

[Clic per tutti gli appunti](#) (AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI...)



[e-mail per suggerimenti](#)

[Clic qui](#) – PRIMA PAGINA APPUNTI ACCIAIO

Principali caratteristiche dell'acciaio

Alcune note sulle relazioni tra sforzi e deformazioni

Effetto delle tensioni σ , τ su un monocristallo

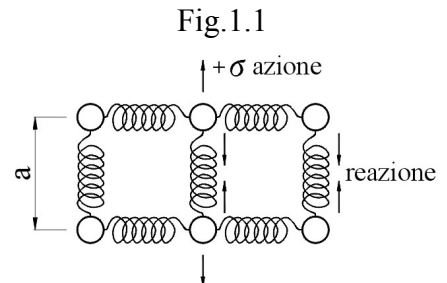
Per poter spiegare alcuni fenomeni riguardanti l'acciaio, quali: la malleabilità, la duttilità, lo snervamento, l'incrudimento, conviene introdurre alcune semplici note sulle relazioni che intercorrono tra sforzi e deformazioni, dipendenti dalla caratteristica struttura del materiale, senza, però, addentrarsi in eccessivi approfondimenti.

La struttura dell'acciaio è un aggregato di cristalli, formanti dei grani, ottenuti dalla reciproca delimitazione dell'accrescimento, dal liquido, dei numerosi germi di cristallizzazione.

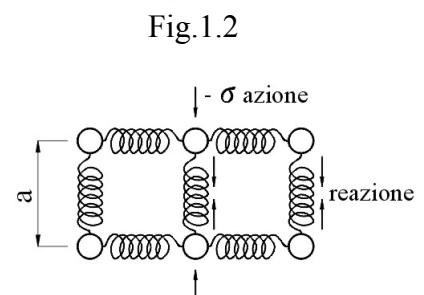
Interessante, quindi, è focalizzare l'attenzione su comportamento di un cristallo sottoposto a sollecitazioni di trazione σ e di taglio τ .

Il modello che, rispetto alle sollecitazioni applicate, può spiegare il corrispondente comportamento degli atomi disposti a formare il cristallo, può essere rappresentato da sfere rigide, collegate l'una all'altra da molle che simulano il modo di agire delle forze interatomiche.

Consideriamo così, dapprima, un cristallo perfetto, sottoposto ad una tensione σ di trazione, che tende ad allontanare una fila di atomi rispetto ad un'altra adiacente. A tale tensione si oppone una di reazione, uguale e contraria di attrazione, schematizzata, nel modello, dall'azione delle molle.



Sotto ponendo, invece il cristallo ad una sollecitazione di compressione $-\sigma$, che tende ad avvicinare due file di atomi adiacenti, si ottiene una reazione uguale e contraria, di repulsione, rappresentata nel modello dall'azione delle molle.



Con questa schematizzazione semplificata, che determina le reazioni di una struttura cristallina alle azioni di trazione e compressione, si ha che la resistenza del sistema dipende dalle deformazioni. All'aumentare delle deformazioni (allontanamento o avvicinamento degli atomi) aumentano le reazioni delle forze interne, rappresentate dall'azione delle molle, atte a bilanciare le sollecitazioni esterne.

Così, posta una sollecitazione esterna, il sistema si deforma in modo tale da ottenere una reazione uguale e contraria che la bilancia.

Fig.1.3

Ne diagramma di Fig.1.3 è rappresentato l'andamento delle tensioni in funzione delle deformazioni, dovute all'allontanamento o all'avvicinamento di due file di atomi adiacenti di un monocristallo perfetto.

Sull'asse delle ascisse sono indicate le distanze x relative ai centri degli atomi posti su due file adiacenti di un monocristallo; sull'asse delle ordinate le tensioni σ di reazione delle forze interne.

Si è indicato con " a " il passo reticolare.

Quando $x = a$ non si hanno deformazioni e $\sigma = 0$

Se si tenta di avvicinare gli atomi, riducendo la loro distanza, $x < a$, occorre impiegare una tensione esterna $-\sigma$ di compressione, bilanciata dalle forze interne di repulsione, schematizzate nel modello, dall'azione delle molle.

Per $x \rightarrow 0$ $\sigma \rightarrow -\infty$

Se si tenta di aumentare la distanza relativa tra due file adiacenti di atomi, $x > a$, occorre impiegare una tensione esterna $+\sigma$ di trazione, bilanciata dalle forze interne di attrazione (di natura elettrica), schematizzate nel modello, dall'azione delle molle, valida, però, solo per piccole deformazioni.

All'aumentare della distanza x , oltre il passo reticolare a , aumenta la tensione σ interna, fino ad un valore massimo σ_{max} , oltre il quale le forze di attrazione diminuiscono e tendono ad annullarsi per $x \rightarrow \infty$: per $x \rightarrow \infty$ $\sigma \rightarrow 0$

Per piccoli spostamenti dalla posizione di equilibrio, quando $x = a$, il calcolo teorico dimostra che, con buona approssimazione, le tensioni σ sono proporzionali alle deformazioni, come si verifica in pratica.

Nel tratto ascendente della curva, il cristallo sollecitato trova sempre una condizione di equilibrio, qualunque sia lo sforzo esterno.

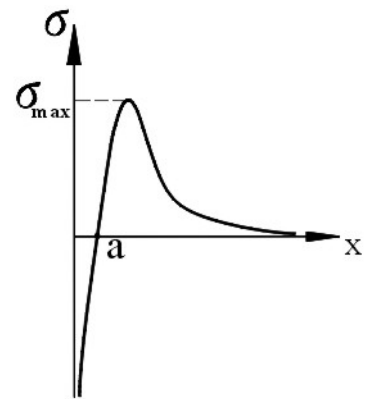
Infatti, posto, ad esempio, uno sforzo esterno di trazione, con $\sigma < \sigma_{max}$ nel tratto ascendente, si ottiene una deformazione con allontanamento degli atomi, $x > a$, che determina una reazione interna di attrazione, tale da equilibrare la tensione esterna.

Da questa condizione di equilibrio, se la tensione esterna aumentasse, aumenterebbe anche la deformazione con aumento della distanza x con conseguente aumento delle forze interne di attrazione, fino ad equilibrare di nuovo la tensione esterna.

Nel tratto discendente della curva si può avere solo un equilibrio instabile. Infatti, all'aumentare della deformazione, con aumento della distanza x tra gli atomi, diminuiscono le forze di attrazione, che non possono così equilibrare un eventuale aumento dello sforzo esterno. Si ha così un distacco delle fila di atomi.

Il modello descritto può rappresentare il comportamento reale del materiale solamente per piccole deformazioni con distanze x poco discoste dal passo reticolare a .

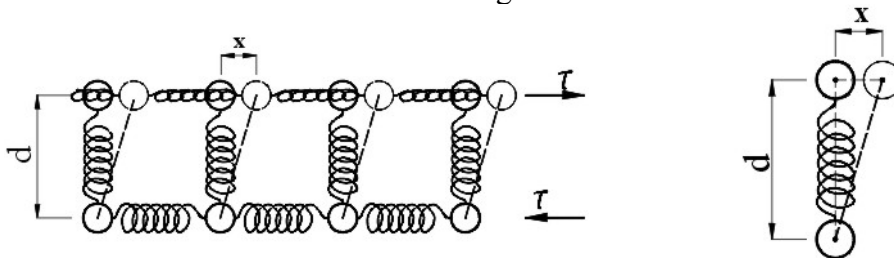
Le conclusioni che possono dedursi dal modello teorico descritto, per valori elevati delle distanze x tra gli atomi, conducono a risultati molto lontani dalla realtà, nei riguardi del valore di σ_{max} a rottura, rispetto ai valori pratici ottenuti da prove di trazione su provini unificati di acciaio.



Inoltre, se fossero validi per l'acciaio i risultati ottenuti dal comportamento alle sollecitazioni di un monocristallo, si otterrebbero le caratteristiche di un materiale estremamente rigido, con nessuna malleabilità e duttilità, impossibile a lavorarlo per deformazione plastica; l'unica possibilità per ottenere oggetti si otterrebbe solo per fusione e colata in forme. L'acciaio, invece, specialmente quello dolce, a basso tenore di carbonio, presenta buona malleabilità e duttilità, qualità atte ad ottenere oggetti per deformazione plastica a caldo e a freddo, che non si spiegano dai risultati che si ottengono dalle sollecitazioni di trazione su un *monocristallo perfetto*.

Comportamento di un monocristallo perfetto allo slittamento relativo tra due file di atomi adiacenti per effetto di una sollecitazione tangenziale τ

Fig.1.4



Si considerino due file di atomi adiacenti del reticolo cristallino di un monocristallo, sottoposte ad una tensione tangenziale τ , che tende a farle slittare l'una rispetto all'altra.

Siano:

- x lo scorrimento relativo di una fila rispetto all'altra;
- a il passo reticolare di fila: distanza tra i centri di equilibrio di due atomi consecutivi della fila.
- d passo reticolare tra due file adiacenti: distanza tra i centri di equilibrio di due atomi consecutivi posti tra due file adiacenti

Spostando gli atomi dalla posizione di equilibrio si generano forze di reazione, che tendono a ricondurli nella posizione iniziale.

Quando lo spostamento della fila è pari a metà passo reticolare: $x = \frac{a}{2}$, ogni atomo sarà attratto, da due forze uguali e opposte, verso i due centri di equilibrio adiacenti e simmetrici rispetto ad esso. Per cui:

$$\text{per } x = \frac{a}{2} \quad \text{si ha:} \quad \tau = 0$$

Per spostamenti superiori a metà passo reticolare $x > \frac{a}{2}$ ogni atomo del reticolo della fila è attratto verso il centro successivo a quello precedentemente occupato; invertendo così il segno della tensione tangenziale di reazione interna.

Quando la fila di atomi si è spostata di $x = a$ ogni atomo è slittato di un passo reticolare e occupa un'altra posizione di equilibrio con tensione nulla:

$$\text{per } x = a \quad \text{si ha:} \quad \tau = 0$$

Da quanto esposto ne risulta, che l'andamento della tensione tangenziale τ , in funzione dello scorrimento relativo x di una fila di atomi rispetto all'altra, è di tipo sinusoidale, con

periodo corrispondente al passo e valore massimo τ_{max} in corrispondenza di $x = \frac{a}{4}$, esprimibile con la relazione:

$$\tau = \tau_{max} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (1.1)$$

dove l'angolo α è proporzionale allo scorrimento relativo x e tale che, ad uno scorrimento uguale al passo a vi corrisponda un angolo 2π :

$$\text{per } x = a \rightarrow \alpha = 2\pi$$

si può scrivere la proporzione:

$$a : 2\pi = x : \alpha$$

$$x = \frac{2\pi}{a}$$

La (1.1) si può scrivere:

$$\tau = \tau_{max} \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{a} \cdot x\right) \quad (1.2)$$

Per piccoli valori dello scorrimento x , in prossimità di un centro di equilibrio, la curva sinusoidale è assimilabile ad un tratto rettilineo, con τ proporzionale a x :

$$\tau \cong \tau_{max} \cdot \frac{2\pi}{a} \cdot x \quad (1.3)$$

Si ha quindi una funzione di proporzionalità regolata dalla relazione di Hooke:

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (1.4)$$

con:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (\nu + 1)} \quad (1.5)$$

dove:

G modulo di elasticità tangenziale

E modulo di elasticità longitudinale. Per l'acciaio, praticamente si può porre il valore approssimato $E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$

ν coefficiente di Poisson, o di contrazione trasversale. Nell'acciaio è $\nu = 0,3$

Nella relazione (1.4) della legge di Hooke, il termine γ è lo scorrimento unitario: lo scorrimento, cioè, per ogni unità di distanza tra due file di atomi adiacenti in scorrimento relativo.

Fig.1.5.

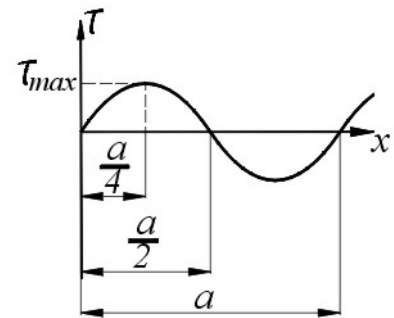
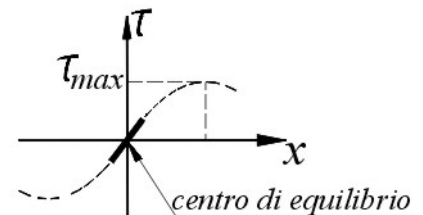


Fig.1.6



$$\gamma = \frac{x}{d}$$

per la (1.4) si ha:

$$\tau = G \frac{x}{d} \quad (1.6)$$

dal sistema tra la (1.3) e (1.6)

$$\begin{cases} \tau = \tau_{max} \cdot \frac{2\pi}{a} \cdot x \\ \tau = G \cdot \frac{x}{d} \end{cases}$$

uguagliando si ha:

$$G \cdot \frac{x}{d} = \tau_{max} \cdot \frac{2\pi}{a} \cdot x \quad \text{da cui:}$$

$$\tau_{max} = \frac{G}{2\pi} \cdot \frac{a}{d} \quad (1.7)$$

nella cristallizzazione cubica dell'acciaio si ha: $d = a$ e quindi:

$$\tau_{max} = \frac{G}{2\pi} \quad (1.8)$$

per l'acciaio il coefficiente di Poisson è: $\nu = 0,3$ e risulta:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (\nu + 1)} \quad G = \frac{210000}{2 \cdot (0,3 + 1)} \quad G \cong 80000 \text{ N/mm}^2$$

si ottiene:

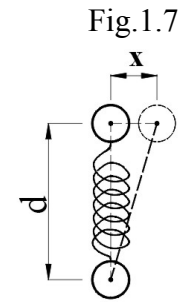
$$\tau_{max} = \frac{80000}{2\pi}$$

$$\tau_{max} = 12732 \text{ N/mm}^2$$

Il valore ottenuto è assurdo e spropositato, molto lontano dalla realtà sperimentale sull'acciaio, ove lo scorrimento avviene con delle tensioni tangenziali τ_{max} notevolmente inferiori. Ciò vuol dire che occorre un modello diverso dal comportamento di un monocristallo per descrivere le relazioni che intrcorrono tra tensioni e deformazioni del materiale acciaio.

