



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 341

DATA : 25/07/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Gignone

MATERIA : Tecnologia di Formatura

Prof. Rosso

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

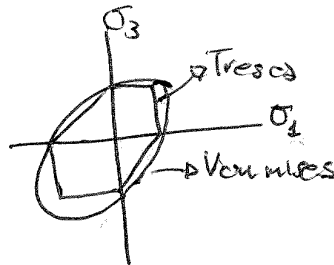
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Ripasso proprietà meccaniche

①

- Effetto Bauschinger: strain softening: Trazione + compressione = \Rightarrow stiramento meno
- Trazione - compressione: forgiabilità metalli
- Flessione 4 punti: parte del materiale in trazione/compressione \Rightarrow meno forgiabilità
- Durezza - Resistenza $UTS = 3,5 (HB)$
- Sforzi residui: Hole drilling
Rimozione strati
Raggi-X
- Criteri di snervamento di Tresca (max taglio) Von Mises (energia def.)



Lavoro di deformazione: $U = \int_0^{\epsilon_l} \sigma d\epsilon$ $\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \text{True stress} \\ \epsilon = \text{True strain} \end{array} \right.$

$\downarrow \quad \leftarrow \quad \sigma = K \epsilon^n$

$U = K \int_0^{\epsilon_l} \epsilon^n d\epsilon$

\downarrow

$U = \frac{K \epsilon_l^{n+1}}{n+1}$

Ideale Vs reale

$U_{tot} = U_{ideale} + U_{strati} + U_{indossabile} \Rightarrow \eta = \frac{U_{ideale}}{U_{totale}}$

$\Delta T = \frac{U_{totale}}{\rho \cdot c}$

non è vero
5-10% occurring
sforzi residui

30-60% deformazione

45-95% temperatura

Lez 3 manufacturing

- Approccio classico

↓
Sequenziale
Veloce

Vs Concurrent Engineering

↓
interazione maggiore
rapida
minor costo

DFM + DFMA

↳ Forme e tipi
di produzione
+ comuni

- Computer Aided Design Engineering and Manufacturing
- Simulazioni
- Prototipazione rapida

- Assemblaggio :
 - automazione
 - ordine
 - riduzione parti

} Esempi

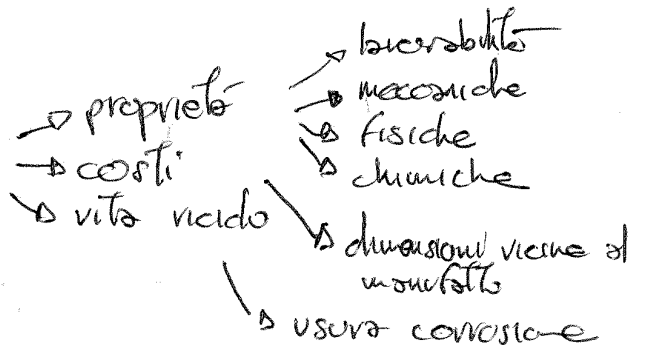
- Design for service

- Riduzioni

- Organigramma : Selezione materiale

(trend)

