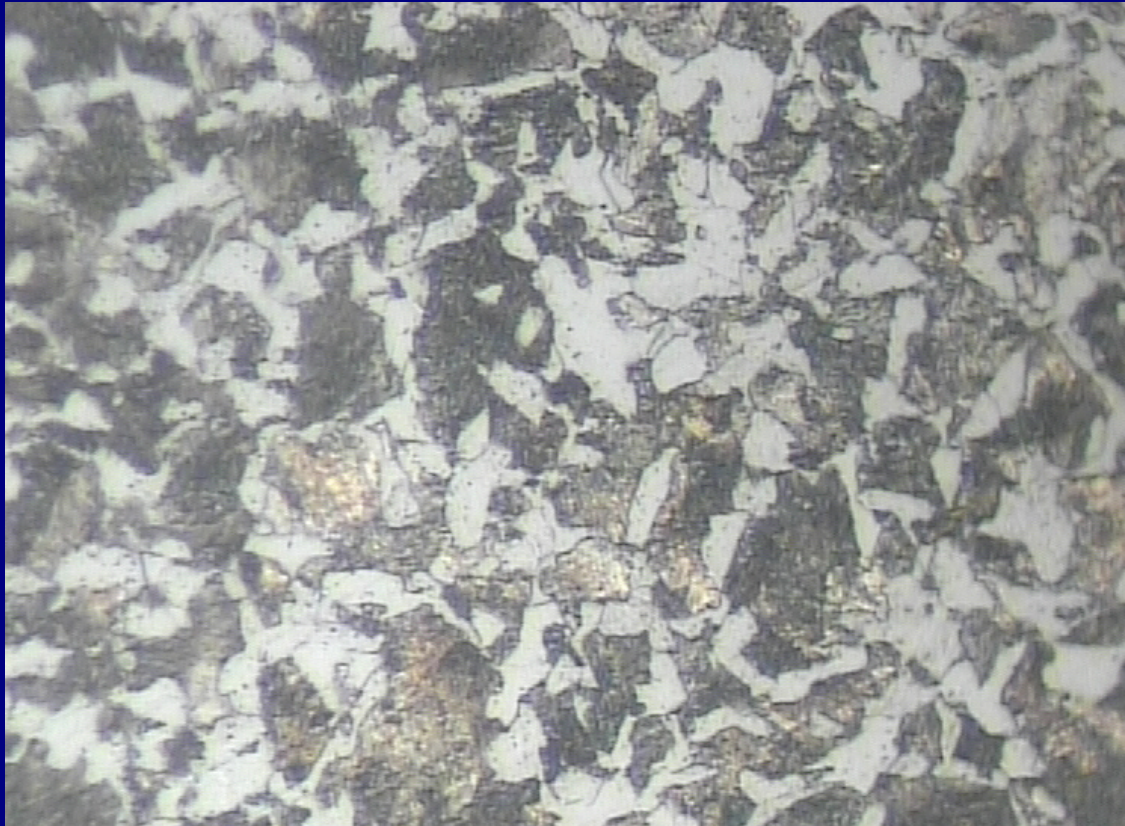


17NiCrMo6-4 con
ricottura sub-critica

il trattamento ha solo
modificato leggermente la
struttura primaria che era
costituita da bainite

Ricottura subcritica

Esempi di struttura



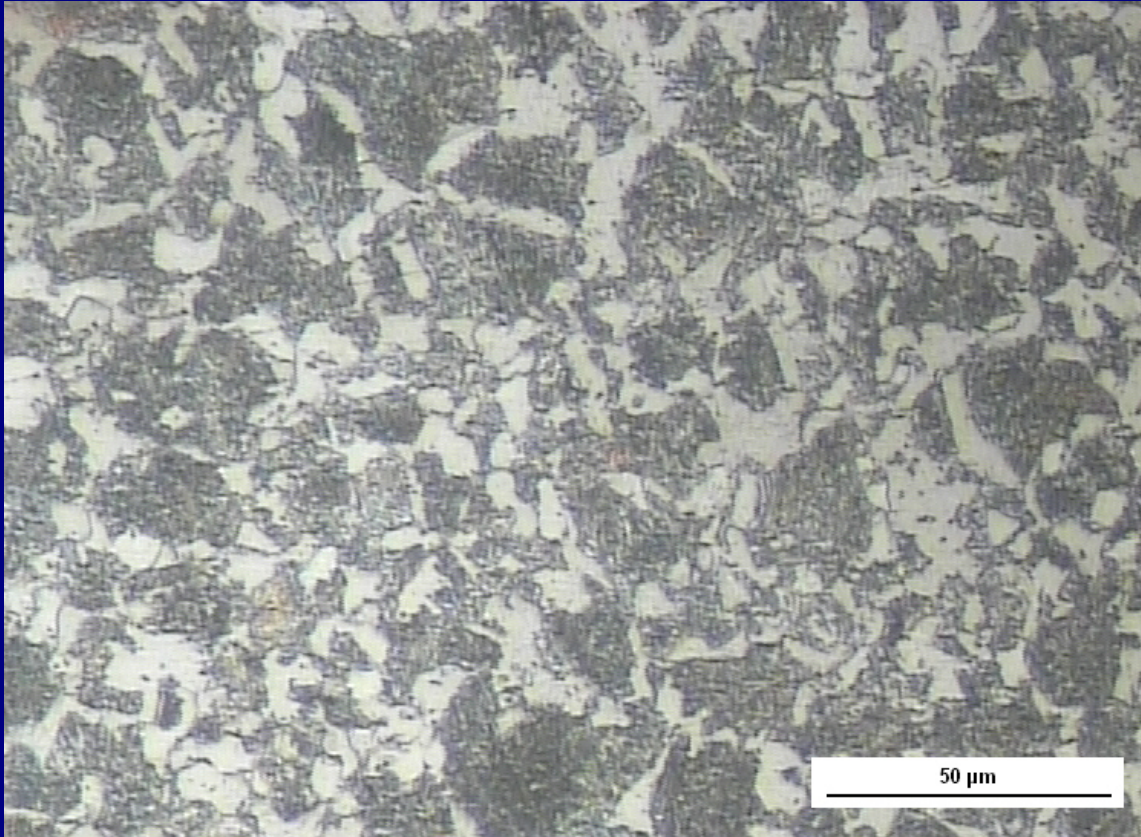
HRB 96

$R=710 \text{ MPa}$

C45 naturale di laminazione

Ricottura subcritica

Esempi di struttura



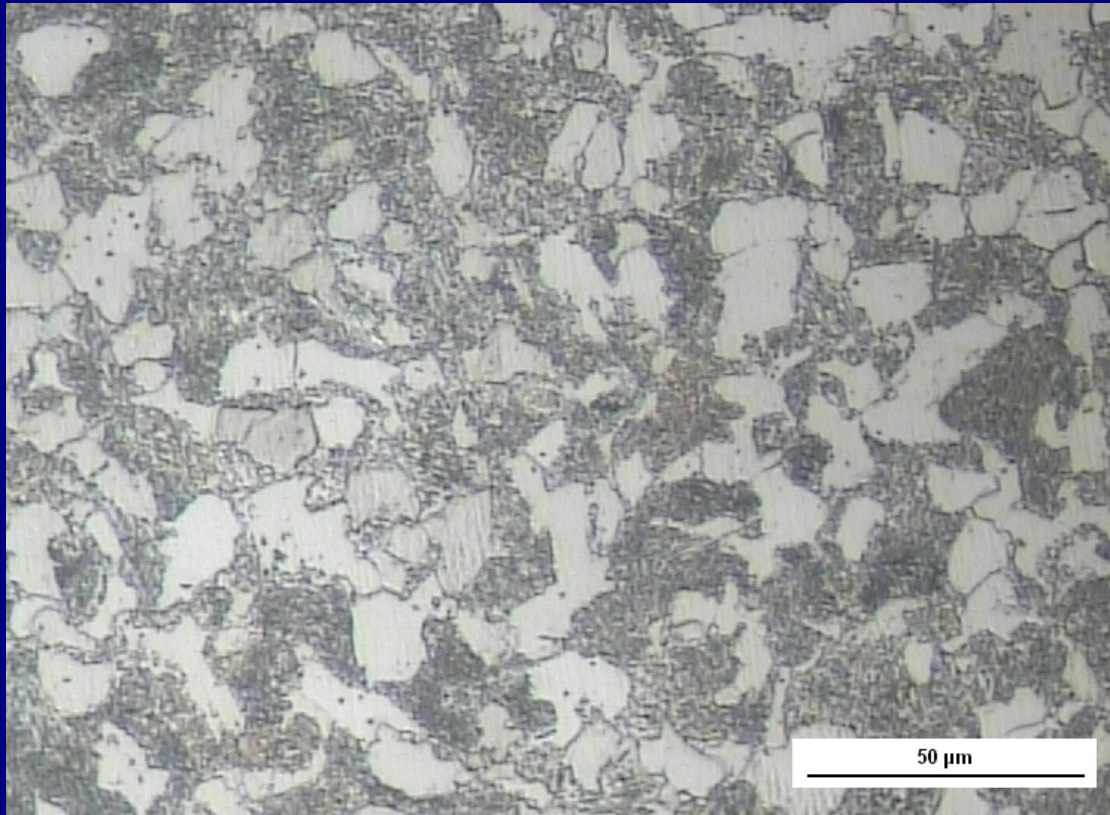
HRB 92

R=640 MPa

C45 ricotto a 710°C per 6 ore

Ricottura subcritica

Esempi di struttura



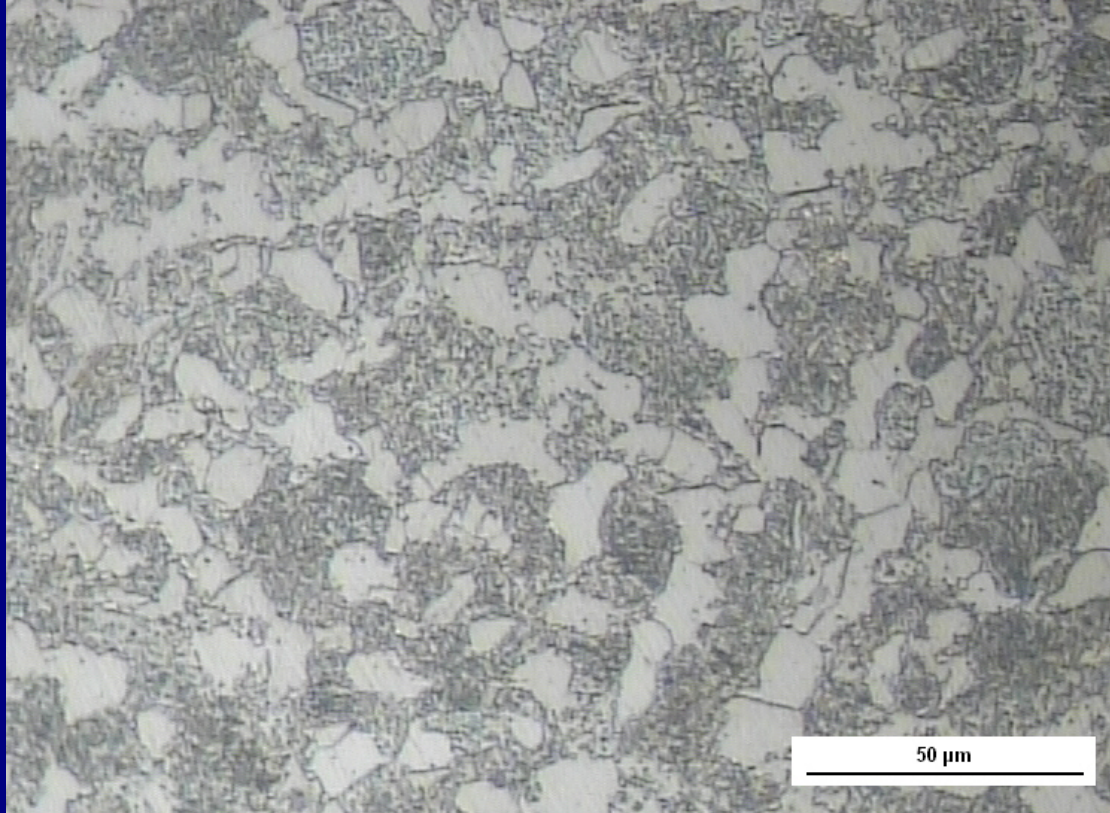
HRB 90

R=600 MPa

C45 ricotto a 710°C per 9 ore

Ricottura subcritica

Esempi di struttura



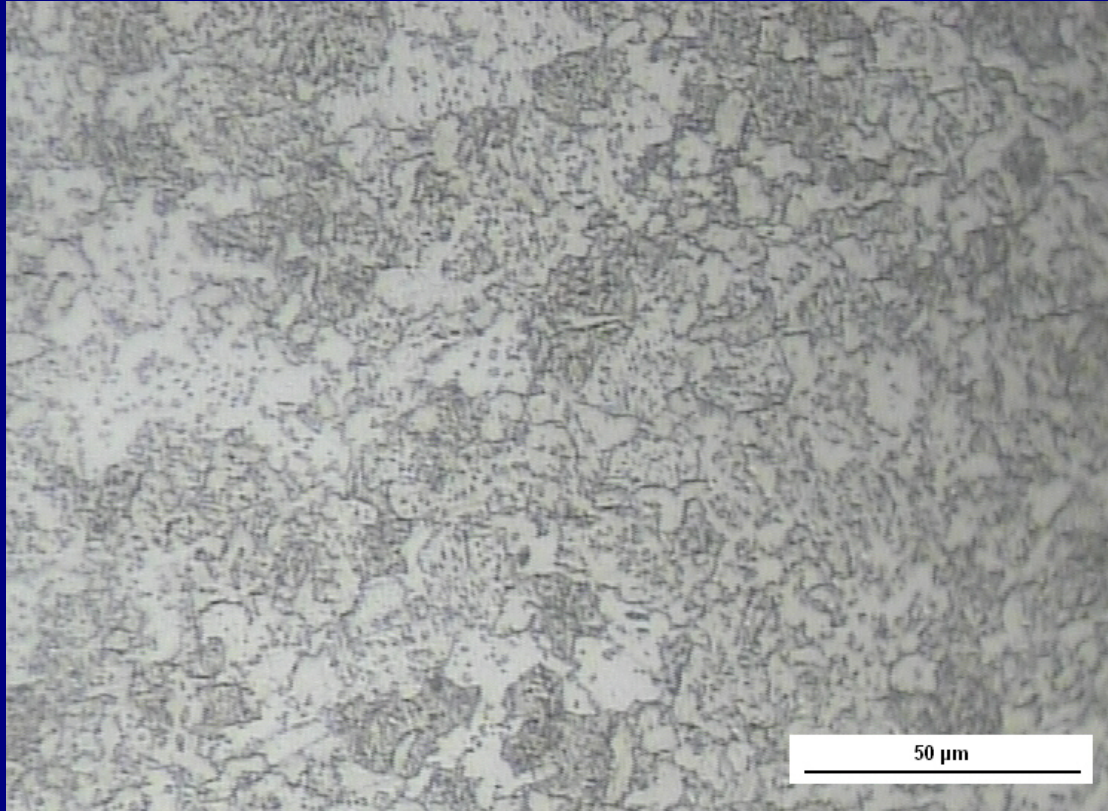
HRB 87

R=580 MPa

C45 ricotto a 710°C per 14 ore

Ricottura subcritica

Esempi di struttura



HRB 85

$R=560 \text{ MPa}$

C45 ricotto a 710°C per 22 ore



Normalizzazione

Definizioni

Secondo UNI EN 10052:

