

長寿命耐錆軸受用浸炭鋼の開発

Development of Long Life Case-Hardened Bearing Steel with Rust Resistance

後藤将夫 M. GOTO

Customers are requiring rolling bearings whose function has been improved through enhanced materials and heat treatment for use in maintenance-free and high-function steelmaking equipment. In response to such demand, a case-hardened steel for bearings with superior rust resistance has been developed.

Key Words: rolling bearing, rust-resistant, steelmaking application, case-hardened steel

1. はじめに

軸受の長寿命化にとって軌道輪、転動体材料、およびこれらの熱処理方法の改善が最も有効な手段である。鉄鋼設備用の転がり軸受では、メンテナンスフリー化や設備の高機能化に対応するため、軸受材料や熱処理による高性能化が要求され、一般的な転がり疲労寿命に加えて高靱性、耐錆性、耐摩耗性などが求められる用途が多い。中でも圧延機用ロールネック軸受においてはその過酷な使用環境からコンパクトで負荷容量の大きい密封型四列円すいころ軸受が多く使われている。これらは密封性能も改善されてきている¹⁾が、圧延油からの水分や周囲環境の粉じんなどの潤滑剤への混入を完全には防止できず、一般的な疲労寿命向上に加えて錆や異物混入による表面損傷からはく離に対しても材料面での有効な対策が望まれてきた。特に錆については稼動（回転）時の問題だけではなく、停止時の置き錆や軌道輪と転動体接触部のすきま腐食の問題も含め早期の対策が必要とされている。

今回、鉄鋼設備用転がり軸受に適した材料と熱処理を検討し、長寿命で耐錆性に優れたはだ焼軸受鋼を開発したので以下に報告する。

2. 鉄鋼設備用軸受への要求特性とその対策

これまでの鉄鋼設備用軸受の破損例を種々調査した結果、一般的な転がり軸受への要求特性に加えて特に以下の特性が重要であることが明らかとなった。これらをも

とに一般的に鉄鋼設備用軸受に多く使用される SNCM 系材料の合金成分について効果を検討した。

1) 転がり疲労寿命

Si・Ni・Cr・Moなどが影響すると考えられるが、Crの効果が大きいとされている。

2) 耐割損性

内部の靱性をもたせることが最も効果があるため、0.2% C程度のはだ焼鋼を使用することが効果的である。また、材料への添加元素としてはNi・Moのような靱性を向上させる元素をある程度多く添加することが有効と考えられる。

3) 耐荷重性

重荷重に対して変形を抑制することが必要であるが、それにはSi・Ni添加によるマトリクス強化が有効と考えられる。

4) 耐摩耗性

Siによる強化も有効ではあるが、Cr・Mo添加による炭化物系析出物による効果が大きいと考えられる。

5) 耐錆性

Ni・Crが効果的であると考えられる。また、表面熱処理により窒素を固溶させることによる効果も期待される。

なお、上記内容²⁾は一般的に鉄鋼材料に対して構成元素がどのような効果を示すかを記述しているにすぎず、実際の効果については後の熱処理に大きく依存する。そこで、まず、各元素の影響を確認するために実際に鋼材を試作し、転がり軸受としての使用に必要な表面強度を出すための熱処理後の特性を評価することにした。

なお、本開発においては5)の耐錆性の向上を最優先に進めることにした。このため、以降の試作は1)~5)の性能がある程度見込める SNCM 系はだ焼鋼を基準に実施し、Si・Ni・Cr・Moの錆に及ぼす影響について確認した。

3. 試作材の耐錆性評価

3.1 試作材

耐錆性に対する各元素の影響を評価するため、表1に示す6種の鋼材を試作した。SAE9310鋼に準じた試作材A鋼を基準に相対評価した。

表1 試作材化学成分(抜粋：%)
Chemical components of trial materials

	C	Si	Ni	Cr	Mo	備考
A	0.2	0.25	3.0	1.2	0.3	ベース鋼： SAE9310類似 (C→0.2)
B	0.2	0.25	2.0	1.2	0.3	Ni減
C	0.2	0.25	1.5	1.2	0.5	Ni減, Mo増
D	0.2	0.25	2.0	1.5	0.5	Ni減, Cr・Mo増
E	0.2	0.25	1.5	2.0	0.8	Ni減, Cr・Mo増
F	0.2	0.45	2.0	1.5	0.3	Si, Cr増

