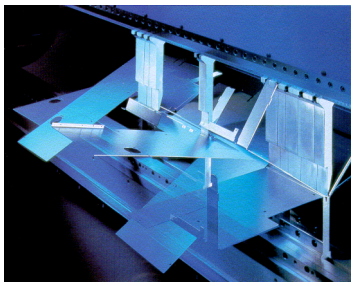
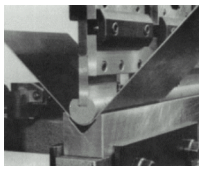
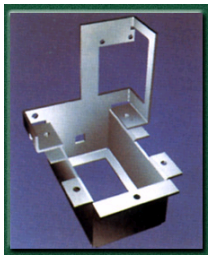
Fondamenti di *sheet metal forming*



Fondamenti di *sheet metal forming*

- Generalità
- Sforzi e deformazioni
- Proprietà delle lamiere
  - Legge di incrudimento
  - Anisotropia e altre proprietà
- Formabilità
  - Potenziali difetti
  - Forming Limit Diagram

Sheet Metal Forming: generalità

- Al contrario della deformazione massiva (forgiatura, estrusione, ecc.) gli sforzi sono prevalentemente di trazione
  - include processi elementari di piegatura e stiratura mono o biassiale
  - la deformazione raramente interessa tutto il pezzo, ma solo zone limitate di esso
- proprietà meccaniche
  - una lamiera metallica, per poter essere formata, deve avere un ampio campo plastico a freddo
  - Proprietà principali:
    - Carico di snervamento (Yield stress), allungamento (elongation), anisotropia, finitura superficiale, carico di rottura, dimensione media del grano

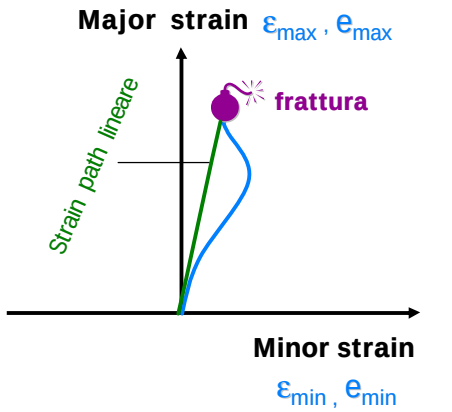
Sheet Metal Forming: generalità

- Materiali più usati
  - Industria meccanica
    - Acciai al carbonio
  - Settore automotive
    - Accio inox, Acciaio al carbonio, acciai altoresistenziali, leghe di alluminio
  - Settore aerospace
    - Leghe di Alluminio e titanio
  - Settore white goods e casalinghi
    - Accio inox, Acciaio al carbonio

Sforzi e deformazioni

rappresentazione della storia di deformazione

- Storia di deformazione di un volume elementare
- Dominio
  - Piano cartesiano formato dalle 2 deformazioni principali del piano della lamiera
  - La terza (spessore) si ottiene per la costanza del volume
  - se i carichi sono "proporzionali", cioè il rapporto tra σ_1, σ_2 e σ_3 è costante, la storia di deformazione è lineare

