

# TECHNICAL INSIGHT

UNA PUBBLICAZIONE DI NSK EUROPE

## Acciaio NSK TF Tough Steel™ per condizioni operative estreme

Il concetto di lunga durata in ambienti contaminati sviluppato da NSK è unico nel suo genere. Le ricerche condotte da NSK sono state le prime a riconoscere la correlazione tra la percentuale di austenite residua e la durata a fatica da rotolamento in ambienti operativi contaminati.

### Gestire i cedimenti dei cuscinetti in ambienti contaminati

I cuscinetti utilizzati in ambienti puliti operano con un lubrificante molto pulito o con olio altamente filtrato e, se installati correttamente, cedono in seguito a fenomeni di fatica sub-superficiale. I cuscinetti utilizzati in ambienti contaminati sono soggetti, invece, a cedimenti dovuti a fatica superficiale. L'utilizzo di acciai con maggiore purezza si è rivelato efficace per aumentare la durata operativa dei cuscinetti in ambienti puliti mentre i cuscinetti schermati Sealed Clean™ riescono a prolungare la durata in caso di contaminazione.

Nel settore estrattivo, degli aggregati, nelle acciaierie e nel settore del cemento bisogna fare i conti con polveri e detriti nei cuscinetti. Queste contaminazioni provocano fenomeni di fatica superficiale e riducono la durata di esercizio del cuscinetto. I cuscinetti schermati Sealed Clean™ utilizzano una tenuta strisciante per evitare l'infiltrazione di contaminazione pericolosa. Sfortunatamente, i cuscinetti schermati non sono utilizzabili in ogni applicazione e comunque le tenute non evitano sempre l'infiltrazione di elementi contaminanti. In queste applicazioni sono necessari i cuscinetti Tough Steel™.

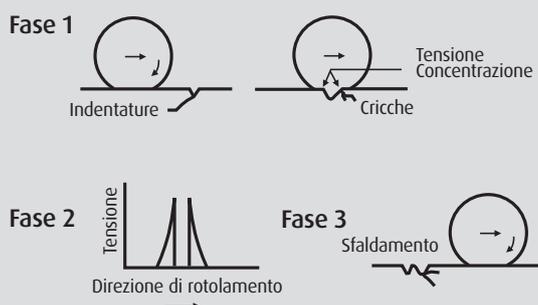


### Il processo di sfaldamento superficiale

Diversi tipi di contaminanti possono generare indentature sulle piste di rotolamento dei cuscinetti volventi. Le sollecitazioni da contatto sono estremamente elevate ai bordi delle indentature ed i danni da fatica si verificano ad un ritmo accelerato (Fig. 1).



Figura 1: Origine dello sfaldamento superficiale



### Il processo di sfaldamento superficiale

La seguente equazione definisce la concentrazione dello sforzo in corrispondenza dell'apice di un'indentatura<sup>2</sup>. Il rapporto tra lo sforzo di taglio massimo  $t_c$  all'indentatura e la pressione di contatto nominale,  $p_o$ , in caso di assenza di indentature è il seguente:

$$t_c / p_o = a_1 (C_o) a^2$$

Dove,  $a_1 = 0.22$  e  $a^2 = -0.24$

$C_o$  è il fattore di intensità delle incisioni e viene definito attraverso la seguente equazione:

$$C_o = (\pi^2 p_o / E^0) (r/c)$$

$r$  = raggio dello spallamento dell'incisione, mm

$c$  = valore dimezzato della larghezza dell'incisione, mm

$p_o$  = pressione di contatto nominale, N/mm<sup>2</sup>

$E^0$  = Modulo di Young ridotto, N/mm<sup>2</sup>

Nell'equazione sopraccitata, la dimensione dell'indentatura, in termini di  $r$  e  $c$  (Fig. 2) influisce pesantemente sulla durata a fatica del cuscinetto. Un valore superiore di  $r/c$  garantisce una durata maggiore per via della minore concentrazione di stress ai bordi dell'indentatura.

