

Lubrificazione a grasso dei cuscinetti

La tendenza a ridurre i costi, salvaguardare i materiali e l'ambiente spinge gli utilizzatori verso una sempre maggiore attenzione alla lubrificazione a grasso. Nelle attuali condizioni applicative dei mandrini per macchine utensili e per la lavorazione del legno è importante scegliere il prodotto più idoneo e considerare la lubrificazione a grasso nella sua globalità

Lubrificare significa creare un meato portante che eviti il contatto diretto tra i componenti del cuscinetto e quindi l'usura per attrito.

Per mantenere tale meato il più a lungo possibile bisogna considerare e modellizzare alcuni fattori d'influenza, anche se, a oggi, non tutti i parametri, le funzioni e le loro influenze nei e tra i componenti del grasso e dei materiali sono stati codificati e molto c'è ancora da scoprire.

Negli ultimi anni la produttività richiesta alla macchina utensile è costantemente aumentata, costringendo i costruttori a ridurre i tempi di posizionamento degli assi e ad accorciare i tempi di lavorazione, aumentando i parametri di taglio e quindi la velocità e i carichi sui cuscinetti.

Inoltre è aumentata l'attenzione alla biodegradabilità ed all'impatto ambientale del sistema, determinando una sfida ambiziosa

L'evoluzione della lubrificazione

Già nel 2400 a.C. era noto che gli effetti dell'attrito potevano essere mitigati interponendo un liquido tra gli elementi: un manovale era deputato a versare un liquido tra la superficie e lo scivolo, per ridurre l'attrito durante il trasporto di un'imponente statua.

Leonardo da Vinci (1452-1519) condusse la prima ricerca scientifica sull'"Attrito" e concluse che l'attrito dipende dalla superficie geometrica di contatto ed è proporzionale alla forza. Qualche secolo dopo, Guillame Amontons (1663-1705) lavorò nel campo della lubrificazione

**La prima
"tribologia"
nel 2400 a.C.**



per i cuscinetti e i lubrificanti.

Un moderno lubrificante deve garantire le prestazioni per un lungo periodo di tempo, essere biodegradabile e atossico, fattori questi ultimi che hanno portato all'eliminazione di lubrificanti performanti ma tossici.

Considerando soltanto i succitati aspetti, si nota come la lubrificazione a grasso offra vantaggi significativi se confrontata con la lubrificazione a olio. La quantità di grasso utilizzata per una lubrificazione a vita è decisamente minore, riducendo il danno ambientale dovuto alla dispersione dell'olio.

I vantaggi della lubrificazione a grasso

La lubrificazione a grasso offre vantaggi rispetto a quella a olio perché non richiede impianti dedicati e per il minor tempo di progettazione necessaria.

I cuscinetti di precisione vengono montati subito dopo l'ingrassaggio e non necessitano di ulteriore manutenzione, mentre l'impianto dell'olio richiede un costante controllo del livello del fluido, pulizia dei tubi e sostituzio-

ne dei filtri. Nel caso vengano usati cuscinetti con tenute, non occorre nemmeno ingrassarli.

Inoltre, un mandrino che impiega tre cuscinetti Iso10 diametro interno 25 mm ha un consumo orario di 180 mm³ di olio per cuscinetto. Presumendo una durata di lavoro di 20.000 ore, con due turni di lavoro al giorno, i tre cuscinetti richiedono circa 3.600 cm³ di olio contro 2,58 cm³ di grasso.

Scelta del grasso

Le sempre più esasperate condizioni applicative comportano un'attenzione crescente alla lubrificazione e la scelta del grasso è fondamentale per raggiungere la massima durata di esercizio.

La capacità del meato lubrificante di sopportare il carico dipende dalla viscosità dell'olio base, dal carico nell'area di contatto, dal fattore velocità e dalla temperatura di esercizio. Lo strato lubrificante, espresso dal parametro λ , dovendo evitare il contatto tra i componenti, deve quindi essere maggiore della somma delle rugosità delle piste di rotolamento e dei corpi volventi:

$$\lambda = \frac{h_0}{\sum R_q}$$

λ = parametro dello strato di lubrificante
 h_0 = spessore dello strato di lubrificante
 R_q = grado medio della rugosità della superficie.

In alternativa al parametro λ , si utilizza il fattore κ , che esprime le condizioni dello spessore di lubrificante.

$$\kappa = \frac{v}{v_1}$$

κ = valore della condizione dello spessore del lubrificante

v = viscosità di operazione [mm²/s]

v_1 = grado di viscosità [mm²/s].

