

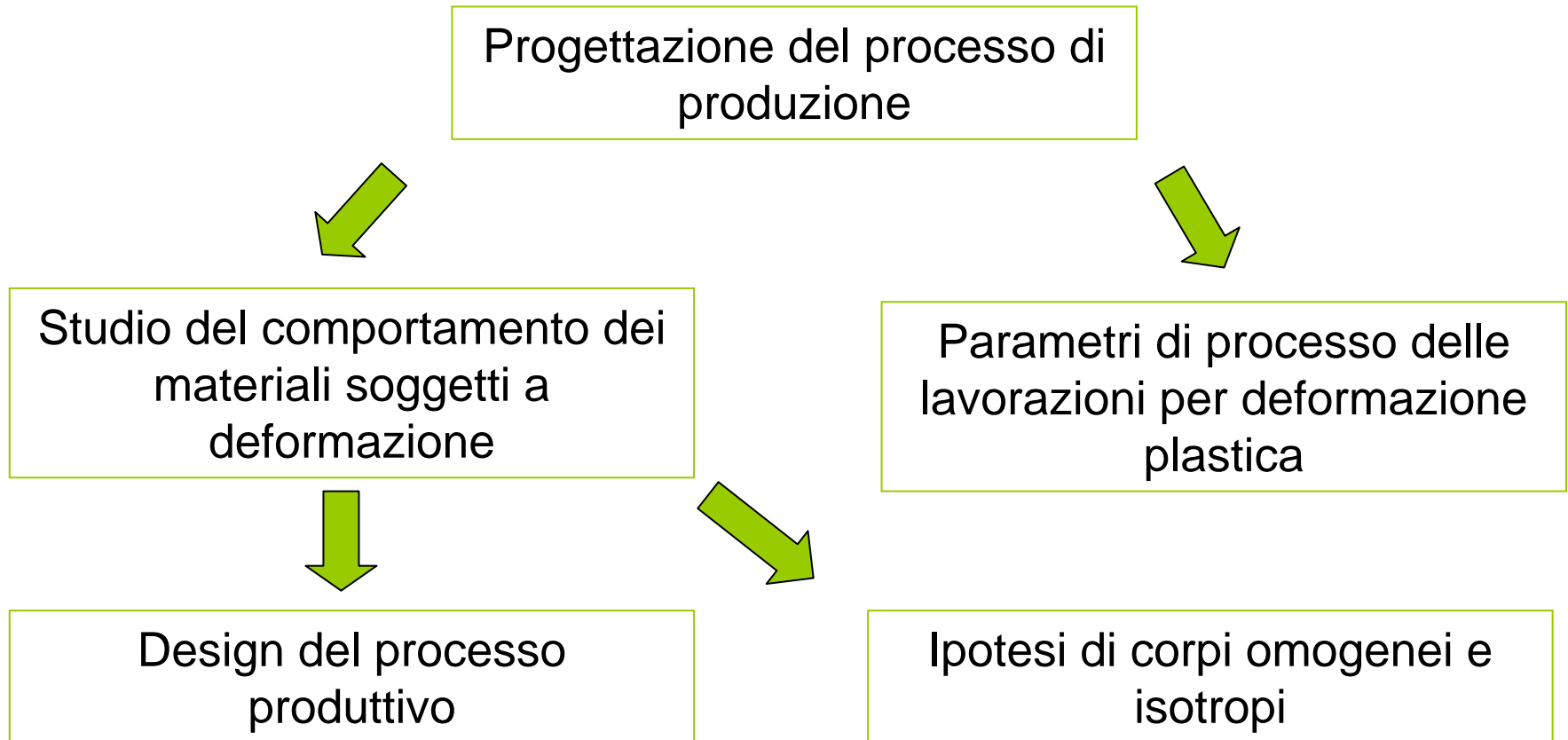
COMPORTAMENTO PLASTICO DEI MATERIALI METALLICI

1

1. Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici
2. Modelli reologici
3. Effetto Bauschinger
4. Condizioni di plasticità
5. Relazioni tensioni deformazioni in campoplastico

