

Classificazione degli acciai

UNI EN 10027

Gruppo 2

Acciai designati in base alla loro composizione chimica

- Acciai non legati con $Mn < 1\%$

C + numero pari a 100 volte la % di Carbonio

- Acciai non legati con $Mn \geq 1\%$

e Acciai legati il cui tenore in massa di ciascun elemento è $< 5\%$

Numero pari a 100 volte la % di Carbonio

Simboli chimici indicanti gli elementi in lega

Numeri indicanti la % degli elementi in lega in ordine decrescente moltiplicati per un fattore caratteristico

3

Classificazione degli acciai

UNI EN 10027

Gruppo 2

Acciai designati in base alla loro composizione chimica

- Acciai legati il cui tenore in massa di almeno 1 elemento è $\geq 5\%$

Lettera X + numero pari a 100 volte la % di Carbonio

Simboli chimici indicanti gli elementi in lega

Numeri indicanti la % degli elementi in lega in ordine decrescente

- Acciai rapidi

Lettere HS

Numeri indicanti la % degli elementi in lega, riportati nel seguente ordine: W, Mo, V, Co

4

Classificazione degli acciai in base alle applicazioni

- Acciai da costruzione di uso generale
- Acciai speciali da costruzione
- Acciai speciali per cuscinetti
- Acciai per utensili
- Acciai inossidabili
- Acciai maraging
- Acciai al 13% di manganese

5

Classificazione degli acciai in base alle applicazioni

• Acciai da costruzione di uso generale	di base di qualità
• Acciai speciali da costruzione	da bonifica autotemperanti da cementazione da nitrurazione per molle
• Acciai speciali per cuscinetti	
• Acciai per utensili	rapidi per lavorazioni a caldo per lavorazioni a freddo

6

Classificazione degli acciai in base alle applicazioni

- Acciai inossidabili
 - austenitici
 - ferritici
 - duplex
 - martensitici
 - indurenti per precipitazione
- Acciai maraging
- Acciai al 13% di manganese

7

Acciai da costruzione di uso generale

Generalità

- **80%** della produzione globale dell'acciaio
- **basso costo** (non legati o microlegati)
- maggiori progressi per gli acciai di qualità negli ultimi 20 anni rispetto agli acciai speciali
- devono resistere ai carichi senza deformarsi (appartengono al I° della designazione UNI EN 10027)
- in opera allo stato grezzo di laminazione (o normalizzazione)
- devono essere **saldabili** (no trattamenti termici post saldatura) (basso CE)
- effervescenti o calmati

8

Acciai da costruzione di uso generale

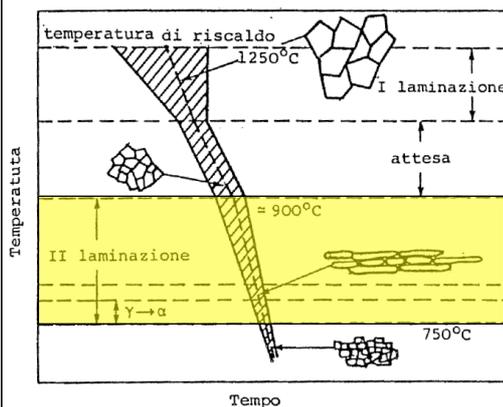
di qualità

- Microleganti
 - Rafforzamento per precipitazione (Nb, V, Ti)
 - Normalizzazione
 - Laminazione controllata
 - **Grana fine**
 - Aggiunte di Zr, Ca e Ce ("sferoidizzare" le inclusioni)
 - Carichi di rottura da 560 fino a circa 1000 MPa
 - Temperature di transizione duttile-fragile: **-80°C**
-
- Acciai Cor-Ten (Cr, Cu, Ni: resistenza corrosione atmosferica)
 - Acciai da profondo stampaggio (ferritici ($C < 0.06\% + Mn$) o ferritico-martensitici)
 - Acciai HSLA

1. Riduzione degli spessori (alleggerimento delle strutture, minore consumo energetico e impatto ambientale)
2. No trattamenti termici costosi come negli acciai speciali
3. Minore costo dell'acciaio per la sola presenza di microleganti

9

Laminazione controllata



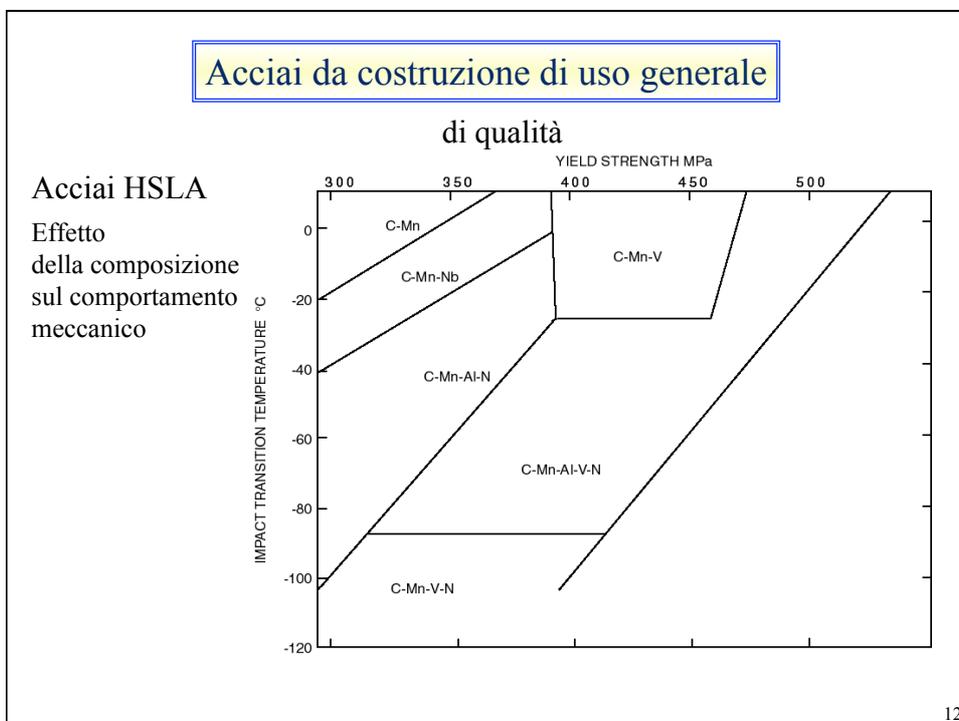
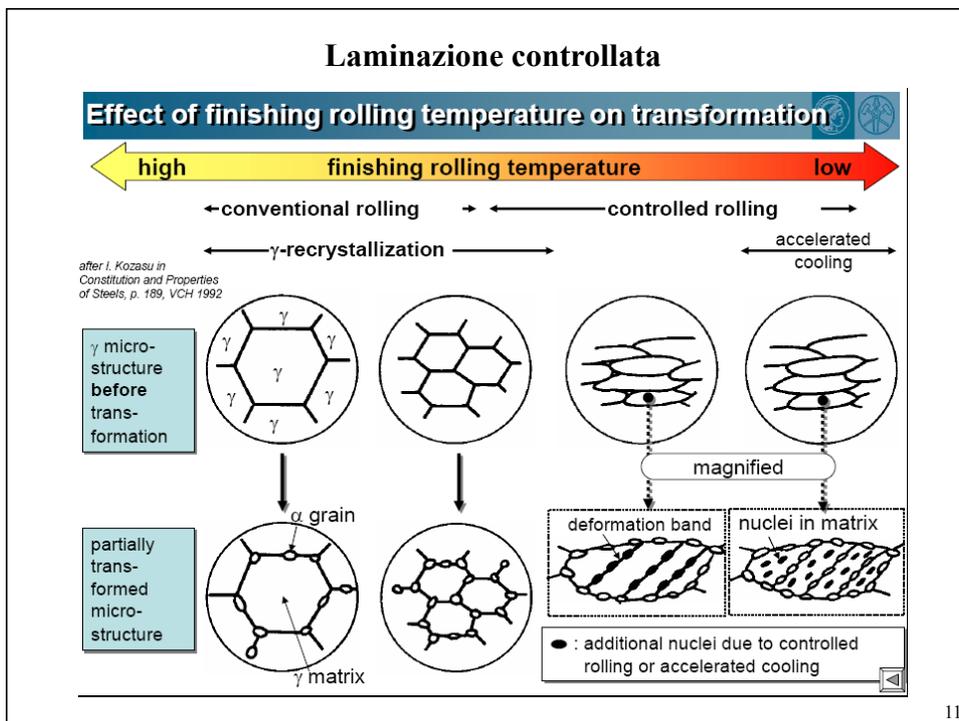
Austenitizzazione e solubilizzazione della bramma a 1250 °C

