

# オーステナイトの恒温變態に及ぼす應力の影響

(昭和 26 年 10 月本會講演大會にて講演)

山 木 正 義\*

## EFFECT OF TENSILE STRESS ON THE ISOTHERMAL TRANSFORMATION OF AUSTENITE

Masayoshi Yamaki

### Synopsis:

The effect of tension on the isothermal transformation of Si-Mn-Cr-Mo Steel was researched and discussed. The results were as follows:

- 1) The isothermal transformation was accelerated by the tension given at low temperature (400~700°C).
- 2) The isothermal transformation was retarded in a certain condition by the tension given at high temperature (870°C).

### I. 緒 言

鋼がオーステナイトの状態にあるとき之に應力を加えれば爾後の變態に何等かの異常を呈すべきこと、恐らくは、變態が促進せらるべきことが考えられる。例えば、常溫でオーステナイトの状態にある高 Mn 鋼や高 Ni-Cr 鋼は冷間加工に依つて變態が促進されマルテンサイト化することは既に周知の事實である。併し乍ら、オーステナイトの恒温變態に及ぼす應力(高温加工)の影響として發表された文獻は内外共に餘り多くは見受けられない、多少とも之に關聯する文獻としては、“Engineer's-Digest” に<sup>1)</sup> “高温加工がオーステナイトの冷却變態に及ぼす影響”なる題意のものがあるが、その詳細は不明である。岡本教授及び永倉氏<sup>2)</sup>は、高速度鋼の熱浴處理中に於て之に鍛造加工を加えることに依り過冷オーステナイトに於ける炭化物の凝集を促進し變態量を増加せしめることを認めた。川口氏<sup>3)</sup>は、C=0.99%, Cr=1.00%の高炭素クロム鋼に於て、840°C から 200°C に急冷し、この溫度にて荷重を掛け、恒温變態開始迄の時間を測定してオーステナイト分解開始迄の時間と加えた應力との間には對數曲數の關係があること、即ち荷重が増すと恒温變態開始が早くなることを見出した。之等の諸研究に於ては、オーステナイトを特定の溫度(主として中間段階又はマルテンサイト段階)に急冷した不安定な状態にて應力を加え、爾後の變態の促進されることを認めているが、オーステナイトが高温の安定な状態にあるとき應力を加えた場合に夫が爾後の恒温變態に及ぼす影響

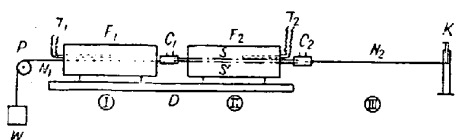
特に、パーライト段階から中間段階に至る廣い溫度範圍の恒温變態に及ぼす影響に就ては、未だ發表されたものが殆どないようである。依つて著者は高温の安定な状態及び低温の不安定な状態にあるオーステナイトに加えた應力が爾後の恒温變態に及ぼす影響を究めると共に、著者が既に報告した特異組織<sup>4)~7)</sup>の生成機構解明の一助とする爲に本實驗を開始した。

### II. 實 驗 装 置

高温のオーステナイトに應力を加える方法としては、引張、壓縮、曲げ、振り等いろいろ考えられるが、應力を加える直前又は直後に於て恒温變態を起させる爲の急冷處理を施さねばならぬので、その裝置を特別に考案せねばならない。岡本博士等<sup>2)</sup>は變態の遲鈍なる高速度鋼の 400~600°C の變態を対象にしているので、試料を高温の熱浴爐から取出して直に所定の低温に保持してある鉛浴爐に 1 分間浸漬し之を同溫度の加工爐の上下金敷の間に挿入して鍛造加工を行つている。又川口氏<sup>3)</sup>は試料たる高炭素クロム鋼がその S 曲線の形狀より見て 200°C に於ては變態開始迄に 30 分を要することを利用してゐる。即ち、840°C のオーステナイト状態より一旦 200°C の鉛浴中に試料を移し 30 秒保持した後、之を豫め 200°C に保持してある電氣爐内に移し、直ちに荷重を掛けて試料の電氣抵抗の變化を測定し、之より 200°C に於ける變態の開始點を求めている。著者の使用した試料は後

