

# 高容量円すいころ軸受(KEⅡ円すいころ軸受)の開発

## Development of High-capacity Tapered Roller Bearing (KEⅡ)

後藤将夫 M. GOTOH

Longer service life of rolling bearing is one of effective factors to achieve improved reliability, weight reduction and downsizing. This paper introduces new tapered roller bearing applying improved surface property, realized by newly developed heat treatment.

**Key Words:** rolling bearing, heat treatment, carburizing, carbide dispersion, fatigue life

### 1. はじめに

転がり軸受の長寿命化は使用ユニットの長寿命化や信頼性向上はもちろんのこと、軽量化やコンパクト化に対しても有効な手段となっている。すなわち、転がり軸受に関しては長寿命化は高容量化ということもできる。

転がり軸受(以下軸受と称す)の主たる故障原因ははく離であるが、図1のようにおおまかに4種のはく離モードに分けることができる。

潤滑が良好な場合には、転走面直下に存在する非金属介在物等の内部欠陥を起点とした内部起点はく離となる。ところが、潤滑油中に異物が混入するような場合には、軌道表面を起点とした圧痕起点はく離や表層はく離などが発生し、しかも潤滑が良好な場合と比較して著しく寿命が低下する

のが一般的である。

例えば、自動車や産業機械などのトランスミッションやデファレンシャルなど転がり軸受がギヤなどの他部品と潤滑を共用する場合には、その摩耗粉などの硬質異物が潤滑油中に混入することが避けられず、その長寿命対策がたいへん重要となっている。このような環境下で使用される転がり軸受の寿命向上に対しては、すべてのはく離モードに対する対策をとることが必要である。

これまで当社では、内部起点はく離に対しては、はく離の起点となる非金属介在物の低減、他の表面起点のはく離に対しては、転がり面の高硬度化や残留オーステナイトの適正化が有効であることを確認し寿命向上を図ってきた<sup>2), 3)</sup>(KE軸受)。

近年、さらなる長寿命化のニーズに対応するために、従来からの技術に加えて高濃度浸炭による

Modes	FLAKING IN CONTAMINATED OIL			FLAKING IN CLEAN OIL
	FLAKING INITIATED FROM SURFACE			FLAKING INITIATED FROM SUB-SURFACE
	PEELING	MIXED FLAKING	FLAKING FROM DENT	
Appearance				
Mechanism	<p>Abrasive wear by small and hard particles</p>	<p>Abrasive wear by small hard particles, and plastic deformation by large hard particles</p>	<p>Plastic deformation caused by outside force or large and hard particles</p>	<p>Material defect at maximum shear stress</p>

図1 軸受はく離モード<sup>1)</sup>  
Bearing flaking modes

炭化物の分散強化効果を加えた長寿命化技術を開発し、円すいころ軸受に適用した(KEII円すいころ軸受)ので以下にその内容を紹介します。

## 2. 表面起点はく離発生過程とその対策

図1の4種のはく離モードのうち表層はく離～圧痕起点はく離までの3種は寿命が著しく低下する表面起点はく離である。このうち、混合はく離は表層はく離と圧痕起点はく離の混合型であるので、ここでは表層はく離および圧痕起点はく離の発生過程とその寿命向上対策について述べる。

### 2.1 表層はく離の発生過程と寿命向上対策

表層はく離は比較的小さな硬い異物が潤滑油に混入した場合に発生しやすく、アブレッシブ摩耗に近いものと考えられる。このような摩耗に対しては表面硬さを上げることと材料基地中の炭素量の増加が有効な対策となる<sup>2)</sup>。これらの対策での表層はく離に対する有効性を検討するため、高濃度浸炭を含む種々の浸炭処理条件で表面硬さと基地中の炭素量を変化させた浸炭軸受を製作し、図2に示す試験機で表層はく離寿命の評価を実施した。結果を図3に示す。

表面硬さや基地炭素量の増加に伴い表層はく離寿命が増加していることがわかる。図中で  $\Delta$  が高濃度浸炭処理品、 $\circ$  および  $\square$  が通常の浸炭処理品であるが、高表面硬さ・高炭素量が得やすい高濃度浸炭処理は表層はく離寿命向上に有効な処理であることが確認された。

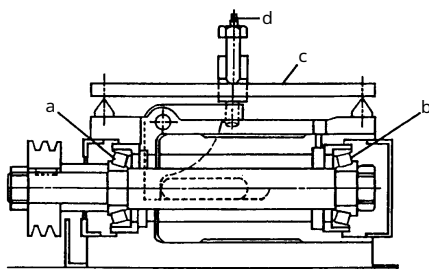


図2 評価試験機  
Test equipment

Test condition	
Load	Fa = 12.6kN
Speed	2 000min <sup>-1</sup>
Lubricant	Turbin oil (VG68)
Debris	Amount : 0.12wt% Hardness: 830HV Size ave. : 27um Max.: 50um

