

# 低炭素鉄板の性質におよぼす焼鈍条件の影響\*

豊島清三\*\*・松倉亀雄\*\*\*・矢頭森彦\*\*\*

## Effect of Annealing Process on Properties of Low-Carbon Iron Sheets.

Dr. Seizo TESHIMA, Kameo MATSUKURA and Morihiko YAZU

### Synopsis:

The annealing of low-carbon steel sheets is usually performed either by a batch-type annealing furnace or by a continuous annealing furnace. In this paper, an experimental study was made on the recrystallization behavior of low-carbon iron sheets, and on the effect of annealing processes, i. e. box-type vs. continuous type, upon mechanical properties of low-carbon iron sheets.

The main results obtained are as follows:

- 1) When compared with normal low-carbon steel sheets, low-carbon iron sheets has a higher recrystallization or softening temperature, and is relatively slow in recrystallization speed.
- 2) In the case of continuous-type annealing, more than 100°C higher annealing temperature is needed compared with a batch-type annealing when the same mechanical properties and grain size are expected.
- 3) Batch-type or box-annealing is satisfactorily performed when the soaking time is more than 2 h, and the optimum soaking temperature is around 850°C.
- 4) In the case of continuous-type annealing the necessary soaking period is at least more than 3mn, and the preferable soaking temperature is not less than 900°C, but when compared with the batch-type annealing method, properties of the product are somewhat inferior.

## I. 緒 言

低炭素鋼板の焼鈍は普通 batch type または continuous type で行なわれ、batch type 焼鈍では熱はすべて主としてコイル端面の比較的小さな面積を通じてコイル全体に運ばれるので焼鈍時間が長くなり、成品は一般的に軟質で諸性質の優れたものが得られるが、炉内で装入物の位置による温度差によつて成品の性質にバラツキを生じやすい。continuous type 焼鈍では加熱時間が非常に短かいために、成品は一般的に硬質で諸性質の点で batch type のものに若干劣る傾向はあるが、しかし加熱が均一に行なわれるために成品の性質はより均質になる。

含有炭素量の特に低い低炭素鉄板は焼鈍における再結晶挙動が普通の低炭素鋼板とは多少異なるため、一般に

行なわれている普通の低炭素鋼板の焼鈍条件では、満足されるような性質をもつた成品を作ることが困難である。本研究ではこれら低炭素鉄板の品質向上の目的から、まず低炭素鉄板の再結晶挙動を調査し、つぎに batch type と continuous type との焼鈍方法の差異が成品の性質におよぼす影響について検討した。

## II. 実験方法

### 1. 供試材

使用した試料は板厚 1mm に冷間圧延(圧下率50%)した低炭素の鉄板で、その化学成分は Table 1 に示すとおりである。

### 2. 実験装置

再結晶試験および batch type と continuous type の焼鈍試験は Fig. 1 に示すような内部に耐熱性のイン

Table 1. Chemical composition of the specimen (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	O	N	H
0.017	0.003	0.030	0.009	0.010	0.078	0.068	0.0021	0.00018

\* 昭和36年10月本会講演大会にて発表 \*\* 八幡製鉄株式会社, 八幡製鉄所技術研究所, 工博  
\*\*\* 八幡製鉄株式会社, 八幡製鉄所技術研究所

ナー・チューブを有する電気炉を使用した。図に示すように加熱炉の一端には continuous type 焼鈍における試料通板のために簡単な手動捲取機を設け、インナー・チューブ内には焼鈍中における試料表面の酸化を防止するために不活性ガスを通し、continuous type では試料の通板方向と反対方向にガスを流すようにした。

焼鈍中における温度はインナー・チューブ内の中央位置で測るようにしたが、本試験前にブラケットテストで 700°C と 900°C の定常状態で炉内の温度分布を調べた結果は Fig. 2 に示す通りで、炉内の中央位置で 300~400mm の長さの均熱帯が得られた。

3. 実験方法

低炭素鉄板の再結晶調査試験では所定温度に保定した炉内に 20×30mm の小試片を装入し、所定の均熱時間後に炉から引出して空中放冷し、硬度と顕微鏡とによって再結晶挙動を調査した。

