

終りに本研究を指示され、結果の発表を御許可下さいました木島辰二専務取締役ならびに小出秋彦常務取締役に深甚なる敬意を表します。また研究の遂行に当り絶えず御鞭達戴いた吉井重雄事業部副部長、工学博士住友元夫中央研究所副所長ならびに宮内弘平研究部長に深謝の意を表するとともに、直接御指導戴いた理学博士大中都四郎第二製造部長に深く感謝するしだいであります。

(昭和 35 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 明田・佐々木・牛島: 鉄と鋼, 45 (1959), No. 12
p. 1341

- 2) H. KRAINER u B. TARMANN: Stahl u. Eisen, 69 (1949), nr. 23, p. 813
3) J. SAVAGE & W. PRITCHARD: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 178 (1954), No. 11, p. 269
4) B. N. KATOMIN & V. S. RUTES: Nauk OTN (1957) Jan., p. 123
5) R. SEWELL: Iron & Coal Trades Rev., (1957) Feb. 15, p. 391
6) H. F. HALL: Brit. Iron & Steel Inst. Special Rep. No. 15 (1936) p. 65
7) K. K. KELLEY: U. S. Bur. Mines, Bull. No. 371 (1934)
8) 後報の予定

亜鉛鍍金用鋼板の熱処理における加熱速度の影響*

(熱処理における加熱速度の影響—III)

作 井 誠 太**・森

勉***

Effect of Heating Rate in Heat Treatment on Steel Sheets for Galvanizing.

(Effect of heating rate in heat treatment—III)

Seita Sakui and Tsutomu Mori.

Synopsis:

By applying rapid heating and slow heating, 2000°C/s and 10°C/mn respectively, the effect of heating rate on some properties of a cold-rolled low-carbon steel after heat-treatment was studied.

The results obtained were as follows:

The temperature at which the specimen was softened completely was increased by 100°C in a rapid heating. A rapid heating resulted in the smaller grain size than that in a slow heating immediately after recrystallization. An X-ray photograph, which was taken with the recrystallized specimens, showed that a rapid heating yielded more grains with random orientations. A_3 transformation was completed at 950°C in slow heating and at 980°C in rapid heating. The rapid heating refined the grain size more effectively than the slow heating A_3 transformation.

I. 緒 言

前報、前々報において、18-8 不銹鋼¹⁾、13 Cr 不銹鋼²⁾の熱処理後の性質におよぼす加熱速度の影響を述べた。本報においては、極軟鋼薄板を試料とし、その再結晶温度、再結晶粒度、硬度、引張諸性質、再結晶後の板の方向性、 A_3 変態による結晶粒度変化に対する加熱速度の影響を報告する。

II. 試料および実験方法

試料は Table 1 に示す組成のリムド鋼であつて、入

Table 1. Chemical composition of the specimen. (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.027	0.006	0.027	0.014	0.028	0.037
Cr	Sn	Mo	N	O	
0.022	0.024	0.006	0.0033	0.047	

* 昭和 33 年 10 月本会講演大会にて発表

** 東京工業大学 工博

*** 東京工業大学

手状態における冷間圧延圧下率は 88%、厚さは 0.29 mm であつた。

この素材より巾 3mm の試料を圧延方向に平行に採取した。

熱処理の方法は、前報で述べたとおりであつて、等速加熱後ただちに冷却するようにした。加熱速度は徐熱の場合は $10^{\circ}\text{C}/\text{mn}$ であり、急熱の場合はとくにことわらない限り常温より 1000°C までの平均をとると、約 $2000^{\circ}\text{C}/\text{s}$ となるようにした。なお硬度測定および引張試験は、熱処理後 5 時間以内に行つて焼入れ時効硬化の影響を避けた。

