



CORTESIA FOTO RMB EUROPE

Acciai per cuscinetti a rotolamento

La corretta scelta di un cuscinetto a rotolamento è un aspetto di vitale importanza, considerato il ruolo fondamentale da esso svolto all'interno delle macchine o dei sistemi meccanici. Conseguentemente, sia l'acciaio utilizzato sia le tecnologie di produzione impiegate devono essere valutate con attenzione per ottenere livelli di qualità ripetibili e caratteristiche sempre più performanti.

✎ Marco Boniardi, Andrea Casaroli, Veronica Sandrini
Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica

I cuscinetti a rotolamento (cuscinetti a sfere, a rulli, a rullini) sono un elemento di macchina che permette il moto relativo tra due parti di un sistema meccanico: essi fungono da supporto per alberi o componenti rotanti, a cui devono assicurare un accurato posizionamento e garantire il minimo attrito possibile tra le superfici in contatto. I cuscinetti a rotolamento devono permettere la trasmissione di carichi di notevole entità, sia di natura statica che ciclica, con elevati livelli di affidabilità anche in condizioni di lavoro particolarmente critiche. I cuscinetti a rotolamento sono costituiti da quattro elementi essenziali: un anello esterno e un anello interno che rappresentano la gui-

da superiore e inferiore per l'alloggiamento dei corpi volventi, i corpi volventi stessi (sfere, rulli conici, rulli cilindrici, rulli a botte, rullini) ed una gabbia che evita il contatto dei corpi volventi tra loro, mantenendoli nella corretta posizione (figura 1). Con l'esclusione della gabbia che, oltre che in acciaio, viene anche prodotta con materiali polimerici o con leghe di rame¹, tutte le altre parti del cuscinetto sono generalmente realizzate in acciaio².

Data la loro importanza all'interno delle macchine o dei sistemi meccanici, la corretta scelta di un cuscinetto a rotolamento è sempre un aspetto di vitale importanza: conseguentemente sia l'acciaio utilizzato che le tecno-

logie di produzione impiegate devono essere valutate con attenzione per ottenere livelli di qualità ripetibili e caratteristiche sempre più performanti.

Un cuscinetto a rotolamento deve avere le seguenti particolarità:

- sopportare carichi statici e dinamici di notevole entità, sia in direzione radiale che assiale (i valori tipici degli sforzi da contatto Hertziano oscillano tra 2.000 MPa e 3.500 MPa);
- avere una vita a fatica elevata per le particolari condizioni d'esercizio;
- avere dimensioni contenute ed ingombri ben definiti;

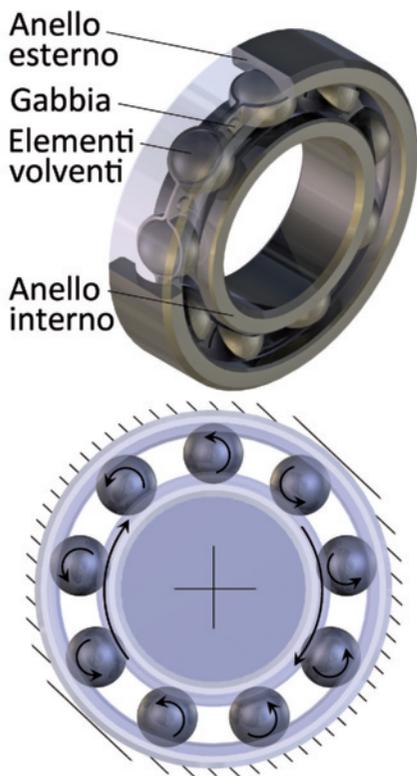


Fig. 1 - Rappresentazione schematica di un generico cuscinetto a rotolamento.

- ridurre al minimo gli spostamenti dell'elemento supportato, cercando di limitarne anche le eventuali inflessioni, pur permettendo in taluni casi piccoli spostamenti assiali o rotazionali.

Dovendo sopprimere a tali contrastanti richieste, gli acciai per cuscinetti necessitano di elevata durezza, eccellente resistenza alla fatica classica ed alla fatica da contatto, nonché ottima resistenza all'usura e stabilità dimensionale: tali proprietà devono essere superiori a quelle degli organi di macchina su cui i cuscinetti vengono montati. Per salvaguardare l'integrità strutturale dei cuscinetti, grande cura deve essere posta ad alcune caratteristiche specifiche quali le condizioni di lubrificazione, le temperature d'esercizio (di solito comprese tra -50°C e $+150^{\circ}\text{C}$), la presenza di eventuali ambienti aggressivi (figura 2). Per meglio comprendere le peculiarità meccaniche che i cuscinetti a rotolamento devono avere, è necessario prendere in esame il tipico meccanismo di danneggiamento che si verifica in esercizio: a questo proposito si può ricorrere alla schematizzazione proposta in fi-

Resistenza a fatica
 Fatica flessionale/assiale
 Fatica da contatto
 Propagazione di cricche di fatica

Altre caratteristiche
 Durezza
 Resistenza statica
 Resistenza alla corrosione
 Tenacità alla frattura
 Duttilità
 Ripetibilità
 Affidabilità

