

# ボール線材のオーステナイト状態の挙動と 早期寿命試験結果について†

上野 学\*・中野 泰\*\*

## AUSTENITIZING BEHAVIOUR AND RAPID LIFE TEST OF DRAWN WIRE FOR BEARING BALLS

*Manabu Ueno & Yutaka Nakano*

### Synopsis:

In this report, austenitizing behaviour and rapid life test of drawn wire for bearing ball were studied, and the effects of ingot size's difference, raw materials and vanadium addition were investigated.

The results obtained are summarized as follows;

(1) In quenching and tempered (1h) condition, the hardness increases to 860°C quenching temperature, but above 860°C it decreases.

(2) The bending stress decreases generally with quenching temperature, and between 820°C and 840°C quenching temperature it does not decrease except B steels.

(3) The solution of the carbide into austenite is very rapid to 840°C temperature, but inactive above 840°C temperature.

The austenitizing behaviour of the carbide is very different in C 1 and C 2 on account of vanadium addition.

(4) In A steels the retained austenite increases with quenching temperature, and it does not increase to 840°C quenching temperature in C steels.

(5) In rapid life test of A steels the mean and standard deviation of life times become better and crack damage is improved, if the imported scraps from america are charged more as raw materials.

The mean of it becomes better, but crack damage becomes worse on account of vanadium addition in C Steels.

In commercial B steel the mean of it and crack damage are worst.

### I. 緒 言

一般に軸受のボール、ローラーおよびニードルは軸受鋼第1種に相当する線材より製造されている。これは内輪や外輪に用いる第2種の組成のものに比してCr含有量がすこし低だけである。本稿において軸受鋼第1種に相当する線材の研究として、鋼塊の大きさの影響、原料相違の影響およびVの添加の影響が早期寿命にどのような挙動をおよぼすかを研究の主目標とし、合せてこれらの線材のオーステナイト状態の挙動を追求して報告する。

### II. 実験試料および実験方法

実験に供した試料はA, B, C社の軸受鋼第1種に相当する線材でその化学組成はTable 1に示す。いずれJISも規格の化学成分範囲に合格する。

A社のA1の鋼は銑鉄50%+スクラップ50%を原

料として塩基性電気炉で熔製したもので、A2は銑鉄15%+スクラップ85%を原料としたものである。A1とA2とはいづれも200kg鋼塊より中型圧延機と線材ロール圧延機でもつて $\phi 6.8$ mmの線材にした後に、球状化焼鈍したものである。

B1は市販の $\phi 3.8$ mmの線材である。C社のC1とC2は砂鉄銑20%+リターン・スクラップ60%+スクラップ20%を原料とし塩基性電気炉で熔製したものである。いずれも400kg鋼塊を鍛造後線材に圧延して $\phi 6.0$ mmの線にした後に球状化焼鈍したものである。C1とC2の相違はVの添加のちがいである。C1には約0.1%のVが添加されている。

化学成分の内Ni, Crについてみれば、A1とA2の鋼は他に比していちじるしく低い。これは米国よりの

† 昭和31年10月本会講演大会にて発表

\* 金属材料技術研究所

\*\* 大谷興業株式会社

Table 1. Chemical composition.

Code	Steel No.	Weight percent (%)										Remarks
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	N	V	
A	A 1	1.04	0.25	0.37	0.007	0.009	0.02	1.05	0.04	0.0088	—	Pig iron 50% + Scrap 50%, 200 kg ingot
	A 2	1.04	0.25	0.38	0.008	0.010	0.03	1.05	0.04	0.0093	—	
B	B 1	0.93	0.32	0.34	0.015	0.015	0.06	0.98	0.17	0.0114	--	Commercial steel
C	C 1	1.00	0.20	0.33	0.022	0.006	0.11	1.04	0.13	0.0064	0.1	Pig iron (iron sand) 20% + Returned scrap 60% + Scrap 20%, 400 kg ingot
	C 2	1.00	0.21	0.36	0.014	0.004	0.11	1.06	0.13	0.0083	—	

