

Superfici e tribologia

Riferimento: capitolo 4 del Kalpakjian
(prima parte)

Le superfici costituiscono la parte fondamentale dei pezzi che determinano le proprietà di contatto, attrito, usura dei componenti e la loro vita.

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Outline

- **Introduzione**
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Introduzione

- Mentre lo stato e il materiale del corpo determina le proprietà medie di un pezzo, la superficie può essere differente e influenza molte delle caratteristiche del manufatto:
 - attrito e usura del pezzo sia nel suo contatto con stampi e utensili nella lavorazione, sia nel suo uso finale;
 - efficacia dei lubrificanti sia nella lavorazione che in servizio;
 - apparenza del pezzo e caratteristiche geometriche nonché il loro ruolo nelle operazioni di: verniciatura, saldatura, rivestimento, giunzione e incollaggio;
 - propagazione di cricche dalla superficie o originate da difetti superficiali;
 - trasmissione di calore e elettricità nei contatti.

Introduzione

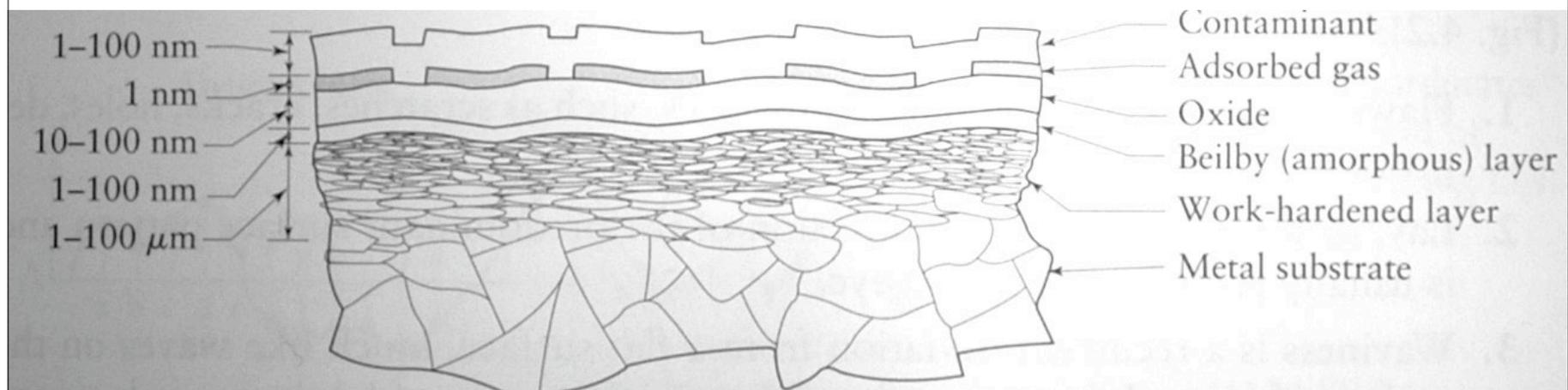
- Attrito ed usura come la lubrificazione entrano sotto il termine generale di **tribologia** e sono fenomeni superficiali
- L'attrito nei processi produttivi influenzano forze, potenze in gioco, consumi e qualità dei pezzi.
- L'usura modifica le superfici e geometrie degli stampi e utensili determinando la costanza e qualità delle geometrie prodotte.
- La lubrificazione nei processi produttivi è fondamentale sia nelle operazioni di lavorazione che nel funzionamento delle macchine.
- Un altro aspetto importante nell'ingegneria delle superfici è il loro trattamento.

Outline

- Introduzione
- **Struttura delle superfici e proprietà**
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Struttura e proprietà delle superfici

- La tipica superficie di un pezzo metallico è composta da diversi strati. Gli strati, la loro struttura e composizione dipendono dalla storia del materiale, dalla composizione, dal processo di lavorazione, dai trattamenti, deformazioni plastiche etc.



Sequenza degli strati (I)

- Lo strato indurito è il risultato dei processi di deformazione plastiche e lavorazioni, nonché di trattamenti termici e della vita/storia successiva del pezzo.
- La sua profondità e proprietà dipendono dal processo usato e dalle caratteristiche frizionali della superficie:
 - utensili affilati e condizioni opportune riducono moltissimo l'estensione di questo strato;
 - utensili grossolani o sistemi utilizzanti usura invece che taglio producono strati più spessi;
 - condizioni non uniformi o gradienti di temperatura introducono sforzi residui.

Sequenza degli strati (II)

- In alcuni casi può essere presente uno strato amorfo o nanocristallino (detto di Beilby) in cima allo strato indurito. Tale strato si forma in seguito a lavorazioni (spesso di finitura) con fusioni o riscaldamenti drastici superficiali, seguiti da raffreddamento veloce.
- Se il metallo non viene tenuto in ambiente inerte (privo di ossigeno) e non è un metallo nobile, si forma un ossido sopra lo strato indurito o quello di Beilby. Esempi:
 - Fe/FeO/Fe₃O₄/Fe₂O₃
 - Al/Al₂O₃ amorfo/Al₂O₃ idrato
 - Cu/Cu₂O/CuO
 - Acciaio inox/Cr₂O₃

Sequenza degli strati (III)

- Sullo strato di ossido in condizioni normali si forma uno strato di gas adsorbito.
- Lo strato più esterno invece è costituito da contaminanti come polvere, grasso, sporco, residui dei lubrificanti o di composti usati nella pulizia, oppure da inquinanti provenienti dall'ambiente.
- Quindi la superficie è molto differente dall'interno e mostra caratteristiche e proprietà completamente differenti che è importante conoscere.
- Integrità della superficie: è importante poichè influenza le proprietà finali del prodotto e la sua vita. I difetti maggiori che si incontrano sono: cricche, crateri, corrugazioni, sovrapposizioni, inclusioni, giunture, attacchi intergranulari.

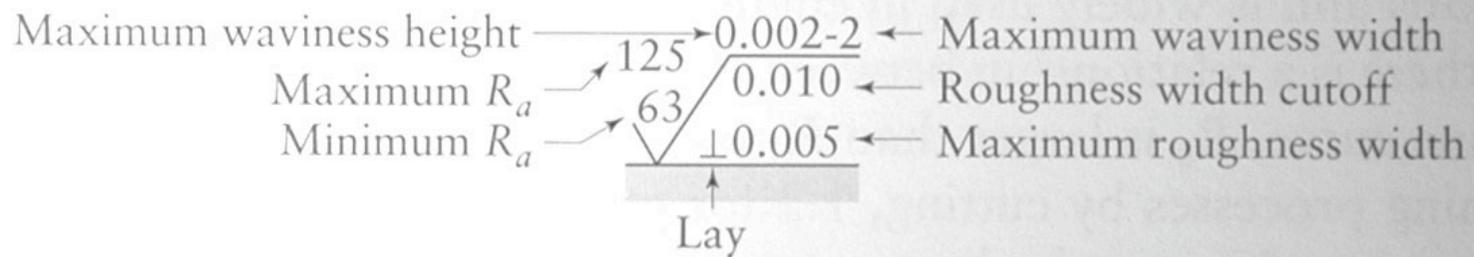
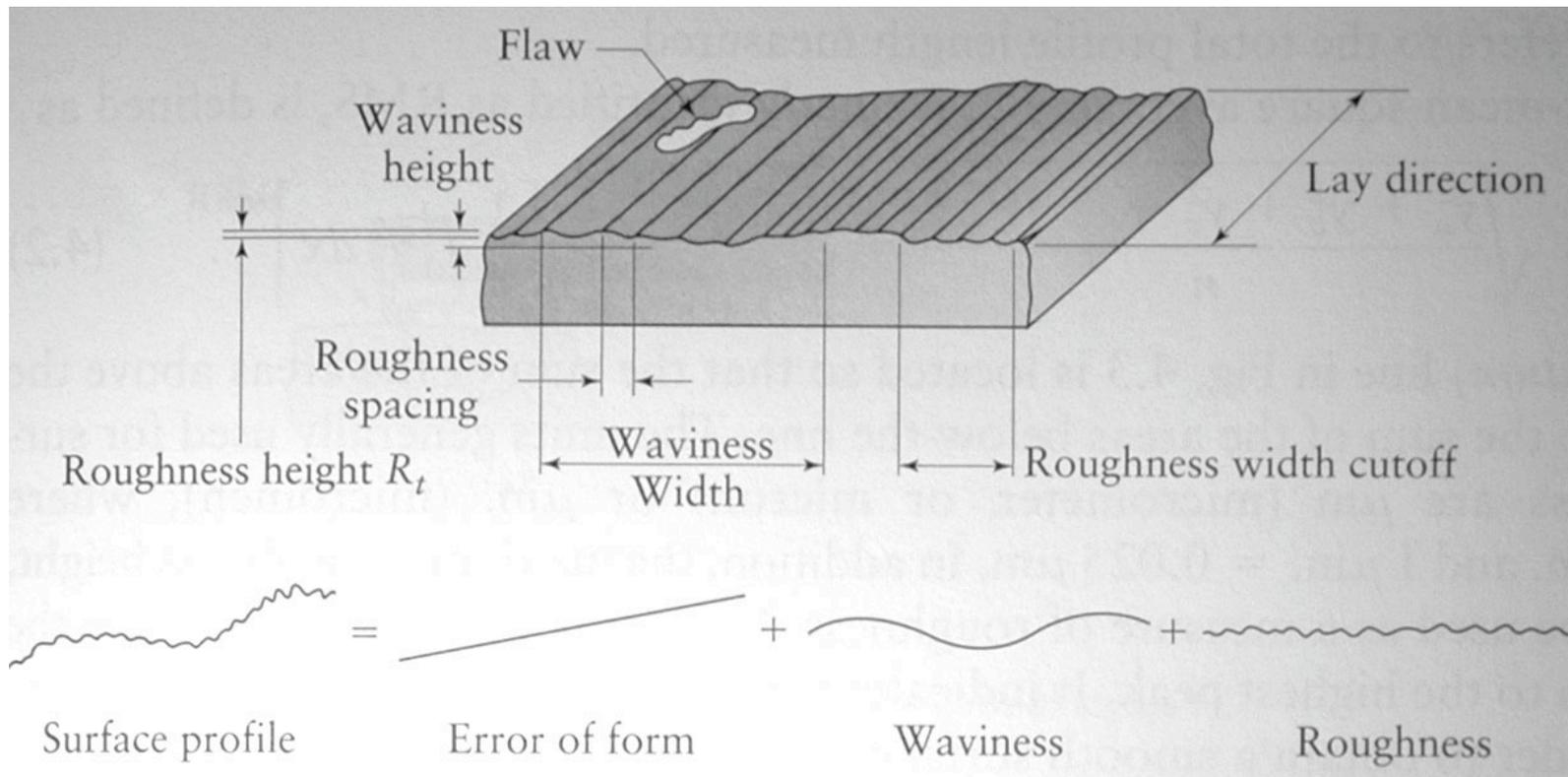
Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- **Tessitura delle superfici**
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

