

軸受鋼の研究(III)*

(酸性平炉鋼, 塩基性電気炉鋼及び S.K.F. 素材のオーステナイト状態の挙動)

上野 学**・中野 泰**

STUDIES ON BALL-BEARING STEELS (III)

(Austenitizing Behavior of Acid Open Hearth-Furnace-Steels, Basic Electric-Arc Furnace Steels and SKF Ball-Bearing Steels)

Manabu Ueno & Yutaka Nakano

Synopsis:

There are two kinds in the steel-making process of the ball bearing steels, namely, small acid open-hearth and basic electric-arc process.

The former is adopted mostly in SKF Hofors Bruks, and the latter is the process which is used mostly in Japan and U.S.A.

Therefore, the austenitizing behaviour of the above kind ball-bearing steels, made in Japanese steel maker and tubings of SKF ball bearing steel is studied and reported in this paper.

The steels, made by the acid open hearth and the basic electric arc process, have the different quenching-sensibility. According to this sensibility, the difference of change in the hardness and the mechanical property is barely, but the ease, with which the cementite goes in solution in the austenitizing state, is very different by the above two kind of process.

Namely, the cementite in the electric arc furnace steel goes in solution easily, but it does not go in solution easily under 850°C temperature and goes in solution easily and rapidly above 850°C temperature in the open hearth furnace steel.

Secondly, although there are many non-metallic inclusions in SKF tubings of ball-bearing steels, these steels are stable in the austenitizing state, and the quenching sensibility of this steels is dull.

This relates to the solution speed in the cementite, and the solution of it is stable comparatively from 800°C to 880°C temperature.

I. 緒言

軸受鋼高炭素低クローム鋼の普通の製鋼法には小型酸性平炉法と塩基性電気炉法の2種類がある。前者は主としてヨーロッパ、特にスウェーデンにて採用され、後者は米国および日本にて用いられている。前者の炉では製鋼中に十分に精煉ができないので原料は上質のものを使用する必要がある、後者の炉では耐火物が塩基性であり充分なる精煉が可能であるので原料の選択は非常に楽である。更に一般に前者による鋼はNガスの含有量が後者の鋼に比して少いといわれている。

然しこの2種類の製鋼法による軸受鋼の優劣については文献もないようであり、かつこの製鋼法の問題が第1回世界冶金会議で盛んに討議されたときいている。筆者はここに両種の製鋼法による軸受鋼の寿命におよぼす影響の研究の一部として上記製鋼法による軸受鋼のオーステナイト状態の挙動を報告する。更にSKFの管材との

比較も合せて発表する。上記2種類の軸受鋼は株式会社日本製鋼所の援助により、SKFの管材は日本精工株式会社御好意によるものである。ここに厚く両社に感謝する次第である。

II. 実験試料及び実験方法

実験に供した試料は酸性平炉鋼、塩基性電気炉鋼およびSKFの管材の3種である。その化学組成をTable 1に示す。SKFの素材はバー材でなく、外径58mm×内径36mmの管材である。3種の軸受鋼の非金属介在物を比較すればTable 2に示す如くである。

Table 1より明らかなる如く、P, S共にSKFより酸性平炉鋼、塩基性電気炉鋼の方がよく、NガスについてはSKFは電気炉鋼並みである。但しCuは日本

* 昭和30年4月本会講演大会にて発表

** 工業技術院機械試験所

Table 1. Chemical composition.

Type	Marks	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Cr (%)	Cu (%)	V (%)	N (%)
Acid open hearth steel	H	1.02	0.42	0.53	0.016	0.013	0.10	1.58	0.12	—	0.0018
Basic electric furnace steel	R	0.98	0.32	0.41	0.011	0.005	0.31	1.37	0.22	—	0.0027
SKF tubes	SKF	1.02	0.29	0.31	0.025	0.019	tr.	1.47	0.03	0.06	0.0027

Table 2. Non-metallic inclusion.

