

事、偏肉が少ない事及び多量生産に適している事が考へられる。

V. 結 語

傾斜壓延法の一つとしてマンネスマン穿孔機につき穿孔時間、電力消費量を測定した結果次の結論を得た。

(1) ロールの入口に於てはロールの方が壓延材より早く進み、ロールと壓延材の迂りは加工度と一定の関係にある。

(2) ロールの出口に於ては少数の例を除いてはやは

りロールの進みの方が早くこの現象は普通の壓延に比し傾斜壓延の場合は前進に對する抵抗が大きい事を示す。

(3) 壓延材單位重量當りの穿孔電力消費量は加工度に略々比例する。この電力量に對し理想的穿孔仕事はその約 15 % に相當する。この事は傾斜壓延では摩擦及び附加的な變形に要する仕事の多い事を示す。

(昭和 25 年 4 月寄稿)

文 献

- 1) E. Siebel und E. Fangmeier, Mitt K.-W.-Inst. Eisenforsch. **13** (1931) S. 29

鋼に於ける炭化物の球狀化に就て (II)

(焼入鋼繰返加熱に依るセメントイトの球狀化に及ぼす炭素含有量の影響に就て)

佐 藤 知 雄* 矢 島 悦 次 郎*

ON SPHEROIDIZING OF CARBIDE IN STEELS (II)

(Effect of Carbon Content on the Spheroidizing of Cementite of Quenched Steel by Repeated Heating and Cooling.)

Tomo-o Sato and Etsujiro Yajima

Synopsis:

Quenched Sweden carbon steels containing about 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.2 and 1.3% C were subjected to repeated heating and cooling passing A_1 point, and the effect of carbon content on the spheroidizing of cementite in those steels was studied.

One cycle of heating and cooling was carried out as follows:

700° → 760°, heating 1°/min., hold at 760° for 14 min.

760° → 700°, cooling 1°/min., hold at 700° for 30 min.

This cycle was repeated 1 to 5 times, and after each cycle the rate of spheroidizing of cementite was measured by means of Rockwell hardness tester.

After 3 times of the cycle in Hypo-eutectoid steel and after 5 times of it in Hyper-eutectoid steel the spheroidizing was completed — that is, the lowest constant hardness was obtained.

Difference of the quenched structure — if the same steel — does no effect on the final spheroidal structure and its hardness by this heat treatment.

The final hardness of spheroidized steel thus obtained is expressed by following formula:

$$\text{Rockwell hardness in B scale} = 21 \times C\% + 72.9$$

This hardness is more or less higher than that of the spheroidized one made from the same steel having the lamellar pearlite structure.

I. 緒 言

著者等は第 1 報¹⁾に於て、鋼の焼入焼戻による炭化物の球狀化に及ぼす各種元素の影響に就て報告した。本報

は焼入炭素鋼を A_1 變態點の上下に繰返し加熱冷却してセメントイトの球狀化を行う場合、球狀化に及ぼす鋼

* 東北大學工學部金屬工學科

のC量の影響に就いての實驗結果並に球状化の機構に就ての考察である。

II. 研究方法

一般に固體溶質の溶媒に對する溶解度はその表面の曲率半径によつて異なり、曲率の大なるものは溶解度が大きいであるから、本法の如く變態點の上下に加熱及び冷却を繰返せば、Isbawsky²⁾の述べた如く、小なる炭化物は消滅して大なる炭化物の周圍に析出する。併しこの場合冷却速度が著しい影響を與へ、冷却速度が一定では或る程度以上炭化物は大きくならない。

特に A₁ 點を通過する際の冷却速度が最も重要で、Hanemann 及び Morawe³⁾ は共析鋼に於いて球状炭化物が生成する冷却速度は 2°/分が最大であるが、過共析鋼ではこれ以上速い冷却速度でも球状炭化物が得られると述べた。Babochine⁴⁾ はこの速度は C 0.2% 及び Mn 0.6% 以下の鋼では 1°/分が最高であり、過共析鋼では更に速かな冷却速度でも可能であると述べた。又 Portvin 及び Bernard⁵⁾ は球状化の冷却速度は最高加熱温度の影響を受けることを明かにし、岩瀬及び本間⁶⁾ は最高加熱温度に保持する時間の長い事は最高加熱温度を高めると同様の効果を與へること、又加熱速度も影響を與へるが、これは主として炭化物の大きさに關係することを報告し、本研究に於てもこれ等は明かに認められた。