Aspetti metallurgici e tecnologici
 Deformabilità plastica
 Malleabilità
 Fucinabilità e stampabilità
 Lavorabilità alle MU
 Temprabilità
 Purezza Microstrutturale
 Lucidabilità
 Controllo dimensionale
 Ripetibilità e affidabilità
 Costi

Fig. 2 - Principali requisiti ingegneristici per un moderno acciaio per cuscinetti.

gura 3. Quando la sollecitazione superficiale è di tipo periodico (come avviene al contatto tra le sfere e l'anello del cuscinetto) si può avere la formazione di piccolissimi frammenti di usura attraverso il meccanismo noto col nome di fatica superficiale o fatica da contatto (o usura per fatica). Il fenomeno descritto si verifica anche in presenza di lubrificazione ed è tipico di contatti non conformi, ovvero quando almeno uno dei due corpi rotola sull'altro.

La sollecitazione periodica, pur se di natura compressiva ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$), induce un accumulo di danneggiamento nelle zone sub-superficiali del materiale, ove è massimo il valore delle tensioni di scorrimento (τ_{yz}): ciò provoca la nucleazione di una cricca di fatica e la sua successiva propagazione. La cricca di fatica evolverà verso la superficie della pista di rotolamento, generando una serie di danneggiamenti localizzati della dimensione di una punta di spillo con formazione di frammenti di usura: come conseguenza si produrrà un aumento della rumorosità e delle vibrazioni dell'accoppiamento e, al limite, il disservizio del cuscinetto.

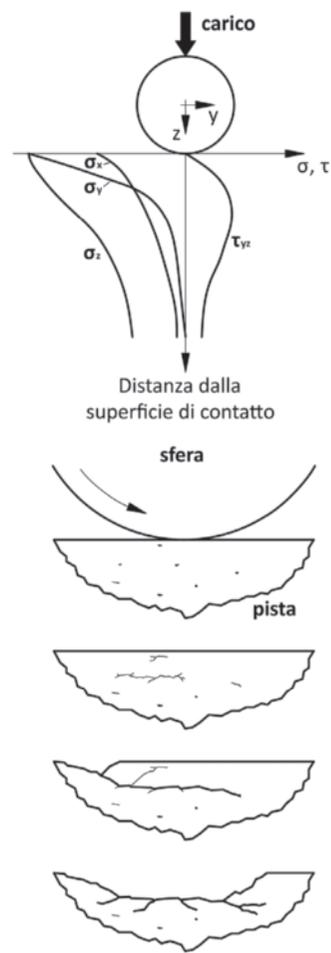


Fig. 3 - Stato di sforzo da contatto Hertziano e schema del meccanismo di formazione di cricche per fatica in un cuscinetto a rotolamento.

La resistenza a fatica dei cuscinetti a rotolamento

Benché il tipico meccanismo di degrado sia facilmente schematizzabile e sia riconducibile all'applicazione ciclica di sollecitazioni Hertziane (fatica da contatto), la vita utile di un cuscinetto a rotolamento è comunque un fenomeno affetto da grande variabilità (figura 4). La durata è prevedibile in termini statistici e dipende, sostanzialmente, dal tipo di acciaio impiegato (composizione chimica, omogeneità strutturale, livello inclusionale) e dalle condizioni operative (natura ed entità dei carichi applicati). Altri parametri che hanno grande influenza sono legati alla precisione del montaggio, alla natura della lubrificazione, alle condizioni ambientali. Al fine di ottimizzare la durata a fatica del materiale è necessario influenzare pesantemente le caratteristiche metallurgiche dell'acciaio: si pensi che un comune cuscinetto a rotolamento verrà sottoposto a decine di milioni di cicli di carico durante la sua vita utile. I fattori che maggiormente incidono sulla vita a fatica di un acciaio per cuscinetti sono legati alla presenza

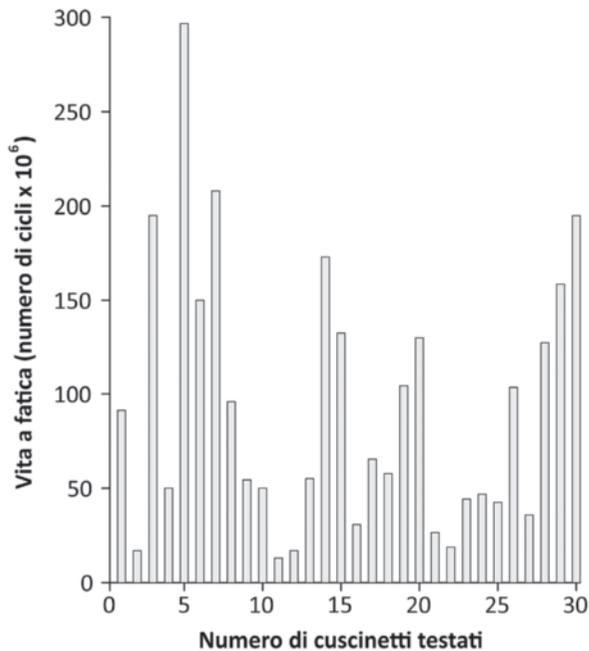


Fig. 4 - Dispersion della vita a fatica di 6309 cuscinetti identici, provati nelle medesime condizioni di prova (tratto da Brändlein 1985).

