

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

Pag. 2 **PREMESSE**

LA FATICA

TIPOLOGIE DI ROTTURA E MECCANISMO DI ENUCLEAZIONE

Pag. 4 **LA PALLINATURA CONTROLLATA**

BENEFICI OTTENIBILI

Pag. 6 **IL PROCESSO**

I PRINCIPALI PARAMETRI

Pag. 7 **I CONTROLLI**

CONTROLLO DEL PALLINO

LA MISURA E IL CONTROLLO DELL'INTENSITA' DI PALLINATURA

LA COPERTURA

Pag. 11 **INTRODUZIONE DELLE TENSIONI RESIDUE**

METODI DI MISURA

Pag. 13 **QUALI PEZZI PALLINARE?**

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

PREMESSE

LA FATICA

Le conoscenze sul fenomeno delle rotture per fatica di particolari meccanici sono relativamente recenti e certamente non ricoprono l'intero panorama degli aspetti tribologici.

Per fatica si intendono tutte quelle sollecitazioni variabili con il tempo a cui un componente meccanico è soggetto durante il funzionamento. Con fatica quindi si raggruppano in un termine fenomeni come la fatica meccanica, quella termica, il pitting, il fretting, lo scorino ecc. Appare chiaro quindi che parlare di fatica senza specificazione alcuna può risultare abbastanza generico.

TIPOLOGIE DI ROTTURA E MECCANISMO DI ENUCLEAZIONE DEL DIFETTO

Il fenomeno che tende ad accomunare tutti questi comportamenti tribologici è l'entità del carico che risulta decisamente inferiore allo snervamento del materiale. Le rotture per fatica infatti avvengono per carichi modesti dopo un periodo di uso, generalmente, di molti cicli.

Come ormai noto, il meccanismo della rottura per fatica di un componente meccanico in materiale metallico prende vita dai difetti del materiale di cui è costituito.

Questi possono essere dovuti a fabbricazione come ad esempio probabili fessurazioni nei cordoni di saldatura o a cause intrinseche del materiale stesso come vacanze, dislocazioni ect.

I materiali metallici sono cristallini e questo significa che sono costituiti da atomi disposti in modo ordinato. La maggior parte dei materiali metallici sono policristallini e cioè sono costituiti da un elevato numero di cristalli o grani, ciascuno con un proprio ordine individuale.

Ogni grano ha caratteristiche proprie come orientamento, proprietà meccaniche etc. I difetti del materiale alterano le originarie proprietà del cristallino. Questi difetti influenzano soprattutto la possibilità di scorrimento reciproco dei piani atomici aumentandola notevolmente.

Secondo fonti autorevoli come il Fuchs, i primi scorrimenti avvengono in quei grani che hanno i piani reticolari orientati secondo la direzione della massima tensione tangenziale applicata. In un secondo tempo si verificano gli scorrimenti più difficoltosi e così via.

Gli scorrimenti, che avvengono sia sotto carichi statici sia sotto carichi ciclici, producono una progressiva alterazione della superficie dando vita a delle vere e proprie bande di intrusione ed estrusione come viene rappresentato nella Fig.1.