表1の各成分材料を用いてφ20×36mm円筒型のテストピースを製作した。テストピースは熱処理後表面を研削仕上げの上、以下の耐錆試験に供した。なお、熱処理については一般的にはだ焼鋼軸受に適用される浸炭処理条件および窒素固溶の効果を確認するために浸炭後にさらに浸炭窒化を実施した二条件のテストピースを準備した。

図1にそれぞれの熱処理条件を示す。

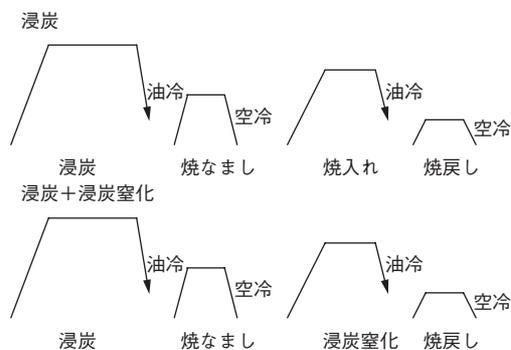


図1 テストピースの熱処理
Heat treatment of specimens

3.2 湿潤試験

今回の耐錆性評価の目的としては、主に水分が原因で生じる錆に対する影響を見極めることとし、高湿度環境下において、表面の発錆状況と置き治具(材質：SUJ2)との接触部分の発錆状況(軌道輪と転動体の接触部分のすきま腐食を想定)を評価するような湿潤試験条件で評価した。試験機・条件等はJISK 2246に準拠した。

表2の条件で恒温・恒湿の槽内に

- 1) 円筒型テストピースを縦置き
- 2) 治具(Vブロック)に円筒型テストピースを横置き

の2種の置き方で規定時間静置し、1)は表面の発錆状態、2)は治具-テストピース間接触部のすきま腐食状態を観察・相対評価した。

表2 湿潤試験条件

Test conditions of humidity cabinet test

試験温度	相対湿度	試験時間
49℃ ± 1℃	95%以上	96時間

評価は表面発錆、すきま腐食それぞれに対してA鋼の浸炭テストピースを評点3として、評点1~5の間で比較評価した。評価結果を表3に、実際の評価例として96時間後の各テストピースの発錆状況、すきま腐食状況をそれぞれ図2、図3に示す。

表3 湿潤試験評価結果

Humidity cabinet test results

熱処理	鋼種	表面発錆	すきま腐食
浸炭	A	3	3
	B	3	2
	C	2	3
	D	4	3
	E	4	4
	F	3	4
浸炭+ 浸炭窒化	A	5	4
	B	5	5
	C	5	5
	D	5	5
	E	5	5
	F	4	5