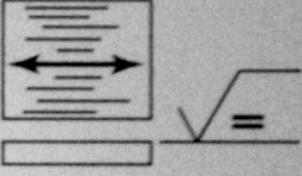
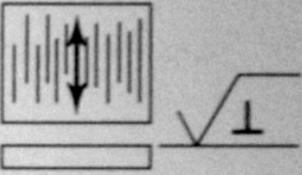
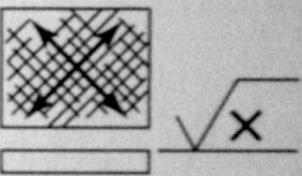
Tessitura delle superfici

- Le caratteristiche della superficie rientrano sotto il nome di tessitura della superficie. Si classifica in base alle seguenti quantità:
 - cricche e fessure: rientrano in queste irregolarità come graffi, cricche, buchi, depressioni, scalini e inclusioni.
 - Direzionalità: la direzione predominante della morfologia superficiale.
 - Ondulamento: regolare deviazione dalla planarità similmente alle onde nell'acqua, caratterizzate in termini di frequenza (lunghezza) delle onde (distanza tra due creste) e altezza (tra il fondo e la cima). L'ondulazione può essere causata da vibrazioni, deflessioni, fluttuazioni di forze, temperature o lubrificazione periodiche.
 - Rugosità: deviazione irregolare dalla planarità (scala micron).

Definizioni



Simbologia (direzionalità)

Lay symbol	Interpretation	Examples
=	Lay parallel to the line representing the surface to which the symbol is applied	
⊥	Lay perpendicular to the line representing the surface to which the symbol is applied	
X	Lay angular in both directions to the line representing the surface to which the symbol is applied	
P	Pitted, protuberant, porous, or particulate nondirectional lay	

Tessitura parallela

Tessitura perpendicolare

Tessitura bidirezionale
disposta a 45 gradi

Tessitura non direzionale

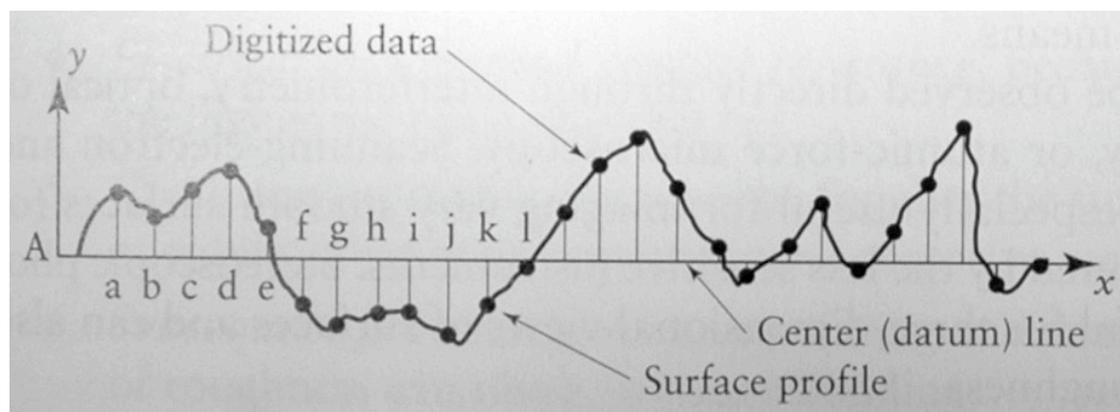
Rugosità superficiale

- Due definizioni per il valore:
 - valor medio aritmetico (AA, arithmetic average o CLA, center line average):

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

- media quadratica (RMS, root mean square average):

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2 dx}$$

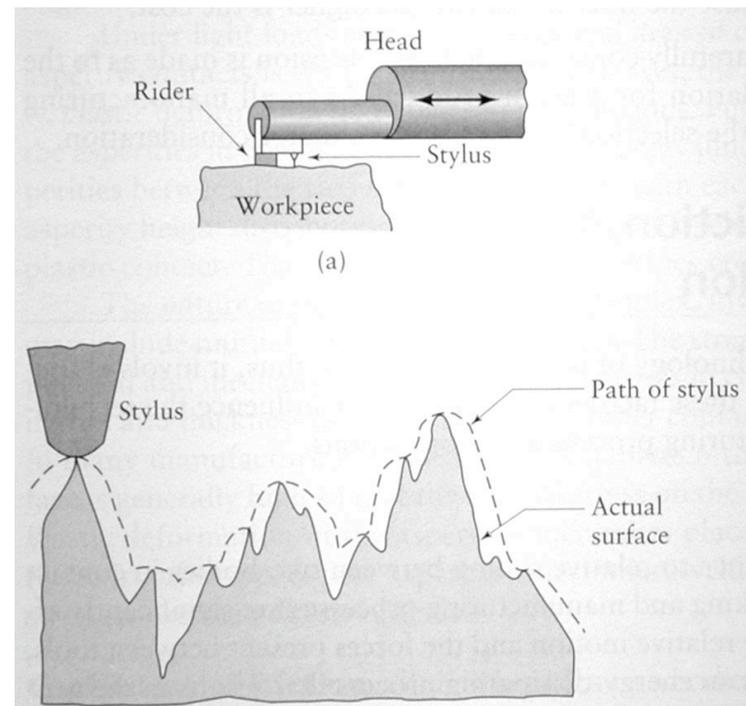


Rugosità: definizioni aggiuntive

- Massimo valore della rugosità, R_t , o altezza dal punto minimo al punto massimo.
- Da tale valore si può calcolare la minima quantità da asportare per rendere liscia la superficie.
- Il valore di R_a è più usato per la sua semplicità.
- Il valore di R_q è più sensibile alle valli più profonde e alle cime più alte rispetto a R_a , per cui è più utile per i valori di attrito e lubrificazione.
- La rugosità però dipende anche dalla sua topologia. Due superfici possono avere lo stesso valore di rugosità media, ma con topologie differenti avere proprietà completamente differenti.

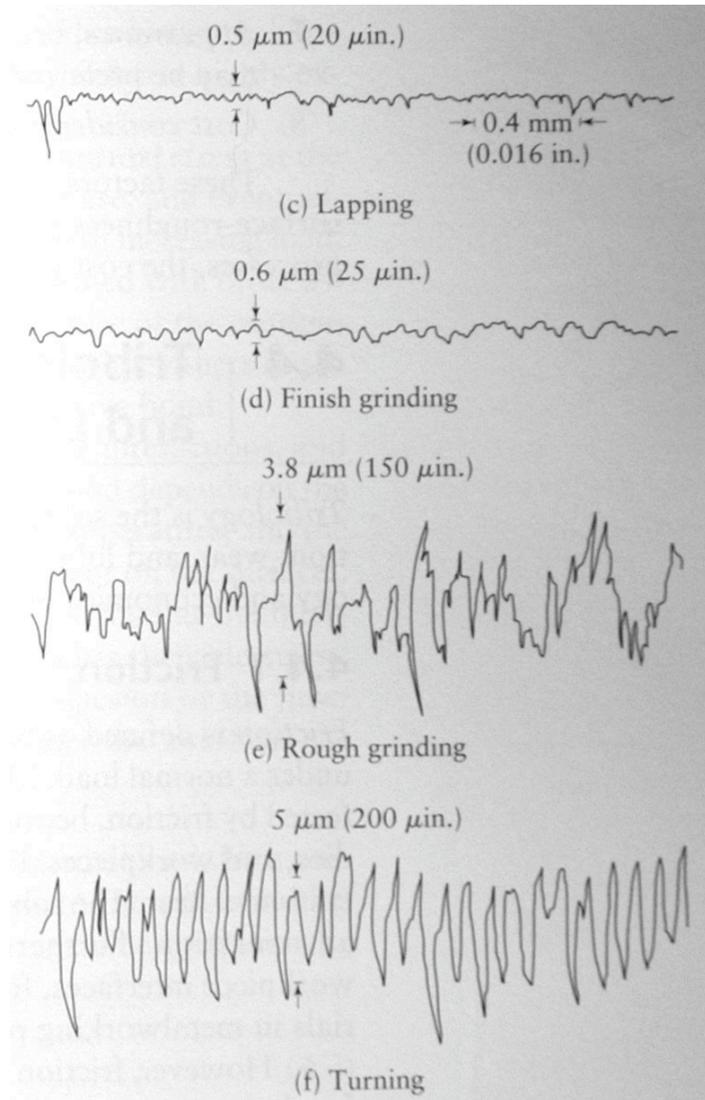
Misura della rugosità

- Si misura la rugosità tramite:
 - profilometri: una punta (diamantata) scorre sulla superficie e si registra il movimento. La distanza su cui è misurata viene chiamata roughness width cutoff