Type	A type non-metallic inclusions		B type non-metallic inclusions	
	Degree of cleanliness	Mean thickness	Degree of cleanliness	Mean thickness
H	2.1	3.4	1.7	3.5
R	0.8	2.5	2.2	3.8
SKF	3.4	4.9	3.0	4.8

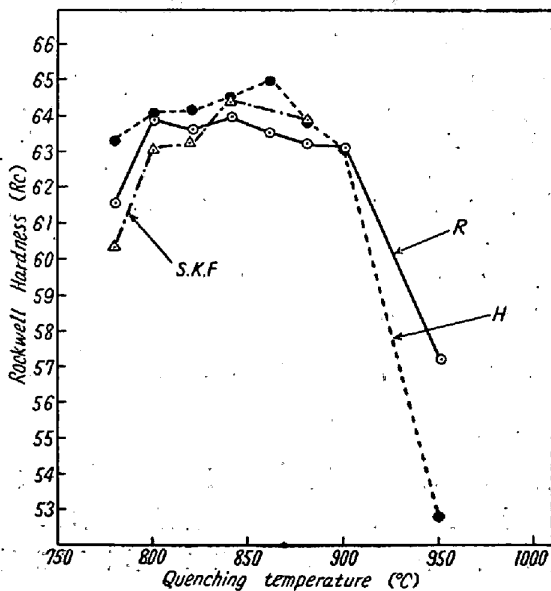


Fig. 1. The relation between the quenching temperature and the hardness (each specimen is tempered at 150°C×1h)

の鋼に比して著しく低く、かつまたVが0.06%添加してある点が相違する。次にTable 2に示す非金属介在物については、H、RのいずれもSKFより秀でてゐる。HはA型非金属介在物についてはRよりも劣るがB型については少し優秀である。

上記3種類の鋼についてはオーステナイト状態の挙動即ち焼入温度変化による硬度とそのばらつき、圧壊試験セメントタイトの固溶のしかた、結晶粒の生長および一端焼入試験曲線の挙動について研究した。

硬度、圧壊試験、セメントタイト含有量の測定に使用した試料は各焼入温度(1h保持)より油焼入した後

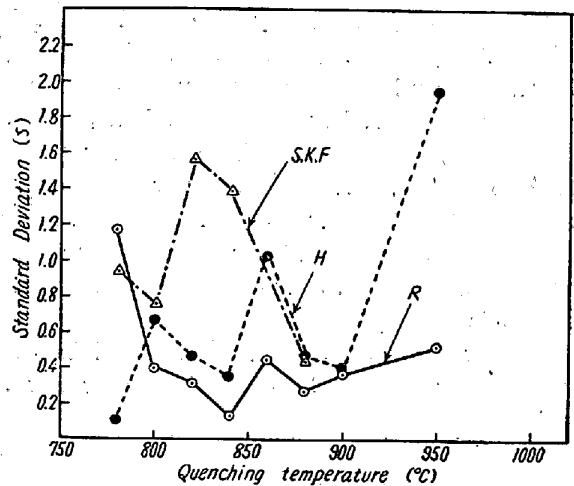


Fig. 2. The Relation between the quenching temperature and standard deviation of the hardness (each specimen is tempered at 150°C×1h)

れも150°C×1hの焼戻処理を実施した。

圧壊試験はH、R試料では外径39mm×内径29mm×巾10mmのリング試験片について行い、SKFの管材では外径56mm×内径36mm×巾10mmのリング試験片の寸法のものを用いた。セメントタイト含有量はLineal analysisにより定量した。一端焼入試験はS.A.E.の規格寸法に準拠した。

III. 実験結果及び考察

(1) 硬度について: H、R および SKF の試料を各焼入温度に1/2h加熱して油焼入した後、150°C×1hの焼戻を行いロックウェル硬度計で20箇所測定し平均硬