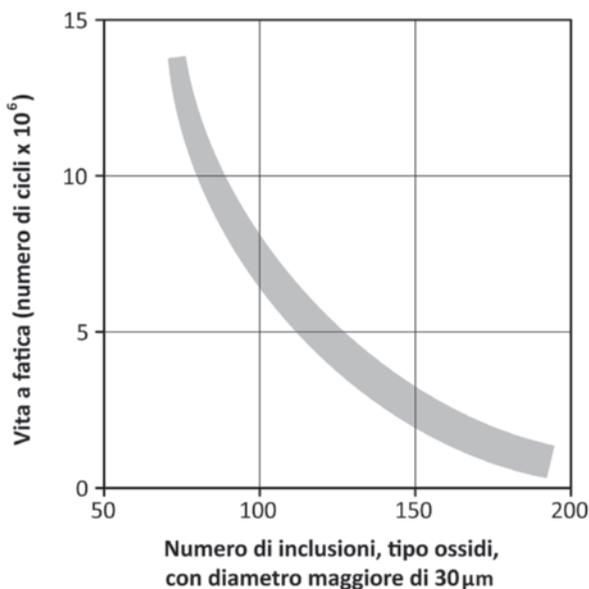


Fig. 5 - Effetto della numerosità di inclusioni non metalliche sulla vita a fatica di un acciaio per cuscinetti tipo 100Cr6 (rielaborato da Murakami 2002).

di inclusioni non metalliche, alle caratteristiche microstrutturali dell'acciaio ed alla forma e distribuzione dei carburi. Le inclusioni non metalliche hanno influenza negativa sulla resistenza a fatica degli acciai per cuscinetti poiché costituiscono un innesco preferenziale per la formazione di cricche. Il contributo negati-

vo delle inclusioni non metalliche è funzione soprattutto della dimensione e della distribuzione delle particelle: le maggiori criticità sono associate alla presenza di ossidi (Al₂O₃) e nitruri (TiN e TiCN) a causa dell'elevato effetto di intaglio che queste particelle, spigolose e non deformabili, generano nel materiale.

100 Cr 6

Composizione chimica: 1.04% C - 0.33%Mn - 0.26% Si - 0.023% P - 0.006% S - 1.53% Cr - 0.20% Cu - <0.01% Mo - 0.31% Ni - <0.01% V
Temperatura di austenitizzazione: 860°C

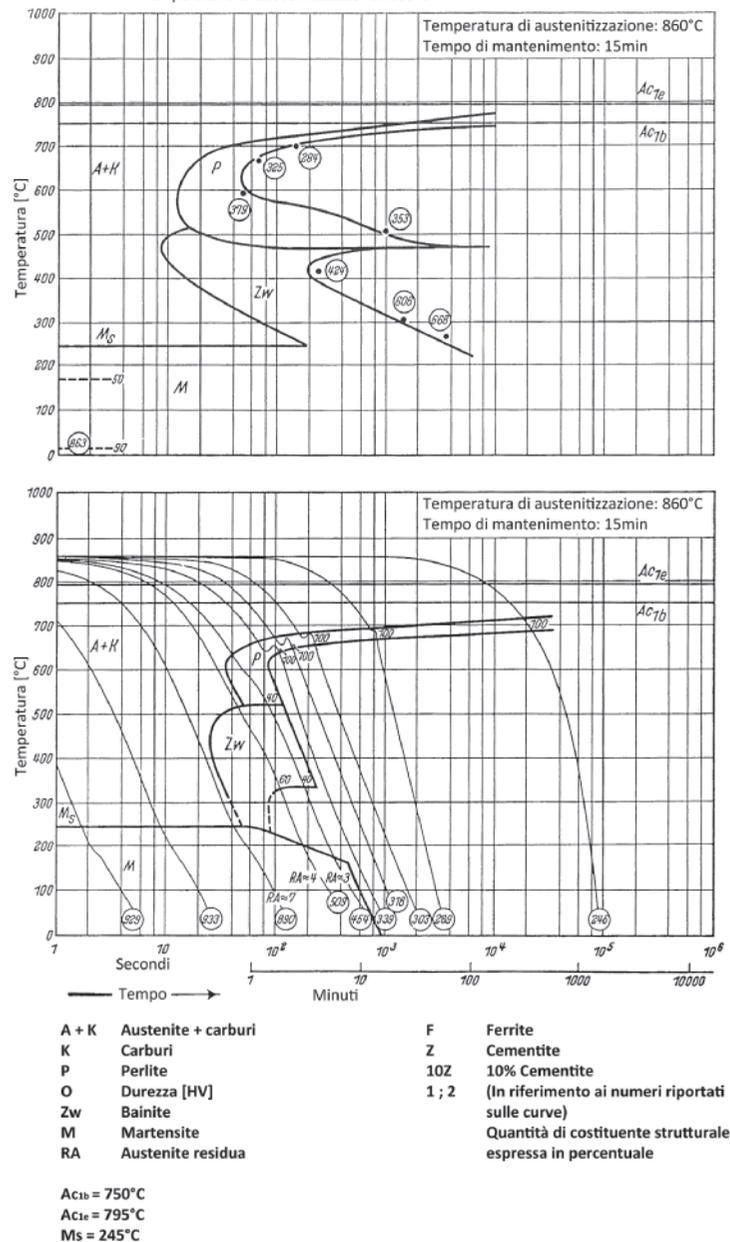


Fig. 6 - Curve di trasformazione isoterma (TTT) ed anisoterma (CCT) dell'acciaio 100Cr6 austenitizzato ad 860°C per 15 minuti (tratto da Vander Voort 1991).

