

フィルム製造装置用長寿命高耐食軸受の開発

Development of a Long Life and High Corrosion-resistant Bearing for Film Manufacturing Equipment

奥田康一 K. OKUDA 松浪 潤 J. MATSUNAMI

Productivity in every industrial field is improving continuously. The productivity of semiconductors or liquid crystal films manufactured in extreme environments, such as vacuums, clean environments, and high temperatures, is also growing. We explain the material and the lubrication used in corrosive environments. In addition, we introduce the development of the corrosion-resistant bearing used in film manufacturing equipment. We succeeded in developing a bearing using steel with high hardness and high corrosion resistance. The new steel has higher corrosion resistance than the existent steel, enables a significant reduction in bearing wear and gives the bearing a long wear life.

Key Words: film manufacturing equipment, chemical solution, corrosion resistance, hardness, wear, EXSEV bearing

1. はじめに

あらゆる産業分野における生産性の向上に伴い、生産工程では加工や反応時間が短縮され、さらに環境条件もよりクリーンに、より高温になるなど高度化している。なかでも半導体、液晶など薄型ディスプレイ製造工程などの分野で使用される薬液や腐食ガスの腐食雰囲気は、ますます多様化かつ過酷化している。このような厳しい環境においても生産性の向上が必要であり、長寿命の軸受が要求される。

当社では一般の潤滑油やグリースが使用できない用途に対し、各種の特殊環境用軸受を EXSEV (Extreme Special Environment) 軸受シリーズとして商品化してきた。ここではまず、特殊環境の中でも腐食環境に適した軸受材料と潤滑剤の種類と選定について述べる。

次に、高い耐食性が求められるフィルム製造装置用に、摩耗寿命延長を狙いとして開発した長寿命高耐食軸受について紹介する。

2. 耐食軸受に用いられる材料

転がり軸受は軌道輪、転動体、保持器および潤滑剤から構成されている。耐食軸受部品への金属、樹脂、セラミックスの適用材料を表1に示す。

耐食軸受の軌道輪に使用される金属はマルテンサイト系ステンレス鋼と析出硬化系ステンレス鋼がある。マルテンサイト系ステンレス鋼は軸受軌道輪として十分な硬度が得られるが、耐食性が不足する場合がある。析出硬化系ステンレス鋼はマルテンサイト系ステンレス鋼より耐食性に優れるが硬度は低い。保持器にはオーステナイ

表1 耐食軸受の材料
Bearing materials for corrosion resistance

材料 軸受 構成 部品	金属			樹脂		セラミックス		
	マルテンサイト系 ステンレス鋼 SUS440C	析出硬化系 ステンレス鋼 SUS630	オーステナイト系 ステンレス鋼 SUS304	ふっ素樹脂 FA	PEEK 樹脂 PN	窒化けい素 (標準仕様) Si ₃ N ₄	耐食窒化 けい素 Si ₃ N ₄	炭化けい素 SiC
軌道輪	○	○	—	—	—	○	○	○
転動体	○	—	—	—	—	○	○	○
保持器	—	—	○	○	○	—	—	—

表2 金属と樹脂の耐食性
Corrosion resistance of steels and resins

溶液	濃度	金属			濃度	樹脂	
		マルテンサイト系 ステンレス鋼 SUS440C	析出硬化系 ステンレス鋼 SUS630	オーステナイト系 ステンレス鋼 SUS304		ふっ素樹脂	PEEK 樹脂
水道水	—	◎	◎	◎	—	良	良
塩酸	1%	△	○	○	5%	良	良
	10%	×	×	×			
硫酸	1%	○	◎	◎	5%	良	良
	10%	△	○	○			
硝酸	20%	○	◎	◎	25%	良	—
水酸化ナトリウム	5%	○	○	○	5%	良	良
海水	—	○	◎	◎	—	良	良

温度 25℃

侵食度 ◎ : 0.125mm / 年以下 ○ : 0.125 ~ 0.5mm / 年以下
△ : 0.5 ~ 1.25mm / 年以下 × : 1.25mm / 年以上

