

TRATTAMENTI MECCANICI PER MIGLIORARE L'ASPETTO E LE PRESTAZIONI DEI MANUFATTI

I due principali processi di finitura superficiale (vibrofinitura e pallinatura) consentono di migliorare, in modo considerevole e con costi relativamente bassi, sia l'aspetto dei manufatti, sia soprattutto le loro caratteristiche meccaniche, come la resistenza alla fatica.

Questo articolo descrive i principali aspetti tecnici di questi due processi, facendo riferimento anche ad alcuni esempi applicativi

GIAN PAOLO MARCONI, 2 EFFE ENGINEERING

La finitura superficiale influenza in modo determinante le prestazioni meccaniche e funzionali dei particolari strutturali particolarmente sollecitati. Infatti, la rugosità influisce in modo notevole sulla resistenza alla fatica e sulla resistenza a trazione, come evidenziato nelle curve di Wholer^[1] riportate nella figura 1; nel contempo, un basso valore di rugosità migliora il rendimento fluidodinamico dei profili alari. In particolare, è interessante notare come all'aumentare delle caratteristiche meccaniche venga amplificata l'influenza del grado di finitura superficiale.

Questa nota fornisce una panoramica dell'utilizzo di due tra le principali metodologie di finitura

- vibrofinitura;
- pallinatura.

Si tratta di due processi di finitura superficiale (lucidatura) che avvengono prevalentemente mediante azioni di tipo meccanico.

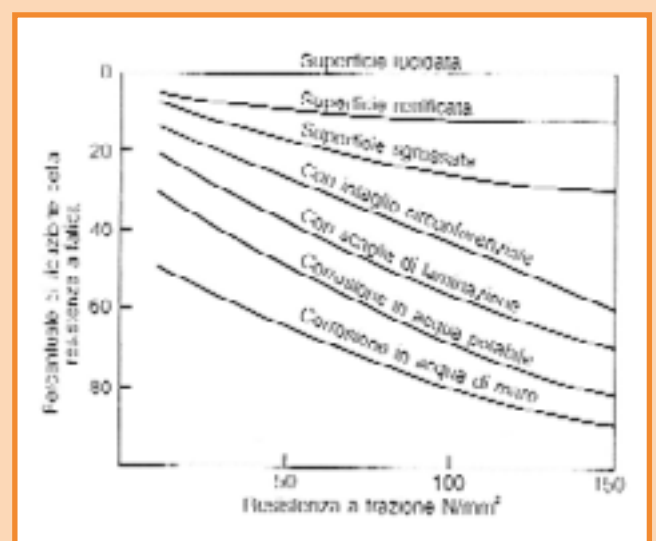


Figura 1 - Curve di Wholer: la resistenza a fatica e la resistenza a trazione aumentano nel caso in cui i materiali siano stati sottoposti a un trattamento di finitura superficiale

LUCIDATURA MEDIANTE VIBROFINITURA

La lucidatura mediante vibrofinitura si basa essenzialmente sull'asportazione meccanica delle "creste" delle asperità superficiali, mediante lo scorrimento tangenziale sulla superficie di microparticelle abrasive in ambiente acquoso.

Il trasporto delle microparticelle abrasive avviene mediante la movimentazione di vari tipi di "media" (figura 2), che a loro volta sono dotati di movimento roto-traslatorio, ottenuto mediante combinazione di moti vibratori.

Il moto vibratorio è fornito dalle vasche che contengono i "media" (figura 3).

Le fotografie riportate nelle figure 4a e 4b rappresentano, rispettivamente, le visioni al microscopio elettronico a scansione (SEM, Scanning Electron Microscope) di una superficie in acciaio, ad elevata resistenza, rettificata e successivamente lucidata mediante vibrofinitura.

È evidente l'asportazione delle asperità (creste) provocata dalla rettifica sulla superficie.

LUCIDATURA MEDIANTE PALLINATURA

La pallinatura consiste essenzialmente nel sottoporre la superficie da trattare a un bombardamento di sfere d'acciaio o altro materiale (ceramica, vetro ecc.) di opportuno diametro (figura 5a).