- interferometri
- microscopi forza atomica
- microscopi elettronici a scansione
- microscopi stereoscopici

Esempi di rugosità tipica



Lappatura

Finitura alle carte

Finitura grossolana

Tornitura

La rugosità è importante per:

- Superfici di contatto che richiedono precisione elevata come guarnizioni, sigilli, utensili e stampi richiedono o rugosità bassissime (sfere cuscinetti, superfici interne stampi) o rugosità elevate (superfici guarnizioni, freni a tamburo).
- Per considerazioni sull'attrito e usura.
- Per fatica e sensibilità all'intaglio (meglio superfici lisce).
- Per conducibilità termica ed elettrica per contatto (meglio lisce).
- Resistenza alla corrosione (superfici rugose trattengono i composti corrosivi).
- Processi di verniciatura, rivestimenti (meglio rugosità).

Rugosità importante anche per:

- Apparenza superficiale (che dipende spesso dalla rugosità).
- Considerazioni sui costi: bassa rugosità richiede costi maggiori.

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- **Tribologia:**
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Tribologia

- Per tribologia si intende la scienza e tecnologia delle superfici in contatto:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Tutti e tre contribuiscono a determinare il tipo di tecnologia da utilizzare e i costi dei processi di lavorazione.

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

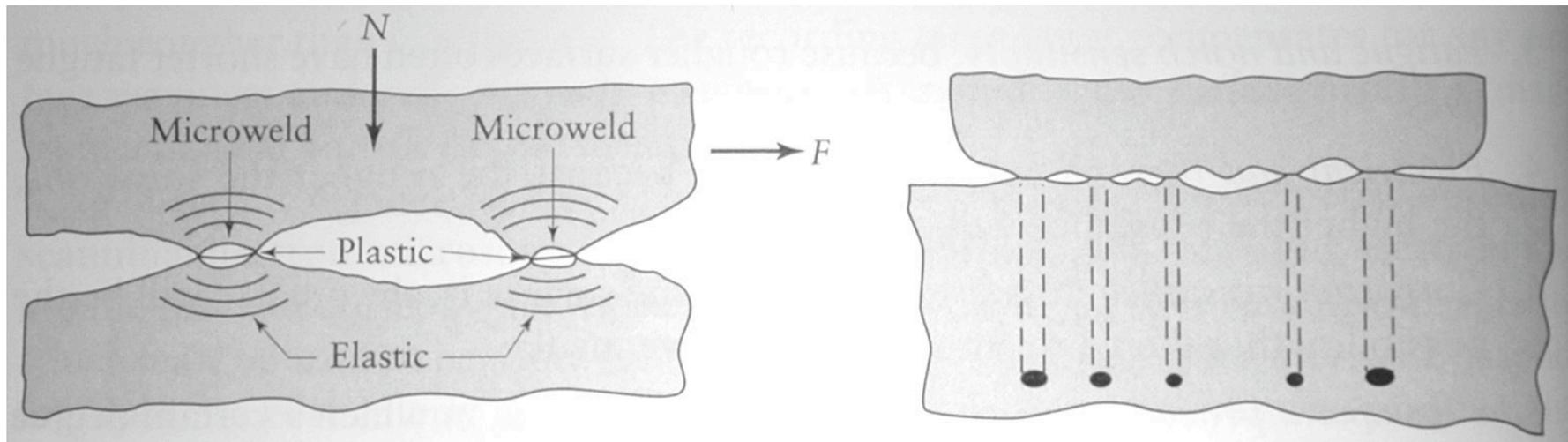
Attrito

- E' definito come la resistenza allo slittamento relativo di due superfici a contatto tramite sforzo normale alla superficie.
- Influenza i processi di lavorazione in quanto è un processo dissipativo, che genera calore e può impedire/rallentare o limitare i movimenti degli utensili o stampi.
- Non sempre l'attrito è negativo. Senza attrito non potremmo avere ne la laminazione ne ad esempio il movimento tramite ruote di un'automobile.
- Esistono diverse teorie per descrivere l'attrito. E' importante che riescano a descriverne il comportamento in condizioni differenti e tutti gli effetti.

Teoria adesiva dell'attrito

- Considera che la forza tangenziale F necessaria per mantenere una velocità di strisciamento v , tra due corpi a contatto con una forza normale N origini dalla forza di taglio necessaria a separare le asperità a contatto.
- Il coefficiente di attrito è definito come (A_r = area di contatto reale):

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{\tau A_r}{\sigma A_r} = \frac{\tau}{\sigma}$$



Teoria adesiva dell'attrito

- Per forze di contatto leggere e grandi aree di contatto lo sforzo normale alle asperità è principalmente elastico.
- Incrementando il carico, lo sforzo aumenta e si può avere deformazione plastica nelle giunzioni.
- Aumentando lo sforzo, aumentano le asperità in contatto. Alcune di loro sotto deformazione elastica, altre plastica.
- Il contatto di queste asperità crea un legame adesivo; tali contatti vengono anche chiamati microwelds (microsaldature). L'adesione dipende dalle proprietà fisiche, chimiche e meccaniche delle due superfici.
- Più pulita è la superficie => maggiori i legami adesivi

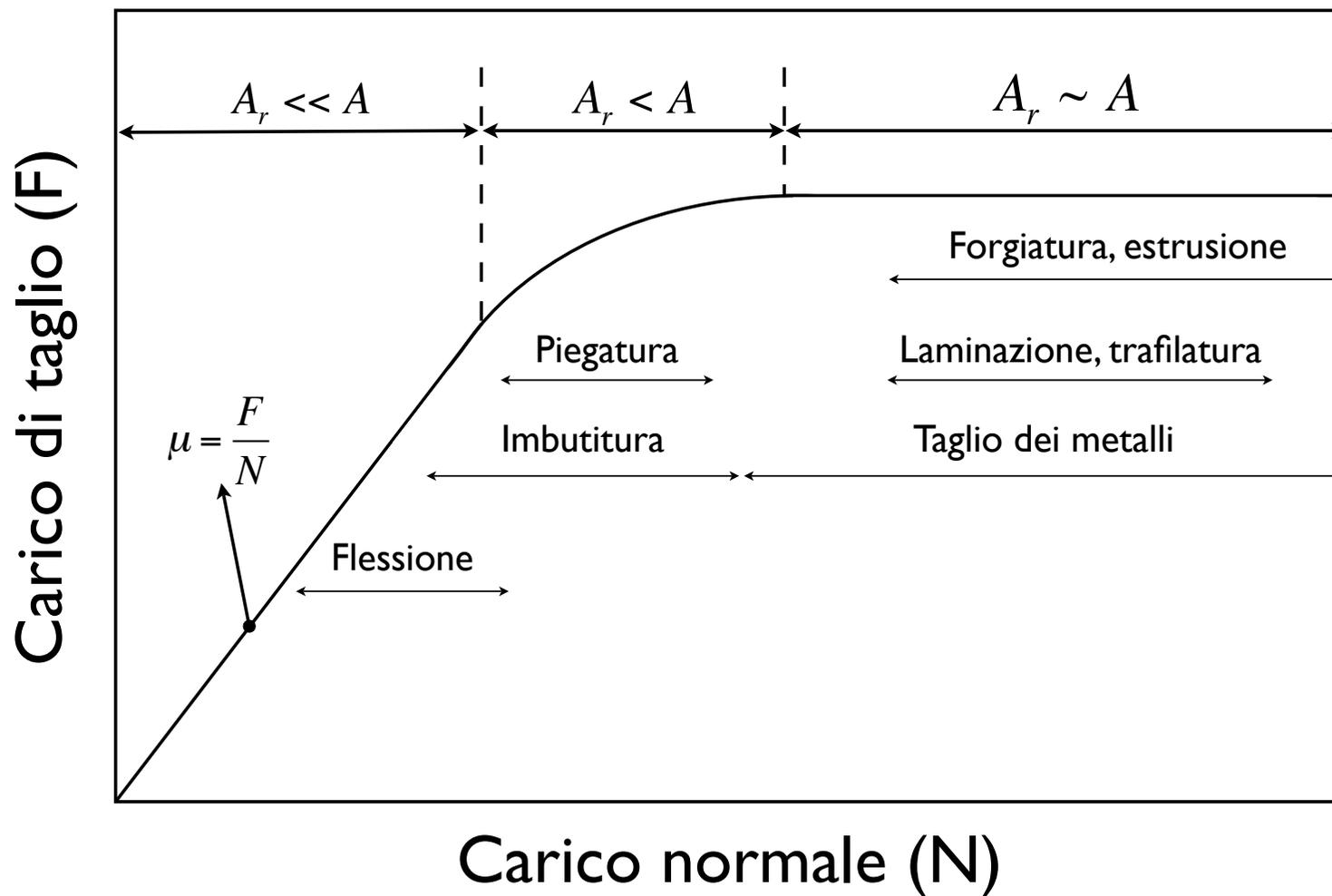
Coefficiente d'attrito adesivo

- Considerando che sulle asperità si abbia deformazione plastica, lo sforzo normale è pari allo sforzo di snervamento. Poiché un'asperità è circondata dalla massa del materiale, lo sforzo normale è equivalente alla durezza:

$$\mu = \frac{\tau}{durezza}$$

- Bassi coefficienti di attrito si ottengono con interfacce deboli, che richiedono quindi uno sforzo di taglio inferiore, ma anche con durezza elevate.
- Quindi il risultato migliore si ottiene mettendo un film con basso sforzo di taglio τ su un substrato molto duro. Questo viene fatto con i lubrificanti.