以上の如き理由によつて本研究に於ては繰返し加熱及び冷却の熱處理條件を次の如く定めた。

(1) 室温より 700° まで急速に加熱し、700° に5分間保持した後次の順序による處理を行う。

(2) 700° より 760° まで 1°/分の速度で加熱する。

(3) 次に 760° に 15 分間保持する。

(4) 次に 700° まで 1°/分の速度で冷却する。

(5) 最後に 700° に 30 分間保持する。

以上の (2) (3) (4) (5) を以つて一回の熱處理としてこれを繰返し行つた。而して所要の回数熱處理を繰返した後は爐冷した。

實驗に供した試料は 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.2 及び 1.3% C のスエーデン鋼で、これ等の試料は前報と同様試験前に於ける熱處理效果の相異を完全に消滅させるために、950° に1時間又は 850° に2時間加熱保持した後油焼入した。而して上記の繰返し加熱及び冷却は真空中で行い、温度は ±1° 以内に調節した。又球状炭化物の發達程度は前報にて述べた理由により、硬度によつて比較し、硬度計はロックウェル、1/16 鋼球、100kg

荷重のBスケールを用い、8~12 個所の平均値を採つた。尙これ等の試料に就いて顯微鏡試験を行つた

III. 實驗結果 (I) 初期條件の相異の影響

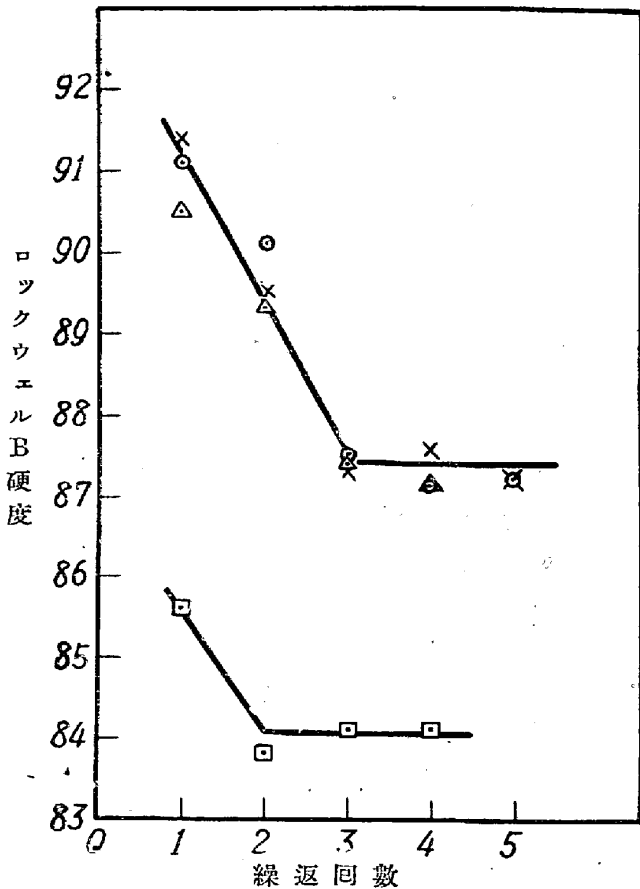
950°, 1 時間加熱後油焼入した夫々の試料の組織は、C 量が異なるためにマルテンサイト、ツルースタイト及びソルバイト組織或はその混合組織となり、又それ等の量的關係も異なる。初期條件の相異の影響に就ては既に前報に於ても述べたが、更にこの點を確めるために 0.7% C 鋼を用い、事前の熱處理として次の4種を選び、夫々この一種の熱處理を行つた後前記所定の繰返し加熱及び冷却を行つた。(イ) 950°, 1 時間保持後油焼入。(ロ) 850°, 2 時間保持後油焼入。(ハ) 試料(ロ)を 690° に 30 分焼戻、(ニ) 850° 2 時間保持後爐冷して完全にパーライト組織としたもの。それ等の結果によると焼入温度の相異によるツルースタイト量の相異及びこれを豫め焼戻してソルバイト組織とした組織上の差異は、前記所定の熱處理(1)~(5)を繰返した場合、顯微鏡下に於ける球状化の状況には殆ど變化なし、且つ繰返回数が多い程變化は少ない。即ち一回の熱處理では球状化が何れも不完全であるため、炭化物の大小が不規則で且つ微點状のものが多く見られて、初期條件による多少の差異が認められるが、第2回の熱處理を経ると不規則性は次第に減少し、第3回以後では殆ど完全に球状化して相互の間に殆ど差異が認められなくなつておる。