La formazione dello spessore di separazione inizia con $\kappa = 1$, ed equivalentemente quando $\lambda > 1$.

Tra λ e κ sussiste la relazione

$$\lambda \approx \kappa^{0,89}$$

Una condizione con $\kappa < 1$ (figura 1) è assolutamente da evitare, poiché foriera del peri-

mista, scoprendo che l'attrito è causato dalla rugosità della superficie e dipende dalla forza.

Nel 18° secolo Jacop Leupold (1674-1727) scoprì che unguendo con grasso e olio si riduce la resistenza allo spostamento e, quindi, l'attrito, e codificò l'influenza negativa della contaminazione, consigliando di proteggere le parti da impurità e acqua.

Leonard Euler (1707-1783) introdusse il fattore d'attrito " μ ".

Nel 1825 George Remie confermò che l'attrito tra parti in bronzo e acciaio si riduceva di 1/3 se venivano spalmate con sapone.

In un manuale del 1948 si leggeva che «ovunque sia possibile impiegare olio puro anziché grasso, l'olio è preferibile». Oggi l'affermazione non è da considerarsi più valida.

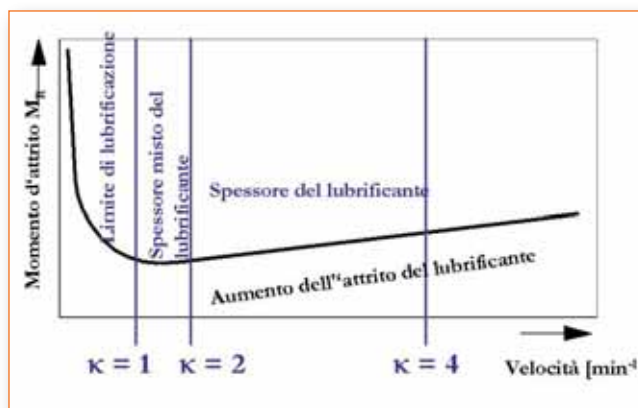
Sempre nel 1948 FAG Kugelfischer raccomandava di impiegare lubrificazione a grasso per fattori $n \times d_m \leq 1.0 \times 10^6$ mm/min (cuscinetto singolo a precarico leggero).

Nel 1963 si affermava che «La lubrificazione mista si applicherà in particolari condizioni di esercizio ad esempio quando sono presenti sempre più elevate velocità. Tale metodo è adatto solo in particolari casi», laddove, per "elevate velocità", si intendeva un fattore $n \times d_m \leq 4 \times 10^6$ mm/min.

Nel 1988 fu superato il fattore di velocità 1.6×10^6 mm/min con cuscinetti ibridi e grasso Arcanol L74.

Nel 1999 fu introdotto il grasso FAG Arcanol L75, sviluppato per sostituire i prodotti contenenti addensanti tossici. I test provarono però che tale grasso aveva prestazioni superiori in termini sia di velocità sia di stabilità alle elevate temperature.

Con l'introduzione degli anelli in Cronidur 30, si è raggiunto un fattore $n \times d_m$ di 2.6×10^6 mm/min e la durata d'esercizio del grasso nel campo sopra 1.8×10^6 mm/min è stata ulteriormente incrementata.



Momento d'attrito in rotazione.

colo di incorrere in fenomeni di strisciamento.

Valori di $2 \leq \kappa \leq 4$ è ottimale per avere un margine di sicurezza ragionevole.

Valori di $\kappa > 4$ sono ammessi, ma aumentano lo strisciamento sull'anello interno con una conseguente perdita di prestazioni.