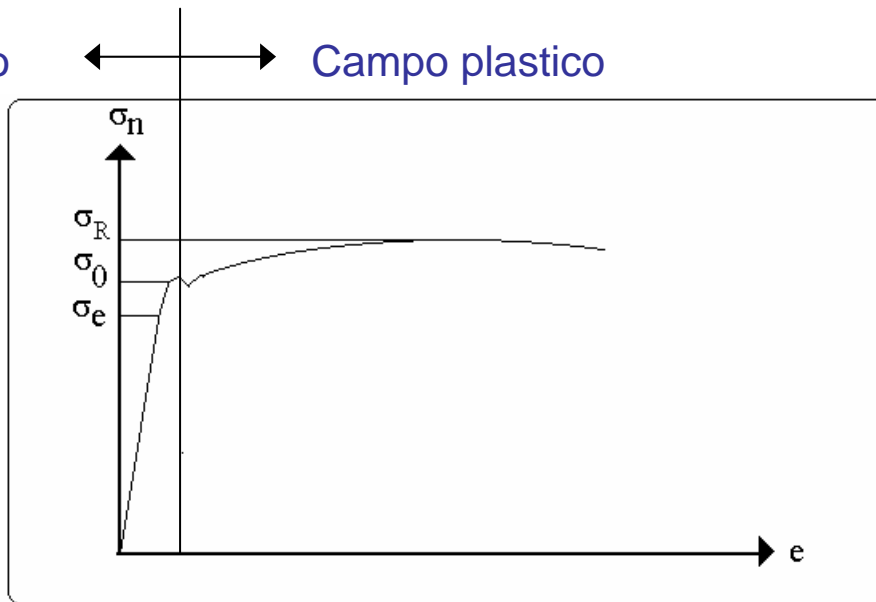


COMPORTAMENTO PLASTICO DEI MATERIALI METALLICI



Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici

Campo elastico



Campo plastico

Diagramma tensioni nominali
deformazioni convenzionali

deformazioni $e = \Delta l/l_0 = (l - l_0)/l_0$

tensioni da $\sigma_n = P/A_0$

la tensione limite di proporzionalità, σ_p , che individua la fine del tratto di comportamento elastico e lineare del materiale;

la tensione limite di elasticità, σ_e , in corrispondenza del limite delle deformazioni reversibili;

la tensione di snervamento, σ_0 , in corrispondenza dell'inizio delle deformazioni plastiche coincide con la deformazione pari a 0,2%

la tensione di rottura, σ_R ;

l'allungamento e la strizione percentuale.

Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici

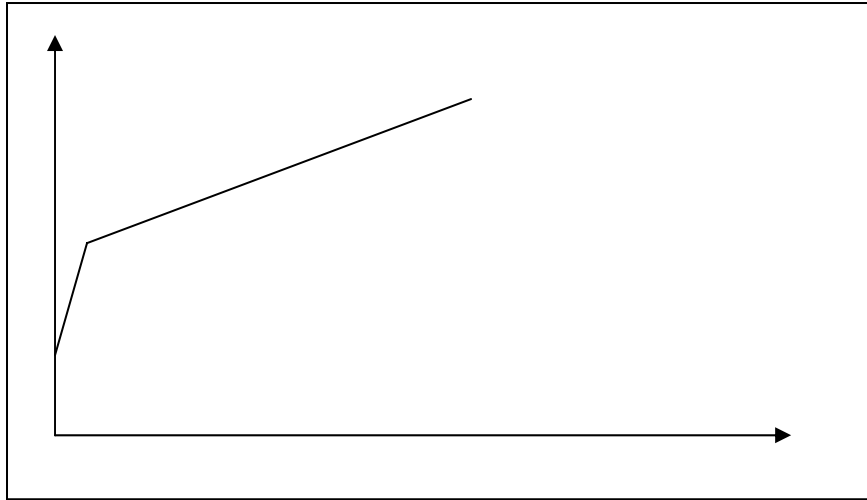


Diagramma tensioni reali-deformazioni reali

deformazioni $\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$

tensioni da $\sigma = P/A$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \times \frac{A_0}{A} \quad \sigma_n = \frac{P}{A_0} \quad \frac{A_0}{A} = \frac{l}{l_0} \quad e = \frac{l - l_0}{l_0} \Rightarrow \sigma = \sigma_n \times \frac{l}{l_0} \quad \frac{l}{l_0} = (1 + e) \quad \sigma = \sigma_n (1 + e)$$

Vantaggi dell'utilizzo delle tensioni-deformazioni reali:

Le deformazioni si possono sommare

Rappresentazione più reale del fenomeno es

Trazione $l_{\text{finale}} = 2l_0 \Rightarrow$ deformazioni reali $\ln 2$; deformazioni convenzionali 1

