

IGF - VII Convegno Nazionale  
Gruppo Italiano Frattura  
Firenze, 13 - 14 giugno 1991

**TRATTAMENTO TERMICO E MECCANICO  
DI ALBERI A GOMITI IN GHISA PER MOTORI DIESEL**

Roberto L. Colombo  
consulente industriale (\*), Pino Torinese

**SOMMARIO**

Esemplari di un albero a gomiti di un piccolo motore Diesel per impiego veicolistico costruiti in ghisa sferoidale sono stati sottoposti a diversi trattamenti termici e meccanici e posti a prova di fatica per flessione piana. Vengono forniti sia i valori medi del limite di fatica che quelli di dispersione statistica.

Si conclude che nessun trattamento è altrettanto efficace che la rullatura dei raccordi, la quale per giunta prescinde dalle condizioni del grezzo (come fuso o normalizzato). La nitrocarburazione garantisce un buon margine di vantaggio sul prodotto non trattato, la tempra ad induzione dei raccordi di biella uno paragonabile alla rullatura, ma è di difficile realizzazione.

La tempra al laser dei medesimi non ha dimostrato alcuna efficacia.

---

Nel 1987 Kovacs (1) ha suggerito l'uso di ghisa sferoidale austemprata per la costruzione di alberi a gomiti per l'industria autoveicolistica. Egli sottolineò il fatto che questo materiale ha caratteristiche differenti da quelle dell'acciaio stampato usato in precedenza: il carico di snervamento è più alto del 40% ed il carico di rottura del 35, la densità ed il modulo di Young sono inferiori rispettivamente del 10 e del 20%, mentre allungamento e durezza sono simili. Non disse, ma si sa che la resilienza è considerevolmente più bassa. Di tutte queste, solo la minor densità è un vantaggio a priori, mentre il più basso modulo di Young è forse uno svantaggio marginale. Il vero confronto deve essere istituito in termini di resistenza alla fatica ed a considerazioni di costo.

Kovacs eseguì prove di fatica su provette ricavate di macchina da campioni della sola ghisa austemprata, e trovò che il limite di fatica ammontava a 385 MPa in trazione-compressione, 485 MPa a flessione rotante e 420 a flessione alternata. Provette intagliate e rullate mostrarono un incremento del 50% nel limite di fatica a flessione alternata. Successivamente Kovacs sottopose a prova di fatica statistica col metodo "staircase" un certo numero di alberi a gomiti fatti di ghisa sferoidale austemprata e di ghisa sferoidale perlitica ad alta resistenza. Il limite di fatica medio fu determinato rispettivamente in 858,5 e 419 N m. Se gli alberi a gomiti erano in numero sufficiente, è deplorabile il fatto che non siano riportati dati sulla dispersione, certamente ricavabili col metodo "staircase".

(\*) anteriormente alla FIAT IVECO, Torino.

Come prova finale, alberi a gomiti in ghisa sferoidale austemprata furono montati su motori e provati sia al dinamometro che "sul campo" e si portarono soddisfacentemente.

Le informazioni date nel seguito di questo articolo sono il risultato di un lavoro di ricerca durato anni e volto ad accertare quale fosse la maniera migliore ed economicamente più conveniente per ottenere la massima resistenza a fatica da alberi a gomiti in ghisa sferoidale per motori Diesel relativamente piccoli. Poichè questi motori erano tuttavia più grandi di quelli presi in considerazione da Kovacs, il confronto può essere istituito soltanto in termini relativi.

Noi abbiamo eseguito col metodo "staircase" prove di fatica a flessione alternata su alberi a gomiti in ghisa sferoidale nelle seguenti condizioni:

- a) normalizzata (completamente perlitica) e lavorata di macchina
- b) come fusa (perlitica-ferritica), lavorata di macchina e rullata sui raccordi
- c) normalizzata, lavorata di macchina e rullata sui raccordi
- d) normalizzata, lavorata di macchina e nitrocarbureta in gas
- e) normalizzata, lavorata di macchina e temprata ad induzione sui raccordi.
- f) normalizzata, lavorata di macchina e temprata al laser sui raccordi.

Li abbiamo poi confrontati con alberi a gomiti stampati in acciaio AFNOR XCf 48 bonificati alla durezza Brinell minima di 237 e lavorati di macchina.

È opportuno premettere qualche commento sulla fabbricazione.

La rullatura sui raccordi è un'operazione delicata e le condizioni ottimali (pressione e numero di passate) devono essere stabilite sperimentalmente per prove. Una volta stabilite, i risultati sono **relativamente** costanti.