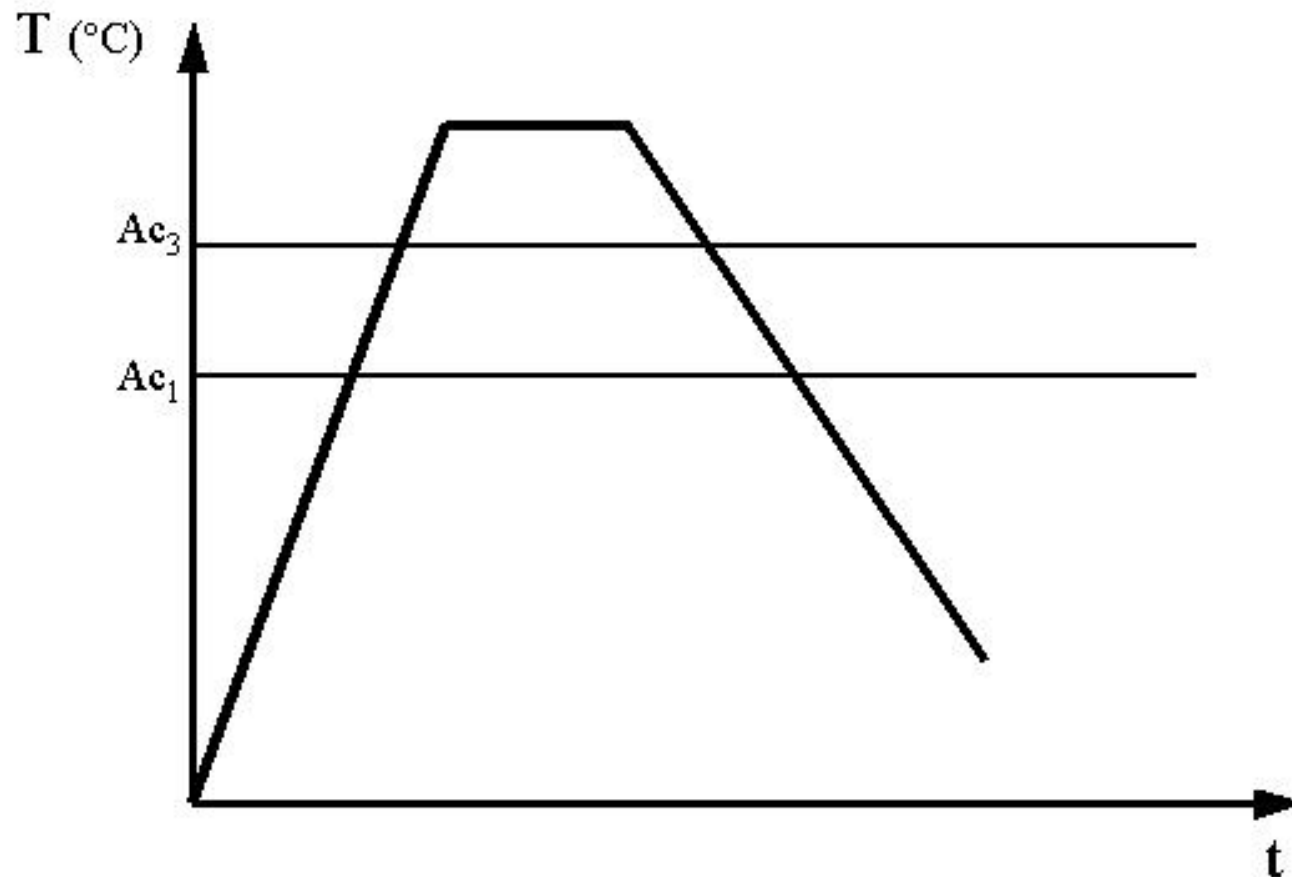
“Trattamento termico che comporta una austenitizzazione seguita da un raffreddamento in aria calma”

Ciclo termico:

- riscaldamento di austenitizzazione
- permanenza
- raffreddamento in aria calma

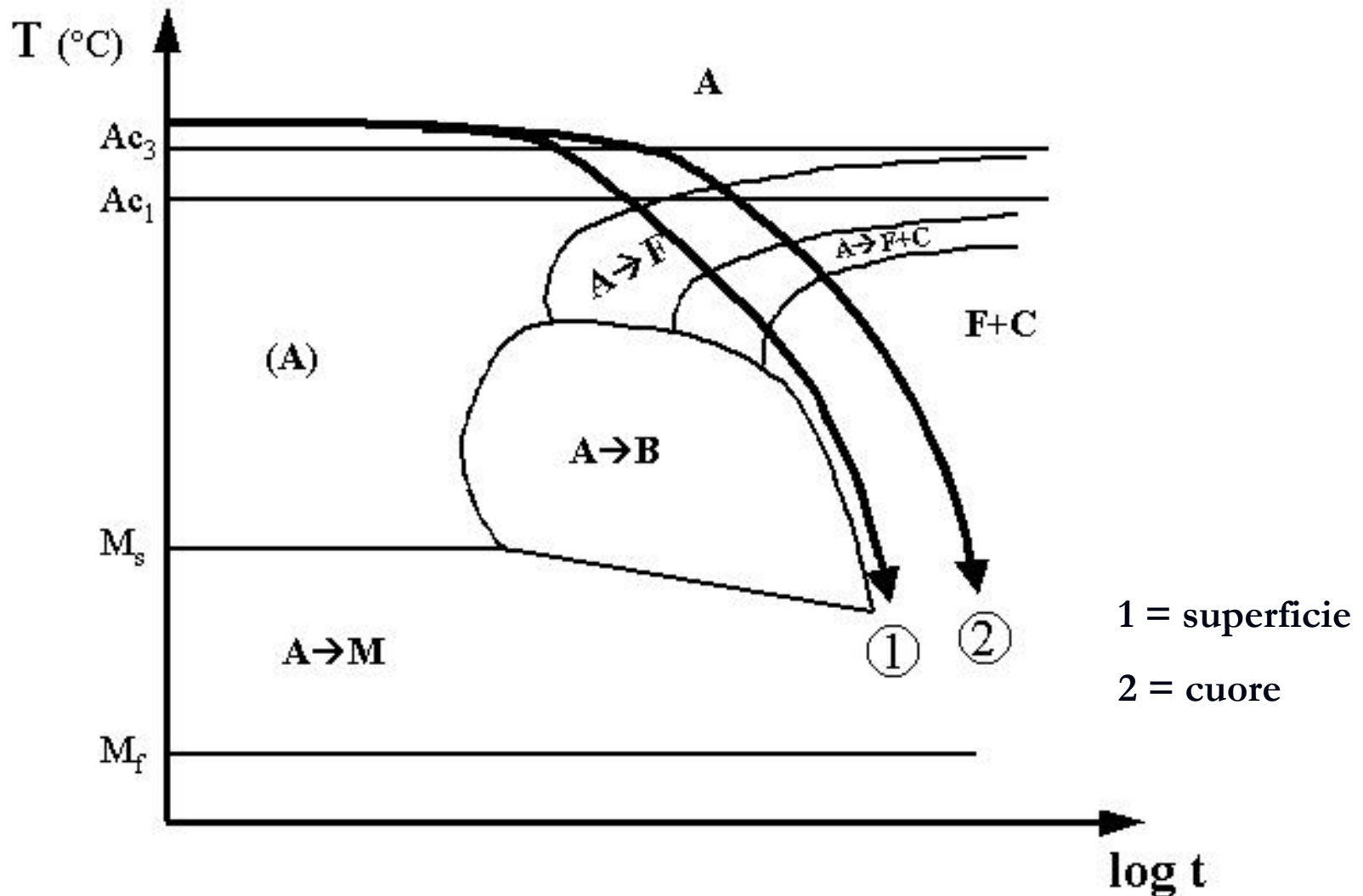
Normalizzazione

Schema generale



Normalizzazione

Diagramma CCT





Normalizzazione

Ciclo termico e strutture ottenibili

- **riscaldamento** di austenitizzazione: 50-70°C sopra Ac_3
- **permanenza** per austenitizzazione e soluzione completa del carbonio
- **raffreddamento**: “in aria calma” fino a temperatura ambiente

Struttura: perlite su matrice ferritica

- solo acciai ipoeutettoidici
- con raffreddamento corretto si evitano
 - perlite grossolana (troppo lento)
 - bainite (troppo veloce)

Normalizzazione

Applicazioni

- adatta per acciai da costruzione (cementazione e bonifica) a medio-bassa temprabilità
 - gli acciai molto temprabili si temprano
- ottimo trattamento finale per pezzi posti in opera con strutture ferritico-perlitiche
- ottima preparazione per successivi trattamenti
- facile ripetibilità del ciclo



Normalizzazione

Obbiettivi

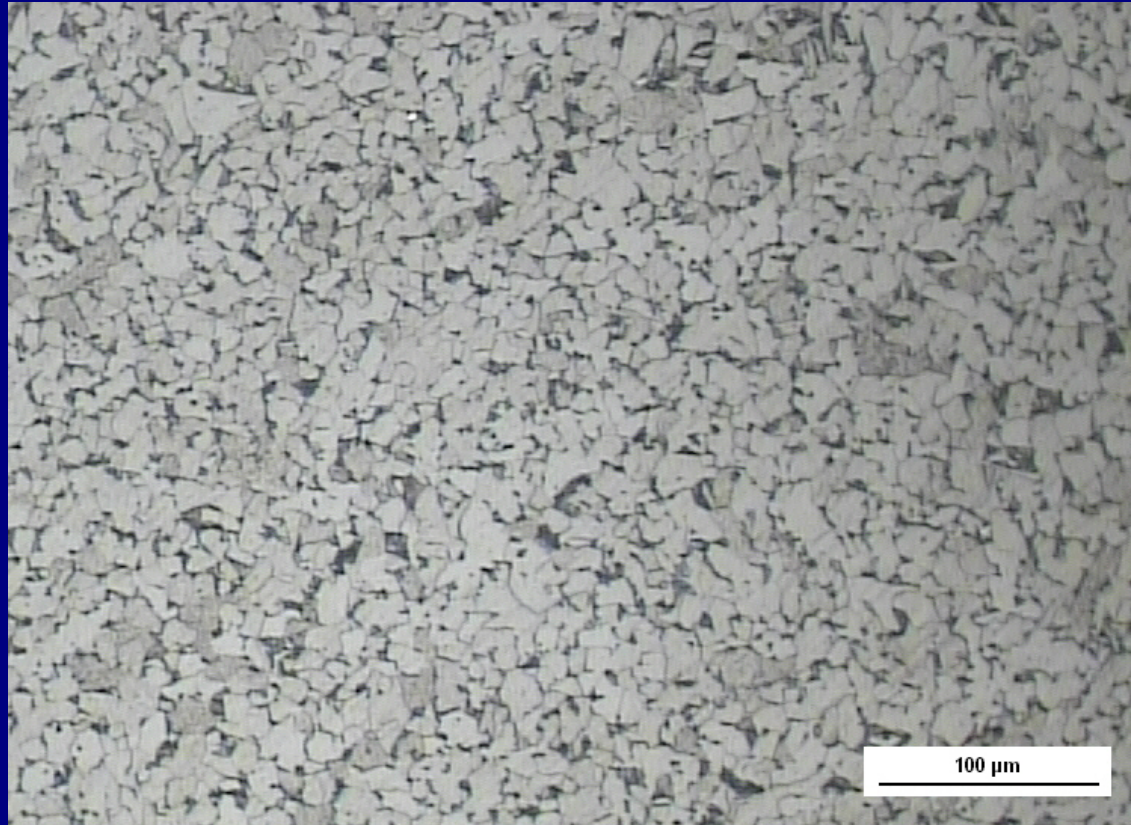
- affinazione, omogeneizzazione, rigenerazione del grano
- notevole stabilità strutturale

Note

- prescrivibili durezza e resistenze
- possibili differenze (strutturali e resistenziali) anche sensibili da bordo a cuore in pezzi di grandi dimensioni