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

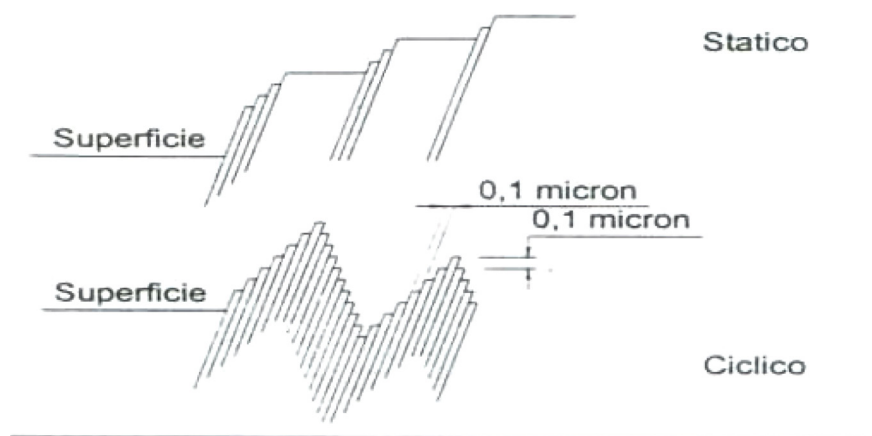
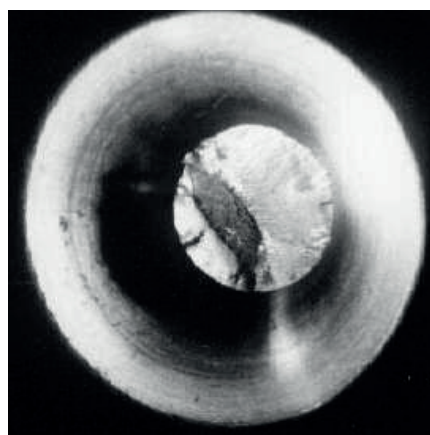
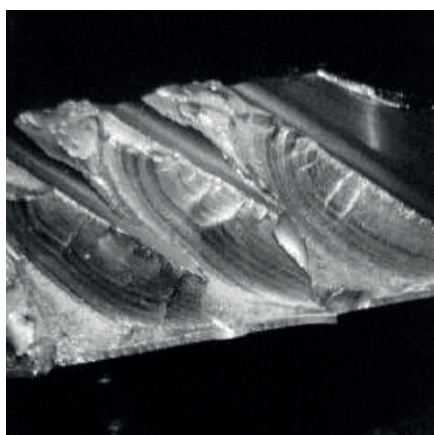


Fig.1

Queste bande formano dei notevoli fenomeni di concentrazione delle tensioni. In questo modo si crea una micro-cricca che all’inizio è governata dalle tensioni tangenziali. Ad una profondità di qualche grano la cricca devia e si propaga a zig-zag ma tendenzialmente in direzione perpendicolare alla massima tensione normale. La micro-cricca procede, sotto il carico ciclico, dapprima lentamente poi sempre più velocemente. Se la zona si trova sempre in trazione si possono notare le “beach marks”, comunemente dette spiaggette, che sono le striature lasciate dalla cricca nell’avanzamento. La cricca procede fino a che la sezione utile non diventa eccessivamente ridotta rispetto al carico esterno: a quel punto si procede una rottura di schianto di tipo fragile. Il fenomeno risulta estremamente complesso e non esiste una teoria di rottura che racchiuda il meccanismo della rottura per fatica in una formulazione.

E’ evidente quindi l’insidiosità di questo fenomeno e quanto positivamente siano considerati i trattamenti che tendano a ridurre gli effetti. La **pallinatura controllata** sembra essere oggi il metodo più efficace a riguardo. Nelle immagini che seguono sono raffigurate alcune superfici tipiche di frattura.



SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”



Fig.4 Provino di fatica; fatica monoassiale



Fig.5 Vite

LA PALLINATURA CONTROLLATA

BENEFICI OTTENIBILI

La pallinatura controllata è un trattamento atto a migliorare la resistenza a fatica di parti cementate, nitrurate o bonificate. Tale trattamento può raggiungere notevoli profondità ed è spesso impiegato per ritardare od eliminare le rotture associate a stress-corrosion, fretting, pitting e per ritardare gli effetti negativi legati alla decarburazione di superfici.

In ambienti aeronautici viene impiegato anche prima dei rivestimenti galvanici per eliminare l'infragilimento derivante dalla deposizione dello strato.

Gli incrementi di resistenza che si possono ottenere sono molto spesso davvero rilevanti. Essi dipendono oltre che dalle caratteristiche del trattamento anche dallo stato superficiale del pezzo e dalle condizioni di carico. La tabella Tab.1 mostra alcuni dei risultati più comuni.

