

(90) 真空熔解炉で熔製した軸受鋼について

Ball-Bearing Steel Made with a Vacuum Melting Furnace

M. Ueno, et alius.

金属材料技術研究所

工〇上野 学・工 中島 宏興

I. 緒 言

近年真空技術の発達により、1t までの鋼塊が真空中で鑄造できる大型真空熔解炉が米国に実現するにいたつた。だが、このような真空熔解炉で熔製された軸受鋼が従来の軸受鋼に比して耐久性(寿命)がどれほど向上するかなど、未知の問題を多くふくんでいるので、50kg NRC 真空熔解炉で市販の軸受鋼を再熔解した真空熔解鋼と SKF のパイプ材との早期寿命試験結果を比較することによつて、真空熔解鋼の評価をし、本稿にその結果を報告する。

なお、この研究をはじめた当時 50kg 以上の真空熔解炉がわが国になかつたので、真空熔解鋼の鋼塊が従来の市販の軸受鋼鋼塊に比して小さいのではないかという懼れはあるが、この点は十分考慮して評価する。寿命試験結果のほかに、これら真空熔解鋼のオーステナイト状態の挙動もあわせて報告する。

II. 化学組成と非金属介在物

実験に供した試料は市販の軸受鋼を 50kg NRC 真空熔解炉で再熔解したもので、Table 1 にその化学組成と

ガス含有量と非金属介在物量とをしめす。なお、市販軸受鋼、SKF 軸受鋼、Edel Stahl の軸受鋼のガス含有量および非金属介在物量を併記する、これより明らかなように、真空熔解鋼は Mn がいちぢるしく少ない。また C も少し減少するが、P, S にはほとんど変化がない。ガス含有量のうち、O₂ 含有量は真空熔解により市販の軸受鋼よりも 1 桁、N 含有量は 2 桁以上低くなつている。そして非金属介在物量のうち、SiO₂ はあまり変化しないが、Al₂O₃ はいちぢるしく低下している。そして介在物量全体としては真空熔解により半減以上含有量が低下する。

つぎに非金属介在物検査を旧学振法で実施した結果を Table 2 にしめす。これよりも明らかなように、真空熔解により A 系、B 系介在物はかなり減少する。たとえば真空熔解鋼では市販の軸受鋼の半分程度まで減少し、SKF および Edel Stahl の軸受鋼に比較すると、いずれの介在物も 1 桁下の程度まで少ない。この真空熔解鋼を新学振法の第 3 法の点算法によつて面積率を求めると A 系介在物は $dA_{90 \times 375} = 0.006\%$ 、B 系介在物は $dB_{90 \times 375} = 0.008\%$ 、C 系介在物は $dC_{90 \times 375} = 0.032\%$ 、その総計 $d_{90 \times 375} = 0.046\%$ となる。

III. オーステナイト状態の挙動

オーステナイト状態の挙動については、焼入温度、保持時間、残存セメント量、残留オーステナイト量、および電解抽出した炭化物の組成との間の関係を求めた。硬度はロックウエル硬度計 (Hrc) により、残存セメント量は lineal analysis により、残留オーステ

Table 1. Chemical composition.

| Mark | Chemical composition (%) | | | | | | | | Gas content | | Inclusion | | |
|-------------------|--------------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|----------------|--------|-----------|------------------|--------------------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Cr | Ni | O ₂ | N | Total | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ |
| Vacuum f'ce B.B.S | 0.95 | 0.34 | 0.17 | 0.008 | 0.004 | 0.08 | 1.44 | 0.18 | 0.001 | tr | 0.0033 | 0.0025 | 0.0004 |
| Commercial B.B.S | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.0043 | 0.0103 | 0.0098 | 0.0015 | 0.0076 |
| SKF. B.B.S (tube) | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.0025 | 0.0044 | 0.0067 | 0.0017 | 0.0043 |
| Edel stahl B.B.S | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.0065 | 0.0130 | 0.0069 | 0.0005 | 0.0059 |

Table 2. Non-metallic inclusions.

| Mark | A-type non-metallic inclusions | | B-type non-metallic inclusions | |
|-------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | Degree of cleanliness | Mean thickness | Degree of cleanliness | Mean thickness |
| Vacuum f'ce B.B.S | 0.1 | 3.0 | 0.8 | 3.1 |
| Commercial B.B.S | 0.3 | 4.9 | 1.7 | 5.6 |
| SKF B.B.S (tube) | 3.4 | 4.9 | 3.0 | 4.8 |
| Edel stahl B.B.S | 2.5 | 2.8 | 3.3 | 3.9 |

ナイト量は積分強度法(X線の定量)により測定した。なお炭化物の電解抽出は塩酸法により実施した。

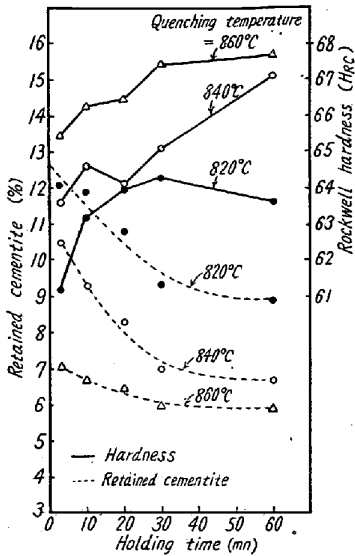


Fig. 1. The effect of holding time on retained cementite and hardness of vacuum-melted specimen at each quenching temperature.