Compressione $l_{\text{finale}} = 0 \Rightarrow$ deformazioni reali $-\infty$; deformazioni convenzionali -1

Modelli reologici

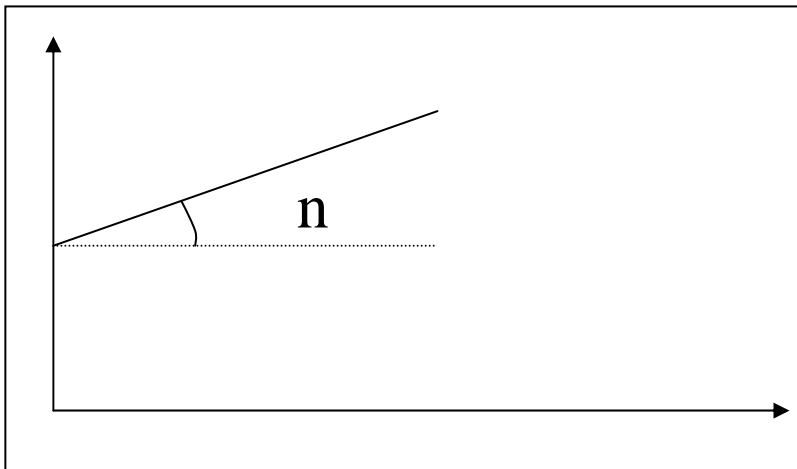
$\sigma = E\varepsilon$ (nella quale E è il modulo di Young o di rigidità longitudinale),

$\sigma = C\varepsilon^n$, C ed n due costanti caratteristiche del materiale

n indice di incrudimento rappresenta la resistenza del materiale nel subire ulteriori deformazioni permanenti dopo lo snervamento

La deformazione plastica reale accumulata in corrispondenza dell'insorgere della strizione è pari a n ($n=0$ materiali perfettamente plastici)

Più grande $n \rightarrow$ maggiore è l'allungamento che si può imprimere uniformemente prima che si manifesti il fenomeno della strizione



Relazione tensioni -
deformazioni

Modelli reologici

Nota la curva deformazioni-tensioni reali di un materiale $\sigma = 100.000 \varepsilon^{0,5}$

Calcolare la tensione di rottura convenzionale e reale

La tensione di rottura è quello corrispondente al massimo carico prima della strizione (necking) n è la corrispondente deformazione

$$\varepsilon_{\text{rottura}} = n = 0,5$$

La tensione di rottura reale è $\sigma_{\text{rottura reale}} = 100.000 \cdot 0,5^{0,5} = 70.710 \text{ psi}$

$$\ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A_{\text{neck}}}\right) = n = 0,5 \quad \Rightarrow \quad A_{\text{neck}} = A_0 e^{-0,5}$$

La tensione di rottura convenzionale è

$$\sigma_{\text{rottura conv}} = P/A_0$$

Il carico di rottura è $P = \sigma_{\text{rottura reale}} A_{\text{neck}} = \sigma_{\text{rottura reale}} A_0 e^{-0,5}$

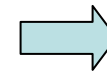
$$\sigma_{\text{rottura conv}} = \sigma_{\text{rottura reale}} A_0 e^{-0,5} / A_0 = 42850 \text{ psi}$$

Relazioni tensioni deformazioni a caldo

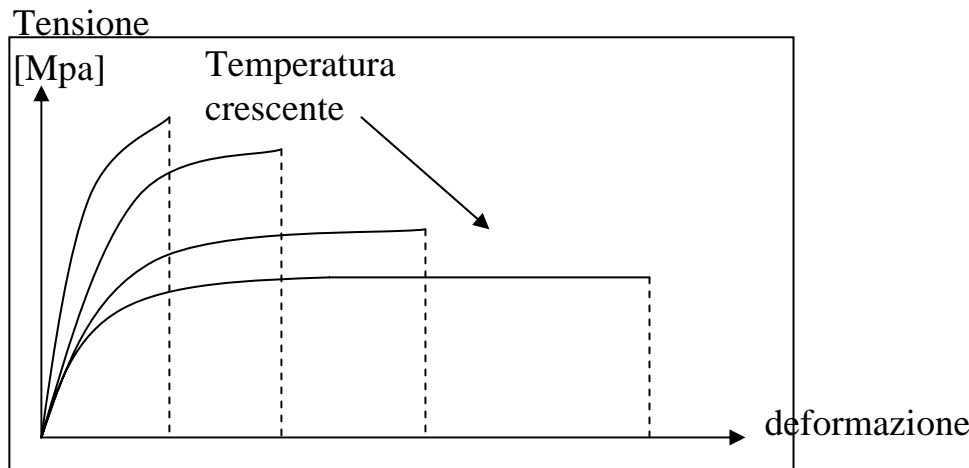
Defomazioni-tensioni reali a temperatura ambiente $\sigma=C \varepsilon^n$