輸入スクラップのみを使用してリターン・スクラップを使用しないためと考えられる。

つぎにこれらの鋼の非金属介在物を比較すれば Table 2のごとくである。A1 と A2 は他に比していちじるしくA型が少い。B1 の市販の鋼はA型もB型も他よりも相当に多い。しかしこのB1 鋼もA型よりもB型がいちじるしく多いので電気炉で熔製されたものである。

オーステナイト状態の挙動については焼入温度、硬度、曲げ応力、残存セメント量および残留オーステナイト量との関係を求めた。硬度は明石微小硬度計を使用し、曲げ強度試験は JIS の針状ころの曲げ強度試験法に準拠した。また残存セメント量は lineal analysis により、残留オーステナイトは積分強度法 (X線定量) により測定した。

Table 2. Non-metallic inclusions.

Steel No.	A-type non metallic inclusions		B-type non metallic inclusions	
	Degree of cleanliness	Mean thickness	Degree of cleanliness	Mean thickness
A 1	0.07	2.5 $\mu$	2.4	4.1 $\mu$
A 2	0.08	2.6 $\mu$	2.3	4.0 $\mu$
B 1	0.59	5.3 $\mu$	5.0	5.8 $\mu$
C 1	0.3	3.0 $\mu$	2.3	3.0 $\mu$
C 2	0.4	3.0 $\mu$	2.3	3.0 $\mu$

早期寿命試験に用いる試料は線材の圧延方向に沿い、 $\phi 3.2\text{mm} \times l 18.0\text{mm}$  のニードルを削り出し、これを  $840^\circ\text{C} \times 1/2\text{h} \rightarrow$  水焼入  $\rightarrow 150^\circ\text{C} \times 1\text{h}$  焼戻処理した後に、 $\phi 3.0\text{mm} \times l 18.0\text{mm}$  のニードルにセンターレス・グラインダーで研削した。そして表面を超仕上げ研磨して、いづれの試料も  $-0.5 \sim 0\mu$  の範囲にあるようにニードルの直径の精度をとくに注意した。

### III. 実験結果および考察

#### 1) オーステナイト状態の挙動について

(a) 硬度:  $\phi 3.2\text{mm} \times l 18.0\text{mm}$  のニードルを各焼入温度に  $1/2\text{h}$  加熱して水焼入した後に  $150^\circ\text{C} \times 1\text{h}$  焼戻した。これらの試料の硬度を微小硬度計 (荷重200g) で測定した。その実験結果を Fig. 1 に示す。いづれの試料も  $860^\circ\text{C}$  までは焼入温度とともに硬度は増加する。しかし  $860^\circ\text{C}$  以上の焼入温度になると硬度が低下する。 $840^\circ\text{C}$  の焼入温度では A1, A2 は他に比して硬度が高い。

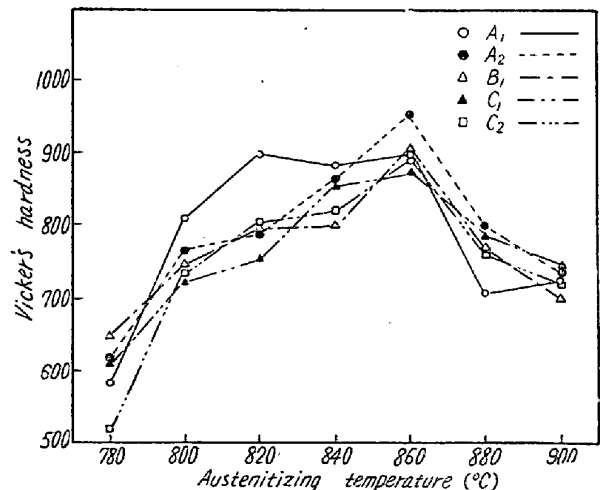


Fig. 1. Relation between Vicker's hardness and austenitizing temperature.