度とそのばらつきを示す母標準偏差を求め、それ等と焼入温度との関係を求めると、Fig. 1, Fig. 2 の如くなる。Fig. 1 より R と SKF は 730°C の焼入では硬度が低く、800°C より焼入硬度が高くなる。然し H は 780°C より焼入硬度が高くなっている。R と H は 900°C 以上になると急に硬度が低下する。これは結晶粒が粗大化して焼が充分に入り残留オーステナイトが急に増加するためと考えられる。Fig. 2 より硬度のばらつきをみると、H, R は同じ傾向を示し 840°C の焼入温度で最小となるが、SKF は逆に 840°C で母標準偏差が増大している。

(2) リング状試験片の圧壊試験について：リング状試験片を P の力で荷重を加えると、荷重の加わった点より主として破断する。即ちこの部分における両端面の繊維応力が最大となる。この最大繊維応力を $\sigma_{\alpha \max}$ とすると次式にて計算される。即ち

$$\sigma_{\alpha \max} = \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{I_z} \cdot \frac{P}{2} \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) \dots (1)$$

ここで、P は破断に至るまでの荷重、 R_2 はリング試験片の外半径、 R_1 はその内半径、 h は $R_2 - R_1$ 、 b は巾、 I_z は断面係数である。 I_z は $\frac{bh^3}{12}$ であるので、(1) 式は次の (2) 式に書を替えられる。

$$\sigma_{\alpha \max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{bh^2} \cdot P \dots \dots \dots (2)$$

以上焼入温度と圧壊値よりもとめた最大繊維応力との関係を求めると、Fig. 3 の如き結果を示す。

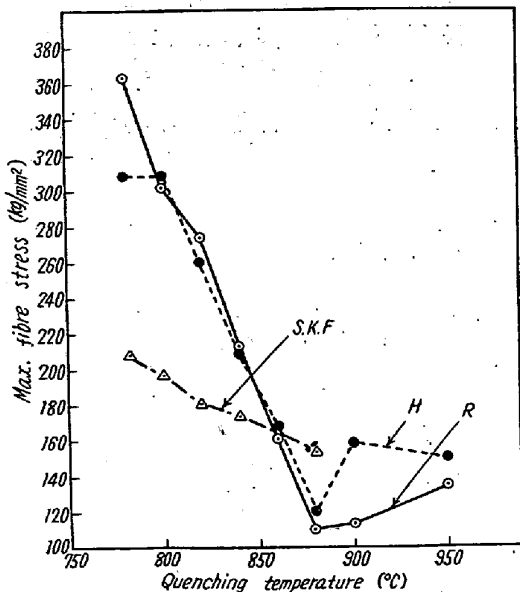


Fig. 3. The relation between the quenching temperature and the max. fibre stress calculated from the compressive load of the ring specimen.

これから明らかなる如く、焼入温度が高くなるにつれて最大繊維応力が低下する。H, R の試料の低下の傾向は SKF に比して著しい、即ち焼入感受性について敏感であることを示す。H と R については殆んど同じ傾向を示すが、880°C 以上では H の方が R よりも $\sigma_{\alpha \max}$ が高い。

以上のことは或る程度セメンタイトがオーステナイト地に溶け込む速度に関係がある。

(3) 焼入焼戻後に残存するセメンタイト含有量について：ここでは焼入温度変化によりセメンタイトがオーステナイト地にどの程度固溶するかを追求した。セメンタイト含有量は 1200 倍の倍率下の顕微鏡にて Lineal analysis にて求めた。Lineal analysis においては約 5 mm の距離の間のセメンタイトと地の積線分比を求めた。

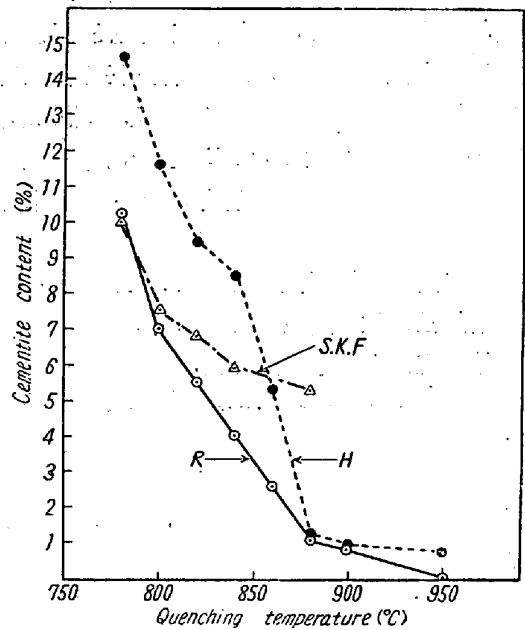


Fig. 4. The effect of the quenching temperature on the cementite content.