Lavorazioni a caldo (Es 1200 °C laminazione acciaio; 400 °C leghe alluminio)

Riduzione tensione di snervamento e tensione a rottura
Aumento dell'allungamento percentuale a rottura

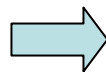


Materiale più duttile
e più tenace

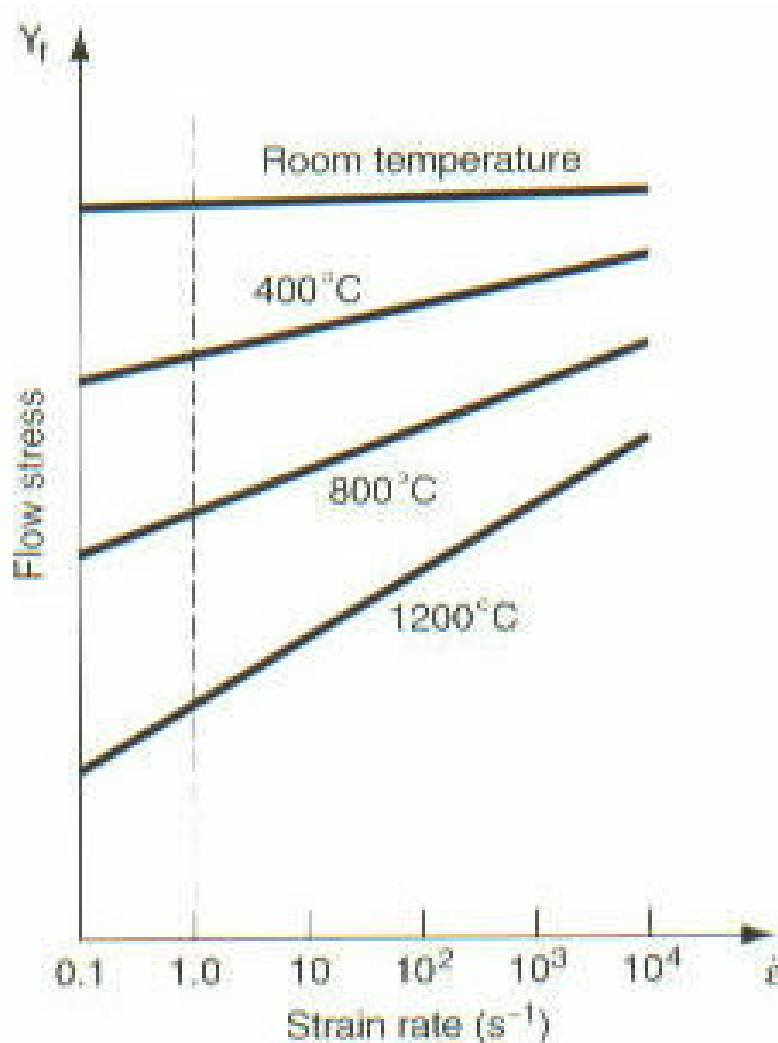


$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\frac{dl}{l}}{dt} = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{V}{l}$$