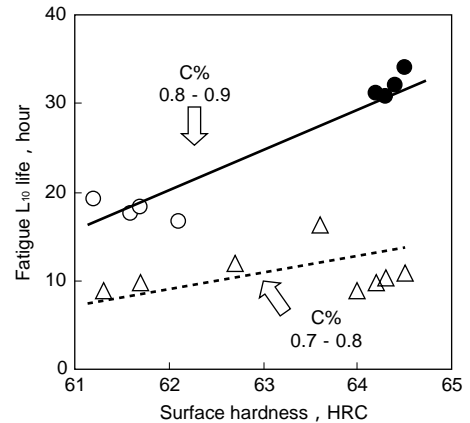


図3 表面硬さ、基地中炭素量のL<sub>10</sub>寿命への影響  
Effect of surface hardness and matrix C% on L<sub>10</sub> life

### 2.2 圧痕起点はく離の発生過程とその対策

潤滑油中に比較的大きく硬い異物が混入し軸受運転中に異物を噛み込んだ場合、軌道面に圧痕が形成される。圧痕起点はく離はこのように形成された圧痕の縁の盛り上がり部に発生する応力集中が原因で起こる<sup>4)</sup>。したがって、圧痕起点はく離寿命を向上させるためには異物噛み込み時の盛り上がり高さをできるだけ低くすることが必要であり、さらにはその盛り上がり高さが軸受運転中に減少していくことが重要である<sup>2), 3)</sup>。

軌道面での圧痕形成時の縁の盛り上がり高さを低くする手段としては軌道表面の硬さを硬く、残留オーステナイト量を多くすることが有効である<sup>3)</sup>。図4に種々の浸炭条件で表面硬さと残留オーステナイト量を変化させた軸受軌道にピッカーズ圧子を一定荷重で押し付けた場合の盛り上がり部の高さ比(表面硬さ62.5HRC, 残留オーステナイト量23%を1とする)を示す。

図4に示す通り、表面硬さが硬く残留オーステナイト量が多いほど盛り上がり高さ比が小さくなっていることがわかる。図中で高濃度浸炭処理品を  $\Delta$  で示しているが、高硬度表面と多量の残留オーステナイトが得られる高濃度浸炭処理は圧痕形成時についても有利な処理であることが確認された。

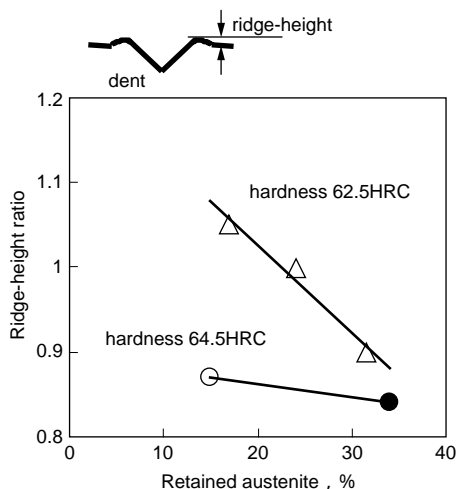


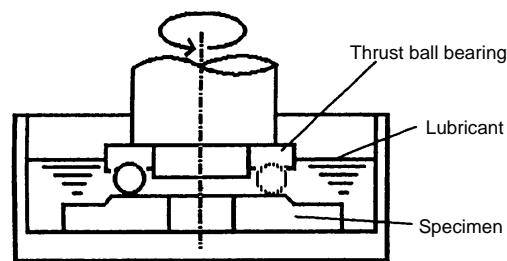
図4 表面硬さと残留オーステナイトの盛り上がり高さ比への影響

Effect of surface hardness and retained austenite on ridge-height ratio

ただし、圧痕形成後の繰返し転動負荷による盛り上がり高さの減少については、残留オーステナイト量が多いと盛り上がり部分の加工硬化が顕著となり盛り上がり高さが減少しにくいという実験結果がある<sup>3)</sup>。この点において、高濃度浸炭処理品と一般的な浸炭処理品を用いて再度検証した。

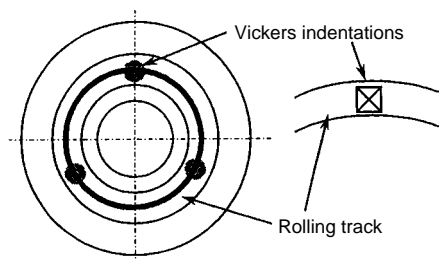
図5に示すように、(a)のようなスラスト型転動疲労試験機を用いて高濃度浸炭処理品(試料A)と一般浸炭処理品(試料B)について(b)のように試料の軌道上に490Nのビッカース圧痕を付け、その上を鋼球(3/8インチ)が繰返し転動負荷した場合のビッカース圧痕の縁の盛り上がり高さの経時変化を評価した。試料の性状および評価結果を図6に示す。