- purezza
- nuovi materiali
- riciclabilità



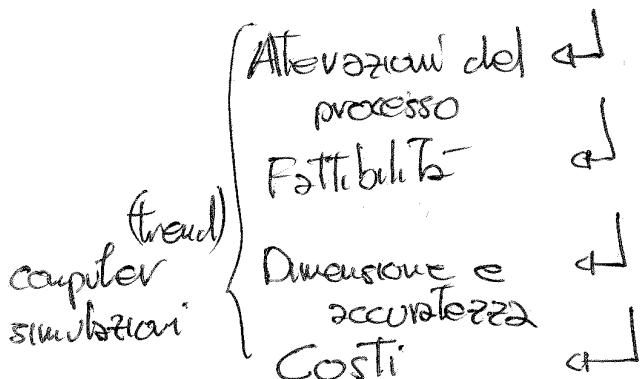
Selezione lavorazione : Fusione/colata

Formatura/deformazione

Lavorazioni utensile

Giunzioni

Finitura



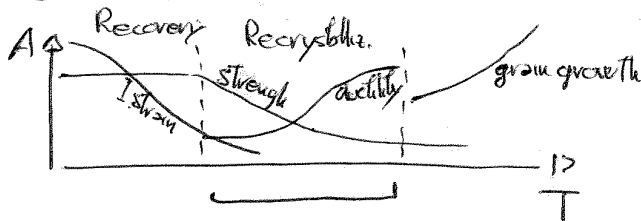
⇒ Processi Near Net Shape

Lez 4 deformazione plastica e temperatura

- Cold working : + strain hardening non rilassato
+ alto stato tensionale
+ dislocazioni $10^4 - 10^6 \text{ mm}^{-2} \rightarrow 10^{10} \text{ mm}^{-2}$

- Warm working : + riduzione internal strain
+ no ricristallizzazione
+ migliore controllo dimensionale e superficiale

- Hot working : + over ricristallizzazione



↳ Hot working : E' non elastico \Rightarrow sub ricottura

- + Riduzione portanze impegnate
- + Laminazione, estrusione, forgiatura
- Difficile lubrificazione
- Ossidazione
- Tool life
- minor qualità sup.

$$\text{↳ } W = \text{impegnato} = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon \Rightarrow \Delta T = \frac{\alpha \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon}{\rho \cdot C} \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0,98 \\ \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon \approx \bar{\sigma} \cdot \epsilon \end{array} \right.$$

↓
Thermal softening localizzato

↳ Inclinazione T di lavorazione : a data T c'è una massima deformazione limitata dal flusso di deformazione

↳ forgiatura orbitale

↳ " incrementale : più step

↳ curatura : $6 \times$ flow stress

↳ piercing o indentazione

↳ rivettatura

↳ mascheratura

↳ cogging o forgiatura adente

↳ fullening e edging

↳ forgiatura a rotolo (a rotolatura) →

molte esempi: (fold pattern)
↑

molte forme, molto
substituzista

↳ laminazione a vite → per sfere cuscinetti

⇒ Vedere grafico su production quantities Vs total cost

⇒ Difetti : - cricche superficiali

- buckling → instabilità in sezioni sottili in compressione

- cricche interne → flussi eccessivi non voluti

- esempio : rotore sezione

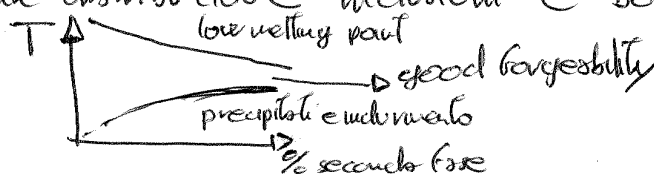
- spigoli vivi → cold shut

- direzione fibre iniziale ed in seguito a forgiatura

⇒ Forgiabilità : - test di compressione → cricche da botte

- test torsione a caldo → numero di giri

↳ differente distribuzione inclusioni e bevchi di grano



lez 5

5

- Estrusione :
 Diretta : alto attrito, elevate forze
 Indiretta : limitato attrito, pressioni inferiori
 Idrostatica : no attrito
 Impatto : sezioni cave, softer metals, high speed press

$\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{calda} \\ \rightarrow \text{fredda} \\ \rightarrow \text{discontinua} \\ \rightarrow \text{chidding (ricoprimento)} \end{array} \right.$