Con $1 \leq \kappa \leq 2$ è possibile che le asperità rom-

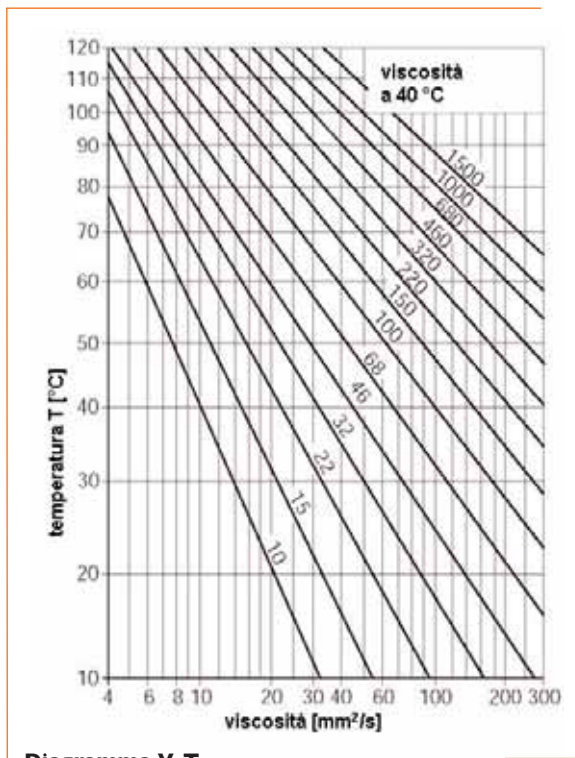


Diagramma V-T.

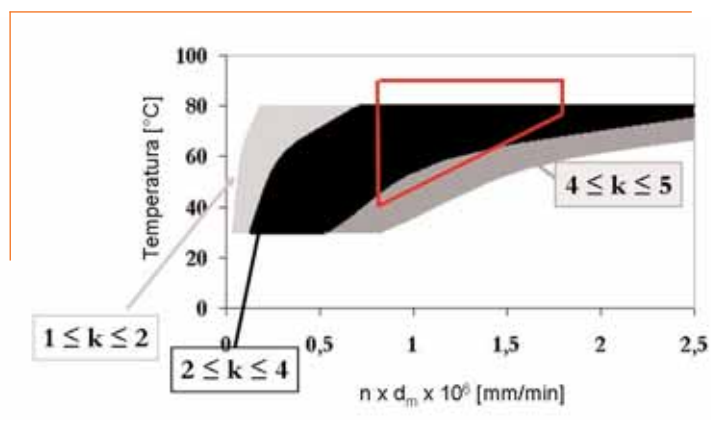
peratura di esercizio e viene determinata dal diagramma V-T (figura 2).

La figura 3 illustra l'evoluzione della viscosità in funzione della temperatura di tre importanti grassi per macchine utensili, considerando che la temperatura di e-

cizio dei cuscinetti nei mandrini è generalmente compresa fra 40 °C e 80 °C.

Il grado di viscosità v_1 è funzione del fattore $n \times d_m$ secondo la relazione di Heemskerk:

$$v_1 = \frac{4500}{\sqrt{n * d_m}}$$



Campo di operazione del grasso L75.

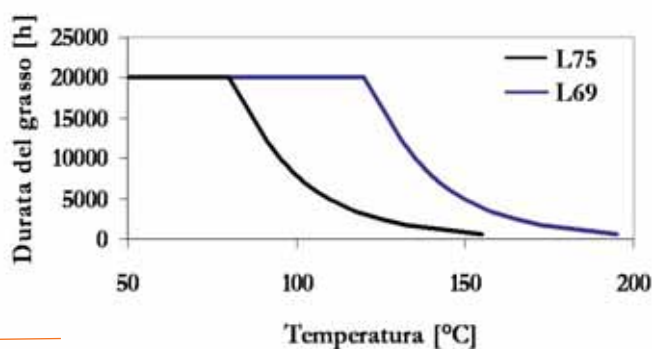
ser-
pano il film del lubrificante (lubrificazione mista). In questo caso è provato che, con una lubrificazione a olio, priva di addensanti, si genera maggiore usura rispetto a quella a grasso, poiché anche l'addensante contribuisce alla formazione del meato.

Per applicazioni operanti in queste condizioni, come nel caso del supporto viti a sfere e di tavole girevoli, sono consigliabili grassi con additivi EP per elevate pressioni.

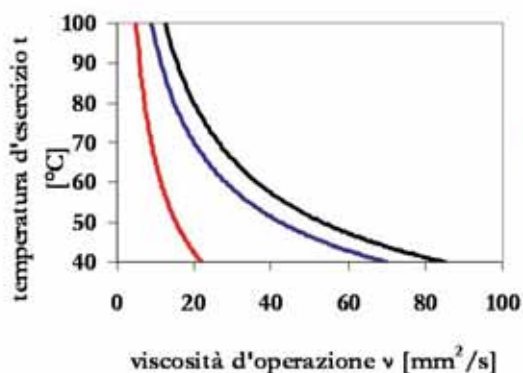
Come già detto, κ dipende dal rapporto tra la viscosità di operazione v e dalla viscosità v_1 . La viscosità di operazione v varia con la tem-

ser-

Influenza della temperatura sulla durata del grasso.