A鋼浸炭を3とし、1:劣る、2:やや劣る、4:やや優れる、5:優れる

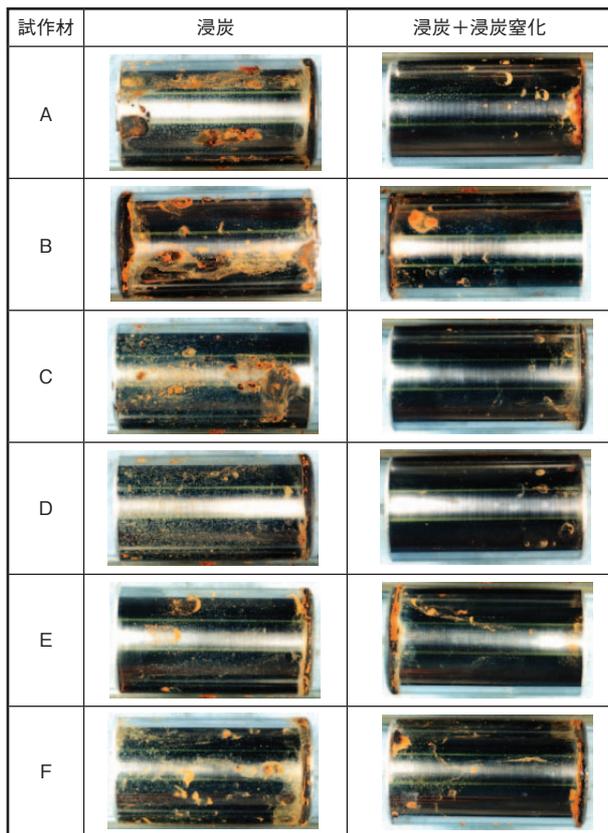


図2 湿潤試験後（96時間）の表面発錆状況
States of surface rust after humidity cabinet test

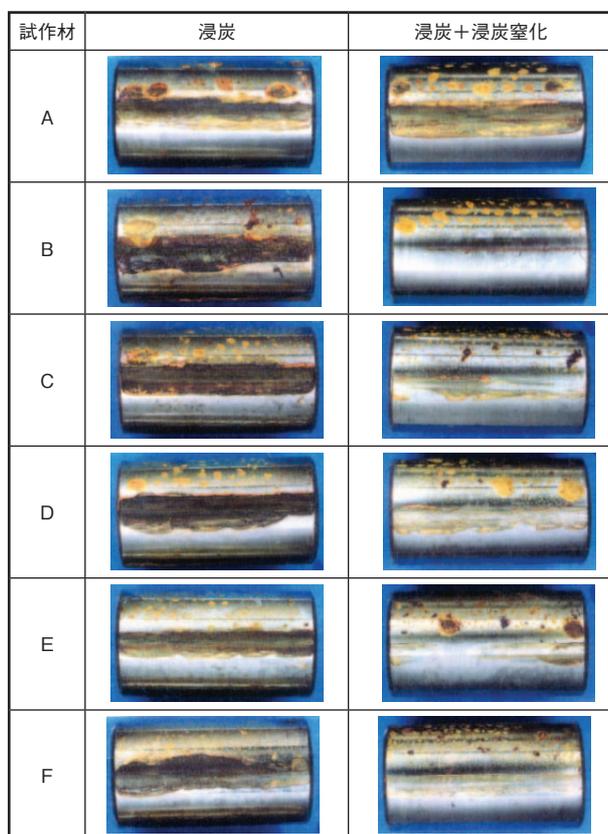


図3 湿潤試験後（96時間）のすきま腐食状況
States of crevice corrosion after humidity cabinet test

表3に示すように、浸炭窒化処理を施した場合にはどの試作材でも耐錆性に優れていることがわかる。すなわち、耐錆性向上のためには表面に窒素を固溶させることが有効であることがわかる。

ここで注目すべきは浸炭処理での結果である。D・E・F鋼において、比較ベース材Aに比べてNi含有量が低くCr含有量が高い鋼種の耐錆性が優れていることである。NiはCrに対して比較的高価な元素であり、できるかぎり最少限度の添加量とすることが望ましい。そこで、今回最も評点の高かったE鋼に対してさらにNi・Crの添加量を変化させた試作鋼を用意し同様の評価を追加することにより、耐錆性に対するNi・Cr量の影響を整理した。

その結果を図4に示す。

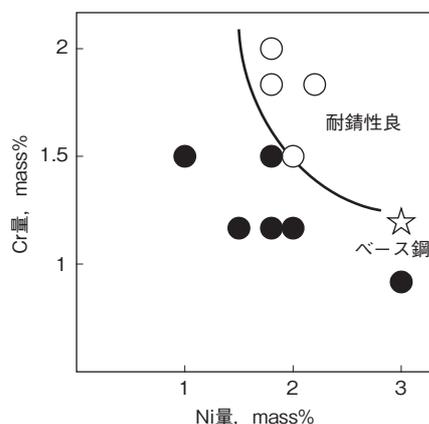


図4 Ni・Cr含有量の耐錆性への影響
Effects of nickel and chromium content on rust resistance

浸炭軸受への耐錆性向上の方策としてはCr、Niの複合添加が必要とされるが、今回のテスト結果より、高価なNiの添加量を減らしてもCr添加量の増加により同等の耐錆性を確保することが可能であることがわかった。

今回の開発においては浸炭・浸炭窒化における熱処理性を考慮し、Cr添加量を2%以下に設定することを前提として図4に基づきNi添加量を検討した。

4. 耐錆はだ焼軸受用鋼の基本性能

第3章までの耐錆性検討の結果をもとに疲労強度、靱性向上を目的とした転がり軸受用のニッケルクロムモリブデン鋼を開発した。開発鋼の基本性能評価結果を従来鋼と比較して以下に示す。なお、本鋼の熱処理については浸炭処理を基本としているが、耐錆性、疲労寿命が強く要求される場合を想定した浸炭窒化処理品も対応可能である。