I laminazione: ricristallizzazione dell'austenite, $s = 5s_{\text{finale}}$

Attesa fino a 900 °C

II laminazione tra i 900 e i 750 °C (riduzione dello spessore, in più passate, dell'80% circa) – precipitazione di **carbonitruri di Nb**: ostacolo della ricristallizzazione, grani allungati, alta superficie di bordo grano, numerosi centri di nucleazione per la ferrite

10



Acciai speciali da costruzione

Generalità

- Acciai calmati
- Al solo carbonio o debolmente legati
- In opera dopo trattamento termico di tempra e opportuno rinvenimento

13

Acciai speciali da costruzione

Acciai da bonifica

Proprietà fondamentale: **temprabilità** con i normali mezzi di tempra (acqua, olio ecc...)

- Tempra + rinvenimento (a circa 600°C)
- Struttura di martensite rinvenuta: resistenza/tenacità
- **Costruzione di componenti meccanici** (alberi, assi, ecc.)
- Carbonio: tra 0.22 e 0.65%
- Eventuali **elementi in lega**: Cr, Ni, Mn, Mo, V
- Carichi di rottura da 540 fino a circa 980 MPa (al Carbonio)
- Carichi di rottura da 830 fino a circa 1420 MPa (legati)

Esempi: C45
39NiCrMo3

14

Acciai speciali da costruzione

Acciai da bonifica

Acciaio	Normalizzazione °C	Ricottura di lavorabilità °C	Tempra	
			In acqua °C	In olio °C
C 25	870-900	650-700	860-880	-
C 30	860-890	650-700	850-870	-
C 35	860-890	650-700	840-860	-
C 40	840-870	650-700	830-850	-
C 45	840-870	650-700	820-840	-
C 50	840-870	650-700	-	830-850
C 55	830-860	650-700	-	825-845
C 60	820-850	650-700	-	820-840
41 Cr 4	850-880	680-720	-	840-860
51 CrV 4	840-880	680-720	-	820-860
25 CrMo 4	860-890	680-720	-	850-870
34 CrMo 4	850-890	680-720	830-870	830-870
42 CrMo 4	840-880	680-720	820-860	820-860
50 CrMo 4	840-880	680-720	-	820-860
30 CrNiMo 8	850-880	650-700	-	830-860
34 CrNiMo 6	850-880	650-700	-	830-860
36 CrNiMo 4	850-880	650-700	820-850	820-850
36 NiCrMo 16	840-870	640-680	-	810-830

15

Acciai speciali da costruzione

Acciai autotemperanti

- **Struttura martensitica dopo raffreddamento in aria calma** (presenza di elementi in lega in tenori relativamente elevati)
- Rinvenimento a 600°C ==> tenacità
- Rinvenimento a 200°C ==> resistenza (fino a 2000 MPa)
- Ingranaggi di grandi dimensioni, stampi per lavorazionario a caldo, aste, ecc.

Esempio: 34NiCrMo16

16

Acciai speciali da costruzione

Acciai per molle

Caratteristiche fondamentali:

1. Elevato limite elastico
2. Elevato limite di fatica
3. Grana fine (Al = 0.02 -0.04%: alta tenacità e resistenza a fatica)

$$L_e = \int_0^{\epsilon_s} \sigma \cdot d\epsilon = \frac{1}{2} \frac{\sigma_s^2}{E}$$

- Elevato limite di elasticità
 - **incrudimento** per deformazione plastica a freddo (**C85**)
(filo armonico, R= 2000 MPa)
 - tempra + **rinvenimento (a 400-450 °C)**
di acciai a medio C (51CrMoV4) L'elemento caratterizzante è il **Si** che ne aumenta il limite di snervamento
- Formatura in genere a freddo
- Formatura a caldo per molle di grosse dimensioni

17

Acciai speciali da costruzione

Acciai per molle

Accorgimenti per la resistenza a fatica:

1. Migliorare la finitura superficiale
2. Indurire la superficie (es: pallinatura, aumento del L_f del 40%)
3. Evitare decarburazione superficiale
4. Controllo del contenuto e soprattutto forma e posizione delle inclusioni (se in superficie, è molto pericolosa)
5. Nella formatura a caldo attenzione agli intagli superficiali.

18

Acciai speciali per cuscinetti

Caratteristiche fondamentali:

1. Resistenza all'**usura**
2. Elevata durezza senza però essere fragile
3. Elevata resistenza a **fatica**

*Rigorous control
of the production
cycle*

- Elevata resistenza all'usura - elevata durezza
- **Alto tenore di C**
- **Controllo degli altri elementi in lega** entro limiti ristrettissimi
- assenza di elementi metallici non desiderati
- **Contenimento severissimo di inclusioni**, gas disciolti, porosità, difetti metallurgici (**degasaggio sotto vuoto**)
- Tempra + **rinvenimento (150°C)**
- Limite di fatica: circa 800 MPa

Esempio: 100Cr6

19

Acciai speciali per cuscinetti

Trattamenti termici

Ricottura di globulizzazione (a causa di un alto tenore di C e della necessità di una lavorazione meccanica di grande precisione, piccolissime tolleranze dimensionali)

Tempra

Rinvenimento a 150-180 °C (No austenite residua!!!)

20

Acciai speciali per utensili

Materiali per utensili: **metallici (acciai)** o **non metallici (ceramici)**

Acciai al C e legati utilizzati per la produzione di utensili da taglio, di matrici, e di strumenti di misura.

Caratteristiche essenziali:

- **alta durezza a caldo (matensite dura: elevato tenore di C)**
- **alta durezza a freddo**
- elevata capacità di taglio
- insensibilità all'addolcimento per rinvenimento
- **buona resistenza all'usura**
- **Mancanza di fragilità (compromesso con la durezza)**
- indeformabilità nel trattamento termico
- alta penetrazione di tempra
- insensibilità alle fratture per oscillazioni termiche (**fatica termica**)

Gli acciai per utensili devono essere pertanto di altissima qualità.