つぎに焼鈍方法の差異が焼鈍材の性質におよぼす影響を検討するための batch type 焼鈍では 300×100mm の各種試験片を一緒に束ねて炉内中央位置におき、不活性ガス雰囲気中で温度と時間の焼鈍条件を変化して焼鈍を行なった。一方 continuous type ではインナー・チューブの一端においた 300×100mm の試験片を所定温

度に保定した炉内を通板させ、均熱時間の長短に応じて通板の速度を変化させて焼鈍した。

それぞれの試験における焼鈍サイクルは下記の通りである。

(i) 再結晶試験における焼鈍サイクル

加熱速度：所定温度に保定した炉内に試料を装入した後、温度が再びもとに回復するに要する時間は数分間になった。

均熱温度：500, 550, 600, 650, 700, 750, 800°C

均熱時間：上記の各温度について 3, 30, 60, 120mn

冷却：空中放冷

(ii) Batch type における焼鈍サイクル

加熱速度：200°C/h

均熱温度：650, 700, 750, 800, 850, 900, 950,

1000°C

均熱時間：上記の各温度について 0, 2, 5h

冷却：炉冷

(iii) Continuous type における焼鈍サイクル

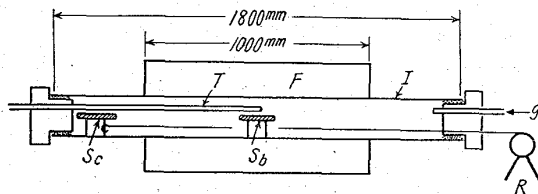
保定炉内温度：700, 800, 900, 1000°C

均熱時間：1mn(line velocity—300mm/mn)

3mn( " —100mm/mn)

5mn( " —60mm/mn)

10mn( " —30mm/mn)



- F: Furnace body
- g: Inert gas inlet
- I: Inner tube
- Sb: Sample of batch-type annealing
- Sc: Sample of continuous-type annealing
- T: Thermal junction
- R: Coiler

Fig. 1. Cross section of an experimental annealing furnace.

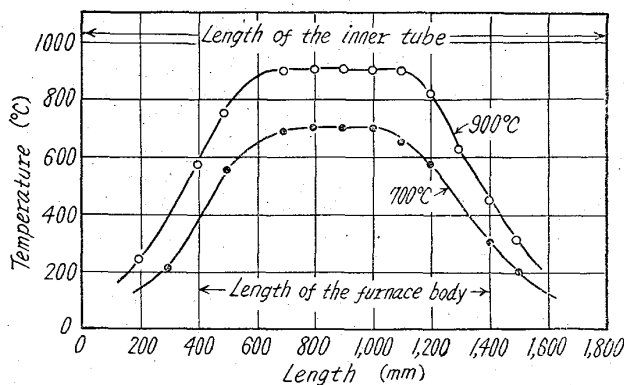


Fig. 2. Temperature distribution of annealing atmosphere measured at 700°C and 900°C.

III. 実験結果

1. 低炭素鉄板の再結晶挙動について

焼鈍の温度と時間をいろいろ変化して焼鈍した試料について硬度と顕微鏡組織から再結晶挙動を検討した結果のうち、軟化性状を Fig. 3 に、フェライト結晶組織を Photo. 1 に示す。そしてこれらの図中には低炭素鉄板の外に普通の低炭素鋼板の性状をも一緒に参考試料として掲示した。

普通の低炭素鋼板は軟化温度が低く、軟化が急速に進

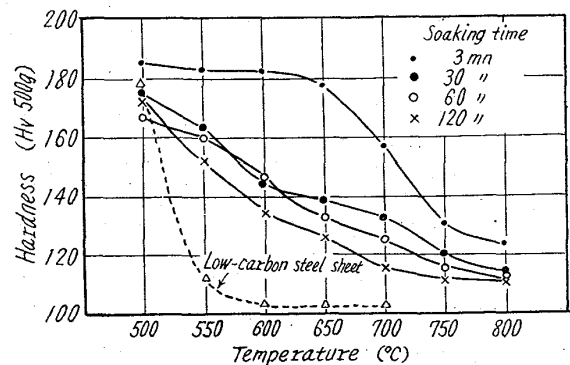


Fig. 3. Relation between annealing temperature and hardness of low-carbon iron sheets.