増加させるからである。さきに報告したように、寿命に対するセメンタイトの最適範囲は 7~8% であるので、840°C の焼入温度で 20~30 mn の保持時間がよい。

(2) 残留オーステナイト量: 紙面の都合上発表当日報告するが、残留オーステナイト量は焼入温度とともに増加するが、880°C では

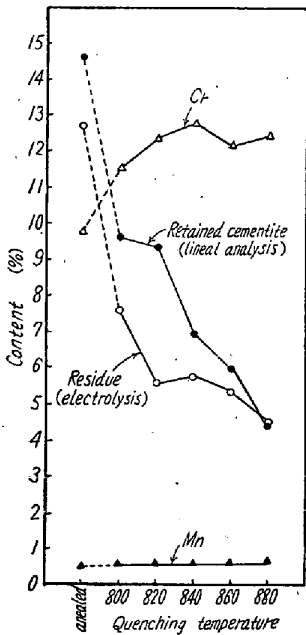


Fig. 2. Relation between residue of electrolysis, its composition and quenching temperature.

(1) 硬度と残存セメンタイト量: 焼入温度と保持時間と残存セメンタイト量との間の関係をしめせばFig. 1 のようになる。各焼入温度において保持時間とともに残存セメンタイトは減少していき、焼入硬度は逆に増加する傾向をしめす。これは固溶したセメンタイトがオーステナイト地のC濃度を増加しマルテンサイト地の硬度を増加させるからである。さきに報告したように、寿命に対するセメンタイトの最適範囲は 7~8% であるので、840°C の焼入温度で 20~30 mn の保持時間がよい。

かえつて残留オーステナイト量はわずかばかり減少する。840°C×1/2 h の加熱後焼入した場合の残留オーステナイト量は約 9% 程度である。

(3) 電解抽出した炭化物: 各焼入温度で 1/2 h 加熱後油焼入した試料を 0.2N 塩酸の電解溶液中で 10mA/cm² の電流密度の下で、48 h 電解した後抽出した炭化物の残渣量とその組成 (Cr, Mn) と焼入温度との関係を Fig. 2 にしめす。このほかにlineal analysis による残存炭化物の

量を併記する。この lineal analysis による残存炭化物の量の曲線と電解抽出した炭化物の残渣の曲線を比較すると、後者は前者に比し各焼入温度で低い値をしめす。これは炭化物が完全に電解抽出されていないことをしめす。つぎにこの炭化物の残査中の Cr, Mn の挙動をみると、焼入温度とともに Cr の含有量は増加するが Mn 含有量は一定である。840°C の焼入温度に保持した時間と炭化物の残査量およびその組成 (Cr, Mn) との関係は講演当日に報告する。

IV. 早期寿命試験について

φ30 mm の丸棒の真空熔解材の圧延方向より、φ3 mm×18 mm の試験ニードルをけずりだし、このニードルを 840°C×1/2 h 鉛浴加熱後油冷し、150°C×1 h 焼戻した。この試料をセンタレス・グライダで φ2.81 mm×18 mm に研削した。この試験ニードルを第3次改良型の早期寿命試験機でもつて寿命(耐久)試験した。Fig. 3はこの改良型の試験機である。

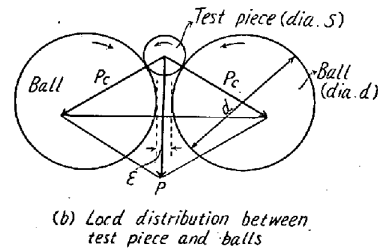
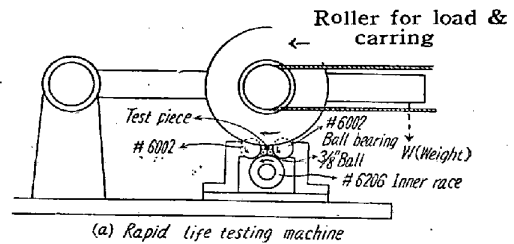


Fig. 3. Rapid life-testing machine.