↳ CCD : diametro più piccolo cerchio

↳ fattore di forma : $\frac{\text{perimetro}}{\text{area}}$

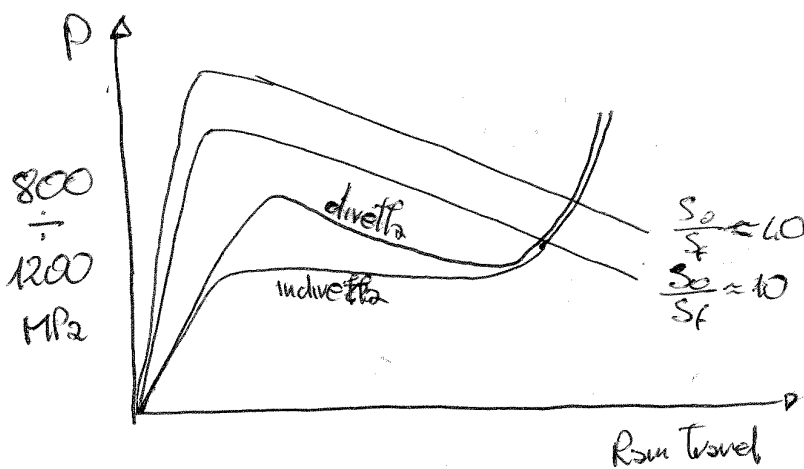
↳ Flusso di metallo:
 omogeneo : no attrito
 alto attrito : dead zone, superficie difetti
 altissimo : estensione dead zone, difetti a tubo

↳ Rapporto estrusione $R = \frac{A_0}{A_f}$

Def reale $\epsilon_1 = \ln R$

Lavoro = $p A_0 L_0$; $p = Y \ln R$

↳ difficile calcolarla per via attriti etc.



$$p = Y(2 + b \ln R)$$

$$\frac{0.8}{\text{specimen}} \quad L_0 \approx 1.2 - 1.5$$

$T \approx 1100 - 1200 \text{ } ^\circ\text{C}$

↳ lubrificazione a vetro ???

↳ oppure no lubrificante (dead zone come lubrificazione)

Trafilatura : Tirato all'uscita

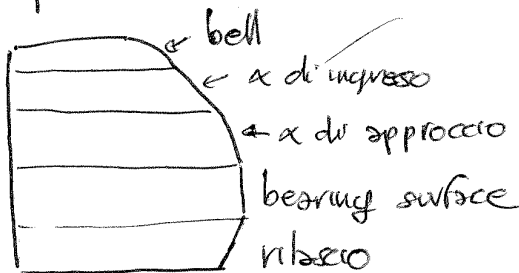
↳ cilindri, fili, tubi

Lavoro = lavoro ideale + attrito + deformazione ridondante

$$\sigma_d = \left(1 + 0,12 \frac{h}{L}\right) \cdot \bar{\gamma} \left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right) \ln \left(\frac{A_0}{A_f}\right)$$

↳ Angolo ottimale che minimizza (attrito + lavoro ridondante)

→ Usata per lavorare tubi estrusi



- Non oltre 45%
- 0,15 - 50 m/s
- migliora superficie

→ Operazioni :

- Rastrematura
- Trafilatura tandem
- Caldo - freddo
- A freddo necessita annealing
- Bundle drawing : più cavi con polimero in mezzo
- Filare : calore, diamante, acciaio da levare
- Usura massima prima zona di contatto

↳ A secco : - numero ossido all'acido chimico
 - bagno di sapone in polvere
 - rivestimento con polveri duffili

↳ A umido : oli/emulsioni organiche

→ Blocchi da trafilatura (trazione diretta)

Bull block : rolli magnetici

Lez. 6.1

- Laminazione : - Riduzione spessore / cambio sezione
- 90% produzione
 - piastre, fogli, lamiera

(17)

→ Prima laminazione a caldo per omogeneizzare microstruttura

→ Meccanica : $V_{rotolo} < V_{rotolo} < V_{esce} \Rightarrow \uparrow$ punto di non slittamento

- Difetti :
- superficiali : inclusioni ossido
↳ trattamento alla torcia
 - strutturali : ondulazione al bordo
cricche a camera
cricche al bordo
delaminazione