Fig. 4 は焼入温度とセメンタイト含有量との関係を示す。素材の時は 3 種とも約 15% Fe_3C がフェライト地に点在していた。今、H と R の挙動をみると、R は非常に溶込み易く 800°C より直線的に固溶量を増して行き 880°C で残存する Fe_3C 量は僅か 1% 程度まで減少する。ところが、H では 840°C までは比較的固溶しにくい、840°C 以上になると急に固溶し始めて、880°C では R と同じ Fe_3C 量になる。しかるに SKF の素材をみると、800°C までに可成り Fe_3C は溶込み、800°C 以上 880°C までの焼入温度範囲において Fe_3C の溶込みが緩慢になつている。これらの実験事実を考察す

ると、SKFの素材は実際に現場で焼入作業中に保持している焼入温度範囲ではFe₃Cの固溶程度は安定であり、かつまた第2報¹⁾で報告した如く840°C附近で残存するFe₃C量で寿命の最大な点を確保することが容易である。以上の事実は圧壊値よりもとめた最大繊維応力についての傾向と同じようにSKFの素材は焼入感受性に敏感でないことを示す。RとHの鋼はこの焼入温度範囲の僅かな変化でもFe₃Cの固溶程度が著しく変化するので、寿命の最適なFe₃C量を確保することが非常に困難である、即ちRとHの鋼は焼入感受性の敏感であることを示す。

以上の如くSKFの素材は非金属介在物や圧壊値より求めた最大繊維応力の値等においてはR、Hに劣るが、焼入感受性において敏感でなく、大量生産で連続焼入する際に有利であり、かつまた通常の焼入後残存するFe₃C量は寿命の最大な範囲にコントロールされている。

(4) 結晶粒度について：結晶粒度の生長現象をたしかめるために焼入法を用いた。即ち、各試料を各温度に2h保持して水焼入した後に、250°Cで15mn間焼戻す。そして試料をピクリン酸1gr+塩酸(s.g=1.19)5cc+エチルアルコール95ccの腐蝕液で5~10秒間エッチする。

結晶粒度の測定は学振法によらないで約5~7mmの間にある結晶粒の数を勘定して、1mmあたりの結晶粒の数で結晶粒度の大きさを示した。

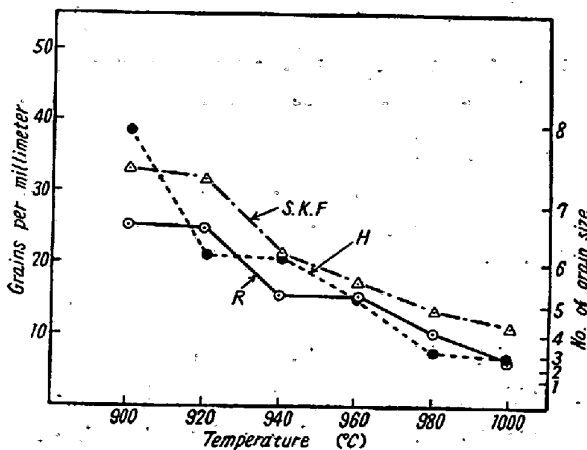


Fig. 5. The relation between the grain size and the austenitizing temperature.