\* 東都製鋼株式會社

述する如く低炭素の低合金鋼であり、且つそのS曲線に於けるパーライ段階及び中間段階にわたつて実験する故に、加工を加えた直前或は直後に相當速かに所定の温度まで急冷せねばならない。又、前述した如く特異組織<sup>(\*)</sup>の生成機構に關聯して、オーステナイトに加えられる張力が變態に及ぼす影響を究めることが目的の一つであるので、その装置としては、第1圖の如きものを考案した。



第1圖 實驗装置

即ち圖に於て、 $F_1, F_2$  は共にニクロム線を捲いた管状電氣爐で、内徑は約 12mm. 長さは約 300mm で、中央部の 20mm は  $700^{\circ}\text{C}$  に於て  $2^{\circ}\text{C}$  以内で温度分布は均一である。之等は共に台枠 D の上に載せてある。この台枠 D を右方に滑らせることにより  $F_2$  を (II) の位置に、 $F_1$  を (I) の位置に迅速に移動し得る。 $F_1$  は試料をして所定の温度で恒温變態せしめる爲のものであり  $F_2$  は試料をオーステナイト化する爲のものである。夫等の温度は熱電對  $T_1, T_2$  で測定する。S (鎖線で示す) は徑 1mm の線状の試料で、その両端はチャック  $C_1, C_2$  により夫々ニクロム線  $N_1, N_2$  と連結してある。 $N_1, N_2$  は單に試料を支えると共に荷重を傳える役目をするものであるが、高温にさらされる爲にニクロム線としたのである。尙、應力を掛けぬ場合の變態曲線を求める爲に、S と同一の試料  $S'$  を用意し、その一端にチャック  $C_1$  に S と共に連結し、他端はチャック  $C_2$  に單に挿し込む丈にして自由にして置く、斯くすれば試料 S には荷重が掛るが、 $S'$  には掛らず、然も熱處理は S と同時に同様に出来るわけである。K は止め金具、P は荷重を傳える爲の滑車、W は荷重(大型天秤の分銅を利用した)であつて、之は取外しが自由に出来る。

### III. 試料の調製

試料としては、前述の特異組織<sup>(\*)</sup>と近似成分のもの、即ち C=0.3%, Si, Mn, Cr 各々 1%, Mo=0.4% を目標とした。實際に化學分析を行つた結果は第1表の如くである。

第1表 試料の分析値

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.30	0.61	0.91	1.09	0.39

この試料は電解鍍、白銑、フェロシリコン、フェロマンガ、フェロクロム、フェロモリブデンを適當に配合し、35KVA の高周波電氣爐で、シバネシヤライニングのもとに熔解し、徑 50mm の金型に鑄込んで重量約 3kg の鋼塊を作つた。之を疵取後、鍛造及び壓延して徑 8mm の丸棒となし、更に線引きして徑 1mm に仕上げた。實驗用にはこの線を約 350mm の長さに切り、加工歪を除く爲に真空中で  $900^{\circ}\text{C} \times 1/2\text{h}$  焼鈍したものを用了。又實驗中の酸化脱炭を防ぐ爲に試料の全面には第2表に示す如き脱炭防止剤を塗布し、特に恒温變態處理温度が  $600^{\circ}\text{C}$  以上のもの或は長時間にわたつて變態させるものには Cu メッキを施した。