→ Sforzi residui :

Piccoli rotoli	Grande diametro
↓	↓
superficie compressione	Cuore compressione

→ Chatter : torsionale
terza ottava
quinta ottava

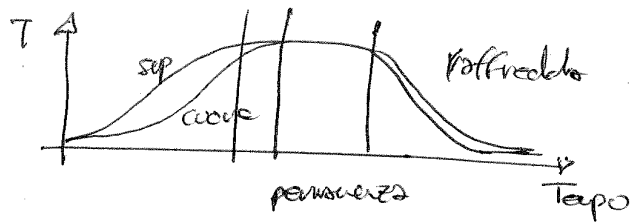
- Seggeramenti :
- rimozione ossidi successivi acido, abrasione, pressione
 - Bassa riduzione in acciai al carbonio : evitare bande di Lüder
 - Rulli livellanti : flessione verso opposto

- Lubrificazione :
- grafite ferrosa (o nulla)
 - oli, emulsioni (non ferrose)
 - bassa viscosità (a freddo)

→ Cluster mill (Sendzimir) : fogli a freddo (2,5 mm)
- elevato contatto dimensionale
- carburo di Tungsteno centrale

Lez 6.2

Laminazione : schemi vari :



8

- laminatori duo con piani sopra e sotto
- sostituzione prima girata con secondi
- schemi di calibri chiusi in laminatoio
- limiti max e min per riduzioni successive potenze di ingresso
- sequenze wire rod
- cold rolling con annealing
Vs
hot rolling con ricristallizzazione

} diff. gradi

Lez 6.3

Laminazione : matematica più precisa → da vedere

- ↳ Velocità
- ↳ Pressioni in gioco
- ↳ Asse neutro
- ↳ Forza di laminazione
- ↳ Condizioni di impacco
- ↳ flessione velli e bombatura
- ↳ Teoria di Roberts
- ↳ Diametro determinato cilindro
- ↳ Calcolo Programmato

Lez. 7 Lavorazione delle lamiere : spessore solitamente inferiore 6mm (9)

- Roll forming
- stretch forming
- Drawing
- Stamping
- Rubber forming
- ...

→ Allungamento, bande di Lüders

↳ $\sigma = K \epsilon^n \Rightarrow \epsilon = n$ media instabilità e strizione
 ↳ laminazione superficiale x incrementando le vite

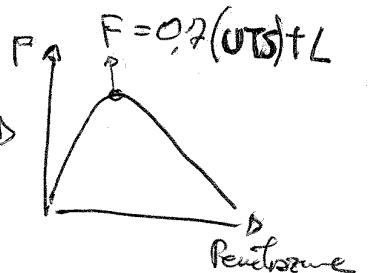
→ Anisotropia e tessitura, Dim. grani, Sforzi residui

↳ differenti uscite ↳ grossi = rugosità ↳ distorcono, rotture, stress corrosion.

→ Springback, Wrinkling (convezioni)

↳ ritorno elastico ↳ da sforzi di compressione

→ TAGLIO: (per rottura) :- forza del punzone →



- Angolo di frattura
 - Burr
 - Incurvatura
 - Zona bruciata e liscia
- ↳ fondamentale
- velocità
 - lubrificazione
 - gioco
 - raggi di curvatura
 - materiali

Rottura x allungamento

↳ Aumenta con la durezza → maggior percorso

Rasatura (secondo taglio con meno gioco)

↳ Possibile unico shearing dies

- operazioni:
- punzonatura
 - rimozione
 - perforazione
 - divisione
 - incisione
 - FINE BLANKING

↳ sotto pressione

- Slitting: dischi rotondi

- Bulging: liquido viscoso o gomma per distribuire
- Embossing: punzone acciaio su gomma
- idroformatura: fino 100 MPa
- Spinning / shear spinning: mandrino ruotante e tool che aderisce