Figura 2: Vista allargata dell'indentatura causata da contaminazione

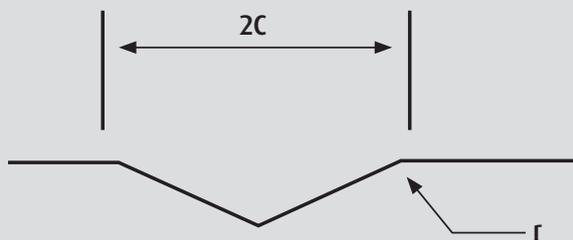
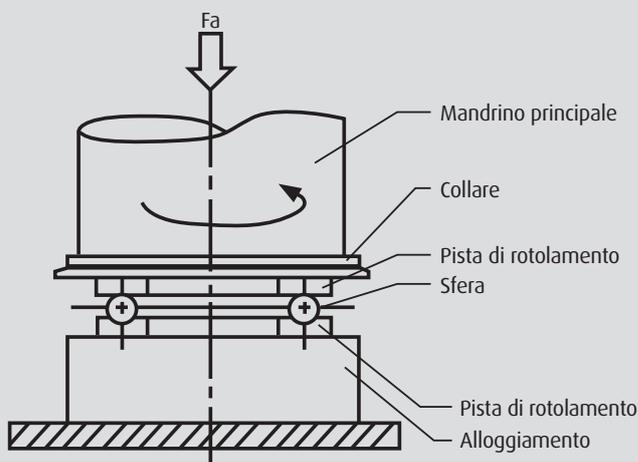


Figura 3: Sezione mandrino della macchina di collaudo dei cuscinetti assiali



### Perimetro dell'Indentazione e Fattore Materiale

I seguenti esperimenti sono stati condotti per definire la relazione tra il perimetro dell'indentazione (rapporto  $r/c$ ) e la percentuale di austenite residua.

È stata utilizzata una macchina di collaudo di cuscinetti assiali per valutare la resistenza a fatica da rotolamento. La sezione mandrino della macchina con il campione del test sono illustrati in Fig. 3.

### Procedimento

1. Sono stati preparati campioni di prova a forma di rondella, con diversi valori di durezza ed austenite residua, utilizzando un'ampia gamma di materiali e di trattamenti termici.
2. Una prova Vickers è stata eseguita su ogni pista di rotolamento da testare.
3. Sono stati misurati i valori di  $r$  e  $c$  creati dall'indentatura.
4. Ogni pista è stata inserita nella macchina di collaudo e sommersa in bagno d'olio. Sono state applicate condizioni di sforzo attraverso sfere d'acciaio sopra l'indentatura con un carico specifico.
5. Il perimetro dell'indentatura è stato tracciato dopo aver rimosso il campione di prova dalla macchina di collaudo.

L'analisi di  $r/c$  rispetto ai cicli del test ha mostrato che il valore di  $r/c$  si è stabilizzato dopo 3.000 cicli. Dopo un minuto (3.000 cicli) di test, il valore di  $r/c$  è aumentato registrando una percentuale superiore di austenite residua. Il limite superiore di austenite residua, di cui si parlerà più avanti, è controllato dalla stabilità dimensionale.

Il test è stato eseguito con tre campioni differenti. Il PRIMO campione conteneva il 32% di austenite residua e una durezza HV802. Il SECONDO campione era caratterizzato da una percentuale del 33% di austenite residua e da una durezza HV716. Il TERZO campione conteneva il 10% di austenite residua ed una durezza HV739. Confrontando il primo campione con il secondo ed il terzo, è stato possibile notare che lo stress ripetuto genera un valore  $r/c$  superiore nei materiali con durezza maggiore.

Inoltre la distensione dallo stress per i materiali con durezza inferiore e con una percentuale minore di austenite residua viene portata a termine in un tempo relativamente breve (poche migliaia di cicli). Per i materiali più duri e con una percentuale maggiore di austenite residua la distensione dallo stress richiede più tempo dato che il valore  $r/c$  continua a crescere.

### Nuovi requisiti per i materiali

Dato che l'austenite residua è duttile, è difficile produrre un pezzo con un valore elevato di durezza e con un'elevata presenza di austenite residua. Di conseguenza, sono necessari materiali con nuove specifiche. Sono stati sviluppati trattamenti termici innovativi per garantire agli acciai caratteristiche speciali.

Aumentando il contenuto di cromo dell'acciaio, con un conseguente aumento di carburi e carbo-nitruri distribuiti nella matrice dell'acciaio, sono state raggiunte le caratteristiche desiderate.

I trattamenti termici tradizionali non sono in grado di garantire le specifiche richieste dal mercato.

Per tradizionali si intendono acciai cementati o cuscinetti a tutta tempra, dato che le loro prestazioni sono simili negli ambienti contaminati.

I nuovi trattamenti termici sono stati sviluppati per raffinare i carburi o i carbo-nitruri dopo la carburazione o carbo-nitrurazione.

Sulla base dei risultati di questi studi, sono state formulate le specifiche del nuovo acciaio Tough Steel™.

Tali specifiche includono i seguenti elementi:

C	Si	Mn	Cr
0.42%	0.39%	1.24%	1.23%

### Prova della durata a fatica

Un ulteriore test è stato effettuato sui cuscinetti assiali in condizioni di lubrificazione contaminata.

I risultati mostrano che un aumento controllato del volume di austenite residua garantisce una maggiore durata. Inoltre, se il volume dell'austenite residua viene mantenuto ma la durezza aumenta, si ottiene una durata ancora più estesa.