21

Acciai speciali per utensili

Caratteristiche essenziali:

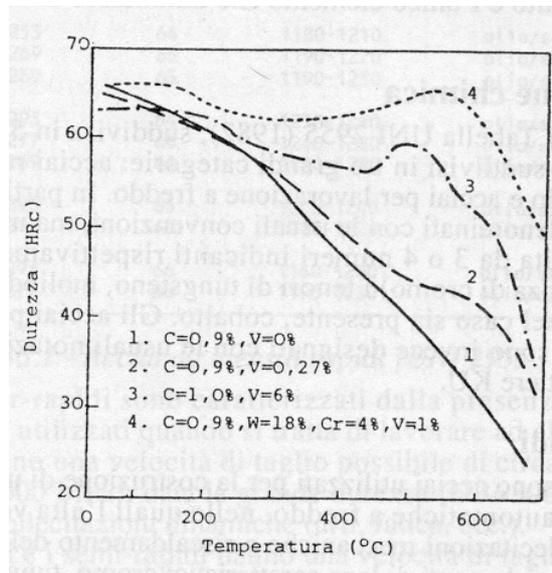
- **Resistenza agli shock termici** (particolarmente gravosi per questi acciai a causa della loro bassa conducibilità termica legata agli elementi in lega)
- **alta temprabilità**
- Lavorabilità (lavorazioni fatte su materiale ricotto)

Gli acciai per utensili devono essere pertanto di altissima qualità.

22

Acciai speciali per utensili

Influenza dei vari elementi in lega: dipende dalla facilità con cui si possono formare dei composti che diano particolari proprietà agli utensili.



23

Acciai speciali per utensili

Acciai per utensili: suddivisi in tre gruppi:

- acciai rapidi

- **super-rapidi** C Cr W V Mo **Co (5-10%)**:
40 m/min su un materiale con $R = 500 \text{ N/mm}^2$, (molto duri, no urti o fatica)
- rapidi senza Co: 30 m/min un materiale con $R = 500 \text{ N/mm}^2$,
più tenaci rispetto ai precedenti (presenza di urti e vibrazioni)
- semirapidi C 0,8 Cr W poco Mo V :
15 m/min un materiale con $R = 500 \text{ N/mm}^2$

-- acciai per lavorazione a caldo ($T > 200 \text{ °C}$) (alta tenacità: basso tenore di C ((0.25-0.61%))

-acciai per lavorazione a freddo ($T < 200 \text{ °C}$) (alta durezza: alto tenore di C)

24

Acciai speciali per utensili

Acciai rapidi

Austenitizzazione a T di 1230°C e 1290 °C (necessità di sciogliere tutti i carburi)

Rinvenimento fino a 400 °C (la regola è di **portarlo a temperature superiori a quelle previste dall'utensile**): addolcimento e quindi **durezza secondaria**.

Per togliere tutta l'A. R. bisognerebbe andare a T più elevate, ma ciò risulterebbe dannoso ai fini della durezza finale, per cui si eseguono più trattamenti (due o tre) con spegnimenti anche a $T < 0$ °C.

- Impiego in macchine utensili con alta velocità di taglio
- Elementi formatori di carburi (Cr, W, V)
- Acciai rapidi e semi-rapidi
- Acciai super-rapidi
- Cobalto

	C	Cr	W	Mo	V	Co	HRC
HS-18-0-1	0.78	4	18	-	1	-	63
HS-7-4-2-5	1.10	7	4	4	2	5	66

25

Acciai speciali per utensili

Acciai per lavorazioni a caldo

Tempra da 1140 °C con raffreddamento in olio

Il raffreddamento in aria conduce a strutture intermedie e l'acciaio presenta prima del rinvenimento una durezza inferiore a quella dell'acciaio raffreddato in olio.

Con un rinvenimento a circa 550 °C è possibile uniformare la durezza del pezzo.

A T superiore a 600 °C la durezza diminuisce indipendentemente dal rinvenimento.

26

Acciai speciali per utensili

Acciai per lavorazioni a caldo

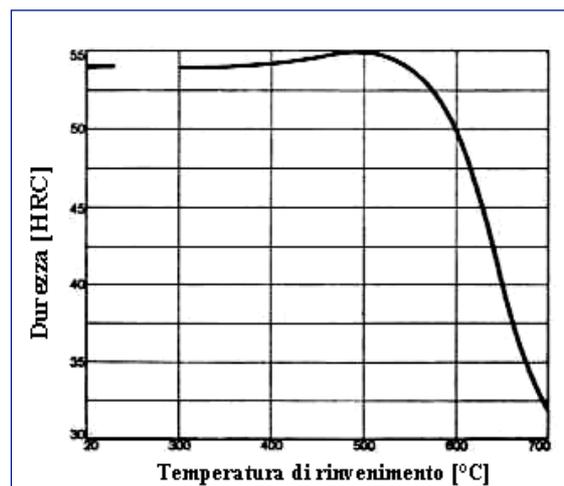
- Impiego per utensili soggetti a riscaldamento o al **contatto con metalli fusi** (stampi per pressocolata)
- **Durezza a caldo**, duttilità, **resistenza a shock** e **fatica termica**
- Resistenza all'ingrossamento del grano (Si: aumenta la resistenza al rinvenimento)
- Basso Carbonio (0.25-0.60)
- Nichel: duttilità
- W, V, Mo, Cr: durezza a caldo, e duttilità indiretta per utilizzo di mezzi tempranti meno drastici: minore rischi di microcricche

	C	Cr	W	Mo	V	Co	HRC
35CrMo8KU	0.35	2	-	0.5	-	-	30
X30WCrV93KU	0.30	3	9	-	0.4	-	48

27

Acciai speciali per utensili

Acciai per lavorazioni a caldo



Aumento della durezza all'aumentare della T di rinvenimento a causa della precipitazione dei carburi finemente dispersi (durezza secondaria)

28

Acciai speciali per utensili

Acciai per lavorazioni a freddo

- **Non devono essere rinvenuti ad alte T.**
- Vengono pertanto trattati a **150-250 °C**:
la scelta della T dipende dalla tenacità desiderata.
- Impiego per utensili non ad alta temperatura
- Durezza elevata (**alto tenore di C**) (**ipereutetoidici**)
- Scarsa resistenza al rinvenimento (fino a 200°C)

	C	Cr	W	Mo	V	Co	HRC
C120KU	1.20	-	-	-	-	-	62
55WCrV8KU	0.55	1	2	-	0.2	-	58
X205Cr12KU	2.05	12	-	-	(0.2)	-	62

29

Acciai maraging

- **Fe-Ni**, bassissimo tenore di C ($\leq 0.03\%$)
- Struttura martensitica,
indurita per precipitazione mediante invecchiamento
- **Elevatissima resistenza** (> 2000 MPa, alto Rs/R)
- **Eccellente tenacità**, buona **resistenza a fatica**
- **Costi elevati** (x5 acciai speciali)

Industria aeronautica (carrelli di atterraggio)

Parti di macchine utensili

							Ricotto	Invecchiato
	C _{max}	Ni	Co	Mo	Ti	Al	R (MPa)	R (MPa)
18Ni200	0.03	18	8.5	3.3	0.2	0.1	990	1450
18Ni250	0.03	18	8.0	4.8	0.4	0.1	1000	1730
18Ni300	0.03	18	9.0	5.0	0.6	0.1	1010	1920

30

Acciai al 13% di manganese

- **Struttura austenitica**
- Dopo tempra in acqua: tenacità e duttilità
- Capacità di indurirsi sotto l'azione di urti
- Resistenza all'usura in condizioni gravose
- Utilizzo fino a 200-250°C
- Mulini, macine, frantoi, ecc.
- Getti

