

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っている。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

実際現場作業上利するところが大きいと思われる。

筆者等は、さきに二段焼鈍法(Stepped Annealing) 或いは、恒温変態焼鈍法(Isothermal Annealing)なる迅速軟化法を提唱してきたが、ここに迅速簡易軟化法として水鈍(Water Annealing)の有効なことを確認した。勿論完全焼鈍に比較して軟化程度は悪いが、機械加工の可能な硬さに軟化させることができる。

水鈍とは変態点直下に加熱後水中急冷して軟化させる方法である。これについては1931年 M. A. Grossman と E. C. Bain が高速度鋼取鋼中の分析試料採取の簡易便法として水鈍の有効なことを提唱している。

筆者の1人はさきに簡単に報告<sup>2)</sup>してきたが、今回更に補足実験を行い、それ等を総括して茲に報告する次第である。

## II. 実験方法並に実験結果

### 1. 水鈍温度および冷却方法の影響

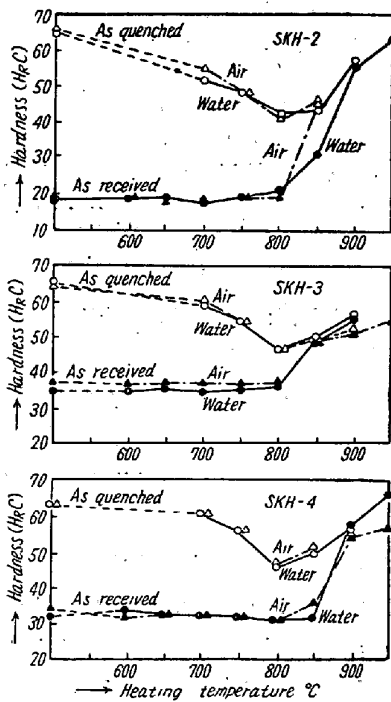


Fig. 1. Change of the hardness by water and air annealing.

高速度鋼(2, 3, 4種)の素材並びに焼入材の10×10×25mmなる試験片について600~950°Cに30mn間保熱後水中急冷(水鈍)および空冷(空気鈍)を行つて軟化程度をしらべた。その結果 Fig. 1 に示すごとく素材に対しては、焼鈍温度800°C迄は水冷しても空冷しても硬さは素材と変わりなく何ら硬化しない、しかしながら焼鈍温度が800°C以上になれば、変態点を越すために水冷もしくは空

冷によつて焼きが入るようになり、急に硬さは上昇する。焼入材に対しては、焼鈍温度800°Cからの水鈍または空気鈍が最も軟かく、これより温度が高くても、低くても軟化が不充分であり、また水冷、空冷による軟化度の差異はほとんど認められない。

要するに焼入高速度鋼を迅速簡易に軟化せしめるには800°Cからの水鈍もしくは空気鈍によるのがよい。勿論

変態点直下の加熱であるから、完全焼鈍のものほど軟化はしないけれども、機械加工の可能な硬さ位にはなる。なお供試高速度鋼の加熱変態点は夫々SKH-2...840°C, SKH-3...840°C, SKH-4...850°Cである。

### 2. 保熱時間の影響(水鈍温度800°C)

水鈍温度を800°Cとして、保熱時間を色々変えた場合の硬さの変化を示すとFig. 2のごとくである。Fig. 2

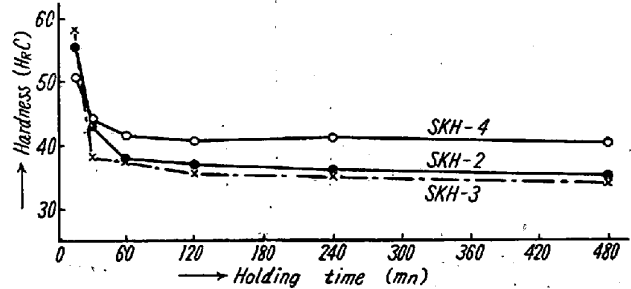


Fig. 2. Relation between the holding time and hardness by water-annealing.

によると、120mn間以後の軟化の程度は保熱時間に余り影響されず、ほぼ一定である。すなわち、水鈍用加熱時間としては120mn間位が有効であることが判る。

### 3. 試験片の大きさを種々変えた場合の水鈍効果

以上の実験に供した試験片の大きさは10×10×25mmの小型なものであるが、今回は大きさを種々変えて実験を行つた。すなわち、大型(30×30×30, 25×25×25mm)および小型10mm角以下についてSKH-2およびSKH-4の焼入のまま、焼入焼戻材について夫々800°Cから水鈍を行つた。その結果はTable 1に示すごとくである。これによれば、120mn間保熱の方が10mn間保熱よりも軟化が進んでいる。また試験片の大きさ、鋼種および熱処理の差異による影響は認められず、ほぼ同程度の軟化を示している。