La trasformazione di parte dell'energia cinetica posseduta dalla sfere in energia di deformazione plastica della superficie di cui è costituito il pezzo, induce uno stato tensionale di compressione che aumenta considerevolmente la resistenza alla fatica (figura 5b).

L'energia cinetica viene fornita alle sfere con due diversi metodi:

- ❑ mediante un flusso d'aria in pressione o in depressione (pallinatrici ad aria);
- ❑ mediante rotazione di palette (pallinatrici a turbina).

CARATTERIZZAZIONE TENSIONALE DELLA LUCIDATURA

Entrambi i processi descritti implicano l'interazione meccanica tra la superficie e i "media" o le sfere, con



Figura 2 - Vari tipi di "media" utilizzati nei processi di vibrofinitura



Figura 3 - Esempio di macchina a vibrazione con ciclo continuo

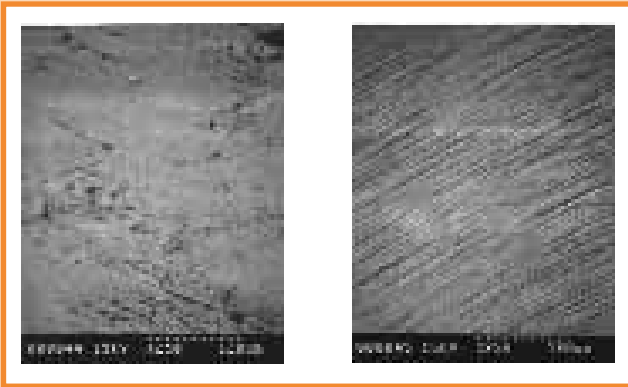


Figura 4 - Visione al microscopio elettronico a scansione di una superficie di acciaio: a) a sinistra, rettificata; b) a destra, trattata, dopo la rettifica, mediante vibrofinitura

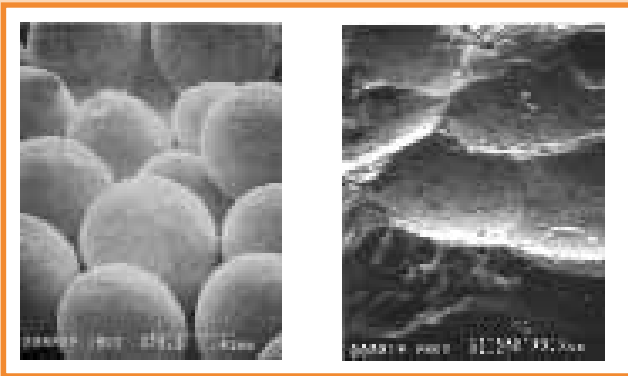


Figura 5 - Processo di pallinatura: a) a sinistra, sfere di acciaio utilizzate per il bombardamento; b) a destra, aspetto della superficie dopo il bombardamento



Figura 6 - Diffrattometro a raggi X che consente di apprezzare le differenze impresse nella "memoria" della superficie sottoposta a lucidatura

conseguente trasferimento di energia tra le superfici a contatto.

Mentre nel caso della vibrofinitura l'energia si trasforma essenzialmente in lavoro di asportazione delle asperità, nel caso della pallinatura il trasferimento dell'energia produce una deformazione plastica.

Questa differenza è dovuta principalmente all'angolo di lavoro tra le superfici: nel caso della vibrofinitura è pressoché vicino allo zero (i "media" e le microparticelle abrasive scorrono quasi parallelamente alla superficie da lucidare), mentre nel caso della pallinatura i pallini urtano con un angolo d'impatto piuttosto elevato (maggiore di 60°).

Ovviamente, anche le energie in gioco per ogni interazione sono notevolmente differenti: trascurabile quella della vibrofinitura, elevata quella della pallinatura. Tutti questi fattori producono differenti tensioni residue sulla superficie trattata, tensioni che si possono interpretare come "memoria" delle lavorazioni subite dalla superficie.

La metodologia della diffrazione a raggi X permette, mediante l'utilizzo di particolari apparecchiature detti diffrattometri a raggi X (figura 6), il rilievo non distruttivo delle tensioni residue agenti sulla superficie di materiali policristallini e quindi la possibilità di apprezzare le differenze impresse nella "memoria" della superficie in funzione delle lavorazioni subite.