III. 実験結果

A 硬度

Fig. 1 に、加工材の加熱による硬度の変化を示す。硬度の測定は、荷重 100 g のマイクロヴィッカース硬度

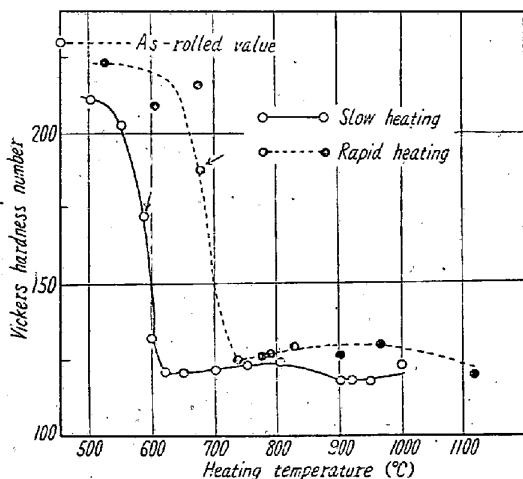


Fig. 1. Effect of heating on hardness.

計を用いた。図で判るように、軟化が顕著に始まる温度は、徐熱で約 520°C 、急熱で約 600°C であり、軟化が終了する温度は、徐熱で 620°C 、急熱で 735°C であつて、それぞれ約 $80^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 急熱により過熱される。なお軟化終了温度は顕微鏡検査による再結晶終了温度と一致し、また後述のごとく、引張試験において抗張力が極小を示し、伸びが極大になる温度と一致する。Fig. 1 の矢印は、X線写真および顕微鏡組織によつて判定した再結晶開始温度であつて、徐熱で 580°C 、急熱で 680°C となつており、 100°C の過熱となつている。なお A₃ 変態は硬度に対してほとんど影響はない。

B 引張性質

引張試験は巾 3mm, gauge length 50mm の試験片を用いて行なつた。伸びの測定は、破断部を常に中央に含むようにして測つた。Fig. 2 に抗張力および伸び

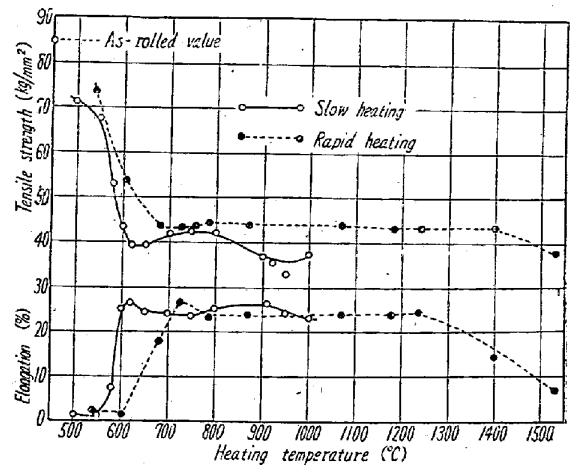


Fig. 2. Change of tensile stress and elongation.

の加熱による変化を示してある。加熱温度が 500°C 以上になるとまだ再結晶の始まらない状態においても、抗張力は徐熱急熱ともに加工状態より低くなるが、いちじるしく抗張力が減少し始めるのは、再結晶が開始してからである。とくに再結晶の効果がいちじるしいのは、伸びに対する影響であつて、抗張力が再結晶以前に低下する範囲でも、伸びは圧延状態と同じであり、再結晶後始めて伸びの増加がみられる。軟化の終了温度は、硬度によつて調べた温度および再結晶終了温度と一致し、徐熱で 620°C 、急熱で 730°C であつて、急熱により約 100°C 過熱され、抗張力は極小となり、伸びは極大となつている。この温度はまた、結晶粒がもつとも小さくなる温度である (Fig. 3)。なお急熱で加熱温度が 1400°C 以上の場合に伸びが急激に減少するのは、結晶粒粗大化のためである。

C 結晶粒度

Fig. 3 に、加熱による結晶粒の変化を示す。従来加熱

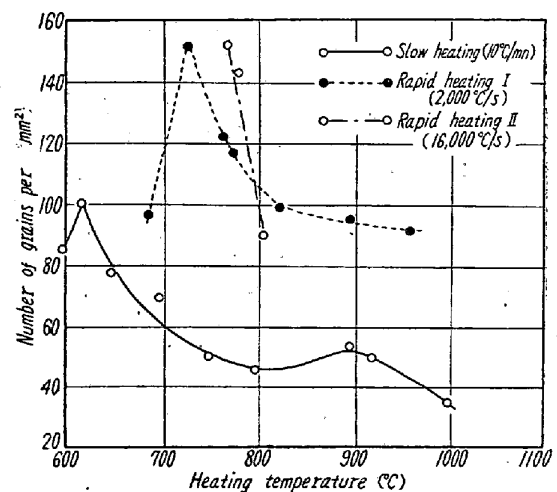


Fig. 3. Effect of heating on the grain size of the 88% cold-rolled specimen.