そして各温度と結晶粒の数の関係を示せばFig. 5の如くなる。これから明らかな如く温度が高くなるにつれて結晶粒が生長して結晶粒の数が少くなる。HとRの試料について考えれば、900°CではHの方がRよりも結晶粒の数が多し、即ち結晶粒が微細である。然しHでは920°C~940°Cの温度範囲で結晶粒の数は増大しない、即

ちこの温度範囲では一部の結晶粒のみ生長して、多くの他の結晶粒は生長が阻止されていることを示す。940°C以上の温度になるといずれの結晶粒も生長するので結晶粒の数は次第に減少して行く。そして920°C~940°Cの温度範囲では生長した結晶粒と生長しない結晶粒の大きさの比が著しいのである。

次にRの試料では結晶粒の数の増大しない温度範囲が940°C~960°Cであつて、Hに比してこの温度範囲が高目である。960°C以上では漸次結晶粒の数は減少して行く。

SKFの試料についていえば、HとRの試料と異なり結晶粒の数の増大しない温度範囲が存在しないで、いずれの温度でも漸次結晶粒の数が減少して行く傾向を示す。またいずれの場合においてもR、Hの試料よりも結晶粒が微細である(Hの900°C試料以外)。SKFの試料は920°Cより生長し始める。以上の事を考えると、SKFの鋼はR、Hに比して均質であり、結晶粒界もR、Hに比して清浄であると考えられる。それに反して、R、Hの鋼では或る結晶粒は生長が阻止されるが、一部の結晶粒は著しく生長する様に材質が均質でないと考えられる。

(5) 一端焼入試験について：RとHの試料について一端焼入曲線におよぼす焼入温度の影響を求めた。RとHの試料についての関係をFig. 6, Fig. 7に示す。

Rの試料では820°C、840°C、880°Cの焼入温度にて中間組織があらわれる不連続部分を生ずる。Hの試料では820°Cよりの焼入の際にのみ不連続部分が生ずる。いずれの試料も焼入温度が高くなるにつれて焼の入る深さが深くなる。このことを定量的に示すために、一端焼入曲線より油焼入した場合丸棒の中心の硬度がRc 63

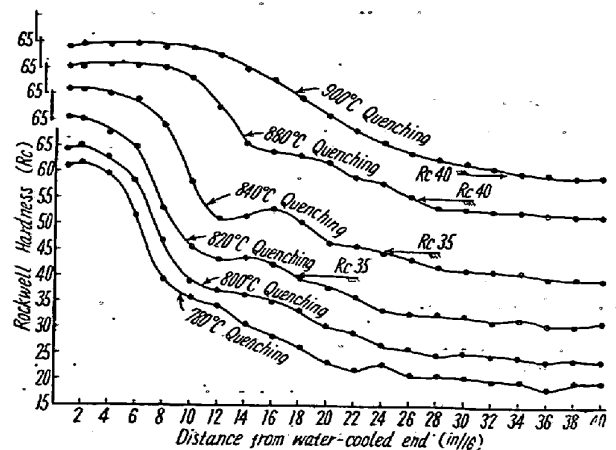


Fig. 6. Effect of the quenching temperature on the end quenched curve of R specimens.

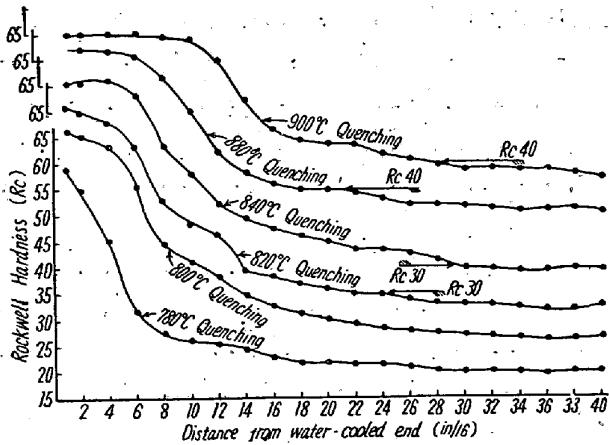


Fig. 7. Effect of the quenching temperature on the end quenching curve of H specimens