Aumento Velocità di
deformazione



Aumento tensione di snervamento e tensione a rottura



Temperature & Strain Rate

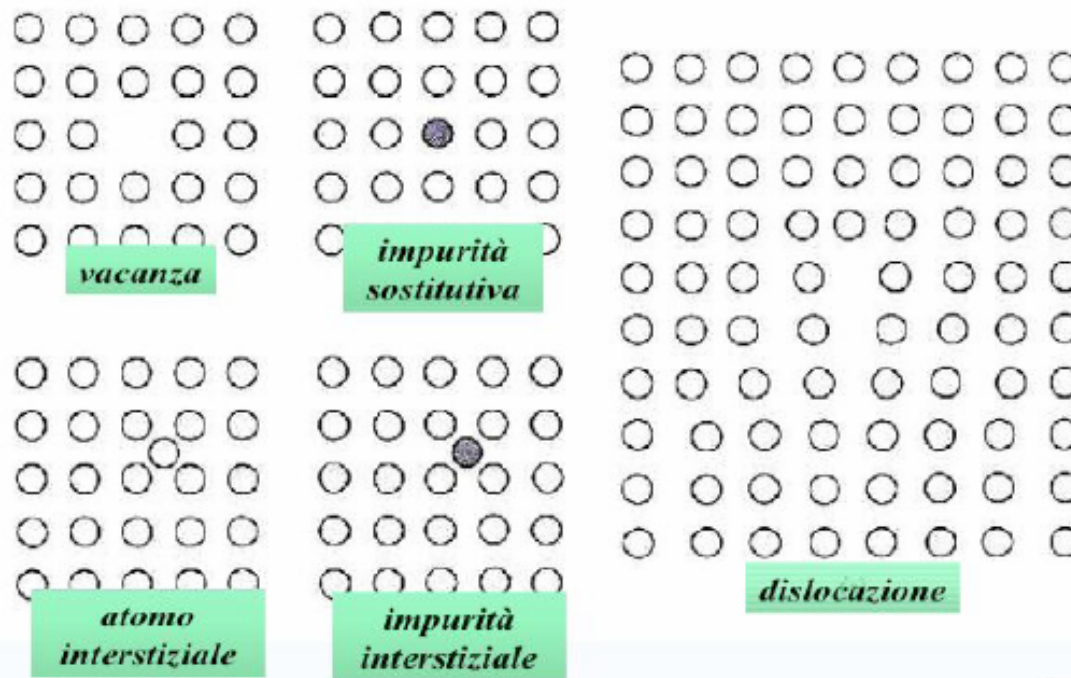
Difetti reticolari

difetti di punto (vacanze, interstiziali, sostituzionali,...)

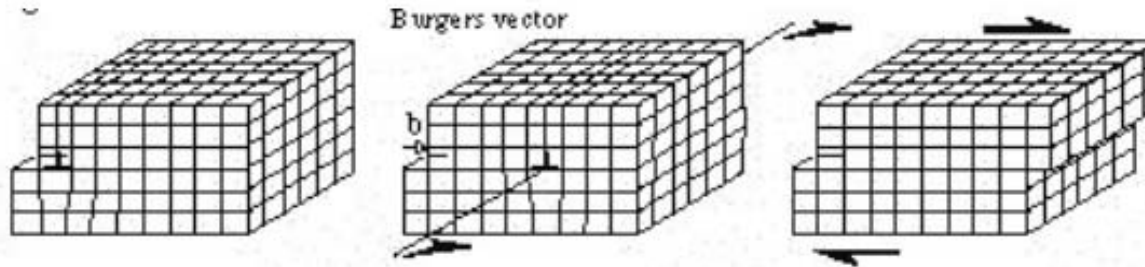
difetti di linea (dislocazioni, disclinazioni)

difetti di superficie (bordi di grano, bordi di fase)

difetti di volume (vuoti, microfessure, inclusioni,...)



DISLOCAZIONI E PLASTICITA' NEI MATERIALI



Il lavoro del campo di stress esterno può tradursi in deformazione plastica (o permanente) al disopra del **limite di cedimento** (*yielding stress*) del materiale.

La deformazione plastica in un cristallo è associata alla nucleazione e alla dinamica delle **dislocazioni**, difetti di linea legati alla particolare simmetria del reticolo cristallino.

Le dislocazioni nucleano alle superfici libere o ai vuoti interni, ed alle interfacce interne come bordi di grano e domini di fase. Dislocazioni liberamente in movimento in un monocristallo sono dette dislocazioni "reticolari" (*lattice dislocations*).



Interazione tra dislocazioni e precipitati

- **Ricristallizzazione:** $\frac{1}{2} T_f$
 - **Riassetto:** $0,3 - 0,5 T_f$
- } Statica e dinamica

Fenomeni legati alla mobilità degli atomi all'interno del reticolo cristallino.

- Riassetto: riarrangiamento delle dislocazioni secondo configurazioni più regolari → incremento doti di duttilità e tenacità → riduzione tensione di flusso pastico → invarianza delle struttura granulare
- Ricristallizzazione: Gli atomi, per effetto della maggiore temp hanno una maggiore mobilità che gli consente di riorganizzarsi in nuovi nuclei di cristallizzazione con conseguente rinnovamento della struttura granulare. Riduzione delle dislocazioni e conferimento caratteristiche isotrope al materiale.