Relazione tra frizione e carico normale



Fattore d'attrito m

- Nel caso di superfici lisce con strato d'ossido, la forza F d'attrito raggiunge un valore limite. Invece se si aumenta il carico N , apparentemente il coefficiente d'attrito sembra diminuire.
- Si definisce quindi il fattore di attrito m come:

$$m = \frac{\tau_i}{k}$$

- ossia il rapporto tra la resistenza al taglio dell'interfaccia e lo sforzo di snervamento a taglio (definito tramite Tresca o von Mises) del materiale meno duro.
- $m = 0 \Rightarrow$ no attrito, $m = 1 \Rightarrow$ superfici incollate.

Valori coefficiente di attrito

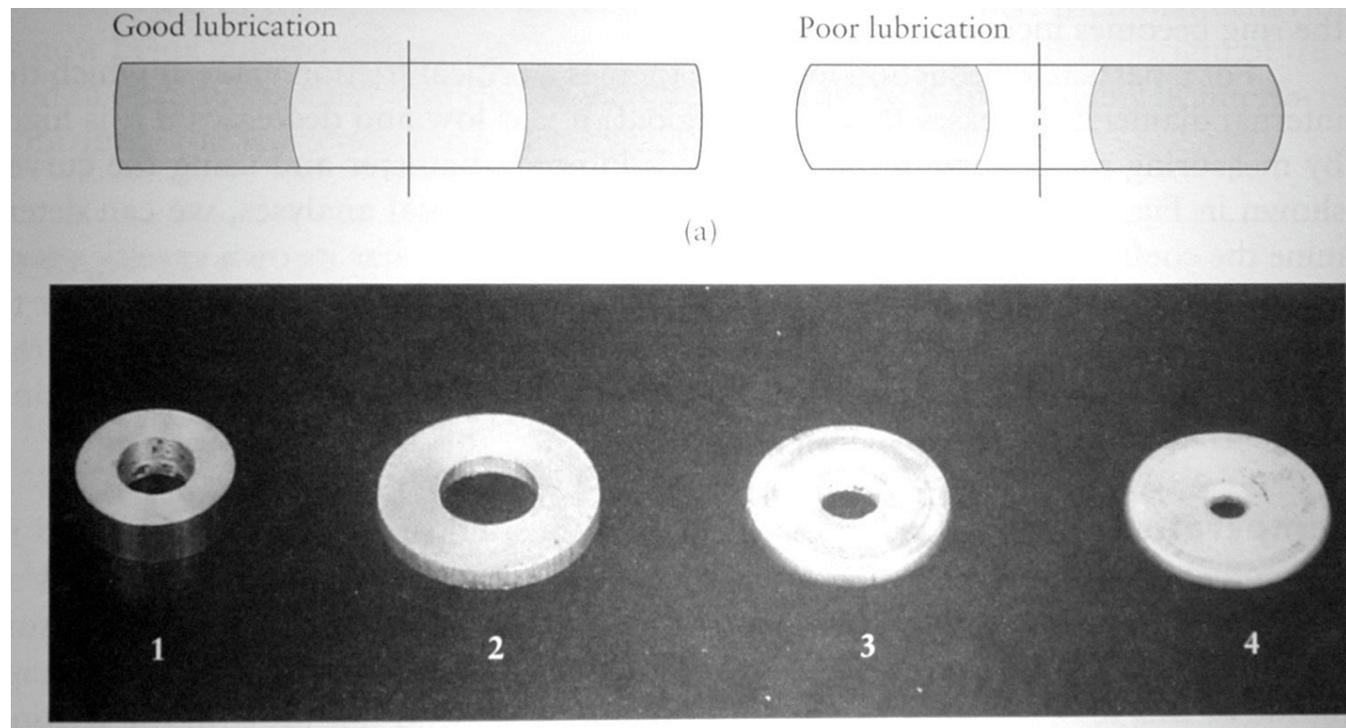
Processo	Coeff. di attrito bassa T	Coeff. di attrito alta T
Laminazione	0.05-0.1	0.2-0.7
Forgiatura	0.05-0.1	0.1-0.2
Trafilatura	0.03-0.1	-
Deformazione lamiere	0.05-0.1	0.1-0.2
Lavorazione utensile	0.5-2	-

Teoria abrasiva dell'attrito

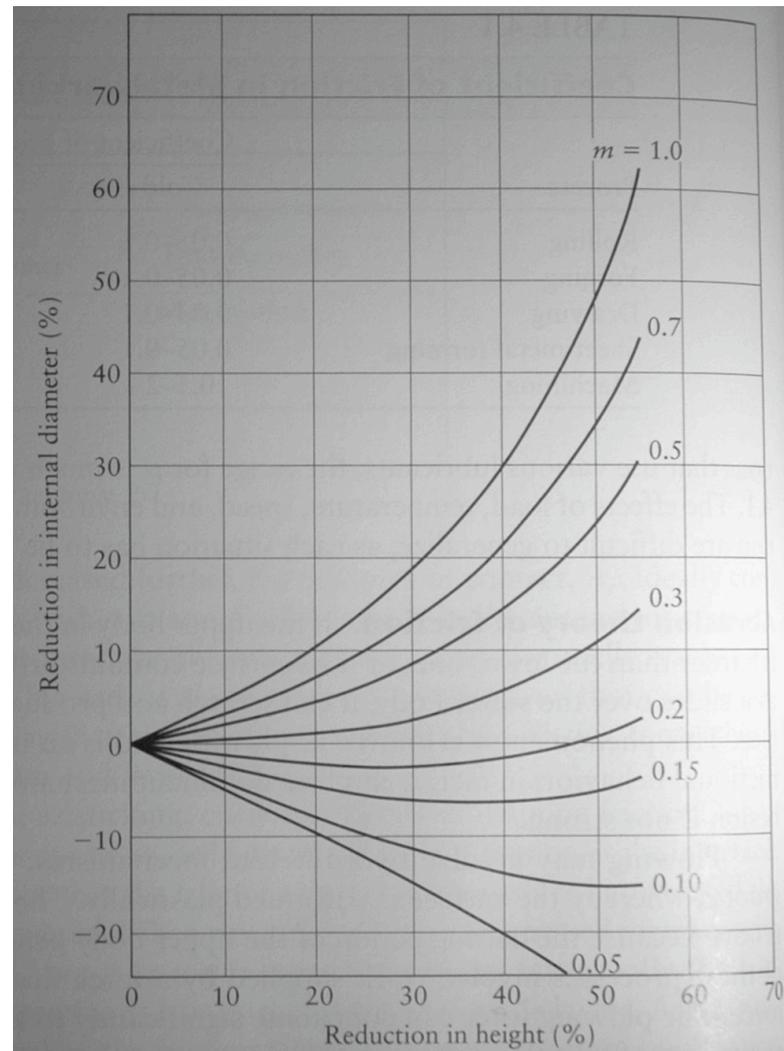
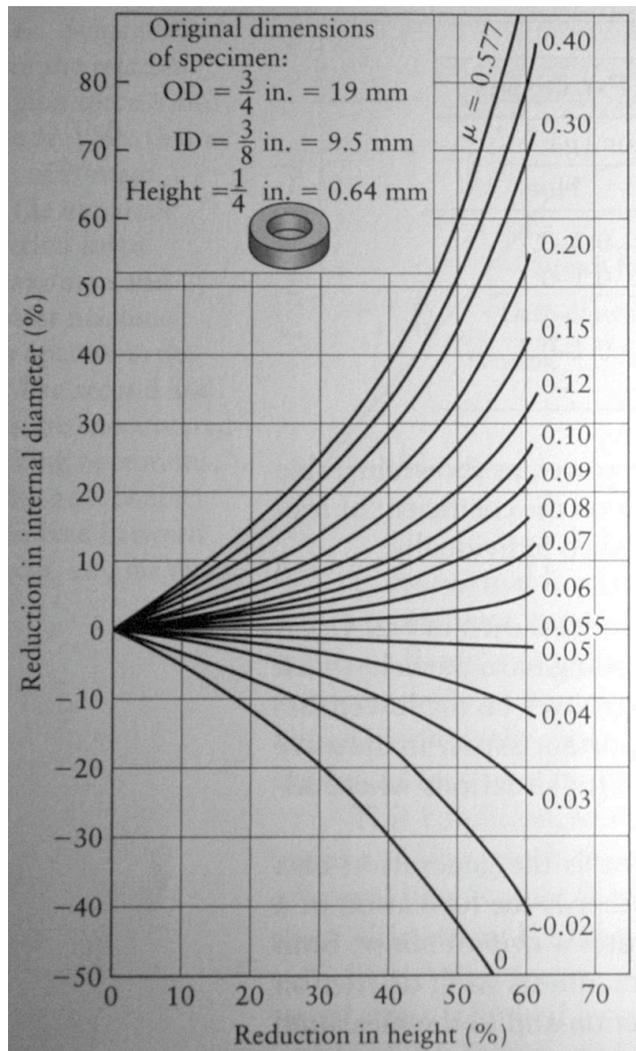
- Si ha usura abrasiva quando uno dei due materiali a contatto ha una durezza molto maggiore dell'altro e quindi incide il materiale più tenero provocando o deformazione plastica o asportazione di truciolo.
- Il coefficiente totale d'attrito è dato dalla somma dell'attrito adesivo e abrasivo.

