

DUTTILITÀ E FRAGILITÀ

Prova di trazione

La prova di trazione è una prova distruttiva che ha come scopo trarre più informazioni possibili sulle proprietà meccaniche del materiale. Questa prova consiste nel tendere un provino lungo la sua dimensione longitudinale con una forza sempre più crescente e rilevare la forza applicata la provino e l'allungamento del provino stesso. Il provino ha una forma caratteristica nota come osso di cane e può avere due diverse sezioni:

1. Sezione circolare: usata molto più spesso
2. Sezione rettangolare

In entrambi i casi si riconoscono due diverse zone:

- Zona afferraggi = serve per afferrare il provino e montarlo dunque correttamente sulla macchina. Questa zona può essere filettata.
- Tratto utile = rappresenta la sezione centrale del provino. Ha diametro inferiore delle zone d'afferraggi e dunque la sollecitazione avvertita risulta essere superiore a quella effettiva quindi rappresenta anche la zona dove il provino si romperà.

Le dimensioni del provino non sono mai casuali; esiste infatti una norma (ISO 6892) che stabilisce che:

- Per sezioni circolari: $d_0 \geq 4mm$ $l_0 = 5 * d_0$ $(l_0 + \frac{d_0}{2}) \leq l_c \leq (l_0 + 2 * d_0)$
- Per sezioni rettangolari: $l_0 = 5,65 \sqrt{s_0}$

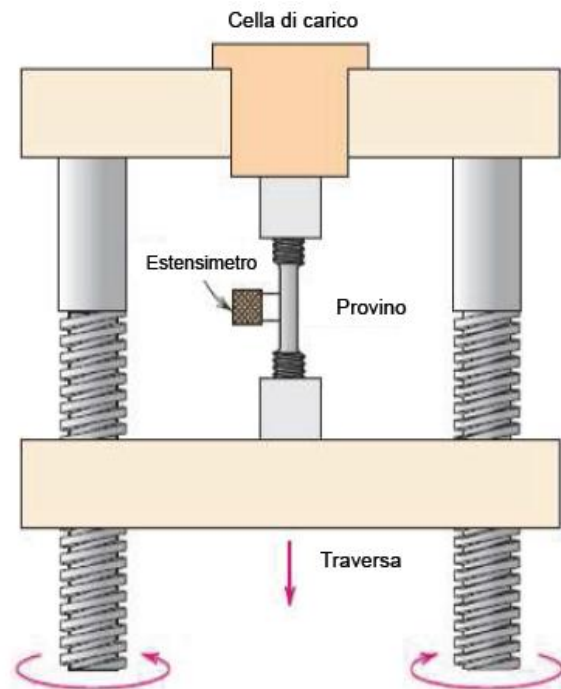
Questa prova viene eseguita sulla macchina detta macchina universale in quanto è in grado di eseguire altri test oltre quello a trazione, come ad esempio quello a pressione. Tale macchina si compone di una parte fissa, di due grandi viti che servono a far muovere la parte mobile. La macchina può lavorare in due diversi modi:

1. In controllo di forza = con la macchina si controlla la forza esercitata
2. In controllo di spostamento = si controlla con che velocità si abbassa la traversa e si misura la forza applicata tramite una strumentazione detta cella di carico.

La rilevazione dell'allungamento avviene tramite estensimetro cioè uno strumento costituito da due afferraggi che vengono fissati a due punti del tratto utile distanti esattamente L_0 . Durante la prova gli afferraggi dell'estensimetro rimangono solidali a questi due punti e l'estensimetro è dunque in grado di rilevare il loro spostamento ΔL . Tanto maggiore è la precisione richiesta nella misura di L e tanto minore è il valore massimo di ΔL misurabile. Non appena il provino si allunga oltre una certa soglia è necessario togliere l'estensimetro altrimenti si romperebbe.

