

論 文

UDC 621.771.252.016.2 : 621.785.47 : 669.096.5

流動層冷却による熱間圧延線材の直接熱処理法*

山腰 登**・金田次雄**・鈴木昭男**

新名英司**・柳 義親**・初岡延泰**

Method for the Direct Patented Rod in the Fluidized Bed

Noboru YAMAKOSHI, Tsugio KANEDA, Akio SUZUKI,
Eigi NIINA, Yoshichika YANAGI, and Nobuyasu HATSUOKA

Synopsis:

There has been a strong demand for a process where patenting treatment before drawing is omitted with a view to rationalizing and improving efficiency of the production of high carbon steel wires. As a means to meet the demand, a new process named the Direct Patenting Treatment has recently been developed with success.

In this new process, hot rolled wire rods, having been passed through the finishing roll stand, are treated in the cooling zone followed by the treatment in the fluidized bed filled with zilcon sand. Test on the new process has been made with high carbon steel wire and wire for cold heading.

The test results and the characteristics of the process are as follows.

1. The variation in the mechanical properties of coil is very little.
2. Particularly with high carbon steel, it is possible to control tensile strength by means of changing the temperature of fluidized bed.
3. Conventional patenting treatment is not necessary.
4. The processed material has excellent properties concerning pickling, drawing, forming and spheroidizing. The mechanical properties of the wire drawn by this process are excellent too.

(Received Feb. 15, 1972)

1. 緒 言

一般に使用されている鋼線の用途は広く、鉄線、金網、くぎ、リベット、ねじなどの部類から鋼より線、ワイヤロープ、ばね、コンクリート用鋼線など多種多様にわたっている。これらの鋼線は線材をパテントングあるいは軟化処理などの熱処理を行ない、伸線あるいは引抜加工、表面処理、調質処理などの工程を経て成品にされる。この線材コイルに要求される性質は主に、表面欠陥がなく、寸法などの形状がよく、コイル内の機械的性質が均一で、さらに脱スケール性がよく、伸線性あるいは引抜加工性のすぐれたものといえる。

通常、線材圧延工場では仕上げ圧延スタンドを通過した線材は、そのまま高温度で巻きとられるため、酸化によるスケールの生成量が多くそのため酸洗性が悪く、またパーライトのラメラ間隔が広がるため機械的性質やその後の伸線加工性もよくないことが知られている。

近年、とくに高炭素鋼線材の伸線加工において生産工程の合理化、能率化のため熱間圧延後の状態よりパテントングなどの熱処理を省略して線引加工が行なえるものが要求されるようになってきた。このような情勢などから熱間圧延線材を直接熱処理することが急速に注目され、ステルモア方式^{1)~4)}、シュレーマン方式^{5)~7)}、デマーグ方式^{8)~9)}または住電方式^{10)~11)}など、それぞれ独自の方法で研究開発がなされている。これらの方法はいずれも冷却方法に各社の特異性が示されている。われわれはこの直接圧延熱処理いわゆる機械的性質ならびに伸線性の良好な、通常のパテントング、軟化処理などを省略あるいはそれに替わるものをまったく独自の発想により工業化に成功した^{12)~13)}。すなわち仕上げ圧延スタンドを出た線材を途中水冷帯を通つて主たる冷却媒体とし

* 昭和46年4月本会講演大会にて発表
昭和47年2月15日受付

** (株)神戸製鋼所鉄鋼事業部

て固体粒子による流動層を利用し調整冷却を行なう方式によるものである。

本報告においてこの流動層冷却による直接圧延熱処理した線材を、KP線材(Kobe Patenting Wire Rod)として生産しているので、その処理装置ならびに特徴と処理線材の性質を述べる。