(b) 曲げ強度: JIS による曲げ強度試験<sup>1)</sup>では、試験するニードルを支点および負荷点に使用し、支点間距離 ( $l$ ) は試験ニードルの直径 ( $d$ ) の3倍で、 $1/2l$  の負荷点に荷重を加えて破断荷重 ( $W$ ) を求める。そうすると、曲げ応力は次式で求められる。すなわち、

$$\sigma = \frac{M}{Z} = 24 \frac{W}{\pi d^2} \dots\dots\dots (1)$$

$\sigma$ : 曲げ応力 (kg/mm<sup>2</sup>)

$M$ : 破断荷重に対する曲げモーメント (=  $Wl/4$ )

$Z$ : 各径のニードルに対する断面係数 (=  $\pi d^2/32$ )

$W$ : 破断荷重 (kg)

$l$ : 支点間距離

$d$ : ニードルの直径

上記(1)式で求めた曲げ応力と焼入温度との関係を探ると Fig. 2 のごとくである。焼入温度とともに曲げ応力が低下する傾向を示すが、820~840°C でこの低下の傾斜が緩やかで、横軸にほとんど平行になる。ただしB社の鋼だけは例外で平行になる部分がなく、800°C以上の焼入では曲げ応力は低下する一方である。この鋼は焼入感受性が敏感であるといえる。

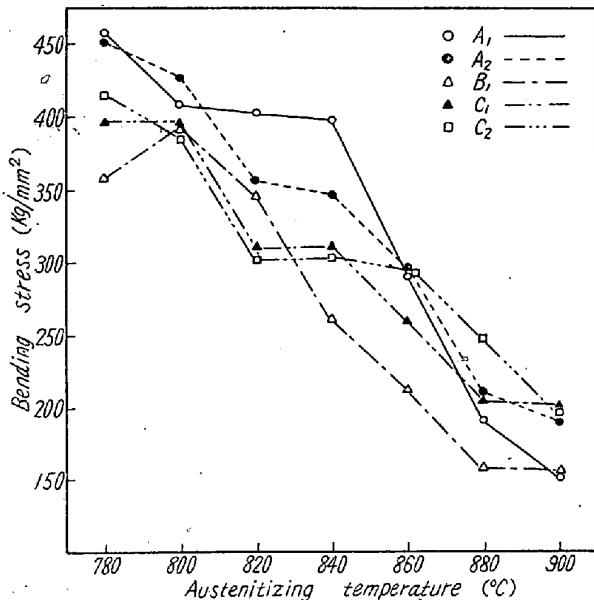


Fig. 2. Relation between bending stress and austenitizing temperature.

(c) 残存セメンタイト量: 残存セメンタイト量を前報に報告した方法, すなわち lineal analysis によつて求めた。

Fig. 3 は焼入温度と残存する Fe<sub>3</sub>C 量との関係を示す。840°C までは Fe<sub>3</sub>C は急速に固溶するが、840°C 以上では比較的緩慢である。A社の A1と A2 は比較的似た傾向を示すが、C社のVを添加せる C1 とV添加せざる C2 とでは Fe<sub>3</sub>C の固溶に対する傾向はかなり異なる。

(d) 残留オーステナイト量: 残留オーステナイト量の定量には積分強度法<sup>2)</sup>によるX線の定量法を採用した。そして焼入温度と残留オーステナイト量との関係を探