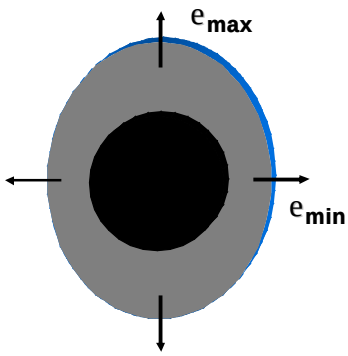


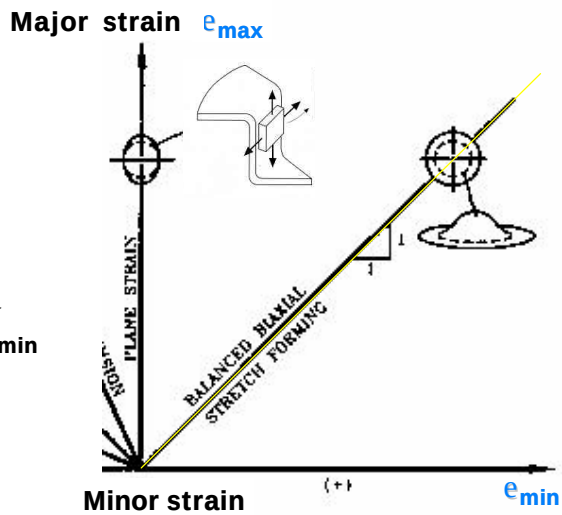
Valori logaritmici o ingegneristici

Sforzi e deformazioni

rappresentazione della storia di deformazione

trazione-trazione

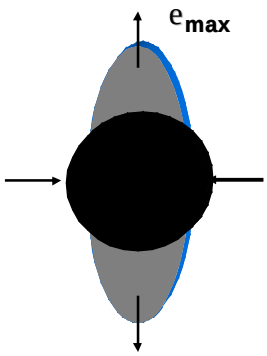


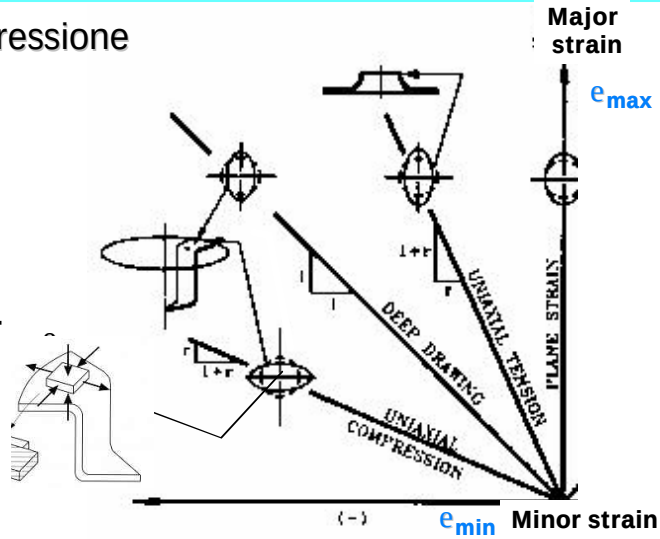


Sforzi e deformazioni

rappresentazione della storia di deformazione

trazione-compressione

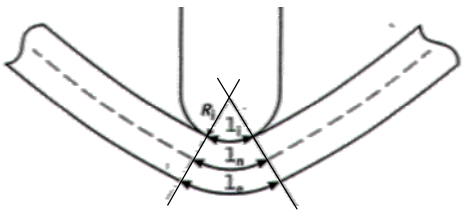


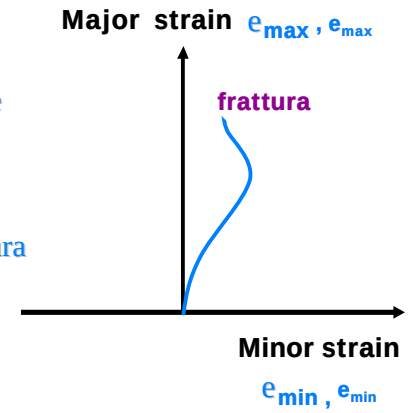


Sforzi e deformazioni

rappresentazione della storia di deformazione

- Limiti della rappresentazione
  - Ha senso solo se la deformazione è pressochè costante lungo lo spessore
    - Spessori sottili
    - Raggi di piegatura ampi
  - Non è rappresentativa di ciò che avviene durante i processi di piegatura





Proprietà delle lamiere legge di incrudimento

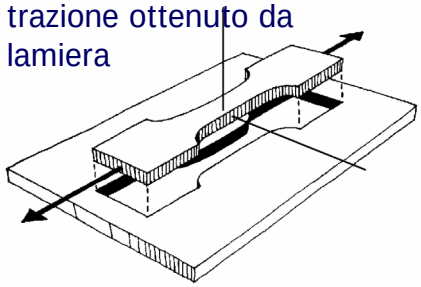
- Deformazione massiva
  - ⇒ prova di compressione
- Deformazione lamiera
  - ⇒ prova di trazione

Legge più adatta a carbon steels e leghe Al/Mg

$\sigma = K\,\varepsilon^n$ (uniassiale)

$\bar{s} = K\bar{e}^{\,n}$ (flow stress)

Provino per prova di trazione ottenuto da lamiera



Proprietà delle lamiere legge di incrudimento

$$\bar{s} = K\bar{e}^{\,n}$$

- Sforzo equivalente alla von Mises

$$\bar{s} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(s_1 - s_2)^2 + (s_1 - s_3)^2 + (s_2 - s_3)^2}$$

HP: 1, 2, 3 sono le DIREZIONI PRINCIPALI

Dominano le componenti DEVIATORICHE

- Deformazione equivalente

HP: carichi proporzionali

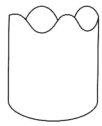
$$\bar{e} = \frac{3}{\sqrt{2}}\left[(e_1 - e_2)^2 + (e_1 - e_3)^2 + (e_2 - e_3)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

