

CORSO DI BASE DI METALLURGIA

PROVE MECCANICHE

By Fabio Ghiglione

Osservando lo svolgimento della prova attraverso il grafico possono essere evidenziate quattro zone. Il Diagramma 1 è definito "Diagramma carico-deformazione" dove il **carico** è nell'asse delle Y mentre la **deformazione** è in quello delle X.

Il tratto OA è definito il tratto **elastico**. Durante questo periodo si può ritenere, anche se non del tutto corretto, che il materiale si comporti elasticamente, cioè, interrompendo la prova e togliendo il carico applicato alla barretta di trazione questa riprenda la sua lunghezza primitiva.

Il tratto OA del diagramma è rettilineo perché le deformazioni sono approssimativamente proporzionali ai carichi.

Siccome questo è un corso base e siccome che l'allontanamento alla legge elastica in questo tratto è trascurabile per i macchinari, affermiamo senza troppe motivazioni e dubbi che il provino segue la legge di **HOOKE** $F = KX$ e che il suo comportamento sia esclusivamente quello elastico.

Il tratto AB è definito in regime di **elasto-pastico**. Il materiale sotto carico subisce allungamenti determinati dalla somma di deformazioni elastiche e deformazioni plastiche: gli allungamenti crescono più rapidamente dei carichi e pertanto la legge di Hooke (che risale al 1678) non è più rispettata. Al cessare del carico la provetta subisce un ritorno elastico e conserva una deformazione plastica di piccola entità. In alcune regioni gli atomi del reticolo, anche al cessare della sollecitazione, non ritornano nella posizione primitiva poiché una parte del lavoro assorbito per l'allungamento durante questa fase viene immagazzinata sotto forma di energia elastica che ha un carattere reversibile (cioè non si produce calore) e una parte viene dissipata sotto forma di calore causando una deformazione plastica irreversibile.

Nel tratto BE abbiamo la **deformazione plastica**, cioè, quando la sollecitazione cresce oltre il carico limite di elasticità, le distanze interatomiche del reticolo sono divenute così grandi che anche al cessare della sollecitazione gli atomi non riprendono la posizione primitiva in quanto hanno trovato un equilibrio su nuove posizioni reticolari scorrendo plasticamente. Le deformazioni sono perciò irreversibili e di conseguenza ha inizio la deformazione plastica.

Infine, nel tratto EU, abbiamo la **strizione** che non è altro di una deformazione localizzata ed in breve un tratto del provino si assottiglia gradatamente fino alla rottura. Poiché la sezione utile è diminuita e il carico totale diminuisce la curva del diagramma ha un andamento decrescente.

Nel punto U ho la **rottura**.

Dalla prova di trazione si ricavano le seguenti caratteristiche:

LIMITE DI SNERVAMENTO, CARICO DI ROTTURA E ALLUNGAMENTO

Il limite di snervamento può venire letto, in molti casi, direttamente sul quadrante della macchina di prova, perché ad esso corrisponde un istantaneo arresto della salita del carico, in altri casi viene letto direttamente dal grafico sforzo – deformazione, in altri casi con l'utilizzo dell'estensimetro, che è un rivelatore di deformazioni fisiche.

Il limite di snervamento non deve essere confuso con il limite di elasticità. Nel tratto AO il materiale, come scrivevo precedentemente, non ha perfettamente un comportamento elastico ma alla cessazione del carico esso non ritorna nelle condizioni primitive di lunghezza ma presenta una piccola deformazione permanente. Poiché particolari necessità d'impiego possono richiedere che in opera il pezzo sotto carico non subisca deformazioni permanenti superiori a determinati valori, si definisce limite elastico al ... % quel valore del carico per unità di sezione per cui le deformazioni sono precisamente quelle indicate. Il loro valore è fissato ad arbitrio, ma nei casi più comuni, si utilizza lo 0.05%.

L'allungamento del tratto utile A, precedentemente tracciato sul provino, misurato dopo la rottura e rapportato in % alla lunghezza iniziale risulta:

$$A\% = ((L' - L) / L) * 100$$

Questo valore è confrontabile solo se misurato su barrette simili e aventi costanti il rapporto tra sezione e lunghezza utile, variando questo rapporto i risultati che si ottengono sono notevolmente diversi tra loro.

La barretta si allunga uniformemente per tutta la sua lunghezza solo nella prima fase della prova, finché non si raggiunge il carico massimo totale (Punto E), mentre nella seconda parte la deformazione si localizza nel breve tratto in cui avverrà la rottura (zona di **strizione**). L'allungamento totale è dunque la somma di questi due allungamenti parziali, il primo variabile con la lunghezza del tratto utile, il secondo invece è sempre costante.