Per dimostrare i parametri richiesti, i cuscinetti sono stati realizzati con il materiale in questione e sono stati testati con lubrificazione contaminata.

Il metodo utilizzato per tale valutazione è illustrato nella **Fig. 4**. I cuscinetti sono stati testati con olio contaminato. Gli elementi contaminanti sono stati aggiunti all'olio per consentirne la penetrazione nel cuscinetto da testare.

La temperatura dell'olio è stata controllata per mantenere la viscosità. I cuscinetti Tough Steel™ hanno garantito una durata 7-11 volte superiore rispetto ai cuscinetti standard in acciaio da cementazione o ai cuscinetti a rulli conici a tutta tempra.

I test di durata dei cuscinetti radiali rigidi a sfere hanno dimostrato che Tough Steel™ garantisce una durata 6 volte superiore rispetto ai cuscinetti standard.

### Progressione della fatica

Per analizzare la durata dei cuscinetti, sono stati effettuati i seguenti test utilizzando una comune apparecchiatura di collaudo. Durante i test di durata, attraverso la "Analisi della Fatica", sono stati misurati ad intervalli regolari i progressi della fatica sulla superficie della pista di rotolamento. "L'Analisi della Fatica" è un metodo esclusivo sviluppato da NSK.

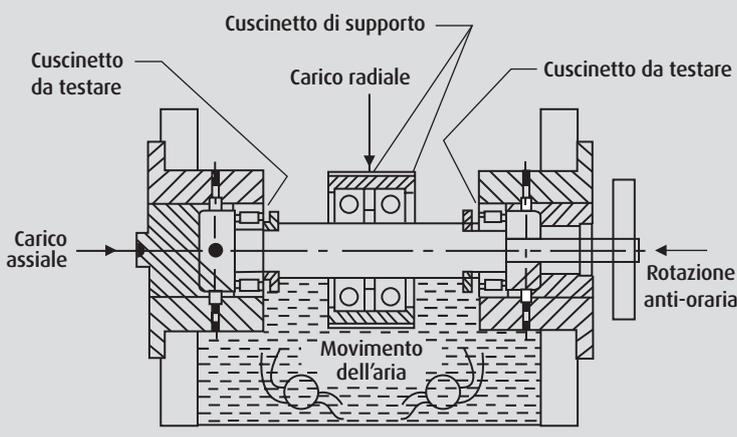
Utilizzando la tecnologia a diffrazione di raggi X, NSK ha determinato le fasi di fatica del materiale con un metodo semi-quantitativo. Con l'avanzamento della fatica, si verifica un cambiamento nella struttura del cristallo martensitico e l'austenite residua si trasforma in martensite. Misurando entrambi i fattori con i raggi X è possibile determinare il tipo di fatica (origine superficiale o sub-superficiale) e la fase di avanzamento della stessa. Con "L'Analisi della Fatica" è possibile effettuare un'ispezione distruttiva o non-distruttiva.

Dopo un intervallo specifico per ogni test è stata eseguita un'ispezione non-distruttiva. I raggi X sono stati utilizzati sulla superficie di contatto e sono stati valutati i cambiamenti nella struttura del materiale.

Dopo il test di durata, è stata eseguita un'ispezione distruttiva utilizzando l'analisi a raggi X. Per fare questo, è necessario rimuovere strati sottili del materiale del cuscinetto nella zona dell'indentatura e esaminare i cambiamenti strutturali del materiale. Questa prova ha rivelato che in presenza delle medesime condizioni di esercizio e dello stesso carico, i cuscinetti Tough Steel™ hanno garantito una progressione più lenta della fatica rispetto ai cuscinetti standard.

Il test è iniziato con un'indentatura modello ed è stato condotto fino al verificarsi dello sfaldamento sulla pista di rotolamento del cuscinetto. È stato utilizzato un penetratore Vickers sulla superficie. In seguito, è stato misurato il perimetro dell'indentatura.

**Figura 4: Metodo per cuscinetti in presenza di lubrificazione contaminata**



Il cuscinetto è stato sottoposto ad un carico ed è stato eseguito un test di durata con lubrificazione pulita. A un intervallo specifico, i cuscinetti sono stati rimossi dall'apparecchiatura di collaudo. La superficie è stata osservata al microscopio ed è stato misurato il perimetro dell'indentatura. Il processo è stato ripetuto fino al verificarsi dello sfaldamento.

NSK ha poi notato il punto di origine della cricca e dell'area dello sfaldamento nei cuscinetti Tough Steel™ e standard. Nel cuscinetto Tough Steel™ la frattura è stata ritardata e anche la progressione dello sfaldamento è stata rallentata.