速度を大きくすると、再結晶粒度が微細になるとよくいわれてきたが、同一の加熱温度における結晶粒度を比較することは意味がない。たとえば図の 750°C においては、徐熱の場合には再結晶後結晶粒成長がすでに起つているのに対し、急熱の場合には再結晶直後であるからである。すなわち再結晶粒度としては、再結晶直後の値をとることが妥当でありこれは Fig. 3 において結晶粒度が極大になる点である。図より明きらかなごとく、急熱した場合の方が再結晶粒度は微細になる。急熱すると、再結晶粒度が微細になることは、18-8 不銹鋼¹⁾、13 Cr 不銹鋼²⁾、アルミニウム³⁾⁴⁾、黄銅⁵⁾においてもすでにみられている。再結晶粒度に関しては、JOHANSON および SACHS の式があるが、いずれも核発生速度 N 、核成長速度 G の比 N/G が大きいと、結晶粒が微細になるという点で一致している。本実験の結果も、以上の式を使えば容易に説明がつく。すなわち核発生速度 N は、核成長速度 G に比べて、温度上昇による増加が大きいとすれば良い。

また急熱 I ($2000^{\circ}\text{C}/\text{s}$) と急熱 II ($16000^{\circ}\text{C}/\text{s}$) を比べると、急熱 II の方が結晶粒が温度上昇によつて急激に大きくなることが判る。これは非常な急熱によつて、いちじるしく過熱された結果、結晶粒成長が比較的高温で起つたためである。なお急熱 II においては、加熱時間がきわめて短いために、加熱時間の制御が十分に行かず、再結晶進行中および終了直後とおぼしき状態をとらせることはできなかった。

なお A_3 変態は、徐熱の場合、再結晶後の結晶粒度をやや微細化するようであるが、その効果は大きくない。

D 再結晶による顕微鏡組織の変化

Photo. 1, Photo. 2 に再結晶による顕微鏡組織の変化を示す。徐熱せる場合、加熱温度 580°C においてすでに再結晶核の発生が見られ (Photo. 1(b)), 加熱温度

が上昇するにつれ、再結晶した領域が大きくなって行き (Photo. 1(c)), 加熱温度 620°C で再結晶が終了していることが判る。Photo. 2 は急熱せる場合の顕微鏡組織の変化である。加熱温度 680°C において再結晶を開始し (Photo. 2(a)), 加熱温度 735°C において再結晶を完了 (Photo. 2(c)) している。そして急熱した場合の方が再結晶直後の結晶粒が細かいことが判る。なお徐熱急熱ともに再結晶後の顕微鏡組織はいちじるしい混粒を示すことが特徴である。また Photo. 2(a), (b) によつて判るように、初期の再結晶粒は粒界などの歪の大きい部分に発生すると思われる。

E 方向性

MoK α 特性線を用いて、X 線回折写真を取り、試料の加熱による方向性の変化を調べた。Photo. 3(a)(b) はそれぞれ徐熱、急熱して再結晶を終了した直後の X 線写真である。一番内側の広がった回折環は、白色 X 線によるもので、中から 2 番目の回折環が K_{α} による (110) の回折環である。この場合 X 線は試料表面に垂直にあてたので (110) 極点図で、外側より約 10° の円周上の分布を調べたことになる。圧延状態においては、その分布は SACHS⁶⁾ などが純鉄において得た結果と一致した。再結晶直後の方向性は、徐熱した場合、Photo. 3(a) で明かなように顕著であり、これは GENSAMER⁷⁾ などが得ている極点図とよく合つた。一方急熱した試料の回折写真を Photo. 3(b) に示すが、徐熱した試料よりも、random な方位を持つた結晶粒が多いことを明瞭に示している。この点はソ連において珪素鋼板の方向性に対する加熱速度の影響を調べた結果とよく一致している⁸⁾。なお徐熱した試料の方向性は、 A_3 変態を行なわせると random なものとなる。

