

軸 受 鋼 の 特 性 に つ い て

山陽特殊製鋼 KK

上 杉 年 一*
瀬 戸 浩 蔵**

軸受用特殊鋼はベアリングの高速回転体として、コロガリ摩耗、繰返し荷重、あるいは、衝撃を受けるなど、苛酷な条件の下で使用されるものであり、ベアリングとしての性能を充分保証するために極めて高度な品質が要求されている。

戦後わが国の軸受用特殊鋼製造技術は著しい発展をとげた、輪材用素材のパイプ化がオーゲン・セジュールネ押出法の技術導入によって本格化して以来、品質面およびコスト面からみて常に安定した世界の一流品としての軸受が生産されるようになった。軸受、および軸受用特殊鋼の輸出実績の伸びは目覚ましいものがある。

しかしながら、更に、航空機用、原子炉用など特殊な高性能、高品位の軸受が要求されてきているので、これら軸受用特殊鋼、就中、高炭素クロム軸受鋼を重点的にして、軸受鋼製造メーカーの立場から、その特性を述べてみたい。

1. 軸 受 鋼 の 種 類

現在、軸受用特殊鋼として、いくつかの種類が知られているが、大別すると。

- (イ) 高炭素クロム軸受鋼
- (ロ) ニッケル・クロム・モリブデン肌焼軸受鋼
- (ハ) 高炭素高クロム・ステンレス軸受鋼

* 常務取締役、技術部長、工博

** 技術課長

(ニ) 耐熱軸受鋼

(ホ) (イ)～(ニ)の真空熔解鋼

の5種類があり、それぞれの使用箇所により鋼種選択されている。

表 1 高炭素クロム軸受鋼

記 号	C	Si	Mn	P	S	Cr
SUJ-1	0.95 ～1.10	0.15 ～0.35	<0.50	<0.025	<0.025	0.90 ～1.20
SUJ-2	0.95 ～1.10	0.15 ～0.35	<0.50	<0.025	<0.025	1.30 ～1.60
SUJ-3	0.95 ～1.10	0.40 ～0.70	0.90 ～1.15	<0.025	<0.025	0.90 ～1.20

1—1. 高炭素クロム軸受鋼

JIS・G4805 に規定されており、最も普遍的に使用され、その大きさによって Si, Mn, Cr の含有量を若干変えた第1表の如く、SUJ-1, 2, 3 の3種類がある。

このうち SUJ-1 は主として球用に使用され、SUJ-2 は 1%~1.5% Cr を基本成分とし最も優れた特性を有するので内、外輪、あるいは球、コロ用として多用されている。SUJ-3 は厚肉のベアリング用として焼入深度を深くする目的で Mn 含有量を 1% まで高め Si 量も多くしたものである。

一般に径、または肉厚 30 mm 程度までは SUJ-2 を用い、それ以上のものでは SUJ-3 が用いられる。

1—2. ニッケル・クロム・モリブデン肌焼軸受鋼

JIS では軸受鋼としては規定されていないが、アメリカでは広く用いられており、SNCM-22, 23, 25 などがこれに該当する。

表 2 ニッケル・クロム・セリノゲン肌焼軸受鋼

記 号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SNCM 22	0.12 ~0.18	0.15 ~0.35	0.40 ~0.70	<0.030	<0.030	1.60 ~2.00	0.40 ~0.65	0.15 ~0.30
SNCM 23	0.17 ~0.23	0.15 ~0.35	0.40 ~0.70	<0.030	<0.030	1.60 ~2.00	0.40 ~0.65	0.15 ~0.30
SNCM 25	0.12 ~0.18	0.15 ~0.35	0.30 ~0.60	<0.030	<0.030	4.00 ~4.45	0.70 ~1.00	0.15 ~0.30

これらの主要成分は第 2 表の如くである。

これらは滲炭焼入により表面のみ、すなわち、内外輪と球、コロの接触面のみを硬化させて耐衝撃用軸受として使用されるが、現在では SNCM23 (SAE4320) が最も多く用いられている。

1—3. 高炭素高クロム・ステンレス軸受鋼

腐蝕性雰囲気、高温雰囲気、あるいは原子力関係などのベアリング用に用いられる。

JIS では規格化されていないが、SAE 51440 A, B, C の 3 種類が用いられる。

主要成分は第 3 表の如くである。これらの耐蝕性は 13% Cr ステンレス鋼よりすぐれ、酸化性酸 (HNO₃ など) に対しては 18—8 ステンレス鋼に匹敵するほどで、しか

表 3 高炭素・高クロム・ステンレス軸受鋼

記 号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
51440 A	0.60 ~0.75	<1.00	<1.00	<0.040	<0.030	16.00 ~18.00	<0.75
51440 B	0.75 ~0.95	<1.00	<1.00	<0.040	<0.030	16.00 ~18.00	<0.75
51440 C	0.95 ~1.20	<1.00	<1.00	<0.040	<0.030	16.00 ~18.00	<0.75