L'output di questa prova è una curva che relazione la forza e lo spostamento, cioè la deformazione: in questo caso però tali fattori possono essere influenzati dalla geometria del provino. Per ottenere dei dati che dipendono esclusivamente dal materiale e non dalla forma del provino stesso si usa studiare il grafico che relaziona lo sforzo alla deformazione. L'effetto geometrico quindi viene eliminando passando dal diagramma forza-spostamento a sforzo-deformazione spesso si preferisce utilizzare la deformazione percentuale moltiplicando la

L_0	Lunghezza iniziale tra i riferimenti
L_c	Lunghezza della parte calibrata
L_u	Lunghezza ultima fra i riferimenti
S_0	Area della sezione iniziale del tratto utile
S_u	Area della sezione minima dopo la rottura



deformazione ingegneristica per 100. Tale grafico può essere suddiviso in 3 parti, ciascuna delle quali rappresenta una fase della specifica della prova:

I. Fase elastica (o delle piccole deformazioni) = il primo tratto della curva è approssimabile ad una retta la cui equazione è rappresentata dalla legge di Hooke: $\sigma = E\varepsilon$. E è il modulo di elasticità, noto anche come modulo di elasticità longitudinale, che dipende dal materiale e dunque dal reticolo cristallino, decresce con la temperatura ed è indipendente dal grado di incrudimento e dai trattamenti termici. Questa prima parte che termina con il limite elastico, cioè il carico massimo per il quale il comportamento del materiale è elastico, comporta una deformazione dunque reversibile del materiale.

II. Fase plastica (o delle grandi deformazioni) = fase che inizia quando il carico, detto di snervamento, viene aumentato oltre un certo limite e quindi il comportamento si discosta da quello lineare. Ciò è causato dall'inizio del movimento delle dislocazioni nel reticolo cristallino; si ha dunque una rottura dei legami chimici tra atomi adiacenti, con conseguente formazione di nuovi legami. Questa fase coincide con un comportamento plastico del materiale e dunque si ha un processo irreversibile. Il passaggio tra fase elastica a fase plastica è definito convenzionalmente con $R_{p0.2}$ cioè il punto di intersezione tra la retta parallela a quella della fase elastica traslata a destra dello 0,2% e la curva stessa del grafico. A partire da questa analisi è possibile affermare che si entra nel periodo delle grandi deformazioni quando la deformazione residua dopo rimozione del carico è dello 0,2%. A seguito dello snervamento la pendenza della curva si riduce fino ad arrivare a un massimo. Da cui si può dedurre che:

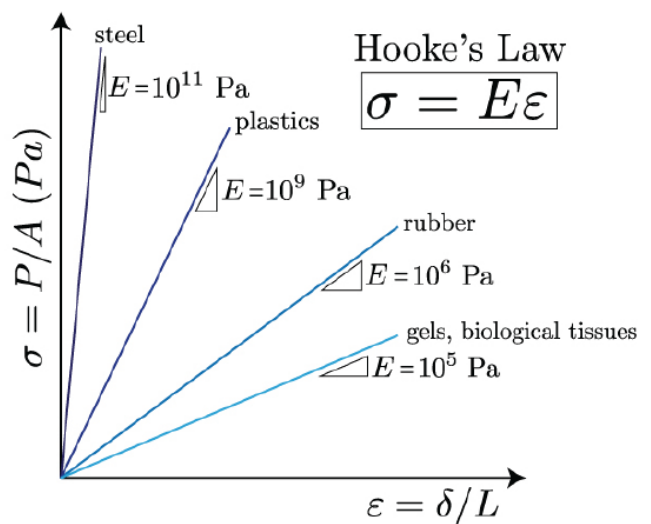
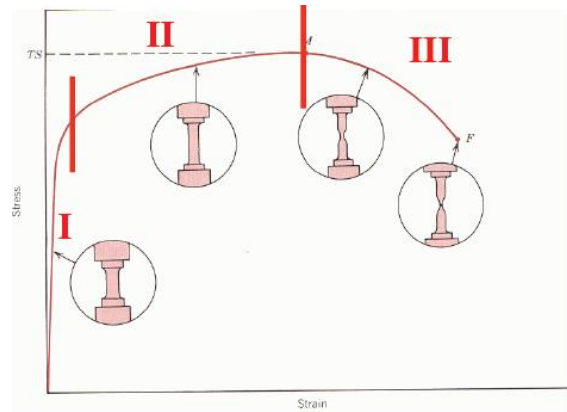
- Le deformazioni plastiche sono molto maggiori di quelle elastiche
- Le deformazioni plastiche sono permanenti
- L'andamento della curva è spiegato da fenomeni di incrudimento, cioè movimento delle dislocazioni ostacolato
- La sezione resistente decresce uniformemente lungo il provino