両試料とも応力繰返し数が大きくなるに従い盛り上がり高さが減少しているが、減少量は残留オーステナイト量の多い試料Aのほうが大きくなっており、高濃度浸炭処理品の優位性が確認された。しかしながらこの結果は前出の実験結果と異なる傾向を示す。この理由としてはA・Bの性状の相違点として炭化物の有無があり、それが本結果に影響しているものと推測される。一つの可能性として炭化物が残留オーステナイトの安定化に寄与していることが考えられるが、詳細についてはさらに検討が必要である。



Contact stress : 5.24GPa  
Number of balls: 3pcs.  
Lubricant : Spindle oil #60  
Speed : 1 200min<sup>-1</sup>

(a)Thrust type rolling fatigue test equipment



(b)Specimen

図5 評価試験機と試験片  
Test equipment and specimen

	carbide area fraction	surface hardness	amount of retained austenite
A	10%	65HRC	30%
B	less than 1%	65HRC	20%

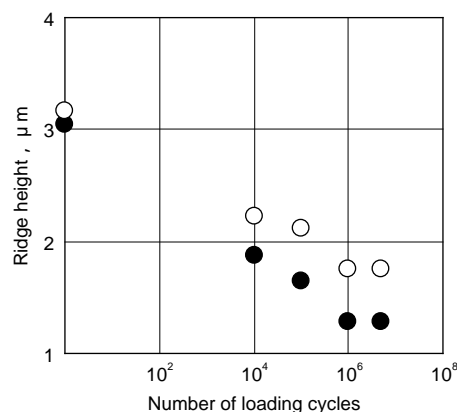


図6 繰返し転動負荷時の盛り上がり高さ変化  
Change of ridge height under rolling cycle

### 3. 高濃度浸炭処理の軸受への適用

これまで述べてきたように高濃度浸炭処理は特に表面起点はく離の抑制に対して有利であるが、一方で析出炭化物が疲労強度低下に大きな影響を与えるという報告もある<sup>5)</sup>。また、軸受の転動疲労寿命においても高濃度浸炭処理により発生する粗大炭化物が寿命に悪影響を及ぼすことが報告されており<sup>6)</sup>、軸受への適用については炭化物を細

かく均一に分散させる形態制御技術が必要となる。そのためには、処理時の雰囲気制御や加熱・冷却制御が重要であり、さらにはそれらの処理制御を容易にするような材料面での開発も重要となる。炭化物の形態制御を容易にし、さらには軸受用鋼として基本的な要求である非金属介在物の低減を容易にするために、できるだけ高合金成分を避けた成分設計の軸受用高纯净度高濃度浸炭用鋼を開発した。これらの熱処理技術・材料開発により図7のような微細な軸受に適した熱処理組織を得ることができた。

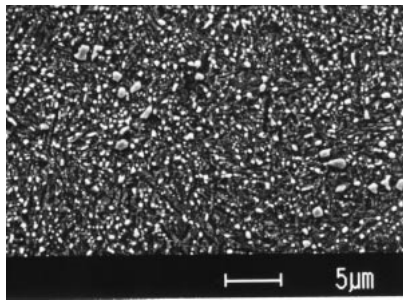


図7 開発熱処理組織

Microstructure of developed heat treatment

図8に高濃度浸炭処理を軸受に適用した場合の寿命向上の考え方を示す。

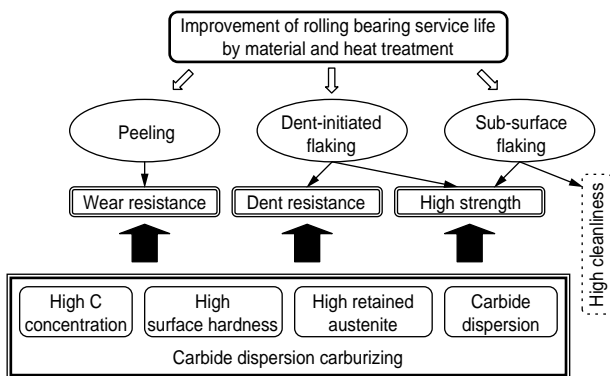


図8 高濃度浸炭処理による軸受の寿命向上

Improvement of rolling bearing life by carbide dispersion carburizing

軸受のはく離寿命向上のためには、表層はく離・圧痕起点はく離・内部起点はく離等すべてのはく離形態に対する寿命向上対策が必要であるが、材料として向上させるべき特性として耐摩耗性・耐圧痕性・強度・非金属介在物の低減、微細化が挙げられる。高濃度浸炭処理を適用することで高炭素量・高表面硬さ・高残留オーステナイト・炭化物析出の効果により耐摩耗性・耐圧痕性の向上、高強度を達成し、これに高纯净度の素材を組み合わせることにより、すべてのはく離形態