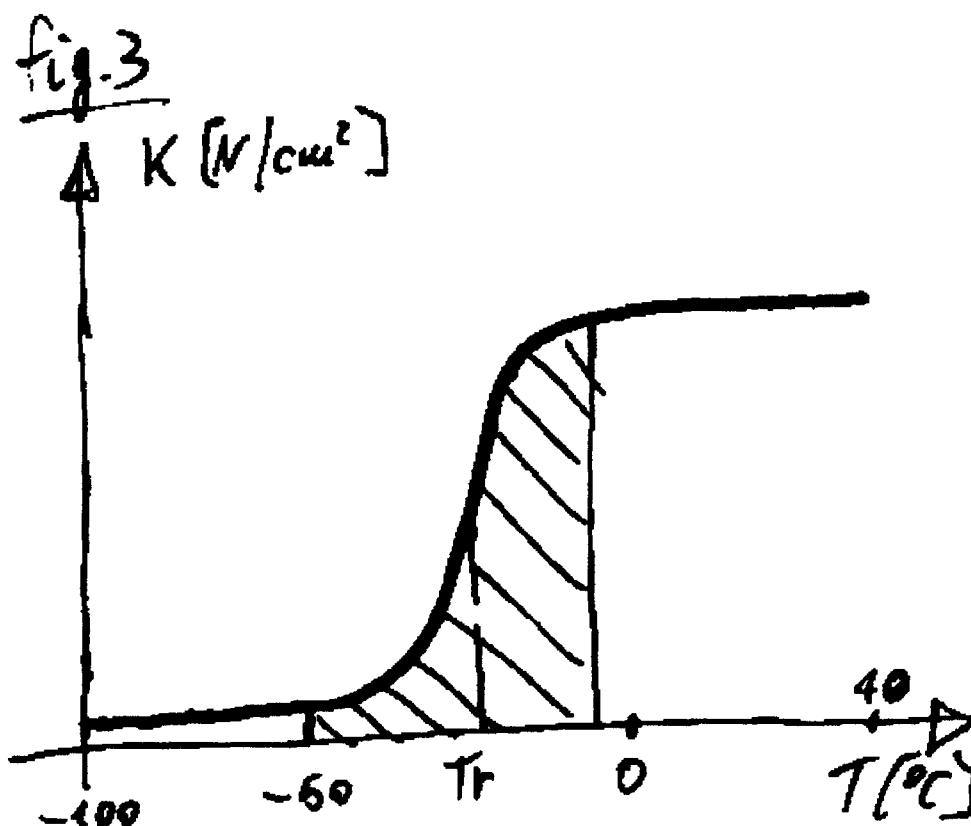
A questo punto devo precisare due cose importantissime. Uno: se i valori di sezione e lunghezza utile non sono costanti ho delle perdite in allungamento. Due: allungamenti misurati su tratti corti saranno in % molto maggiori di quelli misurati su tratti più lunghi.

L'insieme dei valori appena descritti, interpretati nel giusto valore, può fornire indicazioni precise che servono largamente di guida, sia nella scelta del tipo d'acciaio

che nel suo collaudo finale. Il Valore di allungamento, esaminato insieme a quello snervamento e rottura da una chiara idea della capacità della deformazione statica del materiale. Quanto più è elevato il prodotto $R \cdot A$ (coefficiente di qualità) tanto maggiore è la quantità di lavoro che il materiale può assorbire prima di rompersi. Un elevato valore di S , anche se molto prossimo ad R , in presenza di un alto coefficiente di qualità permette di caricare con sicurezza il materiale e di alleggerire per esempio delle costruzioni.

PROVE DI RESISTENZA ALL'URTO

Questa prova fornisce il valore del lavoro d'urto che assorbe un provino intagliato, di determinate dimensioni, portato alla rottura per flessione con uno sforzo dinamico. Essa consiste nel far cadere liberamente un martello pendolo da un'altezza prefissata, sulla faccia opposta a quella dell'intaglio del provino, appoggiato ai due estremi. Il valore della resilienza K si esprime di solito in J / cm^2 . Una frase che ricorre troppe volte, ma, non rappresenta affatto la realtà e che a grandi valori di J l'acciaio è duro. Falso. Attenzione con questa prova si misura la **tenacità** di un acciaio, cioè la sua capacità di assorbire energia, prima di rompersi.