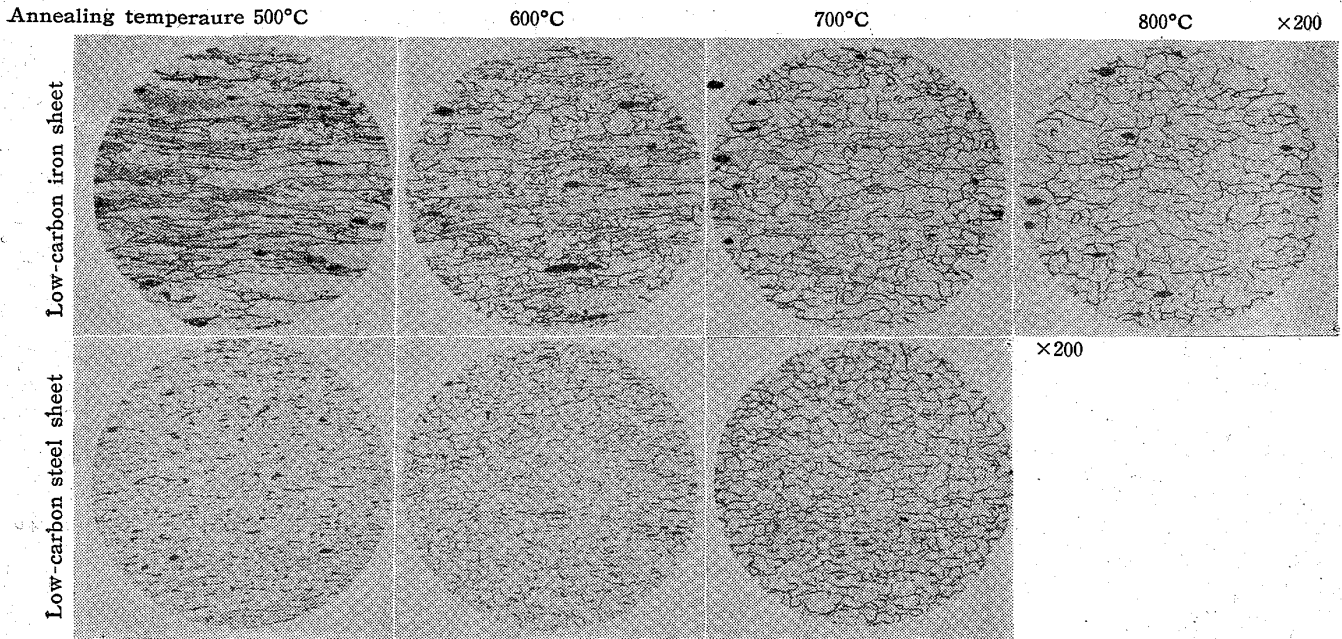


Photo. 1. Typical microscopic structure at various annealing temperatures.

行し、600°C 付近の焼鈍温度で硬度の値がほぼ一定値を示す程度に軟化する。低炭素鋼板のこの軟化性状は Photo. 1 の顕微鏡写真からもよく伺われ、焼鈍温度550°C のフェライト結晶組織では再結晶は終えているが微細な粒を含んだ混粒組織から成っており、硬度がほぼ一定値を示す 600°C 付近の焼鈍温度では微細結晶粒が少なくなつて比較的育粒組織になり、焼鈍温度がさらに上昇すれば結晶粒もさらに生長する。

これに対し低炭素鉄板は軟化温度が高く、軟化の進行が緩慢で、普通の低炭素鋼板の軟化がほぼ終了する 600°C 付近の焼鈍温度においても硬度はかなり高い値を示している。そして焼鈍温度が上昇するにしたがつて硬度はしだいに低下し、750°C 以上の温度になつてほぼ一定値になる。低炭素鉄板のこの軟化性状は Photo. 1 に示す例示的顕微鏡写真(均熱時間 2h)からもよく伺われ、硬度の値の高い 600°C 付近の組織では再結晶した部分もあるがファイバー状の冷延組織がまだ多く残存し、この冷延ファイバー組織は 700°C の温度になつてもなお若干残留する状態である。