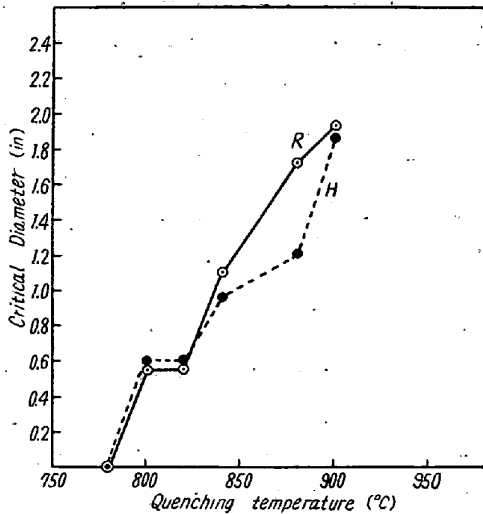


Fig. 8. The relation between the quenching temperature and the critical diameter of the round bar, of which center hardness is at Rc 63 by oil quenching.

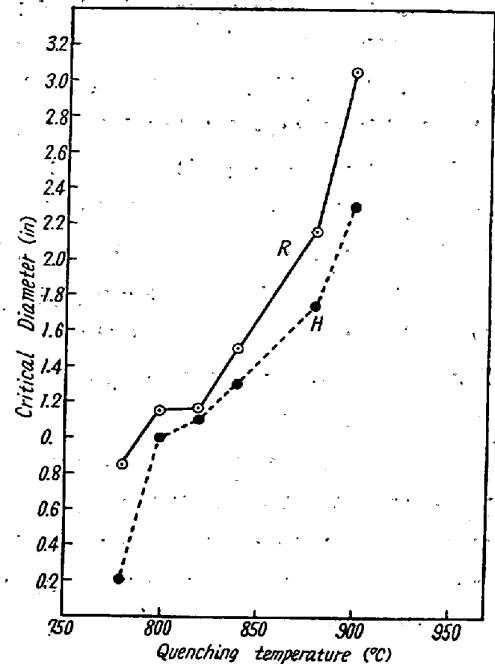


Fig. 9. The relation between the quenching temperature and the critical diameter of the round bar, of which center hardness is at Rc 55 by oil quenching.

IV. 結 論

以上、酸性平炉と塩基性電気炉による製鋼法の相異により焼入感受性に非常な相異を来たす。然し硬度と焼入温度および圧壊試験の場合の最大繊維応力と焼入温度との関係等の差異は僅かである。焼入後残存する Fe_3C 量には可成りの相異があり即ち、 Fe_3C_4 の固溶速度が相当に異なるので地の炭素量は著しく相異なる。次に SKF の管材は非金属介在物が多いがオーステナイト状態において Fe_3C の固溶速度の温度による変化は比較的小さく、焼入感受性に敏感でない。

以上の結果を総括すると次の通りである。

(1) R と SKF は 780°C の焼入温度では硬度が低く 800°C より焼入硬度が充分に出る。然し H は 780°C より焼入硬度が高い。R と H は 900°C 以上より焼入して 150°C で焼戻すると、急に硬度が低下する。硬度のばらつきは R と H の試料では 840°C の温度から焼入のとき最小となるが、SKF ではその温度で最大となる。

(2) 圧壊試験により求めたリング試片の両端面の最大繊維応力と焼入温度の関係をみると、H、R は同じ傾向を示し、焼入温度に対する勾配が急である。即ち焼入温度が僅かに変化することにより最大繊維応力が著しく低下する。このことより R と H は焼入感受性に敏感であるといえる。SKF の管材ではこの焼入感受性に対して

と Rc 55 を示す時の丸棒の臨界直径²⁾を求め、これと焼入温度との関係を求め Fig. 8, Fig. 9 に示す。

Fig. 8 には丸棒の中心が油焼入して Rc 63 を示す時の臨界直径と焼入温度との関係が示されてある。R、H 共 840°C の焼入温度までは殆んど同じ傾向を示すが、840°C 以上になると R の方が H よりも焼入深さが深くなる。R、H 共に 840°C より油焼入すれば 1" の直径の丸棒までは中心の硬度が Rc 63 以上の値を示す。