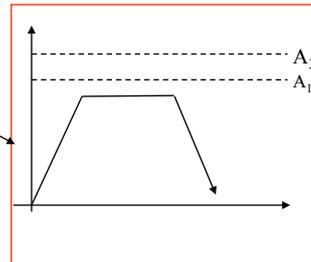
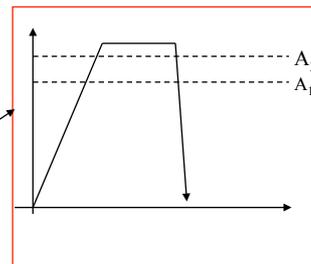
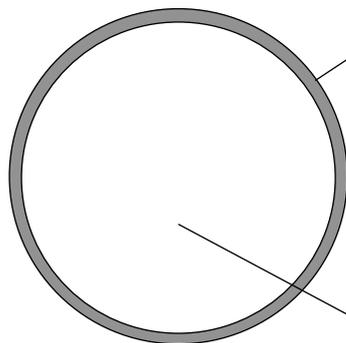
						Temprato		Incrudito	
C	Mn	Si _{max}	P _{max}	S _{max}	R (MPa)	R _s (MPa)	A (%)	HB	HB
1.0-1.3	10-14	1.0	0.1	0.05	900-1000	350-400	50-60	170-200	450-550

31

Trattamenti termici

I principi generali del trattamento termico per induzione

Perché vogliamo temperare solo la superficie?



32

Trattamenti termici
Tempra a induzione

Prima del trattamento è necessario che l'acciaio sia stato **trattato** per avere a cuore le prefissate proprietà (**BONIFICA** o anche **normalizzazione**)

↓

Brevi tempi di austenitizzazione... struttura fine di partenza (sorbite)!!!!

↓

Il substrato non deve avere grana grossa (pregiudica la **resistenza a fatica**): si possono tollerare piccole cricche superficiali perché bloccate dal substrato a grana fine

Si prestano ad essere temprati superficialmente acciai non legati contenenti 0.4-0.7% di C

33

Trattamenti termici
Tempra a induzione

Con la tempra a induzione posso utilizzare anche dei C30 per l'elevata velocità di riscaldamento di questo processo

↓

vantaggi

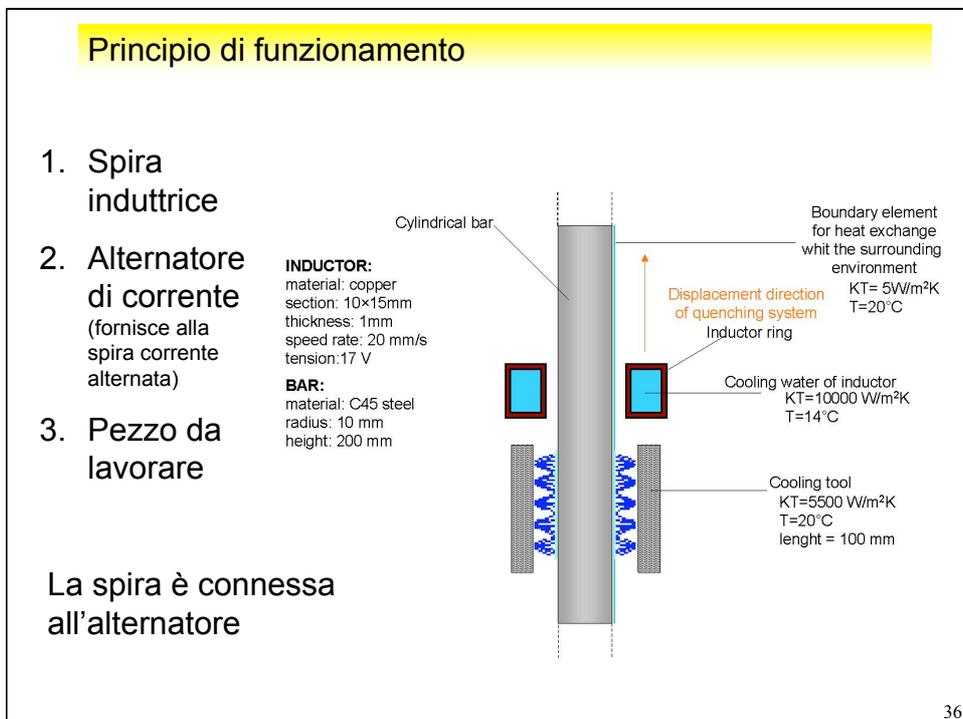
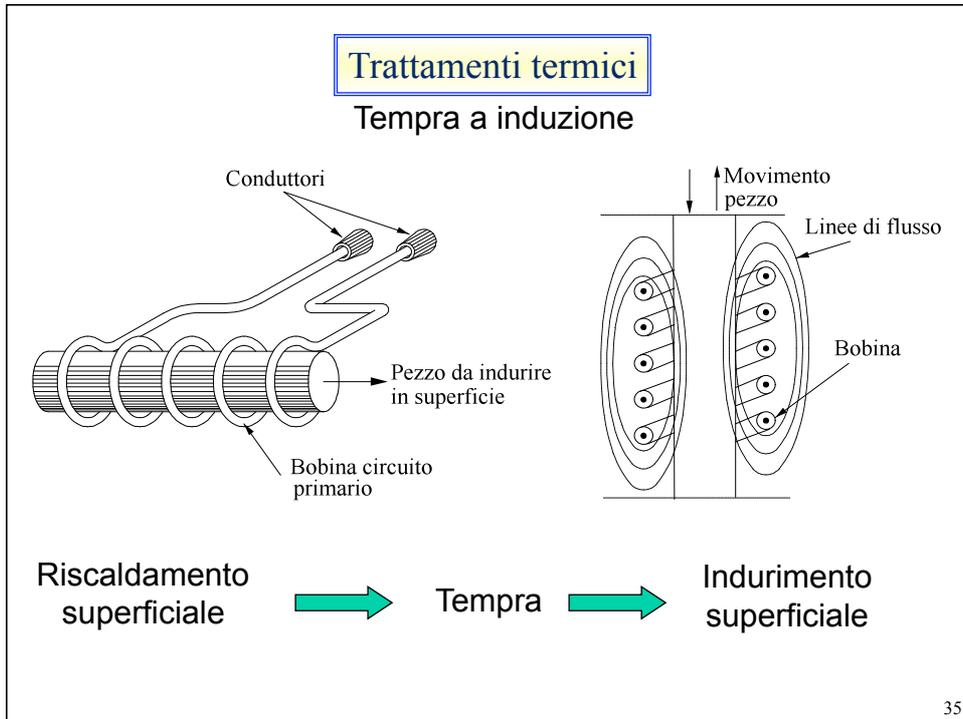
↓

Durante la bonifica ho meno rischi di cricche e minori distorsioni (martensite meno fragile)

Metodi:

- 1. Metodo Tocco** o ad induzione
- 2. Processo Shorter** (alla fiamma ossiacetilenica)

34



L'intensità del campo magnetico dipende dal numero di spire

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Potenziale indotto Numero di spire

37

'Skin effect' = le correnti indotte (fluendo in direzione contraria rispetto alla direzione della corrente percorsa nella spira) generano un campo magnetico che si oppone a quello della spira

↓

Riscaldamento solo della superficie

↓

Profondità di riferimento o profondità di penetrazione
 Profondità corrispondente al 37% (1/e) della densità di corrente rispetto al valore superficiale