再結晶集合組織の発生については、oriented nucleation theory と selective growth theory の 2 説が

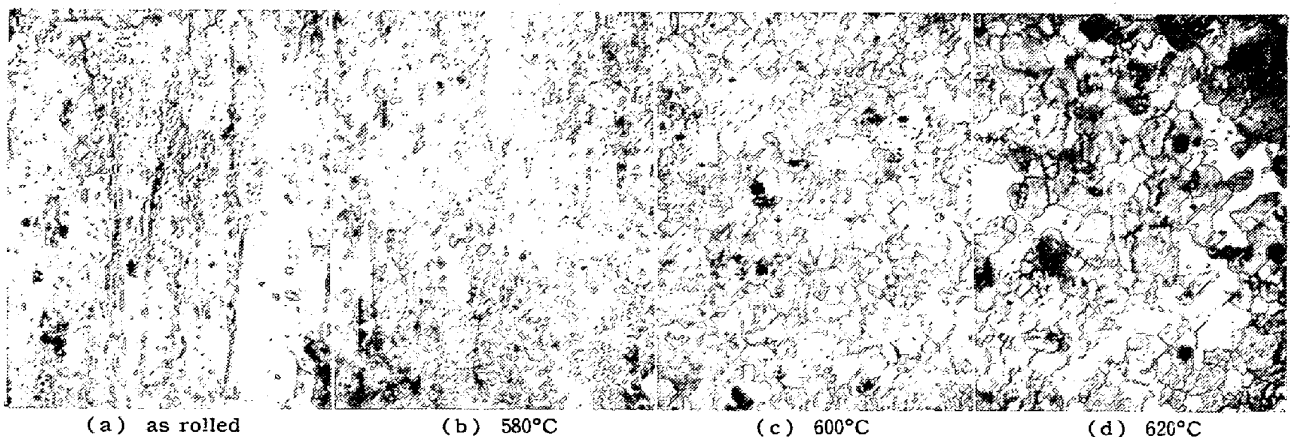


Photo. 1. Change of the microstructure by recrystallization in slow heating.

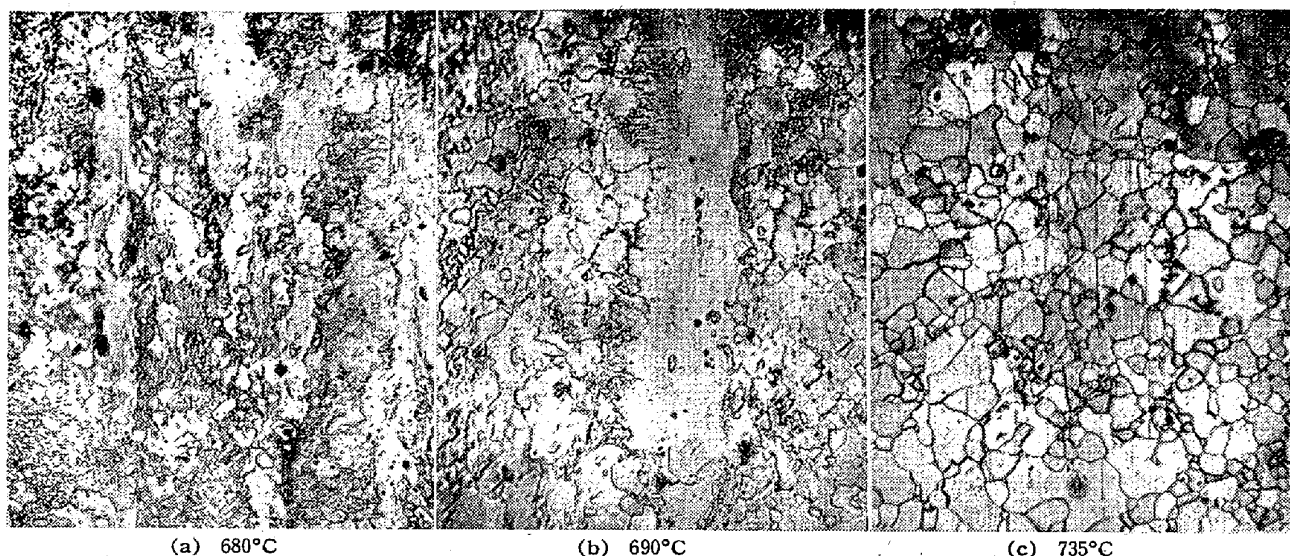


Photo. 2. Change of the microstructure of recrystallization in rapid heating.