STATO SUPERFICIALE prima della pallinatura	AUMENTO DELLA RESISTENZA limite di fatica
superfici lisce	10 ÷ 20 %
superfici grezze o con difetti	50 ÷ 70 %
superfici con effetto d'intaglio	scompare l'effetto d'intaglio

Tab.1 Incrementi di resistenza ottenibili

Per comprendere meglio l'efficacia del trattamento, se si ipotizza ad esempio un miglioramento del 20% del limite di fatica come indicato nella Tab.1, si nota dal diagramma di wohler (Fig.2) che per carichi elevati si possono avere miglioramenti del 300 + 1500% di durata e guadagni ancora superiori per carichi prossimi al limite di fatica.

SHOT PEENING

“PALLINATURA CONTROLLATA”

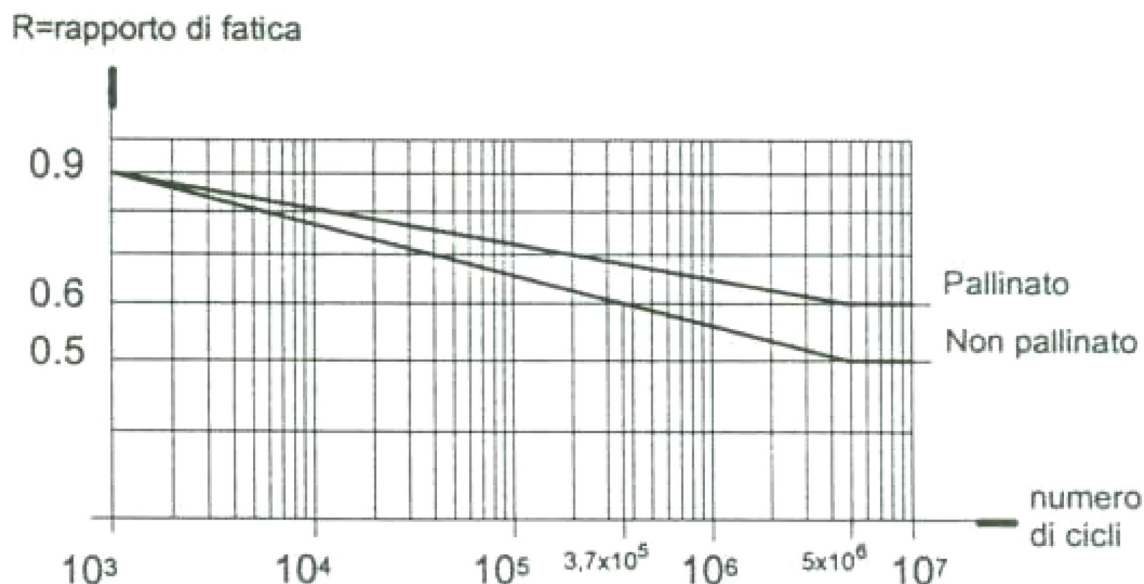


Fig.10 Diagramma di Wohler per un ciclo alterno simmetrico

Qualora il carico applicato fosse sotto il limite di fatica si otterrebbe un considerevole aumento dell'affidabilità. Tutto questo viene ulteriormente accentuato quando ci si trova in presenza di effetto di intaglio, cosa che accade assai frequentemente in meccanica; si può anzi sottolineare che la pallinatura controllata ha la sua massima efficacia in tutti quei componenti resi critici da forme geometriche penalizzanti, fattori di forma, effetti d'intaglio, materiali fragili. Nella Tab.2 sono riportati gli incrementi di durata che si possono riscontrare su alcune componenti meccaniche.