2. 流動層による直接圧延熱処理の基本的概念

一般に、線材を伸線加工するためには空気パテンティングあるいは鉛パテンティング処理によつて所望の性状を得て実施しているが、直接圧延熱処理によるものはそのままたちに伸線加工が実施できる。その基本的概念を以下に示す。Fig. 1に0.6%炭素鋼の恒温変態曲線上に、5.5 mmφ線材を900°Cから空気パテンティングを施した場合(曲線①)、鉛パテンティングを施した場合(曲線②)および流動粒子にジルコン砂を用いて、その砂温をおおの常温250°C、500°Cに調整した流動層炉中に投入した場合(曲線③-1, ③-2, ③-3)とさらに熱間圧延後コイル状のまま空冷した場合(曲線④)のそれぞれの冷却曲線を示した。

このように流動層による冷却は層温が常温から500°Cの範囲でも、変態までの冷却速度は空気パテンティングの場合よりも早く、鉛パテンティングの場合と同程度あるいはそれ以上であることがわかる、したがってオーステナイトからのパーライト変態がより理想的な状態で処理できるので、組織も均一なものが得られる。そしてこの流動層での冷却条件を支配する要因として流動粒子の種類、粒度、層の深さ、層の温度などが重要であり、逆にこれらの要因を調整することにより処理材の冷却曲線のコントロールを可能にするのである。

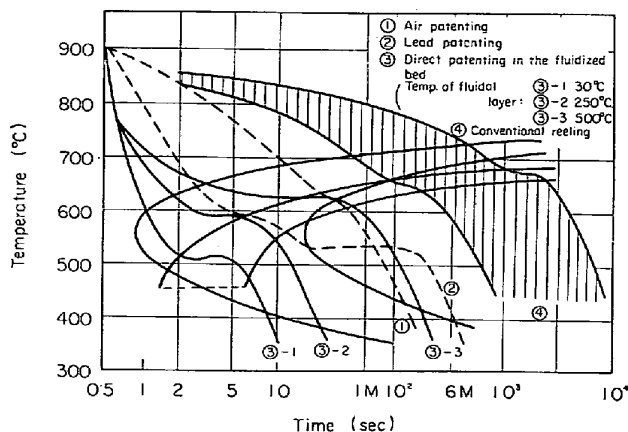


Fig. 1. Transformation diagram for 0.6% carbon steel wire processed by various rod treatments.

さらにまた流動層による直接圧延熱処理は鋼材をオーステナイト状態に加熱し線材圧延機を通り、その後微細化されたオーステナイト結晶粒子が再び粗大化しない程度に水冷され、ただちに流動層にて過冷によるマルテンサイトあるいはベイナイト組織を出すことなく急冷するので均一かつ微細なパーライト組織を有するものが得られるのである。

このように一般の空気パテンティング、鉛パテンティングなどに比して、本処理は冷却曲線、組織的観点ですぐれていることがうかがわれる。

3. 流動層と処理設備の概要

3.1 流動層と冷却能

流動層冷却装置に使用する流動粒子は、流動性のよいことに加え、熱伝導性、耐熱性および密度の大なることが必要である。そこでわれわれは冷却用流動粒子としてシリカ砂(SiO_2)、アルミナ砂(Al_2O_3)、ジルコン砂($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$)、ルチール(TiO_2)、イルミナイト($\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)、鉄粉、鉄鋼のスケール、銅粉など種々の粒子の特性を調べた。その結果、ジルコン砂が上述の諸特性など総合的にみて、もつともすぐれていることが判明したので、量産装置にはこの砂の150メッシュの粒子を選択した。

つぎに、一例として硬鋼線材5.5 mmφをオーステナイト域に加熱後、流動層で冷却しパーライト変態させるにあたって、このジルコン砂流動粒子の温度に対して線材の冷却状態がどの程度変化するか、また線材をオーステナイト域から流動層に投入する際の線材温度を変えることによつてその冷却状態がどのように変化するかを調査した。その結果をFig. 2に線材の冷却曲線で示したが、流動層の層温が常温より300°Cまでの変化でパーライト変態はいずれも7~8 sec程度で変態が大略終了しているが、その変態温度は500~600°Cの範囲に変化していることがわかる。この結果より流動層の温度を変えることにより、所望の冷却曲線すなわち変態温度の調整ができ線材のマイクロ組織の自由なコントロールが可能であることがうなずける。なおこのジルコン砂の300°C付近の流動層温での冷却が、一般に行なわれている鉛パテンティングとほぼ同様の冷却状態であつた。