(1) 靱性

靱性の評価は、シャルピー衝撃値および破壊靱性値で行い、その比較結果を表4に示す。

表4 衝撃値・破壊靱性値比較 (内部)
Charpy impact value and fracture toughness

試験材料	シャルピー衝撃値, J/cm ²	破壊靱性値, MPa · m ^{1/2}
開発鋼	46 ~ 58	98 ~ 115
従来鋼	40 ~ 52	85 ~ 93

(JIS4号Vノッチ試験片) (61 × 64 × 12.5 CT試験片)

開発鋼では従来鋼と比較してMoを多く添加しており、Ni・Cr添加量のバランスも良いことから、靱性の向上が期待できる。

(2) 耐錆性

転動体の耐錆性の比較を図5に示す。

第3章で示したNi・Cr添加量の最適化により従来鋼より優れた耐錆性能を有する。また、浸炭窒化処理によるさらなる優位性も確認できた。

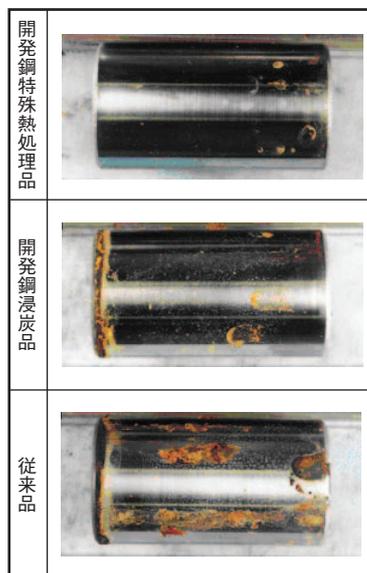
(3) 転がり疲労寿命

転がり疲労寿命の比較を図6に示す。

開発鋼では合金成分添加量の見直しにより、従来鋼に対して転がり疲労寿命も向上した。今回の評価条件においては開発鋼の採用により4倍、さらに浸炭窒化処理の採用により7倍の寿命向上が期待できる。

試験条件

試験温度	相対湿度	試験時間
49°C ± 1°C	95%以上	96時間



特殊熱処理：浸炭+浸炭窒化

図5 耐錆性比較 (湿潤試験)
Rust resistance (humidity cabinet test)

寿命試験条件

テストピース形状	φ20 × l36
最大接触応力	5 800MPa
応力繰返し速度	285Hz
潤滑油	タービン油 (VG68)
給油量	2 l/min (室温)

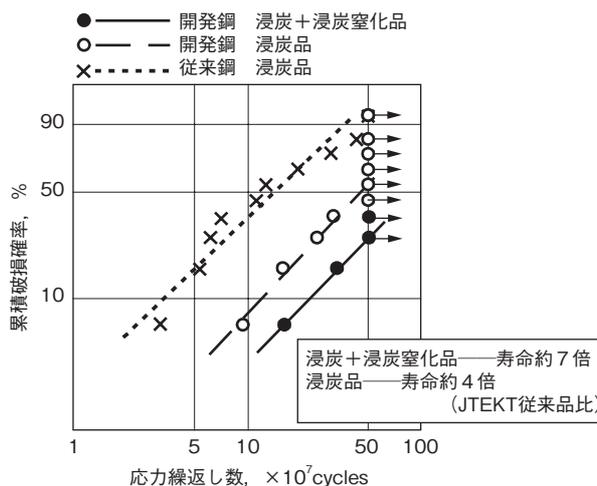


図6 転がり疲労寿命試験結果
Results of rolling fatigue life test

5. まとめ

開発した耐錆はだ焼軸受用鋼は従来鋼と比較して特に鉄鋼設備用軸受として重要な特性である転がり寿命，靱性，耐錆性に優れていることが確認できた。また，熱処理技術対策の組合せにより更なる高性能化が可能である。本鋼を採用することにより鉄鋼設備用軸受の長寿命化，メンテナンスインターバルの長期化に寄与するものと期待できる。

参考文献

- 1) 鮫島喜栄智: Koyo Engineering Journal, no. 163 (2003) 16.
- 2) 日本学術振興会: 鉄鋼と合金元素, 誠文堂新光社(1971).

筆者



後藤将夫*
M. GOTO

* 研究開発センター 材料技術研究部