も高度の疲労抵抗と耐摩耗性をもち、また 400°C 程度までの雰囲気中で充分使用出来る特殊なすぐれた軸受鋼である。

さらに高い温度での耐熱性を求める場合には ASTM-M1, M2 などが用いられる。

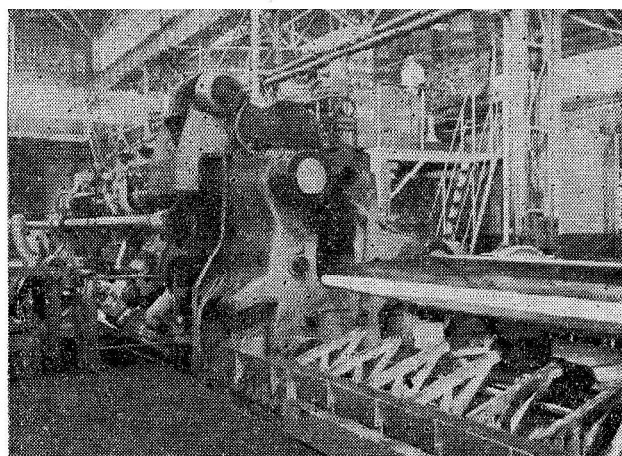
その他、計器用ベアリングとしてこれら各種軸受鋼の真空熔解鋼も用いられている。真空熔解による耐久性の向上により機械的性質も 10~20% の向上が認められている。真空熔解鋼の最大の特長は性能のバラッキが少ないことであり、この点精密器具用ベアリングとして用いられることが多い。

以上、軸受用としては種々の鋼種が用いられるが、ベアリングの作動条件を充分考慮した上で鋼種選択することが大切であり、また鋼種の特性を充分把握してから取扱うことが肝要である。

2. 軸受鋼の形状および用途

軸受鋼はコイル、棒、パイプ、リング材として軸受メーカーに供給され用途および加工方法によってそれぞれの形状が選択使用されている。

小径のコロ、および球に使用されるコイル材と内、外輪、およびコロに切削加工される焼ナマシ棒材は最も普遍的なものであるが、最近ではパイプ材からの切削および



写 1

本焼ナマシ材をアプセット、フォージ、あるいはリング、フォージで内、外輪が製作されることが多い。

内、外輪を棒材より旋削加工する場合、旋削工数が大きく歩留が悪いという欠点を有していた。また一歩進んでマンネスマン・ジンガー法、エルハルト・プッシュベンチ法等の鍛造、圧延による軸受パイプの製造も特殊寸法、それらごく少量のみ行なわれてきたが、ユージン・セジュール式熱間押出法の技術導入により軸受パイプの量産が可能になった。

パイプ材を使用すると旋削工数の大巾な縮小、および加工歩留の向上が一段と改良されるばかりでなく、熱間押出法は瞬時的に熱間加工を受けるので緻密な組織をもち、材質の均一性、および機械的性質がとくにすぐれている。

パイプにて製造不能の厚肉、および大径の内、外輪用としてリング材が使用される。疲労寿命が重要視されるので大型鋼塊よりのアプセット・リングフォージにより、あるいは鋼片より高性能のリング・ローリングミル

により鍛造成型される。

3. 軸受鋼の品質

一方、ベアリングの使用条件より見た場合、この素材の軸受鋼として次の要素を備えることが必要である。

- 圧縮弾性限の高いこと
- 耐摩耗性のよいこと
- コロガリ疲労抵抗の大きいこと
- 衝撃荷重に対しある程度のじん性をもつこと
- 寸法経年変化の少ないこと

これらの特性に影響すると考えられる化学成分、寸法、硬さ、顕微鏡組織、肉眼組織、非金属介在物、地キズ、圧壊値などの許容範囲については JIS、あるいは軸受メーカーが構成する日本ベアリング協会と製鋼メーカーの間で協定した「高炭素クロム軸受鋼検査仕様書」に厳格に規定されている。

この品質を保証し、かつ安定化させるためには製造過程の個々において生産管理を充分行なわねばならない。

3-1. 化学成分

前述の如く、化学成分は JIS・G 4805 に規定され主成分は C, Cr で、とくに炭化物の量と分布とに密接な関係を有しており、C量が上限に近い場合は炭化物の不均一を生じやすいので下限を目標とする傾向にあった。近年、疲労寿命の観点より C と Cr の比率が再検討されている。また不純物としての P は縞状偏析、巨大炭化物の析出傾向を強め、Cu は耐久度の点で出来るだけ少ないことが望ましい。このため使用原材料の選択はとくに厳重に行なう必要があり、純度の高い電気鉄、海綿鉄、還元屑を主体とした高級鋼屑を配合使用し市販スクラップの使用を最小限にする等の吟味を充分行なうのが普通であるが、更に原料の安定化と生産性の向上を図るため溶鉄を使用し純酸素転炉による予備精錬と電気炉による還元精錬を一貫して行ない市販スクラップの使用を皆無にする計画が進められている。