In figura 5 è mostrato un esempio dell'effetto che le inclusioni hanno sulla vita a fatica di un acciaio per cuscinetti tipo 100Cr6. Esiste addirittura la possibilità di correlare il limite di fatica dell'acciaio σ_f a partire dalla sua durezza Vickers (HV) e dalla dimensione massima in μm delle inclusioni presenti ($\sqrt{\text{area}}$).

TAB. 1 - LE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI ACCIAI PER CUSCINETTI A ROTOLAMENTO (TRATTO DA ISO 683-17).

Designazione ISO 683-17 numero-sigla	C	Mn	P max.	S max.	Si	Cr	Ni max.	Mo	Cu max.	O max.	Al max.	V	W
Acciai speciali da trattamento termico													
B1 – 100Cr6	0,93-1,05	0,25-0,45	0,025	0,015	0,15-0,35	1,35-1,60		max. 0,10	0,30	0,0015	0,050		
B5 – 100CrMo7	0,93-1,05	0,25-0,45	0,025	0,015	0,15-0,35	1,65-1,95		0,15-0,30	0,30	0,0015	0,050		
B7 – 100CrMo7-4	0,93-1,05	0,60-0,80	0,025	0,015	0,15-0,35	1,65-1,95		0,40-0,50	0,30	0,0015	0,050		
Acciai speciali da cementazione													
B24 – 19MnCr5	0,17-0,22	1,10-1,40	0,025	0,015	max. 0,40	1,00-1,30			0,30	0,0020	0,050		
B26 – 20CrMo4	0,17-0,23	0,60-0,90	0,025	0,015	max. 0,40	0,90-1,20		0,15-0,25	0,30	0,0020	0,050		
B29 – 20NiCrMo7	0,17-0,23	0,40-0,70	0,025	0,015		0,35-0,65	1,60-2,00	0,20-0,30	0,30	0,0020	0,050		
B30 – 18CrNiMo7-6	0,15-0,21	0,50-0,90	0,025	0,015	max. 0,40	1,50-1,80	1,40-1,70	0,25-0,35	0,30	0,0020	0,050		
Accia da tempra superficiale													
B40 – C56E2	0,52-0,60	0,60-0,90	0,025	0,015	max. 0,40				0,30	0,0020	0,050		
B43 – 43CrMo4	0,40-0,46	0,60-0,90	0,025	0,015	max. 0,40	0,90-1,20		0,15-0,30	0,30	0,0020	0,050		
Acciai inossidabili													
B52 – X108CrMo17	0,95-1,20	max. 1,00	0,040	0,015	max. 1,00	16,00-18,00		0,40-0,80					
Acciai per impieghi alle alte temperature													
B60 – 80MoCrV42-16	0,77-0,85	0,15-0,35	0,025	0,015	max. 0,40	3,90-4,30		4,00-4,50	0,30			0,90-1,10	max. 0,25
B61 – 13MoCrNi42-16-14	0,10-0,15	0,15-0,35	0,015	0,010	0,15-0,25	3,90-4,30	3,20-3,60	4,00-4,50	0,10			1,00-1,30	max. 0,15

Le formule da utilizzare sono le seguenti:

$$\sigma_f = \frac{1,43(HV + 120)}{(\sqrt{\text{area}_s})^{1/6}} \quad (1)$$

$$\sigma_f = \frac{1,56(HV + 120)}{(\sqrt{\text{area}_i})^{1/6}} \quad (2)$$

dove la (1) è valida per inclusioni affioranti alla superficie e la (2) per inclusioni interne al materiale (da cui i pedici "s" ed "i").

Negli acciai per cuscinetti, al fine di ottenere un livello adeguato di micropurezza e limitare al minimo il contenuto inclusionale, è sempre necessario disossidare a fondo il bagno metallico ed operare attraverso l'impiego del degasaggio in vuoto. In alcuni casi, è possibile ricorrere alla rifusione sotto scoria (processi ESR – Electro Slag Remelting) o alla rifusione in vuoto (processo VIM-VAR: Vacuum Induction Melting e Vacuum Arc Remelting): l'acciaio è così sottoposto ad un rigoroso processo che permette di ottenere una desolfurazione molto spinta, una distribuzione assai contenuta ed omogenea del-

le inclusioni non metalliche, un grano cristallino fine e l'assenza di segregazioni. Si tenga presente che, proprio grazie ai miglioramenti dei processi siderurgici avvenuti negli ultimi 50-60 anni, si è assistito ad un incremento della vita utile dei cuscinetti di circa 400 volte, rispetto a quanto ci si sarebbe atteso al termine della seconda guerra mondiale (1939-1945). Un altro importante parametro da controllare è la microstruttura. L'acciaio deve avere un grano fine (dimensione media del grano cristallino pari ad ASTM 8 o più fine) e non si devono osservare reticolazioni di carburi a bordo grano. La presenza di carburi di grosse dimensioni o con distribuzione a bande causa un decremento importante della vita a fatica: attorno ad essi si creano dei microvuoti che agiscono da nucleazione per l'innescio delle cricche di fatica.