Misura dell'attrito

- Uno dei processi più usati è quello del test di compressione dell'anello.
- Un anello piatto viene deformato plasticamente e con la riduzione dell'altezza si espande radialmente.



- Con coefficienti di attrito bassi o nulli l'anello si espande sia nel cerchio interno che esterno. Con coefficienti di attrito crescenti il cerchio interno tende a diminuire.



Aumento di temperatura per attrito

- Quasi tutta l'energia dissipata dall'attrito viene convertita in calore.
- Una piccola parte rimane immagazzinata nel corpo come energia, e parte viene consumata nella creazione di nuove superfici e detriti d'usura.
- Il calore fa aumentare la temperatura delle interfacce.
- La distribuzione e valore di questi aumenti di temperatura dipendono non solo dalla forza di attrito, ma anche dalla velocità, dalla rugosità e proprietà fisiche del materiale.
- L'incremento di temperatura può essere talmente elevato da rammollire i materiali e portarli a fusione.

Riduzione dell'attrito

- L'attrito può essere ridotto tramite:
 - utilizzo di materiali a bassa adesione (materiali duri come ceramici, carburi etc.)
 - film superficiali e rivestimenti duri
 - lubrificanti come olii o solidi come la grafite
 - l'attrito abrasivo si può ridurre riducendo la rugosità superficiale del materiale più duro (attenzione che superfici più lisce aumentano l'attrito adesivo).
 - L'attrito può essere diminuito applicando ultrasuoni e vibrazioni intorno ai 20 kHz che fanno fluire meglio il lubrificante in mezzo alle superfici a contatto.

Attrito nei polimeri e ceramici

- Polimeri:
 - hanno bassa resistenza ma anche bassi coefficienti di attrito e vengono utilizzati per cuscinetti e ingranaggi (applicazioni dove è richiesto basso attrito);
 - questo perchè sono materiali autolubrificanti.
- Ceramici:
 - sono molto importanti dal punto di vista dell'attrito date le loro caratteristiche di basso coefficiente di attrito e usura ridotta.

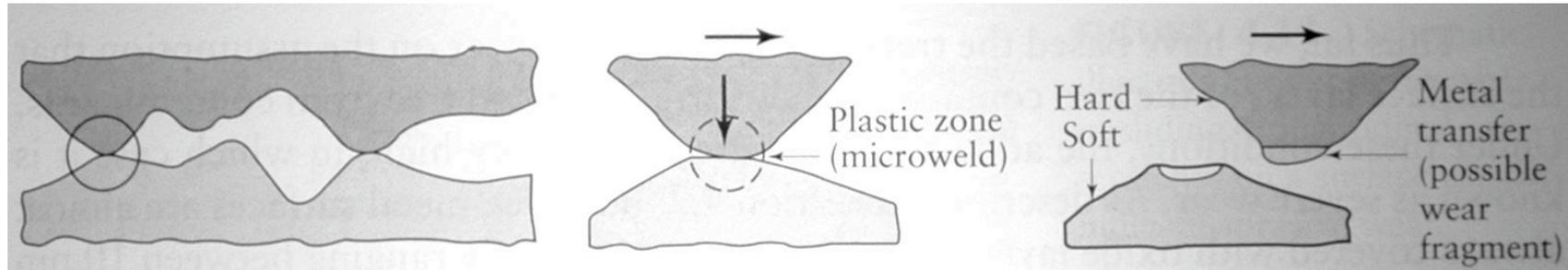
Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - **usura**
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Usura

- L'usura è il processo che porta alla rimozione non voluta e progressiva di materiale dalla superficie.
- L'usura è molto importante dal punto di vista economico in quanto provoca dei cambiamenti nella forma dei pezzi, degli utensili e stampi. La sostituzione di questi è molto onerosa.
- Esistono specifici pezzi e piastre da usura fatte in modo da essere rimpiazzati facilmente dopo usura.
- L'usura ha anche degli aspetti positivi come la riduzione della rugosità tramite la rimozione delle asperità.
- L'usura viene classificata in diversi tipi.

Tipi di usura: usura adesiva



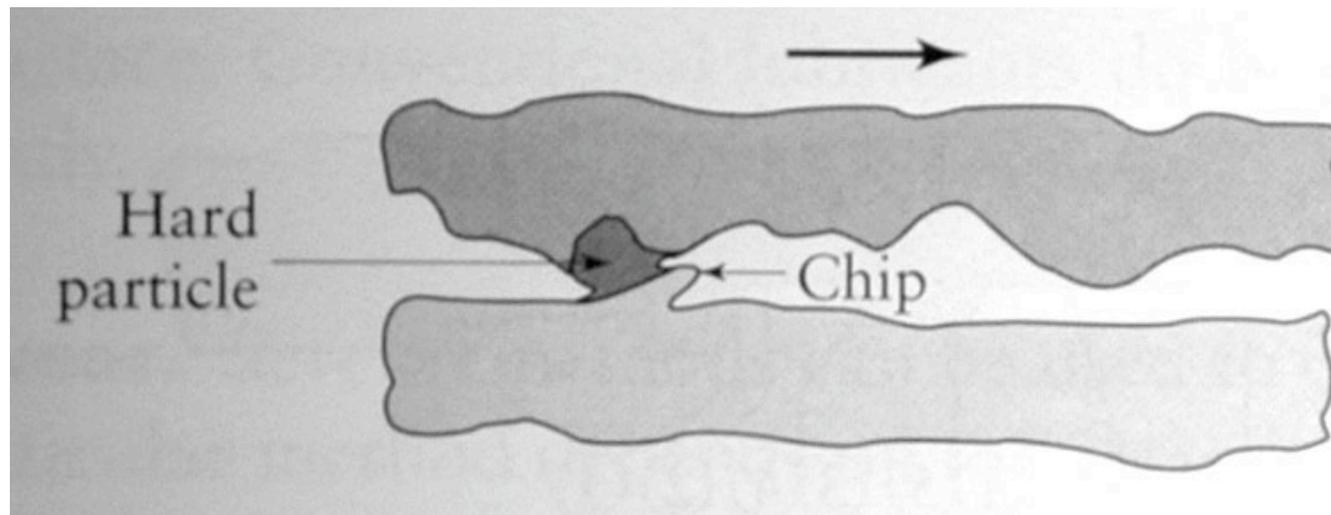
- In seguito ad una forza tangenziale, si può avere deformazione a taglio nella zona di contatto con rottura nella parte più debole e distacco del pezzo che rimane attaccato alla superficie più dura. Un frammento di usura viene creato.
- La presenza di ossidi sulla superficie riducono l'usura agendo come film protettivi e portando ad usura lieve risultante in piccole particelle d'usura.
- Nel caso in cui le due superfici siano pulite e libere da contaminanti si ha usura severa.
- Contaminanti sulla superficie riducono le forze d'adesione e riducono l'usura.

Tipi di usura: usura abrasiva

- L'usura abrasiva è causata da una superficie molto dura, con delle asperità, che slitta contro un'altra superficie.
- In metalli e ceramici la resistenza all'usura abrasiva è direttamente proporzionale alla durezza della superficie.
- Quindi in genere aumentando la durezza di un materiale si riduce la sua usura abrasiva, per questo vengono utilizzati i rivestimenti duri e trattamenti superficiali.
- Due tipi di usura abrasiva:
 - usura a due corpi: o anche usura erosiva, in cui le particelle abrasive sono trasportate da un fluido o in aria
 - usura a tre corpi: il lubrificante tra due superfici contiene particelle abrasive (generate nel tempo) che abradono. Frequente nelle lavorazioni meccaniche.

Usura abrasiva

- Formazione e rimozione di un detrito tramite una particella dura intermedia.
- Sulla superficie abrasa compaiono tracce evidenti di usura, graffi continui.



