

鋼球の製作法と設備の近代化

株式会社 天辻鋼球製作所

取締役社長 森 武 助

1. ま え が き

軸受はその用途が拡大したこと、需要者側の要求仕様が
多くあることなどによって意外に多くの品種のものがある。
それに従って軸受の転動体として使用される玉にも色々の
材質・品質のものが必要となってくる。

玉の材質には高炭素クロム軸受鋼がその生産の大部分を
占めており、一般の回転部分の軸受用として使われている。
この品質は、軸受としての寿命との関連において研究が進め
られ、真空脱ガス材の開発とともに非常に好結果を得ている。
その他の材質としては、航空機ジェットエンジンや高速モ
ータ用のような高温・高荷重・高速用として、ステンレス
鋼・耐熱鋼などが多く用いられているようになってきている。

玉の寸法は、0.5mm という極小のものから普通は、
75mm位までを生産しているが、150~200mm といった
大きなものもある。その精度は、0.0001mm(0.1 μ)をこ
え 0.00001mm(0.01 μ)の単位までも要求されるようにな
っている。さらに軸受スキマの精度上の要請から、同一寸法・
同一精度の玉であっても μ 単位で径が異ると要求仕様に合
わなくなると、指定の寸法差のものを納入しなければなら
なくなってくる。このような高精度の玉の測定には多くの注
意が必要であるが、将来は一層精密な製品が要求されると
考えられるので、生産設備の高精度化は勿論であるが測定
設備にも問題点が多い。

軸受業界全般の技術は世界的にも高度の水準にあり、その
価格も水準に比べて安いので、商品自体の国際競争力は高
いという評価が一般になされている。しかしこの評価は、材
料・部品・組立それぞれの部門の努力の結果であることは
勿論ながら、経済規模が大きくなったために生じた大きな
需要に支えられて得られた面も多く考えられる。従って今
後における経済環境や将来の人手不足を考えると、その生
産合理化のために設備の近代化および自動化を行なうと
同時に、その稼働率を如何に高めるか、生産を如何に集中
して行くかといった生産管理方式の改善にも一層の努力を
要するのである。

ここでは、玉のなかの生産の主体である軸受用の鋼球

を主として、その製作法を簡単に紹介するとともにその
近代化について考慮してきた一端を述べて参考に供したい
と考える。

2. 材 質

玉の材質として一番多く用いられるのは、高炭素クロム
軸受鋼であつて、鋼材としてはその2種(SUJ2)を用
いることが多い。これは高い硬度と適度な靱性を与える
のに適しているが通常120°C以下で使用されており、
これで作られた鋼球は主として玉軸受(ボールベアリン
グ)に使用される最も一般的な製品である。

最近では、数十万回転といった非常に高速の用途ある
いは数百度といった高温における軸受の要求が増大する
につれ、各種の耐熱耐食性軸受鋼球材が使われるよう
になってきている。その代表的なものの鋼種・適用温度・
使用例を表1に示す。

表1 耐熱耐食性鋼球の適用温度・使用例

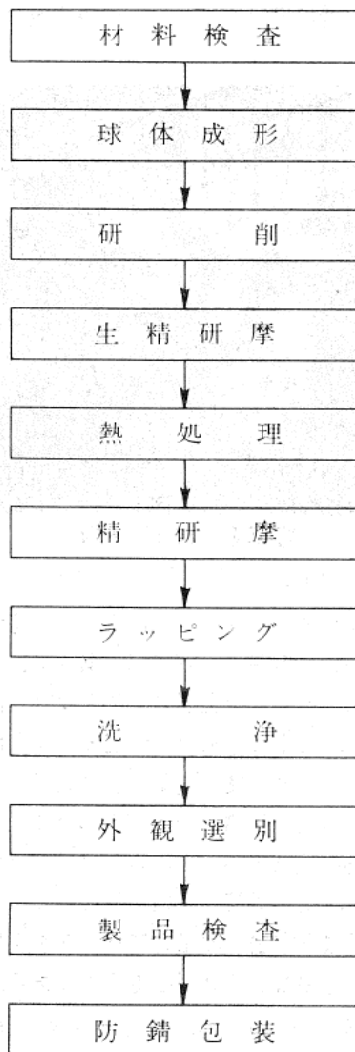
種 類	適用温度°C	使 用 例
AISI M 2	450~600	ジェットエンジン軸受 鋼球
AISI M50	250~450	工業炉軸受鋼球
AISI 440C	250以下	ミニアチュア軸受鋼球
Sandvik SV283	〃	バルブ用鋼球