第2表 脱炭防止剤の配合

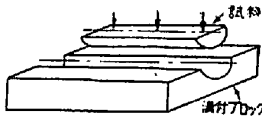
木節	75g
黒鉛	25g
低燒	30g
硃水	14g
	200cc

### IV. 實驗方法

上述の如く脱炭防止剤を塗布し、或いは Cu メッキを施した線を第1圖 S の位置にチャック  $C_1$  及び  $C_2$  にてニクロム線  $N_1$  及び  $N_2$  に連絡する。この試料 S には荷重 W を掛ければ應力が働く、次に同じ試料  $S'$  を S と並列に置き、一端を  $C_1$  のチャックにてニクロム線  $N_1$  に連結し、他端は單にチャック  $C_2$  に挿し込んで自由にして置く。即ち  $S'$  には、荷重を掛けても應力が働かぬ様にして置く、斯くした後、第1圖の如く、電氣爐  $F_1$  を (I)、同じく  $F_2$  を (II) の位置におき、 $F_1$  を恒温變態させるべき所定の温度に保つ、又、試料 S 及び  $S'$  は電氣爐  $F_2$  に依り  $870^{\circ}\text{C}$  に加熱 2 分間保持する。[I] 荷重を低温にて掛ける實驗の場合には、こゝで台枠 D を右方に滑らせて低温爐  $F_1$  を (II) の位置に移動し、試料 S,  $S'$  を所定の温度に急冷し、直ちに荷重 W を靜に掛けたまゝ所定の時間経過したならば、爐  $F_1$  のみを左方に滑らせてもとの位置 (I) に移し試料 S,  $S'$  を空冷し、常温に冷えてから取外す。[II] 荷重を高温にて掛ける實驗の場合には、試料 S,  $S'$  を電氣爐  $F_2$  に依り  $870^{\circ}\text{C}$  に 2 分間加熱し、靜に荷重 W を掛け、30 秒後之を取外し、直ちに或いは更に所定時間保持後台枠 D を右方に滑らせて急冷し、所定の温度に所定の時間保持後空冷して試料を取外す。

恒温變態をさせる温度としては原則として 700, 650, 600, 550, 500, 450,  $400^{\circ}\text{C}$  の 7 通りとした。荷重として

は 3kg 又は 6kg の二つの場合に就て行つた。試料の径が 1mm であるから、試料に対する引張應力は夫々  $3.8\text{kg/mm}^2$  及び  $7.6\text{kg/mm}^2$  となる。但し滑車 P 自身及び P とニクロム線 N<sub>1</sub> との磨擦其他があるから、眞の引張應力はこの値とは幾分異なるが、本実験ではその正確なる値を知る必要はない。取外した試料は、その中央部を約 10mm にわたつて縦軸方向に研磨し、第 2 圖の如く軸に沿つた面を中心線に沿つて検鏡して變態の進行状況を組織の變化より觀察し、次で此の面の同じく中心線に沿つてピッカース硬度を測定し、變態の程度を知る一助とした。硬度の測定には第 2 圖の如き溝付のブロックを鋼で作し、この溝の中に試料を置き 3ヶ所測定してその平均値を採つた。



第 2 圖 試料の測定箇所

斯の如く各變態溫度に於ける S, S' 兩試料の組織、硬度より夫々の恒温變態速度曲線を求め、變態に及ぼす應力の影響を調べた。尙、兩試料 S, S' の恒温變態速度曲線を比較検討するに當つては、組織の検鏡による場合には變態率 ± 5% 以内の相違は測定上の誤差範囲内とし、硬度の場合には、ピッカース硬度數 ± 10 以内の相違は同様に測定上の誤差範囲内とした。

### V. 實驗結果

#### A) 荷重を低温(400~700°C)にて掛けた場合

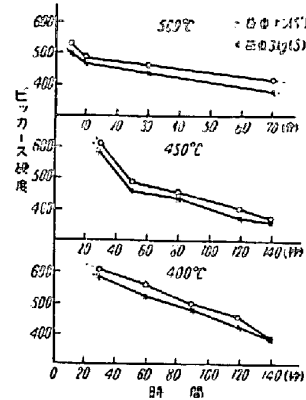
試料 S, S' を 870°C より 400~700°C に急冷して、S の方にのみ直ちに荷重を掛けた場合の結果は次の如くである。