また、線材をオーステナイト域から投入する際の投入温度の影響は、投入温度が低いほどパーライト変態の開始と終了が短い方に向かつており、変態温度は層温が同じであればほとんど変化しないことを確認した。

3.2 量産設備の概要

前節に述べた流動層における冷却特性を基礎として、

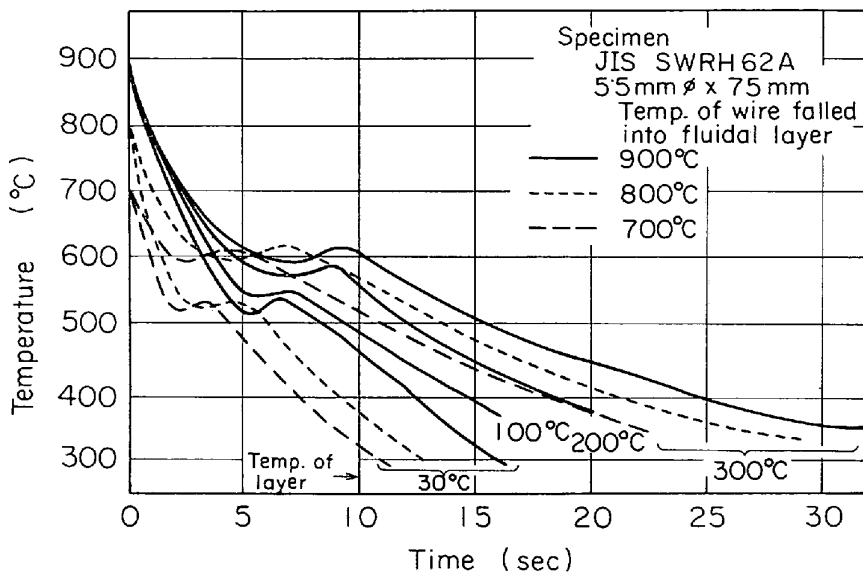


Fig. 2. Effect of temperature of wire fallied into fluidal layer on the cooling curve (0.6% carbon steel wire).

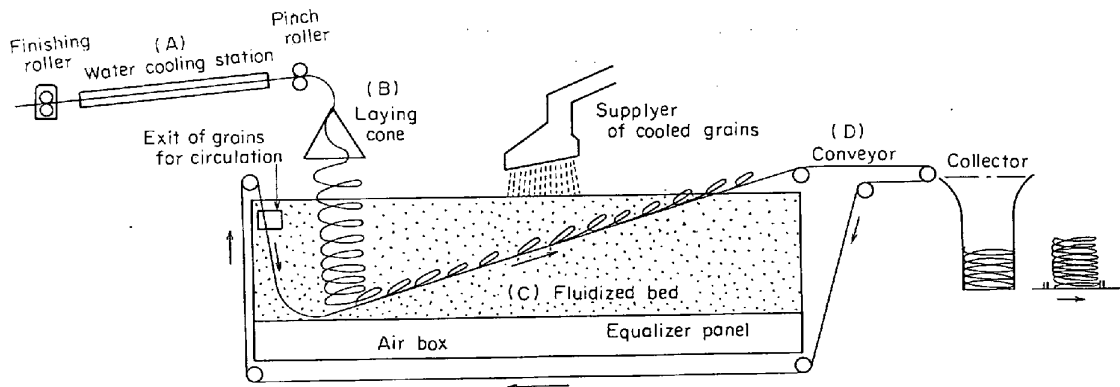


Fig. 3. Schematic diagram of the direct patented process in the fluidized bed.