このほかの玉の材質としては、高圧バルブ・安全弁など
に使用するステンレス鋼、玉軸受用鋼球を使用する必要
のない回転部分に使用する炭素鋼、主としてバルブに用
いる黄銅、その他青銅・ハステロイ・アルミ・超硬合
金等々の金属、ナイロン・テフロンといった合成樹脂で
バルブ流量計・無潤滑軸受などに使用されるもの、ガラ
ス・セラミックなどの非金属等々がその用途に応じて使
用されている。

3. 製造工程の概略

玉軸受用鋼球はその寸法の大小によって生産工程に幾

表2 生産工程



分の違いがあるが、概ね表2のようになっている。

(1) 材料検査

材料の形は線状で、その太さによってコイル材と棒材があり、受入にあたって受入検査が行なわれる。その項目は、化学成分・非金属介在物・組織などといった鋼球としての強度を決定づけるものと、外観・カタサ・寸法精度などという鋼球製作に大きな影響を与えるものがある。

(2) 球体成形工程

材料を鋼球1個分に必要な長さで連続的に切断すると同時に、一組のダイスをもつ球体成形機（ヘッダー写真1）によって球状に成形する。その形状は、図1のようになる。この場合比較的小さな寸法の球は冷間加工をするが、大きい寸法の球は熱間加工を行なう。

現在のヘッダーとして要求される性能は、その高精度・耐久性および高速度であって、大きい寸法用で毎分に100個小さい寸法用では毎分600個の加工能力を有するものが使用されている。なお、材料の加工性の良否によ

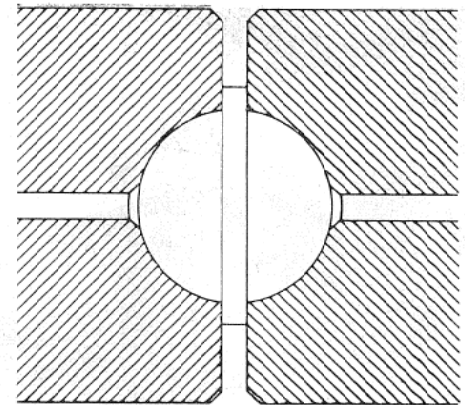


図 1

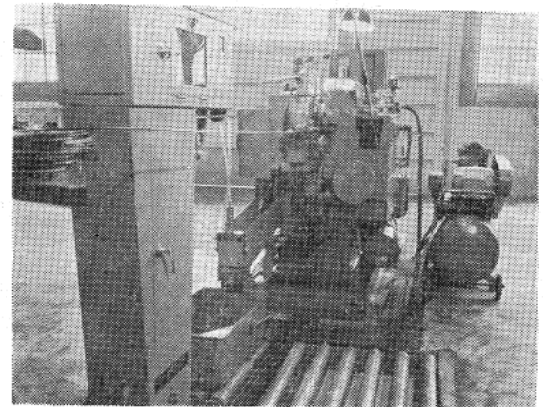


写真1 ヘッダー

て使用する工具の損耗・成形球の形状の安定性が変わってくるので問題である。

(3) 研削工程

球体成形された球はリング状の帯がついているので、それを取除く必要がある。研削機は図2のように円周方

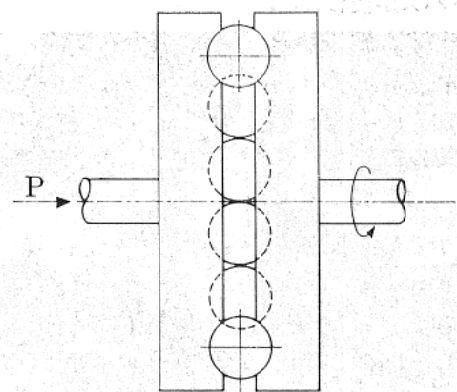


図 2

向に数本の同心溝をもった特殊铸铁製の一組の円盤の溝のなかに連続的に球を送り込み、盤に加わる研削圧と盤の回転によって溝のなかをまわりながら通過するときに研削する機構のものである。研削機（写真2）は鋼球を連続して補給するため、コンベアとホッパーをもち、所謂ロット加工を行なうようになっている。