### 4. 繰返し水鈍の影響

保熱時間を短縮して水鈍を行い、この操作を繰返せば長時間保熱した場合と同じような経過をたどつて軟化すると考えられるので、それについて実験を行つた。すなわち、水鈍温度800°Cに保熱してある電気炉中に試験片を挿入後、その火色が丁度800°Cになった時取出して水中急冷を行う。この方法を繰返して行い、その都度ロックウェルCスケールによる硬さ測定を行つた。実験結果はFig. 3および4に示すごとくである。

なお試験片を電気炉中に挿入後、水中急冷する迄の経過時間は大型(30×30×30mm)で約10mn間、小型(10mm角以下)で約5mn間である。

以上の実験より次のことが判る。

Table 1. Water-annealed hardness when steel type and size of specimen, heat-treatment and holding time were changed (annealing temp. 800°C)

Sample	Hardness H <sub>RC</sub>	Size mm	Hardness after quench. H <sub>RC</sub>	Hardness after temper. H <sub>RC</sub>	Holding time of w.a. (mn)	Hardness after w.a. H <sub>RC</sub>
SKH-2	19	25×25×25	63	—	10	49
		25×25×25	63	65	10	54
		25×25×25	64	65	120	42
		10×10×25	65	—	10	52
		10×10×25	62	64	10	54
		10×10×25	63	63	120	44
SKH-4	29	30×30×30	63	—	10	50
		30×30×30	62	65	10	50
		30×30×30	62	65	120	43
		6×8×30	62	64	10	50
		6×8×30	61	64	120	42

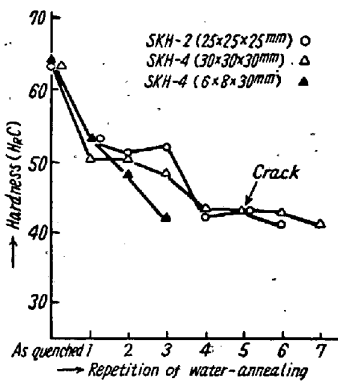


Fig. 3. Effect of repeated water-annealing.

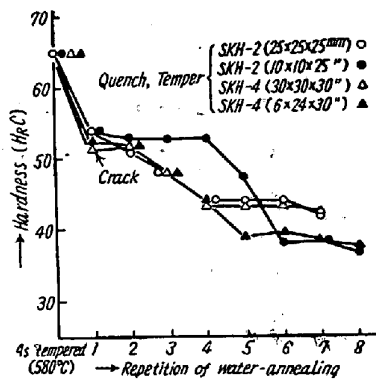


Fig. 4. Effect of repeated water-annealing.

(i) 何れの場合でも水鈍回数を増すことにより、微粒複炭化物がより多く析出して軟化するものと思われ、水鈍回数5~6回で軟化の目的が達せられる。

(ii) 大型(30×30×30mm)のSKH-4のみに、水鈍により割れが認められた。図示してあるごとく焼入のままのものは5回目に、焼入焼戻したものは1回目に発生している。

5. 保熱時間を変えた水鈍効果

前述の割れの原因を探究するためと、大型および形状の複雑なものの水鈍効果を調べるために、Fig. 5に示

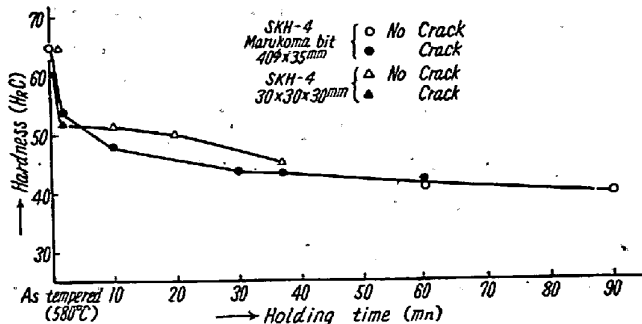


Fig. 5. Relation between the holding time and hardness by water-annealing.

すごとく、SKH-4 30mm角と鉄道工場でタイヤの切削に使用しているSKH-4の丸駒バイトを試験片として水鈍を行った。保熱時間は90mn間以内とし、種々なる時間保熱後水冷を行い、割れの発生状況および軟化程度を調べた。