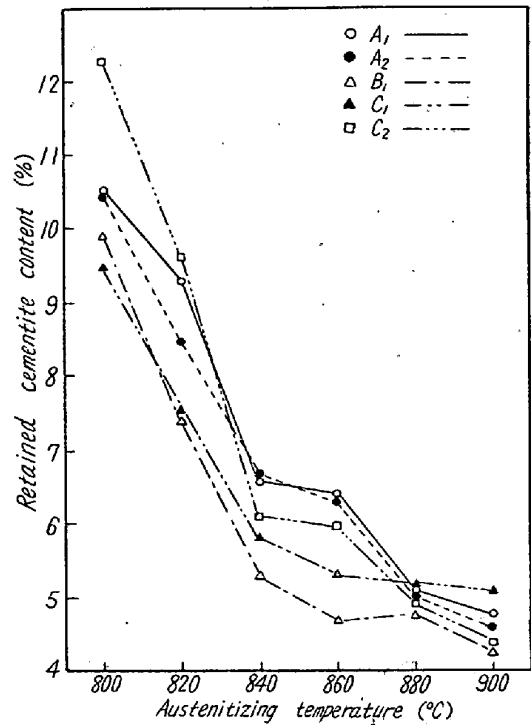


Fig. 3. Relation between cementite content and austenitizing temperature.

ると Fig. 4 のごとくなる。A1 と A2 はほとんど同じ傾向を示す, すなわち焼入温度と共に残留オーステナイト量も増加する, 但し A1 は 880°C 以上で残留オーステナイト量が減少する。C社の C1 と C2 は 840°C の焼入温度までは残留オーステナイト量がほとんど増加しないが、840°C 以上になると急に増加する。その

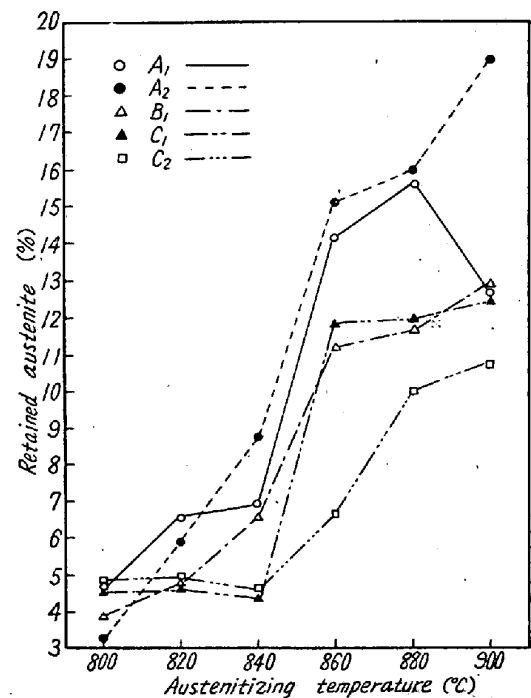


Fig. 4. Relation between retained austenite and austenitizing temperature.

増加のカーブは C1 が C2 に比して急である。840°C の焼入温度では C 社の C1 と C2 が一番残留オーステナイトが少い、A 社の A2 が一番残留オーステナイトが多く、次に A1, B1 の順に減少して行く。A2 と C1 とでは、約 2 倍以上も残留オーステナイト量が違う。

2) 早期寿命試験について

上記 5 種の線材より削り出したニードルを、いずれも 840°C × 1/2 h → 水焼入 → 150°C × 1 h 焼戻処理した。この試料を研削した後に表面を超仕上した。このニードルを約 40 本用意し、先に報告した早期寿命試験機<sup>3)</sup>で試験した所、ニードルに“Flaking”が発生する前に寿命試験機の駆動用ローラーの軌道面に“Flaking”が発生して、試験の続行困難となった。それで Fig. 5 に示す改良

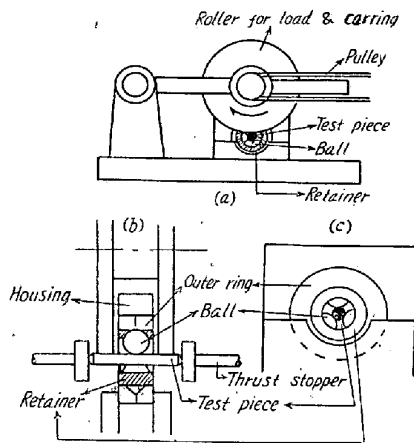


Fig. 5. Rapid life testing machine.