この事實は硬度變化にも良く現われ第1回にこれを示した。第3回以後は球状化も進行せず硬度も變化しない。

然るに爐冷して得られたパーライト組織のものは、上記のものと全く異なり、各群のパーライト部分が夫々集つて一つの炭化物粒になる傾向が見られ、従つて球状化は容易に進行しこれ以上炭化物の集合は行われ難い状態となるため、第1圖下の曲線が示すように第2回の熱處理にて既に硬度は一定値に達し、球状化もこれ以上進行しないことを示しておる。又球状化の程度も前記3種の初期條件のものよりも著しく進行した状態にあるため、この圖に見られる如く硬度は可成り低く現われておる。

尙ほパーライトの完全なる層状組織のものを變態點以下の一定温度に於て加熱した場合、炭化物が球状化するか否かに就ては種々の議論があり、本多⁷⁾は球状化は起らずと述べ、Hanemann³⁾ 及び Desch⁸⁾ は長時間の加熱に依つて球状化を認めた。

著者等はこの點を再確認するため、0.7% C 鋼を 850° に2時間加熱後爐冷して、完全に層状パーライト組織と



- 950° 1時間油焼入
- × 850° 2時間油焼入
- △ 850° 2時間油焼入
690° 30分焼戻
- 850° 2時間爐冷
(パーライト組織)

第 1 圖

した試料を 690° に 12 時間加熱して後爐冷した。この場合恒温装置を用いて一定温度を保ち温度変化は實驗開始後 4 時間 25 分～4 時間 31 分の間及び 11 時間 17 分～11 時間 20 分の間にて各々 1° の温度上昇を認めたのみであつた。而して加熱前後の試料の顯微鏡組織を比較するに全然球状化の傾向が認められなかつた。

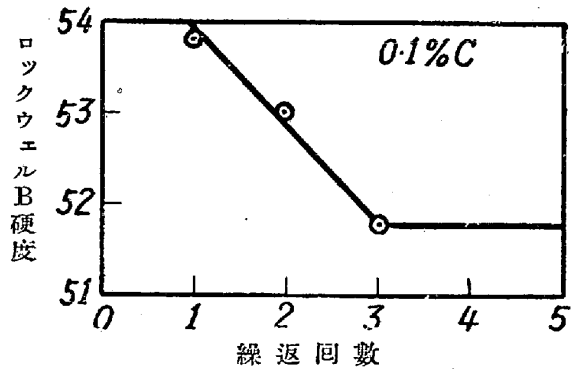
以上の結果から著者等は A₁ 變態點以下の加熱に於ては層狀パーライトの球状化は起らないと考える。而して前記の如くこの球状化を認めた實驗結果は恐らく長時間加熱の間に若干の温度変化が起り、これに伴ふ炭化物の溶解度變化に原因するものと思われる。但し加工歪等を残して居るものは、應力のために部分的に溶解度を多小異にし、そのため Hanemann⁹⁾, Whitely¹⁰⁾ 及び Desch⁶⁾ の述べておる如く球状化の進行することも考えられる。

以上の結果から既に前報告にも述べた如く、パーライトの層狀組織の他は熱處理前の状態に於て未溶解炭化物の量並に組織に相異があつても、セメントイトの球状化には著しい影響がなく、唯 1 回だけの前記所定の熱處理では多少球状化の進行程度が異なるが、2～5 回の處理に於ては球状化は殆ど同一程度に進むことを確めた。

IV. 實驗結果(II) 含有炭素量の影響に就いて

次に炭素含有量の異なる鋼を用い 950°, 1 時間加熱後油焼入した試料に就いて所定の繰返し熱處理を行つた。その結果何れの試料も 1 回の熱處理では炭化物の大きさに大小の差が著しく、微點的な存在も相當認められるが亞共析鋼では 3 回、過共析鋼では 2 回の熱處理にて炭化物の球状化状態は一定し、微點的なものは消滅して、これ以上の球状化は進行し難い事が顯微鏡組織から認められる。

本實驗の如く一定の加熱及び冷却速度の場合は、或る程度の球状化が進行すればそれ以上は何れの炭素量の鋼でも球状化は殆ど進まない。これは第 2～7 圖の繰返し回数と硬度の關係に於て良く知られる。