なお供試材料は焼入後580°Cに2回焼戻を行ったものである。

その結果次のことが判明した。

(i) SKH-4の30mm角材については、短時間保熱のみで割れが認められるが、10mn間以上の保熱時間では割れは認められず軟化している。

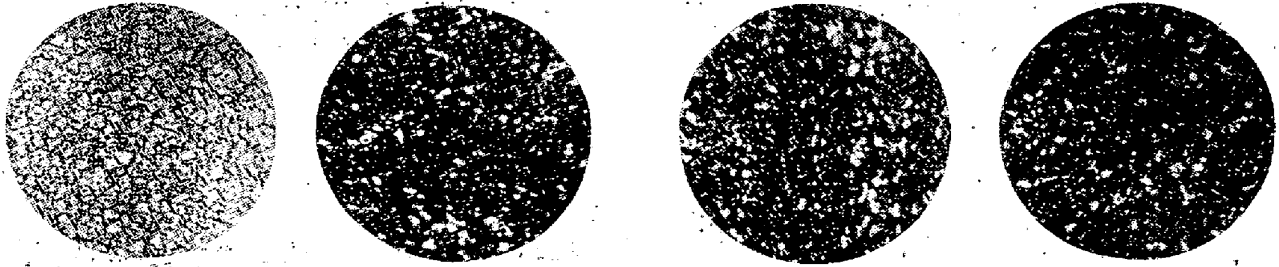
(ii) SKH-4の丸駒バイトについては、図示してあるごとく60mn間保熱迄は割れが発生しているが、90mn間保熱では認められない。つまり丸駒バイトの方が割れの傾向が強いようである。

(iii) 予め焼鈍してある丸駒バイトは短時間保熱水冷による水鈍では割れは認められない。

(iv) Photo. (A)はSKH-2の焼入のままの組織および水鈍組織を示すものである。Photo. (1)は焼入温度1300°C、2mn間保熱後油焼入したもので、焼入硬さはH<sub>RC</sub>66であり、試験片の大きさは25mm角である。

Photo. (2)および(3)はPhoto. (1)の材料を予め水鈍温度800°Cに保熱してある電気炉中に挿入加熱して、試験片の火色が、丁度800°Cになった時取出して水中急冷した組織である。なお炉中挿入から水中急冷までの経過時間は約10mn間である。Photo. (2)は表面部、(3)は中心部の組織であり、硬さは(2)がH<sub>RC</sub>53、(3)はH<sub>RC</sub>51である。

Photo. (4)はSKH-2を1300°C焼入後580°C30mn間焼戻した後、800°C加熱水鈍を8回繰返したものの組織である。試料の大きさは10×10×25mmであ



(1) As quenched H<sub>R</sub>C 66 (2) Water-annealed 1 cycle (surface) H<sub>R</sub>C 53 (3) Water-annealed 2 cycles (center) H<sub>R</sub>C 51 (4) Water-annealed 8 cycles (Specimen: 1300°C O.Q 580°C.T.) H<sub>R</sub>C 37

Photo. A Microstructures of high speed steel (SKH-2) by water-annealing.

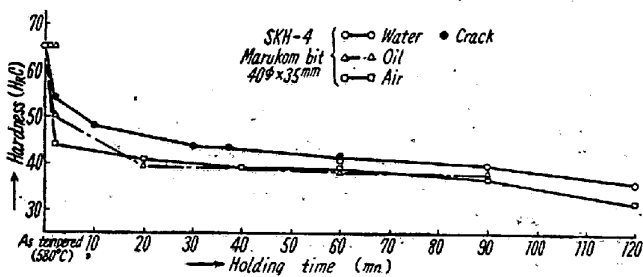


Fig. 6. Relation between the holding time and hardness by water, oil & air annealing.

り、硬さは H<sub>R</sub>C 37 である。

### 6. 保熱時間を変えた水、油、空気鈍の効果

丸駒バイトを使用して、水鈍以外に油、空気鈍を同一条件で行った、その結果は Fig. 6 に示すごとくである。

Fig. 6 によれば、水鈍に比較して油、空気鈍の方が幾分軟化程度がよく、また割れの発生が認められない。

### 7. 繰返し水、油鈍と硬さとの関係

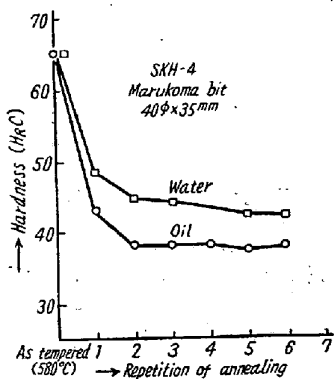


Fig. 7. Effect of repeated water and oil annealing.