ト系ステンレス鋼や樹脂、潤滑には固体潤滑剤を適用し、軌道輪、転動体との組合せにより、さまざまな環境に対応可能としている。

2.1 金属、樹脂

表2に、主な腐食性溶液に対するEXSEV軸受用の金属と樹脂の耐食性を示す^{1), 2)}。

耐食軸受の軌道輪や転動体はマルテンサイト系ステンレス鋼を標準材としているが、より耐食性が求められる環境においては析出硬化系ステンレス鋼を用いている。さらに、腐食性の高い酸やアルカリ溶液中での使用や、金属のさびが溶液中に混入することを避ける必要がある場合にはセラミックスを用いている。

保持器は、オーステナイト系ステンレス鋼やふっ素樹脂を標準材としている。強度が必要な樹脂の保持器には、PEEK (Polyetheretherketone: ポリエーテルエーテルケトン) 樹脂を用いている。

2.2 セラミックス

表3にセラミックスの耐食性を示す¹⁾。セラミックスは窒化けい素を標準材として用いている。窒化けい素の腐食には、窒化けい素を焼成する際に用いる焼結助剤が腐食される場合と、窒化けい素そのものが腐食される場合の二つの形態がある。焼結助剤が腐食される場合には助剤成分を変更することにより、耐食性を向上させた耐食窒化けい素を用いる。窒化けい素そのものが腐食される場合、および耐食窒化けい素の焼結助剤が腐食される場合はより耐食性に優れた炭化けい素を用いている。

表3 各種セラミックスの耐食性
Corrosion resistance of ceramic materials

セラミックス 腐食性薬液	窒化けい素 (標準仕様) Si ₃ N ₄	耐食窒化けい素 Si ₃ N ₄	炭化けい素 SiC
塩酸	C	B	A
硝酸	C	B	A
硫酸	C	B	A
りん酸	B	B	A
ふっ酸	C	C	A
水酸化ナトリウム	C	C	C
水酸化カリウム	C	C	C
炭酸ナトリウム	C	C	C
硝酸ナトリウム	C	C	C
水・塩水	A	A	A

A : 侵されない B : わずかに侵される可能性がある
C : ほとんど侵されない

注) 薬液の腐食性は、濃度や温度などの条件で大きく異なります。また薬液を混合されて使用すると非常に強い腐食性を持つ場合があります。

市場では、耐食軸受の性能向上の要求は高い。セラミックスは高価であるため、金属材料を適用する 경우가多いが、耐摩耗性と耐食性を両立できないことが課題となっていた。

この課題に対し、高硬度高耐食鋼を適用した長寿命高耐食軸受の開発を進めた。その結果を、以下に紹介する。

3. 長寿命高耐食軸受の開発

軸受鋼やマルテンサイト系ステンレス鋼（以下、ステンレス鋼）で耐食性が不足する用途では、軌道輪に析出硬化系ステンレス鋼（以下、耐食ステンレス鋼）を適用している。しかし、耐食ステンレス鋼はステンレス鋼より硬度が低いため、軸受に使用した場合、使用環境条件によっては軌道面の摩耗の進行が早く、軸受の耐久性が課題になる場合もある。このため、今回、高耐食性でかつ高硬度の材料を軌道輪に適用した長寿命高耐食軸受を開発した。

3.1 フィルム製造装置の事例

今回の開発の対象用途はフィルムの製造装置である。この装置には図1のようにフィルムを薬液中に浸漬して通過させ処理する工程がある。フィルムを搬送するロールが薬液中にあり、ロールの回転を支持する軸受がロール両端に設置されているため、軸受は薬液中にあり、軌道輪や転動体などが薬液にさらされる。この薬液は特殊な成分から成る溶液であり、腐食性があるため、従来は耐食ステンレス鋼軸受が使用されていた。しかし、軌道面の摩耗進行が早いことから生産性向上のために長寿命な軸受が求められていた。なお、軸受の転動体には耐食性を高めた耐食窒化けい素を用い、保持器には固体潤滑剤を含有させたPEEK樹脂を使用している。