↳ Tube spinning
 ↳ Albero turbina concorde

- Ad alta energia:
 - esplosiva
 - elettroidraulica
 - magnetic pulse

- Superplastic forming: con spessori
- Peen forming: pallinatura

Esempio
Honey comb

- Imbotitura (deep Drawing)

- proprietà lamiera
- rapporti tra diametri
- spessori
- gioco
- attriti / lubrificazione
- velocità

$LDR = \frac{D_0}{D_p}$
 Regolato da vari rapporti larghezza spessore

- Ironing con basso gioco
 ↳ tazze profonde

- blank holder: pressione sufficiente a evitare corrugazioni dovute a sforzi tangenziali.

Test di trazione per misurare Anisotropia

pure drawing pure stretching

↳ Formule e grafici

Draw bead (punzonatura)

↳ regolare flusso materiale

lez 8 Leghe di Alluminio

(11)

→ Leghe da fonderia

↳ EN A Y
 ↳ Alluminio

1° elemento in lega: 2 = rame
 4 = silicio
 5 = magnesio
 7 = zinco
 stato nebuloso
 gruppo della lega: (elenco)

B = pezzi per fusione
 C = getto
 M = lega madre

↳ A.A.

Z Y X X X
 ↳ classifica lega
 ↳ commercializzazione
 ↳ gruppo leghe: elemento predominante
 ↳ opzionale = diversi gradi di purezza

↳ intrinseco

SAS

spaziatura tra denti;
 curve storico def.; curve storico def.
 con densità



Alluminio 7075-T6

→ Leghe da deformazione plastica

↳ varianti dell'originale
 1 X X X
 ↳ purezza
 ↳ famiglie

Materozze : spostare bancaio termico

- ↳ possibile : - coibentatura
- polveri resine e sotermica

↳ Alveolatori ~~da~~ ciechi / aperti (???)

↳ Raffreddatori : inserti metallici che aiutano dove c'è più volume

Metodo cerchi inscritti

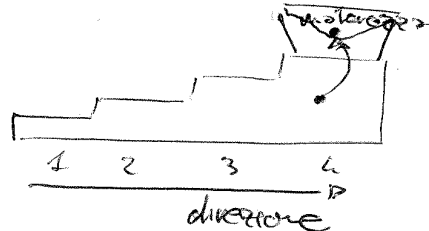
↳ le masse devono aumentare passando dalle meno alveolate alle materozze.

es. sovravello aggiunto.

↳ Dimensionamenti : - $M = \frac{\text{Volume}}{\text{Sup. di raffreddamento}} \Rightarrow M_{\text{inf}} \approx 1,3 \cdot M_2$

- Coltare

↳ La solidificazione direzionale



Tensioni di ritiro

↳ evitare di superare resistenza del materiale

↳ ritiro ostacolato negli spigoli vivi \Rightarrow cricche e caldo

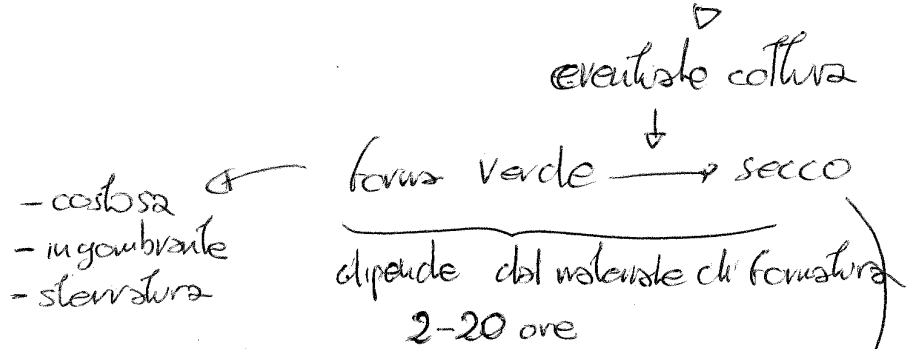
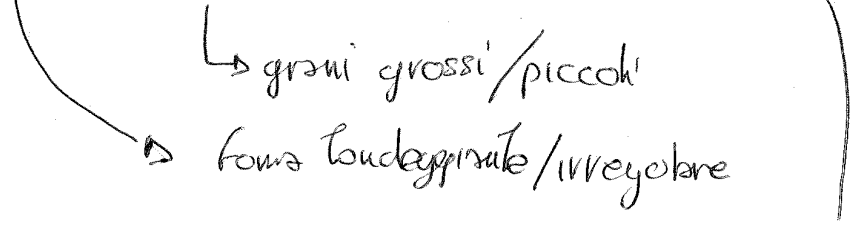
Sovravello