Fig. 9 は丸棒の中心硬度が油焼入にて Rc 55 を示す時の臨界直径と焼入温度との関係を示す。これより R の試料は H に比して、いずれの焼入温度においても臨界直径が大きい。即ち焼入深さが深いことを示す。840°C より油焼入すれば、H では 1.3"、R では 1.5" の直径の丸棒まで中心硬度が Rc 55 以上の値を示す。

鈍感であり、又RHに比して可成り低い値を示している。

(3) Rの Fe_3C は非常に溶込み易く800°Cより直線的に固溶する傾向を示し、880°Cで残存する Fe_3C 量は僅か1%程度である。Hの Fe_3C は840°Cまでは固溶し難いが、840°C以上になると急に固溶し始めて、880°CではRと同じ Fe_3C 量になる。しかるにSKFの管材では、800°Cまでに可成り Fe_3C は溶込み、800°C以上880°Cの温度範囲では Fe_3C の溶込みは緩慢になっている。このことよりもSKFの管材は焼入感受性が鈍感であり、R、Hの試料は焼入感受性について敏感であるといえる。

(4) H、Rの試料では温度が高くなるにつれて、結晶粒が生長して結晶粒の数(単位長さ当り)が減少して行くが、或る温度範囲で結晶粒の数に変化がない所がある。しかるにSKFではこの温度範囲がなく漸次結晶粒

が生長して行き、著しい混粒域が存在しない。

(5) 一端焼入曲線におよぼす焼入温度の影響の結果よりいえば、Hの試料では820°C焼入の際にのみ中間組織があらわれる不連続部分を生ずるが、Rの試料では、820°C、840°C、880°Cの焼入温度のとき不連続部分があらわれる。

(6) 一端焼入温度より油焼入した場合丸棒の中心の硬度がRc 63とRc 55を示す時の丸棒の臨界直径を求めると、この臨界直径は焼入温度が高くなると共に大きくなる。また、焼入温度が840°C以上になるとRの試料がHの試料に比して臨界直径が急に大きくなる、即ち焼の這入る深さが深くなる。

註

1) 上野 学, 三橋鉄太郎, 中野 泰: 鉄と鋼
41 (1955), p. 278

2) SAE Hand Book (1950) p.410, Fig. 14

高 速 度 鋼 の 水 鈍*

大和久 重 雄**・赤 須 英 夫***

WATER ANNEALING OF HIGH-SPEED STEELS

Shigeo Owaku and Hideo Akasu

Synopsis:

Furnace-cooling is a standard practice for annealing high-speed steels. It constitutes, however, a bottle-neck to production because of a long time required for the operation.

To expedite and simplify the operation, the authors conducted many experiments. Earlier, stepped annealing or isothermal annealing had been found effective. This time, effectiveness of water annealing was confirmed.

The experimental results testify that:

1. Water annealing with the heating temperature 800°C held for 120mn. will effectively soften quenched high-speed steels with more rapidity and simplicity. The softened degree falls certainly short of complete annealing but comes up well to the hardness obtainable through machining.

2. Five to six times of water annealing operations will ensure softening if the following cycle is repeated: water cooling after rapid heating is applied and the heat is held for a brief time. Oil annealing should be recommended for the works of large dimensions or complicated contours.

I. 緒 言

高速度鋼はその熱伝導悪く、自硬性が大きい材料なので、その焼鈍軟化は極めて困難とされている。すなわち焼鈍温度に注意し、焼鈍時間は長時間を要し、その後の冷却は炉冷を原則として、極めてゆつくり行うことにな

っている。そのため実際現場作業においては多くの時間と電力その他燃料を消費して、量産の大きな隘路となつている。従つて焼鈍軟化を迅速簡易に行い得たならば、

* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて発表

** 鉄道技術研究所員 工博

*** 鉄道技術研究所員