Normalizzazione

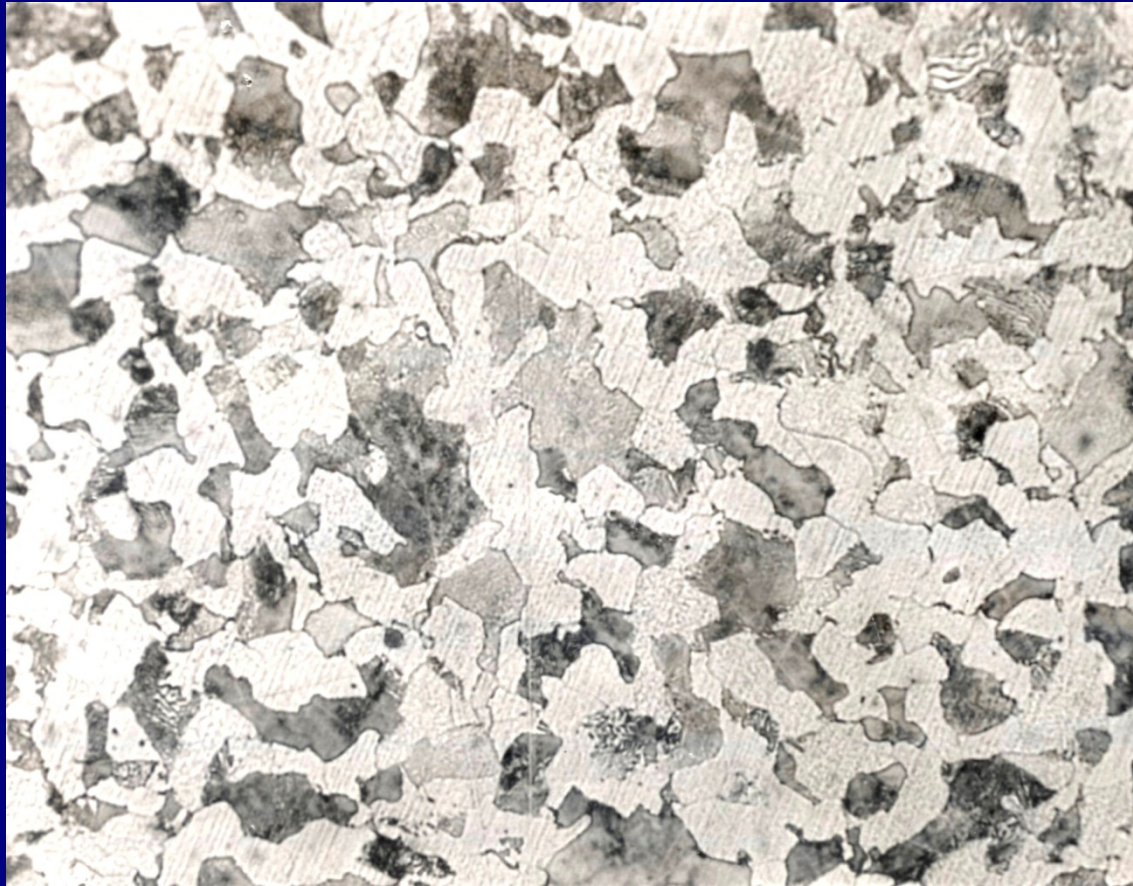
Esempi di strutture



C15 normalizzato: ferrite e perlite a piccoli blocchi

Normalizzazione

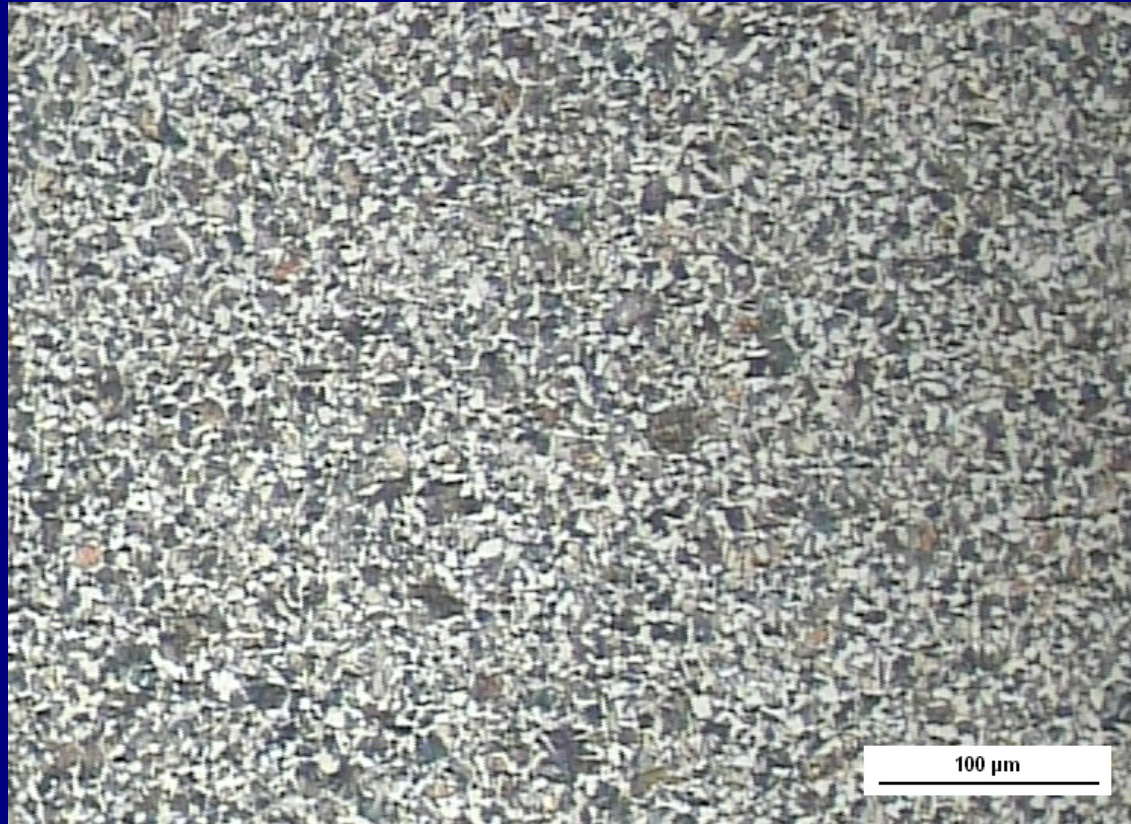
Esempi di strutture



C30 normalizzato: ferrite con perlite a blocchi compatti

Normalizzazione

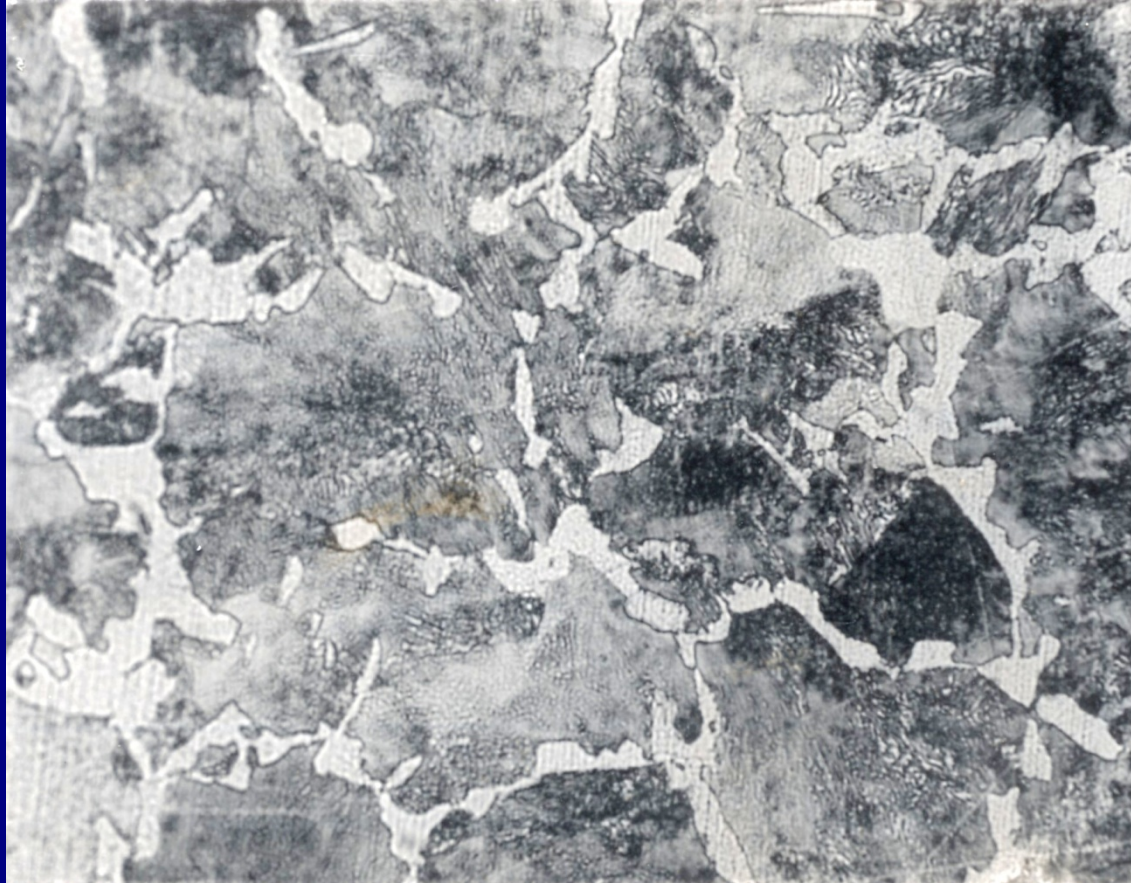
Esempi di strutture



C50 normalizzato: ferrite con perlite a blocchi compatti

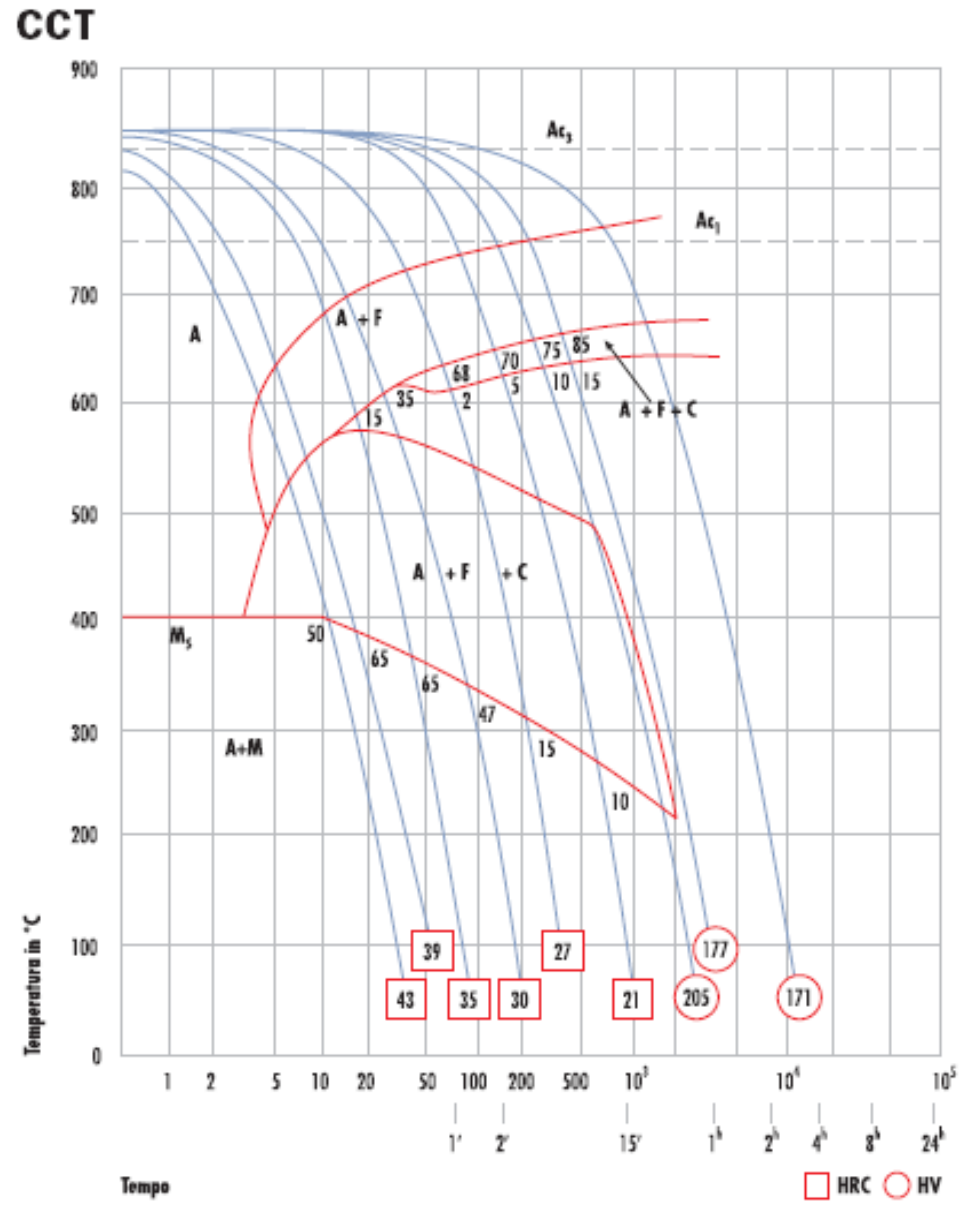
Normalizzazione

Esempi di strutture



C50 normalizzato:
la perlite risulta compatta anche a maggiori ingrandimenti

Normalizzazione

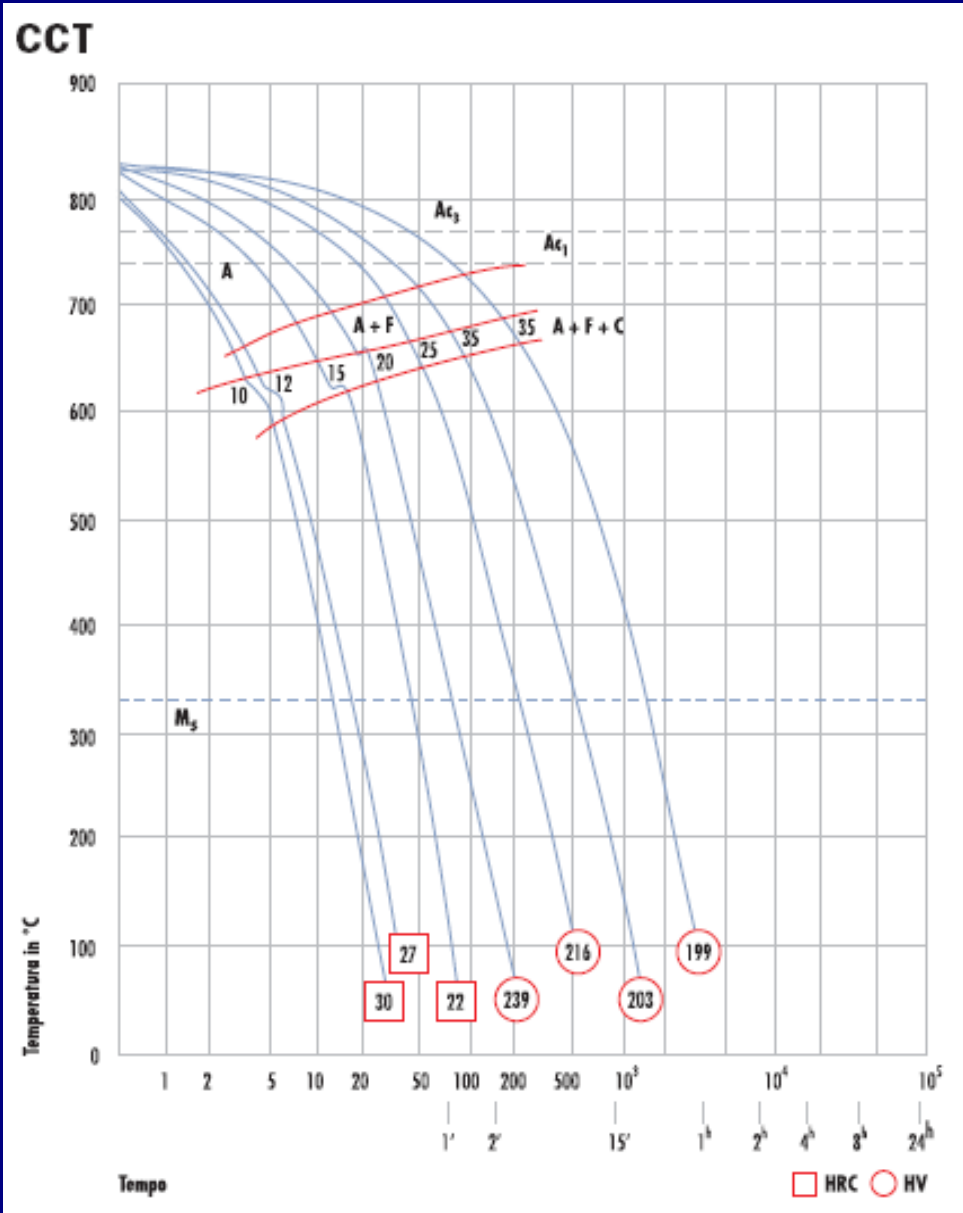


Durezze

16MnCr5

Curve di raffreddamento
Diagramma CCT con
durezze in funzione delle
velocità di raffreddamento

Normalizzazione

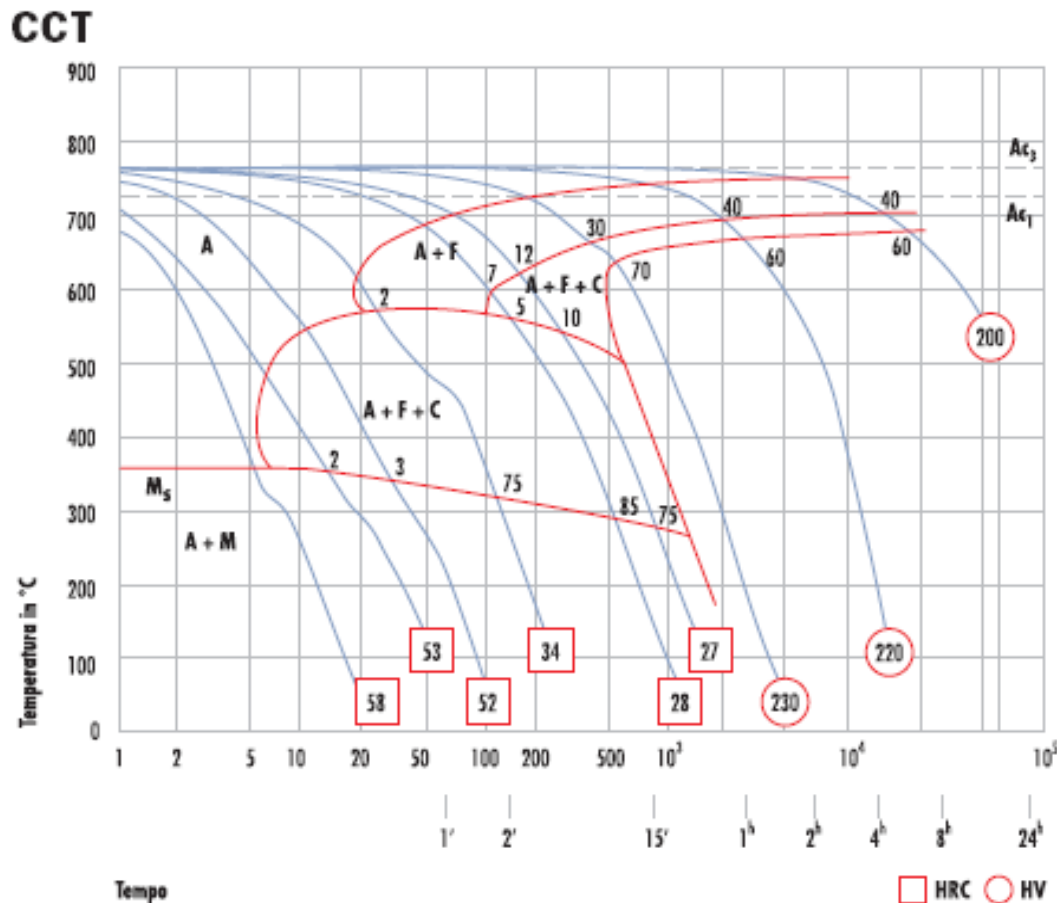


Durezze

C50

Curve di raffreddamento
Diagramma CCT con
durezze in funzione delle
velocità di raffreddamento

Normalizzazione



Durezze

42CrMo4

Curve di raffreddamento
Diagramma CCT con
durezze in funzione delle
velocità di raffreddamento



Ricottura globulare

Definizioni

Secondo UNI EN 10052:

“Ricottura che comporta generalmente una permanenza prolungata ad una temperatura prossima ad A_{c1} con eventuali oscillazioni intorno a tale temperatura, allo scopo di provocare la globulizzazione dei carburi precipitati”

Ciclo termico:

- riscaldamento di austenitizzazione
- permanenza
- raffreddamento in aria calma

Ricottura globulare

- ci sono 3 tipi di ricottura globulare
- si distinguono per la temperatura di esecuzione
 - subcritica: più semplice, più economica, non sempre risolve completamente i problemi
 - pendolare: più delicata, richiede impianti ben regolati, permette di ottenere sempre le strutture desiderate
 - isotermica: è la denominazione impropria di un trattamento che comunque permette di ottenere buoni risultati

Ricottura globulare

- la struttura globulare comporta durezze più basse e migliore deformabilità
- per acciai ipoeutetoidici:
 - è la struttura ideale per lo stampaggio a freddo
 - non è adatta per operazioni di asportazione di truciolo
 - il truciolo è molto plastico, non si rompe e si avvolge sull'utensile impedendo la lubrificazione del tagliente