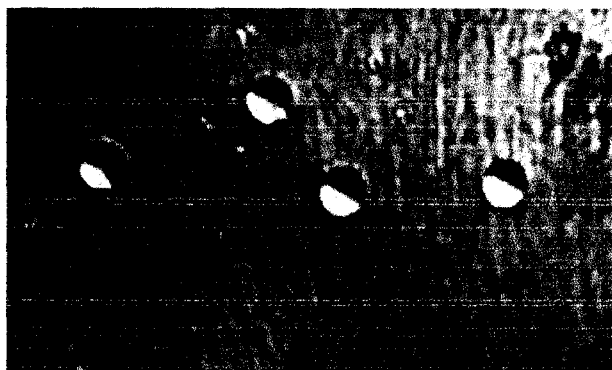
L'andamento della resilienza in funzione della temperatura per un dato materiale ha l'andamento di fig. 3. Esiste pertanto un intervallo di temperatura (quello corrispondente alla zona tratteggiata in fig.3) dove si ha una brusca riduzione della K (all'abbassarsi della temperatura T); codesta zona è detta **zona di transizione** e il valore medio della temperatura del corrispondente intervallo di temperatura è detto **Temperatura di transizione (T_r)**. La conoscenza della T_r di un dato materiale riveste una notevole importanza nella progettazione. Non conoscere questo dato può portare ad usare materiali non idonei alle condizioni di funzionamento cui saranno soggetti (si pensi alle strutture metalliche in ambienti estremamente freddi [poli; alta montagna; impianti industriali in cui si usa il freddo]).

PROVE DI DUREZZA

La durezza dei materiali è una proprietà di cui si ha una chiara nozione, ma per la quale non esiste un'esatta definizione. Normalmente essa è definita come la resistenza offerta alla penetrazione di un corpo più duro. Su questo principio si basano le più comuni prove di durezza degli acciai.

METODO BRINELL

E' il metodo più diffuso, che consiste nel misurare l'impronta che si ottiene esercitando una pressione sul materiale in esame, mediante una sfera d'acciaio durissimo.



Esempio di durezza Brinell

Il valore della durezza Brinell si esprime in KG / mm^2 con un numero HB che rappresenta lo sforzo del penetrante riferita ad un mm^2 della superficie sferica dell'impronta, ossia:

$$HB = P (\text{pressione}) / S (\text{Superficie})$$

La lettura del diametro dell'impronta viene effettuata con apposito microscopio a lente graduata.

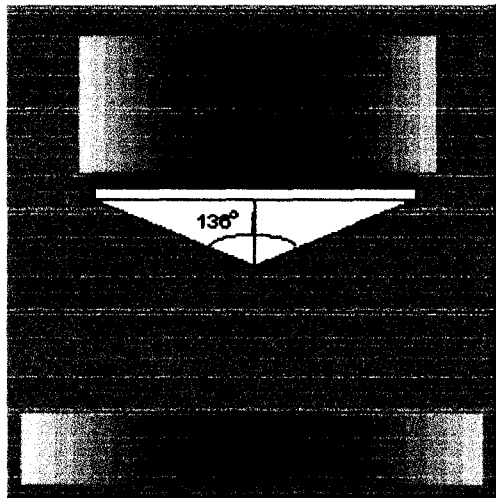
Per meglio eseguire la prova occorre che la superficie sia piana e levigata ed il grado di lucidatura deve essere tanto più curato quanto l'acciaio risulta duro.

METODO ROCKWELL

La durezza Rockwell determina il valore di durezza per mezzo della profondità di penetrazione di un corpo di prova. Per le varianti C e A (per materiali duri o molto duri) così come N (per prove sottili) una palla di diamante, penetra nella prova in modo definito. Per le versioni B e F (per materiali semiduri e morbidi) o T (per prove sottili) s'impiega una palla d'acciaio. Il corpo della prova avrà un supporto più sicuro durante la misurazione con la carica previa. La carica della prova varia secondo la variante. Le abbreviature per i procedimenti Rockwell sono: HRC, HRA, HRB, HRF, HR- 15N, HR15T, HR30N, HR30T, HR45N, HR45T. Il valore della durezza si colloca davanti all'abbreviatura, per esempio: 45 HRC; 76 HR45N. DIN 50103.

METODO VICKERS

Penetratore: piramidale a base quadrata



Si basa, nel calcolo della durezza, sulla misura dell'area dell'impronta lasciata dal penetratore. Anche la prova Brinell si basa sullo stesso principio ed entrambe le prove Brinell e Vickers vengono dette anche **prove di microdurezza**.