Influenza della temperatura d'esercizio sulla viscosità v.



Per i mandrini delle macchine utensili il fattore di velocità è generalmente compreso tra 1.0 e 1.8 x 10⁶ mm/min, per i cuscinetti supporto vite i valori sono al massimo di 0.4 x 10⁶ mm/min: in questo contesto la velocità dei cuscinetti gioca un ruolo minore.

La figura 4 illustra il campo d'impiego ottimale del grasso L75 in funzione di κ . Confrontando tale campo con le normali condizioni di lavoro dei mandrini per macchine utensili (in rosso nella figura), si nota un enorme potenziale di sviluppo per i mandri-

Uno sguardo al futuro

L'esigenza di incrementare sempre più la capacità di carico e le durate d'esercizio richiede sviluppi continui nel campo dei lubrificanti. Lo sviluppo di un nuovo lubrificante richiede anni di ricerche e costi dell'ordine di centinaia di migliaia di euro, tuttavia, la ricerca nel campo della mutazione tribologica sta contribuendo significativamente al contenimento dei costi.

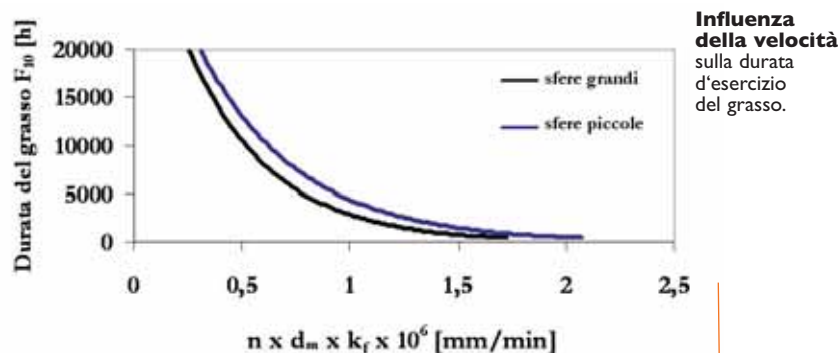
La mutazione tribologica è un risultato dell'attrito, descrive i cambiamenti dei materiali dei componenti ad esso sottoposti nelle aree vicine al contatto. Tali cambiamenti possono essere rilevati con analisi ai raggi infrarossi, dalla spettroscopia fotoelettrica e da altre procedure effettuate dopo il normale rodaggio.

È stata provata la correlazione tra la composizione del grasso e i cambiamenti del materiale vicino al punto di contatto. Ciò significa che con l'aiuto di test di breve durata, il comportamento a lungo termine del lubrificante può essere stimato con buona attendibilità, permettendo di valutare se gli oneri per i test di un nuovo grasso siano giustificabili. Nuovi lubrificanti possono quindi essere sviluppati in modo più efficace ed economico. Queste correlazioni mostrano anche come le prestazioni del sistema tribologico possano incrementare ottimizzando la composizione chimica del lubrificante, offrendo quindi maggiori possibilità di ottimizzazione in particolari campi applicativi di un prodotto già esistente.

In relazione a questo si deve anche ripensare la procedura di rodaggio dei sistemi tribologici.

La situazione del materiale dei componenti sottoposti ad attrito, causata dalla mutazione tribologica e dalla connessione delle proprietà quali attrito e comportamento all'usura, stabilità e sensibilità, dipende fortemente dalle condizioni operative del sistema tribologico durante il rodaggio.

Un rodaggio accurato si ottiene qualora il sistema tribologico sia stato caricato il più possibile, ma non troppo e permette di raggiungere gradi di usura significativamente ridotti (minore o pari al 50%) rispetto ad un rodaggio, ad esempio, troppo prudente.



ni a tutte le velocità utilizzate.

Il grasso L75 ha un'ottima resa ad alta velocità. Il suo limite di temperatura è di 80 °C, oltre il quale la sua durata si dimezza ad ogni incremento di 15° (figura 5), ma le prove hanno dimostrato che può raggiungere picchi fino a 120 °C, per brevi periodi.

Nel caso in cui le temperature d'esercizio superino sistematicamente gli 80 °C, diventa opportuno l'impiego di un grasso per alte temperature.