Ricottura globulare

- per acciai ipereutettoidici:
 - è la struttura ideale per lo stampaggio a freddo
 - è anche la migliore struttura per pezzi soggetti ad operazioni di asportazione di truciolo
 - si elimina la cementite secondaria reticolare a bordo grano
 - costituente durissimo che usura gli utensili
 - trasformandola in cementite globulare

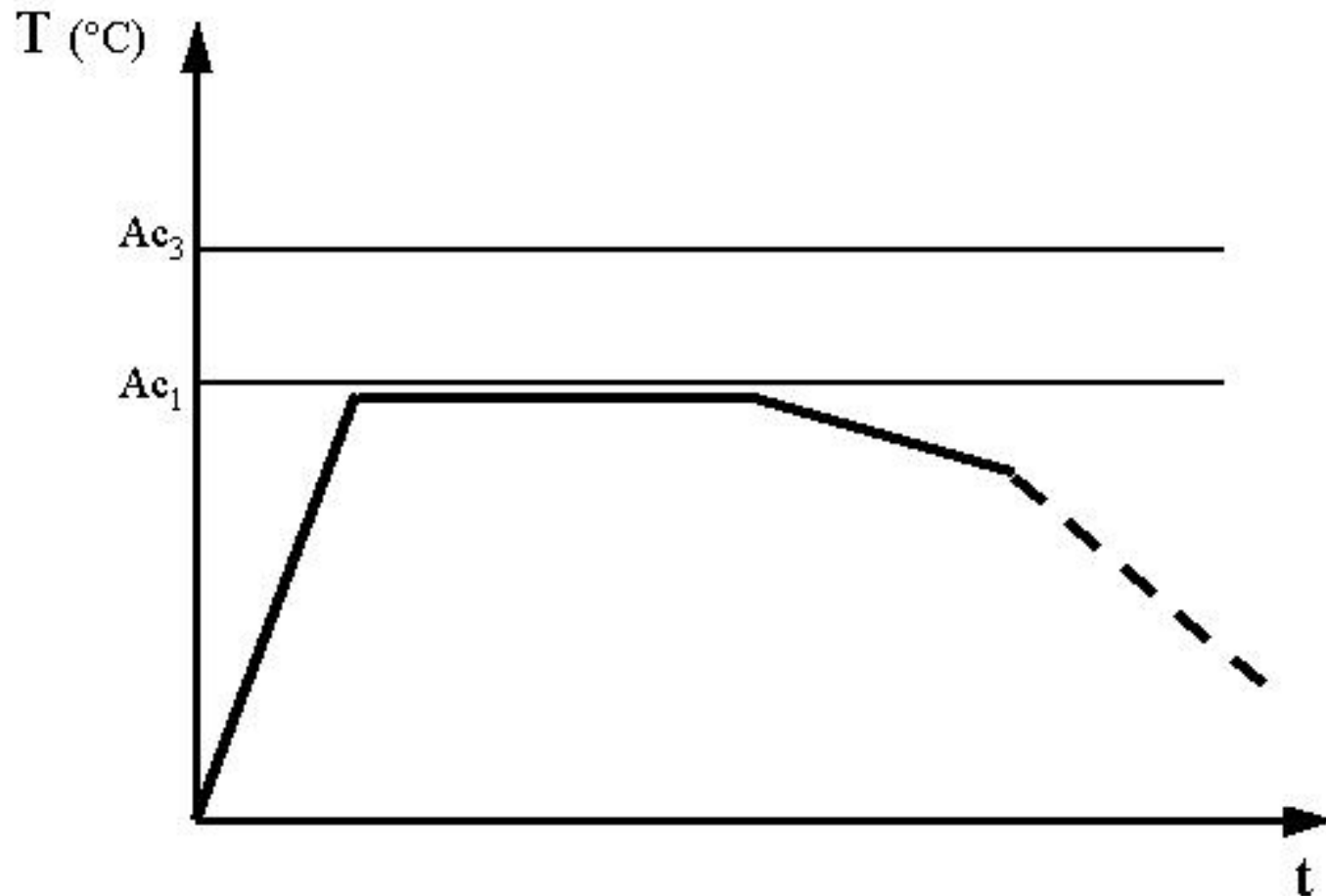
Ricottura globulare subcritica

Ciclo termico

- **riscaldamento** poco sotto Ac_1
 - 20-30°C sotto Ac_1
 - senza austenitizzazione
- **permanenza** prolungata
 - perché il C ha poca mobilità
 - 1 h ogni 10 mm di spessore
- **raffreddamento** lento: in forno nella prima fase
 - per migliorare la globulizzazione
 - per ottenere durezza più basse

Ricottura globulare subcritica

Schema generale



Ricottura globulare subcritica

Strutture ottenibili

- per acciai ipoeutettoidici:
secondo la struttura iniziale
 - da ferrite e perlite lamellare: si ottengono grani di ferrite e grani di perlite globulare
 - da martensite, sorbite o bainite: si ottengono grani omogenei con carburi globulari
- per acciai eutettoidici o ipereutettoidici:
 - grani omogenei con carburi globulari



Ricottura globulare pendolare

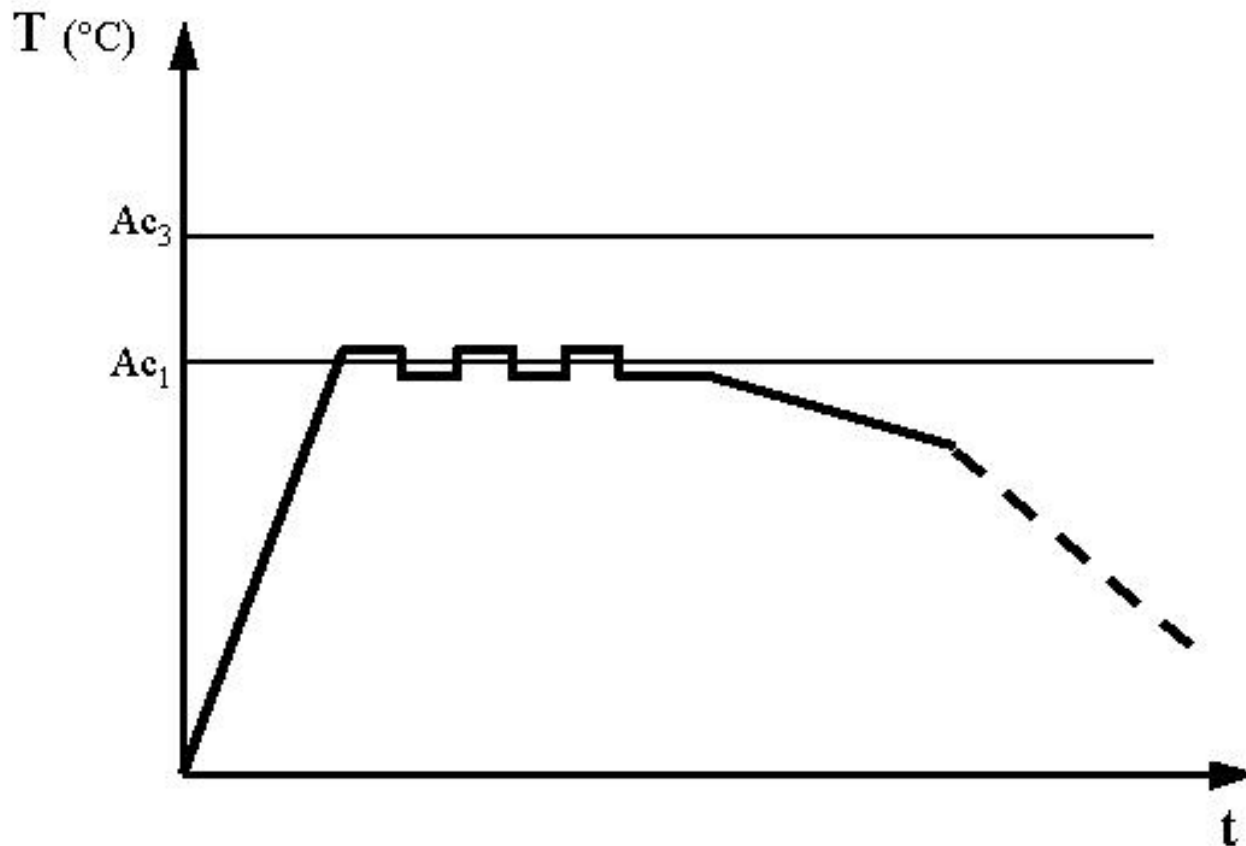
Ciclo termico e strutture ottenibili

- **riscaldamento** 15-20°C sopra Ac_1
 - parziale austenitizzazione
- **permanenza:** alcune oscillazioni 20°C sopra e sotto Ac_1
- **raffreddamento** lento in forno nella prima fase
 - per migliore globulizzazione
 - per durezza più basse

Strutture: comunque ferrite a grani omogenei
con carburi globulari

Ricottura globulare pendolare

Schema generale



Ricottura globulare pendolare

Caratteristiche e prescrizioni

■ Caratteristiche

■ acciai ipoeutetteroidici:

- massima deformabilità a freddo
- scarsa lavorabilità all'utensile

■ acciai ipereutetteroidici

- massima deformabilità a freddo
- massima lavorabilità all'utensile

■ Prescrizioni

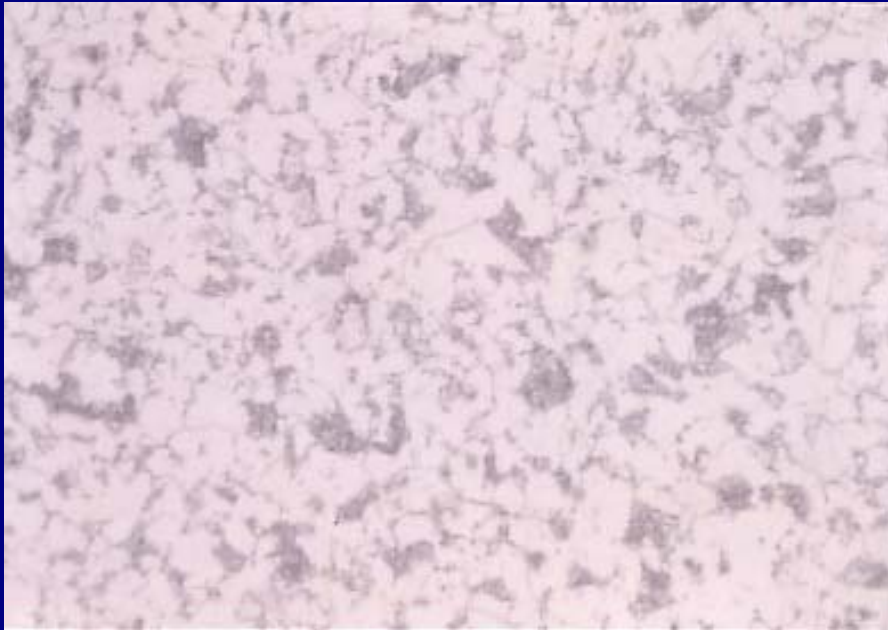
■ percentuale di globulizzazione

- rapporto tra perlite globulare e perlite totale

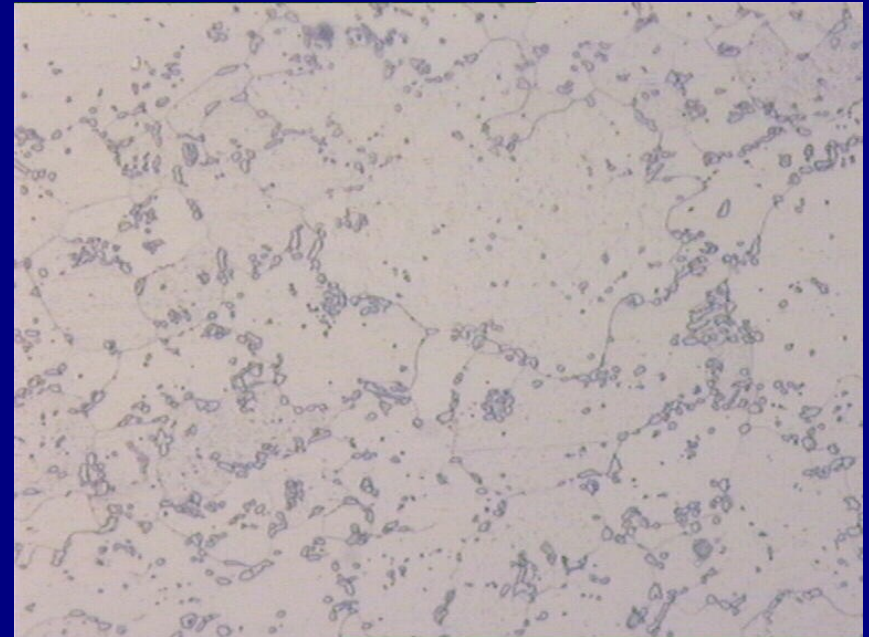
■ durezze massime dopo trattamento

Ricottura globulare

Esempi di strutture



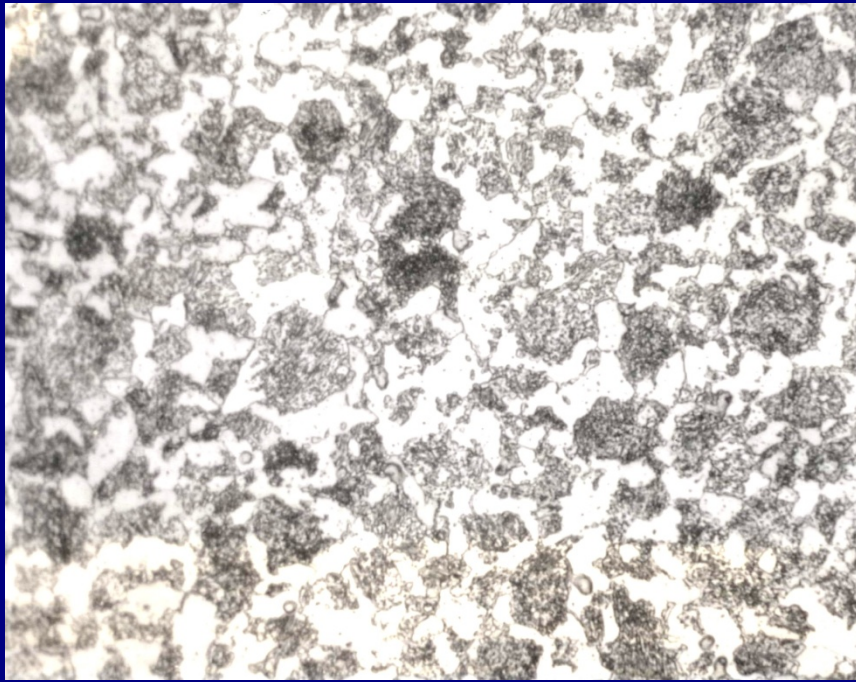
C21B: ricottura globulare



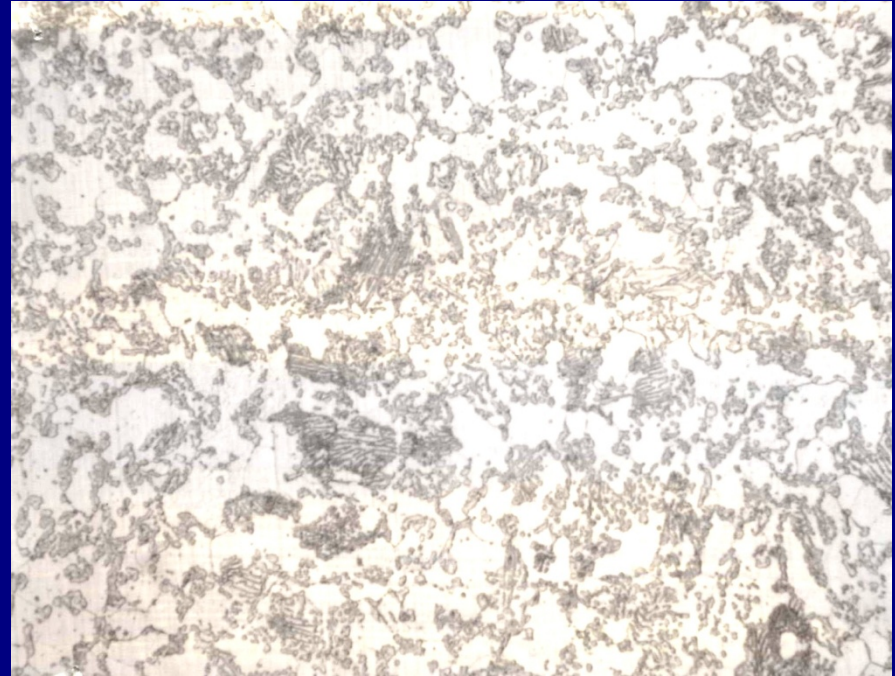
C21B: ricottura globulare

Ricottura globulare

Esempi di strutture



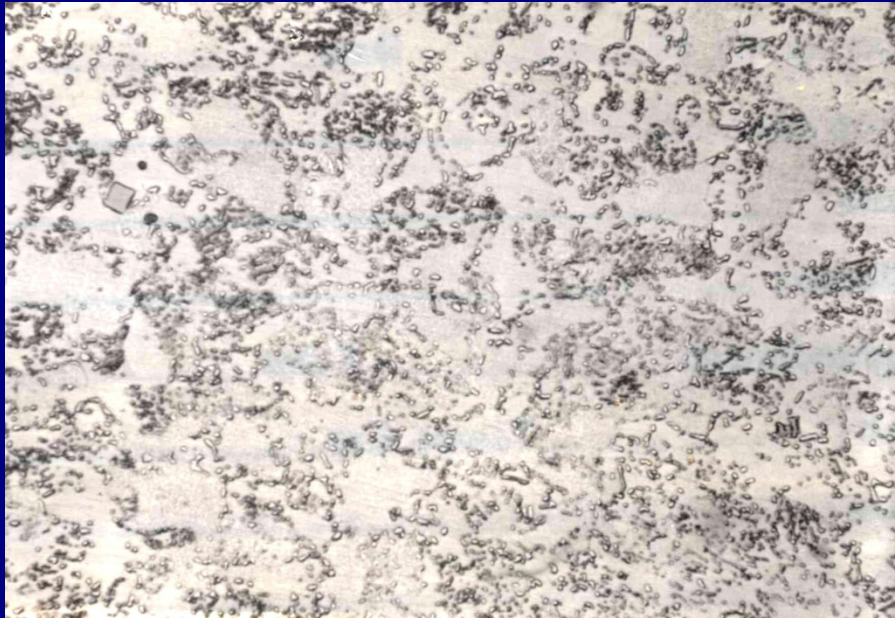
C35B: ricottura globulare



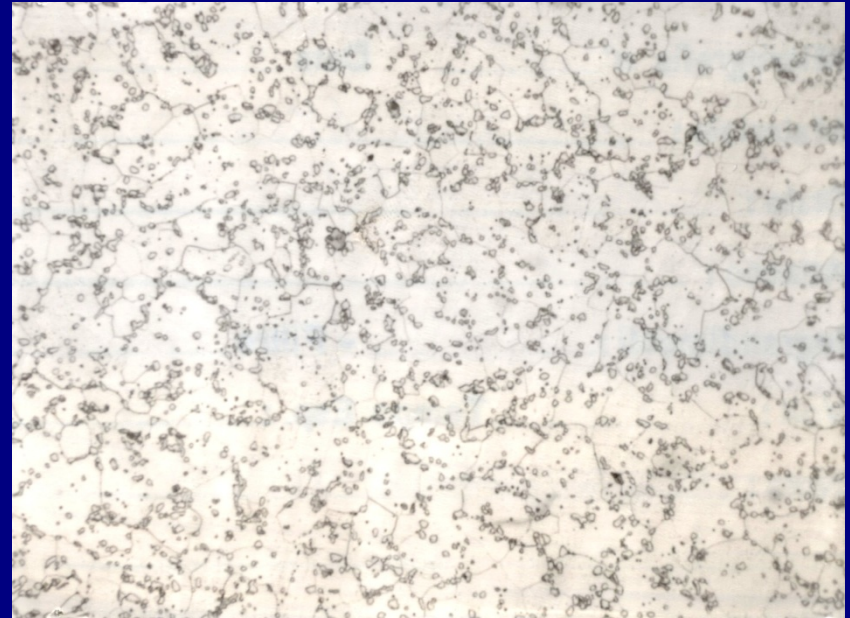
C35B: ricottura globulare

Ricottura globulare

Esempi di strutture



C35B: ricottura globulare



C35B: ricottura globulare

Ricottura globulare

Esempi di strutture



100Cr6: ricottura globulare

Ricottura globulare

Esempi di strutture



42CrMoS4 naturale di laminazione: struttura bainite + martensite
a seguito di raffreddamento rapido

Ricottura globulare

Esempi di strutture



42CrMoS4: cementite globulare omogenea ottenuta dalla struttura precedente mediante ricottura globulare subcritica

Ricottura isoterma

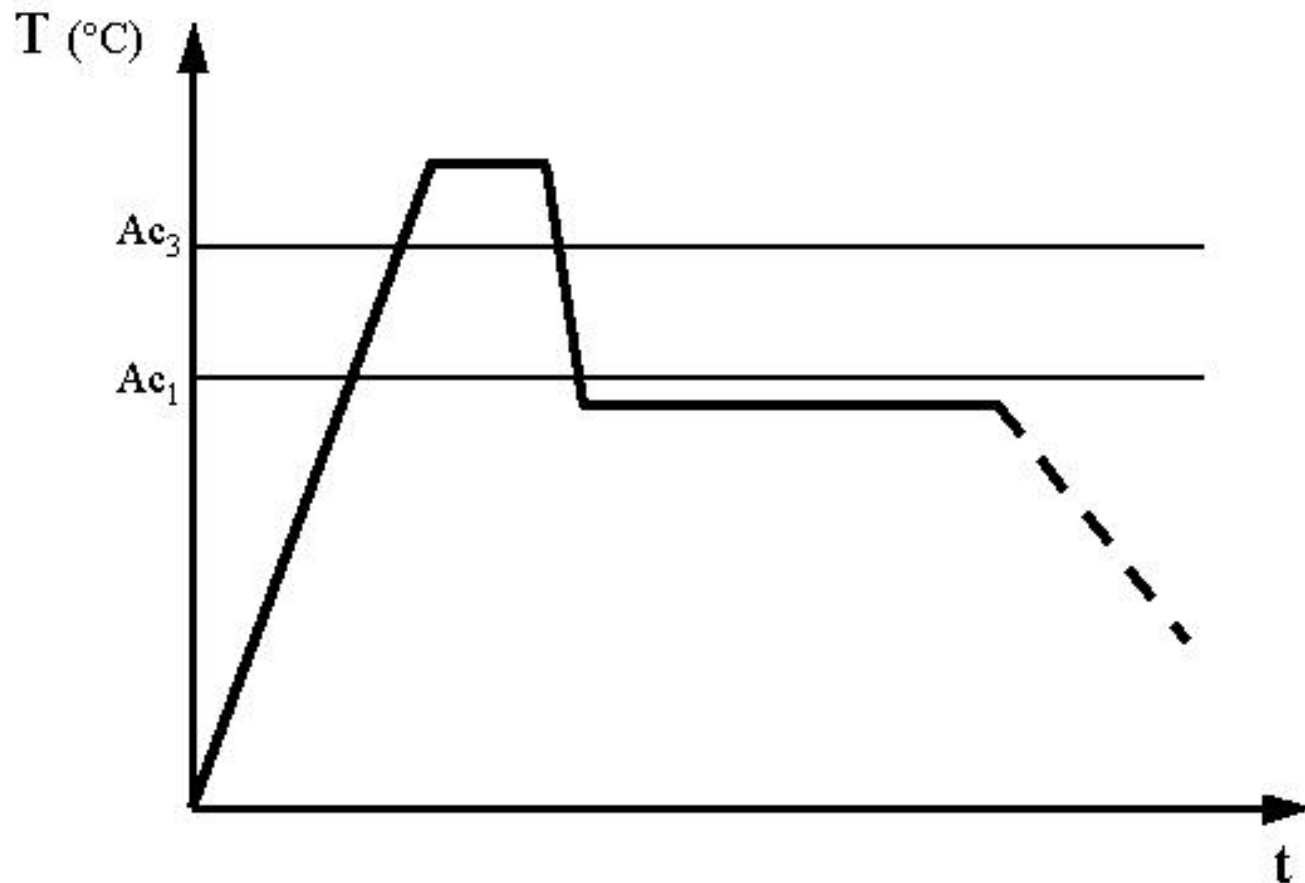
Definizione

Secondo UNI EN 10052:

- *“Ricottura che comporta un'austenitizzazione seguita da un raffreddamento interrotto mediante permanenza ad una temperatura alla quale la trasformazione dell'austenite in ferrite-perlite o in cementite è completa ”*
- Oltre ai punti critici, occorre conoscere le curve TTT di ogni acciaio

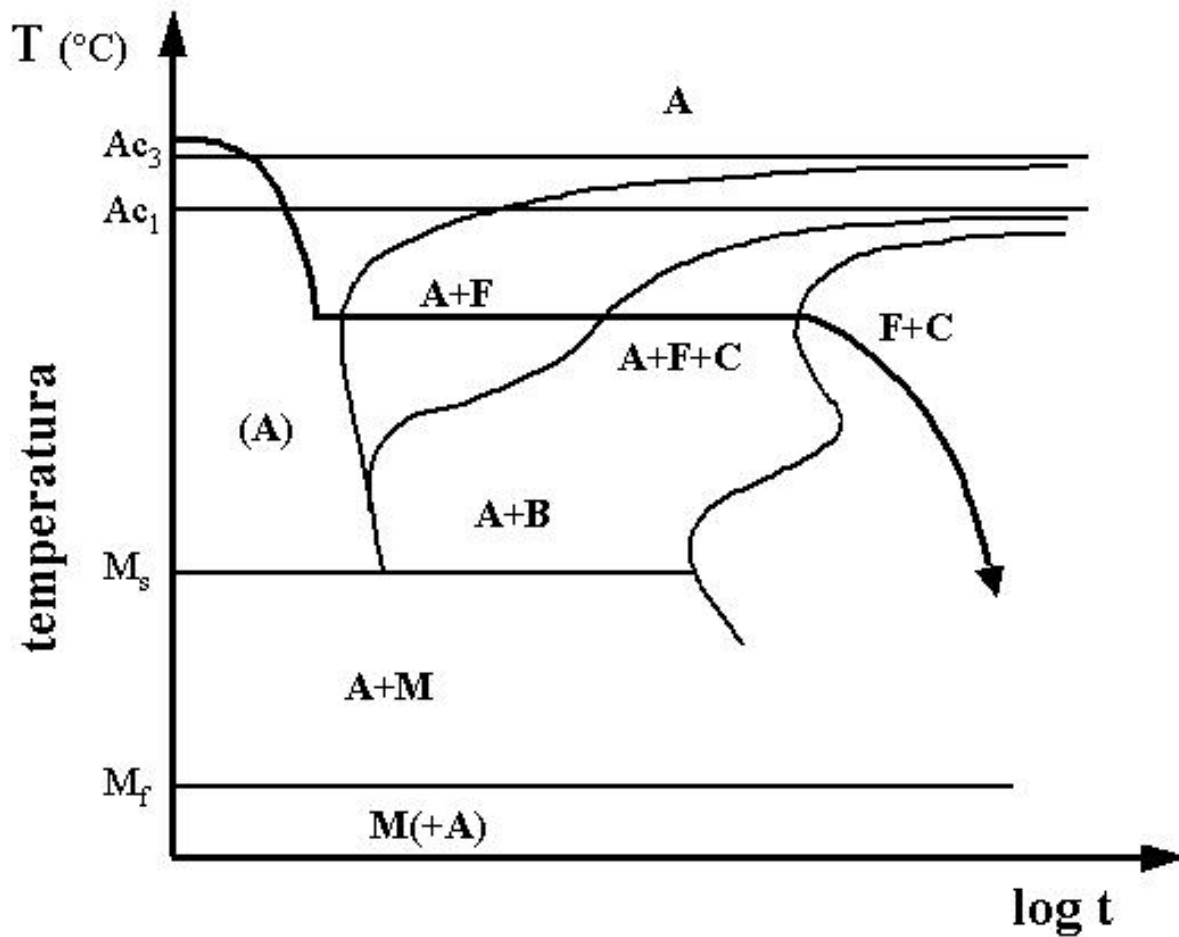
Ricottura isoterma

Schema generale



Ricottura isoterma

Diagramma TTT





Ricottura isoterma

Ciclo termico

- **riscaldamento** di austenitizzazione $20-50^{\circ}\text{C}$ sopra A_{c3}
 - circa 1100°C per ricottura bianco-nero
- **permanenza** per austenitizzazione e soluzione completa del C
- **raffreddamento** rapido fino alla temperatura di trasformazione
 - trasformazione attorno al naso perlitico
 - raffreddamento più rapido per acciai a bassa temprabilità
- **permanenza** con mantenimento isotermaico fino alla totale trasformazione
- **raffreddamento** finale influente
 - in aria fino alla temperatura ambiente



Ricottura isoterma

Vantaggi e limitazioni

Vantaggi

- permanenze limitate ad alta temperatura
- minore impiego forno ad alta temperatura
- con forni a due camere:
 - tempi brevi di forno
 - ottima produttività

Limitazioni

- solo acciai ipoeutetteroidici
- ottima conoscenza dei diagrammi TTT



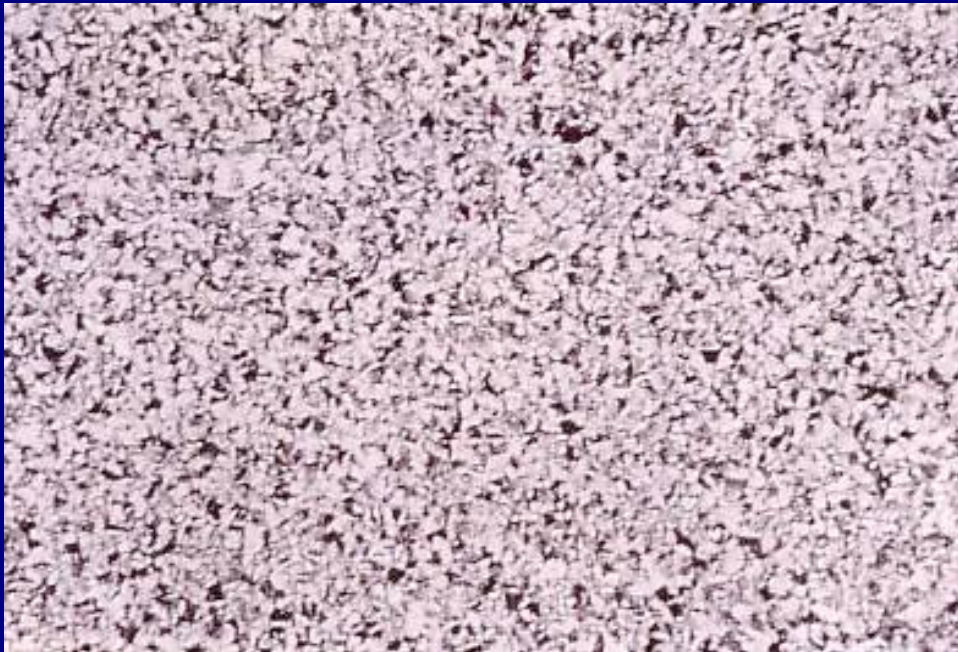
Ricottura isoterma “normale”

Obiettivi e strutture

- trasformazione attorno a 650°C (naso perlitico)
- elimina disuniformità strutturali
 - deformazioni e incrudimenti da laminazione o stampaggio a caldo o a freddo ecc.
- **strutture:** ferrite e perlite lamellare a blocchi più o meno compatti
- **durezze:** più elevate rispetto ad altre ricotture
 - perlite più compatta
 - migliore lavorabilità all'utensile per asportazione