I risultati del test hanno rivelato che i cuscinetti Tough Steel™ hanno un raggio maggiore dell'apice dell'incisione rispetto ai cuscinetti standard. I risultati hanno dimostrato che i cuscinetti Tough Steel™ hanno una durata superiore in presenza di condizioni contaminate, data la minor concentrazione di stress allo spallamento dell'indentatura. Questa differenza nella forma del raggio è il motivo che rende i cuscinetti Tough Steel™ più longevi in ambienti di esercizio contaminati.

### Resistenza all'usura e limite di grippaggio

I cuscinetti Tough Steel™ hanno un maggior numero di carburi fini e carbo-nitrucci che garantiscono una resistenza superiore all'usura ed al grippaggio. I risultati dei test relativi alla resistenza all'usura ed al limite di grippaggio sono stati forniti da una macchina per le prove di usura con metodo Skoda-Sawin.

I risultati hanno dimostrato che il materiale dei cuscinetti Tough Steel™ è meno soggetto ad usura e ha un limite superiore di grippaggio rispetto allo standard grazie al materiale temprato a fondo ed alla cementazione. Anche se il carico utilizzato sembra leggero, la pressione massima di contatto superficiale è 98 N/mm<sup>2</sup>. La macchina per le prove di usura con metodo Skoda-Sawin è stata utilizzata perché è in grado di simulare anche condizioni senza lubrificazione. Ciò è utile per individuare il punto di passaggio da usura lieve a usura grave che viene riconosciuto come limite di grippaggio.

### Stabilità dimensionale

Un'altra caratteristica importante per il materiale del cuscinetto è la stabilità dimensionale. Diversi cuscinetti a rulli conici sono stati testati utilizzando Tough Steel™, acciaio temprato al cuore e da cementazione. Il diametro esterno del cuscinetto L44610 utilizzato per questo test è 50.292 mm.

Campioni di cinque tipi di materiali sono stati inseriti in un forno a 130°C per 4.000 ore ed, in seguito, sono stati misurati i diametri esterni dei cuscinetti. Altri cinque campioni di materiali sono stati scaldati in forno a 170°C per 1.000 ore. In seguito sono stati misurati i diametri esterni dei cuscinetti. La stabilità dimensionale di Tough Steel™ si colloca tra quella dei cuscinetti temprati a fondo e quella dei cuscinetti in acciaio da cementazione.

I risultati dei cuscinetti in acciaio da cementazione, carburato o carbo-nitrucci, sono stati confrontati con quelli dei cuscinetti Tough Steel™. Il cuscinetto carburato ha dato risultati simili al cuscinetto Tough Steel™ ma il cuscinetto carbo-nitrucci ha registrato un'espansione molto marcata dell'anello esterno in entrambi i range di temperatura.

### Conclusione

1. Per i cuscinetti utilizzati in applicazioni con lubrificazione contaminata, come nel settore estrattivo, degli aggregati, del cemento e nelle acciaierie, un materiale con un elevato livello di austenite residua ed una maggiore durezza garantisce una durata di esercizio superiore.
2. Per garantire queste caratteristiche sono stati sviluppate nuove specifiche per l'acciaio e trattamenti termici altamente controllati per realizzare il materiale Tough Steel™.
3. I cuscinetti Tough Steel™ hanno garantito una durata 6 volte superiore rispetto ai cuscinetti standard in condizioni simili di contaminazione e di carico.
4. I cuscinetti Tough Steel™ hanno una durata a fatica con progressione più lenta. Le prime cricche compaiono più tardi e la propagazione è più lenta nello spallamento dell'indentatura.
5. I cuscinetti Tough Steel™ hanno garantito una durata 8 volte superiore rispetto ai cuscinetti standard nei test di durata effettiva.
6. I cuscinetti Tough Steel™ offrono una maggiore resistenza all'usura ed al grippaggio.
7. La stabilità dimensionale si trova tra quella dei materiali temprati al cuore e quella dei materiali da cementazione.

- 
1. Murakami, Y. and Matsumoto, Y. "Study of Long Life Bearing Materials" Preprints of JAST Tribology Conference, Okayama, (1988) 297 - 300. [in Japanese]
  2. Chiu, Y.P. and Liu, J.Y. "An Analytical Study of the Stress Concentration Around a Furrow Shaped Surface Perfect in Rolling Contact," Trans. ASME, JOLT, (1970) 258-263.
  3. Tanaka, E, Furumura, K, and Ohkuma, T. "Highly Extended Life of Transmission Bearings of Sealed-Clean Concept," SAE Paper 830570 (1983).
  4. Yasuo Murakami and Takaaki Shiratani "Fighting Debris: Increasing Life with HTF Bearings for Transmissions," SAE Paper No. 940728 (1984)

---

Per maggiori informazioni visitare il sito  
[www.nsk-europe.com](http://www.nsk-europe.com)