PARTICOLARE	Aumento della durata a fatica (incremento % del numero di cicli)
molle a balestra	600 %
alberi a gomito	900 %
bielle, barre di torsione	1000 %
molle ad elica	1400 %
ingranaggi	1500 %

Tab.2 Aumenti di durata di alcuni componenti meccanici

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

Se ne conclude quindi che, per quanto riguarda la fatica meccanica, i vantaggi derivanti dall'impiego del trattamento siano davvero notevoli.

Si può prolungare la durata di esercizio del particolare, aumentare livelli di carico in funzionamento, ridurre peso ed ingombri, impiegare materiali di elevata resistenza ma considerati troppo sensibili all'intaglio, in certi casi migliorare le condizioni di lubrificazione e a volte si possono evitare costose riprogettazioni.

IL PROCESSO

La pallinatura controllata è un trattamento meccanico a freddo. Consiste nel colpire la superficie di un particolare metallico con un getto di pallini proiettati ad alta velocità: 80-120 m/s. L'impatto del pallino con la superficie del particolare causa lo scorrimento plastico delle fibre superficiali; in genere l'effetto interessa spessori di alcuni decimi di millimetro. Il metallo sottostante non è interessato dalla deformazione plastica. Le fibre esterne elasticizzate tendono ad allungarsi mentre quelle al di sotto dello strato plastico tendono a riportarle nella posizione iniziale. Dall'equilibrio che ne risulta, lo strato plastico superficiale viene a trovarsi in compressione residua.

Tutto questo si traduce, come già accennato, in un miglioramento della vita a fatica dei particolari trattati. Riassumendo, si può dire che la pallinatura controllata procuri i seguenti effetti sul pezzo:

- deformazione plastica degli strati superficiali del materiale;
- introduzione di tensioni residue di compressione;
- incrudimento dello strato plastico;
- alterazione di rugosità.

Allo scopo di ottenere la migliore efficacia del trattamento, il processo deve avvenire in condizioni rigorosamente controllate e ripetibili, diversamente non si potrebbe fare alcuna previsione circa lo stato dei pezzi dopo la pallinatura.

I PRINCIPALI PARAMETRI

Le caratteristiche del pezzo da palliare condizionano in molti casi le scelte dei parametri del processo. Il risultato del trattamento infatti dipende sia dalle caratteristiche della macchina e del getto incidente, sia dal comportamento meccanico del materiale palliato. La macchina e il getto sono caratterizzati da un numero molto elevato di parametri che occorre controllare durante la lavorazione.

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

Si riportano di seguito alcuni dei più importanti elementi da tenere in considerazione per la corretta applicazione e controllo del trattamento:

- caratteristiche della macchina;
- natura, durezza, densità e diametro dei pallini;
- caratteristiche meccaniche e geometriche dei pallini;
- angolo di impatto;
- tasso di copertura.

La molteplicità di fattori indipendenti ha reso necessario il controllo di riproducibilità attraverso un metodo standardizzato che attraverso tre parametri fondamentali:

- tipo di pallino (dimensione, natura, geometria, durezza);
- intensità di pallinatura;
- tasso di copertura.

La corretta scelta del valore di ciascuno dei tre parametri determina, caso per caso, l'efficacia del trattamento.

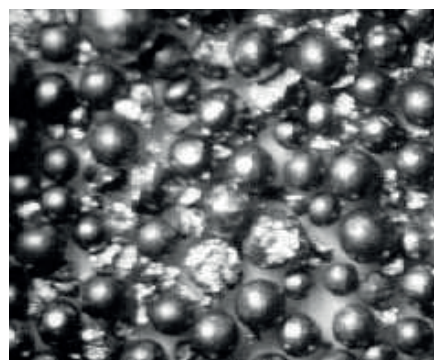
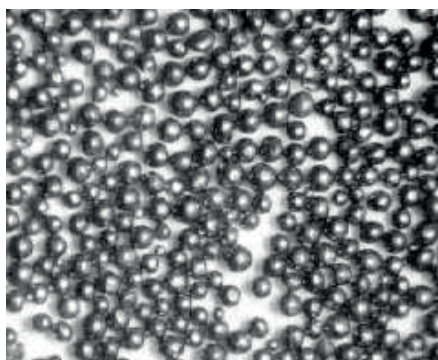
I CONTROLLI

L'affidabilità e la riproducibilità del trattamento rendono necessari una serie di controlli alcuni dei quali sono assolutamente indispensabili ed altri consigliabili. La Tab.3 di pag. 10 ne indica i principali.