Ricottura isoterma

Esempi di strutture



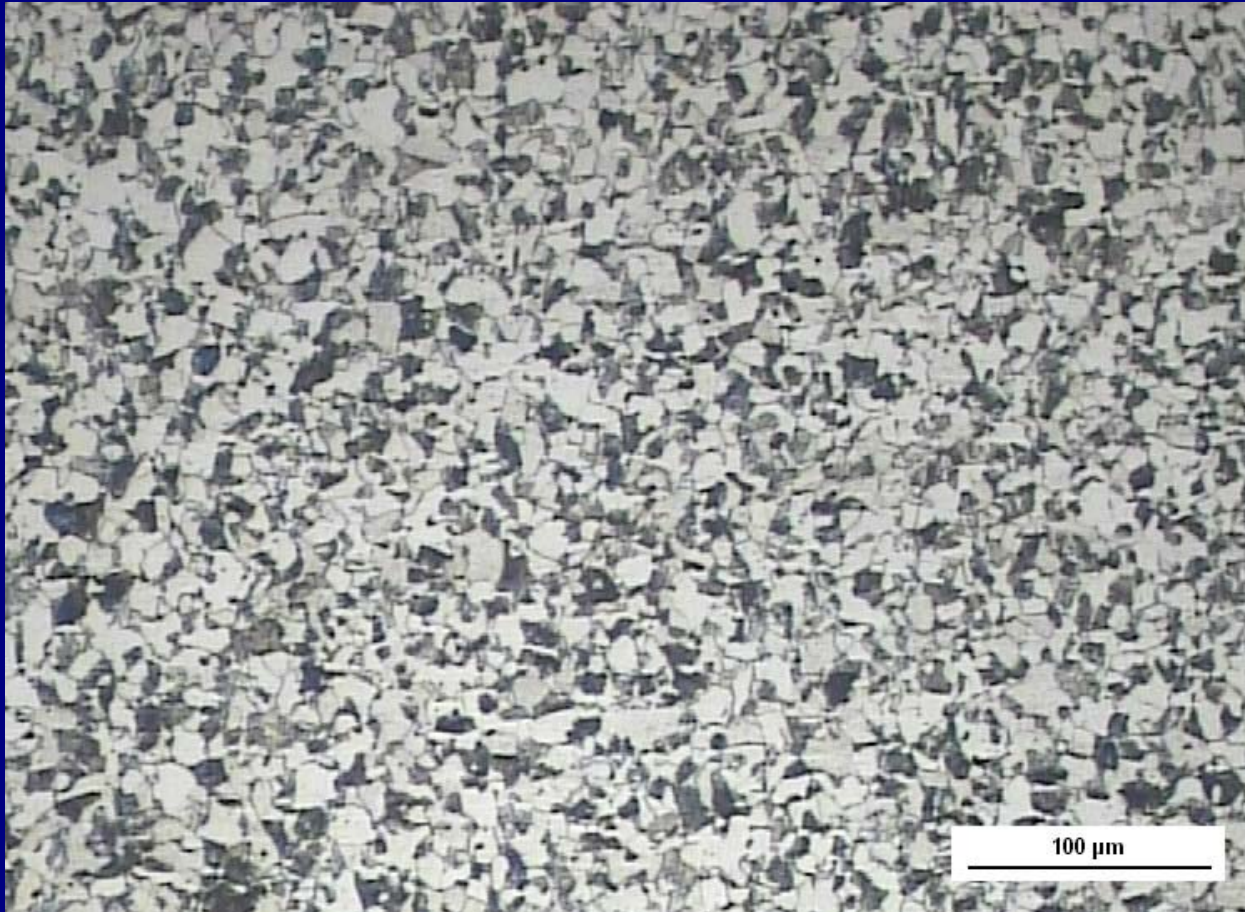
17NiCrMo6-4: ricottura isoterma



36SMnPb14: ricottura isoterma

Ricottura isoterma

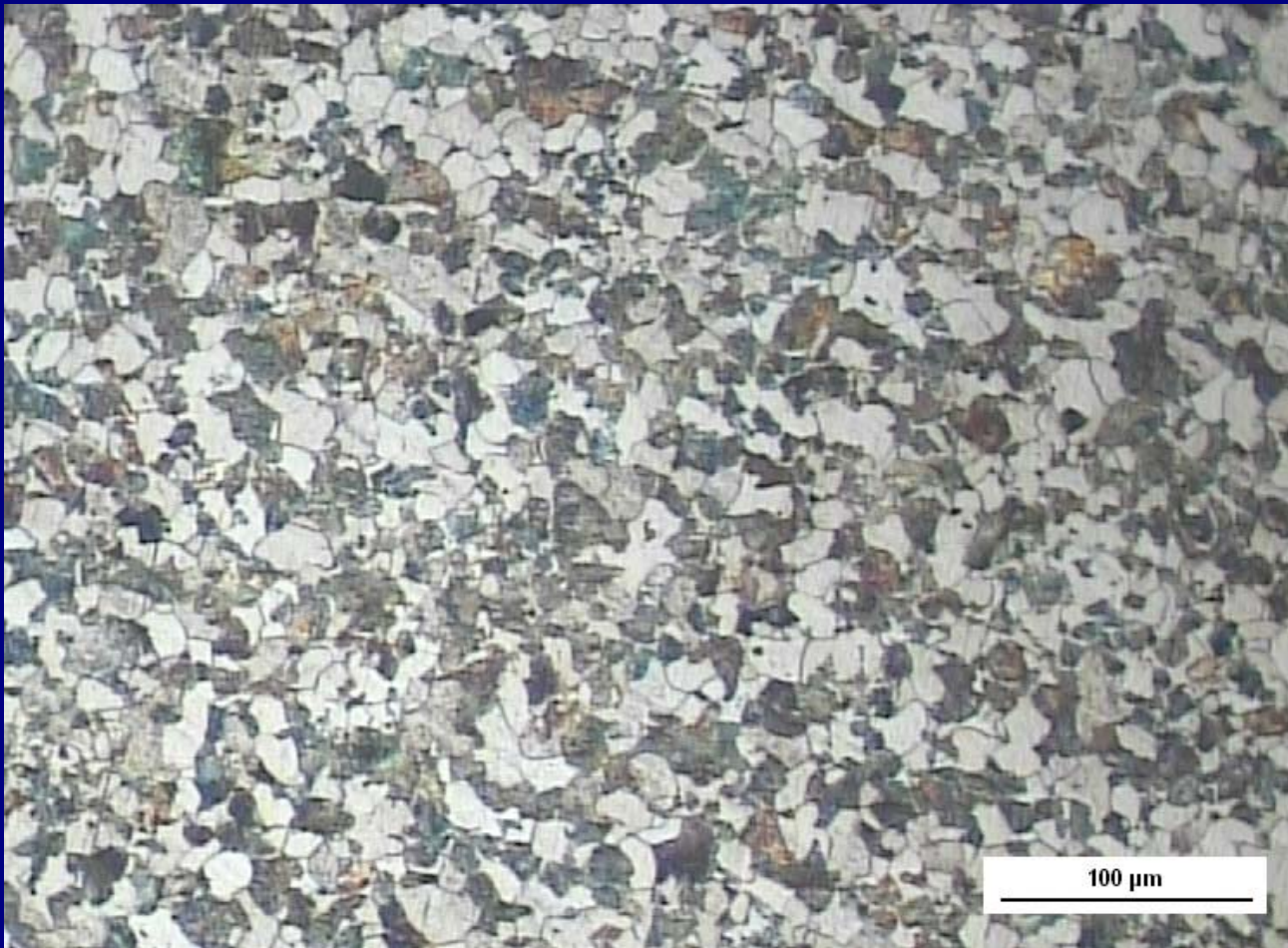
Esempi di strutture



16MnCrS5: ricottura isoterma

Ricottura isoterma

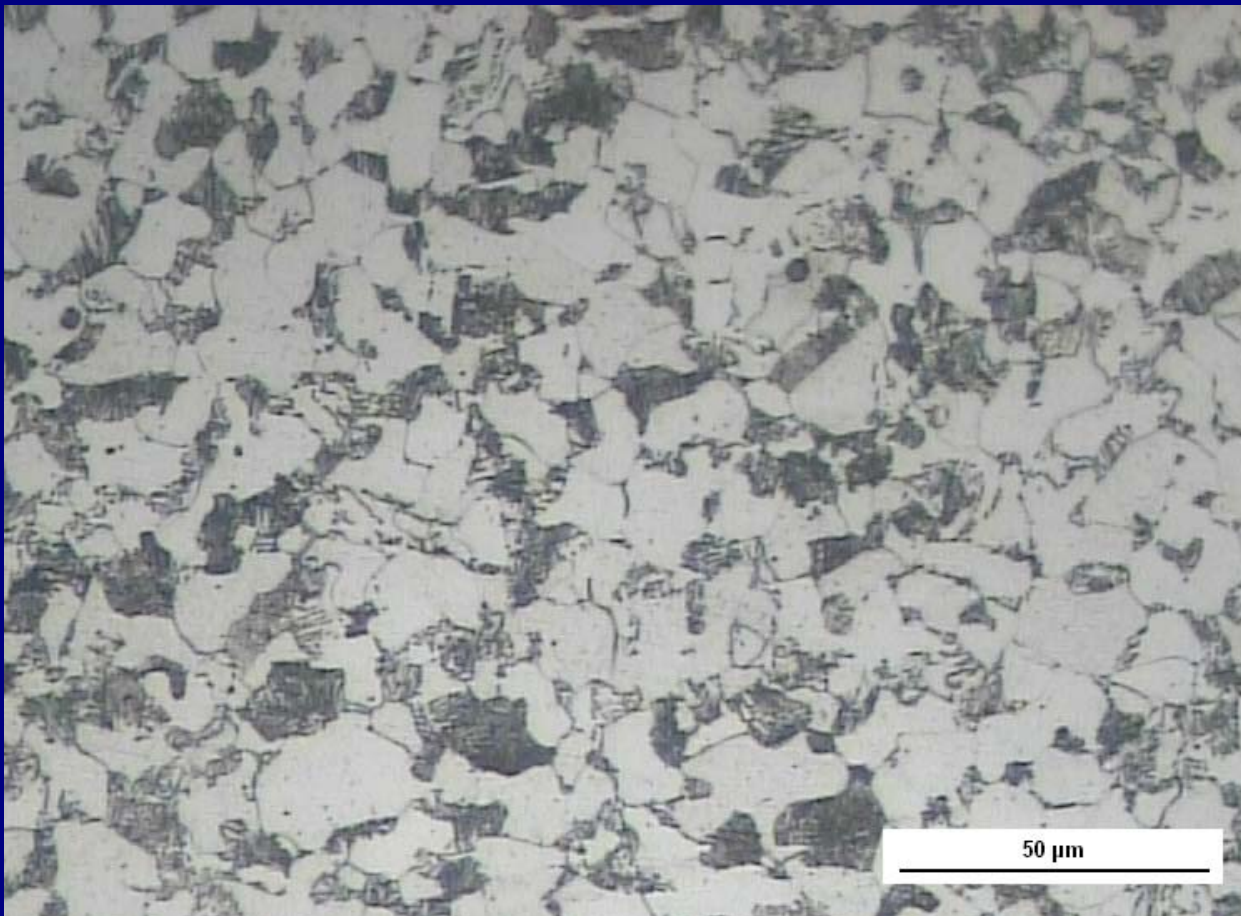
Esempi di strutture



16MnCrS5: ricottura isoterma

Ricottura isoterma

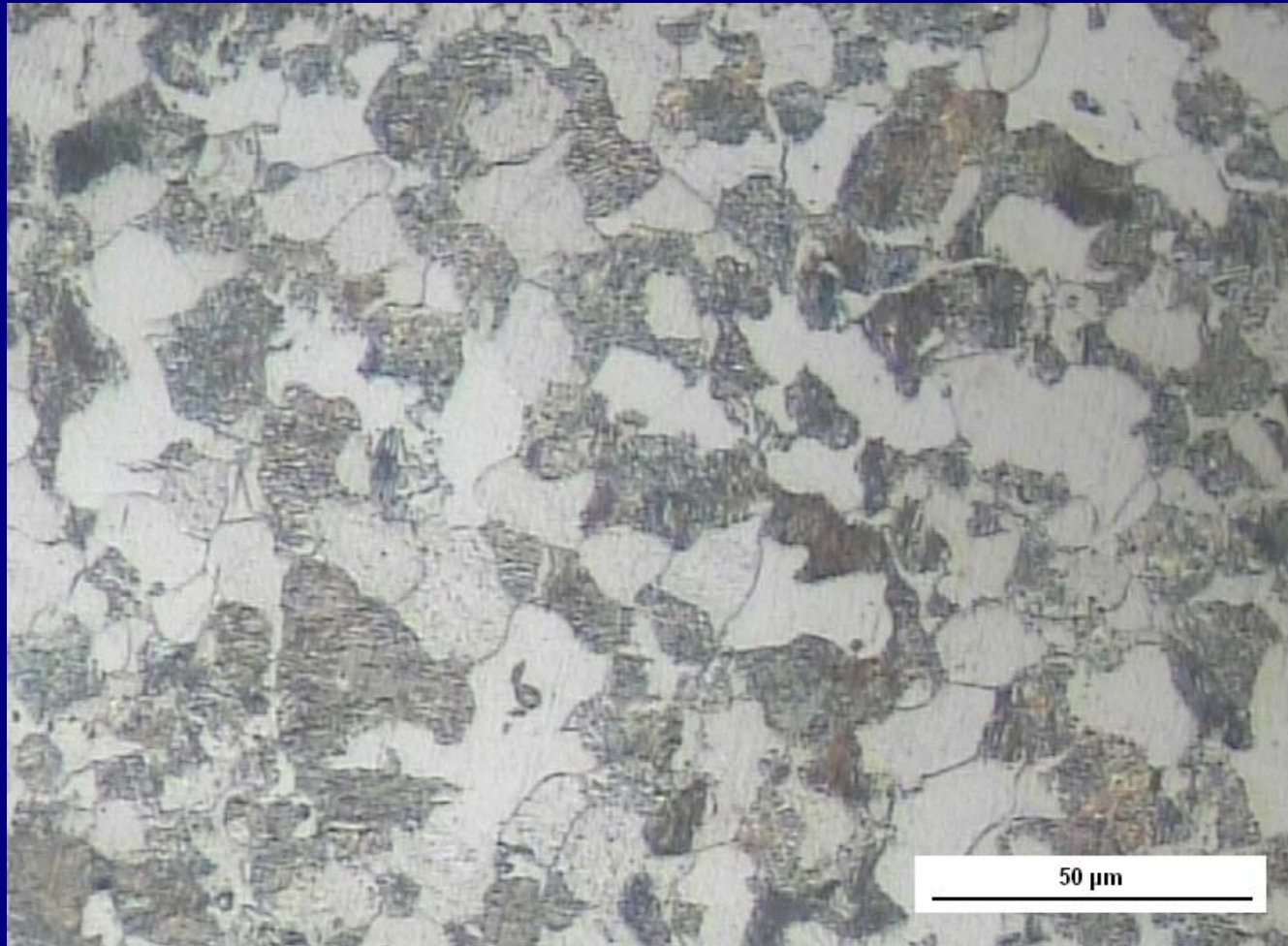
Esempi di strutture



16MnCrS5: ricottura isoterma

Ricottura isoterma

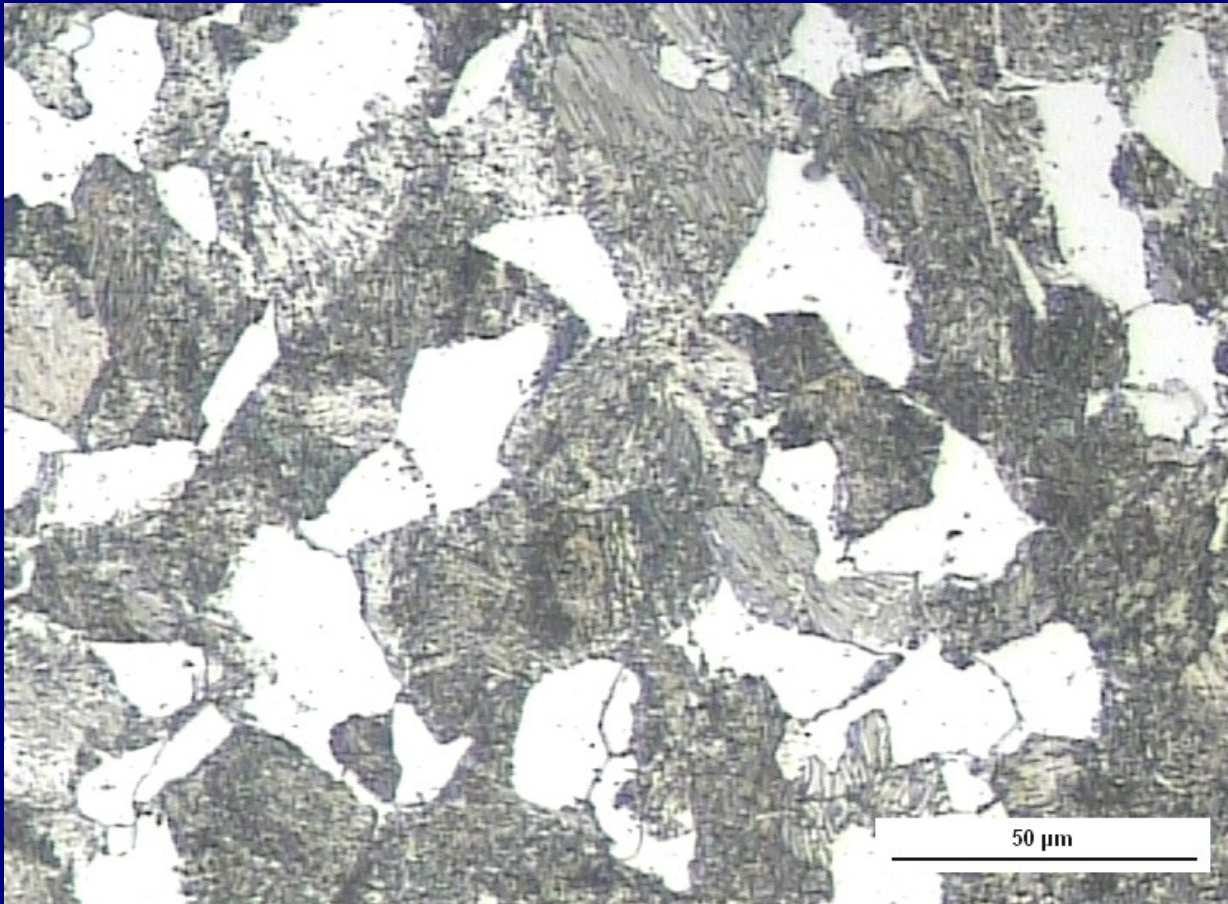
Esempi di strutture



16MnCrS5: ricottura isoterma

Ricottura isoterma

Esempi di strutture



42CrMoS4: ricottura isoterma

Ricottura isoterma “bianco e nero”