に対する長寿命軸受を得ることができる。

今回この技術を円すいころ軸受に適用し高容量円すいころ軸受を開発することができた。

#### 4. 高容量円すいころ軸受の寿命性能

今回開発した軸受の寿命評価を図9のような軸受寿命試験機で実施した。清浄油中での結果を図10に、異物混入油中での結果を図11に示す。従来軸受と比較すると清浄油中では約4倍、異物混入油中では約15倍の寿命向上が認められた。

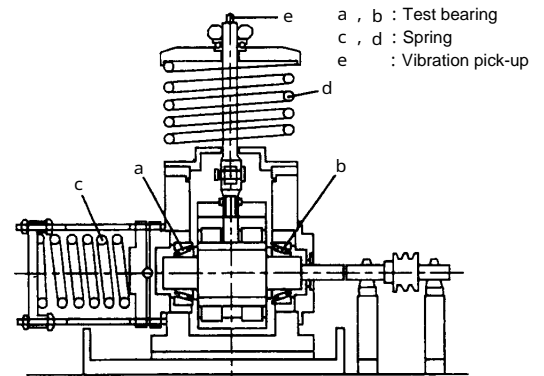


図9 軸受寿命試験機

Bearing life test equipment

Test condition	
Test Brg.	TRB (O. D. 72mm, I. D. 30mm)
Load	Fr = 20.6kN, Fa = 13.7kN
Speed	2 000min <sup>-1</sup>
Lubricant	Turbin oil (VG68)

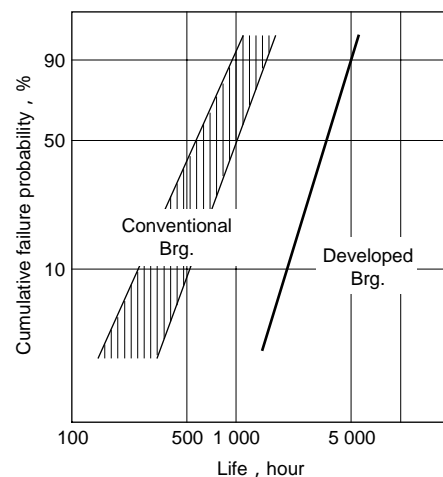


図10 開発軸受の清浄油中寿命

Developed bearing life in clean lubrication

Test condition			
Test Brg.	TRA0607RYR		
Load	Fr = 20.6kN , Fa = 13.7kN		
Speed	2 000min <sup>-1</sup>		
Lubricant	Gear oil (85W90)		
Debris	Amount	0.06wt%	0.06wt%
	Hardness	830HV	700HV
	Size ave.	27um	125um
	max	50um	150um

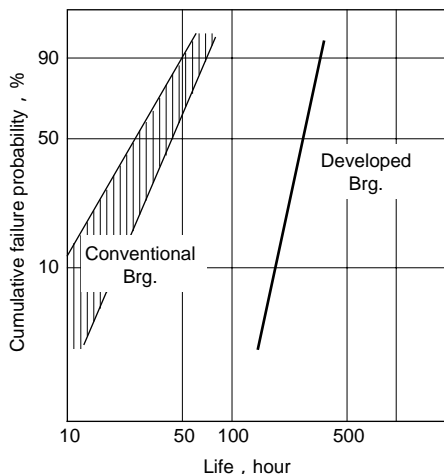


図11 開発軸受の異物混入油中寿命

Life of developed bearing in contaminated lubricant

### 5. おわりに

高濃度浸炭処理を円すいころ軸受に適用することにより、高容量円すいころ軸受(KEⅡ円すいころ軸受)を開発することができた。

高濃度浸炭処理は耐摩耗性・耐圧痕性の向上、高強度を得やすく円すいころ軸受に限らずはく離寿命の向上に有利な処理であり、今後他品種・他部品への展開が期待される。

### 参考文献

- 1) Koyo seiko co., ltd.:KOYO LONG LIFE BEARINGS, CAT. no. 198E (1996).
- 2) K. Toda, T. Mikami, T. M. Jhone:SAE Technical Paper 921721 (1992).
- 3) 戸田一寿, 三上 剛, 星野照男:日本金属学会誌, vol. 58, no. 12(1994)1473.
- 4) 戸田一寿, 三上 剛, 星野照男:トライボロジスト, vol. 38, no. 6(1993)526.
- 5) 瓜生英樹, 黒島義人, 原田昭治:日本機械学会論文集A, 61(1993)2109.
- 6) 戸田一寿, 星野照男:トライボロジスト, vol. 43, no. 6(1998)522.

### 筆者



後藤将夫\*  
M. GOTOH

\* 総合技術研究所 基礎技術研究部