その他、特殊元素 V, Ti, Mo, W の微量添加による諸特性への影響についても研究されているが明確な結論が待たれている。

3-2. 地キズおよび非金属介在物

ベアリング成品として超仕上をした軌道面に地キズ、および非金属介在物が存在すると使用時の音響不良の素因となるし、またたとえ表面下にあっても最大剪断応力面に位置すると応力集中により脆性破壊への成長要因となり得ると考えられているので、極めて清浄であることが要求されている。

一般に塩基性電気炉熔製による国産軸受鋼は酸性平炉による SKF (スウェーデン)、Timken (アメリカ) な

どの外国材に比べると地キズおよび介在物は極めて少ない。

いずれにしても現状では、地キズ、介在物を皆無にすることは不可能であるが、近年、製鋼メーカーでは大型鋼塊使用により大鍛圧比を加えることによって形態と分布状態を変化させ影響を出来るだけ少なくする傾向にあり、また熔解法の研究により有害種類の介在物の軽減に努力が重ねられている。

3-3. 顕微鏡組織

使用上、軸受鋼は他の鋼種に比べて、とくに顕微鏡組織が重視される。軸受鋼の良好な焼ナマシ組織はフェライト地に細粒の球状炭化が一樣に分布して巨大大炭化物、縞状偏析、層状パーライト、網状炭化物などの不均一組織のないものである。

良好な組織を得るため次の諸点に留意が払われている。軸受鋼は炭素含有量が高いので焼込後の鋼塊中心部に巨大大炭化物、あるいは結晶偏析(不純分元素の偏析)を生じ易く、この結晶偏析が熱間加工によって縞状に現出してベアリングのじん性を低下させるのみでなく、偏析中の高炭素部分には巨大大炭化物、網状炭化物などが残存して疲労寿命をも劣化させる。これらの劣性を生じないようにするには鋼塊を高温ソーキング(均熱)するのが最も有効であり、巨大大炭化物の固溶と不純分元素の拡散均一化を図っている。

鋼材に対してはまず炭化物の分布を均一化させるための予備処理として焼ナラシを行なう。

焼ナラシは熱間加工後の徐冷によって生じた初析の網状炭化物や層状パーライト組織を A₁ 変態点附近で、一日オーステナイトに固溶させ、空冷して均一なソルバイト組織とする操作であるが、焼ナラシ温度に保持する時間が長時間に失すると炭化物の粗大化を招き、炭化物の微細均一化が困難になる。

球状化焼ナマシは焼入操作とともに軸受鋼にとっては極めて大切な熱処理であり、焼ナラシによって得た均一なソルバイト組織を加熱変態点直上で一部オーステナイトに固溶させた後冷却し、A₁ 変態点附近をとくに徐冷して炭化物を十分に球状化させ、細粒の炭化物を一樣に分布させる。

軸受鋼の球状化焼ナマシは、保持温度、冷却速度の適切な許容範囲は極めて狭く、僅かな誤りが直ちに層状パーライト、またはソルバイト等の不良組織を招く。近年均一微細な炭化物を得るため連続焼ナラシ焼ナマシ炉が採用されるようになってきており、この熱処理炉の使用結果は炭化物は細粒、かつ整粒で、長時間を要する複雑な軸受鋼の熱処理には理想的な炉である。

3-4. 機 械 的 性 質

軸受鋼では一般に焼入れ、焼モドシ熱処理を施した輪材に一定速度の静荷重を加え圧壊するに至るまでの荷重即ち圧壊値で表わす場合が多い。この方法は鋼材のじん性を検出する手段としては有効であるが、実際のベアリングでは圧壊試験によって代表される静的応力よりも繰返し、あるいは衝撃などの動的応力を受ける場合が多いので真の軸受鋼の強さを表わす試験方法としては完全とは云い難く、参考値として規定されている。

圧壊値、あるいは高度の耐摩耗性と疲労抵抗を得るためには、焼入、焼モドシ方法に著しく影響される。

焼入は球状炭化物の残存したオーステナイト状態から油冷を行ない微細なマルテンサイトと球状炭化物が一様に分布した組織にする。この場合、焼ナマン状態で理論的に14~15%の面積率をもつ球状炭化物を焼入によって7~8%残存するまで固溶させ、地のマルテンサイトの炭素濃度を0.5~0.6%にした場合にベアリングの疲労寿

命が最も良好であるといわれる。従って、安定してこの数値を得るには焼ナマン状態での炭化物が細整粒であることが必要である。

焼モドシは150~170°Cに60~90分加熱して残留したオーステナイトをマルテンサイト化し、さらに微細な炭化物を析出させて安定したマルテンサイトにする。

また、精密級ベアリングでは焼入直後に-70~-150°Cの低温槽に浸漬する、いわゆるサブゼロ処理を行ない。

残留オーステナイトを完全にマルテンサイト化して、経年変形の素因を皆無にする。

以上、軸受鋼製鋼メーカーの立場から軸受用特殊鋼の特性を述べた。現在、各所で実施されているベアリングの疲労寿命の研究成果が期待されており、ベアリングにとって真に必要な特性が解明されれば、更に一層ベアリングの性能が向上するであろう。