CONTROLLO DEL PALLINO

E' immediatamente comprensibile che la forma del pallino debba necessariamente essere sferica. Pallini non sferici potrebbero danneggiare la superficie e favorire inneschi di rottura.

Si rende indispensabile perciò predisporre la macchina pallinatrice con appositi dispositivi che tengono sotto controllo la granulometria dei pallini e provvedano ad allontanare quelli rotti e deformi. Un ulteriore apparecchiatura deve assicurare che le dimensioni del pallino si mantengano entro il range previsto. Le immagini che seguono mostrano pallini in buone condizioni e pallini scartati dai dispositivi di separazione/calibrazione.





SHOT PEENING

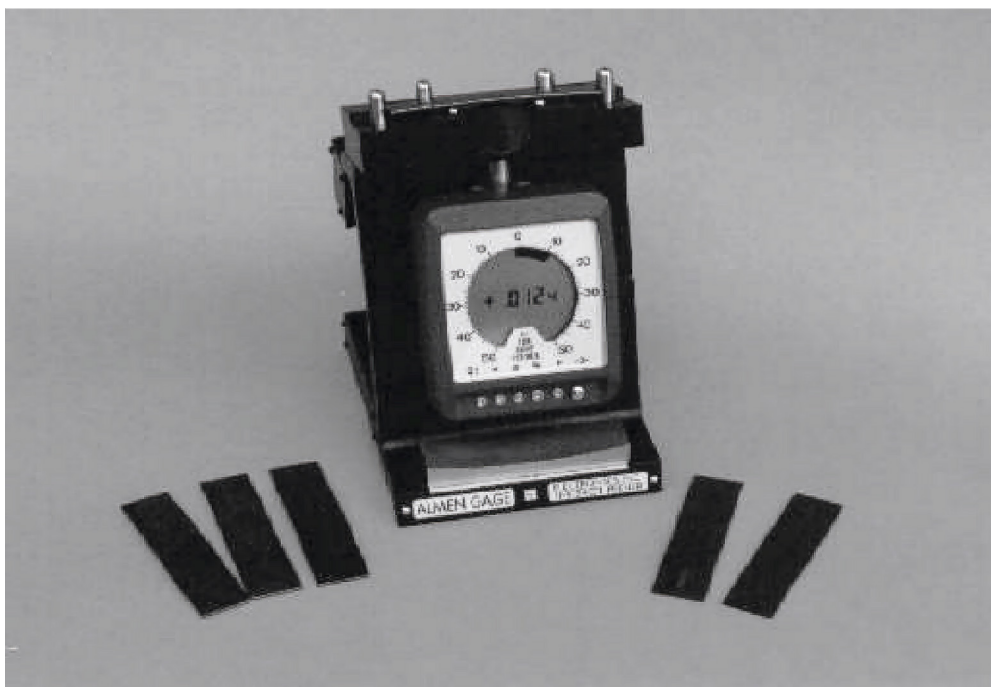
“PALLINATURA CONTROLLATA”

LA MISURA E IL CONTROLLO DELL'INTENSITA' DI PALLINATURA

L'intensità di pallinatura, che viene misurata e controllata su appositi provini unificati, consente il controllo dei principali parametri che comportano la deformazione superficiale del pezzo e quindi la corretta regolazione della macchina.