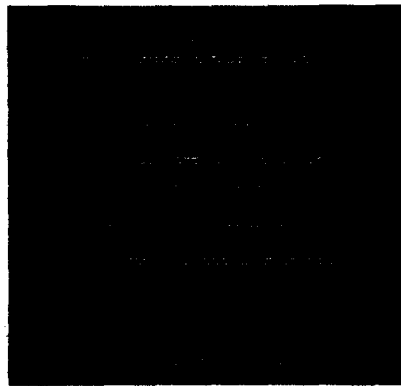
$$HV = \frac{2P \times 0,102 \times \sin(\omega/2)}{t^2}$$

$$\omega = 136^\circ$$

(angolo di apertura: $\cos(\omega / 2) = 0,375 = (0,25 + 0,5) / 2$)

Pn = carico di prova (variabile)

t = media delle diagonali dell'impronta del penetratore



Impronte vickers

VANTAGGI DELLE PROVE VICKERS

1. Impiego di una sola scala che può andare dalle durezze piu' basse alle piu' elevate.
2. Si possono anche utilizzare carichi piccoli per fare misure di durezza ravvicinate.
3. Elevata Precisione della misurazione.
4. Eventuali deformazioni dell'impronta possono mettere in evidenza caratteristiche strutturali del materiale controllato.
5. Come il procedimento Brinell, non risente di eventuali cedimenti del pezzo.
6. Il numero di durezza Vickers ha un significato evidente in quanto esso rappresenta un carico specifico su di un'impronta di forma sempre uguale.
7. Non distruggono o alterano l'organo sottoposto alla prova.

LIMITAZIONI DELLE PROVE VICKERS

1. Notevole perdita di tempo nella lettura delle impronte che si può fare solo al microscopio.
2. Costo strumentazione (microscopio o proiettore).
3. La superficie su cui fare l'impronta deve essere preparata molto accuratamente e la perpendicolarità con l'asse del penetratore diventa molto importante poiché

una lieve inclinazione
provoca una irregolarità nell'impronta

4. Su alcuni materiali l'impronta è difficilmente leggibile anche a causa dell'irregolare ripartizione delle sollecitazioni, maggiori sugli spigoli piuttosto che sulle facce dell'impronta piramidale.

Valori di conversione di durezza e resistenza degli acciai
Steel hardness and strength conversion values Valeurs
de conversion des duretés et de la resistance des aciers

Rockwell			Rockwell Superficiale - Surface Rockwell hardness - Dureté Rockwell Superficielle							Vickers	Brinell	Trazione -Traction -Traction
A	B	C	D	15 N	30 n	45 N	15 T	30 T	45 T	HV	HB	N/mm ²
120°	1/16"	120°	120°	120°	120°	120°	1/16"	1/16"	1/16"	136°	10	
60	100	150	100	15	30	45	30	30	45	10	3000	
80.8	-	59.2	70.1	89.8	76.8	65.7	-	-	-	680	646	-
80.6	-	58.8	69.8	89.7	76.4	65.3	-	-	-	670	637	-
80.3	-	58.3	69.4	89.5	75.9	64.7	-	-	-	660	627	-
80.0	-	57.8	69.0	89.2	75.5	64.1	-	-	-	650	618	2180
79.8	-	57.3	68.7	89.0	75.1	63.5	-	-	-	640	608	2145
79.5	-	56.8	68.3	88.8	74.6	63.0	-	-	-	630	599	2105
79.2	-	56.3	67.9	88.5	74.2	62.4	-	-	-	620	589	2070
78.9	-	55.7	67.5	88.2	73.6	61.7	-	-	-	610	580	2030
78.6	-	55.2	67.0	88.0	73.2	61.2	-	-	-	600	570	1995
78.4	-	54.7	66.7	87.8	72.7	60.5	-	-	-	590	561	1955
78.0	-	54.1	66.2	87.5	72.1	59.9	-	-	-	580	551	1920
77.8	-	53.6	65.8	87.2	71.7	59.3	-	-	-	570	542	1880
77.4	-	53.0	65.4	86.9	71.2	58.6	-	-	-	560	532	1845
77.0	-	52.3	64.8	86.6	70.5	57.8	-	-	-	550	523	1810
76.7	-	51.7	64.4	86.3	70.0	57.0	-	-	-	540	513	1775
76.4	-	51.1	63.9	86.0	69.5	56.2	-	-	-	530	504	1740
76.1	-	50.5	63.5	85.7	69.0	55.6	-	-	-	520	494	1700
75.7	-	49.8	62.9	85.4	68.3	54.7	-	-	-	510	485	1665
75.3	-	49.1	62.2	85.0	67.7	53.9	-	-	-	500	475	1630
74.9	-	48.4	61.6	84.7	67.1	53.1	-	-	-	490	466	1595
74.5	-	47.7	61.3	84.3	66.4	52.2	-	-	-	480	456	1555
74.1	-	46.9	60.7	83.9	65.7	51.3	-	-	-	470	447	1520
73.6	-	46.1	60.1	83.6	64.9	50.4	-	-	-	460	437	1485
72.3	-	45.3	59.4	83.2	64.3	49.4	-	-	-	450	428	1455
73.0	-	44.5	58.8	82.8	63.5	48.4	-	-	-	440	418	1420
72.3	-	43.6	58.2	82.3	62.7	47.4	-	-	-	430	408	1385
71.8	-	42.7	57.5	81.8	61.9	46.4	-	-	-	420	399	1350
71.4	-	41.8	56.8	81.4	61.1	45.3	-	-	-	410	389	1320
70.8	-	40.8	56.0	80.8	60.2	44.1	-	-	-	400	380	1290
70.3	-	39.8	55.3	80.3	59.3	42.9	-	-	-	390	370	1255
69.8	-	38.8	54.4	79.8	58.4	41.7	-	-	-	380	361	1220
69.2	-	37.7	53.6	79.2	57.4	40.4	-	-	-	370	351	1190
68.7	-	36.6	52.8	78.6	56.4	39.1	-	-	-	360	342	1155
68.1	-	35.5	51.9	78.0	55.4	37.8	-	-	-	350	332	1125
67.6	-	34.4	51.1	77.4	54.4	36.5	-	-	-	340	323	1095
67.0	-	33.3	50.2	76.8	53.6	35.2	-	-	-	330	313	1060
66.4	-	32.2	49.4	76.2	52.3	33.9	-	-	-	320	304	1030