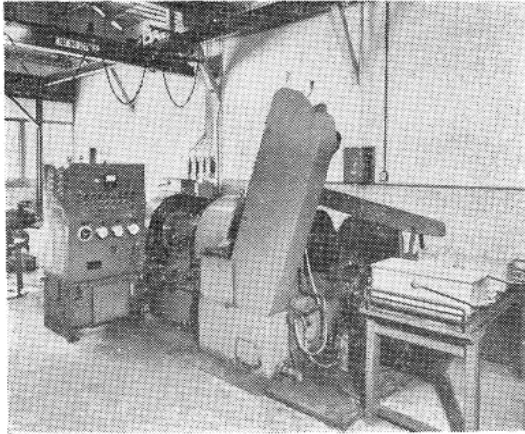


写真2 研削工程

この工程以降は製造単位として通常 100~400kg の一定量をロットとして加工し、生産管理を行なっている。

(4) 熱処理工程

鋼球の熱処理には、焼鈍・焼入・焼戻などがある。

玉軸受用鋼球の日本工業規格には JIS B 1501 があり、これには強度上必要な品質としてカタサと圧碎荷重が規定され、それらの厳しい均一性の要求がある。この強度面の品質は、材料の品質と熱処理工程で定まってくるので、熱処理時の加熱冷却にはその条件を一定に保つとともに均一性に十分な注意が必要である。

熱間成形で作られた球は、組織の調整と内部歪の除去のため焼鈍を行なうことがあるが、この炉には埋込円筒型の電気炉が多く用いられる。

焼入焼戻用の炉には、これを一貫して行なう連続炉(写真3)とロット単位に焼入・焼戻を別々に行なう形式のものがある。またとくに大きな寸法の焼入用としてはソルトバスが使われる。

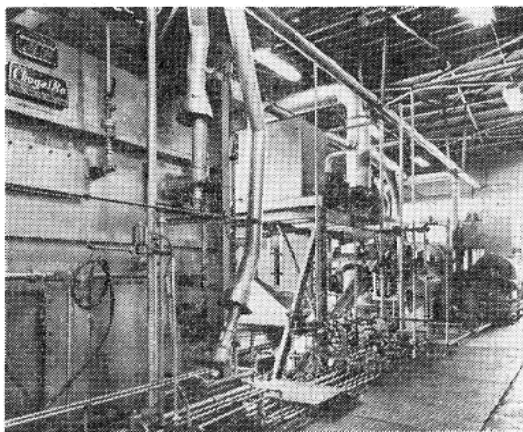


写真3 連続炉

(5) 精研磨工程

この工程は、鋼球の精度を一段と向上させるとともに前工程でついた球面の加工キズを除くためのものである。この作業方法は研削の場合とほぼ同様であるが、使用する研磨盤として金属盤または砥石盤が使われる。加工機

械の型式は、生精研磨・精研磨とも概ね同一であるが研磨用砥剤の粒度が異なっている。精研磨機の例を、写真4に示す。

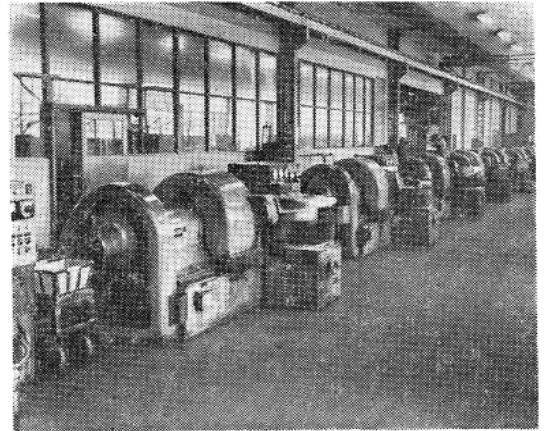


写真4 精研磨機

(6) ラッピング工程

この工程は鋼球の寸法・等級によっていくつかの工程にわかれている、所謂仕上げ工程であって、所要の寸法差ときめられた精度・仕上面アラサおよび光沢などをだす必要がある。とくに近來の高精度・高仕上面の要求に対して、その設備の改良・作業方法の改善と一諸に作業の取扱上生ずるような僅かのキズやヘコミであつても品質上悪い影響を及ぼすのでその管理には非常な努力をついやしている。その対策の一環として、この工程を防塵とし温調を行なう方法、加工完了ロットを可能な限り静かに運搬する方法などの計画を進行中である。