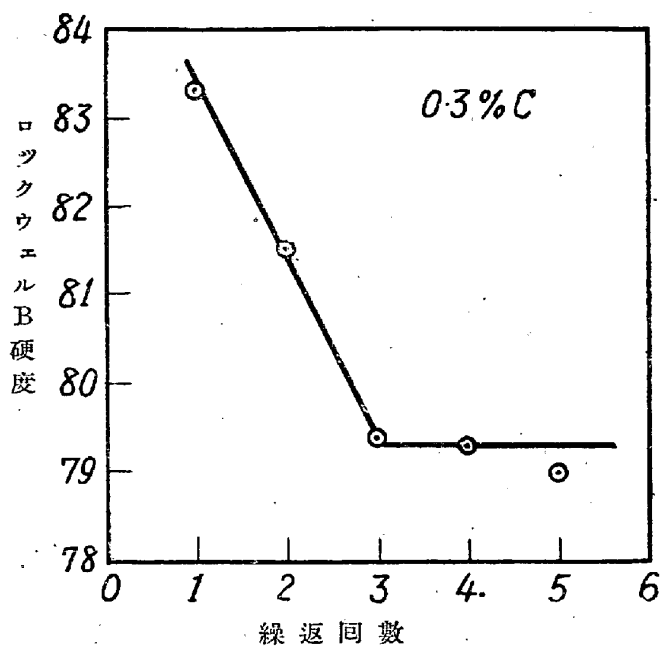


第 2 圖

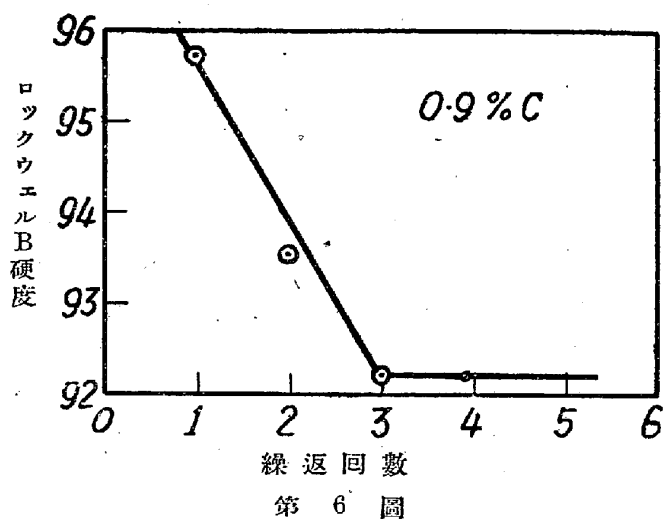
次に一定の熱處理を繰返し行つて炭化物を球状化させた試料の硬度と炭素含有量の關係は第 8 圖の如くで、3 回熱處理を行つたものは、硬度と炭素含有量の間直線的な關係が得られ次式で示される。

$$\text{ロックウェルB硬度} = 21 \times C\% + 72.9$$

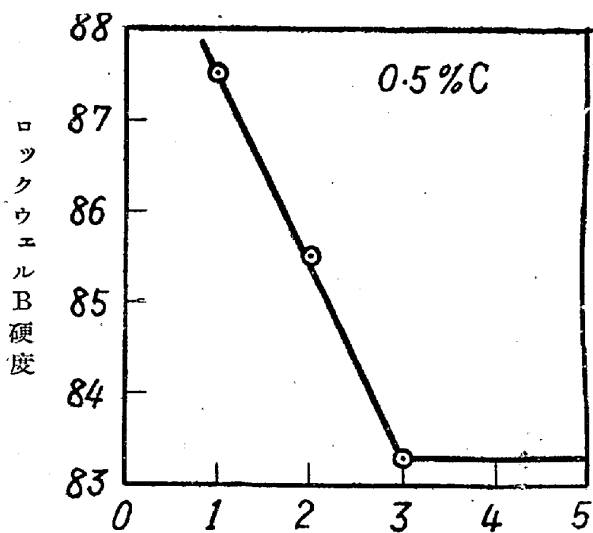
但し 0.1% C のものは焼入効果のないために硬度が著しく低く、又硬度 100 以上の場合は硬度計の鋼球の歪のために誤差を生じ易い關係から、この式は 0.3～1.3% C の間に適用出来るものとする。又 1 回及び 2 回繰返し處理を行つた場合の關係も同圖に併記してあるが、圖に見る如く亞共析鋼ではそれ等の線は 3 回處理の