Storni e spogli : con angoli di spoglia non rompo la forma

Raccordi angoli e spigoli : esperienza ... (varie slide)

→ Problemi : - ottenere i fori
- sottosquarvi

Terre da fondere:	Plasticità	}	Sabbia di quarzo	58%	(13)
	Coesione		Argilla ole	8,5%	
	Refrattarietà		Additivi	5% (nerofumo)	
	Permeabilità		Acqua	3,5%	



Formatura anima: come sabbia + resistenza schiacciamento + friabile + finitura - gas + permeabile

↳ in terra: cottura 180-220°C ↳ il legante bruciando si fa questo

- oli indurenti reticolanti
 - ⇒ 2,5% olio
 - 1% plastificante
 - 1% bentonite
 - 2% H₂O
- } problemi di lungo essiccamento

↳ sabbia-silice: + silicati di sodio + CO₂ ↳ Anidride silicea } costo basso veloce difficile umidità

↳ HOT BOX: + resine sintetiche → 180-250° in poco tempo } nociva
 ↳ cold Box: polimerizza a freddo } consumo energia
 ↳ bicomponente } attiva

Lez 9 pressocoldata

16

L_D calda

L_D fredda

→ iniezione

→ riempimento : - sorgente
- getto

→ leghe : - fluidità
- crescita a caldo
- range di solidificazione
- resistenza meccanica
- duttilità
- durezza
- tenuta a pressione
- resistenza corrosione
- finitura superficiale
- stabilità
- lavorabilità
- saldabilità
- costo

L_D Alluminio :

Si : aumento durezza fino al 18%
aumento liquido fino a 11,7%

grafici per vedere il meglio
+ resistenza caldo
- ritiro
+ meccaniche
+ res. usura

Fe : basso tenore e controllato strutturalmente
dannoso (infrafragilisce)

Cu : non oltre 4% (±)

Lez 9 Fondere di alluminio (tecnologie innovative)

(15)

- Rheocasting : raffreddamento controllato (x + estetico)
- Thixocasting : miscela elettromagnetica + colata semisolidi della "thixocast structure"
- Thixomolding : magnesio (estensione)
- squeeze casting diretto : (punch in metallo fuso)
- ↳ " " indiretto : (iniezione del fuso)

↳ pressione cambia diagramma Al-Si / Mg-Al

⇕

+ rapido raffreddamento
↳ microstruttura più piccola

↳ diversa res meccanica

↳ minor usura

→ Pressocolata sottovoto : (Fondarex)

↳ minori cavità e frattura

↳ minori difetti

↳ bassa porosità

→ " " (Vacural) ... schema macchina

↳ miglior rifinitura superficiale

Slide di confronto: ~~decadute~~ Squeeze minor aria costi performance: rheocasting

→ CHIP; + Altri grafici.