型の早期寿命試験機で寿命試験を実施した。Fig. 5 (a) に示す通りの構造の試験機で、黒丸がニードルで、そのニードルの両端に負荷と駆動を行うローラーがあり、これによつてニードルを回転させる。ニードルの付近は Fig. 5 (b), (c) のごとく、V 型の溝をもち縦に 2 つ割りになつて遊隙を調節できる外輪にボールを 3 個入れ、これにニードルをさしこんで回転させる。この実験では無負荷状態で遊隙が零になるようにした。ボールの間隔を保つため真鍮製の保持器がはいっている。また、ニードルが長さ方向に移動するのを防ぐためにスラスト止めをつけた。簡単に云えば、ボール 3 個の玉軸受と同じで、ローラーを回転するとニードルが回転し、ボールが自転しつつ公転し、したがつて保持器も回転する。潤滑は 60 番スピンドル油をローラーに滴下し、その飛沫で潤滑した。この場合ニードルとボールの荷重分布を考えると、Fig. 6 (a) (b) のごとくである。Fig. 5 (a) のごとく駆動ローラーの自重によりニードルの両端に荷重がかゝり、ニードルの中央でボールと接触すると、ニードルと

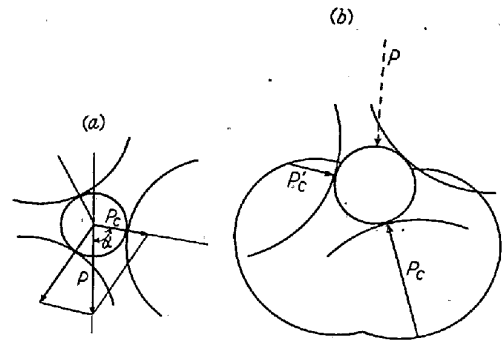


Fig. 6. Load distribution between test pieces and a ball.

ボールの相対的位置と荷重の関係は Fig. 6 (a) のごとくなる。今、ボールが荷重 P の方向と α の角度をなす位置にあると、その時このボールにかゝる力 Pc は、

$$Pc = 2/\sqrt{3} P \sin (120^\circ - \alpha) \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。したがつてこの場合の荷重分布は Fig. 6 (b) のようになる。この分布はニードルが 1 回転に必ずこの荷重をうけるということだけでなく、ボールが図の位置でニードルに接触した時、図のような荷重 Pc, Pc' を受けることを示す。この実験では P = 32 kg であるので

$$Pc \max = \frac{2}{\sqrt{3}} P = 37 \text{ kg} \text{ となる。}$$

次にボールとニードルの間の接触に Hertz の計算<sup>4)</sup>を適用すると、ニードル直径 S, ボール直径 d とした場合

$$\cos \tau = \frac{1/S}{d/4 + 1/S} \dots\dots\dots (2)$$

(この実験では、S = 3 mm, d = 1/4" としたので、 $\cos \tau = 0.514$ )

したがつて接触楕円の長径 a, 短径 b は

$$a = \mu \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 666 Pc}{\left(\frac{4}{a} + \frac{2}{S}\right) E}} = 0.22 \text{ mm} \dots\dots\dots (3)$$

$$b = \nu \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 666 Pc}{\left(\frac{4}{d} + \frac{2}{S}\right) E}} = 0.11 \text{ mm} \dots\dots\dots (4)$$

最大縮圧力 P max は

$$P \max = \frac{1.5 Pc}{\pi ab} = \frac{4100}{\mu \nu} \sqrt[3]{\left(\frac{4}{d} + \frac{2}{S}\right)^2 Pc} \dots\dots\dots (5)$$

(μν = 1.07)

$$P \max = 21100 Pc^{1/3} \dots\dots\dots (6)$$

この実験では、Pc = 37 kg であるので P max = 700 kg/mm<sup>2</sup> となる。Fig. 6 (b) より明らかなごとく、ボールの負荷圏は円周の 2/3 であり、ボールは 3 個であるので、負荷圏には常に 2 個のボールがある。しかしニードルの回転にともない、ボールも公転するので、ニードル

上の一点が1回転するうちに受ける力の回数  $Z$  は、

$$Z = Z' \left( 1 - \frac{Nr}{Ni} \right) \dots\dots\dots (7)$$

で表わされる。

$Z'$ : 負荷圏内のボール数.  $Ni$ =ニードルの回転数.