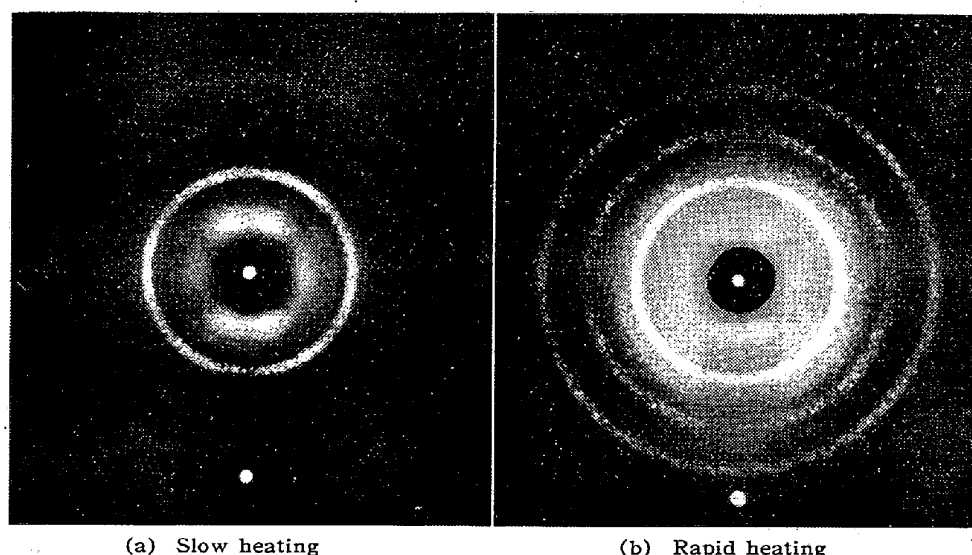


Photo. 3. X-ray photographs of the recrystallized specimens in slow and rapid heating.

あつて、いずれが本質的な役割を果しているかまだ不明であるが、本実験の結果も、前報²⁾で述べたごとく、以上の2説に決定的な確証を与えることはできない。しかし急熱した場合の方が再結晶直後の結晶粒が細かいということは、急熱して過熱された状態の方が、徐熱された状態より核の発生が大きいことを示し、したがつてこのとき低温では核となり得なかつた。randomな方位をもつ核もできるという議論の方が優勢である。いいかえれば普通の方法で再結晶する場合は特定の方位を持つ核が大部分であると考えの方が判り易い。しかし二つの理論に対して断定的な決定は下し得ない。

F A₃変態におよぼす加熱速度の影響

加工材を試料として、急熱がA₃変態温度、A₃変態を行なつたのちにおける結晶粒度におよぼす影響を調べ

ることは適當でない。それは加工材は変態を行なう温度より低温で再結晶を起し、組織変化を調べるのに複雑な問題を与え、またFig. 3によつて明かなように、加熱速度が変わると、変態以前の結晶粒度が異なるのが普通であつて、条件を均一にできないからである。したがつて純粋にA₃変態に対する加熱速度の影響を調べるために、本実験では、あらかじめ試料を真空中で970°Cに1h保持後徐冷して、十分に結晶粒

を大きくした試料を用いた。結果をFig. 4に加熱温度に対する結晶粒度の変化として示す。純鉄の変態点におよぼす急熱の影響については、すでに幾つかの研究があるが^{9)~11)}、いずれもA₃変態点が急熱によつて過熱されることが報告されている。P. DUWEZによると蓄電池放電による異常な加熱速度ではA₃変態点は過熱されて融点以上となり存在しなくなるとしている。本実験の結果を、冷却後の結晶粒が最小となる温度をA₃変態終了温度として解釈すると、徐熱では950°C、急熱では980°CでA₃変態は終了することが判り、急熱によりA₃変態終了点は約30°C過熱されている。またA₃変態後の結晶粒度は、急熱された試料の方が約40%細くなることがFig. 4より判る。この実験からでは、A₃変態後の、オーステナイト状態における結晶粒度の比較はで