65.8	-	31.0	48.4	75.6	51.3	32.5	-	-	-	310	294	995
65.2	-	29.8	47.5	74.9	50.2	31.1	-	-	-	300	285	965
64.8	-	29.2	47.1	74.6	49.7	30.4	-	-	-	295	280	950
64.5	105.0	28.5	46.5	74.2	49.0	29.5	-	-	-	290	275	930
64.2	104.5	27.8	46.0	73.8	48.4	28.7	-	-	-	285	271	915
63.8	104.0	27.1	45.3	73.4	47.8	27.9	-	-	-	280	266	900
63.5	103.0	26.4	44.9	73.0	47.2	27.1	-	-	-	275	261	880
63.1	102.0	25.6	44.3	72.6	46.4	26.2	-	-	-	270	256	865
62.7	101.5	24.8	43.7	72.1	45.7	25.2	-	-	-	265	252	850
62.4	101.0	24.0	43.1	71.6	45.0	24.3	-	-	-	260	247	835
62.0	100.0	23.1	42.2	71.1	44.2	23.2	93.0	82.0	72.0	255	242	820
61.6	99.5	22.2	41.7	70.6	43.4	22.2	92.8	81.6	71.5	250	237	800
61.2	98.8	21.3	41.1	70.1	42.5	21.1	92.5	81.3	70.8	245	233	785
60.7	98.1	20.3	40.3	69.6	41.7	19.9	92.3	81.0	70.0	240	228	770
-	97.4	19.0	-	-	-	-	92.1	80.6	69.4	235	223	755
-	96.7	17.5	-	-	-	-	91.9	80.2	68.7	230	219	740
-	96.0	16.0	-	-	-	-	91.7	79.7	68.0	225	214	720
-	95.0	-	-	-	-	-	91.5	79.2	67.0	220	209	705
-	94.0	-	-	-	-	-	91.2	78.5	66.0	215	204	690
-	93.5	-	-	-	-	-	90.9	78.0	65.5	210	199	675
-	92.5	-	-	-	-	-	90.6	77.5	64.5	205	195	660
-	91.5	-	-	-	-	-	90.3	77.0	63.5	200	190	640
-	90.5	-	-	-	-	-	90.0	76.4	62.5	195	185	625
-	89.5	-	-	-	-	-	89.6	75.8	61.5	190	181	610
-	88.3	-	-	-	-	-	89.3	75.2	60.4	185	176	595
-	87.1	-	-	-	-	-	89.0	74.6	59.3	180	171	575
-	86.0	-	-	-	-	-	88.5	74.0	58.6	175	166	560
-	85.0	-	-	-	-	-	88.0	73.5	58.0	170	162	545
-	83.2	-	-	-	-	-	87.5	72.5	56.4	165	156	530
-	81.7	-	-	-	-	-	87.0	71.2	54.7	160	152	510
-	80.2	-	-	-	-	-	86.5	70.0	53.0	155	147	495