Le influenze sulla durata del grasso

L'economia sta pagando milioni di euro in danni causati solamente dall'usura.

Impiegando lubrificanti appropriati, tale usura può essere drasticamente ridotta se non totalmente prevenuta.

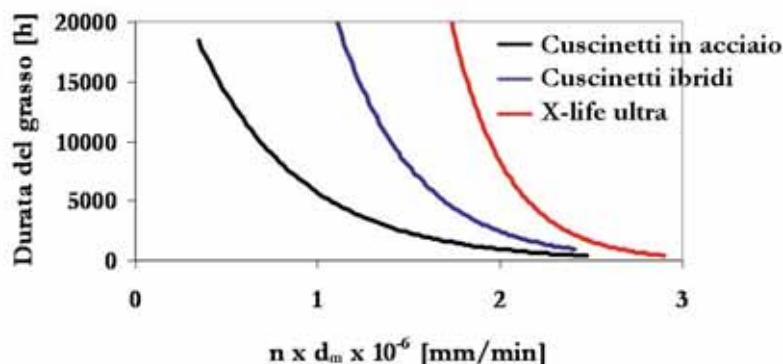
I cuscinetti per mandrini, quando sono poco caricati, lavorano entro il limite della durata a fatica del materiale, la loro vita utile viene quindi assimilata alla durata del grasso. La durata d'esercizio di un mandrino può già essere determinata in fase di progettazione utiliz-

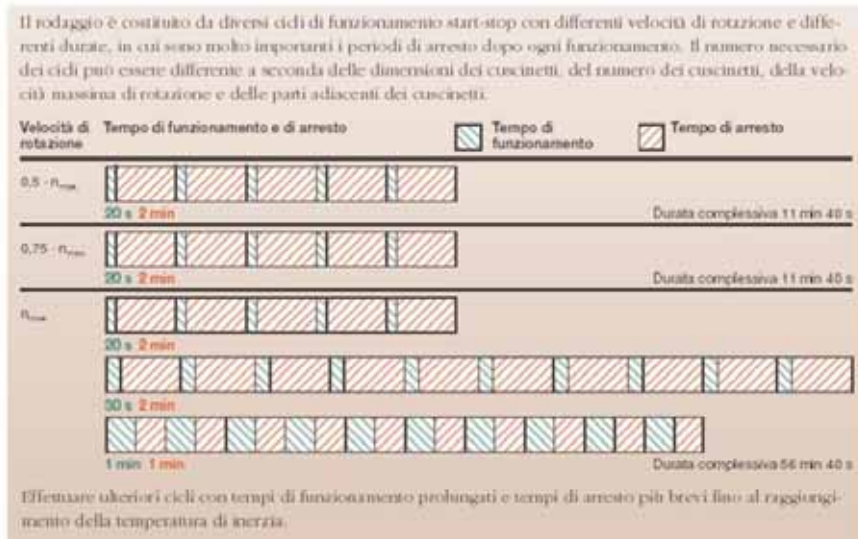
zando opportuni diagrammi e fattori correttivi. Maggiori sono le influenze conosciute, migliori e più accurati saranno i calcoli.

I diagrammi e i fattori necessari per i calcoli provengono da modelli matematici validati da test effettuati in laboratorio e sul campo con applicazioni "pilota". Così come i risultati dei test sono valutati su basi statistiche, anche la risposta sulla durata in esercizio del grasso è valutabile solamente in modo statistico. Il calcolo L10 prevede quindi un 10% di probabilità di insuccesso prima del tempo, ma la maggior parte dei cuscinetti raggiunge durate d'esercizio maggiori.

I moderni grassi sono di natura sintetica e in presenza di energia indotta cambiano la loro struttura. Quindi un continuo conferimento di energia crea una costante dispersione di grasso, e la velocità di rotazione costituisce la principale fonte di energia nel cuscinetto. Si

Influenza dei materiali dei cuscinetti sulla durata d'esercizio del grasso.





Rodaggio.

dimostra che la durata d'esercizio del grasso si riduce esponenzialmente con l'incremento della velocità, poiché al crescere della velocità aumentano gli attriti interni di funzionamento (figura 6).

Un altro fattore d'influenza è la geometria del cuscinetto. Cuscinetti con sfere ridotte hanno un comportamento migliore rispetto a cuscinetti con sfere grandi. Le prime hanno massa minore, sono quindi soggette a una minore forza centrifuga e generano un'ellisse di contatto ridotta, che si traduce in un rapporto spin/roll inferiore, che in rotazione ha un effetto positivo sulle temperature.