(7) 洗浄工程

ラッピング作業後の球面に付着している研磨油・研磨剤・研磨粉などの汚物を完全にとるため、強力な超音波洗浄装置(写真5)が使われている。洗浄が完了した鋼球は、再びゴミその他の汚物の付着することのないように、包装完了まで温調設備のある防塵室で作業が行なわれる。



写真5 超音波洗浄機

(8) 外観選別

鋼球の表面には微細な材料キズや加工キズが残っている

ることがあるので、これを取除くため全数外観選別を行っている。この場合、鋼球の寸法・等級によって20倍の双眼顕微鏡を用いるときと、肉眼による場合とがある。写真6・写真7は、その実際である。

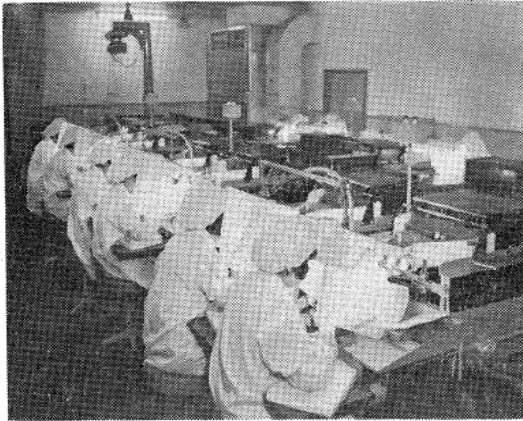


写真6 外観選別（肉眼）

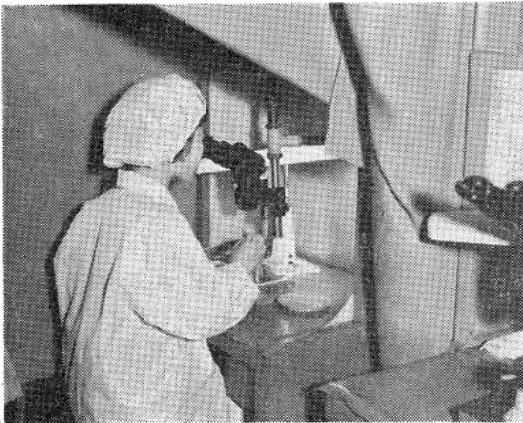


写真7 外観選別（双眼顕微鏡）

この作業にはかなりの熟練を要しかつ多くの作業員を必要とするという欠点があるので、この作業の能率化・手作業の除去などの改善のほか自動化の研究がなされている。欧米では光電管利用の自動化した装置が使われるようになっており、日本にも若干輸入されている。

(9) 製品検査

出荷の検査には、寸法精度・仕上面アラサ・音圧試験・振動試験および強度試験がある。

寸法精度の測定用計測器は、1目盛 $0.1\sim 0.2\mu$ のものが使われているが、高精度用および寸法基準用に使用しているのは 0.05 または 0.02μ のものである。このような高倍率の測定器であるから、環境の温度変化による影響を防ぎまた塵埃を除くため、測定室は高度に温度・湿度の管理された防塵室となっている。

仕上面アラサの測定には適当な測定器が少いのであるが、最近鋼球専用の小坂式仕上面検査機（写真8）が軸受業界と共同で開発された。これによれば比較的簡単に安定して測定することが可能である。

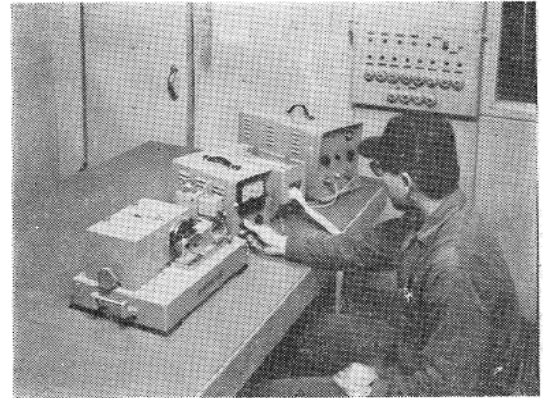


写真8 小坂式仕上面検査機

このような鋼球単体としての検査のほか、軸受としての性能に直接結びついた検査が、音圧および振動試験である。これはいずれの試験の場合でも、あらかじめ十分検査された軸受内外輪に試料鋼球を組込み、一定速度で回転して軽くスラスト荷重を加えたときに発生する軸受の騒音および振動をはかるものである。振動試験の実際を写真9に示した。