##### i) 荷重(W)=3kg のとき

試料 S, S' の検鏡によつては、變態の進行状況には殆ど差異がなかつた。第 3 圖(省略)に一例を示す。即ち組織を検鏡して得られる程度には應力の影響は認められなかつた。併しピッカース硬度を測定した結果に依ると、700~600°C のパーライト段階に於ては検鏡の場合と同様に應力の影響は認められなかつたが、400~500°C の中間段階に於ては幾分その影響が認められた。即ち第 4 圖に示す如く、應力を加えたものの方が時間の経過による硬度の低下が速かである。換言すれば、應力により變態が促進されている。

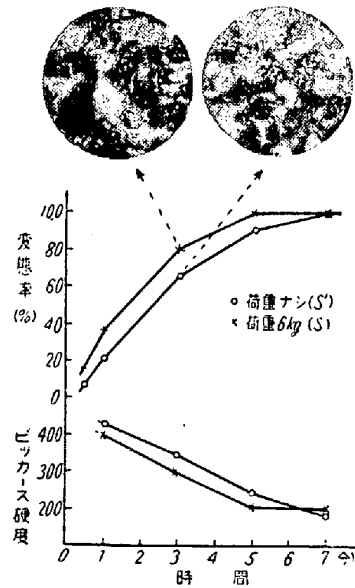
##### ii) 荷重(W)=6kg のとき

組織の検鏡により求めた恒温變態速度曲線は第 5 圖

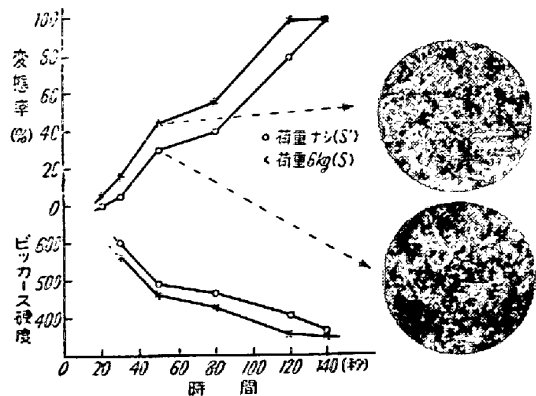


第 4 圖 硬度に依る恒温變態速度曲線

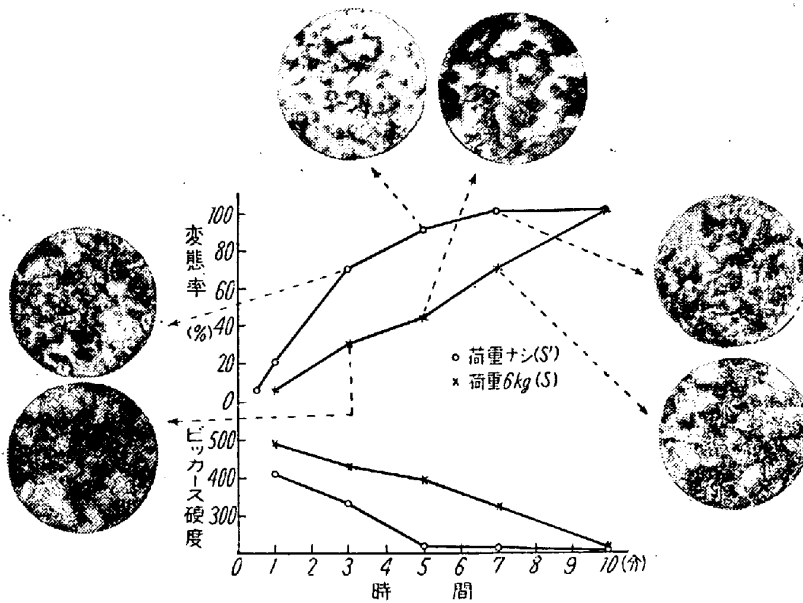
a)~d) の如くである。(b, c, d, e, g は省略) ピッカース硬度測定結果は同圖下部の如くで、之も同じ傾向を示している。何れも、應力によつて變態の促進されていることを示している。