Fig. 3 (a) で黒丸の試験ニードルが 3/8" の 2 個のボールの上にのせられ、ニードルの両端に負荷と駆動を行うローラがのり、このローラが回転することによって試験ニードルは回転疲労をうける。ニードルに荷重がかかることによって、3/8" のボールが両側ににげるのを阻止するために、両側には 6002 型番のボール・ベアリング、ボールの下部に 6206 型番の内輪がおかれ、いづれもボールの回転につれて自転するようになっている。潤滑は 60 番スピンドル油をローラに滴下し、その飛沫で潤滑した。このような試験状態の試験ニードルの間の荷重を考えると Fig. 3 (b) のようになる。ニードルに P なる荷重がかかり、ボールが P の方向と θ の角度をなす位置にあると、その時このボールにかかる力 Pc (接触荷重) は、

$$P_c = \frac{P}{2 \cos \theta} = \frac{(d+S)P}{2\sqrt{(d+S)^2 - (d+\epsilon)^2}} = 1.049P \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 d ：ボール直径(0.9525cm),
 S ：試験ニードル直径(0.281cm),
 ϵ ：ボールとボールの間隔(0.132cm)

この実験では $P = 18 \text{ kg}$ であるので、 $P_c = 18.9 \text{ kg}$ となる。つぎにボールとニードルの間の接触に Hertz²⁾の計算を適用すると、最大接触圧力 P_{max} は

$$P_{max} = \frac{1.5 P_c}{\pi a b} = \frac{4100}{\mu \nu} \sqrt{\left(\frac{4}{d} + \frac{2}{S}\right)^2 P_c} \dots\dots\dots (2)$$

(この実験では $d = 0.9525 \text{ cm}$ $S = 0.281 \text{ cm}$ としたので、 $\cos \tau = 0.628$ となり、 $\tau = 51^\circ 10'$ で、 $\mu \nu = 1.11$ となる。)

ゆえに、

$$P_{max} = 3690 \sqrt{128.7 P_c} = 18650 P_c^{1/3} (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (3)$$

となる。

$P_c = 18.9 \text{ kg}$ なるゆえに、本実験の $P_{max} = 497 \text{ kg/mm}^2$ となる。このような条件の下で寿命試験して、“Flaking”が発生するまでのくりかえし回数のデータを統計的に処理した結果を紙面の都合上講演会当日に報告する。

文 献

- 1) 上野学, 三橋鉄太郎, 中野泰 : 鉄と鋼, **41**, 10 (1955) 1102
- 2) 水村善太郎訳: 転り軸受の負荷理論 (H. Schtelrecht)

(91) 軸受鋼の焼入, 焼戻温度の影響
 (軸受鋼の強度に関する研究—IV)

Study on the Influence of Quenching and Tempering Temperature on the Bending Strength of Bearing Steel
 (Studies on the bending strength of ball-bearing steel—IV)

T. Tasaka

住友金属工業製鋼所 工 田 坂 鋼 二

I. 緒 言

軸受鋼の機械的強度が、焼入焼もどし条件の種々の組合せによつてどのような変化の傾向をしめすかについては、従来実際の処理範囲内の温度でこまかく調べられていないのと、測定値のバラツキが大きいためあまりはつきりしていない。そこで強度の面から熱処理条件選定上の基本的な考え方をきめる目的で多数の試料につき実

験をおこなつた。

II. 実験方法および結果

高周波電気炉で溶製した同一溶解に属する 50 kg 鋼塊 2 本を 15 mm 巾に鍛伸後焼ならし、および球状化焼なましをおこない供試材とした。その化学成分は Table 1 にしめす通りである。

Table 1. Chemical composition (%) of Specimen.

| C | Si | Mn | P | S | Cu | Cr |
|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 0.99 | 0.27 | 0.36 | 0.012 | 0.010 | 0.10 | 1.48 |

この供試材から 10.5 mm 巾×60 mm の試験片を約 250 本作製し、焼入は 810, 830, 850, 870×20mn→油冷、焼もどしは 150, 170, 190°C×60mn→空冷の処理をおこなつた。すなわち 12 通りの組合せで 1 条件に対し各 20 本の試験片を充当した。焼入焼もどし後 10 mm 巾に研磨仕上げし支点間距離 50 mm でまげ試験をおこない最大荷重および硬度を測定した。また各焼入温度のもの任意の 5 個の試料につき炭化物量および酸化法によるオーステナイト粒度を測定した。

まげ荷重および硬度の測定結果は Fig. 1, 2 にしめす。これからつぎのことがわかる。すなわち曲げ荷重および硬度の焼入焼もどし温度による変化は、ほぼ直線的であるが焼もどし温度との関係を別にプロットして比較すると、(図略)荷重および硬度変化にたいする影響の程度は焼もどし温度よりも焼入温度のほうが大きい。すなわち焼入温度上昇による荷重低下ないしは硬度増加の程度は焼もどし温度低下による荷重の変化の程度よりも大きいことが知られる。また硬度と荷重の関係を図示すると Fig. 3 のようになる。各焼入温度別に硬度荷重の関係について相関分析をおこなつてみるときわめて有意な直線相関があり、これによればバラッキの程度は焼入温度によつてあまりかわらないが同程度の硬度に焼もどし

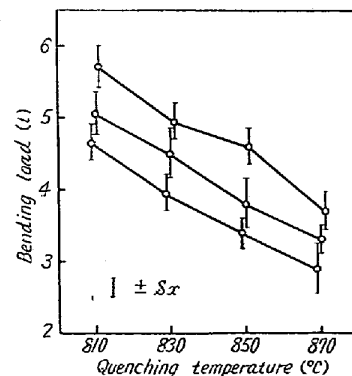


Fig. 1. Relation between bending load and quenching temperature.