Il materiale metallico non è un monocristallo, ma è formato da policristalli, diversamente orientati, provenienti dalla crescita dei numerosi germi di cristallizzazione, che, delimitandosi scambievolmente, determinano una struttura granulare, le cui giunzioni costituiscono delle discontinuità.

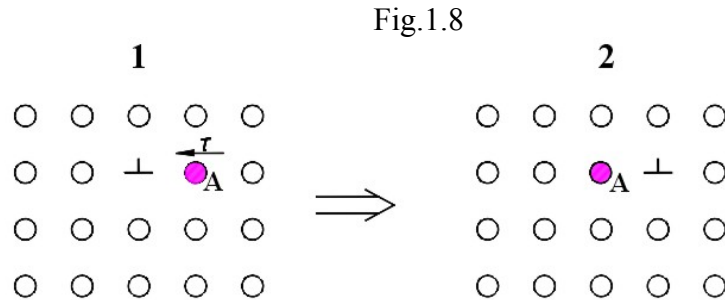
Ciò che incide positivamente nei riguardi della possibilità di deformazione del materiale è la presenza, provvidenziale, di difetti reticolari nel reticolo cristallino, che spiegano la malleabilità, duttilità dell'acciaio, specialmente quello dolce, a basso tenore di carbonio-



Difetti reticolari

Vacanze

Può accadere che, durante la solidificazione, nella formazione del reticolo cristallino, vengano a mancare uno o più atomi, determinando dei vuoti denominati *vacanze*. Ciò permette una mobilità degli atomi nel reticolo cristallino, con spostamento delle vacanze in senso inverso ad essi.



Così, nello schema reticolare di Fig.1.1.8, l'atomo **A**, sollecitato, può spostarsi di un passo a sinistra, riempiendo ivi la vacanza (indicata con \perp); questa si sposta a destra nel posto precedentemente occupato dall'atomo spostato.

Le vacanze diffondono nel senso inverso al flusso delle tensioni τ , dove questo presenta elevata densità, esse possono concentrarsi con formazione di microcricche.

Ciò avviene specialmente nelle brusche variazioni delle sezioni, ove si concentrano le tensioni nel passaggio dalla sezione più grande alla più piccola.

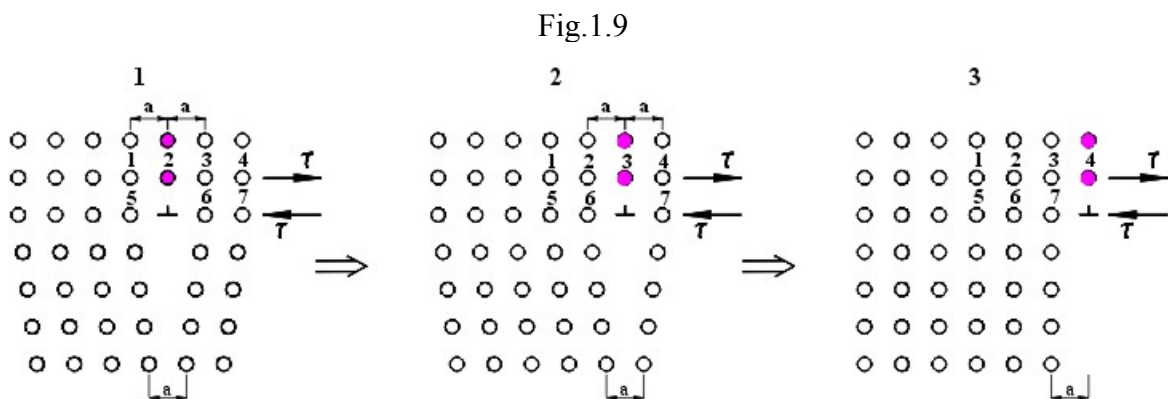
Si possono avere concentrazioni di vacanze per diffusione nelle sollecitazioni periodiche di fatica, determinanti l'innesco a rottura.

Dislocazioni

Sono difetti reticolari lineari estesi, interessanti contemporaneamente più atomi, si distinguono:

- a) dislocazioni a cuneo
- b) dislocazioni a vite

Dislocazioni a cuneo



Può accadere che, durante la solidificazione, nella disposizione degli atomi nel reticolo cristallino, una fila di atomi non prosegue nella sua formazione, lasciando una porzione di fila vuota al disotto di quella ottenuta.

Così nella rappresentazione schematica del reticolo cristallino di figura (1), la fila di atomi colorata è interrotta al disotto dell'atomo "2" ove si ha il massimo spazio vuoto, costituente il centro di dislocazione (\perp), che man mano si restringe nelle file orizzontali di atomi inferiori, fino a ripristinare la regolarità delle distanza media fra di essi di un passo "a".

Si ottiene nel reticolo cristallino un vuoto esteso a forma di cuneo.

Supponiamo, ora, che sia applicata una sollecitazione a taglio, che tende a far traslare, verso destra, la fila di atomi orizzontali contenenti il gruppo 1,2,3,4, e verso sinistra la fila inferiore, contenente il gruppo 5,6,7, con il vuoto tra 5 e 6.

La sollecitazione di spostamento verso sinistra della fila contenente il gruppo 5,6,7, si comunica, passo, passo, da un atomo all'altro, fino a raggiungere l'atomo 6 che ha alla sua sinistra un posto vuoto e può con facilità spostarsi in esso. Uno spostamento analogo si ha per gli atomi al disotto dell'atomo 6.

Dopo lo spostamento il centro di dislocazione fa un passo a destra, portandosi sotto l'atomo 3. Ora, perdurando la tensione di taglio, sarà l'atomo 7 che si sposta verso sinistra a riempire il posto vuoto e se esso, come in figura, è l'ultimo della fila appartenete al cristallo, si ha uno slittamento di un passo del blocco superiore, contenente il gruppo di atomi 1,2,3,4, rispetto a quello inferiore, contenente gli atomi 5,6,7.

Le deformazioni dei materiali avvengono per effetto degli scorrimenti, dovuti alle tensioni di taglio τ , attraverso le dislocazioni, esse diffondono, passo, passo nelle varie file del reticolo cristallino, richiedendo un'energia notevolmente inferiore a quella occorrente per far slittare rigidamente un fila di atomi rispetto ad una adiacente.

Il fenomeno della diffusione di dislocazioni nel reticolo cristallino spiega, così, la duttilità, malleabilità dell'acciaio.

La dislocazioni, per diffondere, necessitano di una energia Q , detta di attivazione, fornita dall'esterno come energia meccanica,

la velocità di diffusione delle dislocazioni, a parità della sollecitazione, dipende dalla temperatura T e dalla energia di attivazione Q .

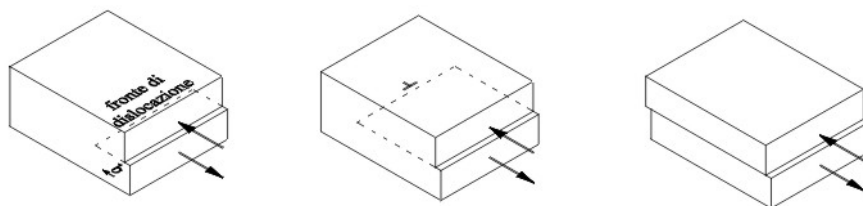
$$v = A \cdot e^{-\frac{Q}{kT}} \quad v = \frac{A}{e^{\frac{Q}{kT}}}$$

dove:

- A costante dipendente dal materiale
- Q energia di attivazione
- k costante di Boltzman $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
- T temperatura assoluta

la velocità di scorrimento è tanto maggiore quanto minore è l'energia di attivazione e maggiore la temperatura.

Fig.1.10

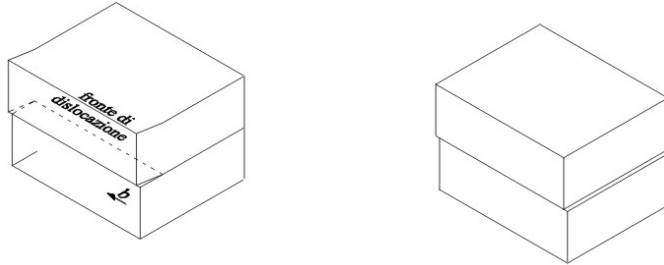


Nella figura Fig.1.10 è schematizzato il diffondersi passo, passo del fronte di dislocazione a cuneo \perp , fino a determinare lo scorrimento totale del blocco superiore rispetto all'inferiore

Nella dislocazione a cuneo il fronte di dislocazione (linea della presenza del difetto) è normale alla direzione dell'entità della deformazione (vettore di Burgers **b**).

Dislocazioni a vite

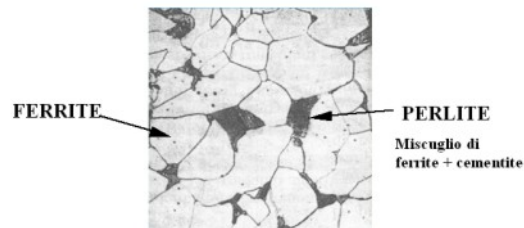
Fig.1.11



Per effetto di sforzi di taglio si ha uno scorrimento con vettore di Burgers **b** parallelo al fronte di dislocazione; si ha così una torsione che si propaga passo, passo nel reticolo cristallino fino a fendere il cristallo, ottenendo, alla fine, lo stesso risultato della dislocazione a cuneo.

Le dislocazioni rivestono una funzione fondamentale nella deformabilità di un acciaio e quindi delle sue proprietà di malleabilità, duttilità. Come già si è spiegato, un materiale metallico è costituito da policristalli, provenienti da più germi di cristallizzazione che, delimitandosi scambievolmente durante la solidificazione, determinano una struttura granulare, definita da una rete di giunti

Fig.1.12



Nell'acciaio da costruzione, a basso tenore di carbonio, la struttura è costituita da un miscuglio di grani di ferrite (cristalli cubico a corpo centrato) e perlite.

La perlite a sua volta è un miscuglio di ferrite e cementite (carburo di ferro Fe_3C).

La deformazione dell'acciaio, come si è spiegato, avviene con la diffusione delle dislocazioni. Queste fendono con facilità i grani di ferrite ma si bloccano, intrecciandosi tra loro e specialmente ai giunti dei grani e dei carburi.

Così un acciaio con struttura a grana grossa e a basso tenore di carbonio, e quindi con minimi precipitati di carburi, essendo pochi i giunti, le dislocazioni possono diffondere con facilità, determinando una elevata possibilità di deformazione, con elevata plasticità, malleabilità, duttilità.

All'aumentare delle % di carbonio e affinando la grana, aumentano i giunti e il precipitato dei carburi; si ha un maggiore blocco delle dislocazioni con conseguente aumento della resistenza e diminuzione di plasticità.

I difetti reticolari, le dislocazioni, si formano durante la solidificazione; molte altre se ne formano durante le sollecitazioni. All'aumentare delle tensioni esterne aumenta l'energia di attivazione Q delle dislocazioni, che diffondono nella struttura, poi si bloccano, intrecciandosi tra loro o impilandosi ai giunti dei grani o incontrando altri ostacoli, quali precipitati di carburi ecc..

Nel blocco delle dislocazioni si ha un incrudimento del materiale, con perdita, via, via della plasticità: il materiale si incrudisce.

Prova di trazione statica

La resistenza dell'acciaio è caratterizzato principalmente dalla prova di trazione statica, da cui si rilevano i parametri caratteristici di classificazione degli acciai da costruzione.

La prova si esegue su provette unificate, consistente nel produrre in esse sforzi assiali crescenti fino a rottura, con velocità lenta e prefissata, registrando, su un diagramma, lo sforzo in funzione dell'allungamento.

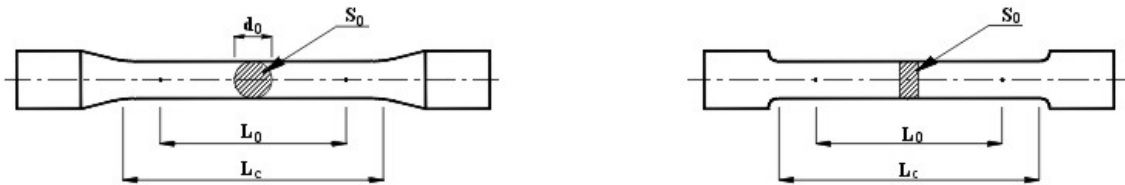
È da precisare che la macchina a trazione, attraverso un comando meccanico, o più appropriato idraulico, afferrando il provino alle estremità, produce in esso allungamenti, ai quali il materiale del provino reagisce, determinando lo sforzo di trazione, bilanciato, di volta in volta, da un sistema a pendolo.

La variabile indipendente è quindi l'allungamento e non la forza di trazione; questa si ottiene come reazione all'allungamento del provino provocato dalla macchina. Se si applicasse sul provino uno sforzo gradatamente crescente, ad esempio con dei pesi, il diagramma ottenuto sarebbe del tutto diverso da quello indicato dalla macchina a trazione, ove, nello snervamento, si nota una momentanea diminuzione dello sforzo all'aumentare dell'allungamento.