Profondità di penetrazione

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu f}}$$

ρ resistività

Permeabilità magnetica nel vuoto

Permeabilità magnetica nel pezzo

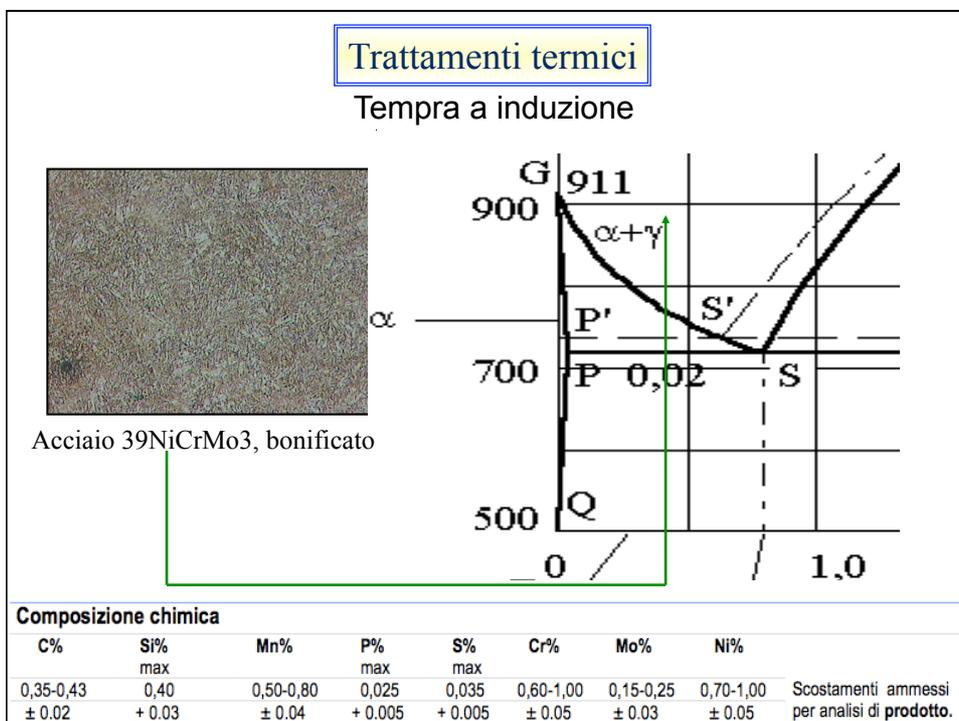
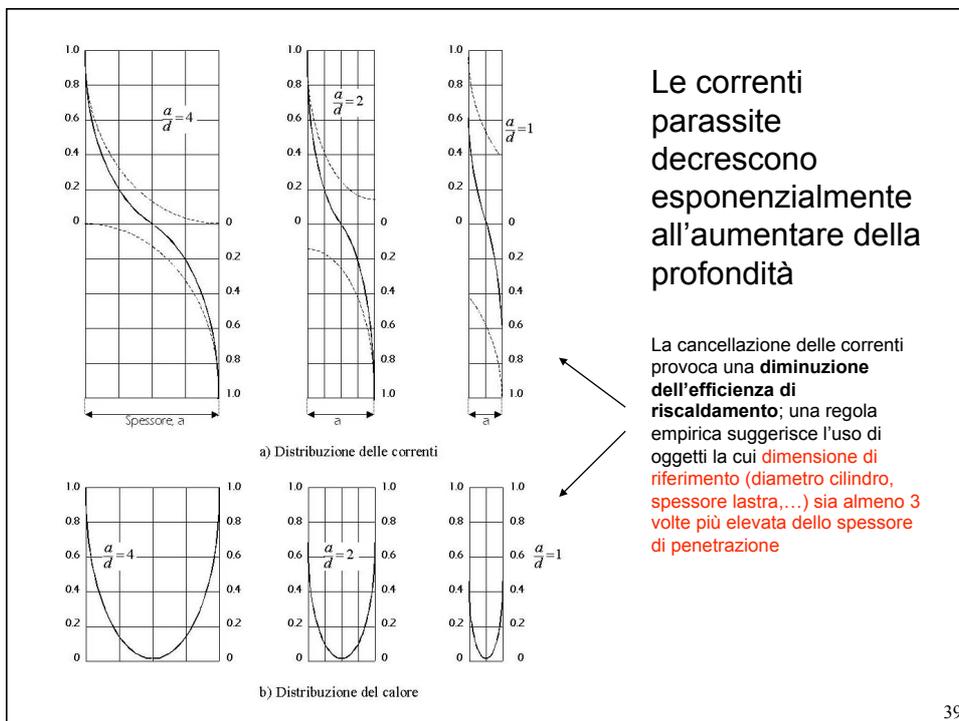
Frequenza del campo magnetico alternato

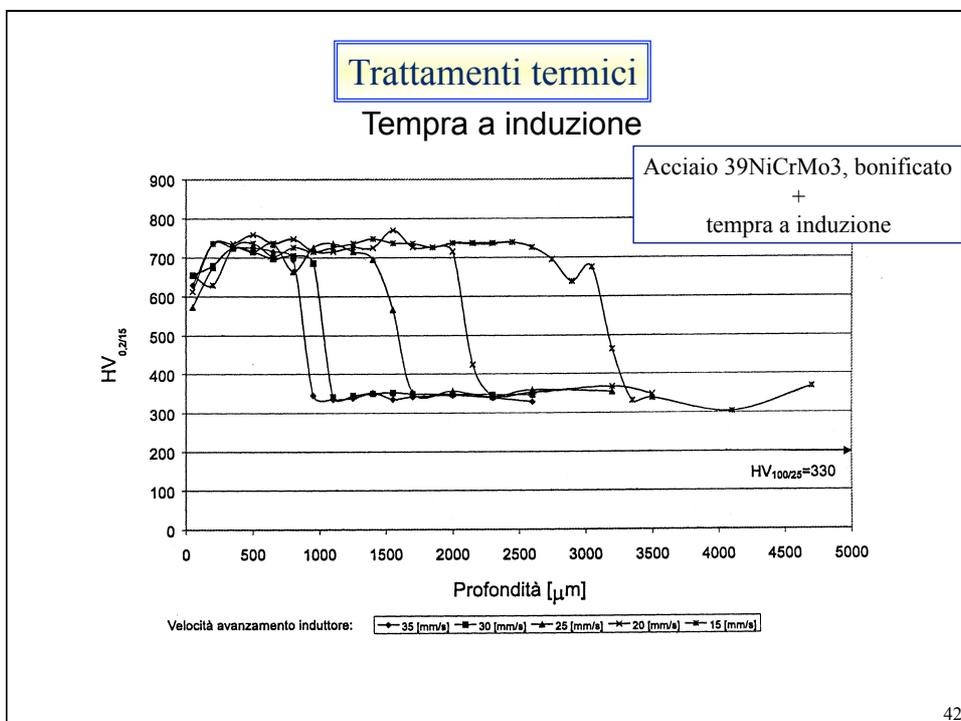
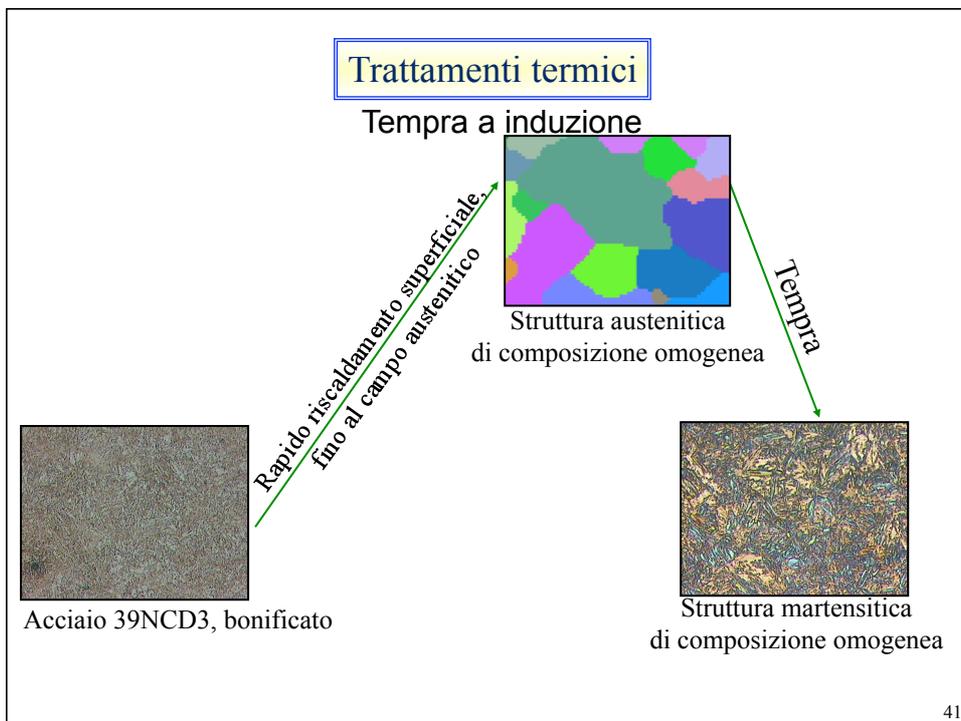
All'aumentare di f le linee di flusso tendono ad avvicinarsi al conduttore e a perdersi nella zona detta **air gap**, diminuendo l'efficienza di trasferimento della potenza