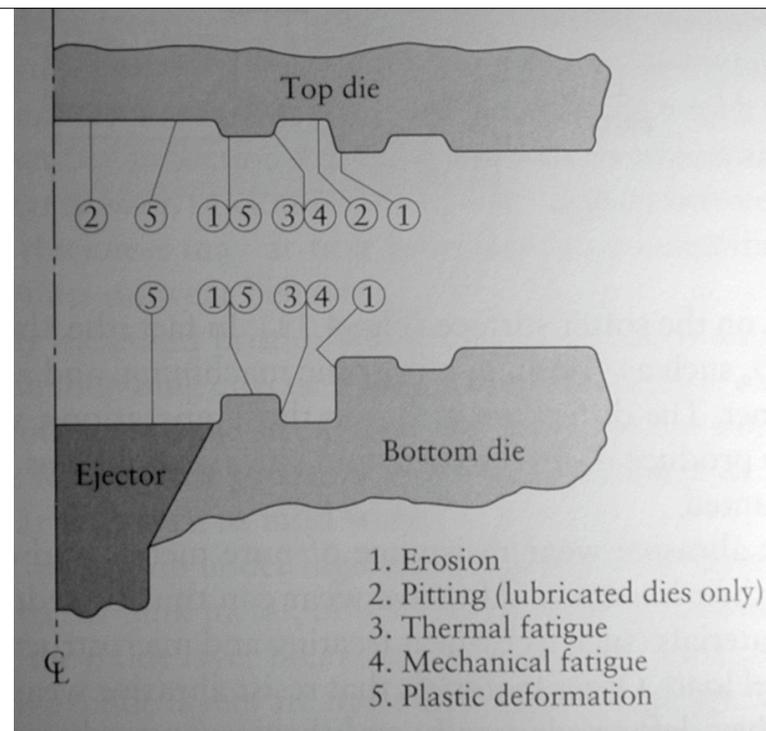
Tipi di usura: usura corrosiva

- Detta anche tribossidativa nel caso di ossidazione.
- Ha luogo in presenza di metalli che si ossidano o corrodono.
- L'usura abrasiva o adesiva rimuove l'ossido e/o i prodotti di corrosione lasciando libera parte della superficie che si corrode/ossida di nuovo.
- E' maggiore quando sono presenti componenti che aumentano la corrosione come acqua (acqua di mare), acidi, ossigeno, composti chimici e a base di zolfo.
- Può essere ridotta usando materiale meno soggetti a corrosione, riducendo gli inquinanti e la temperatura ambientale.

Tipi di usura: usura per fatica

- Nel caso di fatica vengono prodotte delle cricche in superficie che portano a rottura di piccoli pezzi o dediti di usura da fatica.
- La rottura avviene per spalling o pitting (con corrosione anche)
- Possiamo avere fatica meccanica o fatica termica.
- Fatica meccanica con carichi ciclici tipo nei cuscinetti a sfera
- Nella fatica termica, le cricche sono generate dagli sforzi di contatto dovuti alla differente espansione termica.
- Le cricche dalla superficie, si unisco tra loro nel materiale sottostante (cambiando direzione rispetto alla perpendicolare alla superficie) e provocano il distacco del detrito. Tipica nelle lavorazioni a caldo e stampi per fusione.
- Per ridurre tale usura bisogna ridurre gli sforzi di contatto, il ciclaggio termico, impurità, inclusioni e difetti locali.

Tipi di usura: altri



- Esistono anche molti altri tipi di usura e combinazioni di usura. Raramente l'usura è di un solo tipo.
- Erosione: particelle libere che abradono una superficie.
- Fretting: usura tra due superfici che si muovono relativamente con piccoli movimenti
- Usura per impatto: l'impatto continuo di altri corpi e particelle; rimuove materiale dalla superficie.

Usura di plastiche

- I polimeri sono meno soggetti ad usura per il loro comportamento viscoelastico.
- Nel caso di usura abrasiva, le gomme ed elastomeri resistono molto bene in quanto si deformano assorbendo le asperità della superficie o particella abrasiva. Considerate ad esempio i pneumatici.
- Polimeri con buona resistenza ad usura: poliimmidi, nylon, policarbonato, polipropilene, acetati e polietilene ad alta densità. Usati anche per ingranaggi etc.
- Per compositi, la resistenza all'usura consiste nell'evitare il pull-out delle fibre, maggiore per slittamenti paralleli alla direzione delle fibre. Comunque i compositi hanno buona resistenza ad usura.

Usura ceramici

- Importante il caso ceramico contro metallo.
- L'usura è determinata dalla deformazione plastica e rottura fragile. Con la presenza di ossidi sul metallo, si ha adesione dell'ossido al ceramico e distacco dell'ossido dal metallo. Quindi in realtà si ha slittamento dell'interfaccia tra ossido e metallo.
- I lubrificanti non hanno molto effetto sui ceramici.

Misura dell'usura

- In genere si misura tramite:
 - cambio dimensionale (solo per usure molto forti)
 - con sensori per la dimensione
 - profilometria (accurata)
 - peso del pezzo (non per pezzi molto grandi)
 - misura dei detriti (specialmente nel caso di lubrificanti che possono venir filtrati)
 - misura radiazione nel caso di superficie radiattiva abrasa

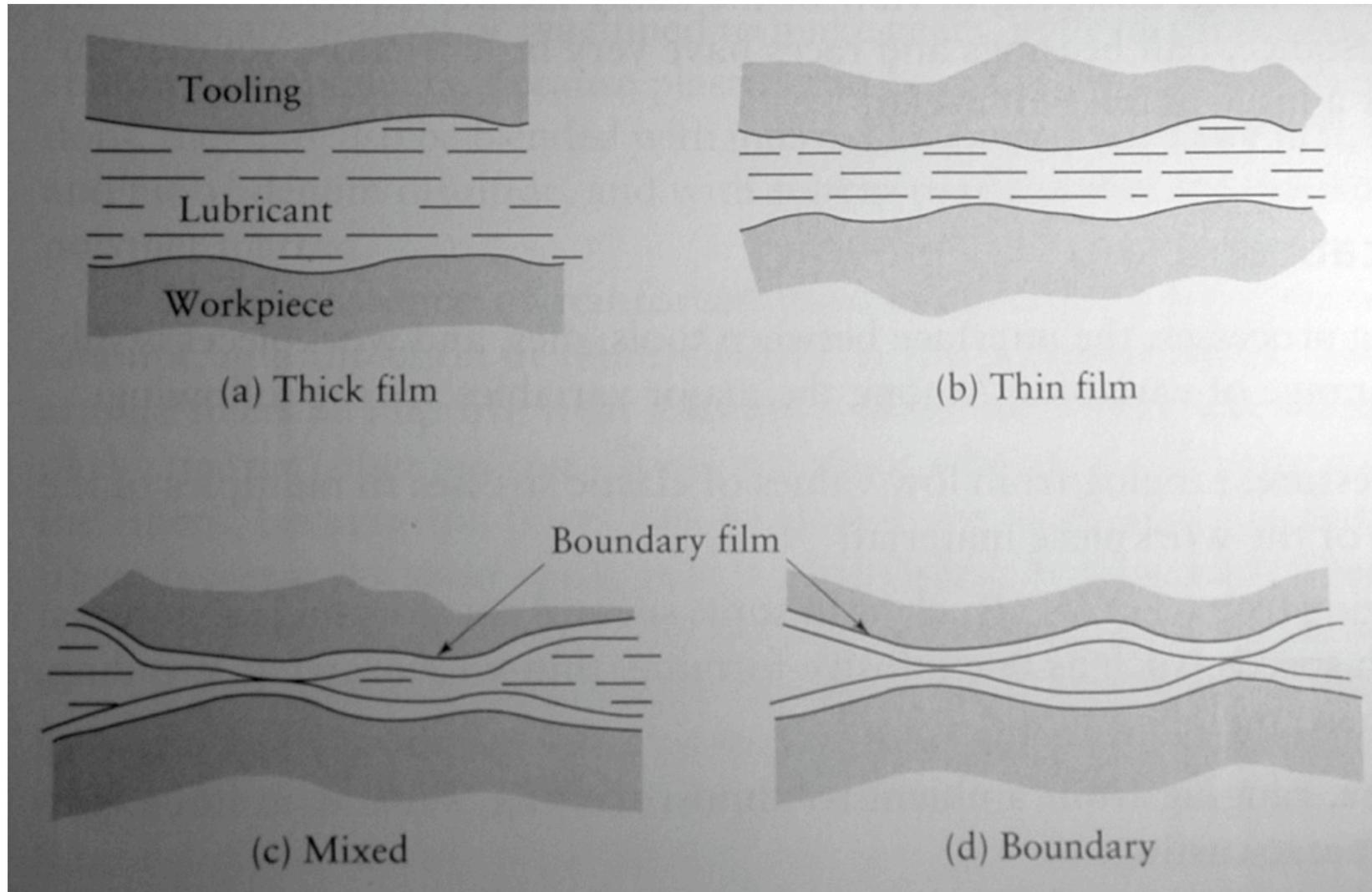
Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - **lubrificazione**
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Lubrificazione

- Per diminuire l'usura dei pezzi è importante usare un'opportuna lubrificazione il cui compito è tenere le due superfici il più distante possibile.
- Bisogna considerare diversi fattori per la lubrificazione:
 - Pressioni di contatto
 - Velocità slittamenti
 - Temperatura
- Nel caso di due superfici che slittano ad alta velocità con carico normale elevato ad alta temperatura si avrà una notevole usura.
- Lubrificanti per lavorazioni possono essere sia fluidi che solidi.