Gli acciai per cuscinetti

Diverse sono le tipologie di acciai per cuscinetti presenti sul mercato e definite dalle normative:

- acciai speciali da trattamento termico;
- acciai speciali da cementazione;
- acciai speciali per tempra superficiale (sia al solo carbonio che debolmente legati);

- acciai inossidabili martensitici;
- acciai per impieghi alle alte temperature.

In tabella 1 sono riportate alcune tra le principali composizioni chimiche previste dalla norma internazionale ISO 683-17 che, in molti casi, sono del tutto confrontabili con quelle proposte dalle normative americane ASTM A295, ASTM A485, ASTM A534, ASTM A756 e ASTM A866. Gli acciai speciali da trattamento termico rappresentano la famiglia di più largo impiego in questo ambito: essi hanno microstruttura martensitica e/o bainitica a temperatura ambiente e la loro durezza finale è di 60-64 HRC, praticamente omogenea lungo tutta la sezione. L'acciaio più utilizzato a livello mondiale è il 100Cr6⁴ che contiene all'incirca l'1.0% di carbonio e l'1.5% di cromo. Più valide alternative sono rappresentate dagli acciai 100CrMo7 o 100CrMo7-4, caratterizzati da maggiore tempra, stabilità dimensionale e resistenza termica. La seconda famiglia di interesse per la realizzazione di cuscinetti da rotolamento è quella degli acciai speciali da cementazione. Si tratta di acciai al cromo-molibdeno (come il 20CrMo4 o il 19MnCr5) o al nichel-cromo-molibdeno (come il 18NiCrMo5 o il 20NiCrMo7) impiegati

► segue a pagina 33

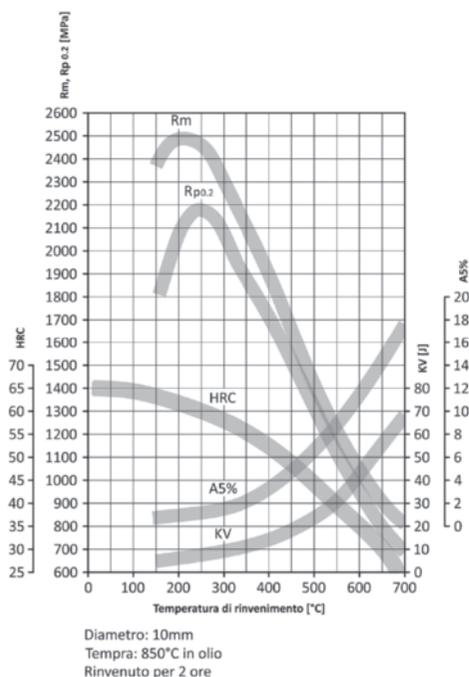


Fig. 7 - Andamento della resistenza a trazione, della durezza e della resilienza per l'acciaio 100Cr6 in relazione alla temperatura di rinvenimento (durata del rinvenimento: 2 ore).

per la realizzazione di anelli di grosse dimensioni⁵: sono certamente meno utilizzati dei precedenti ma, grazie al trattamento termochimico di cementazione, vengono portati anch'essi ad una durezza superficiale di 58-62 HRC (per spessori che talvolta raggiungono i 20 mm, come avviene per le piste di rotolamento), mentre a cuore il materiale mantiene una durezza molto inferiore (attorno ai 28-48 HRC), garantendo così elevata tenacità al cuscinetto. Al posto della cementazione è anche possibile fare ricorso al trattamento di tempra a induzione per indurire le parti a contatto: in questo caso si impiegano acciai speciali da trattamento superficiale al solo carbonio (C56E) o debolmente legati al cromo-molibdeno (43CrMo4). In ambienti che possano indurre fenomeni corrosivi si utilizzano acciai inossidabili, come ad esempio il tipo martensitico X108CrMo17 (simile all'AI-SI 440C della normativa americana): anch'esso può essere usato fino a temperature di 150°C. Quando invece le problematiche prevalenti riguardano l'impiego a temperature elevate si prescrivono acciai quali l'80MoCrV42-16 (simile all'AI-SI M50): tale materiale è, a tutti gli effetti, un acciaio per utensili, contenente 0.8% C, 4.0% Cr, 4.25% Mo. Esso viene impiegato nei cuscinetti per rotori di turbine a gas operanti nel settore della generazione di energia o per