Provette

Possono essere a sezione circolare o rettangolare. Costituite da due teste di serraggio e una parte calibrata, di lunghezza L_c , collegata ad esse, con un tratto conico per le provette a sezione circolare, e con un raccordo per quelle a sezione rettangolare.

Fig.1.13



Centralmente, nella lunghezza calibrata L_c della provetta, si ricava il tratto utile L_0 , segnato da due riferimenti, tra i quali si misura l'allungamento provocato dalla macchina a trazione.

Provino a sezione circolare

Si pone:

$$L_0 = 5 \cdot d_0$$

$$L_c = L_0 + 2 \cdot d_0$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

Provino a sezione rettangolare

Si pone:

$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0}$$

$$L_c = L_0 + 1,5 \cdot \sqrt{S_0}$$

$$S_0 \text{ sezione parte calibrata}$$

Diagramma di carico sforzi allungamenti e tensioni σ - allungamenti unitari ε

Nella prova a trazione la macchina registra il diagramma di carico, degli sforzi F in funzione degli allungamenti ΔL :

$$\Delta L = L - L_0$$

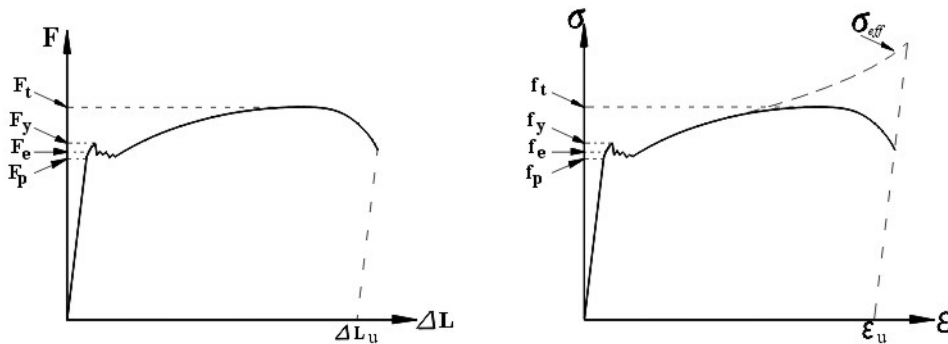
dove:

L è la lunghezza, sotto carico, tra i due riferimenti della provetta, indicante il tratto utile;

L_0 è la lunghezza iniziale del tratto utile della provetta scarica.

Dal diagramma di carico, indicato dalla macchina, se ne ricava un altro, che pone in relazione la tensione convenzionale σ in funzione degli allungamenti unitari ε .

Fig.1.14



dove:

σ è lo sforzo unitario convenzionale, dato dal rapporto tra lo sforzo F indicato dalla macchina e la sezione iniziale S_0 della provetta scarica:

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

ε è l'allungamento unitario; dato dal rapporto tra l'allungamento ΔL del tratto utile della provetta durante la prova e la lunghezza iniziale L_0 dello stesso con provetta scarica:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Occorre osservare che la tensione σ , come definita dal rapporto, è uno sforzo unitario convenzionale, in quanto, all'aumentare dell'allungamento della provetta, per effetto Poisson, si ha una contrazione della sezione, che, inizialmente è trascurabile, ma è notevole prima della rottura, nella fase di strizione, ove si ha una brusca contrazione di una zona della provetta.

La tensione reale σ_{eff} durante la prova è quella ottenuta dividendo lo sforzo F , indicato dalla macchina, per la sezione effettiva S_{eff} , che diminuisce all'aumentare dell'allungamento.

$$\sigma_{eff} = \frac{F}{S_{eff}}$$

Così il diagramma effettivo, delle tensioni effettive σ_{eff} in funzione degli allungamenti unitari ε , è diverso da quello convenzionale, che è di riferimento per la determinazione dei parametri di resistenza dell'acciaio. Esso è indicato in Fig.1.14 con linea tratteggiata e presenta un aumento notevole proprio nella fase finale, quando la tensione convenzionale σ diminuisce. Ciò si spiega considerando che, in questa fase, lo sforzo totale F diminuisce, ma ciò avviene maggiormente per la sezione effettiva S_{eff} ; quindi diminuisce di più il denominatore rispetto al numeratore, nel rapporto determinante la tensione σ_{eff} , con conseguente aumento di questa.

Fasi del diagramma di carico $F - \Delta L$ e $\sigma - \varepsilon$

Per descrivere le varie fasi che si possono presentare in un diagramma di carico, ci si riferisce alla prova di trazione di un acciaio tenace, a basso tenore di carbonio, per il quale è distinguibile, con evidenza, il diverso comportamento delle reazioni, nei vari stadi degli allungamenti impressi dalla macchina a trazione.

Si fa riferimento alla figura Fig.1.14

Fase di proporzionalità

In questa fase gli sforzi F sono, con buona approssimazione, direttamente proporzionali agli allungamenti ΔL . Le deformazioni sono praticamente elastiche: scaricando la provetta, la lunghezza L , tra i riferimenti del tratto utile, torna alla lunghezza iniziale L_0 :

$$\Delta L = L - L_0 = 0$$

sono del tutto trascurabili le deformazioni permanenti.

In applicazioni particolari, ove è richiesta un'elevata elasticità, lo scostamento dalla proporzionalità deve essere contenuto in una piccola % della lunghezza iniziale, da convenire tra acquirente e fornitore: ad esempio 0,002% di L_0 .

La tensione convenzionale σ è:

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

In questa fase, potendo ritenere S_0 costante, la tensione convenzionale σ coincide con quella effettiva σ_{eff} ed è direttamente proporzionale all'allungamento unitario ε .

Il rapporto tra la tensione σ e l'allungamento unitario ε è una costante E denominato modulo di elasticità longitudinale: modulo di Young.

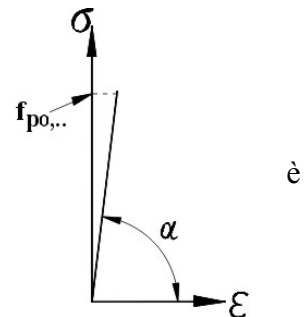
Fig.1.15

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E$$

Il grafico della fase di proporzionalità, descritto dalla macchina a trazione, è una retta passante per l'origine, il cui coefficiente angolare è il modulo di elasticità E .

$$\operatorname{tg} \alpha = E$$

In realtà, all'aumentare degli allungamenti, quando questi divengono consistenti, la prima fase della curva di carico, analizzata con un estensimetro, si scosta dalla proporzionalità. Occorre, quindi, stabilire entro quali limiti è accettabile questo



scostamento, per ammettere, con approssimazione, che l'andamento della funzione di σ rispetto a ε sia proporzionale

La fase di proporzionalità si considera fino ad un carico $F_{p0,..}$

Determinazione del carico di scostamento dalla proporzionalità

Definizione

Il carico di scostamento dalla proporzionalità è quel carico $F_{p0,..}$ sotto il quale si ha uno scostamento dalla proporzionalità (allungamento non proporzionale) pari ad una percentuale % della lunghezza iniziale L_0 , stabilita all'atto dell'acquisto del materiale e concordata tra acquirente e fornitore.

Ossia, sotto il carico $F_{p0,..}$ il grafico (effettuato con un estensimetro) si scosta dalla linea retta di un tratto $\Delta L_{p0,..}$, nella direzione degli allungamenti ΔL , pari ad una % della lunghezza iniziale L_0

Ad esempio per una percentuale concordata dello 0,002% si ha;

$$\Delta L_{p0,002} = \frac{0,002}{100} L_0$$

il carico di scostamento dalla proporzionalità si indica: $F_{p0,002}$.

Per la determinazione del carico di scostamento dalla proporzionalità (per esempio $F_{p0,002}$) si procede nella seguente maniera.

Con l'estensimetro si determina la curva di carico, in cui è amplificata la visualizzazione degli allungamenti.

Inizialmente, per piccoli allungamenti, il grafico è costituito, praticamente, da un tratto rettilineo; quindi, per allungamenti maggiori il grafico si incurva, discostandosi via, via dalla linea retta iniziale. Così sotto il carico $F_{p0,002}$, se vi fosse ancora la proporzionalità tra sforzi e allungamenti, si avrebbe una deformazione della provetta corrispondente al punto B, mentre si ha, in realtà, quella letta nel punto C sulla curva di carico.

Lo scostamento dalla proporzionalità (allungamento non proporzionale) è il tratto BC

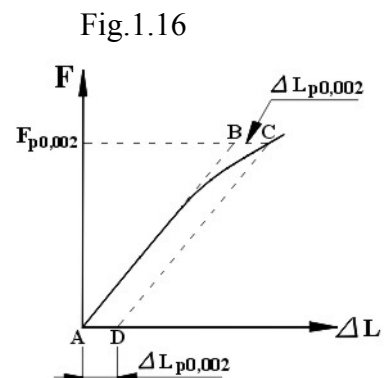
$$\Delta L_{p0,..} = BC$$

Questo tratto deve essere non superiore al limite richiesto dal cliente, ad esempio:

$$\Delta L_{p0,002} = \frac{0,002}{100} L_0$$

Per determinare $F_{p0,002}$ si riporta sull'asse ΔL , a partire dall'origine A (Fig.1.16), l'allungamento non proporzionale prefissato $\Delta L_{p0,002}$:

$$AD = \Delta L_{p0,002}$$



quindi, dal punto D , si spicca una retta parallela al primo tratto rettilineo della curva di carico, fino ad incontrare questo nel punto C . L'ordinata del punto determina il carico di scostamento dalla proporzionalità delle % prefissata: nell'esempio $F_{p0,002}$.

Tensione al limite di proporzionalità o di scostamento dalla proporzionalità

Si definisce tensione al limite di proporzionalità (o di scostamento dalla proporzionalità), il rapporto tra il carico di scostamento dalla proporzionalità $F_{p0,\dots}$ e la sezione iniziale S_0 della provetta.

$$R_{p0,\dots} = f_{p0,\dots} = \frac{F_{p0,\dots}}{S_0}$$

Fase di elasticità

Carico al limite di elasticità

Dopo il carico $F_{p0,\dots}$, non si possono più considerare gli sforzi F direttamente proporzionali agli allungamenti ΔL nei limiti degli scostamenti dalla proporzionalità % prefissati; ma, con una determinata approssimazione, le deformazioni si possono considerare, entro certi limiti, ancora elastiche: scaricando la provetta si ha una deformazione permanente trascurabile. Ciò fino ad un carico ad un carico F_e , denominato carico al limite di elasticità, oltre il quale, le deformazioni permanenti risultano apprezzabili, avendo raggiunto un valore superiore ad una prefissata % della lunghezza iniziale L_0 .

La fase di elasticità si intende che si estenda dalla condizione di provetta scarica fino al carico al limite di elasticità.

Tensione al limite di elasticità

La tensione al limite di elasticità è il rapporto tra il carico al limite di elasticità F_e e la sezione iniziale (nominale) S_0 della provetta

$$f_e = \frac{F_e}{S_0}$$

Fase elasto-plastica

Oltre il carico di elasticità F_e si ha una fase in cui iniziano ad essere misurabili le deformazioni permanenti. Scaricando la provetta, non si ottiene più tra i riferimenti la lunghezza iniziale L_0 e si ha una deformazione permanente ΔL_{pe}

In questa fase, le dislocazioni, poste in direzioni preferenziali allo scorrimento, raggiungono l'energia di attivazione Q , sufficiente alla diffusione. Ma questa è limitata solamente ad alcuni grani, nei quali, scorrendo, si bloccano e si impilano poi ai giunti di grani adiacenti che non hanno raggiunto la tensione di taglio τ al limite di scorrimento.

Le deformazioni, in questa fase, si possono considerare globalmente elastiche con limitate deformazioni permanenti.

Nella progettazione delle strutture metalliche, ove la curva di carico è schematizzata in due tratti rettilinei (vedi oltre), questa fase elasto-plastica si considera appartenere alla fase elastica; ciò fino al carico di snervamento F_y (tensione di snervamento f_y)

Fase di snervamento

Continuando a deformare la provetta, si raggiunge uno sforzo F_y , con tensione convenzionale $R_{eH} = f_y$, con i quali, si ottiene l'energia di attivazione delle dislocazioni nella maggior parte dei reticoli cristallini dei grani del materiale.

Si ha, quindi, una diffusione repentina delle dislocazioni di file di atomi che vanno a riempire posti vuoti, *con un brusco allentamento delle tensioni*.

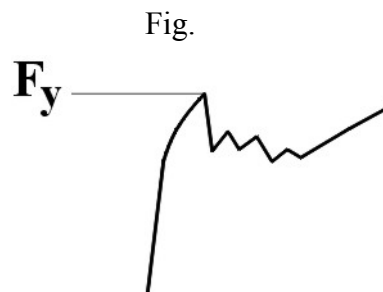
Si ha, per la prima volta, **un allungamento senza aumento di sforzo**: esso diminuisce o rimane costante.

Nella diffusione, le dislocazioni, poi, subiscono un blocco, intrecciandosi tra loro o impilandosi ai bordi dei grani che non hanno raggiunto la sufficiente energia di attivazione. Si ha quindi una ripresa dello sforzo.

Continuando la deformazione, altre dislocazioni raggiungono la sufficiente energia di attivazione, con conseguente diffusione e allentamento delle tensioni.

Si ha quindi una fase, detta di snervamento, con un alternarsi di successivi allentamenti e ripresa delle tensioni.

Il blocco delle dislocazioni determina uno stato tensionale interno denominato *incrudimento*, e, man mano che esso procede, si ha una diminuzione della possibilità di deformazione del materiale.