上記のことから低炭素鉄板の再結晶挙動を普通の低炭素鋼板のそれと比較して考えるに、普通の低炭素鋼板は結晶粒の大きさが小さく、軟化の進行速度が比較的速く、再結晶の終了温度は 600°C 付近であるのに対し低炭素鉄板は結晶粒の大きさが大きく、軟化の進行速度が比較的緩慢で、再結晶の終了温度は約 750°C 付近の温度である。そして低炭素鉄板の再結晶温度が普通の低炭素鋼板より 150°C 位高いことから実際の焼鈍においてもそれだけ高い温度が必要になることが推測される。

2. 焼鈍方法の差異が成品の性質におよぼす影響について

Batch type において焼鈍の温度(8通り)と均熱時間(3通り)とを変化して焼鈍した成品について諸性質を調査した結果は Fig. 4-(a) に示すとおりで、焼鈍の温度変化では諸性質は一般的に温度の上昇にしたがつて向上するが、特に 850°C 付近の温度で伸び、エリクセンの性質が最高値を示すことが注目される。均熱時間の変化では均熱の特に短い 0h のものが 2h, 5h のものに比較して各性質が劣り、均熱時間が 2h, 5h の二者では多少の差異は見られるがその差異の小さいことから、batch type 焼鈍においては均熱時間が 2h 以上であれば大体焼鈍の目的が達せられると考えられる。

Continuous type において焼鈍の温度(4通り)と均熱時間(4通り)とを変化して焼鈍した成品について諸性質を調べた結果は Fig. 4-(b) に示すとおりで、焼鈍の温度変化では batch type 焼鈍のように極大現象はなく各性質とも温度の上昇にしたがつて漸次よくなるが、各性質の値が batch type のものに比較して一般的に低く、低炭素鉄板の再結晶温度の高いことおよび再結晶速度の緩慢なことなどから continuous type 焼鈍では 900°C 以下の温度で加工性の優れた成品を得ることが困難である。また均熱時間の変化では一般的に時間の長いほど諸性質はよくなり、均熱時間の最も短い 1mn のものは各性質が特に悪い。

つぎに batch type と continuous type のそれぞれの焼鈍において均熱時間の短いために各性質の値が低いものを除外し、batch type では 2h, 5h の二者、

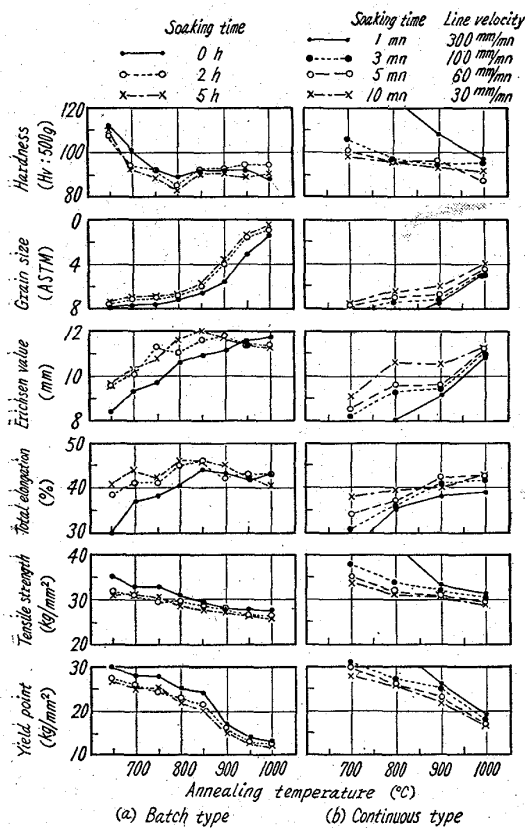


Fig. 4. Mechanical properties of batch-type and continuous type annealing.