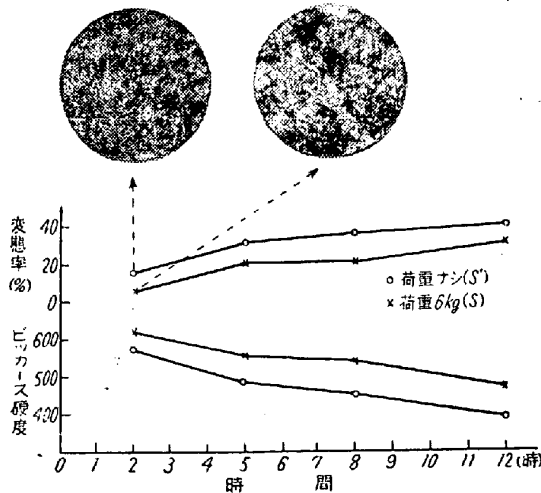
第 5 圖 a) 700°C に於ける恒温變態速度曲線



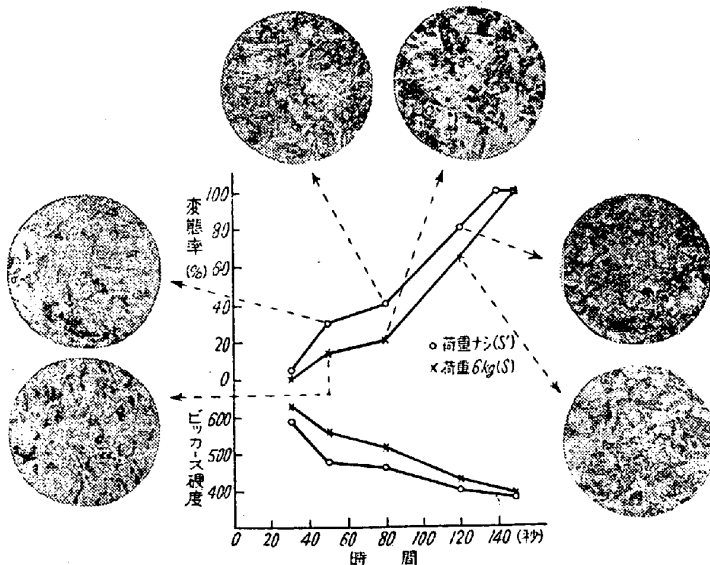
第 5 圖 d) 450°C に於ける恒温變態速度曲線



第6圖 a) 700°C に於ける恒温変態速度曲線



第6圖 c) 600°C に於ける恒温変態速度曲線



第6圖 d) 450°C に於ける恒温変態速度曲線

B) 荷重を高温(870°C)にて掛け5分間保持後急冷した場合

試料 S, S' を 870°C に2分間保持後 S の方にのみ荷重を30秒間掛け、5分間保持後 400~700°C に急冷した場合の結果は次の如くである。

i) 荷重 (W)=3kg のとき

組織の検鏡及び硬度の測定は何れによつても二つの試料 S, S' の間には差異は認められなかつた。即ち、この場合には應力の影響は認められなかつた。

ii) 荷重 (W)=6kg のとき

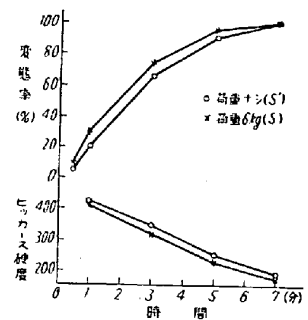
検鏡の結果より求めた恒温変態速度曲線は第6圖a)~g) の如くであつて (b, d, e, g は省略)、何れの温度に於ても荷重を掛けた S に於ては荷重を掛けぬ S' に比して変態速度が大分遅い。即ち荷重により変態は遅滞している。この傾向は、同圖下部に示す硬度曲線にも明らかに現われている。