Regimi di lubrificazione



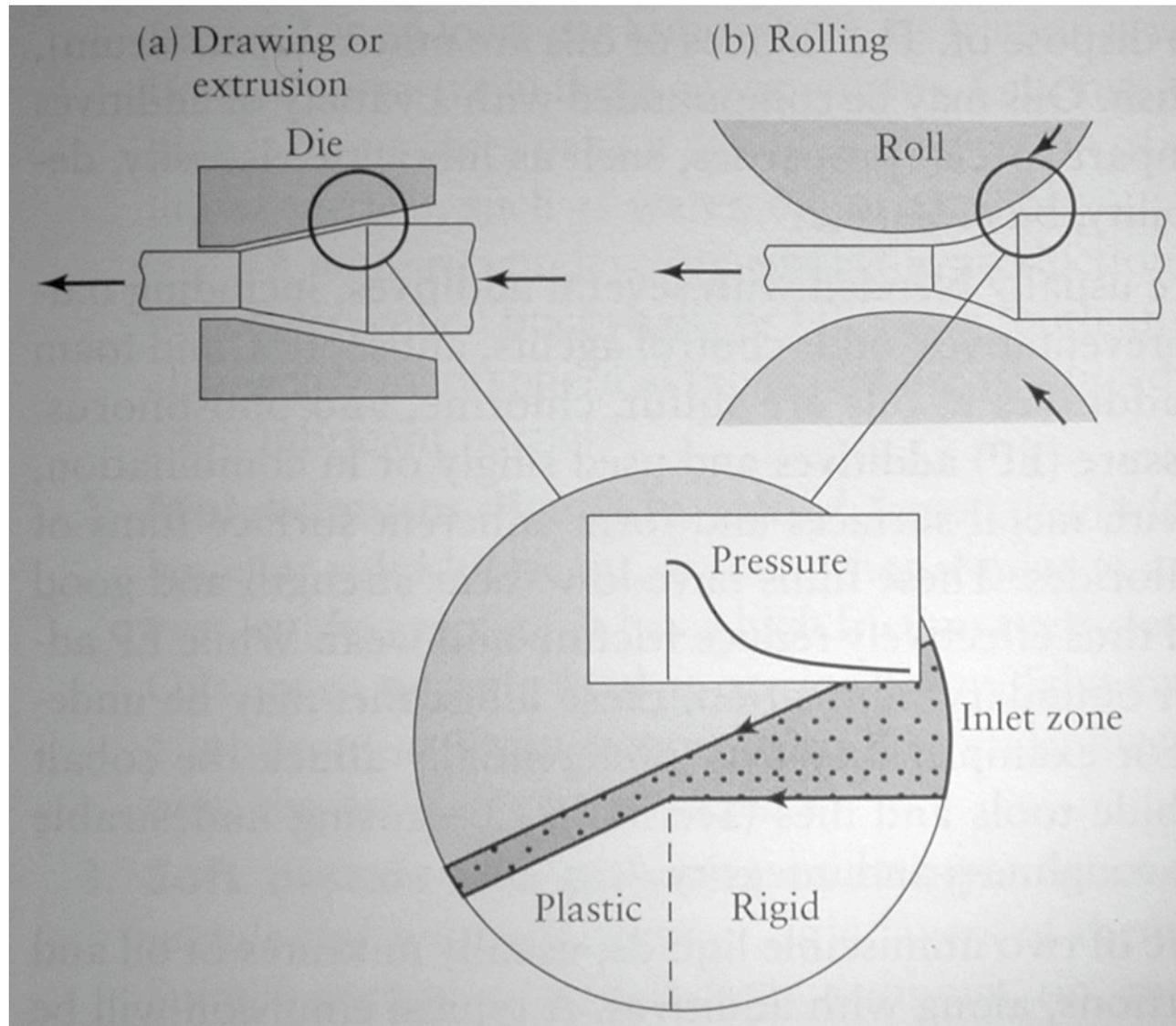
Regimi di lubrificazione

- Film spesso:
 - spessore film $> 10 * \text{rugosità}$, viscosità alta
 - carico leggero supportato dal film (in regime idrodinamico)
 - coefficiente attrito $\sim 0.001-0.002$, no usura
- Film sottile:
 - spessore film $\sim 3-10 * \text{rugosità}$, viscosità bassa
 - carico più elevato, qualche contatto delle asperità
 - coefficiente attrito > 0.002 , usura lieve

Regimi di lubrificazione

- Misto:
 - carico elevato supportato principalmente dal contatto delle asperità, ma anche dal lubrificante nelle valli
 - spessore $< 3 \cdot$ rugosità, con lubrificante opportuno può formarsi un film aderente molto sottile sulle superfici che riduce l'usura
 - il coefficiente di attrito può crescere fino a 0.4
- Lubrificazione marginale:
 - le superfici sono in contatto ricoperte da uno strato molto sottile aderente di lubrificante
 - il lubrificante non porta carico
 - coefficiente di attrito $\sim 0.1-0.4$

Effetti geometrici



Effetto rugosità

- La rugosità può intrappolare il lubrificante aiutando la lubrificazione (piccoli serbatoi di riserva, supportano parte del carico)
- esiste una dimensione ottimale della rugosità per questo
- nel caso di stampi e pezzi, meglio che i pezzi sia più rugosi; per gli stampi in genere rugosità < 0.4 micron
- in alcuni casi si preferisce che il lubrificante non resti intrappolato nella rugosità: per esempio quando si vuole che il pezzo assuma una superficie riflettente (liscia)
- Nel caso di forgiature e coniare, non si vuole lubrificante in film spesso poiché produce una superficie granulosa, inoltre dimensioni meno precise.

Fluidi lubrificanti nelle lavorazioni

- Per riassumere le funzioni dei lubrificanti sono:
 - Riducono l'attrito e quindi le forze richieste, l'energia consumata e gli incrementi di temperatura
 - Riducono usura, grippaggi e sfregamenti
 - Migliorano il flusso di materiale
 - Migliorano il raffreddamento dei pezzi
 - Aiutano il rilascio dei pezzi dagli stampi

Tipi di fluidi lubrificanti e caratteristiche

- Olii:
 - aderiscono molto bene ai metalli e hanno alta resistenza per la formazione di film spessi
 - difficile rimuoverli dai pezzi finali; bassa conduttività e calore specifico (non buoni per rimuovere calore)
 - di origine minerale, animale, vegetale o pesce
- Additivi dei lubrificanti (antiossidanti, inibitori di schiumaggio, EP o per pressioni estreme)
- Emulsioni: miscela di due liquidi immiscibili come acqua e olio con additivi. Indirette nel caso di acqua in olio o diretti nel caso di gocce d'olio nell'acqua (buone per il raffreddamento in lavorazioni ad alta velocità)

Tipi di fluidi lubrificanti e caratteristiche

- Soluzioni sintetiche: inorganici e altri componenti chimici dispersi in acqua. Semisintetiche con olio.
- Saponi: sali di sodio e potassio con acidi stearici. Usati come lubrificanti marginali in stampi.
- Grassi: lubrificanti semisolidi, molto viscosi, aderiscono molto bene. Molto usati nelle macchine, poco nelle lavorazioni.
- Cere: usate come grassi più fragili, poco usate, solo per lavorazioni di acciai inox o leghe per alte temperature

Lubrificanti solidi

- Grafite: buoni lubrificanti ad alta temperatura, ma non in vuoto dove l'attrito diventa molto elevato. Ora ci sono anche fullereni e buckyballs come particelle lubrificanti
- Disolfuro di molibdeno: usato con olii a bassa temperatura
- Metalli teneri e polimeri: piombo, indio, cadmio, stagno e argento per i metalli, PTFE, PE e metacrilati per i polimeri. Sono usati in forma di film depositato sulle superfici di metalli molto duri o per alta temperatura.
- Vetri: usati a temperature elevate nell'estrusione a caldo e forgiatura dove il vetro è a bassa viscosità.