Carico di snervamento superiore F_{eH} (F_y)

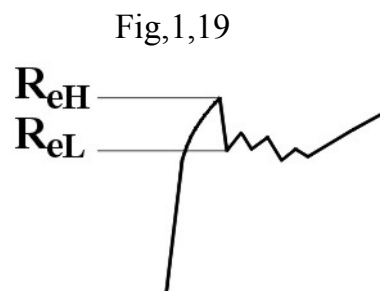
È quel carico oltre il quale, per la prima volta, si ha un allungamento senza aumento dello sforzo

Carico unitario di snervamento superiore R_{eH} (f_y)

È quel carico unitario convenzionale oltre il quale, per la prima volta si ha un aumento dell'allungamento unitario senza aumento di tensione. Esso è dato dal rapporto convenzionale:

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}$$

Negli acciai a basso tenore di carbonio la fase di snervamento è accentuata e si ha, all'inizio, un brusca diminuzione della tensione; si può quindi distinguere una tensione di snervamento superiore R_{eH} , al limite superiore della prima diminuzione di essa, e una tensione di snervamento inferiore R_{eL} (UNI EN1002)



Osservazione sui simboli

Occorre osservare che nella progettazione delle strutture metalliche, per la resistenza degli acciai da costruzione, si fa riferimento alla tensione di snervamento superiore R_{eH} , indicato, nei calcoli con il simbolo f_y :

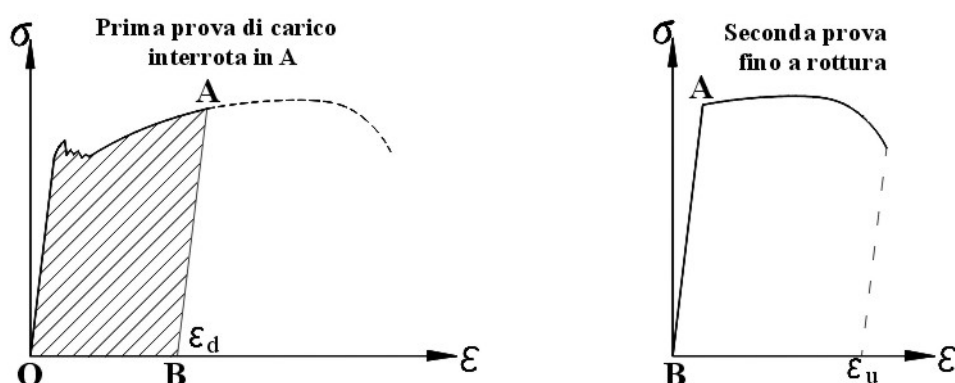
$$f_y = R_{eH}$$

Fase plastica - dei grandi allungamenti

Terminata la fase di snervamento, continuando ad imprimere allungamenti alla provetta, il materiale, avendo perso molte caratteristiche di elasticità, si comporta abbastanza similmente ad un materiale plastico: all'aumentare dell'allungamento si hanno piccoli incrementi di sforzo.

L'energia di attivazione delle dislocazioni è raggiunta nella quasi totalità dei grani del materiale, quindi esse diffondono, incontrando poca resistenza. Molte altre dislocazioni si formano nel procedere della sollecitazione.

Le dislocazioni, diffondendo nelle varie direzioni, incrociandosi, si bloccano, determinando un aumento dell'incrudimento, con conseguente diminuzione della deformabilità del materiale.



Nella deformazione plastica si ha una dispersione di energia in calore; ciò non avviene in quella elastica, dove l'energia elastica nel carico viene restituita nello scarico, con deformazione permanente nulla.

Se si scarica la provetta, prima della rottura, nella fase dei grandi allungamenti, ad esempio nel punto *A* del diagramma di carico di Fig.1.20, alla fine, si ottiene una deformazione permanente con allungamento unitario ϵ_d (punto *B* del grafico).

L'area tratteggiata del diagramma è l'energia persa nel carico e scarico della provetta, in $mj = 10^{-3} j$ per ogni mm^3 di volume.

$$Area = \int \sigma \cdot d\epsilon = \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{mm}{mm} = \frac{N \cdot mm}{mm^3} = 10^{-3} \frac{N \cdot m}{mm^3} = 10^{-3} \frac{j}{mm^3}$$

Ricaricando la provetta, dopo lo scarico, si ripercorre in senso inverso, con una piccola isteresi, la linea di scarico *BA* e si completa la fase dei grandi allungamenti interrotta, fino a rottura.

Da quanto esposto, è evidente che l'estensione dei grandi allungamenti, determina il grado di plasticità del materiale, la capacità di esso ad assorbire lavoro di deformazione prima di raggiungere la rottura. Ciò è molto importante nelle sollecitazioni ripetute, alterne, come si presentano nelle azioni sismiche.

Nella valutazione del comportamento del materiale nei riguardi delle sollecitazioni, è importante, non solo il valore della resistenza, indicato dal carico unitario di snervamento $R_{eH} = f_y$ (o di rottura $R_m = f_t$), ma anche la capacità di assorbire lavoro prima di arrivare alla rottura, da cui dipendono le proprietà di, stiramento, duttilità del materiale.

Fase di Strizione

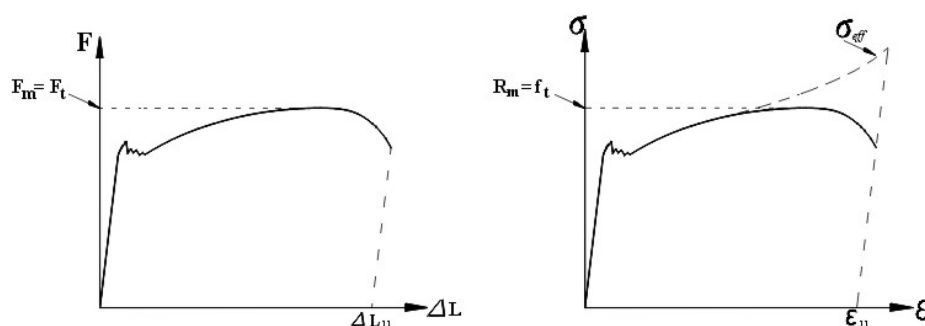
Fi.1.21

Nel procedere della sollecitazione nella fase di plasticità, dei grandi allungamenti, si arriva ad un carico massimo F_m (F_t), oltre il quale, si manifesta un marcato allungamento in una zona della provetta, accompagnato da una notevole diminuzione della sezione.



Il fenomeno è denominato di strizione.

Il cedimento del materiale è localizzato in una ristretta zona della provetta, ove si hanno forti allungamenti con diminuzione dello sforzo totale, ciò perché esso è concentrato su una sezione che va via, via diminuendo.



Riguardo allo sforzo unitario, calcolato in questa fase, va distinto, come si è già evidenziato, lo sforzo unitario convenzionale da quello effettivo.

Lo sforzo unitario convenzionale si ottiene, dividendo lo sforzo totale per la sezione iniziale S_0 ; per cui esso segue lo stesso andamento dello sforzo totale F

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

Lo sforzo unitario reale, calcolato con la sezione effettiva S_{eff} :

$$\sigma_{eff} = \frac{F}{S_{eff}}$$

continua ad aumentare fino a rottura, in quanto, la sezione S_{eff} , posta al denominatore, diminuisce più velocemente dello sforzo F , posto al numeratore.

Carico massimo F_m (F_t)

È lo sforzo massimo ottenuto nella prova di trazione, corrispondente all'ordinata massima del diagramma di carico.

Carico unitario di rottura R_m (f_t)

È il rapporto tra il carico massimo e la sezione iniziale della provetta

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Nella progettazione delle strutture metalliche in acciaio (norme NTC) il carico unitario di rottura è indicato con il simbolo f_t .

$$R_m = f_t$$

Allungamento percentuale dopo rottura A

Dopo la rottura della provetta, riunendo i due spezzoni, si misura la lunghezza ultima L_u tra i riferimenti del tratto utile, l'allungamento totale subito dalla provetta è:

$$\Delta L_u = L_u - L_0$$

L'allungamento percentuale A , dopo rottura è:

$$A = \frac{\Delta L_u}{L_0} \qquad A = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

Coefficiente percentuale di strizione Z

Dopo la rottura di una provetta cilindrica si misura il diametro minimo d_u ottenuto nella strizione.

Si indica con S_u l'area minima della sezione dopo rottura

Si definisce coefficiente percentuale di strizione il rapporto:

$$Z = \frac{S_u - S_0}{S_0}$$

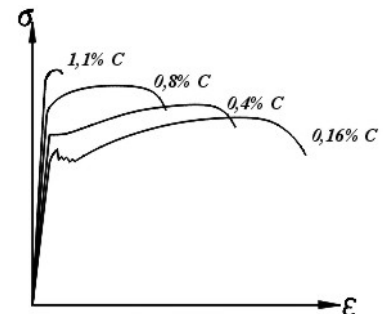
Diagrammi di carico degli acciai

Il diagramma di carico di un acciaio, rilevato nella prova di trazione, dipende dalla % degli elementi chimici che lo compongono, dal trattamento termico a cui è stato sottoposto e da altri fattori, che ne possono variare le caratteristiche meccaniche, come: l'invecchiamento, precedenti sollecitazioni a fatica, ecc..

Il diagramma di carico, considerato nello studio delle varie fasi, si riferiva ad un acciaio normalizzato, al solo carbonio, con una bassa percentuale di esso: 0,1 - 0,16% C, per il quale risultano distinte e marcate dette fasi.

Considerando i diversi diagrammi di carico, per gli acciai normalizzati, all'aumentare della % di carbonio, si possono notare le seguenti variazioni delle caratteristiche meccaniche, di resistenza e deformabilità:

- aumenta il carico massimo $F_m = F_t$ e quindi il carico unitario di rottura $R_m = f_t$; aumenta il carico unitario di snervamento $R_{eH} = f_y$ (tensione di snervamento);
- si restringe la fase di snervamento, che diviene sempre meno accentuata all'aumentare della % di C, tanto che, per un acciaio, allo stato normalizzato, con percentuali superiori al 4% non è più possibile rilevare R_{eH} , attraverso una brusca diminuzione dello sforzo;
- diminuisce la fase di plasticità. Quindi, all'aumentare della % di C, aumenta la resistenza dell'acciaio ma diminuisce la sua malleabilità, duttilità, il lavoro assorbito per raggiungere la rottura.



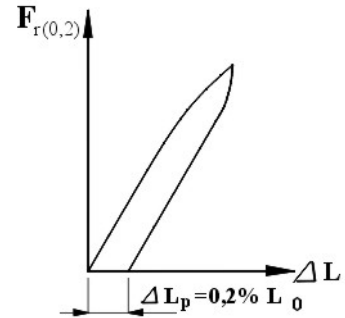
Determinazione del carico unitario di snervamento R_{eH} non marcato nella prova di trazione

Fig.1.24

Nel caso in cui non è rilevabile il parametro $R_{eH} = f_y$ nella prova di trazione, attraverso la discontinuità marcata nel diagramma di carico: per l'abbassamento repentino dello sforzo, allora, il carico unitario di snervamento superiore lo si fa coincidere con il *carico unitario limite di allungamento permanente* R_r :

$$R_r = \frac{F_r}{S_0}$$

dove F_r è quello sforzo che, dopo essere applicato e successivamente scaricato dalla provetta, si ottiene, su questa, un allungamento permanente ΔL_p non maggiore di una prescritta percentuale della lunghezza iniziale L_0 . Molto usuale è



$$\Delta L_p = 0,2\% L_0 \qquad \Delta L_p = \frac{0,2}{100} \cdot L_0$$

Il rapporto riferito alla percentuale si indica:

$$R_{r(0,2)} = \frac{F_{r(0,2)}}{S_0}$$

Durezza

Il concetto di durezza si lega alla resistenza alla deformazione, che offre la superficie di un materiale a contatto con un altro, preso come campione.

In mineralogia, la durezza è la resistenza alla scalfittura: un materiale è più duro di un altro, quando il primo scalfisce il secondo. Nella scala di Mohs si hanno 10 gradi di durezza: dal più tenero, il talco, al più duro, il diamante.

Nel concetto metallurgico, la durezza si riferisce alla resistenza alla penetrazione di uno specifico penetratore, di elevata durezza, preso come campione, su quale si esercita una determinata forza.

Vi sono vari metodi per la misurazione della durezza, a seconda: del tipo di penetratore, della forza impiegata e della indicazione dedotta dalla penetrazione ottenuta.

Durezza Brinell

Si assume come penetratore una sfera di acciaio temprato ad elevata percentuale di C (0,8%) avente durezza Vickers $HV \geq 850$

La prova consiste: nel premere la sfera del penetratore, di diametro D , sulla superficie da saggiare, con una forza prestabilita per un determinato tempo; nel far permanere il carico per un altro determinato tempo; quindi, scaricato e tolto il penetratore, si rileva il diametro d dell'impronta, lasciata sulla superficie, con la media di due letture a 90° tra loro.

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

dal diametro d rilevato si ricava la superficie S della calotta sferica dell'impronta permanente.