$Nr$ : 保持器の回転数

それで、この場合  $Z=2(1-0.15)=1.7$  である。これを1分間の繰返し数にすると、 $1.7 \times 83,000 = 141,000 = 1.4 \times 10^5$  となる。このような条件において、3時間運転後外輪の温度上昇は  $20^\circ\text{C}$  以下である。以上のごとき  $P_{\max} = 700 \text{ kg/mm}^2$  の接触圧力で、 $1.4 \times 10^5 \text{ r.p.m}$  のもとに寿命試験を実施し、A1, A2, B1, C1, C2, の各試料の寿命時間のデータを統計的に処理した。Fig. 7 は各社のニードルの対数寿命時間の度数分布を示す。

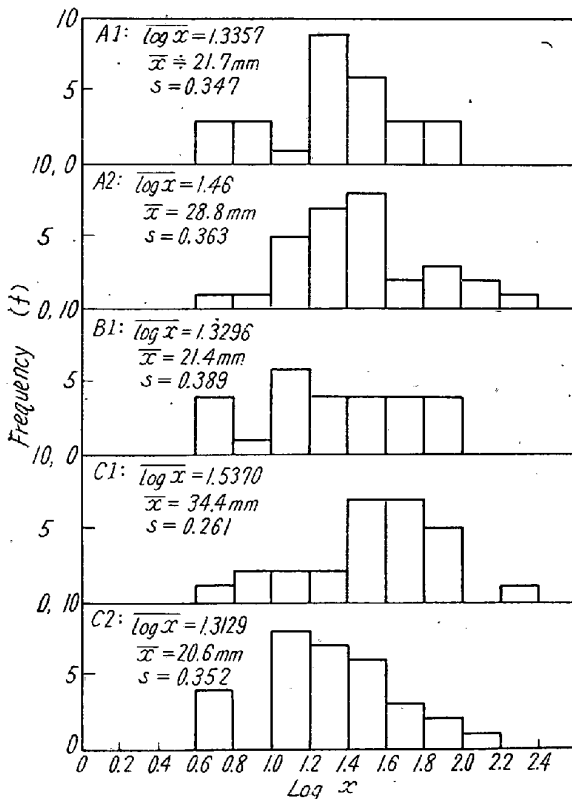


Fig. 7. The histogram of log. life time.

しかしこの寿命試験の際初期に割れの発生を生じた試料もあるが、この初期に生じた割れの試料は Fig. 7 の度数には入れていない。すなわち Fig. 7 の度数は“Flaking”の生じた試料のみである。A1 と A2 を比較すると、平均寿命時間 ( $\bar{x}$ ) は A2 が A1 よりも  $7.1 \text{ mm}$  だけ優秀である。この A1 と A2 の  $\log \bar{x}$  の差の検定をすると有意水準 15% でもつて A2 が A1 よりも寿命時間の対数平均値が良いと云うことができる。しかし標準偏差 ( $s$ ) は A1 が A2 よりも良い。

以上のことは、国産の銑鉄が 15% より 50% に増し、米国よりの輸入スクラップの量が減ると、平均寿命時間が低下する傾向を示す。このことは筆者の考え方によると、国産の銑鉄に問題点があり、本当の意味において国産の銑鉄に処女性がないのではないか。次に A1 と市販の B1 の  $\bar{x}$  について比較しても、余り平均寿命時間に差異がない。C社の C1 と C2 を比較すると、Vを 0.1% 添加した C1 が C2 に比して平均寿命時間が  $13.8 \text{ mm}$  も良い。そして C1 と C2 の  $\log \bar{x}$  の差の検定をすると、有意水準 1% でもつて C1 が C2 よりも寿命時間の対数平均値が良好である。このように V の添加は“Flaking”の発生による寿命に対していちじるしく有効である。鍛造程度の差異をみるに、A1 と C2 を比らべると、余り平均寿命時間に差異がみとめられないので、線材のごとくいちじるしく加工を受けている材料では鋼塊が 200 kg でも 400 kg でも耐久性には余り影響はないと考えられる。