Selezione dei lubrificanti

- Si selezionano in base:
 - processo di lavorazione
 - compatibilità con lo stampo, utensile e pezzo
 - requisiti di preparazione della superficie
 - metodo di applicazione del lubrificante
 - rimozione dopo la lavorazione
 - contaminazioni con i lubrificanti del macchinario
 - smaltimento del lubrificante e considerazioni ecologiche
 - immagazzinamento e manutenzione
 - costi per tutti gli aspetti

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- **Trattamento delle superfici:**
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - pulizia delle superfici

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - **trattamenti superficiali e rivestimenti**
 - pulizia delle superfici

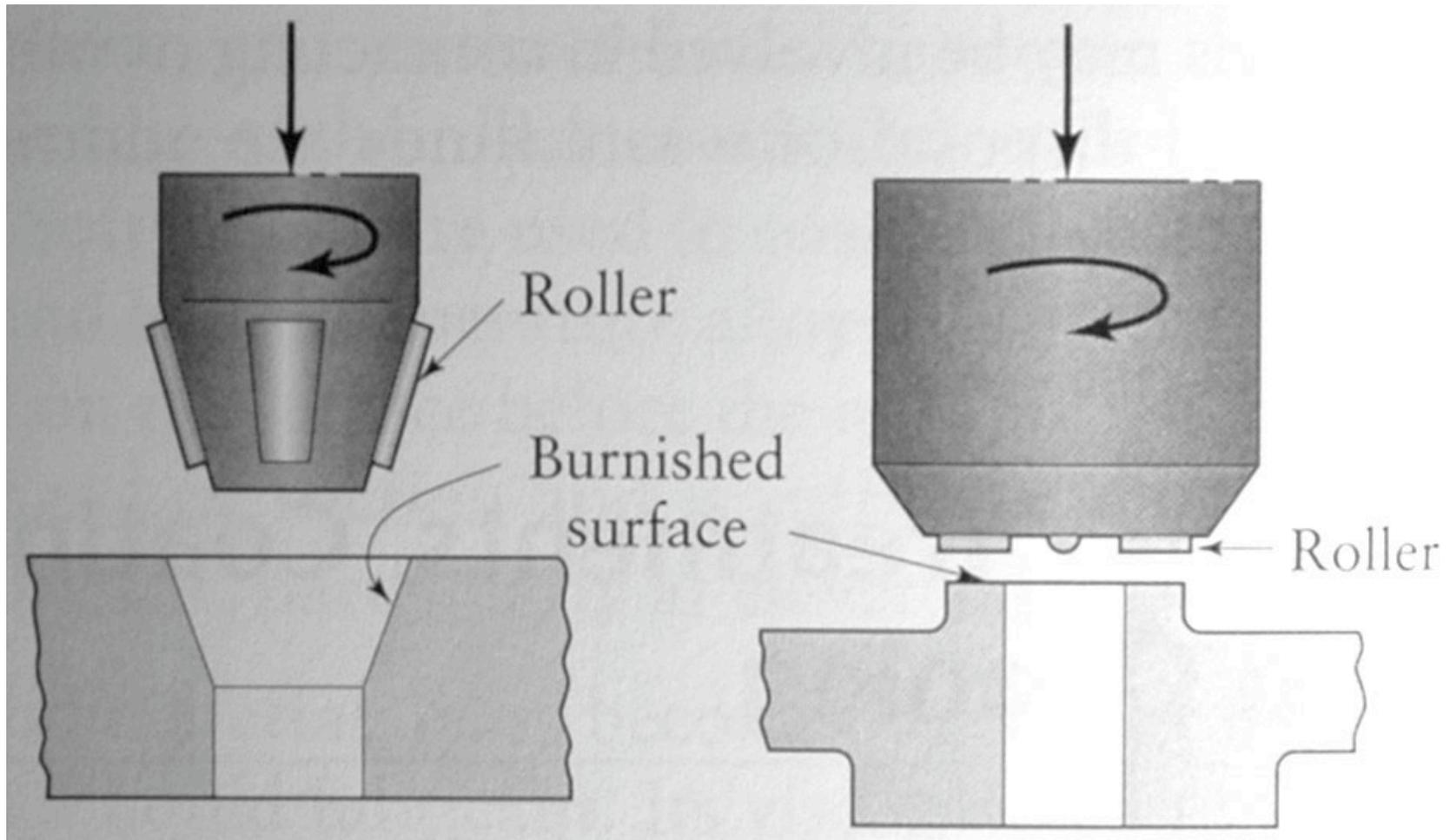
Trattamenti superficiali e rivestimenti

- Migliorano la resistenza all'usura, erosione e indentazioni
- Controllano l'attrito
- Riducono l'adesione
- Possono migliorare la lubrificazione
- Migliorano la resistenza alla corrosione e ossidazione
- Migliorano la resistenza a fatica
- Ricostruzione pezzi (stampi e utensili)
- Migliorano la rugosità
- Per decorazioni e speciali tessiture superficiali

Trattamenti superficiali

- shoot peening: sulla superficie vengono sparate delle sfere di acciaio, vetro o ceramico; creano uno strato superficiale in compressione per deformazione plastica (ingranaggi, alberi, molle, pezzi per trivellazione....)
- water-jet peening: getto d'acqua in pressione (fino a 400 MPa) sulla superficie per metterla in compressione (acciai e leghe d'alluminio)
- laser peening: si usa il riscaldamento laser veloce locale con raffreddamento rapido (a impulsi) per mettere in compressione la superficie (in leghe per turbine e fan)
- brunitura: un utensile con cilindri duri ruota ad alta velocità sulla superficie.

Brunitura



Trattamenti superficiali

- Indurimento per esplosioni: incrementa la durezza superficiale
- Cladding: tipico l'Alclad; uno strato di materiale più resistente viene "attaccato" per lavorazione al materiale originale (tramite laminazione, esplosivi, stampaggio etc.)
- Placcatura meccanica: particelle di metallo vengono deformate contro la superficie tramite impatto di sfere dure o per mulinaggio
- Trattamenti in cassetta (cementazione, nitrurazione etc.); indurimenti superficiali per diffusione
- Rivestimenti duri: rivestimenti di metalli duri e carburi vengono depositati sulla superficie con tecniche ad arco trasferito

Trattamenti superficiali

- Thermal spraying (plasma spraying): una fiamma a caldo (fino al plasma) viene usata per fondere il materiale rivestente e spruzzarlo sulla superficie da rivestire; funziona anche con ceramici
- Surface texturing: si modifica la superficie per questioni estetiche o ottiche; si usano attacchi chimici, archi elettrici, laser, ossigeno atomico (molto reattivo).....
- Rivestimenti ceramici: si usa in genere il plasma spray; vengono fatti per rivestimenti antiusura e barriere termiche
- PVD e CVD: physical vapor deposition e chemical vapor deposition, sputtering, impiantazioni ioniche; deposizioni atomo per atomo per strati molto compatti e perfetti

Trattamenti superficiali

- Rivestimenti per diffusione: gli elementi da diffondere (a caldo) vengono apportati allo stato solido, liquido o gas; tipici la cementazione, nitrurazione etc.
- Elettrolitica: il pezzo (catodo) viene rivestito con materiale apportato dall'anodo entrambi immersi nella soluzione elettrolitica; per esempio nelle cromature; cromature dure danno durezza fino a 70 HRC; si possono rivestire con metalli anche polimeri come ABS, polipropilene, polisulfone, policarbonato, poliestere e nylon
- placcatura chimica: si usa tipicamente con nickel e rame; si sfrutta la riduzione di un sale metallico
- Elettroformatura: si deposita il metallo su uno stampo e poi si rimuove, il rivestimento costituisce il pezzo

Trattamenti superficiali

- Anodizzazione: ossidazione anodica spinta per produrre uno strato di ossido spesso, compatto e resistente; molto usato con l'alluminio
- Rivestimenti di conversione: fosfati, cromati e ossalati sono usati per rivestimenti di conversione per immersione e spruzzatura; sono usati come primer o basi per successivi finiture (verniciatura etc.); usati contro la corrosione o per aumentare l'adesione di lubrificanti etc.
- Colorazione: si altera il colore della superficie convertendo le superfici in ossidi, cromati e fosfati
- Immersione a caldo: si immerge il pezzo in un bagno di metallo fuso (zinco per la zincatura, stagno o alluminio); si usa contro la corrosione in genere

Trattamenti superficiali

- Smalto porcellanato: si mette una miscela di ossidi sulla superficie che a caldo fondono e creano lo smalto che solidificando decora e protegge la superficie del metallo; viene fatto anche per i ceramici (glazing) per decorazione o aumentare la durezza
- Rivestimenti organici: per questioni estetiche o migliorare la resistenza alla corrosione; vengono applicati sopra un primer a spruzzo, pennellatura, immersione o elettrostaticamente
- Rivestimenti diamantati: per CVD o PVD; usati come rivestimenti antiusura
- rivestimenti DLC: diamond-like carbon: pochi nanometri depositati a temperature più basse

Outline

- Introduzione
- Struttura delle superfici e proprietà
- Tessitura delle superfici
- Tribologia:
 - attrito
 - usura
 - lubrificazione
- Trattamento delle superfici:
 - trattamenti superficiali e rivestimenti
 - **pulizia delle superfici**

Pulizia delle superfici

- Una superficie pulita aumenta l'attrito, però è fondamentale per la lubrificazione, l'applicazione di rivestimenti, saldature, brasature, contenitori per alimenti etc.
- La pulizia richiede la rimozione di tutte le sostanze liquide, solide o semiliquide che contaminano la superficie.
- Come si definisce pulita una superficie:
 - si passa un panno e si osserva la presenza di residui
 - si osserva se l'acqua riveste con un film continuo la superficie o si raggruppa in gocce; la presenza di gocce indica superficie sporca
- Il tipo di pulizia dipende dal tipo di contaminante

Metodi di pulizia delle superfici

- Metodi meccanici:
 - spazzolatura
 - abrasione tramite particelle a secco o in liquidi
 - getti di vapore
 - pulitura ad ultrasuoni
- Metodi chimici:
 - per soluzione (si dissolve la polvere/terreno in soluzione pulente)
 - saponificazione: gli olii vengono convertiti in sapone solubile in acqua
 - emulsione: la soluzione pulente reagisce con il contaminante e crea un'emulsione che viene lavata via
 - Dispersione: la soluzione pulente si decresce la concentrazione di contaminante
 - Aggregazione: agenti aggreganti nel fluido rimuovono lo sporco