La misura dell'intensità viene espressa in gradi Almen, dal nome dell'ideatore della prova. Sono disponibili tre scale di misura: N, A, C. Il principio è il seguente: un provino standard di tipo N, A o C viene fissato su un supporto anch'esso standardizzato e sottoposto alla pallinatura. Sotto l'azione delle sollecitazioni residue introdotte dal trattamento, il provino assume una curvatura convessa sul lato palliato.

Le ultime due cifre della misura della freccia di incurvamento, espressa in millimetri, costituiscono il valore dell'intensità di Almen. Naturalmente la misura deve essere eseguita su uno strumento unificato e tarato. In Fig.13 sono rappresentati lo strumento e i provini.





SHOT PEENING

“PALLINATURA CONTROLLATA”

Le tre scale di misura si distinguono in relazione al tipo di provino utilizzato e si impiegano secondo il seguente criterio:

- scala Almen N (provino tipo N): debole intensità di pallinatura
- scala Almen A (provino tipo A): media intensità di pallinatura
- scala Almen C (provino tipo C): forte intensità di pallinatura

I provini N, A, e C si differenziano solo per lo spessore; le altre due dimensioni rimangono inalterate. Il diverso spessore dei provini li rende più o meno sensibili all'effetto della pallinatura in modo da ottenere, in ogni condizione di lavorazione, letture compatibili con la sensibilità dello strumento.

L'intensità di pallinatura in funzione del tempo di esposizione al getto dei pallini varia secondo una curva del tipo di Fig.14.

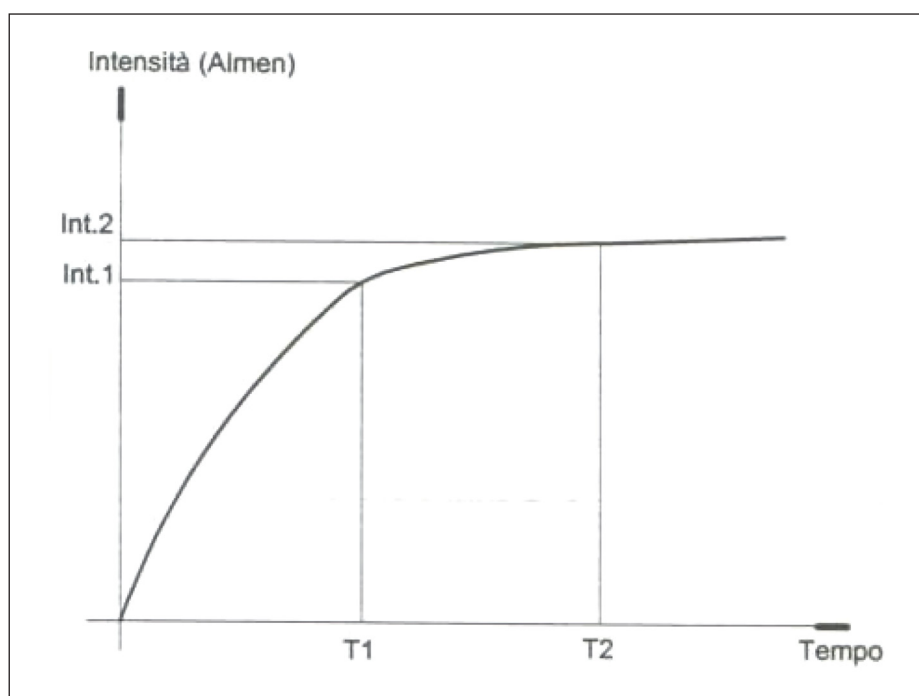


Fig.14 Curva di saturazione

D'apprima il provino si incurva con legge pressoché lineare rispetto al tempo. Le impronte dei pallini sulla superficie sono relativamente distanti l'una dall'altra, mano a mano che il tempo aumenta le impronte diventano sempre più numerose e l'intensità aumenta ma in modo meno marcato fino a mostrare un “ginocchio” nella curva intensità-tempo in corrispondenza di un valore di copertura della superficie prossimo al 100%.