Valutando l'andamento in profondità delle tensioni residue, rilevate mediante diffrattometria a raggi X, indotte dalla vibrofinitura e dalla pallinatura eseguite su un medesimo campione (fianco del dente di una ruota dentata), si nota che la trascurabile deformazione plastica indotta dal trasferimento energetico effettuato dalla vibrofinitura, si traduce in elevate compressioni superficiali, vicine al carico di snervamento del materiale, che si riducono drasticamente in pochi micron di profondità, a differenza di quanto avviene per il processo di pallinatura, che produce tensioni residue a maggiori profondità.

Il diverso gradiente delle tensioni indotte dai trattamenti considerati, si traduce in un differente comportamento nei confronti della resistenza alla fatica.

La maggiore profondità dello strato compresso indotto dalla pallinatura, produce un considerevole aumento della resistenza a fatica, malgrado l'elevata rugosità tipica di una superficie pallinata.

Ciò sembrerebbe in contraddizione con quanto mostrato dalle curve di Wohler citate, ma in realtà, secondo nuove sperimentazioni, la resistenza alla fatica è influenzata sia dalla rugosità sia dalle tensioni residue, mentre la ricerca

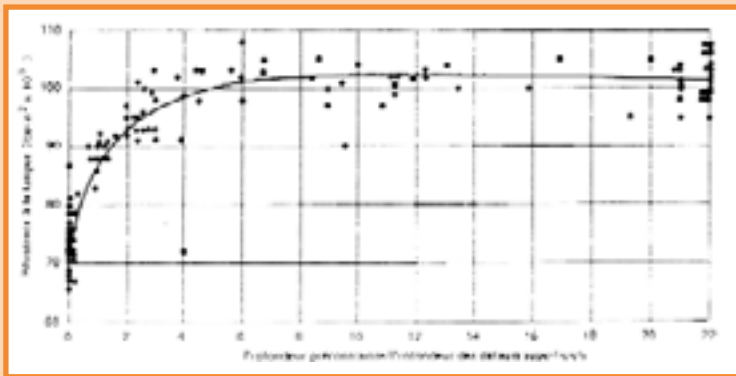


Figura 7 - Andamento della resistenza alla fatica di un provino preintagliato in funzione del rapporto tra la profondità dell'incisione e la profondità della compressione residua indotta dalla pallinatura

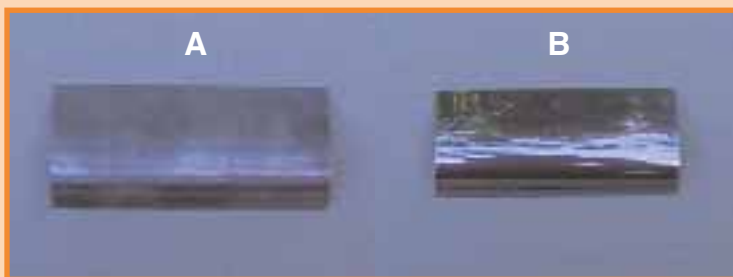


Figura 8 - Superficie di uno spezzone di pala: a) tal quale; b) dopo la lucidatura

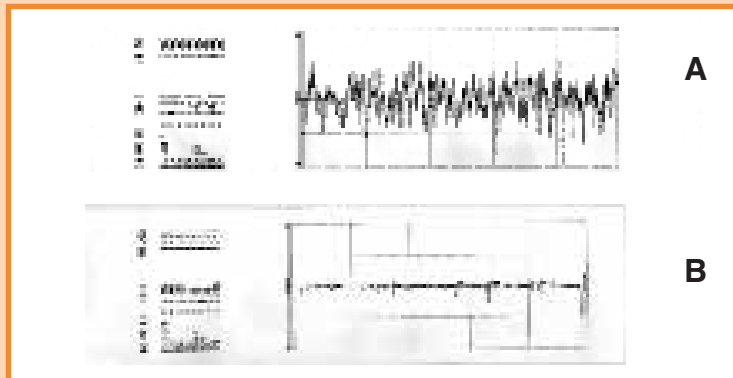


Figura 9 - Rugosità di uno spezzone di pala: a) tal quale; b) dopo la lucidatura



Figura 10 - Albero primario di cambio motociclistico trattato mediante vibrofinitura

del rapporto ottimale tra tensioni residue e rugosità superficiale può portare a ottenere miglioramenti di prestazioni davvero notevoli.