C) 荷重を高温 (870°C) にて掛け、直ちに急冷した場合

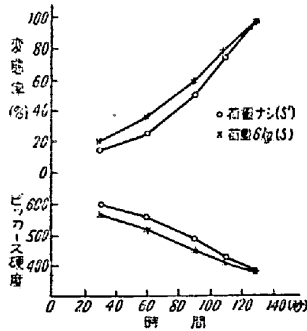
試料 S, S' を 870°C に2分間保持後、S の方にのみ荷重 6kg を30秒間掛け直ちに低温 (700, 650, 450, 400°C) に急冷した場合には、第7圖 a)~d) 示す如く (b, c は省略)、組織の検鏡及び硬度の測定は何れによつても恒温変態は荷重の爲にやゝ促進されていた。

### VI. 考 察

先づ荷重を低温 (400~700°C) にて掛けた場合を見ると、恒温変態が促進されているが、之は低温に急冷されて不安定



第7圖 a) 700°C に於ける恒温変態速度曲線



第7図 d) 400°C に於ける恒温変態速度曲線

になつたオーステナイトが応力を受けた爲に變態が促進されたのであつて、當然豫想されることである。而して、促進される程度も、受ける応力の大小に従うと考えられるが、本實驗の結果でも明らかに荷重の大なる時の方が大きな影響を蒙つている。變態開始の時期は、本装置の精度にては正確には知り得ないが、川口氏<sup>3)</sup>の實驗結果に徴しても応力が大になるにつれて早まるものと考えられる。次に各温度に就て、応力による變態促進の度合を見ると、パーライト段階よりは、中間段階に於ける方が、その影響が大きいようである。之は (1) 中間段階の方がパーライト段階よりもオーステナイトの過冷度が大なること (2) 中間段階に於ては  $\gamma \rightarrow \alpha$  の格子變態はパーライト段階と同じく起るが、炭素の擴散はパーライト段階に比しその程度が少いこと、従つて同程度の応力を受けても、中間段階の方が、パーライト段階よりも感受性が大なる爲であると思われる。

次に荷重を 870°C のオーステナイト状態にて掛け、5 分間保持後急冷した場合を見るに、荷重が小さいときはその影響は認められないが、荷重が大きくなると、明らかに恒温變態速度曲線は応力により變態が遅滞していることを示している。この現象に就ては次の様に考えられる、即ち高温のオーステナイト状態にて応力を加えれば、その応力の大小に依つて遅速の差はあるが、速い場合には数十秒以内にオーステナイト粒の再結晶が始まる<sup>6)</sup>。而して荷重が小さいとき(例えば 3kg)には、再結晶速度が比較的遅いから<sup>6)</sup>、オーステナイト粒がさほど粗大化せざるうちに低温に急冷されて、そこで恒温變態が進行する。従つてその恒温變態速度曲線は、荷重を掛けぬ場合と殆ど差がないことになる。荷重が大なるときには(例えば 6kg) 再結晶速度が速いから<sup>6)</sup>、(荷重の増加に對しては對數的に速くなる) 速かに再結晶が進み特に荷重の大いさ如何によつてはオーステナイト粒子は異常に粗大化することがある。この粗大化されたオーステナイトが低温に急冷され、そこで恒温變態が始まるのであるが

一般にオーステナイト粒が大なるときには、その小なる時に比し恒温變態が遅滞することは既に知られた事實である<sup>7)</sup>。従つて荷重の大いさが適當であつて、その後の保持時間が充分なる場合には、その恒温變態は、荷重を掛けぬ時に比し遅滞することがあると考えられる。この事を確かめる一手段として C) なる項に述べた如く、荷重を掛けた直後に急冷して恒温變態をさせたが、このときは既述の如く變態はやゝ促進されていた。即ち此の場合には、再結晶の起らぬうちに低温に急冷された爲に結晶粒が未だ微細であり、且つ応力による歪が残留している爲に變態が逆に促進されたものであると考えられる。

尙、さきに著者が認めた特異組織<sup>4)~7)</sup>は、既に報告した如くオーステナイトが、引張応力を受けた後、冷却變態して生じたものであると思われるのであるが<sup>7)</sup>、その際の變態が定量的には S 曲線と一致しないのではないかということを示唆しておいた<sup>6)</sup>。其の後の検討によつてもこの場合には變態が、S 曲線に示されるよりは相當に遅滞していなければならぬとの結論に達したのであるが、本實驗によつて、ある条件のもとには斯る現象(応力を受けたあとでは變態が遅滞するという)が起りうるということが認められたので、特異組織生成機構も之によつて説明されることになる。