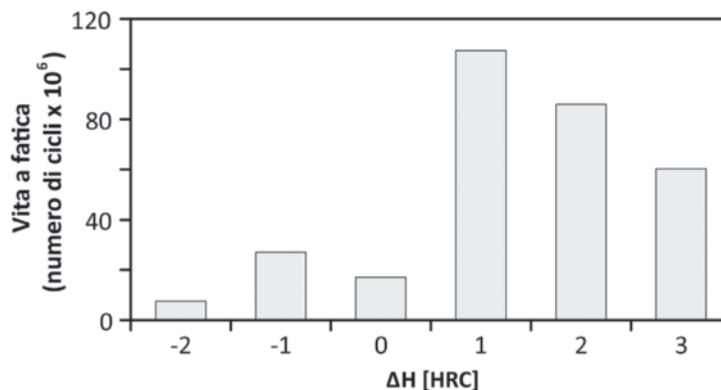


Fig. 8 - Correlazione tra vita a fatica e differenza di durezza (ΔH) tra elementi volventi e pista di rotolamento per un acciaio per cuscinetti tipo 100Cr6 - cuscinetto radiale a sfere, durezza della pista di rotolamento: 63HRC, lubrificazione con oli minerali (tratto da Bhadeshia 2012).

la propulsione aerospaziale e consente temperature d'esercizio fino a 350°C. Una possibile alternativa è l'acciaio 13MoCrNi42-16-14, simile all'AI-SI M-50 NiL (Ni-alto nichel, L-basso carbonio), un acciaio per utensili contenente 0.15% C, 3.5% Ni, 4% Cr, 4.25% Mo e 1.2% V: con tale materiale è possibile realizzare cuscinetti con elevata tenacità a frattura ed una vita a fatica nettamente superiore a quella dell'acciaio AI-SI M50 tradizionale.

Processi di fabbricazione e trattamenti termici degli acciai per cuscinetti

Al termine della produzione siderurgica dell'acciaio si ottengono i formati adeguati per la fabbricazione dei cuscinetti a rotolamento. Di norma si tratta di semilavorati in barre tonde o tubi che vengono impiegati le prime per la realizzazione degli elementi volventi (sfere, rulli, ecc.), i secondi per le piste di rotolamento (anelli interni ed esterni). Dapprima si esegue sui semilavorati il trattamento termico di ricottura di globulizzazione. La ricottura di globulizzazione (o di pendolamento), alternando fasi di riscaldamento e di raffreddamento in atmosfera controllata attorno al punto critico $A_1=A_3$ dell'acciaio, permette l'ottenimento di una finissima struttura perlitica globulare (matrice di fase α e piccolissimi carburi tondeggianti): ciò conferisce all'acciaio un elevato grado di plasticità che facilita le operazioni di laminazione a freddo, trafilatura e stampaggio, oltre a garantire elevata lavorabilità alle macchine utensili, limitate tensioni residue, ottima stabilità dimensionale e a predisporre l'acciaio al successivo trattamento di tempra. Per quanto riguarda le barre si esegue inizialmente lo stampaggio degli elementi volventi: le sfere, i rulli e i rullini sono successivamente sottoposti a trattamento di bonifica e, per concludere, si eseguono le lavorazioni di asportazione meccanica (rettifica, lappatura e lucidatura). Nel caso dei tubi, invece, si provvede al loro sezionamento in anelli, quindi si passa alle lavorazioni

di sgrossatura alle macchine utensili, al trattamento di bonifica ed alle operazioni di finitura. Prendendo come esempio il tipico acciaio per cuscinetti 100Cr6, è opportuno esaminare con attenzione le varie fasi del trattamento di bonifica: a questo proposito in figura 6 sono mostrate le tipiche curve di trasformazione isoterma ed anisoterma dell'austenite per tale materiale. Il 100Cr6 è un acciaio ad elevata temprabilità che viene austenitizzato a temperature dell'ordine di 840°C - 920°C, ossia ad una temperatura intermedia tra il punto critico A_{cm} ed il punto critico $A_1=A_3$. La microstruttura iniziale è quindi costituita da austenite più carburi globulari che si trasforma, per effetto della successiva tempra in olio, in martensite (più i carburi). Si esegue quindi il trattamento di rinvenimento a bassa temperatura (180°C-250°C), anche chiamato distensione, che diminuisce leggermente la durezza ed aumenta la tenacità a frattura del material (figura 7). Scopo principale del trattamento di bonifica è quello di aumentare la durezza dell'acciaio. Si tenga presente che, negli acciai per cuscinetti è richiesta, generalmente, una durezza di almeno 58 HRC alla temperatura di esercizio. Abitualmente sarebbe opportuno che la durezza degli elementi volventi fosse leggermente più elevata (1-2 punti HRC) rispetto a quella degli anelli: ciò permette di migliorare in misura significativa la resistenza a fatica del cuscinetto (figura 8). Poiché il 100Cr6 (come, del resto, la maggior parte degli acciai per cuscinetti) ha un tenore di elementi di lega elevato, al raffreddamento dopo tempra sarà possibile avere austenite residua, insieme alla struttura martensitica⁶. Questo è un aspetto certamente negativo in quanto l'austenite residua, per effetto delle sollecitazioni in esercizio, potrebbe trasformarsi in martensite e dare origine a problemi di stabilità dimensionale del cuscinetto⁷: pertanto si è soliti prescrivere, negli acciai per cuscinetti, un tenore massimo di austenite residua pari al 5%. Il tenore di austenite residua può essere limitato controllando la temperatura