- Softening: addolcimento del materiale → riduzione della tens di snervamento, di rottura e incremento della capacità di subire deformaz. Prima della rottura (duttilità)

Riassetto e ricristallizzazione dinamica

I diagrammi riportati in figura presentano gli effetti del softening dovuto ai fenomeni di riassetto e ricristallizzazione dinamica a loro volta generati dall'effetto combinato di temperatura e deformazione. La tensione di flusso decresce dopo aver raggiunto il picco

Diagrammi sforzo – deformazione reale

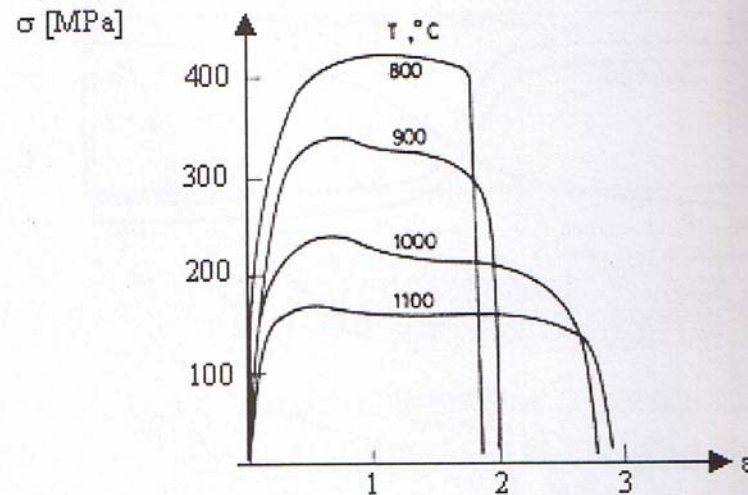
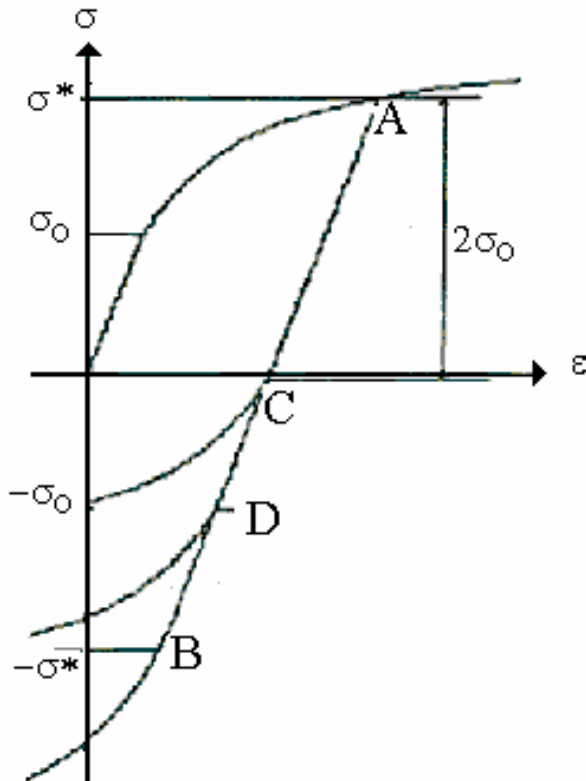


Figura 1.7 - Prove di torsione a caldo su provini in acciaio inossidabile X8CrNi1810 (velocità di deformazione: 3.9 sec^{-1} ; temperatura di prova: $800 \div 1100^\circ\text{C}$)

Effetto Bauschinger

Si sottopone un materiale a trazione, superato lo snervamento si sottopone ad una tensione σ^* pari a $\sigma^* = C \varepsilon^n$

Si sottopone ad una compressione a che valore di tensione si innescano le deformazioni permanenti fine del tratto elastico ?



I° ipotesi: si deforma permanentemente a $-\sigma^*$
(incrudimento isotropo)

II° ipotesi: si deforma permanentemente ad una distanza da σ^* di $2 \sigma_0$ **(incrudimento cinematico)**

Si innesca la deformazione ad un valore intermedio per effetto Bauschinger:

L'incrudimento provocato con una certa sollecitazione produce i suoi effetti anche quando è caricato con una sollecitazione di segno opposto anche se non in modo isotropo