La durezza Brinell è il rapporto tra la forza F , espressa in kg_f (kilogrammo forza), esercitata sul penetratore e la superficie, in mm^2 , della calotta sferica dell'impronta permanente, lasciata sulla superficie:

$$HB = \frac{F}{S}$$

con F espressa in kg_f

Con l'introduzione del sistema internazionale SI , le forze ora sono espresse in Newton (N) e in questa unità vengono indicate dalle macchine moderne. Per lasciare inalterati le scale e i risultati precedentemente ottenuti, i risultati letti in N devono essere trasformati in kg_f :

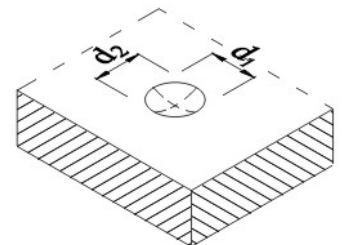
$$1N = \frac{1}{9,80665} kg_f = 0,102 kg_f$$

si ha quindi che:

- nelle vecchie macchine con indicazioni delle forze in kg_f la durezza Brinell è espressa dal rapporto:

$$HB = \frac{F}{S}$$

Fig.1.25



- nelle macchine attuali, ove le forze sono espressi in N , la durezza Brinell è espressa dal rapporto:

$$HB = 0,102 \cdot \frac{F}{S}$$

La superficie della calotta sferica si ricava in base alla misura dei diametri: della sfera D e dell'impronta d

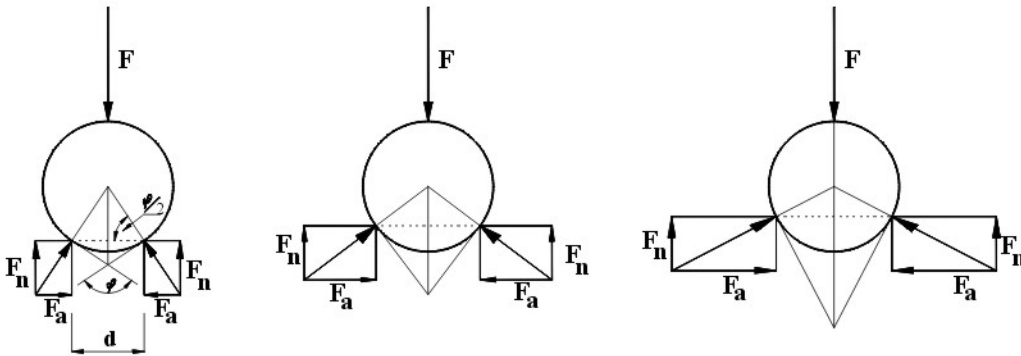
Per brevità non si riporta lo sviluppo della dimostrazione. La formula risolutiva della durezza Brinell in funzione dei diametro D, d è:

$$HB = 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Scelta della forza F sul penetratore

Occorre notare che non vi è proporzionalità tra la forza F e la superficie dell'impronta S , e quindi il rapporto $\frac{F}{S}$ non dipende solo dal tipo di materiale, ma anche dalla forza impiegata per la prova.

Fig.1.26



All'aumentare della penetrazione, aumentano le componenti di reazione orizzontali F_a , rispetto alle verticali. L'esperienza dimostra che vi è una sufficiente proporzionalità tra forza F e superficie dell'impronta S , quando l'angolo di penetrazione φ assume valori intorno a $\varphi = 136^\circ$.

Per $\varphi = 136^\circ$ il rapporto tra il diametro dell'impronta d e quello della sfera D è:

$$\frac{d/2}{D/2} = \cos \frac{\varphi}{2} \quad \text{per } \varphi = 136^\circ \quad \frac{d}{D} = \cos \frac{136}{2}$$

$$\frac{d}{D} = 0,375$$

in pratica, affinché la prova sia valida occorre che verificare che risulti:

$$\frac{d}{D} = 0,25 \div 0,5$$

Scelta del carico di prova F

Per la prova di durezza Brinell è scelto un carico F proporzionale al quadrato della sfera del penetratore.

$$F = n \cdot D^2 \quad [kg_f]$$

dove i carichi F sono espressi in kg_f .

Se il durometro indica i carichi in N , questi debbono essere tradotti in kg_f

$$F = \frac{n \cdot D^2}{0,102} = 9,80665 \cdot n \cdot D^2$$

La costante n dipende dal tipo di materiale

- $m = 30$ leghe siderurgiche
- $n = 10$ leghe di rame, di alluminio...
- $n = 5$ rame puro, alluminio puro...

Prova standard per l'acciaio

Per l'acciaio la prova Brinell standard è eseguita con:

diametro della sfera	$D = 10 \text{ mm}$
Carico di prova	$F = 30 \cdot 10^2 = 3000 \text{ kg}_f = \frac{3000}{0,102} \text{ N}$ $F = 29412 \text{ N}$
tempo di carico	$t_c = 15 \text{ s}$
tempo di permanenza del carico	$t_p = 15 \text{ s}$

In condizioni diverse dalla standard, si indica, in ordine: il diametro della sfera, il carico in kg_f ($N \cdot 0,102$), la durata di permanenza in secondi.

Esempio

$150HB_{5/500/15}$

150 durezza Brinell

5 sfera da 5 mm di diametro

500 carico sul penetratore di 500 kg_f , corrispondente a $\frac{500}{0,102} = 4902 \text{ N}$

15 permanenza di 15 s del carico sul penetratore

Campo di applicazione della durezza Brinell

Il campo di applicazione della durezza Brinell trova una limitazione nella scelta del penetratore, costituito da una sfera in acciaio temprato con durezza $HV_{10/15} \geq 850$, che deve risultare sufficientemente superiore al materiale da saggiare. La prova è valida quando è trascurabile la deformazione della sfera del penetratore, che falserebbe la forma dell'impronta.

L'impiego della prova Brinell, con penetratore a sfera in acciaio temprato, si può eseguire su materiali con durezza non superiore a $450 HB$. In questo campo rientrano sicuramente gli acciai da costruzione edilizia.

Adoperando, come penetratore, una sfera a carburi di wolframio, si possono misurare durezza di materiali fino a $650 HB$.

La prova di durezza Brinell è utilizzabile per tutti gli acciai da costruzione edilizia, per gli acciai da costruzione meccanica, normalizzati o bonificati.

Per gli acciai a più alta durezza, quali quelli da cementazione temprati, nitrurati, o gli acciai per stampi, nei quali risulta sicuramente $HB > 450$, si utilizzano altre scale di durezza: Vickers, Rockwell.

Durezza Vickers

La durezza Vickers si può considerare come un perfezionamento della Brinell. Si è specificato che nella prova Brinell occorre verificare che il rapporto $\frac{d}{D}$ sia in un ristretto intorno di 0,375, a cui corrisponde un angolo di penetrazione di 136° , in modo che vi sia un'approssimata proporzionalità tra la forza di carico F e la superficie S dell'impronta.

Fig.1.27

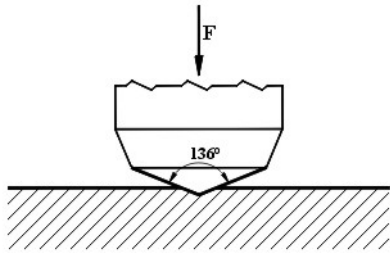


Fig.1.28

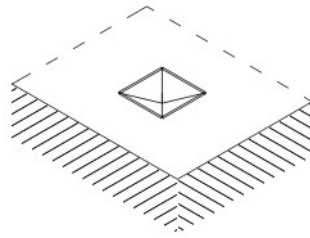
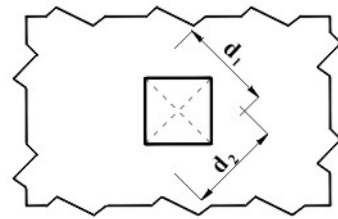


Fig.1.29



Per la prova Vickers si assume un penetratore a punta piramidale, di diamante a base quadrata, con angolo al vertice di 136° .

La prova consiste, come per la Brinell, nel premere il penetratore, con una forza F , sulla superficie da saggiare, lasciando ivi una impronta di forma piramidale.

La durezza Vickers è il rapporto tra la forza F , in kg_f , e la superficie laterale S , in mm^2 , dell'impronta piramidale permanente, rilevata dopo aver tolto il carico.

$$HV = \frac{F}{S} \quad \text{con } F \text{ in } kg_f$$

se il durometro ha la scala delle forze in N:

$$HV = 0,102 \cdot \frac{F}{S}$$

Per la determinazione della superficie laterale S d'impronta piramidale, si misurano le due diagonali d_1, d_2 del perimetro quadrato, affiorante sulla superficie saggiata (Fig.1.29), e si determina il valore medio d :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Si ricava la superficie, funzione di d

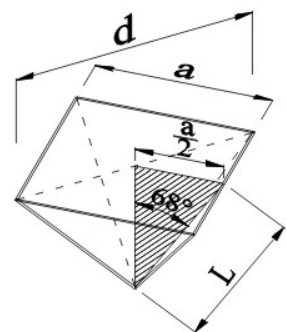
$$S = 4 \cdot \frac{a \cdot L}{2} = 2 \cdot a \cdot L$$

$$a = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

$$L = \frac{a}{2 \cdot \sin 68^\circ}$$

$$L = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin 68^\circ}$$

Fig.1.30



$$S = 2 \cdot a \cdot L \qquad S = 2 \cdot \frac{d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \text{sen}68^\circ} \qquad S = \frac{d^2}{2 \cdot \text{sen}68^\circ}$$

$$HV = \frac{F}{S} \qquad HV = 2 \cdot \text{sen}58^\circ \cdot \frac{F}{d^2}$$

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \qquad \text{con F in } kg_f$$

Nei durometri attuali, con scale delle forze in N , si ha:

$$HV = 0,102 \cdot \frac{F}{S} \qquad HV = 0,102 \cdot 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

$$HV = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

Carico di prova

La durezza Vickers è praticamente indipendente dal carico di prova: dipende solamente dal tipo di materiale. La norme UNI (EURONORM_ISO) consentono di utilizzare carichi da $49 \div 980 N$

Per gli acciai la prova standard è eseguita con:

$$\begin{array}{ll} \text{carico di prova} & F = 30 \text{ kg}_f = 294 N \\ \text{tempo di permanenza del carico} & t = 15 s \end{array}$$

Nella prova standard la durezza è contrassegnata dal solo simbolo HV

In prove diverse, occorre indicare il carico impiegato e la durata di permanenza.

$$\text{Esempio} \quad 800 HV_{30/20} \left\{ \begin{array}{l} F = 30 \text{ kg}_f = 294 N \\ t = 20 s \end{array} \right.$$

Osservazioni

Come si può notare dalla tabelle di conversione delle durezza, di seguito riportata, per durezza non elevate, quali si hanno per gli acciai da costruzione edilizia, le durezza HV hanno valori molto prossimi alle HB

Carico unitario di rottura R_m

Occorre notare che vi è un rapporto quasi costante tra la durezza HB e il carico di rottura

$$R_m = f_t, \text{ oppure tra } HV \text{ e } R_m = f_t$$

Orientativamente, per acciai tenaci con $HB \leq 450$, quali gli acciai da costruzione, si ha:

$$\frac{HB}{R_m} \cong 3,48$$

Per gli acciai da trattamento termico, con $HB > 450$, orientativamente si ha:

$$\frac{HV}{R_m} = 3,3$$

R_m (N/mm ²)	HV ($F \geq$ 98 N)	HB (0,102 F/D^2 = 30)	HRC	HR 15 N	HR 30 N	HR 45 N	R_m (N/mm ²)	HV ($F \geq$ 98 N)	HB (0,102 F/D^2 = 30)	HRC	HR 15 N	HR 30 N	HR 45 N
264,8	80	76,0					1 122,8	340	323,0	34,4	77,4	54,4	36,5
280,5	85	80,7					1 157,1	350	332,5	35,5	78,0	55,4	37,8
297,1	90	85,5					1 188,5	360	342,0	36,6	78,6	56,4	39,1
313,8	95	90,2					1 222,9	370	351,5	37,7	79,2	57,4	40,4
330,4	100	95,0					1 255,2	380	361,0	38,8	79,8	58,4	41,7
347,1	105	99,8					1 287,6	390	370,5	39,8	80,3	59,3	42,9
362,8	110	104,5					1 321,9	400	380,0	40,8	80,8	60,2	44,1
380,5	115	109,3					1 355,3	410	389,5	41,8	81,4	61,1	45,3
396,2	120	114,0					1 387,6	420	399,0	42,7	81,8	61,9	46,4
412,8	125	118,8					1 422,0	430	408,5	43,6	82,3	62,7	47,4
428,5	130	123,5					1 453,3	440	418,0	44,5	82,8	63,5	48,4
446,2	135	128,3					1 486,7	450	427,5	45,3	83,2	64,3	49,4
462,8	140	133,0					1 520,0	460	437,0	46,1	83,6	64,9	50,4
479,5	145	137,8					1 553,4	470	446,5	46,9	83,9	65,7	51,3
495,2	150	142,5					1 587,7	480		47,7	84,3	66,4	52,2
511,9	155	147,3					1 618,1	490		48,4	84,7	67,1	53,1
528,6	160	152,0					1 650,4	500		49,1	85,0	67,7	53,9
545,2	165	156,8					1 684,8	510		49,8	85,4	68,3	54,7
561,9	170	161,5					1 718,1	520		50,5	85,7	69,0	55,6
578,6	175	166,3					1 751,4	530		51,1	86,0	69,5	56,2
594,3	180	171,0					1 784,8	540		51,7	86,3	70,0	57,0
610,9	185	175,8					1 817,2	550		52,3	86,6	70,5	57,8
627,6	190	180,5					1 851,4	560		53,0	86,9	71,2	58,6
644,3	195	185,3					1 882,9	570		53,6	87,2	71,7	59,3
660,9	200	190,0					1 916,2	580		54,1	87,5	72,1	59,9
676,6	205	194,8					1 949,5	590		54,7	87,8	72,7	60,5
694,3	210	199,5					1 983,9	600		55,2	88,0	73,2	61,2
710,0	215	204,3					2 016,2	610		55,7	88,2	73,6	61,7
726,7	220	209,0					2 047,6	620		56,3	88,5	74,2	62,4
743,3	225	213,8					2 081,0	630		56,8	88,8	74,6	63,0
760,0	230	218,5					2 115,3	640		57,3	89,0	75,1	63,5
775,7	235	223,3					2 148,6	650		57,8	89,2	75,5	64,1
792,4	240	228,0	20,3	69,6	41,7	19,9		660		58,3	89,5	75,9	64,7
809,0	245	232,8	21,3	70,1	42,5	21,1		670		58,8	89,7	76,4	65,3
825,7	250	237,5	22,2	70,6	43,4	22,2		680		59,2	89,9	76,8	65,7
842,4	255	242,2	23,1	71,1	44,2	23,2		690		59,7	90,1	77,2	66,2
858,1	260	247,0	24,0	71,6	45,0	24,3		700		60,1	90,3	77,6	66,7
875,7	265	251,7	24,8	72,1	45,7	25,2		720		61,0	90,7	78,4	67,7
892,4	270	256,5	25,6	72,6	46,4	26,2		740		61,8	91,0	79,1	68,6
908,1	275	261,2	26,4	73,0	47,2	27,1		760		62,5	91,2	79,7	69,4
925,7	280	266,0	27,1	73,4	47,8	27,9		780		63,3	91,5	80,4	70,2
949,3	285	270,7	27,8	73,8	48,4	28,7		800		64,0	91,8	81,1	71,0
958,1	290	275,5	28,5	74,2	49,0	29,5		820		64,7	92,1	81,7	71,8
974,8	295	280,2	29,2	74,6	49,7	30,4		840		65,3	92,3	82,2	72,2
991,4	300	285,0	29,8	74,9	50,2	31,1		860		65,9	92,5	82,7	73,1
1 024,8	310	294,5	31,0	75,6	51,3	32,5		880		66,4	92,7	83,1	73,6
1 057,1	320	304,0	32,2	76,2	52,3	33,9		900		67,0	92,9	83,6	74,2
1 088,5	330	313,5	33,3	76,8	53,6	35,2		920		67,5	93,0	84,0	74,8
								940		68,0	93,2	84,4	75,4

Il rapporto orientativo tra durezza HB e carico unitario di rottura $R_m = f_t$ è interessante, in quanto, con un durometro portatile, in cantiere, misurando la durezza dell'elemento in acciaio si può conoscere orientativamente la sua resistenza, salvo poi, naturalmente, eseguire prove in laboratorio.