Nei cuscinetti ibridi tale comportamento si esalta poiché si aggiungono i benefici del minor peso specifico e del minor coefficiente di dilatazione delle sfere in ceramica. In particolare, ad elevate differenze di temperatura tra gli anelli, come avviene per gli elettromandri con raffreddamento dell'alloggiamento, la ridotta dilatazione delle sfere in ceramica rispetto a quelle in acciaio, riduce l'incremento del precarico. Gli aumenti di temperatura e attrito sono inferiori e il lubrificante è meno stressato. La durata d'esercizio del grasso nei cuscinetti ibridi può quindi triplicare rispetto ai cuscinetti con sfere in acciaio.

Un ulteriore miglioramento è stato raggiunto utilizzando i cuscinetti con sfere in ceramica ed anelli in acciaio Cronidur 30 (figura 7), che

offre valori di durezza e resistenza elastica migliorati rispetto all'acciaio convenzionale, riducendo quindi la variazione della struttura della superficie. Viene così diminuita la rottura dei picchi delle asperità della superficie, attenuando l'attrito e, conseguentemente, la temperatura di funzionamento. Il fattore κ , comparato con i cuscinetti ibridi in acciaio convenzionale, aumenta drasticamente.

Il rodaggio

Un altro importante aspetto della lubrificazione a grasso è la fase di rodaggio.

Questa operazione permette di distribuire il grasso e, mediante spruzzamento e schiacciamento, spingerne l'eccesso fuori dalla zona di contatto, provocando un notevole attrito.

Per tale ragione, all'inizio della procedura, si possono misurare temperature elevate. Si consiglia, pertanto, di eseguire operazioni di start-stop, in modo da contenere il surriscaldamento dei componenti ed evitare l'ingenerarsi di danni dovuti proprio all'alta temperatura. Temperature elevate si verificano se viene inserita una quantità di grasso eccessiva, o se non c'è spazio per allontanare il surplus di grasso. Eseguendo la procedura di rodaggio in modo corretto, nella zona di contatto ci sarà la quantità di grasso idonea al funzionamento. La figura 8 illustra alcune indicazioni per un corretto rodaggio.

Nei cuscinetti con tenute, la quantità di gras-

so è definita per lasciare sufficiente spazio per depositare l'eccedenza fuori dall'area di contatto, ma la tenuta mantiene comunque il lubrificante a disposizione vicino alla zona di contatto. A velocità elevata, un'eccessiva quantità di lubrificante ha effetti doppiamente negativi anche a causa del maggiore attrito intrinseco. Un altro aspetto del rodaggio è la modifica che avviene nelle superfici della pista. La ricerca tribologica in questo aspetto è piuttosto recente e lascia molti quesiti aperti, ma è noto che, in questa fase e in presenza di condizioni di attrito estreme, avvengono cambiamenti vicino all'area di contatto. Si sospetta che i picchi e le asperità dei materiali si ossidino producendo calore sotto un carico tribologico, specialmente durante il rodaggio. Un materiale che presenti aree ossidate perde ovviamente resistenza favorendo l'insorgere di danneggiamenti.

Su queste ipotesi, il Cronidur 30, resistente alla corrosione, più resistente alle alte temperature, alla fatica e alla flessione, si comporta in maniera migliore quando le creste superficiali si surriscaldano e si ossidano.

Conclusioni

I fattori di velocità e le durate d'esercizio raggiunti con la lubrificazione a grasso hanno registrato enormi progressi negli ultimi decenni, con lo sviluppo dei cuscinetti ibridi, del Cronidur 30 e del grasso L75.

Particolarmente significativo è l'interfaccia-mento degli elementi individuali del sistema tribologico. Bisogna innanzitutto considerare aspetti come la dipendenza reciproca tra lubrificante, materiale e condizioni operative. Cresce l'importanza delle considerazioni microscopiche, che permettono la comprensione del finora inspiegabile modello di comportamento dei sistemi tribologici e apre la via allo sviluppo di nuovi lubrificanti, in maniera più efficace ed economica.

G. Laugisch, Application Engineering Spindle Bearings Schweinfurt - Schaeffler KG.

A. Massola, Spindle BEarings & Mechatronics Manager - Schaeffler Italia Srl.

readerservice@fieramilanoeditore.it n.73