以上は“Flaking”の発生した試料についてであるが早期寿命試験機に試験ニードルをセットして回転させると 2~3 分以内に割れが発生する試料がある。この割れが発生した割合を各試料について求めると、Table 3 に示す通りである。

Table 3. Damage per cent of cracks that occurred without flaking.

Code	A1	A2	B1	C1	C2
Damage per cent	6.6	0	28.9	27.0	18.4

これからも明らかなごとく、市販の B1 が一番割れの発生率が高い。C1 と C2 を比べると、V の添加により平均寿命時間が良くなるが、割れの発生率は逆に高くなり、かえって悪くなる。

A1 は比較的 B1, C1, C2 に比して割れの発生する確率が少い。A2 などは完全に割れの発生したものはない。これなどは米国より輸入したスクラップの影響によるのではないかと考えられる。割れの発生したニードルを切断して断面をみると、割れは内部深くまではいらず表面で割れはとまっている。しかし圧延方向には割れは長く延びている。この割れの発生した試料を続けて寿命試験させると、“Flaking”を生ずる場合がある。この割れの発生原因は明らかでないが、これは製鋼法および原材料の問題であると思う。この早期の割れの原因が存在するボールおよびニードルが軸受に使用されると、使用の始めに故障を起す確率が当然多くなるものと考え

られる。それで筆者はこの早期に割れる原因を研究してこの原因を取除きたいと考えている。

#### IV. 結 言

以上の結果を総括すると、

(1) いづれの試料も 860°C までは焼入温度とともに硬度は増加するが、860°C 以上になると硬度がかえって低下する。

(2) 焼入温度とともに曲げ応力が低下するが、820~840°C で低下の傾斜が緩やかで、一時横軸にほとんど平行になる。ただし B 社の鋼だけは例外で平行になる部分がなく、曲げ応力は焼入温度と共に低下する。

(3) 840°C までは  $Fe_3C$  は急速に固溶するが 840°C 以上では比較的緩慢である。A 社の A1 と A2 は似た傾向を示すが、C 社の V の添加せる C1 と添加せざる C2 では  $Fe_3C$  の挙動はかなり異なる。

(4) A 社の A1 と A2 は同じ傾向を示し、焼入温度と共に残留オーステナイト量は増加する。C 社の C1 と C2 は 840°C までは残留オーステナイト量はほとん

ど増加しないが、840°C 以上になると急に増加する。B 社は A 社と C 社の中間的な挙動を示す。

(5) 早期寿命試験の結果では、A 社において米国の輸入スクラップの配合率が多くなれば平均寿命時間は良好となり、かつまた割れの発生する確率が少なくなる。C 社において V を 0.1% 添加するといちじるしく平均寿命時間が良くなるが、割れの発生率が多くなる。市販の B 社は平均寿命時間も余り良好でなく、割れの発生する確率は一番悪い。

終りに、御指導を賜った当所河田部長および御援助をいただいた機械試験所第 2 部 3 課の御一同に厚く御礼申し上げます。(昭和 31 年 3 月寄稿)

#### 文 献

- 1) JIS, B 1504~1954, 針状コロ
- 2) 上野, 三橋, 中野: 鉄と鋼, 42 (1956), 257
- 3) 上野, 三橋, 岡本: 鉄と鋼, 42 (1956), 260
- 4) 水村善太郎訳: 転り軸受の負荷理論 (H. Schtelrecht)