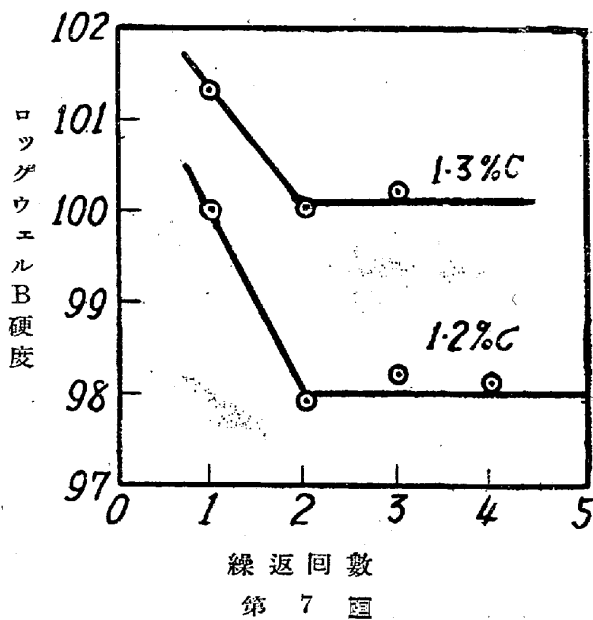
繰返回数
第 3 圖



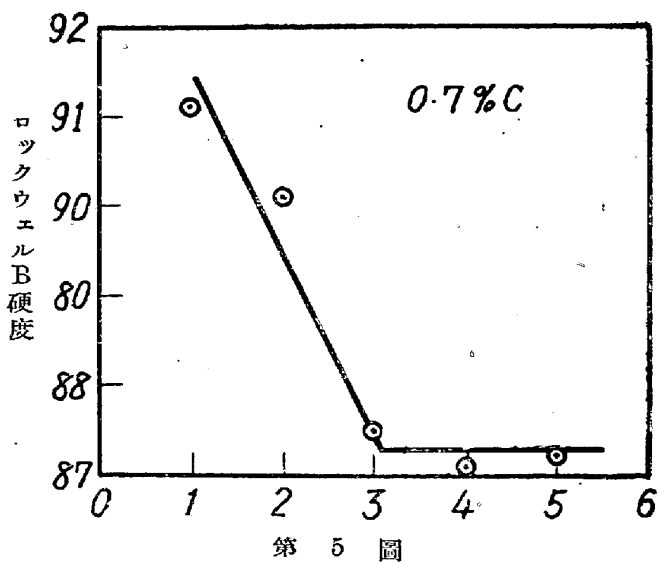
繰返回数
第 6 圖



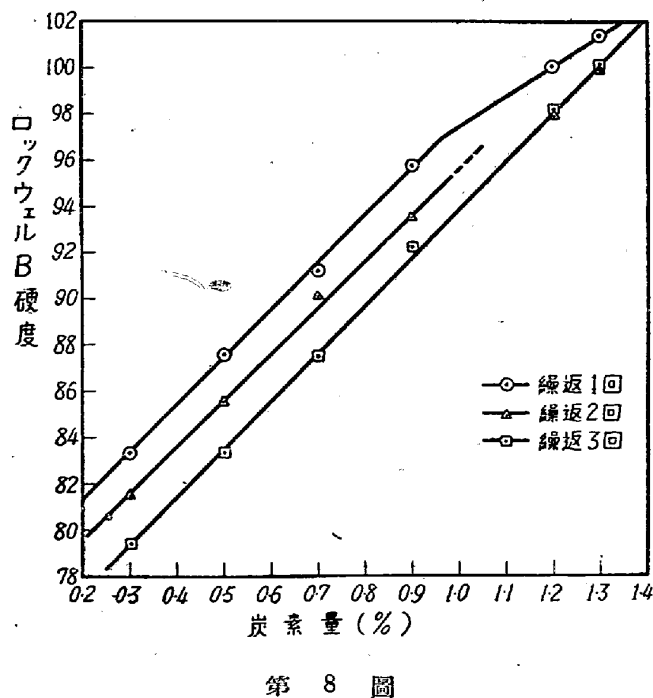
繰返回数
第 4 圖



繰返回数
第 7 圖



第 5 圖



第 8 圖

直線に大體平行であり、過共析鋼では炭素量の増加と共に3回處理の線に接近する。この事は炭素量が多くなると次第に球状化し易い事を示すものである。

又完全球状化したもの、硬度と鋼の炭素量の間直線的な關係の成立することは、完全球状化組織のものは α -Feと炭化物の單なる物理的混合物であることを示す。併しこの場合完全球状化した炭化物の大きさがC%に關係なく一定であるか、或は又C%に比例して變化するかは實用上重要な事柄である。本研究の結果では炭化物粒の大きさに大小を生じて定量的な測定は困難であつたが、定性的には1.3% Cのものが稍小さくその他のものは相異がないと言える。