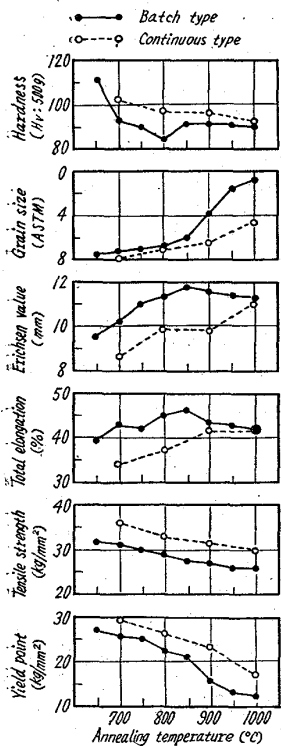


Fig. 5. Comparison between batch-type and continuous-type annealing.

continuous type では 3 mn, 5mn, 10mn の三者の平均値を以て焼鈍方法の差異が成品の諸性質におよぼす影響を比較すれば Fig. 5 のようになる。

(i) 硬度

Batch type のものは焼鈍温度 750°C までは温度の上昇にしたがって硬度は比較的急激に低下しそれ以上の温度ではさらに温度が上昇しても硬度にはほとんど変化が見られないが、continuous type のものは均熱時間が短いため batch type のように 750°C 付近の温度ではまだ十分に軟化しきれず、焼鈍温度 1000°C まで硬度は連続的にゆるやかに低下して 1000°C の温度で batch

type 焼鈍程度の軟らかさになる。

このように continuous type の焼鈍材は一般に硬質なものになるので、batch type 焼鈍程度に軟質の成品を得るにはかなりの高温が必要である。

(ii) フェライト結晶組織

Batch type のものは焼鈍温度 800°C 以下では粒度 No. 7~8 位の混粒組織であるが、焼鈍温度の上昇するにしたがって結晶粒の大きさは比較的急激に生長し、焼鈍温度 850°C では粒度 No. 6 位の等軸の斉粒組織で 1000°C では粒度 No. 1 になる。これに対し continuous type のものは焼鈍時間の短いことから結晶粒の生長がおそく、焼鈍温度の低い側ではファイバー状の冷延組織の残存も見られる混粒組織であるが、温度の上昇につれて結晶粒の大きさはしだいに増大して 1000°C では粒度 No. 5 位の大きさになる。

そして両焼鈍法の間には約 100°C 以上の温度効果の差があつて、同じ大きさの結晶粒を得るためには continuous type の方が batch type 焼鈍より 100°C 以上高い温度を必要とすることになる。

(iii) エリクセン値、伸び

エリクセン値、伸びの性状は概して類似した傾向を示し、焼鈍時間の長い batch type では 850°C を境にしてそれより温度の低い側では焼鈍温度の上昇にしたがってエリクセン、伸びの値はフェライト結晶粒の大きさに比例的によくなるが、850°C より温度の高い側では温度の上昇によつて結晶粒の大きさがさらに大きくなつても値はよくなりかえつて低下する傾向を示す。一方焼鈍時間の短い continuous type のものは batch type 焼鈍で見られるような 850°C 付近の温度における極大現象はなく、1000°C の最高焼鈍温度まで温度の上昇によつてエリクセン、伸びの値はよくなるが batch type のものに比較してこれらの値が全般的に低い。

このエリクセン、伸びの性状はフェライト結晶粒の大きさと密接な関係があるようで、低炭素鉄板について batch type 焼鈍によつてエリクセン、伸びの値の優れたものすなわち、加工性の良い成品を得る焼鈍の最適条件は粒度 No. 6 位の斉粒組織の得られる 850°C 付近の温度であり、一方 continuous type 焼鈍では低炭素鉄板の再結晶挙動の特性から batch type 焼鈍のように加工性の優れた成品を得ることは困難で、焼鈍温度が 950°C 以上になつて batch type の 700~750°C 程度のものが得られる。