Lez 11 Giunzioni: - meccaniche

- chimiche

- Brasature, soldo brasature, Saldature

↳ Stagno - Piombo + altri elementi

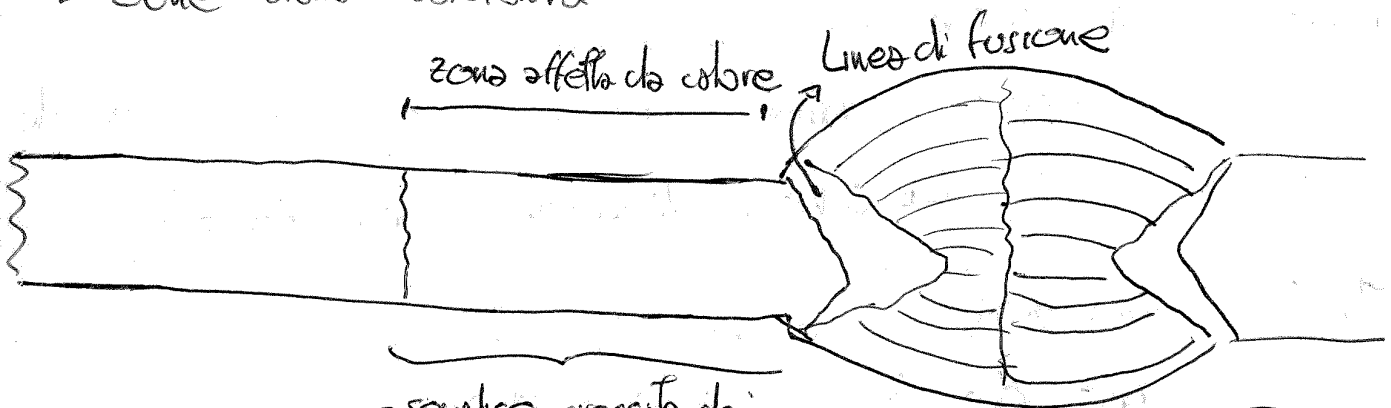
↳ Alluminio, Rame, Nickel

↳ Saldature ad arco elettrico
(TIG - MIG)

↳ Aggiunta trattamento in pressione

16

→ Zone della saldatura



- semplice crescita dei grani

- ricristallizzazione e cambio di struttura

- invecchiamento

- precipitazione carburi → corrosione

metallo depositato:

- possibili forme di mancanza

↳ Pericolo contrazioni ed allungamenti per temperatura

integranti per segregazione elementi di lega
cricche & caldo

ZTA
grani grossi per rapido fusione e sottoraffreddamento

ZF
perdite invecchiamento
ingrossamenti grano

Perdita stato T6

↳ possibile rottura T4 in alcune leghe

Porosità: gas - Idrogeno umidità

17

Alluminio : \Rightarrow Termis veloce e concentrata
 ossido da rimuovere
 velocità di passata
 entrare idrogeno

} Al-Si fluidità
 Al-Mg-Mn resistenza

La corone di solidità rapida rifusione

ZF : perdita incoerente
ingrossamento grano

ZTA : equiascici grani
: cricche a caldo x tensioni
interne introdotte

ZF + ZTA : Perdita solo TG (possibile T4 solo alcune leghe)

Porosità : idrogeno + H₂O + gas

Cricche a caldo

Cricche intergranulari per segregazione elementari lega

Mantello : incoerenza ???

Stondamento ???

- Difetti esterni : no penetrazione, troppo sovracollo, spruzzi...

interni : discontinuità metalliche : cricche
 fiocchi
 inclusioni

} controlli non distruttivi

disomogeneità metallogiche : chimiche
 metallogiche

} distruttivi

controlli non distruttivi : visivo
 liquido penetrante
 magnetico
 radiografico
 ad ultrasuoni

Rivestimenti a spessore

(18)

- Thermal spray:
- Flame spray
 - Arco elettrico
 - Plasma spray → APS
→ VPS
 - Arco a plasma trasferito
 - HVOF
 - Cold spray
- } forza di adesione
porosità
ossidi
durezza
spessore
↓

↳ Polveri di: metalli
Metalli duri
cerams
ceramic

Tensioni residue

↳ Biscoponente

↳ Rivestimenti anti usura
anti corrosione
isolanti
ricostruzione
particolarmente proprieta-