Resilienza

La resistenza di un materiale, da quanto trattato nei capitoli precedenti, è stata definita dalla prova statica di trazione, da cui si sono ricavati parametri i caratteristici: il carico unitario di rottura $R_m = f_t$, il carico unitario di snervamento $R_{eH} = f_y$ che ne indicano la resistenza; l'allungamento percentuale dopo rottura A e l'allungamento unitario ultimo ϵ_u , che ne indicano la deformabilità.

Inoltre, l'area, del diagramma di carico, fornisce il lavoro dell'unità di volume del materiale per portare a rottura la provetta, con una trazione condotta con bassa velocità di incremento di carico

$$Area = \int \sigma \cdot d\epsilon \quad \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{mm}{mm} = \frac{N \cdot mm}{mm^3} = 10^{-3} \frac{N \cdot m}{mm^3} = 10^{-3} \frac{J}{mm^3}$$

la prova statica di trazione, quindi, non è sufficiente per definire il comportamento di un elemento strutturale, composto di un determinato materiale, nel caso di sollecitazioni dinamiche, come le alterne o urti.

In un urto, anche un piccolo carico, impresso con elevata velocità, può possedere energia cinetica sufficiente a trasformarsi in lavoro di deformazione, necessario per portare l'elemento strutturale a rottura. Questa è facilitata da sollecitazioni dinamiche alterne, da discontinuità, da intagli....

Fig.1.31

Così vi sono materiali tenaci, come gli acciai a basso tenore di carbonio, che, pur presentando bassi carichi unitari di rottura e di snervamento, presentano un elevato lavoro di deformazione prima di raggiungere la rottura. Essi sono contraddistinti da un diagramma di carico a trazione con un'ampia fase di plasticità, elevato ϵ_u .

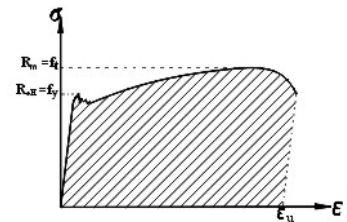
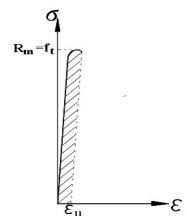


Fig.1.32

Altri acciai, a più alta percentuale di carbonio, pur possedendo alta resistenza statica, con elevato carico unitario di rottura, offrono un limitato lavoro di deformazione, con piccole deformazioni plastiche prima di raggiungere la rottura. Il loro diagramma di carico a trazione presenta una limitata fase plastica, in alcuni quasi nulla, come negli acciai temprati ad alta % di C.



La capacità di un materiale di resistere agli urti, alle sollecitazioni dinamiche, con assorbimento di elevato lavoro, prima di raggiungere la rottura, viene definita *resilienza*.

Prova di resilienza

La prova di resilienza consiste nella esecuzione delle rottura, per urto a flessione, di un provino unificato.

Il provino, costituito da una sbarretta a sezione quadrata, appoggiato alle estremità su due supporti, contiene nella mezzeria un intaglio, ed è colpito nella parte opposta a questo da una mazza, posta all'estremità di un pendolo.

La resilienza è dedotta dalla misura del lavoro assorbito per eseguire la rottura del provino.

Sono unificate più prove di resilienza, Per tutte, la provetta del materiale è costituito da una barretta a sezione quadrata $10 \times 10 \text{ mm}^2$ e lunghezza 55 mm . Il tipo di resilienza si differenzia dalla forma dell'intaglio, eseguito nella mezzeria di una faccia laterale della provetta.

Per gli acciai da costruzione considerati nelle norme NTC del DM 2008, la prova di resilienza raccomandata è la *KV* con intaglio a *V*, come rappresentato in figura Fig.1.33

Fig.1.33

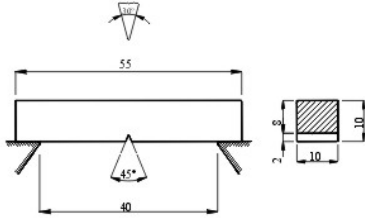
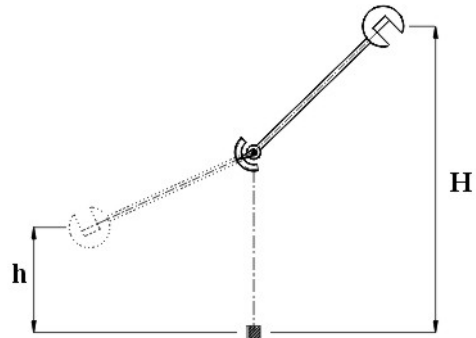


Fig.1.34



Il provino è posto alla base del maglio pendolare, sorretto, alle estremità, da due appoggi, che lasciano un tratto centrale libero di 40 mm , e disposto, con l'intaglio rivolto dalla parte opposta a quella di battuta della mazza.

Innalzata questa dell'altezza H dalla base, è lasciata cadere sulla provetta, battendo sulla faccia opposta a quella contenente l'intaglio, e sull'asse di questo, con una velocità di circa $5 \div 5,5\text{ m/sec}$.

Rotta la provetta, con l'assorbimento di un lavoro L , la mazza, per effetto dell'energia cinetica residua posseduta, si innalza dell'altezza h , (Fig.1.34)

Trascurando l'energia dispersa per attrito sul perno, il lavoro speso per la rottura a flessione della provetta è dato dalla differenza:

$$L = P \cdot H - P \cdot h$$

Il lavoro massimo $P \cdot H$ disponibile per la prova è fisso. Nella prova unificata è:

$$P \cdot H = 300 \pm 10\text{ J}$$

L'altezza h di innalzamento della mazza dopo rottura, si ricava in base all'angolo descritto da essa dopo rottura e registrato dal pendolo.

Definizione di resilienza *KV*

La resilienza *KV* di un materiale è il lavoro in Joule speso, per rompere, a flessione con un solo colpo, nella caduta pendolare della mazza, la provetta unificata con intaglio a *V*, profondo 2 mm .

Il simbolo *KV*, senza altre indicazioni, si riferisce alla prova normale con il maglio a pendolo di $300 \pm 10\text{ j}$ lavoro max. disponibile, alla temperatura normale di $23 \pm 5\text{ C}^\circ$

Nei casi particolari, si indicano con pendici: l'energia disponibile, la temperatura di prova ed, eventualmente, la larghezza del provino.

Esempi

$$24\text{ KV}_{100/-10/5} \left\{ \begin{array}{l} \text{lavoro } 100\text{ j} \\ \text{temperatura } -10^\circ \\ \text{larghezza provetta } 5\text{ mm} \end{array} \right.$$

Designazione degli acciai

Gli acciai possono essere designati in base alle caratteristiche meccaniche (impiego) o alla composizione chimica, espressa dalla percentuale degli elementi chimici principali che li compongono.

Designazione degli acciai in base alle caratteristiche meccaniche – impiego

Con le caratteristiche meccaniche sono designati gli acciai da costruzione edilizia e, in generale, quelli identificati dall'impiego finale, nel quale non sono modificate le caratteristiche del materiale, che rimangono con le stesse proprietà iniziali di acquisto.

La distinzione dell'impiego dell'acciaio è data da una lettera iniziale.

I simboli distintivi sono:

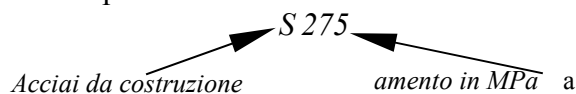
<i>B</i>	acciai per cemento armato;
<i>C</i>	acciai non legati al carbonio;
<i>D</i>	acciai prodotti piani per formatura a freddo;
<i>E</i>	acciai per costruzioni meccaniche;
<i>G</i>	acciai per getti;
<i>H</i>	acciai ad alta resistenza per imbutitura a freddo e prodotti piani laminati a freddo;
<i>HS</i>	acciai rapidi;
<i>L</i>	acciai per tubi;
<i>M</i>	acciai magnetici;
<i>P</i>	acciai per impieghi sotto pressione;
<i>R</i>	acciai per rotaie;
<i>S</i>	acciai per impieghi strutturali (carpenteria metallica);
<i>T</i>	acciai per banda nera stagnata e cromata – per imballaggi;
<i>X</i>	acciai legati;
<i>Y</i>	acciai per cemento armato precompresso.

Caratteristiche principali degli acciai che servono ad un determinato impiego

Tensione di snervamento

Dopo la lettera indicante l'impiego dell'acciaio, segue un numero che indica il valore del carico unitario di snervamento $R_{eH} = f_y$, minimo garantito, espresso in N/mm^2 (MPa).

Ad esempio:



Altre caratteristiche indicate negli acciai da costruzione

Resilienza – simboli: J, K, L

Dopo la tensione di snervamento è indicata la resilienza KV minima garantita, espressa dall'energia in Joule, spesa per rompere la provetta unificata con intaglio a V.

Energia di rottura, minima garantita:

<i>J</i>	energia minima 27 J ;
<i>K</i>	energia minima 40 J ;
<i>L</i>	energia minima 60 J .

Temperatura di esecuzione della prova di resilienza

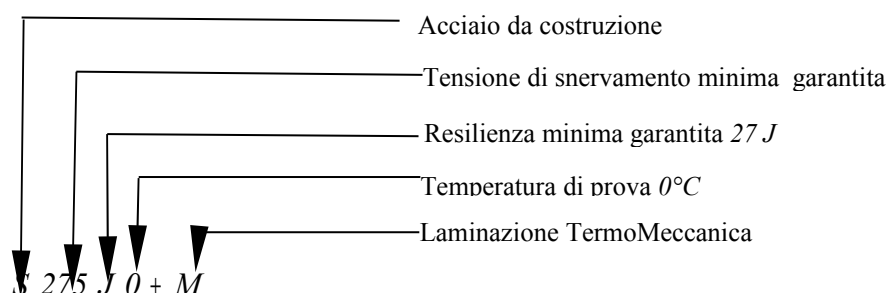
<i>R</i>	temperatura di prova $23\text{ C}^\circ \pm 5^\circ$;
<i>0</i>	temperatura di prova 0° C ;

- 2 temperatura di prova - 20° C ;
 4 temperatura di prova - 40° C ;
 L temperatura di prova - 40° C per acciai bonificati (Q); - 50° C per acciai per laminazione normalizzata e laminazione termo-meccanica;
 L₁ temperatura di prova - 60° C .

Simboli per la condizione di fornitura

- + AR grezzo di laminazione;
 + N laminazione normalizzata;
 + M laminazione termo-meccanica;
 + Q acciaio bonificato ad alto limite di snervamento;
 +W acciaio con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica.

Esempio



Acciai da costruzione – per struttura metalliche

La normativa NTC – DM 2008 prescrive che, per la realizzazione delle strutture metalliche, si debbono utilizzare acciai conformi alle norme armonizzate della serie: UNI EN 10025 per laminati; UNI EN 10210 per tubi senza saldatura; UNI EN 2019 per tubi saldati.

In sede di progettazione si possono assumere i seguenti valori per le proprietà dell'acciaio:

modulo elastico longitudinale	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
modulo di elasticità tangenziale	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$
coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
coefficiente di dilatazione termica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$

Considerato che nell'acciaio il coefficiente di Poisson è $\nu = 0,3$, il modulo di elasticità longitudinale in esso è:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \qquad G = \frac{210000}{2 \cdot (1 + 0,3)}$$

$$G = 80760 \text{ N/mm}^2$$

In sede di progettazione si possono assumere, nei calcoli, i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} (dedotte, in più prove, da R_{eH}) e di rottura f_{tk} (dedotte, in più prove da R_m) previste nelle norme UNI EN 10025, UNI EN 10210, UNI EN 10219-1.