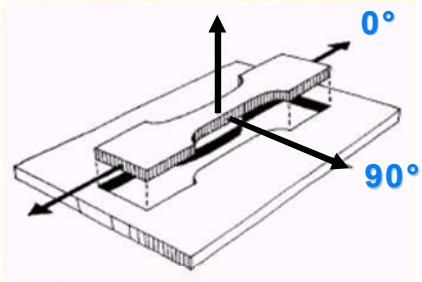
Proprietà delle lamiere
Altre proprietà

- Dimensione del grano
  - Influenza la
    - formabilità del materiale
    - resistenza meccanica del prodotto finito
    - finitura superficiale del prodotto finito
- Stato dei bordi e della superficie
  - Bordi frastagliati possono innescare rotture premature della lamiera
- Anisotropia
  - Principalmente dovuta al processo di produzione tramite laminazione a freddo
    - Meno evidente per materiali laminati a caldo

Proprietà delle lamiere
Anisotropia

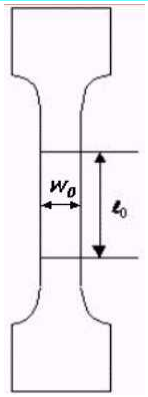
- Planare
  - Diverso comportamento tra direzioni (0°, 45°, 90°) nel piano della lamiera
    - Produce deformazione non uniforme
      - "orecchie" in imbutitura

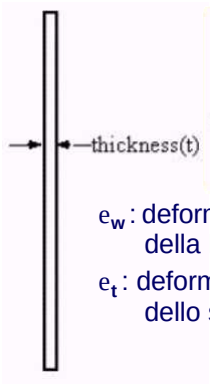


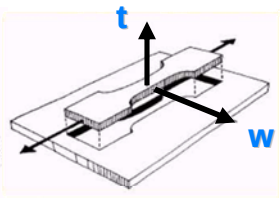


- Normale
  - Diverso comportamento tra il piano della lamiera e la direzione dello spessore t
    - Produce maggiore o minore assottigliamento

Proprietà delle lamiere
Anisotropia







e_w : deformazione nella direzione della larghezza della provetta

e_t : deformazione nella direzione dello spessore

$$R = \frac{de_w}{de_t} = \frac{\ln\left(w_o / w_f\right)}{\ln\left(t_o / t_f\right)}$$

Indice di anisotropia

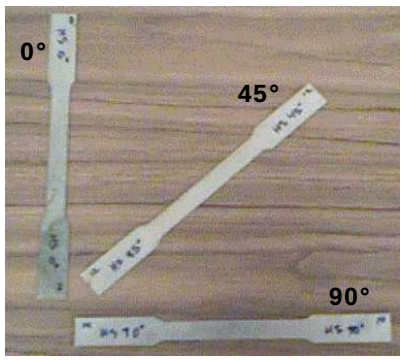
R varia al variare dell'orientamento

R_0, R_{90}, R_{45}: valori di R ottenuti da provette ritagliate dalla lamiera secondo varie angolazioni rispetto a quelle di laminazione

Proprietà delle lamiere
Anisotropia

- Anisotropia normale
  - Media pesata degli indici di anisotropia normale R nelle direzioni del piano

$$R_{avg} = \left(R_0 + R_{90} + 2 \cdot R_{45}\right)/4$$



- Anisotropia planare

$$\Delta R = \left(R_0 + R_{90} - 2 \cdot R_{45}\right)/2$$

Formabilità
Definizione

- Capacità di un materiale di formarsi fino alla forma finale desiderata senza l'insorgenza di difetti
  - Il termine formabilità integra tutte le più importanti proprietà viste finora
    - Senza grinze né frattura
- Esistono molti tipi di test per misurare la formabilità
  - Generici
    - Generano condizioni di sforzo/deformazione date fino a rottura
  - Simulativi
    - Imitano il comportamento del materiale durante uno specifico processo

Formabilità
Potenziali difetti durante la lavorazione

Splitting

Avviene quando una lamiera è soggetta a forze, nel suo piano, di taglio e di trazione che eccedono il limite di frattura, data una certa storia di deformazione

Formabilità
Potenziali difetti durante la lavorazione

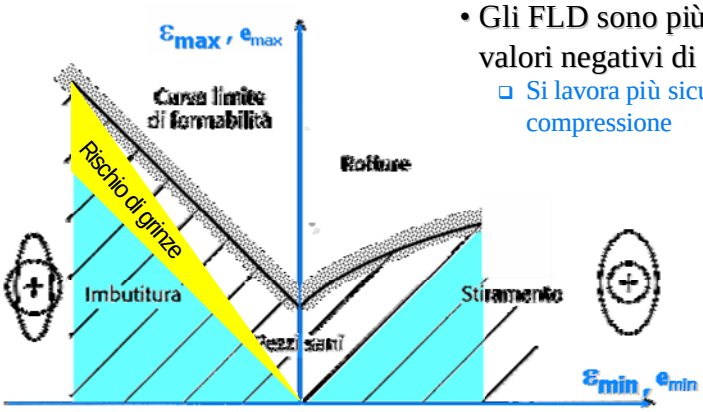
Wrinkling (grinze)

