

## Anisotropia

I cristalli si deformano mediante scorrimento su piani preferenziali.

Se il cristallo si sta allungando, i piani di scorrimento devono ruotare nella direzione dello sforzo; in deformazione a compressione i piani di slittamento ruotano in direzione ortogonale alla direzione di sforzo.

Ciò ha importanti conseguenze sui materiali policristallini, in particolare quando sono disponibili solo un numero limitato di sistemi di scorrimento.

Prima della deformazione, il materiale sarà isotropo (proprietà uguali in tutte le direzioni), con valori che rappresentano le proprietà medie dei cristalli orientati casualmente.

Però la deformazione si traduce in un allungamento dei grani e, all'interno dei grani, nella rotazione dei piani di scorrimento. Ciò porta ad un evidente allineamento (orientamento preferenziale o tessitura) degli orientamenti cristallografici.

Un materiale policristallino che possiede una tessitura mostrerà alcune delle proprietà direzionali tipiche dei singoli cristalli. Questa direzionalità o anisotropia delle proprietà (dipendenza dalla direzione di prova) è evidente nelle variazioni del modulo elastico,  $Y_S$ ,  $T_S$ , allungamento a rottura e altre proprietà.

Può essere sfruttato per scopi speciali. Pertanto, le lamiere di acciaio al silicio vengono lavorate per allineare il bordo del cubo lungo la direzione di laminazione per ottimizzare le proprietà magnetiche per i nuclei dei trasformatori.

Di particolare importanza nella lavorazione dei metalli, anche il valore relative delle componenti della deformazione cambia mentre si deforma.

Anisotropia della deformazione (importante nella deformazione delle lamiere, deformate essenzialmente a trazione)

Possiamo esprimere il principio di costanza del volume in termini di deformazione vera: la somma delle tre deformazioni principali vere è uguale a zero (vedi figura).

Si ricorda che la deformazione vera è il logaritmo naturale della nuova dimensione divisa per la vecchia dimensione.

In una prova di trazione la deformazione maggiore  $\epsilon_1$  è positiva (di trazione) mentre le deformazioni trasversali  $\epsilon_2$  ed  $\epsilon_3$  sono negative (di compressione).

Per comodità, è normale parlare di deformazione nella lunghezza  $\epsilon_l$ , di deformazione nella larghezza  $\epsilon_w$  e di deformazione nello spessore  $\epsilon_t$ .

Questa relazione è sempre valida, ma  $\epsilon_w$  ed  $\epsilon_t$  non necessariamente sono uguali. Per convenzione, il rapporto tra le deformazioni trasversali è espresso dal valore  $r$ ,

che è il rapporto tra la deformazione nella larghezza e la deformazione nello spessore (formula).

### Tipi di anisotropia

Esistono diverse possibilità:

1. Quando il materiale è isotropo,  $\epsilon_w = \epsilon_t$  e  $r = 1$  (seconda formula).

Non importa se il campione viene tagliato nella direzione di laminazione, ortogonalmente o con un angolo intermedio.

2. in un materiale anisotropo è ipotizzabile che i valori di  $r$  varino in relazione alla direzione di laminazione (terza formula).

Questo fatto è denotato come anisotropia planare e porta a problemi come le orecchie nell'imbutitura.

3. Se i valori di  $r$  misurati nel piano della lamiera sono identici in tutte le direzioni ma si discostano dall'unità, si parla di anisotropia normale, poiché la deformazione del provino nella direzione dello spessore (normale rispetto alla superficie della lamiera) è diversa da quella nella direzione della larghezza (quarta formula)

4. È possibile e in effetti normale che l'anisotropia normale e planare si verifichino simultaneamente (quinta formula).

Per separare i due tipi di anisotropia, possiamo definire un valore medio di  $r$ , denotata  $r$  segnato o  $r_m$  (sesta formula) come misura dell'anisotropia normale (spesso, il simbolo  $r$  è usato indifferentemente per indicare  $r$  o  $r_m$ ).

Una misura di anisotropia planare è  $\Delta r$  (settima formula).

### Anisotropia dei materiali per lamiera

Lo sviluppo della tessitura dipende molto dalla struttura cristallina.

1. Nei materiali con reticolo esagonale il limitato numero di sistemi di scorrimento porta allo sviluppo di una tessitura dopo deformazioni relativamente piccole (0.2-0.3), con la maggior parte dei piani basali allineati perpendicolarmente alla direzione di applicazione della forza di laminazione, cioè con piani basali quasi paralleli alla superficie della lamiera. Quando un provino di trazione tagliato da una tale lamiera viene allungato, la deformazione è altamente anisotropa.

a. Nei materiali hcp con un alto rapporto  $c/a$ , lo scorrimento è limitato ai piani basali, quindi lo spessore della lamiera viene ridotto mentre la sua larghezza è appena influenzata, proprio come un mazzo di carte può essere allungato facendo scorrere le carte l'una sull'altra. Il valore  $r$  diventa molto piccolo, 0,2 per lo zinco.

b. La deformazione di un campione di trazione tagliato da un materiale hcp con un basso rapporto  $c/a$  mostra un comportamento molto diverso.

Dato che lo slittamento avviene ora su piani prismatici e/o piramidali, lo spessore della lamiera viene ridotto di poco; invece, la maggior parte della deformazione avviene per riarrangiamento dei prismi esagonali, portando ad una marcata riduzione della larghezza del campione. Il valore  $r$  potrebbe teoricamente raggiungere l'infinito, ma in pratica raramente supera 6, il valore del titanio.

2. I metalli con struttura fcc possiedono molti sistemi di scorrimento equivalenti; quindi, solo molto più tardi, in genere dopo una riduzione di oltre il 50%, sviluppano una tessitura.

Un materiale policristallino fcc con orientamento completamente random è quasi isotropo ( $r = 1$ ). Tuttavia, dopo la deformazione il valore di  $r$  può diminuire e molte leghe di alluminio tendono ad avere  $0.4 < r < 0.8$ .

3. La direzione di scorrimento comune in materiali bcc può essere sfruttata mediante una lavorazione appropriata per fornire valori di  $r$  compresi tra 0,8 e oltre 2.

Nella maggior parte dei casi si desidera  $r$  alto per avere poco assottigliamento. Da questo punto di vista il titanio è ottimo, ma diventa presto anisotropo.