Il grafico della figura 7^[2] mostra l'andamento della resistenza alla fatica di un provino preintagliato, in funzione del rapporto tra la profondità dell'incisione e la profondità della compressione residua indotta dalla pallinatura.

Come si vede, per rapporti superiori a 6 l'incisione non ha alcuna influenza; ciò significa che, nel caso del fianco del dente di una ruota dentata e per una profondità dello strato compresso di circa 0,08 mm, un intaglio a spigolo vivo di circa 15 mm non produce alcun effetto sulla resistenza alla fatica.

La combinazione di un processo di pallinatura, seguito da un processo di vibrofinitura, riducendo notevolmente la rugosità e quindi il suo "effetto intaglio", non può che innalzare ulteriormente la resistenza alla fatica.

È interessante notare come fino ad oggi il processo di lucidatura mediante vibrofinitura sia considerato un processo con finalità esclusivamente estetiche, trascurando quindi la valenza dal punto di vista meccanico di questa metodologia.

UTILIZZO DELLA LUCIDATURA PER MIGLIORARE LE PRESTAZIONI DI PARTICOLARI MECCANICI

Uno dei campi di più immediato utilizzo della tecnica di lucidatura (sia mediante vibrofinitura, sia mediante pallinatura) è la lucidatura delle pale compressori di una turbina a gas, con lo scopo di abbassare considerevolmente la rugosità super-



Figura 11 - Albero motore da competizione dopo la lucidatura



Figura 12 - Bielle per un motore di kart dopo trattamento di pallinatura e vibrofinitura

ficiale delle pale e quindi migliorare l'efficienza fluidodinamica del profilo alare. Sono riportate le immagini di uno spezzone di una pala tal quale (figura 8a) e dopo lucidatura (figura 8b), nonché le immagini della rugosità della superficie prima della lucidatura (figura 9a) e dopo la lucidatura (figura 9b).

Per uno scopo del tutto diverso, cioè per la riduzione delle forze d'attrito, viene eseguita la lucidatura mediante vibrofinitura su alberi primari di cambi motociclistici, ottenendo la rugosità visibile nella figura 10. Ancora per ridurre gli attriti e non avere problemi di lubrificazione, dati gli elevatissimi regimi di rotazione, lo stesso trattamento di vibrofinitura viene eseguito su alberi motore di vetture di "formula 1" (figura 11). Un altro caso è rappresentato dal trattamento di finitura di bielle per motori kart da competizione, nel quale la resistenza alla fatica viene migliorata con un processo di pallinatura e quindi ulteriormente rinforzata con un successivo processo di vibrofinitura. La considerevole riduzione della rugosità ottenuta con questo secondo trattamento, si tra-

duce in un altrettanto considerevole aumento della resistenza alla fatica: in pratica, la resistenza è aumentata di un 5% rispetto alla resistenza ottenuta con il solo trattamento di pallinatura (figura 12).

CONCLUSIONI

I due tra i principali processi meccanici di finitura superficiale esaminati mostrano potenzialità d'utilizzo di notevole portata.

Infatti, tramite l'ottimizzazione dei trattamenti e l'utilizzo di strumentazioni sofisticate, come i diffrattometri a raggi X, è possibile ottenere incrementi di prestazioni meccaniche a basso costo, difficilmente ottenibili con altre metodologie più complesse e ben più impegnative economicamente.

Il trasferimento di questi processi tecnologici ad altri settori della meccanica può rendere più competitivi prodotti che attualmente risentono della concorrenza di paesi tecnologicamente meno avanzati.

BIBLIOGRAFIA

[1] Roberti R., Schindler A.: *Conoscere l'acciaio speciale*, Vol. 2 - Edizioni Sipiel, Milano, 1991

[2] Cetim (Centre Technique des Industries Mécaniques): *Note Technique*, n. 15, 1992

Relazione presentata al convegno Ucif, nell'ambito della manifestazione "Finitura & Oltre", sul tema "La finitura dei manufatti chiave di successo del made in Italy" - Bergamo, 22 settembre 2005