Qui sono riportate le indicazioni per i laminati a caldo UNI10025-2 a cui si farà riferimento nei calcoli di verifica svolti negli esempi

Laminati a caldo con profili sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 < t \leq 80$	
	$f_{yk} [N/mm^2]$	$f_{tk} [n/mm^2]$	$f_{yk} [N/mm^2]$	$f_{tk} [n/mm^2]$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550

Particolari acciai da costruzione

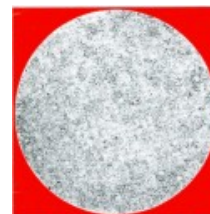
Acciai T-1

Sono acciai da costruzione ad altissima resistenza, con carichi unitari di rottura $R_m = 800 \div 950 \text{ N/mm}^2$

Si differenziano dagli altri acciai da costruzione per la loro particolare composizione chimica, contenente piccole % di elementi leganti, quali Ni, Cr, Mn, Cu. Sono sottoposti ad un trattamento termico di bonifica, costituito da una tempra e successivo rinvenimento.

Fig.1.35

Dal trattamento termico si ottiene una struttura finemente dispersa di ferrite e carburi, atta a costituire un blocco delle dislocazioni nelle sollecitazioni, e determinare, così, l'aumento della resistenza.



Interessante è che, nelle prove di trazione, si ottengono carichi unitari di snervamento $R_{eH} = f_y$ e di rottura $R_m = f_t$ con rapporti tra loro che possono raggiungere valori:

$$\frac{f_y}{f_t} \cong 0,9$$

Nonostante che la tensione di snervamento risulti vicino a quella di rottura, il diagramma di carico presenta una discreta fase di plasticità, denotando le specifiche caratteristiche di un materiale tenace e anche duttile, capace di assorbire elevate quantità di energia prima della rottura.

All'originario acciaio T-1, per poter avere una più vasta gamma di proprietà meccaniche di resistenza e deformabilità, sono stati prodotti due altri tipi di acciaio:

Acciaio T-1a acciaio meno ricco di elementi in lega ma capace di garantire le stesse caratteristiche dell'acciaio T-1 fino a 32 mm di spessore;

Acciaio T-1b acciaio con composizione chimica intermedia tra T-1 e T-1°, in grado di offrire le stesse caratteristiche dell'acciaio T-1 fino a 50 mm di spessore.

Così considerando un prodotto ITALSIDER, acciaio T1 (S690QL) – EN 10025 .
Stato bonificato.
Si ha:

Composizione chimica acciai T1

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Nb	Cu	V	N	Zr
≤ 0,20	≤ 1,70	≤ 0,80	≤ 1,50	≤ 2,00	≤ 0,70	≤ 0,02	≤ 0,010	≤ 0,060	≤ 0,50	≤ 0,12	≤ 0,015	≤ 0,15

Caratteristiche meccaniche acciai T1

Tensione di rottura $R_m = f_t$ N/mm^2	Tensione di snervamento $R_{eH} = f_t$ N/mm^2	Allungamento % dopo rottura A%
770 ÷ 940	> 690 a 20° C	14 min a 20° C

Composizione chimica acciai T1a – T1b

Tipo	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Cu	B	Ti
T1a	0,12 ÷ 0,21	0,7 ÷ 1,00	0,035 max.	0,040 max	0,20 ÷ 0,35	-	0,40 ÷ 0,65	0,15 ÷ 0,25	0,03 ÷ 0,08	-	0,0005 ÷ 0,035	0,01 ÷ 0,03
T1b	0,12 ÷ 0,21	0,95 ÷ 1,30	0,035 max	0,040 max	0,20 ÷ 0,35	0,30 ÷ 0,70	0,40 ÷ 0,65	0,20 ÷ 0,30	0,03 ÷ 0,08	-	0,0005 max	-

Caratteristiche meccaniche acciai T1a – T1b

Tensione di rottura $R_m = f_t$ N/mm^2	Tensione di snervamento $R_{eH} = f_t$ N/mm^2	Allungamento % dopo rottura A%
800 ÷ 950	≥ 700	18

Altre caratteristiche degli acciai T1

Resistenza alla corrosione atmosferica

La particolare composizione chimica dell'acciaio, quale la presenza del rame ed altri elementi, forniscono all'acciaio T1 una resistenza alla corrosione atmosferica fino a **sei volte** superiore a quella degli acciai al solo carbonio; risulta invece due volte superiore per gli acciai T1a e T1b.

Tale proprietà consente di utilizzare l'acciaio T1 per strutture metalliche allo stato non pitturato.

Questo è possibile, in quanto, la presenza della piccola % di rame e di altri elementi, determina, sulle strutture esposte agli agenti atmosferici, una pellicola di ossido, protettivo all'aggressione della corrosione.

Comportamento ad alta temperatura

Gli acciai T1 conservano le caratteristiche meccaniche anche ad alte temperature, ovviamente, inferiori a quella di rinvenimento; normalmente le temperature di esercizio non debbono essere superiori a 400°C.

Lavorazioni a freddo

La lavorazione a freddo, quale lo stampaggio, la piegatura, ecc. può essere eseguita senza particolari problemi. Ovviamente, essendo alto il carico di snervamento, occorrerà, per la deformazione plastica, impiegare una maggiore potenza rispetto agli acciai al solo carbonio, aventi la stessa percentuale di esso.

Lavorazioni a caldo

Possono essere eseguite con le stesse tecniche impiegate per gli acciai al solo carbonio. Occorre però tener conto dello stato di fornitura dell'acciaio. Esso è normalmente fornito allo stato bonificato; se la lavorazione avviene ad una temperatura superiore a quella di rinvenimento, si ha una modificazione della struttura, e quindi dello stato bonificato: ingrossamento della grana, o, anche, all'annullamento della tempra.

Occorre, dopo la lavorazione, effettuare di nuovo il trattamento termico per ripristinare le caratteristiche meccaniche, che possono offrire gli acciai T1 bonificati.

Principali applicazioni

Per le loro caratteristiche gli acciai T1 sono adatti alla costruzione di manufatti che devono sopportare elevate sollecitazioni, con sezioni contenute rispetto a quelle che si avrebbero con gli acciai al solo carbonio. Si ottengono così strutture più leggere rispetto agli acciai normali.

Nelle costruzioni, gli acciai T1 possono essere impiegati insieme ad altri più comuni, posti in quelle parti strutturali più sollecitate. Essi, quindi sono impiegati in vari settori

Edilizia

Specialmente nelle ristrutturazioni, nelle parti dove è richiesta la massima riduzione possibile delle sezioni.

Viabilità

Travi portanti di cavalcavia. Travate miste di acciaio e calcestruzzo. ecc.

Trasporto materiali

Costruzione di cassoni ribaltabili capaci di sopportare urti e abrasioni provocate dal carico e scarico dei materiali. Autocarri per trasporto rifiuti, ecc.

Macchina per movimento delle terre

Benne per scavatore. Parti maggiormente sollecitate dei bracci degli scavatori, ecc.

Mezzi di sollevamento

Parti più sollecitate di autogrù: longheroni del telaio, piattaforme, bracci, ecc..

Acciaio COR-TEN

È un acciaio resistente alla corrosione, brevettato dalla United States Steel Corporation (U.S.S) fin dal 1933, ha subito negli anni alcune modifiche: riduzione della % di fosforo P, aggiunta di % Nichel Ni e piccoli tenori di altri elementi, atti a migliorare la resistenza meccanica.

La denominazione dell'acciaio proviene dalle sue caratteristiche:

- elevata resistenza alla corrosione (**COR**rosion resistance);
- elevata resistenza meccanica (**TEN**sile strength).

La resistenza alla corrosione dell'acciaio COR-TEN deriva dalla sua particolare composizione chimica. Alcuni elementi chimici, quale il rame ($0,25 \div 0,4\%$), nell'esposizione agli agenti atmosferici, combinandosi con l'ossigeno, producono degli ossidi, formanti una patina superficiale, compatta, resistente e stabile nel tempo, che protegge la parte interna del manufatto dall'ulteriore aggressione dalla corrosione.

L'ossido, prodotto nell'esposizione, è una patina uniforme, abbastanza gradevole, di colore bruno, di diverse tonalità, a seconda della composizione chimica dell'acciaio, degli anni e dell'ambiente esterno. Per il suo aspetto l'acciaio COR-TEN è usato anche in particolari opere architettoniche.



Dato il meccanismo di resistenza alla corrosione, l'acciaio COR-TEN non ha bisogno di verniciature ed è autoprotettivo, in quanto, se la patina esterna viene scalfita, il materiale scoperto si ossida formando di nuovo la pellicola di protezione.

Tipi di acciai COR-TEN

L'Italsider su licenza U.S.S produce tre tipi di acciaio COR-TEN: acciai A,B,C, con differenti caratteristiche di resistenza alla corrosione atmosferica e resistenza meccanica.

Tipo A adatto per applicazioni architettoniche
 Tipi A,B adatti per struttura fortemente sollecitate

Acciai COR-TEN A

Ha una composizione chimica, contenente fosforo, che conferisce un'alta resistenza alla corrosione, fino a otto volte superiore agli acciai al solo carbonio.

In un ambiente industriale o rurale la corrosione si arresta con una diminuzione di sezione di circa $0,05\text{ mm}$, mentre, un ambiente marino, progredisce, ma molto più lentamente rispetto agli acciai al solo carbonio.

È l'acciaio che più viene utilizzato per applicazioni architettoniche per il suo aspetto gradevole.

L'acciaio COR-TEN A è prodotto normalmente con spessori fino $12,5\text{ mm}$

Composizione chimica

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni
$\leq 0,12$	$0,20 \div 0,50$	$0,07 \div 0,15$	$\leq 0,035$	$0,25 \div 0,75$	$0,25 \div 0,75$	$0,230 \div 1,2$ 5	$\leq 0,65$

Caratteristiche meccaniche

Tipo di prodotto	Prova di trazione			
	$R_{eH} = f_y$ N / mm^2	$R_m = f_t$ N / mm^2	A%	
<i>larghi nastri</i> <i>nastri stretti</i> <i>lamiere</i> <i>barre</i> <i>profilati</i>	$\leq 12,5\text{ mm}$	≥ 350	≥ 490	22

Acciai COR-TEN B

Questo acciaio, detto “al vanadio”, ha una composizione chimica che gli permette di mantenere elevate caratteristiche meccaniche per spessori maggiori dei $12,5\text{mm}$ che limitano l'acciaio COR-TEN A.

La resistenza alla corrosione è minore di quella posseduta dall'acciaio COR-TEN A, ma sempre maggiore di quella degli acciai al solo carbonio; fino a quattro volte superiore, che lo rende utilizzabile senza la protezione di vernici.

L'acciaio COR-TEN B trova vasto impiego in quelle opere ove sono richiesti elementi di acciaio di grossi spessori, di elevata resistenza e buona resistenza alla corrosione.

Sono disponibili lamiere COR-TEN B con spessori fino a 38mm , e, a richiesta fino a 100mm

Composizione chimica

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	V
$0,10 \div 0,19$	$0,90 \div 1,25$	$\leq 0,025$	$\leq 0,035$	$0,15 \div 0,30$	$0,25 \div 0,40$	$0,40 \div 0,65$	$0,02 \div 0,10$

Caratteristiche meccaniche

Tipo di prodotto	Prova di trazione		
	$R_{eH} = f_y$ N/mm^2	$R_m = f_t$ N/mm^2	A%
<i>lamiere</i>			
<i>barre</i> $\geq 12,5 \div 28\text{mm}$	≥ 350	≥ 490	20
<i>profilati</i>			
<i>lamiere</i> $> 38 \div 100\text{mm}$	≥ 350	≥ 490	20

Acciai COR-TEN C

È l'acciaio COR-TEN a più alta resistenza meccanica; ha resistenza alla corrosione atmosferica, paragonabile al tipo B, di quattro volte superiore all'acciaio al solo carbonio.

Sono fabbricati prodotti con spessori fino a $25,5\text{mm}$, con eccezione dei profilati, il cui spessore massimo è di 19mm .

L'acciaio COR-TEN C trova impiego in quelle applicazioni ove è richiesta elevata resistenza meccanica, unita ad una discreta resistenza alla corrosione atmosferica.

Composizione chimica

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	V
$0,12 \div 0,19$	$0,90 \div 1,35$	$\leq 0,025$	$\leq 0,035$	$0,15 \div 0,30$	$0,25 \div 0,40$	$0,40 \div 0,70$	$0,04 \div 0,10$

Caratteristiche meccaniche

Tipo di prodotto	Prova di trazione		
	$R_{eH} = f_y$ N/mm^2	$R_m = f_t$ N/mm^2	$A\%$
<i>lamiere</i> <i>barre</i> $\leq 25,5 mm$	≥ 420	≥ 560	20
<i>profilati</i> $\leq 19mm$			

Designazione degli acciai in base alla composizione chimica

La designazione in base alla composizione chimica è usata per gli acciai che sono posti in opera dopo un trattamento: meccanico, termico, termochimico ([Trattamenti termici](#))

Le caratteristiche, di resistenza meccanica e tecnologica, si ottengono dopo il trattamento eseguito.

Questi tipi di acciai sono utilizzati per costruire organi meccanici, quali: assi, alberi, ruote dentate, ecc..

Il trattamento, a seconda del tipo e dell'acciaio utilizzato, si esegue prima o dopo la lavorazione sull'organo meccanico.

Designazioni

Le designazioni si eseguono in base alla composizione chimica.

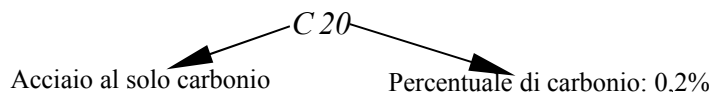
Si distinguono: acciai non legati al solo carbonio; acciai debolmente legati; acciai altamente legati.