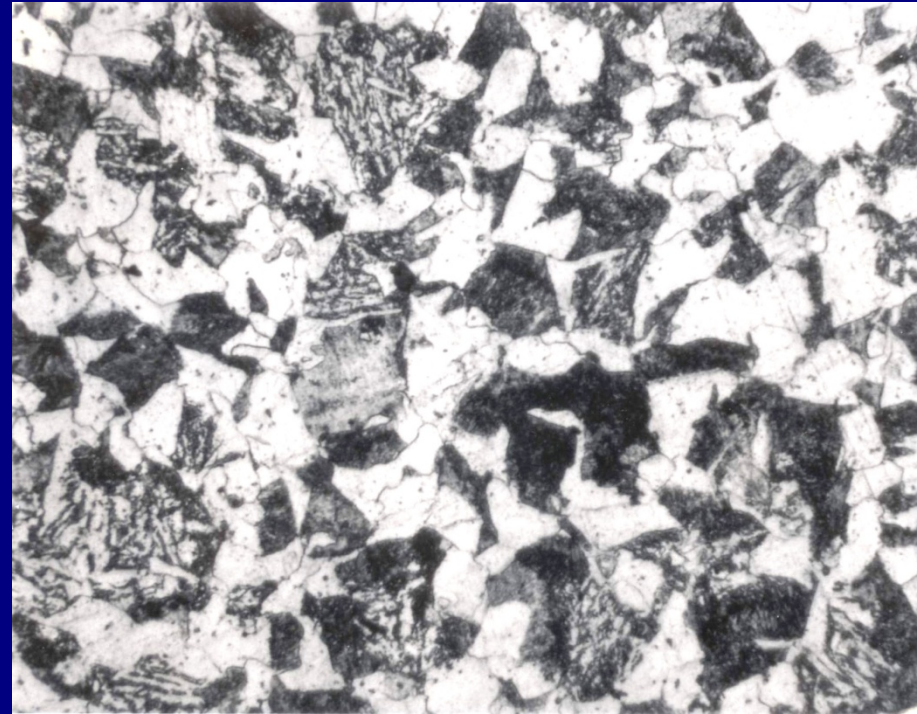
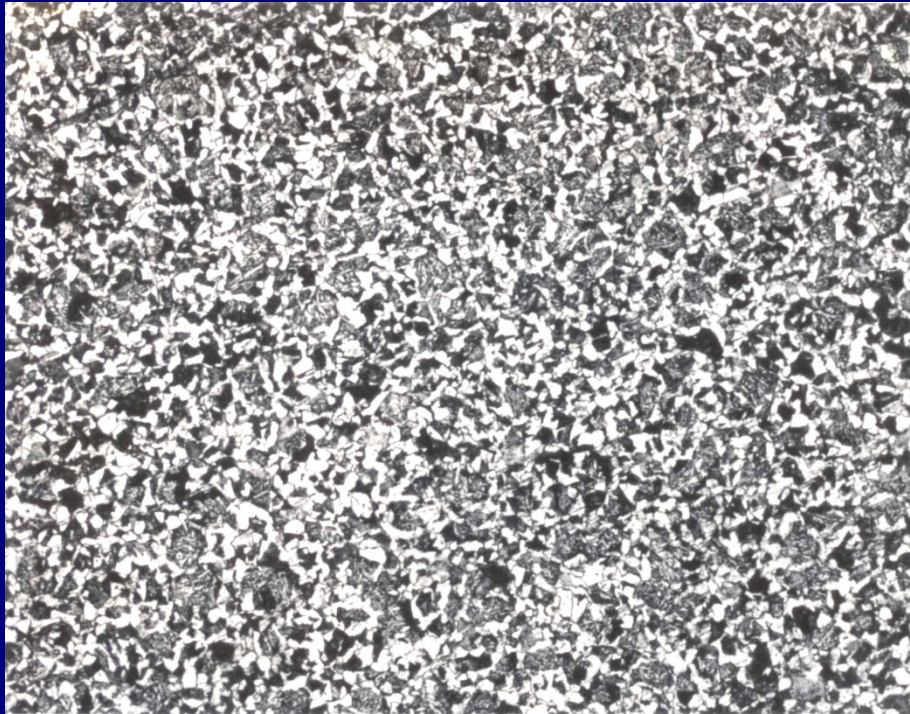
Obiettivi e strutture

- austenitizzazione a 1100°C
 - leggero ingrossamento del grano austenitico
- struttura leggermente infragilita
- ottima lavorabilità all'utensile
- **strutture:** ferrite e perlite lamellare a blocchi grossi e ben separati

Ricottura isoterma “bianco e nero”



Esempio di struttura



16MnCr5: ricottura bianco e nero



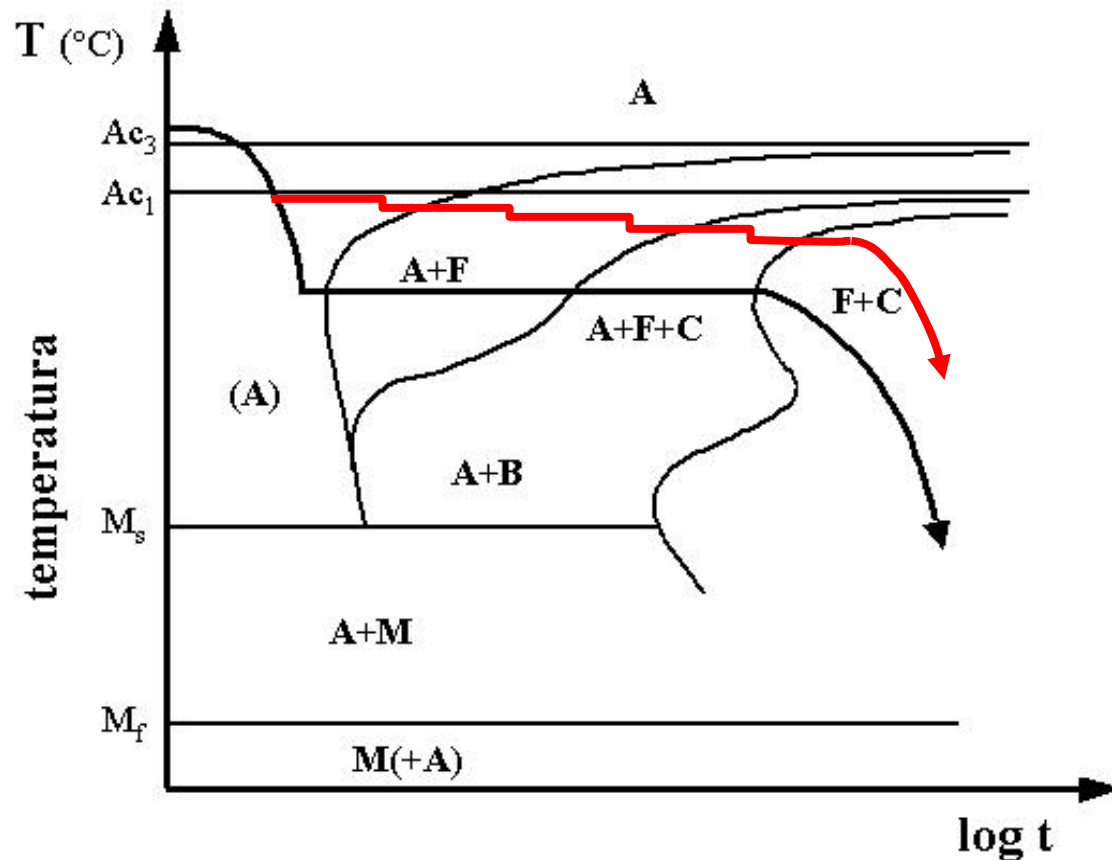
Ricottura isoterma globulare

Obiettivi e strutture

- se fatta secondo la teoria richiederebbe:
 - intervalli di temperatura molto ristretti
 - tempi troppo lunghi
- in pratica
 - austenitizzazione intorno ad A_{c_3} (o tra A_{c_1} e A_{c_3})
 - mantenimento
 - raffreddamento a gradini di 5-15°C fino a 650°C
- **struttura:** ferrite e perlite globulare in grani omogenei

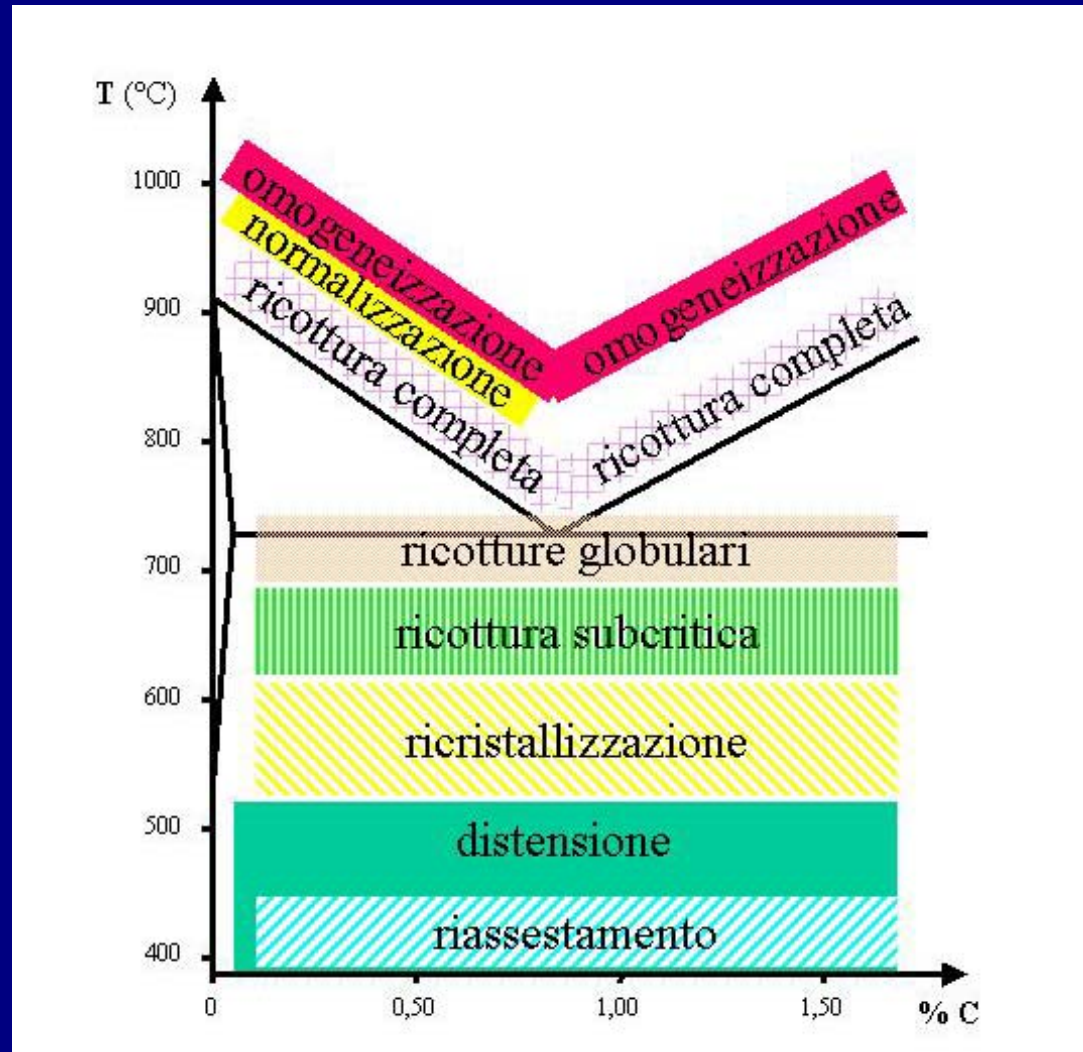
Ricottura isoterma globulare

Obiettivi e strutture



Temperature di ricottura

Schema generale



Restaurazione (o riassetamento)

Definizione

Secondo UNI EN 10052:

- *“Trattamento termico avente per scopo di provocare il ripristino, almeno parziale, delle proprietà fisiche o meccaniche di un prodotto ferroso incrudito senza modifica apparente della sua struttura. Viene effettuato ad una temperatura minore di quella del trattamento di ricristallizzazione. ”*

Restaurazione (o riassetamento)

Obiettivi e strutture

■ Obiettivi:

- utilizzabile per acciai incruditi o deformati a freddo con riscaldamento a basse temperature
- si recuperano le caratteristiche fisiche alterate dalla deformazione
 - conducibilità elettrica, resistenza alla corrosione
- non si modificano le caratteristiche meccaniche

■ Strutture:

- quelle di partenza
- nessuna variazione al microscopio ottico

Ricristallizzazione

Definizione

Secondo UNI EN 10052:

- *“Trattamento termico avente per scopo di provocare, senza cambiamento di fase, lo sviluppo, mediante germinazione e crescita, di nuovi grani in un metallo incrudito”*



Ricristallizzazione

Ciclo termico

- riscaldamento subcritico a temperature più alte della restaurazione (circa 680°C)
- non prevista austenitizzazione
- nucleazione ed accrescimento di nuovi grani
- permanenza 5-10 h
- raffreddamento in forno per evitare tensioni

Ricristallizzazione

Meccanismi

- la genesi dei nuovi cristalli è facilitata dall'incrudimento
 - i punti di tensionamento sono instabili
 - costituiscono i punti di nucleazione dei nuovi grani
- la ricristallizzazione avviene a temperature più basse
 - se i materiali sono fortemente incruditi
 - se le permanenze sono molto lunghe
- a pari temperatura il grano finale
 - è più piccolo per materiali più incruditi
 - i nuovi grani nucleano in più punti contemporaneamente
 - è più grande per materiali poco incruditi
 - ci sono pochi punti di nucleazione

Ricristallizzazione

Anomalie

- per acciai dolci da stampaggio
 - e per altri acciai destinati alla deformazione a freddo
- esiste un intervallo critico di deformazione
 - circa il 10% del rapporto percentuale tra sezione iniziale e finale
- per trattamenti a 700 – 750°C
- si ha una ricristallizzazione con “esplosione” delle dimensioni del grano
- la dimensione abnorme del grano si evidenzia dopo stampaggio
- e produce la tipica superficie rugosa denominata "buccia d'arancia"
 - viteria in acciaio dolce, lamierini da profondo stampaggio