► segue a pagina 35



ABB amplia la sua offerta con i prodotti Dodge

Un secolo di soluzioni collaudate per la trasmissione meccanica di potenza



ABB arricchisce il proprio portafoglio prodotti con l'esperienza e l'innovazione di Dodge, leader nella trasmissione meccanica di potenza. Da oltre un secolo, i prodotti Dodge aiutano i costruttori di macchine a raggiungere i più alti livelli di produttività e redditività. ABB, grazie alla sua rete di distribuzione, garantisce un'ampia disponibilità dei prodotti Dodge, riducendo i tempi di consegna. I nostri esperti sono a disposizione del cliente per assisterlo nella scelta del prodotto più adatto alla propria applicazione. www.abb.it/mechanicalpowertransmission



DODGE[®]

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

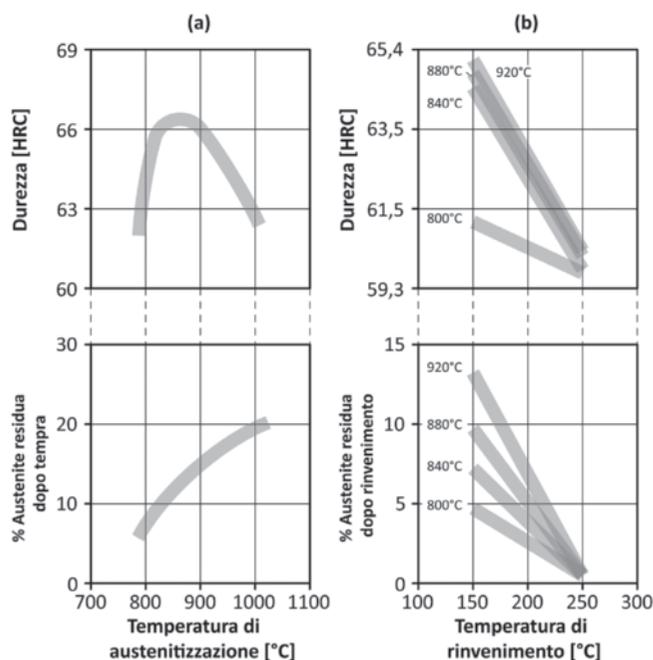
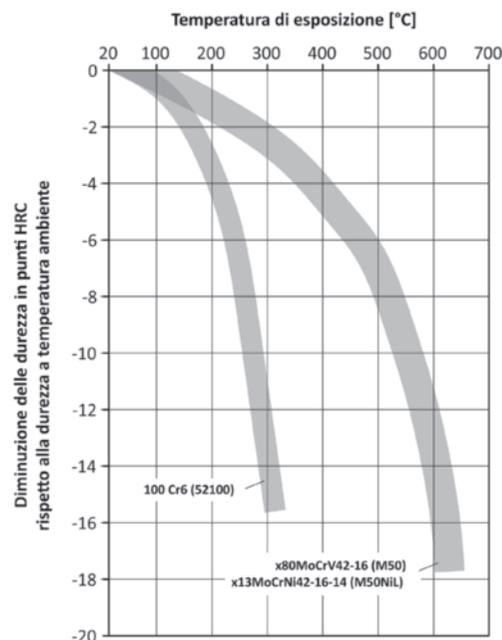


Fig. 9 - Andamento della durezza e del tenore di austenite residua (a) dopo tempra e (b) dopo tempra e rinvenimento; durata della austenitizzazione: 20 minuti; durata del rinvenimento: 1 ora (tratto da Bhadeshia 2012).

Fig. 10 - Resistenza all'esposizione in temperatura di alcuni acciai per cuscinetti a rotolamento (tratto da Zaretsky 2012).



Note

¹ Tipici materiali utilizzati per le gabbie sono il PEEK, il nylon, la poliammide rinforzata con fibre o le resine fenoliche. Per quanto riguarda le leghe base rame si fa uso di ottoni o di bronzi.

² In questa sede vengono trattati i soli cuscinetti in acciaio. È ben noto che per applicazioni speciali si possa fare uso anche di cuscinetti in materiale ceramico o in materiale polimerico.

³ Si noti che le due formule indicate, proposte originariamente da Murakami et al. per valutare la resistenza a fatica di materiali aventi un elevato carico unitario di rottura, hanno validità del tutto generale quando si sostituisca all'area dell'inclusione l'area di un difetto di qualsiasi natura (cavità da ritiro, porosità, cricca, ecc.).

⁴ L'acciaio 100Cr6 è definito dalla normativa americana AISI-SAE con la sigla numerica 52100.