## VII. 總 括

Si-Mn-Cr-Mo 鋼に就て、オーステナイトの恒温變態に及ぼす引張応力の影響を調べ、次の結果を得た。

a) 870°C より 400~700°C に急冷して不安定なオーステナイト状態にしておいて応力を加え、恒温變態させた場合。

1) 變態は促進される。

2) 応力の影響はパーライト段階に於けるよりも中間段階に於ける方が著しい様である。

b) 870°C の安定なオーステナイト状態にて応力を加え 5 分間保持後 400°C~700°C に急冷し、恒温變態させた場合。

1) 応力が小さい時にはその影響は認められぬが

2) 応力が大きい時には、その爲に變態が遅滞するのを認めた。

c) 870°C の安定なオーステナイト状態にて応力を加え直ちに 400~700°C に急冷して恒温變態させた場合には變態は応力によりやゝ促進されるのを認めた。

d) 以上の諸現象に對して若干の考察を加えた。

e) 著者がさきに報告した特異組織<sup>4)~7)</sup>の生成機構が上記の b) の 2) によつて説明された。

終りに臨み、本実験の遂行に御指導、御激勵を賜つた恩師吉川晴十先生に深く感謝の意を表する次第である。(昭和 27 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) Engineer's Digest, 1944 June, 384
- 2) 岡本, 永倉: 日本金屬學會誌 B14 (1950) No.7  
11
- 3) 川口; 應用物理 13 (1944) No.6 167
- 4) 著者: 鐵と鋼 36 年 1 號
- 5) 著者: 鐵と鋼 32 年 7~9 號
- 6) 著者: 鐵と鋼 35 年 9 號
- 7) 著者: 鐵と鋼 35 年 12 號
- 8) 武田: 日本金屬學會誌, B14 (1950) No.12,  
15 (1951) No.3
- 9) 例えば村上, 今井: 日本金屬學會誌, 6 (1942)  
145

## 鋼に於ける炭化物の球状化に就いて (III)

(炭化物の球状化の方法と球状化状態の比較)

佐 藤 知 雄\*・矢 島 悦次郎\*\*

### ON SPHEROIDIZING OF CARBIDE IN STEELS (III)

#### (COMPARISONS OF VARIOUS HEAT-TREATMENTS FOR SPHEROIDIZING OF CARBIDE AND OF SPHEROIDIZED STATES)

*Tomo-o Sato, Dr. Eng., and Etsujiro Yajima*

#### Synopsis:

Using Swedish carbon steels containing 0.5, 0.9, 1.3% C and Ni- and Cr-steels, spheroidizing of carbide was studied by means of the following four kinds of heat treatment, that is, quenching-and-tempering, slow cooling, repeated heating-and-cooling and isothermal transformation.

From hardness of the spheroidized specimens obtained by thus four heat-treatments, the procedures of spheroidizing were compared, and the following facts were ascertained:

- a). By the quench-and-temper method, the spheroidizing of carbide most slowly proceeded, but the sphericles were finely and uniformly distributed.
- b). In hypo-eutectoid steels, the spheroidizing most rapidly proceeded by the repeated heating and cooling method. But after several repeat no more spheroidizing proceeded.
- c). By slow cooling method, spheroidizing rapidly proceeded, but the pearlite structure came out easily unless the rigorous heating temperature was taken.
- d). By the isothermal transformation method, the process of spheroidizing is comparably slow but the uniformly distributed structure was obtained.

#### I. 緒 言

種々の炭素鋼及び特殊鋼に於て、その炭化物を球状化させる方法には、焼入後  $A_1$  点以下にて焼戻す方法と、

$A_1$  点以上に加熱して冷却の際の  $A_1$  変態を利用する方法

\* 東北大學工學部金屬工學科, 工博

\*\* 名古屋工業大學金屬工學科