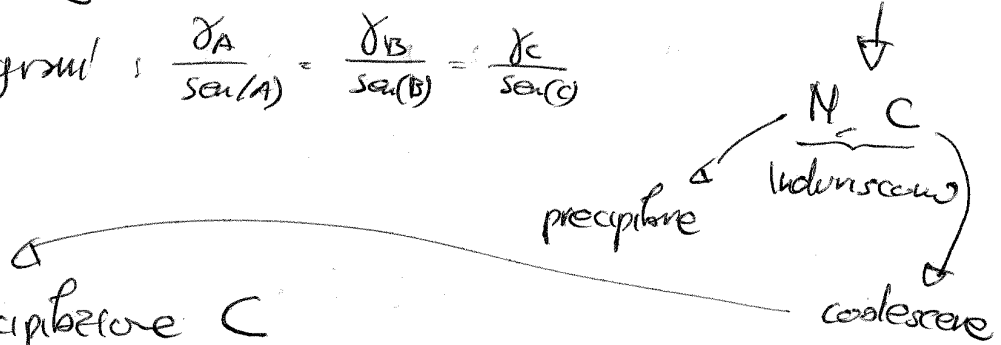
↳ Se alluminio cold spray : No distacchi, No fusione
stati compressivi (chiusura cricche)

Lez. 13 Ricottura e ricristallizzazione

19

- Durezza e T_{annealing}
- Cannibalismo grani grossi
- Grain size e T_{annealing}
- Formi di ricottura
- Perdita dislocazioni
- Poligonizzazione
- Ricristallizzazione
- Crescita dei grani: $\frac{\delta_A}{\sin(A)} = \frac{\delta_B}{\sin(B)} = \frac{\delta_C}{\sin(C)}$

matrice ferritica molto pura altrimenti



Meccanismi precipitazione C

super cooling \Rightarrow bordo grano, vicino impurità

difficili e diff. tratt. termica \Leftarrow importanti Diffusione e T

\hookrightarrow reheating over aging

- \rightarrow varie slide
- \rightarrow Modello di Wagner
- \rightarrow decomposizione / crescita

Lez. 2 Teoria metal working

Slab analysis: force balance.

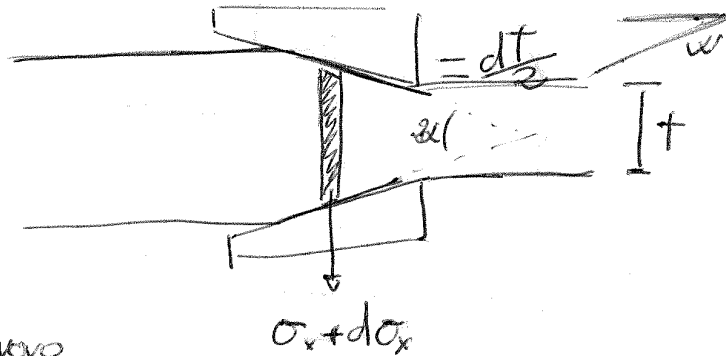
- 1: direzioni principali di forza e piano di azione descrivono i piani dove vi sono tutti i principali stress
- 2: Attrito c'è ma non cambia il bilanciamento di forze

→ Sheet drawing

H_p: non cambia larghezza

H_p: α e μ piccoli che non cambino x, y

H_p: 2K costante, no lavoro di indurimento



↳ Drawing force

$$F = \sigma_d \cdot W \cdot t_e$$

larghezza spessore utile

↳ dalla soluzione differenziale σ_d è lo sforzo

→ Valori elevati di μ non considerabili: bisogna introdurre sticking

$$\mu P \rightarrow K$$

→ Se c'è un lubrificante è meglio usare uno shear stress costante

↳ spigoli spesso non sono lubrificati $\tau = \mu k$ $\mu \in [0, 1]$

↳ non valida