⁵ Si tenga presente che l'idea di impiegare un acciaio da cementazione per la costruzione di un cuscinetto è dovuta alla necessità, in taluni casi, di realizzare un componente meccanico avente anche altre funzioni (come ad esempio il mozzo ruota o i giunti omocinetici di un veicolo): su tale componente può essere opportuno ricavare la sede della pista di rotolamento degli elementi volventi.

⁶ Questo problema nasce dal fatto che, al crescere del carbonio e degli elementi di lega, la posizione delle orizzontali di inizio e fine della trasformazione martensitica tendono a spostarsi verso il basso.

⁷ Il fenomeno deriva dall'aumento di volume che si produce per effetto della trasformazione austenite → martensite.

⁸ Quando l'incremento di durezza e resistenza dell'acciaio dipende solo dalla trasformazione austenite → martensite, si osserva un progressivo addolcimento del materiale al crescere della temperatura di esercizio (l'aumento della temperatura di esercizio, di fatto, sottopone il componente ad un trattamento termico di rinvenimento a temperatura maggiore di quella utilizzata durante la sua produzione); se, invece, l'incremento di durezza è frutto della precipitazione di carburi stabili ad alta temperatura (come avviene negli acciai per utensili), non si osservano fenomeni di addolcimento almeno fino a temperature dell'ordine di 400°C-450°C.

di austenitizzazione e la temperatura di rinvenimento dell'acciaio (figura 9).

In alternativa al classico trattamento di bonifica, l'acciaio 100Cr6 può essere sottoposto a tempra bainitica con mantenimento isoteramico a temperature tra 280°C e 350°C: tale processo riduce in modo significativo l'eventuale presenza di austenite residua, aumenta la tenacità a frattura dell'acciaio e migliora la vita a fatica dei cuscinetti. Oltre ad avere elevata durezza, tenacità e resistenza a fatica, un acciaio per cuscinetti deve anche essere insensibile alle alterazioni termiche: ciò dipende dal tenore di elementi di lega e dalla modalità attraverso la quale si è ottenuto l'indurimento del materiale⁸. Mentre il classico acciaio per cuscinetti 100Cr6 è impiegabile in modo continuo fino a 160°C (l'indurimento è provocato dalla trasformazione austenite → martensite), gli acciai tipo 80MoCrV42-16 o 13MoCrNi42-16-14 sono in grado di operare fino 320°C (l'indurimento dipende, oltre che dalla trasformazione martensitica, soprattutto dalla presenza di carburi sta-

bili ad alta temperatura): si veda al proposito il diagramma di figura 10.

Citiamo, da ultimo, due trattamenti particolari, talvolta effettuati sui cuscinetti a rotolamento. Per limitare i fenomeni di usura si può eseguire un processo di sulfinitazione delle superfici: questo trattamento prevede l'adsorbimento superficiale di zolfo e la creazione di un sottilissimo strato di solfuro di ferro (3-6 μm) che, essendo poroso, permette di assorbire una maggiore quantità di lubrificante. Grazie a questo trattamento si riduce l'attrito tra le superfici e viene garantita la presenza continua del lubrificante tra le superfici a contatto, anche in presenza di eccessivi carichi applicati. Il secondo trattamento particolare che, a volte, viene effettuato sui cuscinetti è la fosfatazione. Si tratta di un processo di conversione che porta alla formazione di cristalli fosfatici insolubili, legati chimicamente al substrato di acciaio, la cui funzione è quella di proteggere i cuscinetti dalla corrosione dell'ambiente circostante.



© RIPRODUZIONE RISERVATA

Bibliografia

[ASTM A295/295M] ASTM A295/295M American Society for Testing and Materials, Standard Specification for High Carbon Anti-Friction Bearing Steel, 2009.
 [ASTM A485] ASTM A485 American Society for Testing and Materials, Standard Specification for High Hardenability Anti-Friction Bearing Steel, 2009.
 [ASTM A534] ASTM A534 American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Carburizing Steels for Anti-Friction Bearings, 2009.
 [ASTM A756] ASTM A756 American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Stainless Anti-Friction Bearing Steel, 2009.
 [ASTM A866] ASTM A866 American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Medium Carbon Anti-Friction Bearing Steel, 2009.
 [Bhadeshia 2012] Bhadeshia H. K. D. H., *Steels for Bearings*, Progress in Materials Science, Vol. 57, 2012.

[Brändlein 1985] Brändlein J. et al., *Ball and Roller Bearings: Theory, Design and Application*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1985.
 [ISO 683-17] ISO 683-17 International Standard, Heat-treated steels, alloy steels and free cutting steels - part.17: Ball and roller bearing steels, 1999.
 [Llewellyn 1998] Llewellyn D. T. e Hudd R.C., *Steels: Metallurgy and Applications*, 3rd ed. Butterworth Heinemann, Oxford, 1998.
 [Murakami 2002] Murakami Y., *Metal Fatigue: Effect of Small Defects and Nonmetallic Inclusions*, Elsevier, Amsterdam, 2002.
 [Vander Voort 1991] Vander Voort G. F., *Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*, ASM-American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1991.
 [Zaretsky 2012] Zaretsky E. V., *Rolling Bearing Steels - A Technical and Historical Perspective*, NASA Technical Memorandum - 2012-217445, 2012.