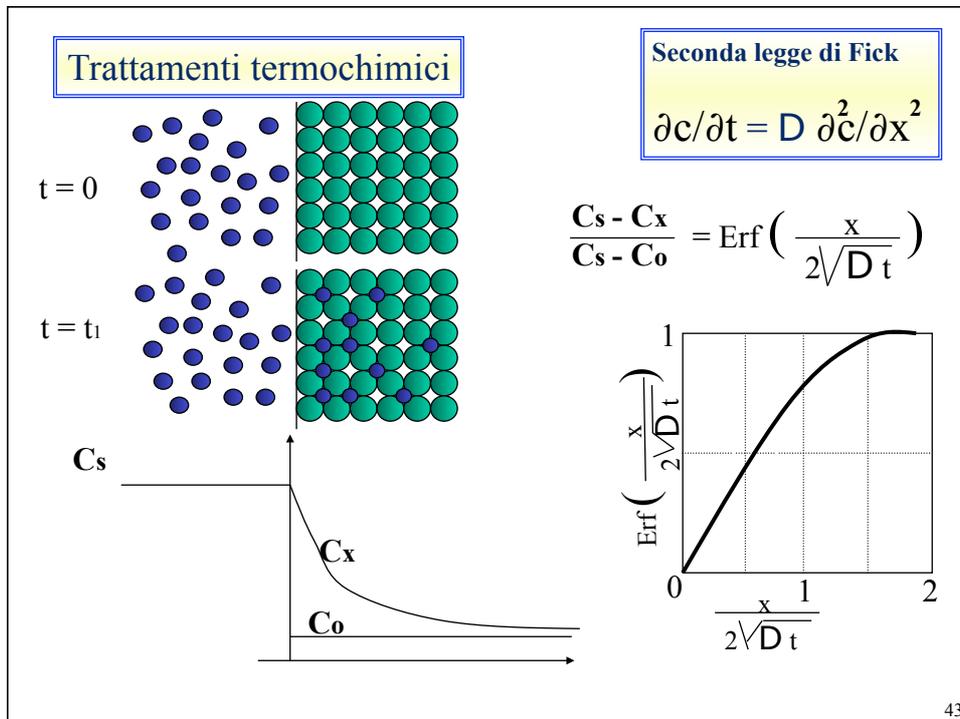
↑

Frequenze alte = piccoli spessori di tempra

38







Si possono individuare **due stadi successivi** spesso parzialmente sovrapposti:

1. **Deposizione** a mezzo di reazioni chimiche **sulla superficie** della lega **di uno o più elementi diffondenti**
2. **Diffusione** degli elementi depositati **verso il cuore** del pezzo così da modificarne la composizione chimica in uno strato più o meno profondo a partire dalla superficie

1. **Cementazione (o carbo-cementazione)**
2. **Nitrurazione**
3. **Carbo-nitrurazione**
4. **Solfonitrurazione**
5. **Calorizzazione**
6. **Cromizzazione ...**

Trattamenti termochimici

Cementazione

Obiettivo: realizzazione di componenti con **superficie indurita** e **tenacità a cuore**

- La martensite aumenta di durezza al crescere del tenore di Carbonio
- La martensite si forma a partire dall'Austenite
- Il Carbonio ha una buona solubilità nell'Austenite
- La velocità di diffusione aumenta con la temperatura

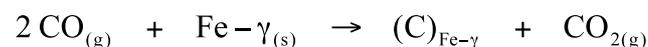
CEMENTAZIONE

- ➡ Ottenimento, **in campo austenitico**, di un profilo di concentrazione
- ➡ Tempra dell'Austenite, per ottenere la struttura martensitica