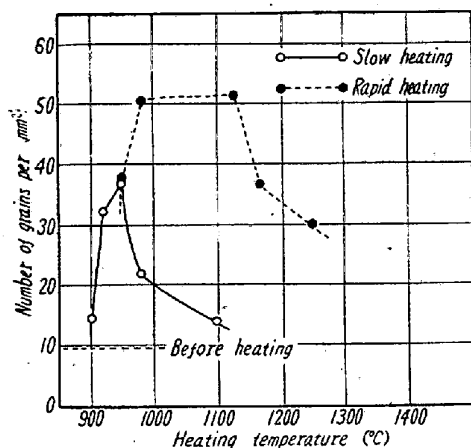


Fig. 4. Change of the grain size of the annealed specimen caused by A_3 transformation.

きないので、急熱による結晶粒微細化が $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態によつて決められたか、あるいは $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態によつたか、また以上二つの変態がともに働いたかは明かにできない。しかし両試料ともに $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態は同一条件の焼入れによつているので両者の差異の大部分は $\alpha \rightarrow \gamma$ のさいの加熱速度の差異に基づくことは考えられる。

IV. 総 括

極軟鋼薄板の熱処理とくにその加工材の再結晶に伴なう諸性質の変化、また A_3 変態におよぼす加熱速度の影響を調べ、つぎの結果を得た、

(1) 加工材が、硬度、引張諸性質において軟化を終了する温度は、再結晶終了温度と一致し、急熱によつて

約 100°C 過熱される。

(2) 再結晶粒度は、急熱した場合の方が小さく、また再結晶直後の顕微鏡組織は、徐熱急熱ともにいちじるしい混粒を示す。

(3) X線回折写真によつて、再結晶後の試料の方向性を調べた結果、急熱した場合の方がより random な方位を持つ結晶粒の多いことが判つた。

(4) A_3 変態終了温度は急熱によつて約 30°C 過熱され、変態後の結晶粒度は、急熱の場合の方が小さくなった。

終りに貴重な試料を提供して頂いた、八幡製鉄株式会社に感謝致します。(昭和 35 年 8 月寄稿)

文 献

- 1) 作井誠太, 他: 鉄と鋼, 44 (1958), 136
- 2) " : " , 45 (1959), 39
- 3) 小崎正秀: 日本金属学会誌, 9 (1943), 349
- 4) U. YOSHIDA: Mem Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. 19 (1936) 69
- 5) 作井誠太: 応用物理, 16 (1947), 87
- 6) SACHS et al: Z. Physik., 62 (1930), 592
- 7) GENSAMER et al: Trans. Met. Soc., Amer. Inst Min., Met & Pet. Eng., 125 (1937), 501
- 8) K. V. GRIGOROV: The Physics of Metals and Metallography, 7 (1959), 147
- 9) 作井誠太: 日本金属学会分科会報告, 第 18 輯 (1955)
- 10) 小野健二, 他: 日本金属学会講演概要, 1958年春
- 11) P. DUWEZ: California Institute of Technology, Private Communication

軸受用高炭素クローム鋼管における地疵の解析*

三 好 栄 次**

Macroscopic Non-Metallic Inclusions in Tubes of High-Carbon Chromium Ball-Bearing Steel.

Eiji Miyoshi.

Synopsis:

Macroscopic non-metallic inclusions are usually inspected by naked eyes on the surface of tubes cut by the lathe. Sometimes there are many small inclusions whose length is ranged from 0.1 mm to 0.4 mm, but whose width is quite thin. The accuracy of this inspection was discussed here.

At first, the accuracy caused by the individual inspector, the variance between the different inspector and the variance inspected at different times by the same inspector were tested. The results proved that the variance was large enough to cover the commercially permissible number.

* 昭和 31 年 10 月本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業株式会社中央技術研究所