前回と同じく丸駒バイトを使用して、水鈍および油鈍を繰返して行つた。その結果は、Fig. 7 に示すごとくである。Fig. 7 によれば、水鈍に比較して油鈍の方が幾分軟化程度がよく、また割れは認められない。

### 8. 短時間水鈍による割れについて

前述の実験結果から判るごとく、水鈍割れは大型 (30 mm角)、形状複雑 (丸駒バイト) な試験片のみで、しかも保熱時間が短い時にのみ発生している。これから第一に考えられることは加熱前の残留オーステナイトが保熱

時間の短いために、未だ消失せず、それが水冷により、Ar'' 変態を起して焼割れを起すということである。

その原因を調べるために、試料の表面部および中心部に熱電対を挿入して、水鈍直前の温度測定を行つた。

その結果保熱時間約 2mn 間においては、30mm角材丸駒バイト共に内外の温度差はほとんどなく、約 800°C である。またこのように温度測定した試験片を水鈍後、表面から中心部迄の硬さの変化をヴィッカース硬度計で測定した結果、同一の硬さを示し、また顕微鏡組織も一様なソルバイト組織である。

以上の実験結果残留オーステナイトの Ar'' 変態による焼割れではないことが判明した。それで、割れの原因として次に考えられることは、加熱前に存在している Stress である。すなわち水鈍温度 800°C (変態点直下の温度) において、しかも保熱時間が短いので Stress が除去され難く残留しており、それが割れに影響するものと思われるので、焼鈍材の水鈍、および変態点以上 900°C に加熱後 750°C に恒温保熱後水冷を行つたところ、何れも割れは認められない。

更に前述のごとく油、空気鈍では割れは認められないので、水鈍割れの原因は、加熱前の Stress が除去され難く、これに水冷によつて発生する Thermal Stress が重合して、大型のもの、形状複雑なものには割れが発生するものと思われる。

よつて、以上のような試験片は短時間繰返し水鈍には不向であり、もしそれを行うならば油鈍が好適である。

## III. 総 括

高速度鋼の迅速軟化法として有効な水鈍について種々実験を行つた、その結果次のことが判明した。

(i) 焼入高速度鋼を迅速簡易に軟化せしめるには、800°C からの水鈍もしくは油鈍によるのがよい。勿論完全焼鈍のものに比較して軟化は少いが、機械加工の可能な硬さ位にはなる。

(ii) 水鈍加熱時間として 800°C において 120mn 間位が有効であり、それにより軟化の目的を達することができる。

(iii) 急速加熱して、しかも短時間保熱で水中急冷を繰返して行くと、水鈍回数 5~6 回で軟化の目的を達することができる。しかしながら大型のもの、或いは形状複雑なものは水鈍割れを発生することがあるので油鈍が有効である。

(iv) 変態点以上の温度に加熱すると水中急冷により却つて硬化し、時には焼割れを発生するので水鈍温度 800°C を臨守する必要がある。(昭和 30 年 4 月寄稿)

#### 文 献

- 1) M. A. Grossman & E. C. Bain "High Speed Steel"
- 2) 大和久重雄: 鉄道技術研究所彙報, 第 3 卷, 第 7 号, 高速度鋼の迅速軟化焼鈍法

## 実用特殊鋼の炭化物の電解分離による研究 (I)\*

(軸受鋼の炭化物について)

佐藤 知雄\*\*・西沢 泰二\*\*\*・本田 裕\*\*\*

### STUDY ON CARBIDES IN PRACTICAL SPECIAL STEELS BY ELECTROLYTIC ISOLATION (I)

(On Carbide in Ball Bearing Steel)

*Tomo-o Sato, Dr. Eng., Taiji Nishizawa and Yutaka Honda*

#### Synopsis:

Studies on carbides in steel, generally, have been carried out as they were in steel matrix. While, recently, some direct investigations of them isolated from steels were reported.

The present paper deals with a direct investigation of carbide extracted electrolytically from a ball bearing steel by chemical analysis, X-ray diffraction method and electron-microscopic examination.

The electrolysis for extraction of carbide in the present study was carried out under the following conditions: 0.5N hydrochloric acid solution, current density 10 mA/cm<sup>2</sup>, hydrogen atmosphere. The results obtained were as follows:

- 1) Carbide in the ball bearing steel (1.13% C, 1.42% Cr) annealed at 750°C for 5 hrs contained 7.21% Cr.
- 2) Cr content of ferrite in the annealed steel was about 0.24%, and that of austenite at 840°C (usual quenching temperature of this steel) was about 0.9%.
- 3) Cr content of undissolved carbide contained in austenite at quenching temperature increased with the heating time at the temperature.
- 4) In tempering process of the hardened steel, the carbide precipitated from the matrix (martensite and retained austenite) at low temperature, such as 300°C or 400°C, had nearly the same content of Cr as that of the matrix (1.42% Cr). But the carbide precipitated by tempering at above 450°C had large amount of Cr which increased with the rise of temperature and holding time.
- 5) Electron micrographs of carbide isolated from the steel variously heat treated such as that from lamellar pearlite, troostite, sorbite, and spheroidized structures, were shown.

#### I. 結 言

鋼の諸性質はその中に含有される炭化物の組成、形状、大きさ、およびその分布状態などによつて著しく影

響を受けることは周知の事柄である。従来鋼中の炭化物

\* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて講演

\*\* 東北大学金属工学科, 教授, 工博

\*\*\* 東北大学金属工学科