Ricristallizzazione

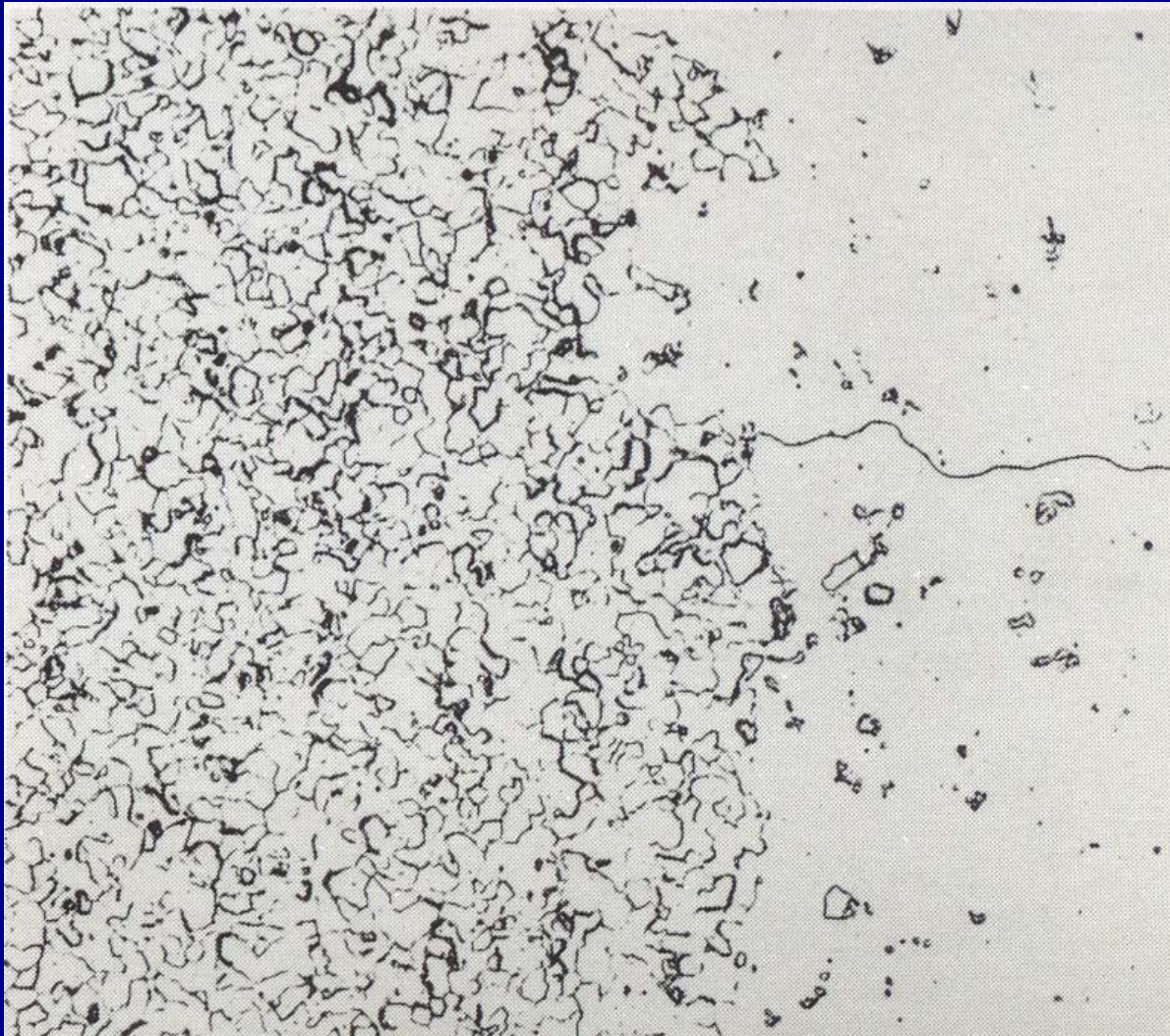
Strutture



acciaio inossidabile
ferritico AISI 430:
grano anomalo dovuto
ad errore nel
trattamento di
ricristallizzazione che ha
seguito una trafilatura
nell'intervallo critico.

Ricristallizzazione

Strutture

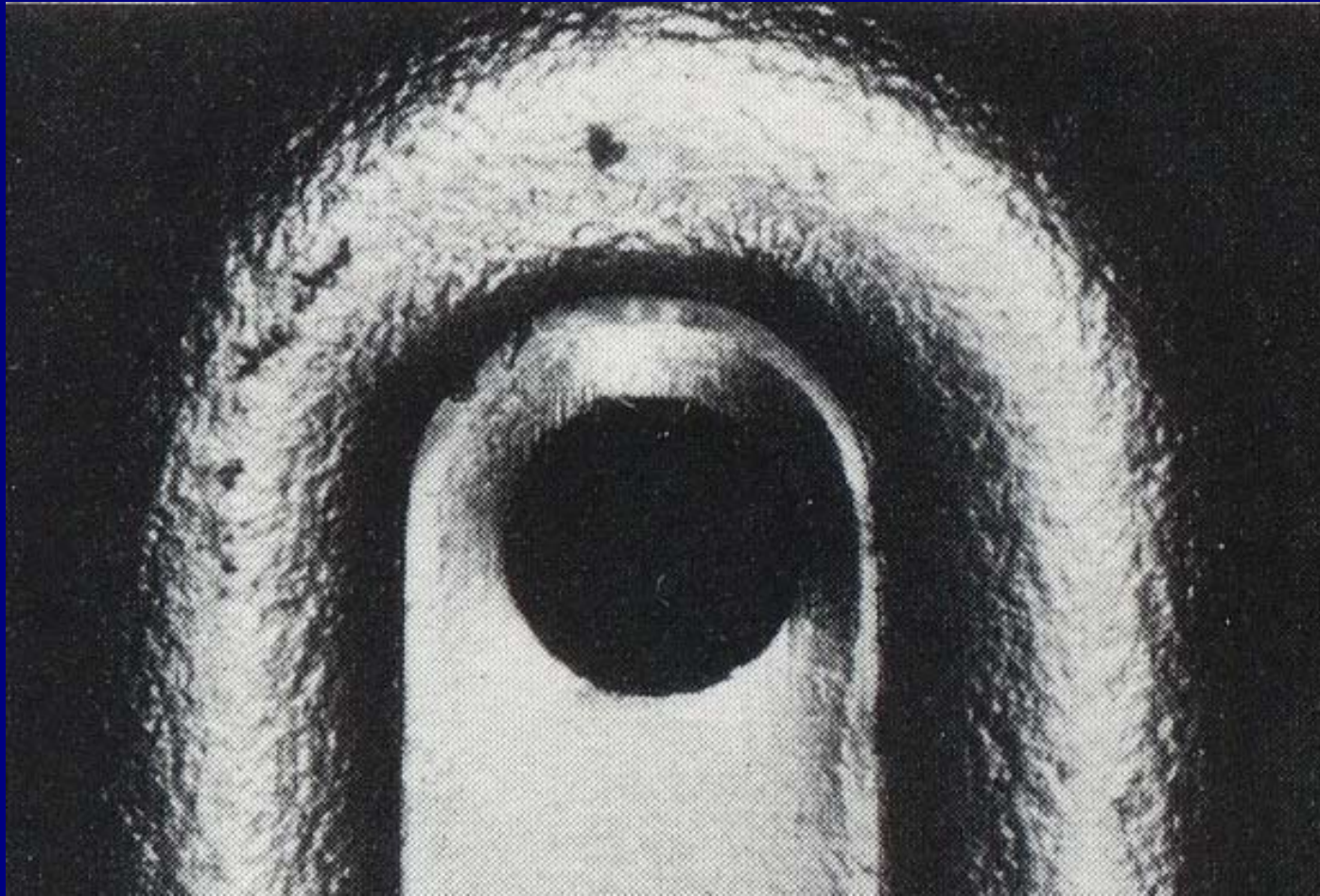


C10:

grano anomalo dovuto
ad errore nel
trattamento di
ricristallizzazione che ha
seguito una trafilatura
nell'intervallo critico.

Ricristallizzazione

Strutture



filo trafilato in acciaio C10:
tipica superficie a buccia d'arancia dopo la deformazione a freddo

Distensione

Definizione

Secondo UNI EN 10052:

- *“Trattamento termico che comporta un riscaldamento ed una permanenza ad una temperatura sufficiente, seguito da un raffreddamento appropriato, allo scopo di diminuire le tensioni interne, senza modificare sensibilmente la struttura ”*

Distensione

Ciclo termico

- riscaldamento circa 30°C sotto A_{c1} o sotto la temperatura di rinvenimento per i bonificati
- permanenza anche breve
(per sicurezza almeno 2 h)
- raffreddamento lento in forno fino ad almeno 350°C per evitare ulteriori tensioni dovute a disomogeneità di temperature

Distensione

Obiettivi e meccanismo

Obiettivi

- ridurre le tensioni interne dovute a:
 - deformazioni plastiche a freddo, lavorazioni meccaniche e saldature, trattamenti termici drastici
- evitare quindi deformazioni nelle successive lavorazioni
 - torniture, tempre, cementazioni, nitrurazioni

Meccanismo

- σ_s diminuisce all'aumentare della temperatura fino al valore delle tensioni interne, che si rilasciano istantaneamente con micro-deformazioni plastiche localizzate

Omogeneizzazione

Definizione

Secondo UNI EN 10052:

- *“Ricottura a temperatura elevata, di durata sufficiente, destinata a ridurre più o meno, mediante diffusione, le eterogeneità di composizione chimica dovute al fenomeno della segregazione”*
- Le segregazioni che si formano durante la solidificazione possono essere molto dannose per i prodotti finali: a volte conviene attenuarle.

Omogeneizzazione

Possibilità di riuscita

- Le possibilità di riuscita del trattamento dipendono da:
 - elemento segregato e suo coefficiente di diffusione alla temperatura scelta
 - distanze interdendritiche da superare
 - differenze di concentrazione
 - tempi e temperature compatibili con costi e materiali
- in pratica solo il carbonio diffonde sufficientemente

Deidrogenazione

Definizione

- Secondo UNI EN 10052:
- *“Trattamento termico che consente l’eliminazione dell’idrogeno occluso in un prodotto ferroso senza modificarne la struttura. Si effettua in particolare dopo una operazione di rivestimento elettrolitico oppure dopo una operazione di decapaggio o di saldatura”*

Deidrogenazione

Motivazioni

- può essere necessaria dopo che il prodotto è stato a contatto con idrogeno atomico
 - bagni galvanici di zincatura, bagni di decapaggio ecc.
- l'idrogeno atomico
 - penetra facilmente negli strati superficiali
 - si combina in forma molecolare
 - genera tensioni localizzate e fragilità
 - esempi: impossibilità di deformare ghiera zincate o di trafilare acciai decapati a causa di rotture fragili

Deidrogenazione

Operatività

- effettuare a bassa temperatura
 - non deve modificare la struttura
 - il rivestimento elettrolitico deve rimanere intatto
 - solitamente 180 – 200°C
- mantenimento: anche breve
 - l'idrogeno si muove abbastanza facilmente ed è solo in pelle
 - possono bastare 2-4 ore
- avviene in tempi lunghi anche spontaneamente
 - settimane/mesi secondo le condizioni climatiche
- non occorrono protezioni né accorgimenti particolari
 - la temperatura di trattamento è bassa
 - sui pezzi zincati si possono formare aloni di decolorazione

L'idrogeno negli acciai

- nell'acciaio c'è anche idrogeno proveniente dalla colata
- allo stato atomico è interstiziale, allo stato molecolare si localizza in dislocazioni, inclusioni e segregazioni
- è poco solubile nella ferrite, molto di più nella austenite
 - nessun problema per acciai austenitici
- la solubilità decresce per temperature basse
- gli eccessi non solubili
 - se sono in pelle, diffondono alla superficie
 - se sono all'interno, possono sviluppare pressioni tali da superare la forza di coesione dell'acciaio

I fiocchi

- i *fiocchi* sono aree quasi-circolari, brillanti e cristalline, originate dalla decoesione della matrice senza deformazioni sensibili
- si formano al raffreddamento tra 300 e 100°C
- si saldano in successive deformazioni a caldo
 - se la riduzione è sufficiente
 - perché non sono ossidati

L'idrogeno negli acciai

- tenori indicativi di H:
 - acciai da forno elettrico: ppm 4-8
 - acciai degasati: ppm 2 max
- importante anche la distribuzione dell'H negli acciai fortemente segregati:
 - l'idrogeno si concentra in aree limitate
 - i fiocchi si formano anche con basso H
- maggiore pericolosità per acciai ad elevata resistenza, ad alto C e per acciai legati
 - Mn – Ni – Cr – Mo

Deidrogenazione antifiocco

- è un tipo di ricottura non contemplato dalla EN 10052
- è utile per fucinati di grandi dimensioni
 - non è necessaria su prodotti di piccole dimensioni
- viene effettuata con modalità personalizzate
 - derivanti da proprie esperienze
- tipicamente:
 - dopo fucinatura si raffredda lentamente per fare uscire l'idrogeno dall'austenite
 - prima di arrivare a 300°C (per non trasformare in martensite né formare fiocchi) si scalda attorno a 650°C
 - si mantiene per un tempo lungo, funzione del tenore di H di colata e dello spessore del pezzo
 - eventualmente si fa una normalizzazione finale



Patentamento

Premessa

- gli acciai eutettoidi mostrano un fenomeno di incrudimento molto marcato
 - incrudimento = aumento della resistenza in funzione delle deformazioni a freddo subite
- per alcune applicazioni è necessario innalzare molto il limite di snervamento mediante trafilature molto spinte
- è necessaria una duttilità elevatissima che si può ottenere con un trattamento di patentamento



Patentamento

Ciclo termico e struttura

- austenitizzazione poco sopra A_{c3}
- raffreddamento rapido fino a temperatura di trasformazione
 - circa 500°C
 - poco al di sotto del naso perlitico
 - o con aria soffiata o sali fusi (in passato in Pb fuso)
- mantenimento isotermico fino a fine trasformazione
- struttura: perlite lamellare finissima
 - con lamelle molto corte (“esplosa”)
 - non risolubile al microscopio ottico
 - era denominata “troostite”
 - quando non si capiva che era comunque perlite
 - grandi caratteristiche di duttilità

Patentamento

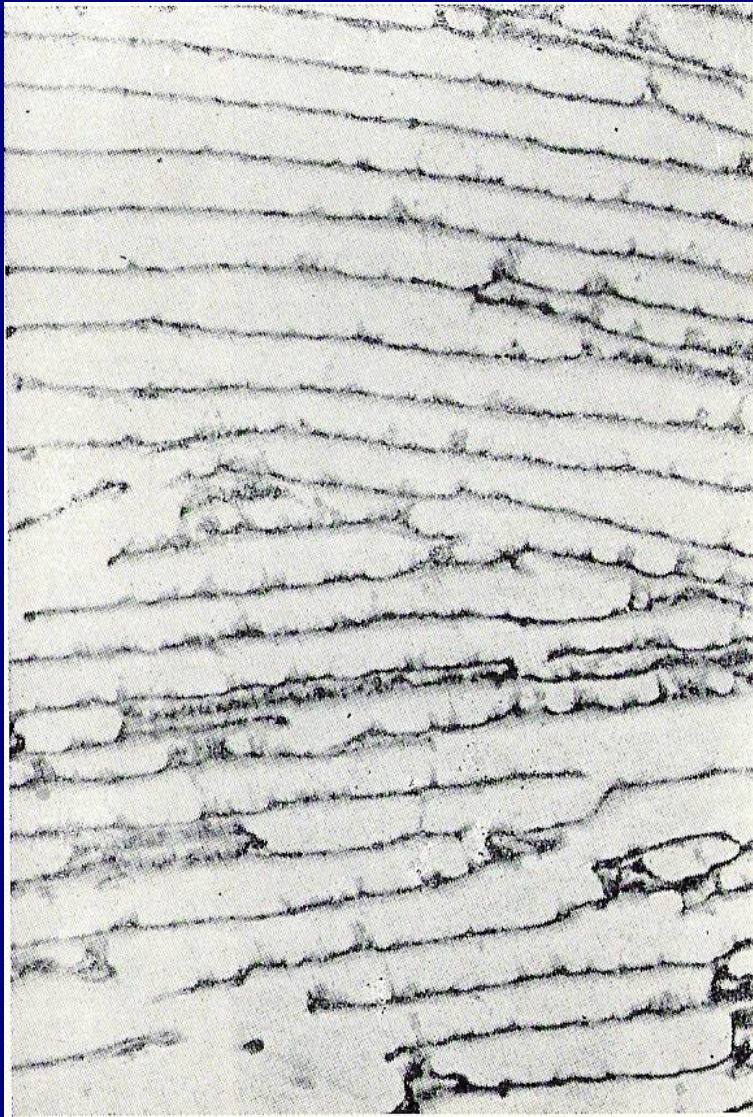
Ciclo termico e struttura



C80 patentato
microscopio ottico
lamelle perlitiche non risolubili

Patentamento

Ciclo termico e struttura



C80 patentato
microscopio elettronico
lamelle perlitiche