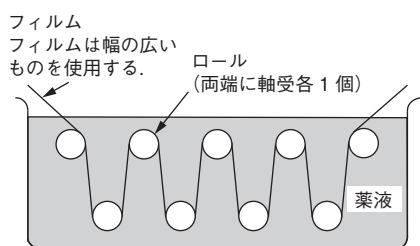


図1 フィルム製造装置の概略
Schematic illustration of film processing equipment

近年はフィルムの生産性向上のため、一度に広い面積のフィルム処理が要求され、フィルムは幅の広いものが用いられる。搬送ロールは長尺化され、フィルム張力の増大のため、図2のように搬送ロールにたわみが発生する。このたわみを吸収するために、調心性のある軸受が必要となる。今回の事例では図3で示すように、軸受の外輪のさらに外側に調心輪を設置し、調心輪と外輪は球面ですべる構造になっている。この構造により、軸受はロールのたわみによる軸の傾きに追従し、軸受のモー

メント荷を低減させることができる。

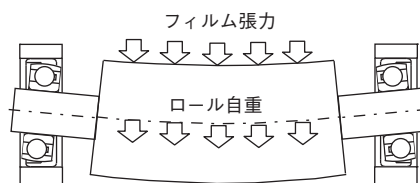


図2 フィルム搬送ロールのたわみ（模型）
Deflection of film transfer roll

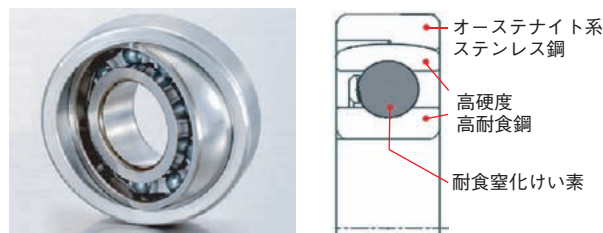


図3 調心輪付軸受の外観写真と概略図
Appearance and schematic illustration of the bearing with aligning ring

3.2 開発のねらい

今回のように薬液中で軸受を使用する場合、グリースやオイルは使用できない。また、軸受が浸漬される薬液の潤滑性は十分ではない。このため、軸受の破損モードは軌道面の転がり疲労による剥離ではなく、軌道面の摩耗となる。今回の事例では従来、軌道輪に耐食ステンレス鋼を使用した軸受を用いているが、軌道面の摩耗の進行が早く、このため軸受のラジアルすきまが過大となり、保持器切れやそれに伴う玉の脱落などにより、ロールの回転を支持できなくなる。

ロールの回転がスムーズでなくなると、フィルムの品質に影響するため、軸受は事前に定期交換されている。しかし、軸受の交換中は製造装置が停止するため、フィルム生産性向上の観点から軸受の交換周期を長くすることが求められていた。

前述のようにグリースやオイルが使用できないため、開発の方針としては、軌道輪の材質を高硬度なものにして摩耗寿命を延長することが必要である。しかし、一般に耐食性のある鋼は硬度が低く、高硬度なステンレス鋼は耐食性が十分ではない。今回、耐食性と高硬度を両立した高硬度高耐食鋼を軸受に適用した。

図4に各種材料の耐食性と硬度の関係を示す。マルテンサイト系ステンレス鋼である SUS440C の硬度は高い (60 HRC) が耐食性は高くない。一方、従来品に使用

析出硬化系ステンレス鋼 SUS630 は、耐食性はかなり高いが硬度が低い (40 HRC) ため、今回のような事例の場合、摩耗の進行が早い。高硬度高耐食鋼は SUS440C の硬度と、SUS630 以上の耐食性を持ち合わせていることが分かる。

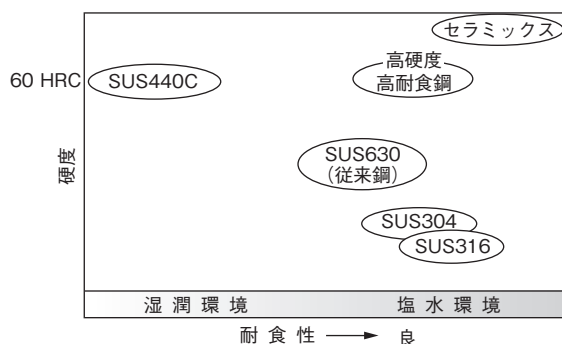


図4 各種材料の耐食性と硬度

Corrosion resistance and hardness of materials

3.3 基礎評価

高硬度高耐食鋼に求められる性能は、耐食性と転動摩耗寿命の 2 点であるため、基礎評価として、腐食試験とスラスト転動寿命試験を実施した。

3.3.1 腐食試験

腐食試験として、JIS Z2371 の塩水噴霧試験方法に準拠したキャス試験を実施した。試験には、従来鋼 (耐食ステンレス鋼) と高硬度高耐食鋼、参考として軸受鋼 (SUJ2) とステンレス鋼 (SUS440C) を用いた。また、試験片は 4 種とも同一寸法の軸受軌道輪とした。