写真9 振動試験

(10) 防錆・包装工程

鋼球ではサビや塵埃は、たとえその大きさが顕微鏡でなければ発見できないようなものであっても、その性格上致命的な欠陥となる恐れがある。従って製品の防錆油には、厳重な試験で選ばれたものを沪過して十分塵埃を除いたものを用いる。また工程の途中においても、サビの発生には万全の注意が必要である。

4. 鋼球の寿命と脱ガス材

鋼球の寿命は軸受に組込んで転動させたとき、鋼球の表面に疲労が生じ破損するまでの時間をいっている。この測定に多く用いられているのは、ラジアル型静荷重寿

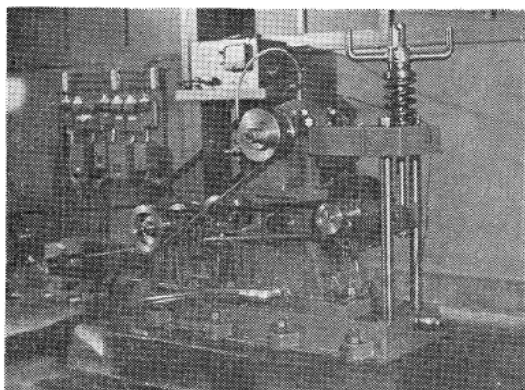


写真10 曾田式動荷重寿命試験機

命試験機・曾田式動荷重寿命試験機などである。写真10は、動荷重寿命試験機である。

従来軸受の寿命は、スウェーデン SKF 社のものが良質の原材料を用いていることによって世界的に最も優れたものとされていた。日本でも多年にわたり材料・熱処理および機械加工に多くの研究がされてきていたが、米国リパブリック社で脱ガスによる良質の材料が経済的に生産されたことに刺戟されて、製鋼メーカ各社で技術および設備の改善が行なわれた。このことによって従来の材料に比較して2～3倍、SKF社の材料にくらべても長時間の寿命をもつ国産脱ガス材が生産されるようになった。現在では、玉軸受用鋼球に用いる高炭素クロム軸受鋼は脱ガス処理をほどこしたものを使用しているのである。

なお、特殊な高荷重・高速などの要求される用途の鋼球には、真空溶解炉によって製鋼された材料を使用することがある。

5. 設備の近代化

(1) 設備の合理化

鋼球の生産設備は一部の設備を除き、殆んど専用機械であって、それぞれの製作者と共同で設計を行なうか、あるいは完全な自社設計である。一般に設備の合理化目標は、製品品質の向上であり、コストの低減である。これに加えて現今の人手不足は、生産設備の自動化ということ強く要請している。この面から我社としても常にその合理化の努力をはらってきているのである。

最近、需要量の増大に従い増設してきた設備は、各工程の機械ともその機能・外観・性能などに格段の進歩を見せている。一方旧設備の合理化に対しては、その必要のないものはくず化しなければならないが、改造によって使用できるものは新しい設備での成果を取入れて、設備面での最大限の活用をはかっている。このような改造・改善は、次の新しい設備への基礎となっており、投資効率を高め企業体質の改善に役立つ一つの方法

であると考えている。

さて、自動化での問題は、

- ①個々の加工設備の自動制御をどのようにするか。
- ②人手によって加工する部分を如何に機械化するか。
- ③工程間の自動搬送装置をどのようにするか。

というようなわけ方をすることができる。このそれぞれについて徹底的に追求していくことが必要であり、またあらゆる機会にその実現への努力をすることが現在の技術の主眼点であらう。その意味で新しい工場の設置にあたっては、常にこのことに留意してきている。また、この対象となる製品は、機械工業振興臨時措置法に基づく軸受製造業振興実施計画のなかで技術の開発目標としている軸受用の鋼球である。その軸受は次のとおりである。