La tempra ad induzione per profondità di indurimento considerevoli pone dei problemi, perchè il raffreddamento va eseguito in acqua od acqua contenente degli additivi sintetici, sicchè ne risultano severe deformazioni, mentre il raddrizzamento della ghisa è un'operazione sempre rischiosa. Di conseguenza, dovemmo abbandonare l'idea di usare gli induttori rotanti impiegati per temprare gli alberi a gomito in acciaio e ricorrere invece ad induttori stazionari, che indurivano soltanto i lati dei raccordi di biella sottoposti nel funzionamento del motore a tensioni trattive. In questo modo non rilevammo deformazioni apprezzabili.

L'indurimento al laser produsse profondità molto ridotte e non ci fu alcun modo di accertare se le superficie non risultassero danneggiate in qualche modo. Inoltre la tempra aveva luogo per trasmissione diretta del calore verso l'interno del materiale senza uso di mezzi refrigeranti esterni, sicchè fu impossibile avere una visione chiara delle tensioni residue, alle quali, come si sa, è dovuto l'eventuale incremento della resistenza a fatica. I risultati sono elencati nella Tab. I, dove abbiamo potuto indicare nella maggioranza dei casi i limiti di fatica a  $5 \cdot 10^6$  cicli per probabilità di rottura del 10 e del 50% (probabilità media).

Tabella I

## Limiti di fatica di alberi a gomiti per motori Diesel

Materiale	Trattamento term. e condizione	Lim. fat., N m alla prob. di rottura	
		10%	50%
G.S.	norm.	578	647
G.S.	come fusa, rullata sui racc.	1352	1450
G.S.	norm., rullata sui racc.	1392	1509
G.S.	norm. nitrocarb. in gas	—	931
G.S.	norm., tmp. ind. sui racc.	1274	1372
G.S.	norm., tmp. laser sui racc.	—	686
XCf 48	bon.	—	1151

Le conclusioni da trarre sono le seguenti:

1. Tutti i trattamenti, tranne forse la tempra al laser sui raccordi, sono efficaci nell'incrementare la resistenza a fatica degli alberi a gomiti in ghisa sferoidale
2. La nitrocarburazione gassosa è molto meno efficace nella ghisa sferoidale che nell'acciaio, al di là di quanto io stesso avevo creduto di rilevare anni fa (2).
3. La tempra ad induzione dei raccordi è molto efficace, ma probabilmente è un trattamento di difficile applicazione, sicchè il suo uso non può essere raccomandato.
4. La rullatura dei raccordi è più efficace di qualsiasi altro trattamento, è semplice e poco costosa; il rapporto tra resistenza a fatica di alberi a gomiti con raccordi non rullati ed alberi a gomiti con raccordi rullati è stato misurato nel 45% (dato da confrontare con quelli di Kovacs)
- 5) Sebbene un albero a gomiti in ghisa totalmente perlitica in sè possa forse offrire una resistenza a fatica più elevata in confronto con uno in ghisa ferritico-perlitica, ciò non è più vero se i raccordi sono rullati, probabilmente perchè la rullatura esibisce la maggiore efficacia sui materiali più teneri; di conseguenza la normalizzazione dei getti può essere evitata, con ulteriore riduzione dei costi
6. Contrariamente a quanto generalmente si crede, gli alberi a gomiti in acciaio bonificato possono avere, e generalmente hanno una resistenza a fatica inferiore a quella degli alberi a gomiti in ghisa sferoidale con i raccordi rullati: nel nostro caso essa risultò soltanto il 76% della seconda
7. L'austempering è un trattamento tutt'altro che a buon mercato, che necessita, fra l'altro, di attrezzature oggi non più molto usate (forni a bagno di sali); inoltre per sfruttare appieno le sue possibilità la ghisa sferoidale usata deve contenere certi elementi di lega che ne aumentano ulteriormente il costo.

### **Ringraziamenti**

Sono grato a numerosi colleghi. che hanno contribuito con la loro opera al successo di questo programma di ricerca. Mi rincresce che lo spazio (e la memoria) mi impediscano di citarli tutti.

### **RIFERIMENTI**

- (1) KOVACS, B.S. Sr.: Development of austempered ductile iron (ADI) for automobile crankshafts. *J. Heat Treating*, (Maggio 1987) 55-60
- (2) ROSSI, L., MASSA, A. & COLOMBO, R.: Interpretazione dei dati di fatica e comportamento a fatica dei materiali, *Progettista Industriale*, (Marzo 1983) 80-88