第 1 表

C%	熱處理回数	ロックウェル B 硬度
0.3	3	78.3
0.7	3	88.7
"	3	88.9
"	5	88.4
0.9	3	97.0
"	3	96.4

V. 實驗結果(III) 處理溫度變化の影響

實驗(II)の結果は炭化物球状化の機構から考えて、所定の熱處理の溫度を變えれば A_1 變態點との相對的關係が變るから、球状化の狀況も變りそれに伴い硬度も變化することが豫想せられる。

故に前記熱處理條件中の700°を710°に、760°を770°に變えて第1表の如く繰返し熱處理を行つた、その結果球状化の狀況は顯微鏡下では實驗(II)の場合と殆ど差異は認められなかつたが、硬度は第1表の如く一般に若干高く現われた。従つて實驗(II)の場合の實驗式は熱處理條件を異にすれば變るべきであつて、唯同一條件の下に於ける完全球状化組織の硬度と炭素量の間直線的關係が成り立つ事を示したものである。

最高加熱溫度を10°高くした爲に硬度が若干高くなつたが、これは炭化物が細く分散して球状化のための凝集が充分行われておらないことを意味する。その理由に就いて考えるに、最高加熱溫度が高くなるとオーステナイト中のC濃度は低い溫度の場合に比べて平均化され易く、冷却の際に炭化物核の發生數が多くなり、又冷却速度の早い程その數は多くなるが、或る冷却速度以上では遂に層狀パーライトを生ずる。即ち最高加熱溫度の

高くなる程完全なる球状炭化物は生じ難くなる。此處に完全なる球状炭化物というのは比較的少數の大粒炭化物の事を意味する。併し冷却速度を非常に遅くした場合は、最高加熱溫度の高い場合の方が返つて上記の意味に於ける完全球状炭化物が得れる筈である。

VI. 總 括

(1) 7種類の炭素鋼に就いて炭化物の球状化に及ぼすCの影響を検べた。

(2) 炭化物の球状化は豫め定めた熱處理法を繰返して行つた。

(3) 最初の焼入又は焼戻に依る組織の相異は同一の鋼ならば最終の球状化状態には影響なく硬度も亦等しい。

(4) パーライト組織の鋼はパーライト部分のみ球状化し、炭化物が集合する傾向を有する。故に最初に焼入し焼戻を行つて球状化させたものより硬度が低くなる。

(5) 亞共析鋼では3回、過共析鋼では2回の所定熱處理によつてほど硬度が一定しそれ以上球状化は進行しない。

(6) 本實驗に採用した所定の熱處理に依つて最後に到達する硬度は炭素含有量に依つて異なり、次式で示す直線的關係が得られる。

$$\text{ロックウェル B 硬度} = 21 \times \text{C}\% + 72.9$$

(7) 球状化熱處理の最高加熱溫度が高いときは球状化の進行は遅くされる。

終りに臨み本實驗に熱心に從事せられた工學士石崎哲郎君の勞を多とし深く感謝する。(昭和25年3月寄稿)

文 献

- 1) 佐藤, 矢島: 鐵と鋼, **36** (1950)
- 2) Ishewsky, : Metallurgia, **8** (1911), 182
- 3) Hanemann, Morawe: Stahl u Eisen **33** (1913) 350
- 4) Babochine: Rév, Métallurg., 1917 extra 81
- 5) Portvin, Bernard: Stahl u Eisen, **42** (1922) 268
- 6) 岩瀬, 本間: 日本金屬學會誌, **4** (1640) 351
- 7) 本多: 鐵と鋼, **2** (1916) 28
- 8) Desch: Jour. Iron & Steel Inst., **107** (1923) 249
- 9) Hanemann, Lindt: Stahl u. Eisen, **33** (1913), 551, Rév Métallurg, **11** (1914) 26
- 10) Whitely, Jour. Iron & Steel Inst., **105** (1922), 339, **97** (1918) 353