- ①ミサイル関係の計器用精密極小軸受
- ②ジェットエンジン用等の高速回転軸受
- ③ABEC—9級の工作機械用高精度軸受

これらの軸受は、現代科学水準の最先端を行くものであって、この生産に必要な鋼球を作るためのヘッダー・熱処理炉・ラップ機および検査設備の開発・改良が重点となってくる。

(2) 設備のレイアウト

各工程の設備を合理化していくと同時に、コストを上げ人手を少なくする方法には、設備のレイアウトを合理的に行なうことが必要である。鋼球はロット単位で加工し加工完了品を次工程に移して次の加工を行なうという製作法であることは前述のとおりである。この場合、設備の加工範囲は一定の限界内で加工寸法が変わってもよいように設計されているが、連続して同一寸法を生産する方が経済的にも品質的にも良好であることは論をまたない所である。工程によっては、僅かの寸法差の違いであっても、加工するための工具の準備に加工時間以上の長時間を要する場合がある。

このことは基本的に、生産ロットの増大によるスケール・メリットの効果を期待する製作法であるといえるので、この点を考えまた運搬管理・進行管理に隙のない管理を行なうことを目的として、一貫加工工場が考えられた。これは或程度生産量が増加するとその寸法の鋼球だけを集中し、初めの工程から最終製品まで同一工場の棟内で生産する方法をとっている。このような製作法によって得られた効果はつぎのとおりである。

- ①同一寸法の鋼球を常時加工するので作業の段取替に要するロスを最小にできる。
- ②工程間の距離が短くなるので運搬ロスを少なくすることができる。
- ③各工程の作業進行状態の把握が容易であるため、設備の不稼働ロスを少なくできる。

- ④加工された仕掛品は円滑に次工程に送られるので、工程の仕掛品を最小にできる。
- ⑤材料から製品まで同一の管理者が管理するので、品質面・コスト面でのアクションが容易にとれるようになり、そのネック部分の改善をはかり易い。

なお、この一貫工場にはその生産規模の限界と、いくつかの近似寸法をどの程度まで集中できるか、各等級を混合して生産すべきかどうかなどの未解決の問題がいくつかある。

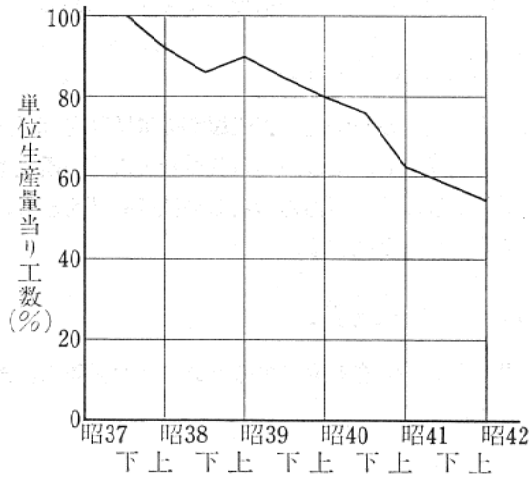


図 3

(3) 近代化の効果

さらに生産の合理化には、その加工工程数の減少をはかるように研究することも重要なことである。これは、

新しいアイデアに基く設備の開発または、設備能力の上昇をはかることによって得られる。当社では、鋼球の寸法によって工程数は異なるが、昭和36年頃までは10工程であった寸法のもが現在では8工程でできるようになっている。

以上のような努力を積み重ねてきた結果、品質・コストまたは人員面で多くの効果を得てきている。図3にはその1例として、単位生産量当りの工数の推移を示している。

6. む す び

我社は創業以来一貫して鋼球の生産に従事してきた。その製作法は、一般機械工業に比較して独特な形態となっているので、工程の配置や設備は独自のものとなっている。しかし軸受の部品としての鋼球を確実に安定して供給しなければならない我社の使命を考えたとき、高品質・低コストに加えそれを少数精鋭で行なうことが必要であつて、この面から考えると加工工程の設備・工具・作業方法および検査の設備・方法などにまだまだ不備な点が多い。さらには、現在採用しているロット加工という製作法を別の角度から見直して、全然異った加工方法を考案することも必要であろう。いずれにしても、さらに一段と進んだ自主技術の開発に努め、よりよい鋼球を安価に提供することに全力をつくしたいと考えている。