Viene definita intensità di pallinatura quel valore di intensità per cui raddoppiando il tempo di esposizione, il suddetto valore non aumenti di più del 10%.



SHOT PEENING

“PALLINATURA CONTROLLATA”

LA COPERTURA

Per copertura si intende il raddoppio percentuale fra la superficie colpita e la superficie totale da colpire. Il controllo viene effettuato con microscopio ottico e con appositi liquidi fluorescenti.

CONTROLLI		TASSATIVI	CONSIGLIATI
PALLINO			
controllo al ricevimento:	analisi chimica		X
	granulometria	X	
	durezza		X
controllo in lavorazione:	forma	X	
	granulometria	X	
	durezza		X
	forma	X	
PALLINATURA			
intensità di Almen:	curva di saturazione	X	
macchina ad aria comp.:	pressione aria	X	
	portata pallini		X
prova su prototipo		X	
	movimenti	X	
	tempi e cicli	X	
PEZZO PALLINATO			
controllo copertura:	visivo	X	
	microscopio	X	
	liquidi fluorescenti		X
rugosità superficiale			X
incrudimento sup.			X
profondità plasticizzata			X
tensioni residue			X
simulazioni di fatica			X

Tab.3 Tavola dei controlli

SHOT PEENING

“PALLINATURA CONTROLLATA”

INTRODUZIONE DELLE TENSIONI RESIDUE

L'introduzione delle tensioni residue nel pezzo avviene secondo un meccanismo che è l'unione di due fenomeni (Fig.17):

- allungamento degli strati superficiali causati dall'impronta dei pallini;
- plasticizzazione degli strati sub-superficiali per effetto dei fenomeni hertziani.

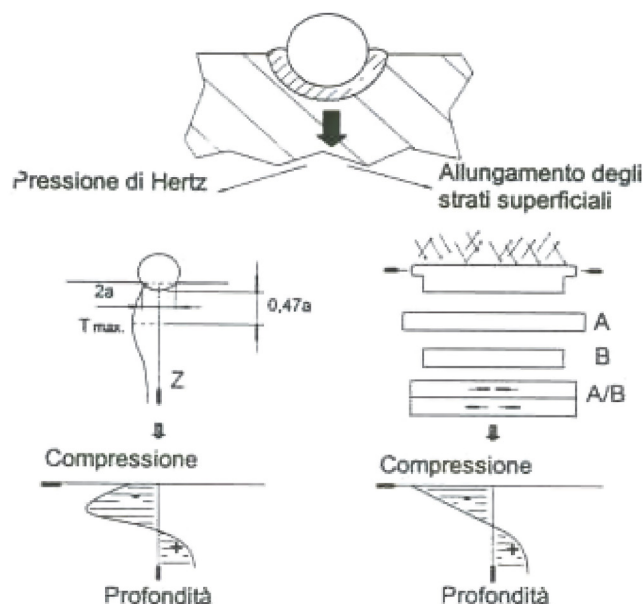


Fig.17 Introduzione delle tensioni residue

La composizione volutamente marcata dell'uno o dell'altro fenomeno dà origine ad una distribuzione di tensioni residue del tipo mostrato in Fig.18.

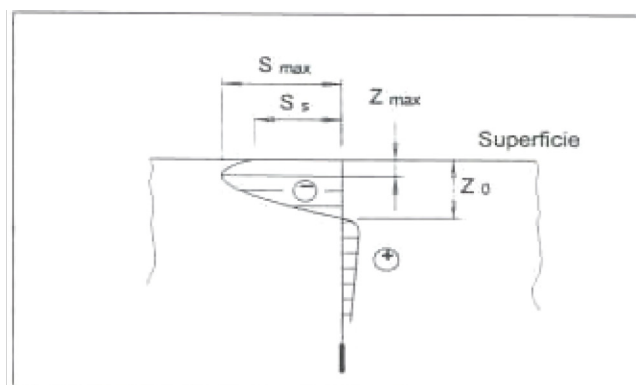


Fig.18 Profilo delle tensioni residue

SHOT PEENING

“PALLINATURA CONTROLLATA”

L'effetto della sovrapposizione delle tensioni residue derivanti dalla pallinatura e dei carichi esterni, nel caso di un pezzo sollecitato a flessione è rappresentato nelle figure seguenti.