Avviene quando una lamiera è soggetta a forze, nel suo piano, di compressione, oltre un certo limite. La tendenza al wrinkling aumenta con

- l'ampiezza delle aree della lamiera non vincolate o non supportate
- con il diminuire dello spessore
- con la disuniformita' dello spessore

Formabilità
Forming Limit Diagram (FLD)

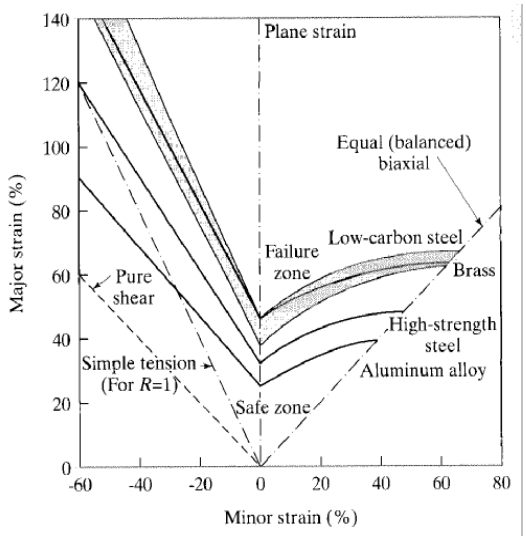
- FLD: Luogo dei punti al quale avviene
  - la strizione
  - o la frattura senza strizione



- Esiste una zona di incertezza
- Gli FLD sono più elevati per valori negativi di ε_{min}
  - Si lavora più sicuri in trazione-compressione

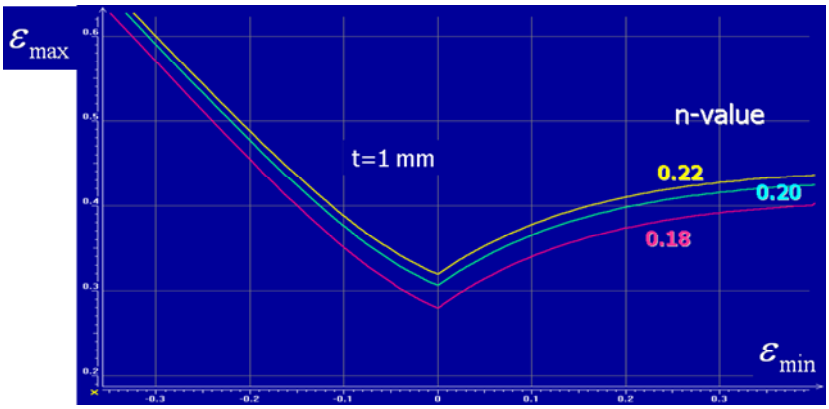
Formabilità
Forming Limit Diagram (FLD)

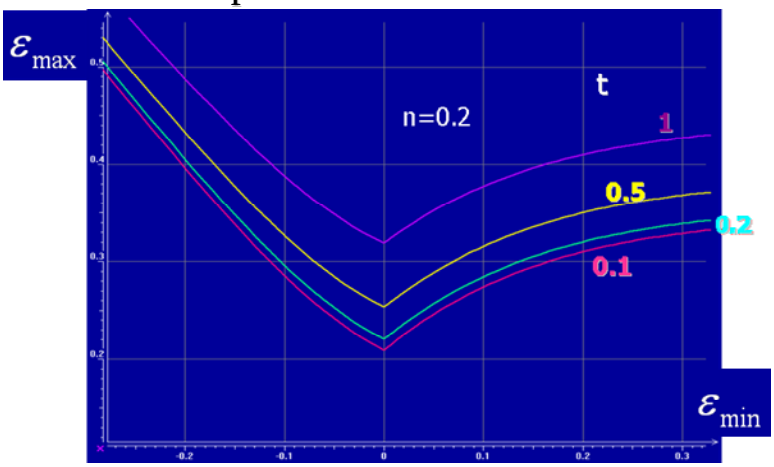
- Dipendenza dal materiale
  - Acciai al carbonio, allumini e ottoni hanno FLD più bassi degli inox
  - In particolare le curve sono molto sensibili a n-value



Formabilità
Forming Limit Diagram (FLD)

- Dipendenza dal materiale
  - Sensibilità a n-value



Formabilità
Forming Limit Diagram (FLD)

- Dipendenza dallo spessore