キャス試験の結果を図 5 に示す。まず、参考用のステンレス鋼と軸受鋼は全面がさびている。従来鋼の耐食ステンレス鋼は面取部が変色してさび始めているが、高硬度高耐食鋼ではほとんどさびが認められない。このことから、高硬度高耐食鋼には従来の耐食ステンレス鋼より優れた耐食性があることが分かる。



図5 キャス試験結果

Results of CASS (Copper-accelerated acid salt spray) test

3.3.2 スラスト転動寿命試験

次に、図 6 に示すスラスト転動寿命試験を実施した。試験片は、図中の平板である。玉は、軸受に使用されているものと同じ耐食窒化けい素とした。また、濃度と温度を実機に合わせた薬液によって試験部を浸漬し、試験の環境をフィルム製造装置に近づけた。また、試験の回転速度は軸受転動体の公転速度をフィルム製造装置と同一とし、試験荷重は軸受転動体の最大接触応力がフィルム製造装置と同一となるようにした。寿命試験は、試験機の振動が初期状態から 3 倍になった時点で寿命に至ったと判断し、終了した。

寿命試験の結果、高硬度高耐食鋼は従来の耐食ステンレス鋼の 3.5 倍であった。このことから、高硬度高耐食鋼を適用した軸受にすることで大幅な摩耗寿命の延長が期待される。

実際に、内輪、外輪に高硬度高耐食鋼を用いて軸受を製作し、フィルム製造装置に組み込んで評価したところ、高硬度高耐食鋼の軸受は従来鋼の軸受に比べ軌道面の摩耗量が 50% 以下に低減できた。

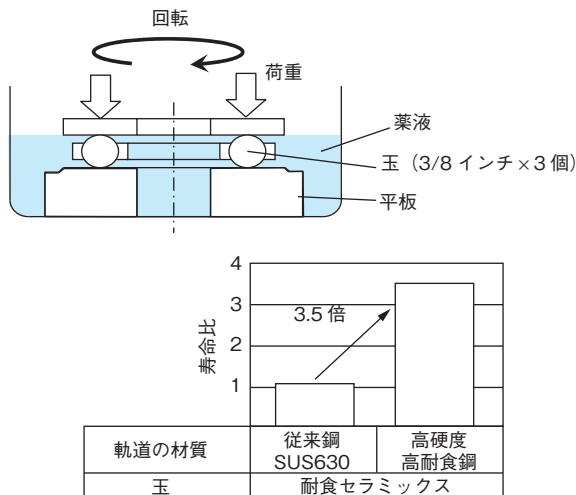


図6 スラスト転動寿命試験
Thrust rolling service life test equipment

4. おわりに

特殊環境用の EXSEV 軸受の中でも、耐食軸受の材料と潤滑などについて紹介した。さらに今回、高硬度高耐食鋼を適用した軸受により、フィルム製造装置の薬液中での軸受寿命の延長を実現した。当社では使用環境に合わせてセラミック軸受などの耐食軸受をラインアップしているが、半導体、液晶などの生産分野では、生産性向上や新たな工程開発により、軸受に求められる環境はますます多様で、過酷になっていくものと予想される。今後とも腐食環境をはじめ、さまざまな特殊環境の産業分野の要求に合わせ、新材料や新機構を取り入れた軸受開発に取り組む。

* 1 EXSEV は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 株式会社ジェイテクト：特殊環境用軸受シリーズ セラミック軸受・EXSEV 軸受, CAT. no. B2004-3(2013).
- 2) Koyo Engineering Journal no. 145(1994).

筆者



奥田康一*
K. OKUDA



松浪 潤*
J. MATSUNAMI

* 軸受事業本部 産業機器技術部