Questo punto di massimo corrisponde al carico a rottura R_m cioè il carico oltre al quale si innescano meccanismi di danneggiamento così importanti che compromettono l'integrità strutturale del provino. Al carico massimo avviene un fenomeno di instabilità: a causa di difetti, variazioni di sezione o altro la deformazione inizia a localizzarsi in una sola regione del tratto utile.

N.B.: quando la curva è quasi orizzontale significa che con uno sforzo praticamente costante è possibile deformare tantissimo il provino grazie al movimento delle dislocazioni.

III. Fase della strizione = si definisce strizione il fenomeno di instabilità per cui le deformazioni plastiche si concentrano solo su una zona del provino. Ora le deformazioni plastiche si concentrano in un punto fino a che il materiale non può più reggere il carico e quindi si spacca. In questa fase avviene dunque la rottura del provino. Dal provino frattura è possibile ricavare importanti informazioni sulle proprietà materiale quale:

- Allungamento percentuale dopo rottura: $A\% = \frac{l_u - l_0}{l_0} * 100$



- Coefficiente di strizione percentuale: $Z\% = \frac{s_0 - s_u}{s_0} * 100 = \frac{d_0^2 - d_u^2}{d_0^2} * 100$. Tanto più questo valore è alto tanto più il materiale è duttile.

Quando la curva sforzo-deformazione supera il massimo, sembra che il materiale si indebolisca ma in realtà non è così: ciò avviene solo perché la sezione diminuisce, perché dunque lo sforzo è calcolato usando la sezione iniziale del provino quindi per poter calcolare lo sforzo reale si dovrebbe tener conto di questo valore: $\sigma_{reale} = \frac{F}{A_i} = \sigma(1 + \varepsilon)$

mentre per la deformazione reale: $\varepsilon_{reale} = \ln(1 + \varepsilon)$.

Duttilità e fragilità

Tramite dunque la prova di trazione è possibile conoscere una proprietà meccanica molto importante del materiale cioè la duttilità che misura la deformazione plastica che il metallo può subire prima di rompersi. La duttilità può essere espressa come allungamento percentuale e dunque dedotta dall'output della prova di trazione. È possibile intuire immediatamente dal grafico la duttilità o fragilità di un materiale osservando l'area sottesa alla curva. Un metallo che presenta una scarsa o inesistente deformazione plastica viene definito un materiale fragile. Le rotture possono essere di diversi tipi:

1. Frattura estremamente duttile in cui il provino riduce per strizione la sua sezione fino ad un punto. In questo tipo di frattura le dislocazioni si sommano al bordo di grano e formano piccole cavità o microvuoti, detti dimple, all'interno della sezione trasversale che con il passare del tempo e l'aumentare dello sforzo di ampliano e si avvicinano fino a coalescenza formando quindi una cricca ellittica il cui asse risulta perpendicolare alla direzione dello sforzo. La cricca continua a crescere fino a che non avviene la frattura vera e propria.
2. Frattura moderatamente duttile dopo una certa strizione
3. Frattura fragile che può avvenire:
 - Lungo i piani di clivaggio = nella maggior parte dei materiali cristallini fragili la cricca si propaga attraverso rotture successive e ripetute dei legami atomici, lungo piani cristallografici ben precisi detti piani di clivaggio. Questo tipo di frattura è detto transgranulare poiché le cricche passano attraverso diversi grani. Macroscopicamente la superficie di rottura può avere una struttura granulosa o sfaccettata come risultato dei cambiamenti di orientazione dei piani di clivaggio da grano a grano.
 - Lungo i bordi di grano = in alcune leghe la propagazione della cricca avviene lungo i bordi dei grani; questa frattura è detta intergranulare. Questo tipo di rottura normalmente è dovuto a processi di indebolimento o di infragilimento dei bordi dei grani.