(iv) 抗張力

Batch type と continuous type の両者では硬度の

低い batch type 焼鈍のものが抗張力の値が小さく、硬度の高い continuous type 焼鈍のものが抗張力が大きい。そして両焼鈍方法とも温度の上昇にしたがって抗張力はしだいに低下し、batch type 焼鈍では  $700^{\circ}\text{C}$ -31 kg/mm<sup>2</sup> のものが  $1000^{\circ}\text{C}$ -26 kg/mm<sup>2</sup> になり、continuous type 焼鈍では  $700^{\circ}\text{C}$ -35 kg/mm<sup>2</sup> のものが  $1000^{\circ}\text{C}$ -30 kg/mm<sup>2</sup> に低下する。

#### (v) 降伏点

Batch type 焼鈍のものは結晶粒が比較的急に増大してエリクセン、伸びの値が最高値を示す  $850^{\circ}\text{C}$  付近の温度で降伏点が若干大きく低下し、 $700^{\circ}\text{C}$ -25 kg/mm<sup>2</sup> のものが  $1000^{\circ}\text{C}$ -12 kg/mm<sup>2</sup> になる。これに対し continuous type 焼鈍のものは batch type 焼鈍材より降伏点の値が高く、 $900^{\circ}\text{C}$  付近の温度で若干大きく低下する傾向は見られるが、しかし batch type 焼鈍のものに比較すれば低下の割合が僅少である。そして降伏点の値は焼鈍温度  $700^{\circ}\text{C}$ -30 kg/mm<sup>2</sup> のものが焼鈍温度の上昇にしたがって漸次低下し  $1000^{\circ}\text{C}$ -17 kg/mm<sup>2</sup> になる。

つぎに応力-歪線図から観察した降伏点伸びは batch type 焼鈍では温度の上昇によつて小さくなり、焼鈍温度  $900^{\circ}\text{C}$  ではその値が非常に小さく  $1000^{\circ}\text{C}$  で完全に消失された。continuous type 焼鈍では  $1000^{\circ}\text{C}$  で降伏点伸びの値が小さくはなつたが、batch type のように完全には消失されなかつた。

## IV. 結 言

低炭素鉄板の再結晶挙動を調査し、つぎに batch type と continuous type との焼鈍方法の差異が成品の性質に与える影響を検討するために焼鈍温度や時間を変化して実験した結果を要約すればつぎのようである。

(1) 低炭素鉄板は普通の低炭素鋼板に比較して軟化温度が高く、再結晶速度が緩慢で、再結晶の完了温度は約  $750^{\circ}\text{C}$  付近である。

(2) Batch type と continuous type の両焼鈍法の間には約  $100^{\circ}\text{C}$  以上の温度効果の差があつて、同じ大きさの結晶粒を得るためには continuous type 焼鈍の方が  $100^{\circ}\text{C}$  位高い温度を必要とする。

(3) Batch type 焼鈍では均熱時間が 2h 以上であれば焼鈍の目的は達せられ、エリクセン、伸びの値が最高値を示す  $850^{\circ}\text{C}$  付近の温度が焼鈍の最適条件である。continuous type 焼鈍では均熱時間が 3mn 以上になるような通板速度で、 $900^{\circ}\text{C}$  以上の温度で焼鈍すれば比較的優れた成品が得られる。

(4) Batch type の成品は一般的に軟質で機械的性質の優れたものが得られやすいが、continuous type の成品は焼鈍時間の短いために低炭素鉄板の再結晶の特性から一般的に機械的性質の優れたものが得られ難い。

(昭和37年5月寄稿)

## 高周波焼入鋼の焼割れ感受性および焼入硬度に およぼす合金元素の影響について\*

本 間 八 郎\*\*

### Effect of Alloying Elements on the Quench-Crack Sensitivity and Hardness of Induction-Hardened Steels.

Hachiro HOMMA

#### Synopsis:

The author investigated the quenching-crack sensitivity and hardenability when the notched specimens were induction-hardened. The specimens had been prepared from Mn, Ni, Cr, Ni-Cr, Cr-Mo and Ni-Cr-Mo steels that included various amounts of alloying elements.

From the experimental results, the effect of alloying elements on that characteristics was made clear quantitatively, and an important guide to select the induction-hardening steels was obtained.

\* 昭和37年4月本会講演大会にて発表 \*\* 株式会社日立製作所、亀有工場 工博