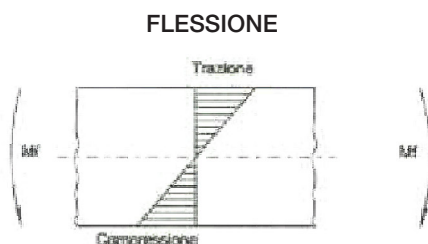


Fig.19 Pezzo sottoposto a flessione

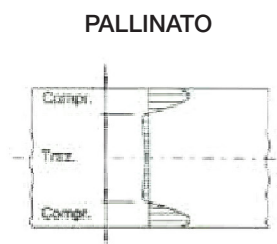


Fig.20 Pezzo pallinato



Fig.21 Pezzo pallinato e sottoposto a flessione

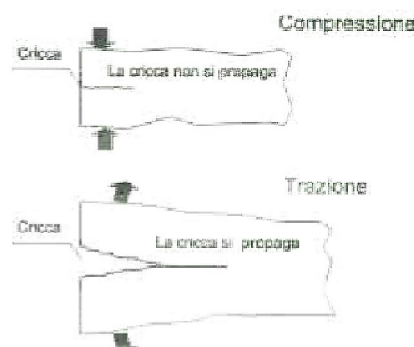


Fig.22 Propagazione della cricca

Il lato sottoposto a trazione si scarica, consentendo quindi di aumentare il carico di lavoro, mentre quello sottoposto a compressione ridistribuisce le tensioni plasticizzando una profondità maggiore di quelle teoriche.

Il vantaggio derivante dall'introduzione di tensioni residue di compressione è quello di ritardare o rendere impossibile la propagarsi della cricca come mostrato in Fig.22.

Molti anni di ricerca in questo campo hanno permesso di mettere a punto metodi numerici sufficientemente affidabili che tengono conto delle tensioni derivanti dalla pallinatura nel calcolo a fatica degli organi delle macchine.

SHOT PEENING



“PALLINATURA CONTROLLATA”

QUALI PEZZI PALLINARE?

La varietà dei casi in cui è possibile applicare il trattamento ottenendo ottimi risultati è davvero straordinaria. Come già accennato, la pallinatura controllata può essere impiegata con soddisfazione nella stragrande maggioranza dei fenomeni tribologici.

Le molle sono un ottimo esempio di applicazione del trattamento. In questi particolari il carico esterno è quasi sempre dello stesso segno ed i vantaggi conseguibili sono notevoli.

Le bielle sono particolari meccanici estremamente sollecitati e la loro geometria è inevitabile fonte di fenomeni di effetto di intaglio di notevole importanza: Studi scientifici hanno dimostrato che la pallinatura controllata è particolarmente efficace in presenza di effetto di intaglio.

Gli alberi, gli assali e gli alberi a gomito sono spesso pallinati nelle gole, nei raccordi ed in tutte quelle zone che sono spesso fonte di innesco di cricche.

Le saldature sono sempre punti molto delicati in organi meccanici. Sono spesso fonte di difetti e di tensioni residue di trazione. I risultati conseguibili in questi particolari sono davvero sorprendenti e sono dovuti essenzialmente a tre fenomeni:

- miglioramento del pitting
- miglioramento della tenuta per fatica alla radice del dente
- miglioramento delle condizioni di lubrificazione: la rugosità generata crea delle microampolle di lubrificazione che consentono allo stesso un migliore aggrappaggio alla parete