Acciai non legati – al solo carbonio

Nella designazione si pone in ordine:

- il simbolo C del carbonio
- segue la % di carbonio contenuta moltiplicata per 100

Esempio



Cenni sui tipi di trattamento termico sugli acciai al solo carbonio

C10 - C16

Acciaio da cementazione

Acciaio a basso tenore di carbonio, per oggetti di piccole dimensioni. La cementazione si ottiene ponendo il pezzo entro un cemento, solido, liquido o gassoso, portato ad elevata temperatura: $870 \div 880^{\circ}C$. A tale temperatura la struttura dell'acciaio (austenitica) ha capacità solvente rispetto al carbonio; questo viene acquistato dal cemento, che lo cede e si diffonde nel pezzo, in una pellicola esterna di piccolo spessore, con un tenore $0,8\%$ di C.

Dopo la cementazione si effettua la tempra; con un riscaldamento del pezzo a $900^{\circ}C$ e raffreddamento in acqua.

L'esterno, ricco di carbonio, assume la durezza di tempra martensitica; il cuore del pezzo, povero di carbonio, subisce solo un affinamento della grana e rimane tenace, (per approfondimenti, si rimanda agli appunti [Trattamenti termici](#)).

Segue un rinvenimento di distensione, a bassa temperatura, per eliminare le tensioni indotte dal brusco raffreddamento.

Si hanno così dei pezzi con durezza superficiale e cuore tenace

Le operazioni di cementazione, tempra e rinvenimento, debbono essere operate dopo le lavorazioni necessarie per ottenere il pezzo, lasciando, se occorre, la rettifica come ultima lavorazione.

C 20- C 30- C 40 *Acciaio da bonifica*

A medio tenore di carbonio, per oggetti di piccole dimensioni.. Si esegue la bonifica prima delle lavorazioni. Il grezzo può essere acquistato allo stato normalizzato o, già, allo stato bonificato.

Per la bonifica si esegue una tempra, con riscaldamento $840 \div 880^{\circ}C$ (temperature inferiori per % maggiori di C) e raffreddamento in acqua.

Alla tempra segue un rinvenimento con riscaldamento a $600^{\circ}C$ e lento raffreddamento in aria.

Dopo trattamento termico si ottiene una struttura, denominata "sorbite di rinvenimento", costituita da un miscuglio, finemente disperso, di ferrite e cementite (carburi di ferro), che offre buona resistenza meccanica, con carichi di rottura $R_m = 550 \div 700 N/mm^2$ per spessori $s = 15 \div 25 mm$, associata ad una discreta resilienza. I valori più alti si riferiscono agli acciai a maggiore % di C.



Gli acciai da bonifica possono essere lavorati alle macchine utensili anche dopo il trattamento termico.

C 50 *Acciaio per tempra superficiale (indurimento superficiale)*

Viene fornito allo stato bonificato, in modo che il cuore, dopo trattamento termico, rimanga tenace.

Il trattamento termico consiste nell'immergere i pezzi, da indurire superficialmente, in un campo magnetico alternato ad alta frequenza; questo induce, solo superficialmente, correnti, la cui energia si trasforma nel calore necessario, per portare una pellicola esterna, di piccolo spessore, alla temperatura di tempra: $t = 830^{\circ}C$.

Segue un raffreddamento in acqua. In tal modo, l'esterno, avendo raggiunto la temperatura di tempra, nel raffreddamento brusco subisce tempra martensitica, il cuore rimane bonificato e quindi tenace.

C 85- C 100- C 110 *Acciai da utensili*

Sono acciai al solo carbonio per utensili, di limitate dimensioni, ma ad alta capacità di taglio, superiore agli acciai legati, dovuta ad una struttura di tempra martensitica, molto più fine di quella ottenuta con gli acciai speciali. Si effettua una tempra, riscaldando l'utensile alla temperatura di $t = 760 \div 810^{\circ}C$ e raffreddandolo successivamente in acqua. Segue un rinvenimento di distensione a bassa temperatura $t = 170 \div 250^{\circ}C$ seguito da un lento raffreddamento in aria.

Dopo il trattamento termico si ottiene una struttura aghiforme di martensite (soluzione sovrassatura di C nel ferro α : vedi appunti [Trattamenti termici](#)) di elevata durezza.

Questi acciai sono impiegati per utensili da taglio, coltelli, cesoie, filiere, scalpelli, ecc...



Acciai mediamente legati

Gli acciai al solo carbonio, da trattamento termico, hanno una bassa penetrazione di tempra. Occorre una elevata velocità di raffreddamento per ottenere la struttura martensitica di tempra, (tempra in acqua); così, se il pezzo ha un grosso spessore, il cuore non riesce a raffreddarsi velocemente e non si tempra; inoltre, il calore che dall'interno fluisce verso l'esterno rallenta anche il raffreddamento di questo.

Gli acciai al solo carbonio possono essere utilizzati solamente per pezzi di piccolo spessore.

Introducendo nell'acciaio particolari elementi, in lega con il carbonio, quali: cromo *Cr*, manganese *Mn*, tungsteno *W*, ecc..., diminuisce la velocità critica di tempra: la velocità di raffreddamento con la quale si ottiene una prefissata percentuale di struttura martensitica di tempra.

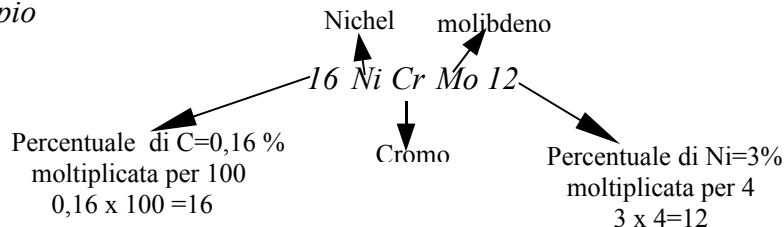
Con particolari composizioni si ottengono acciai autotempranti, altamente legati, con elevate % di elementi in lega, i quali si temprano con raffreddamento in aria.

Per la designazione degli acciai debolmente e mediamente legati si indicano, in ordine:

- si pone per primo il numero, indicante la % di carbonio moltiplicata per 100;
- si indicano i principali elementi in lega, in ordine decrescente della loro presenza in percentuale;
- si indica la percentuale dell'elemento legante predominante moltiplicata per un fattore dipendente dal tipo di elemento, come riportato nella seguente tabella

Elemento	Fattore moltiplicativo
<i>Co- Cr - Mn- Ni- Si- W</i>	4
<i>Al- Br- Cu- Mo- Nb- Pb- Ta- Ti- V - Zr</i>	10
<i>Ce- N- P- S</i>	100
<i>B</i>	1000

Esempio



Cenni sui tipi di acciaio mediamente legati e sul loro trattamento termico

Sono acciai da costruzione meccanica, da cementazione, bonifica, nitrurazione, per bulloneria, perni, alberi, ecc....

Rispetto agli acciai al solo carbonio presentano una maggiore penetrazione di tempra, ed è quindi possibile costruire, con essi, organi meccanici di grosse dimensioni, sui quali, eseguendo il trattamento termico specifico, si ottengono le proprietà meccaniche e tecnologiche richieste.

Così, per esempio, con un acciaio da bonifica *C40* si può ottenere il trattamento completo di tempra con il 50% di martensite al cuore solamente per diametri non maggiori di *25 mm*; mentre un acciaio al *nichel- cromo- molibdeno*, tipo *39NiCrMo3*, si ottiene allo stato bonificato, con la stessa prescrizione nella tempra, con diametri fino a *85 mm* e spegnimento in olio, invece che in acqua.

Si riporta qui di seguito un breve cenno sui tipi di acciai mediamente legati, suddivisi in base al trattamento termico a cui debbono essere sottoposti.

Acciai legati da cementazione

Questi acciai legati, con tenori di carbonio inferiori a 3%, permettono, dopo il trattamento di tempra (o doppia tempra) e successivo rinvenimento, di ottenere organi meccanici con buona tenacità del cuore ed elevata durezza superficiale, resistente all'abrasione e usura.

16CrNi4 Acciai per piccoli pezzi, a bassa temprabilità, limitata a diametri temprabili in olio, fino $\phi 25\text{ mm}$. Caratteristiche meccaniche $R_m = 1080\text{ N/mm}^2$

20CrNi4 Acciai per piccoli pezzi, a bassa temprabilità, limitata a diametri temprabili in olio, fino $\phi 40\text{ mm}$. Caratteristiche meccaniche $R_m = 1180\text{ N/mm}^2$

18NiCrMo5 Acciaio molto usato, per svariate applicazioni, di varie forme e dimensioni. Diametro temprabile in olio, con 70% di martensite al cuore, fino a $\phi 50\text{ mm}$. Si possono temprare con discreto successo pezzi fino a 100 mm di spessore (ovviamente con meno % di martensite al cuore). Caratteristiche meccaniche $R_m = 1230\text{ N/mm}^2$

Acciai legati da bonifica

Acciai molto usati per organi meccanici di largo impiego: alberi, assi, aste, bielle, ecc....

Il tenore di carbonio è $0,25 \div 0,4\%$.

Possano essere lavorati alle macchine utensili allo stato bonificato.

39NiCrMo3 Acciaio di media temprabilità. Diametro temprabile al 50% di martensite al cuore: $\phi 42\text{ mm}$. È il più diffuso acciaio da costruzione meccanica da bonifica. Resistenza meccanica $R_m = 1030\text{ N/mm}^2$

40NiCrMo7 Acciaio di alta temprabilità. Diametro temprabile al 50% di martensite al cuore: $\phi 44\text{ mm}$. Adatto per la costruzione di organi meccanici di grosse dimensioni. Resistenza meccanica $R_m = 1030\text{ N/mm}^2$

Acciai legati da nitrurazione

Sono acciai contenenti *Al, Cr, Mo*, che, immersi in un mezzo nitrurante ad elevata temperatura, sono capaci di assorbire azoto *N* in superficie, formando, con gli elementi in lega, nitruri molto duri, conferendo così al pezzo una durezza superficiale.

Per la costruzione di un pezzo meccanico si impiega un acciaio già bonificato: temprato e rinvenuto alla temperatura di 600°C .

Si effettuano sul pezzo tutte le lavorazioni alle macchine utensili necessarie, salvo la rettifica. Si immerge quindi il pezzo, alla temperatura di $500 \div 530^\circ\text{C}$, in un mezzo nitrurante (ammoniacale, cianuri), che reagendo su un piccolo spessore di superficie esterna, forma in questa nitruri.

Durante la nitrurazione, che avviene alla temperatura di $500 \div 530^\circ\text{C}$, non si modifica la struttura del cuore del pezzo, essendo la temperatura di rinvenimento del trattamento di bonifica di esso avvenuta alla temperatura di $600^\circ\text{C} > 500 \div 530^\circ\text{C}$.

Alla fine del trattamento di nitrurazione si ottiene un pezzo, con superficie esterna di elevata durezza, conferita dai nitruri in essa creati, e con il cuore tenace della struttura di bonifica rimasta invariata.

Come ultima operazione dopo la nitrurazione, se occorre, si può eseguire la rettifica, che toglie un piccolissimo spessore della superficie nitrurata.

Tipi di acciai

41Cr Al Mo7 adatto per pezzi di grosse dimensioni. Caratteristiche meccaniche con cuore bonificato: $R_m = 930 N / mm^2$

34Cr Al Mo 7 acciaio più tenace del precedente. Caratteristiche meccaniche con cuore bonificato: $R_m = 850 N / mm^2$

Cenni sui tipi di acciaio altamente legati

Sono acciai in cui almeno un elemento in lega supera il 5% dellacomposizione.

La designazione è composta, in ordine:

- lettera X
- % di carbonio moltiplicata per 100
- simboli degli elementi in lega più presenti, posti uno dopo l'altro in ordine di grandezza % di presenza decrescente,;
- percentuale degli elementi principali, in ordine di valore decrescente, posti senza segni intermedi o separati da una virgola

Esempio

<i>X 80 W Co 18 10</i>	}	<i>X</i> <i>acciaio altamente legato</i> <i>80</i> <i>percentuale di carbonio C = 0,8 moltiplicata × 100</i> <i>W Co</i> <i>wolframio, cobalto</i> <i>18</i> <i>18% di wolframio</i> <i>10</i> <i>10% di cobalto</i>
------------------------	---	--

Qui di seguito vengono accennati, come esempio, alcuni acciai altamente legati, di largo uso e applicazioni, designate in base alle % di carbonio e degli elementi in lega.

Acciai da utensili rapidi e super rapidi

X 75 W 18 acciaio rapido di buone capacità di taglio. Usato per utensili da tornio, frese...

X 80 W Co 18 5 acciaio super rapido con cobalto *Co* per utensili ad alta velocità di taglio

Acciai inossidabili ferritici al cromo *Cr*, a bassa % di carbonio

X 8 Cr 17 - X 6 Cr 16 acciai resistenti alla corrosione di soluzioni alcaline e acidi organici

Acciai inossidabili austenitici al nichel – cromo $Ni - Cr$, a bassa % di carbonio*X5 Cr Ni 18 10*

acciai di eccellente resistenza alla corrosione atmosferica e resistenza a molti composti organici e inorganici. Impiegato in tanti settori, inclusi quello chimico, farmaceutico, tessile, degli alimenti e bevande e della carta...

Acciai inossidabili martensitici al cromo Cr , a media % di carbonio

X 30 Cr 13 - X40 Cr 14 acciai inossidabili che, dopo trattamento termico, determina una durezza capace di offrire resistenza ad abrasioni. È fornito allo stato ricotto per poter essere lavorato alle macchine utensili. Le caratteristiche di resistenza e tecnologiche si ottengono come operazione finale do costruzione. Usato per utensili da tagli, coltelleria, molle cuscinetti...

SEGUE →



Indietro...

[Clic per la pagina iniziale](#)

Avanti...

[Clic per proseguire](#)