45

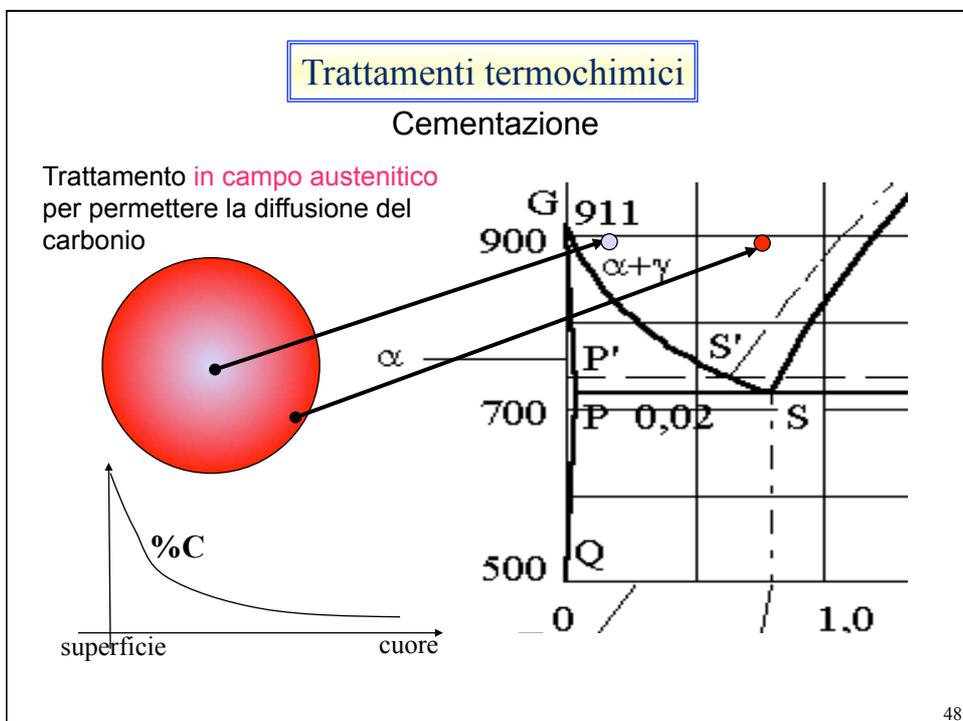
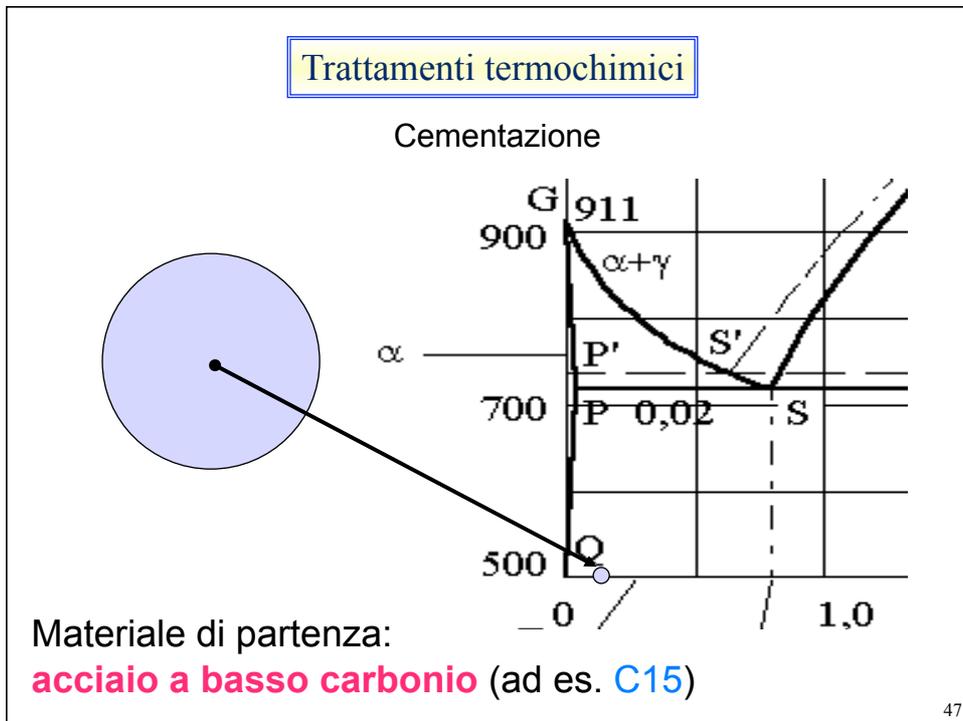
La sostanza carburante è il monossido di carbonio (CO):

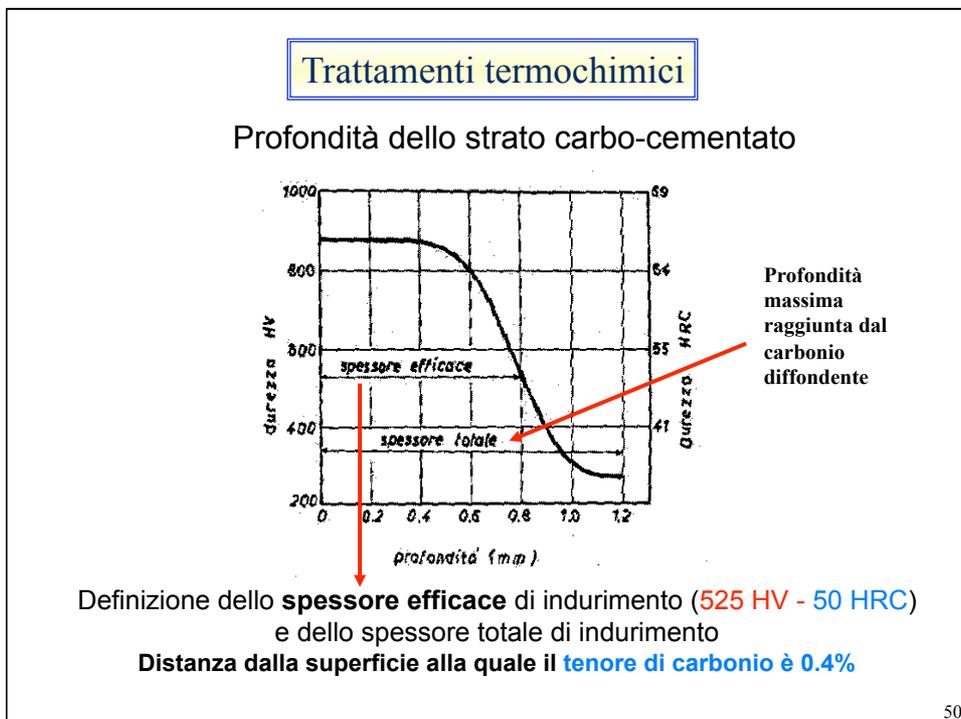
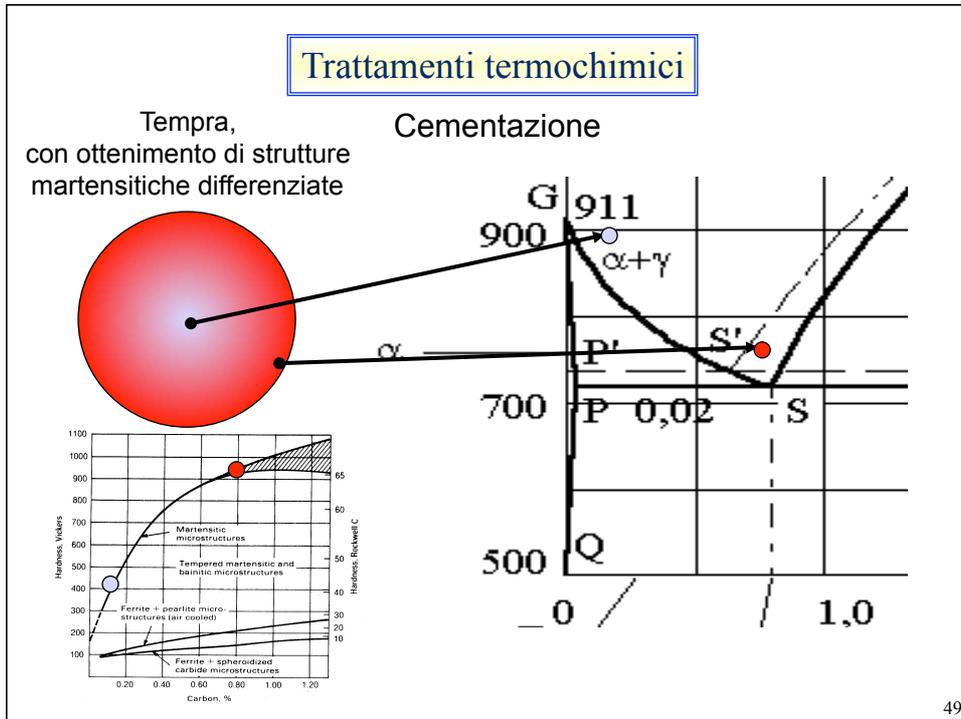
Il **primo stadio** del processo di Carbo-cementazione si può così rappresentare:



Secondo stadio: poiché il tenore superficiale di carbonio tende quindi ad aumentare, **si forma un gradiente** di concentrazione tra superficie e cuore del pezzo e quindi comincia ad operare il **processo di diffusione** del carbonio che cerca di ridurre il suo gradiente. Ma questo porta a sua volta ad una **ulteriore dissoluzione superficiale**

46





Cementazione

...altre definizioni:

Profondità di tempratura dopo cementazione:

Spessore dello strato cementato in cui la durezza Vickers è scesa del 25% al di sotto della durezza teorica media della superficie

Oppure

Profondità di tempratura dopo cementazione:

Spessore dello strato cementato in cui la durezza HRC è scesa di 9 unità al di sotto della durezza teorica media della superficie

51

Trattamenti termochimici

Cementazione

Effetto della temperatura e del tempo

Formula di Harris

$$\text{Profondità di cementazione (mm)} = 660 \cdot \sqrt{t} \cdot \exp\left(-\frac{8287}{T}\right)$$

T = temperatura di cementazione [K]

t = tempo [h]

$$925^{\circ}\text{C}: p_{\text{cementazione}} = 0.635 \cdot \sqrt{t}$$

$$900^{\circ}\text{C}: p_{\text{cementazione}} = 0.533 \cdot \sqrt{t}$$

$$870^{\circ}\text{C}: p_{\text{cementazione}} = 0.457 \cdot \sqrt{t}$$

52

Acciai speciali da costruzione

Acciai da cementazione

- Indurimento superficiale, tenacità a cuore
- Tempra + distensione (180°C)
- Elevate durezze superficiali (fino a 63HRC)
- Resistenza all'usura
- Carbonio: in genere inferiore a 0.2%
- Resistenza a trazione: 540-1180 MPa (al solo C)
- Resistenza a trazione: fino a 1570 MPa (legati)
- Ingranaggi, stampi, aste, ecc.

Esempio: C16
20CrNi4

53

Acciai speciali da costruzione

Acciai da cementazione

*Temperature indicative dei diversi trattamenti termici
per gli acciai speciali da cementazione (cfr. UNI 7846)*

Acciaio	Normalizzazione °C	Ricottura di lavorabilità °C	Tempra		Rinvenimento °C
			In acqua °C	In olio °C	
C10	910-930	600-700	900-930	–	150-200
C15	900-920	600-700	875-900	–	150-200
16MnCr5	870-890	600-700	–	850-880	–
20MnCr5	870-890	600-680	–	850-880	–
18CrMo4	870-890	600-680	–	850-880	150-200
12NiCr3	870-890	600-660	(880-900)	850-880	150-200
16CrNi4	860-880	600-660	–	850-880	150-200
20CrNi4	840-860	600-660	–	850-880	–
16NiCrMo2	870-890	600-680	–	860-890	150-200
20NiCrMo2	860-880	600-680	–	850-880	150-200
18NiCrMo5	860-880	600-680	–	840-870	150-200
18NiCrMo7	860-880	600-660	–	850-870	150-200
16NiCrMo12	850-870	600-660	–	820-850	150-200

54

Trattamenti termochimici

Nitrurazione

Obiettivo: realizzazione di componenti con superficie indurita e tenacità a cuore

- L'Azoto forma con il Ferro composti (**nitruri**) di elevata durezza
- La **solubilità dell'Azoto nella Ferrite** è **bassa**
- Alle temperature di stabilità della Ferrite, **la diffusione è lenta**
- La formazione di **nitruri** inibisce una **ulteriore diffusione** dell'Azoto

NITRURAZIONE

- ➡ Diffusione, **in campo ferritico**, dell'Azoto
- ➡ Formazione, in superficie, di nitruri di elevata durezza

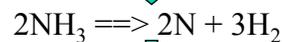
55

Trattamenti termochimici

Nitrurazione

Acciaio a **medio C**, con **Al**, Cr, V e **Mo**

500°C, 40-100 h



N si discioglie nell'acciaio e forma nitruri

strato esterno: $(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{N}$ → Coltre bianca
strato più interno: $(\text{Fe,Al,Cr})_4\text{N}$

56

Acciai speciali da costruzione

Acciai da nitrurazione

- Indurimento superficiale, tenacità a cuore
- **Tempra** + **rinvenimento** + **nitrurazione**
- Elevate durezza superficiali (fino a **1000 HV**)
- **Strati sottili**
- Resistenza all'usura e a fatica
- **Carbonio**: in genere tra **0.29 e 0.43%**
- **Alluminio** ==> **formazione di nitruri**
- **Cromo** ==> **durezza, temprabilità**
- **Molibdeno** ==> **riduce fragilità al rinvenimento**
- Steli valvole, canne cilindri, stantuffi, ecc.

Esempio: 31CrMo12

57

Acciai speciali da costruzione

Acciai da nitrurazione

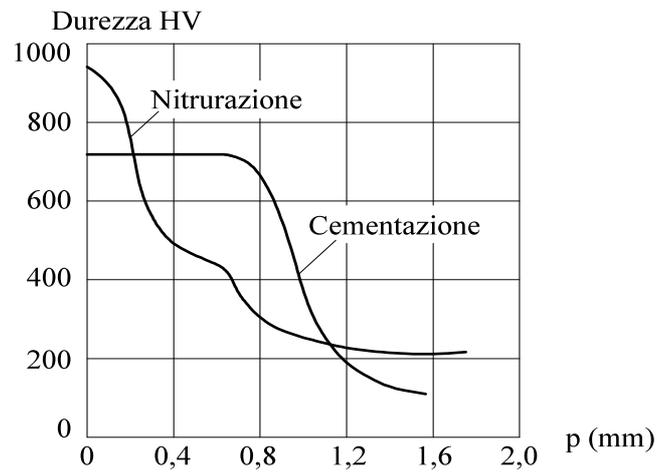
Temperature indicative dei diversi trattamenti termici per gli acciai speciali da nitrurazione (cfr. UNI 8077)

<i>Tipo</i>	<i>Normalizzazione (°C)</i>	<i>Ricottura lavorabilità (°C)</i>	<i>Tempra in olio (°C)</i>
31CrMo12	890-920	680-750	870-910
31CrMoV12	880-910	680-750	870-910
34CrAlMo7	910-950	680-750	900-940
41CrAlMo7	900-930	680-750	890-930

58

Trattamenti termochimici

Cementazione ÷ Nitrazione



59

Trattamenti termochimici

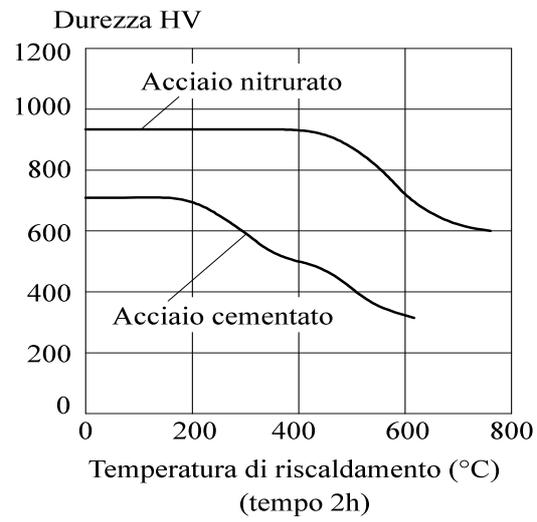
Cementazione ÷ Nitrazione

Pezzi cementati	Pezzi niturati
Normalizzazione + ricottura di lavorabilità	Normalizzazione + ricottura di lavorabilità
Sgrossatura (medio sovrmetallico)	Sgrossatura
	Bonifica
	Finitura
Cementazione	Nitrurazione
Tempra + rinvenimento a circa 150 °C	
Finitura e rettifica	Rettifica

60

Trattamenti termochimici

Cementazione ÷ Nitrurazione



61