熱間圧延線材を直接熱処理する冷却装置を当社第6線材工場に二系列設置した。この直接冷却装置は Fig. 3 に概略図を、また Photo. 1 に処理状況を示すように、圧延線材の水冷却装置(A)、捲線機(B)、流動冷却槽(C)と別に設置された流動粒子を冷却させる冷却槽および線材収集装置からなっている。最終仕上げ圧延スタンドを出た高温の圧延線材は約 32m/sec の速度で水冷帯を通過し、この間 650~750°C に冷却される。冷却された線材は捲線機によつてリング状に巻取られ、常温から500°C 範囲の所定温度に保持されたジルコン砂流動冷却槽に落下する。線材は流動層をリング状に線材同志が接触または重なり合うことなくそのまま自然落下するので、その間にパーライト変態をほぼ終了して搬送用コンベア(D)に到達する。次に変態の完了した線材は非同心円状に重なつて連続的に層外に搬送され、コイル収集装置で同心円状に積みなおされた後、製品出荷ヤードに送られる。

なお、流動用空気は専用ブローを用いてジルコン砂下部の空気室に送られ耐熱整流板を通してジルコン砂を流動化させる。また、流動冷却層の恒温保持は別に設置した流動粒子冷却槽を用いて流動粒子の循環させる方式を採用した。

4. 処理線材の性能

4.1 処理線材の特性におよぼす処理条件の影響

前章 3.1 節の流動層の冷却能について述べた際、流動層の温度を変えることにより処理線材の変態温度の調整ができることを記したが、ここでさらに流動層冷却処理条件と処理線材との関係について述べる。

4.1.1 流動層温度の影響

流動層の温度を変えると被処理線材の冷却曲線が変わってくる。すなわちパーライト変態温度がことなる。したがつて線材のマイクロ組織をコントロールすることがで

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

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
Steel A	0.06	0.06	0.32	0.014	0.031	0.03	0.02	0.04
Steel B	0.20	0.07	0.85	0.010	0.025	0.05	0.03	0.04
Steel C	0.30	0.09	0.77	0.018	0.022	0.03	0.02	0.04
Steel D	0.47	0.29	0.75	0.015	0.018	0.05	0.03	0.05
Steel E	0.63	0.30	0.49	0.019	0.021	0.03	0.02	0.03
Steel F	0.72	0.26	0.48	0.013	0.014	0.04	0.02	0.04

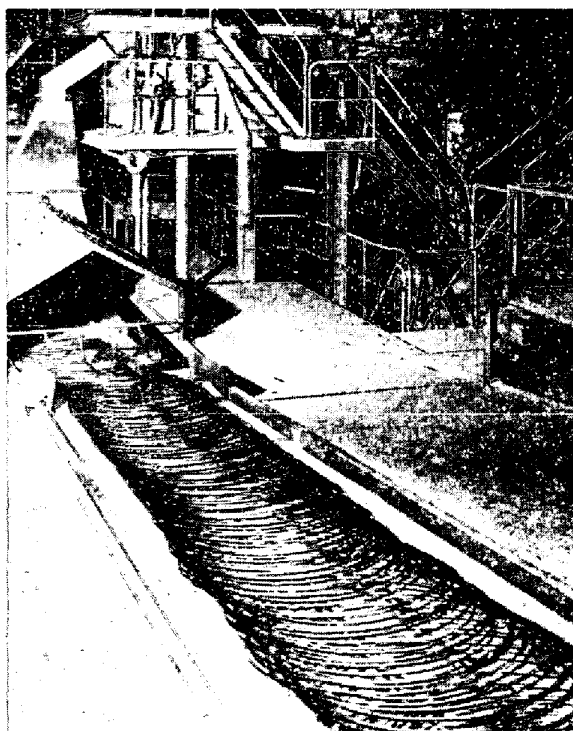


Photo. 1. A view of the fluidized bed looking toward the laying head.

きる。いかえれば処理後の引張強さを自由にコントロールできることがわかる。そこで Table 1 に示す種々の炭素含有量の鋼を 5.5 mm ϕ に仕上げ圧延し、水冷帯を通過させ 750°C に冷却した後、常温から 500°C までの数種の温度に調節された流動層で処理して、引張特性をしらべた。流動層の温度と引張強さおよび絞りとの関係をそれぞれ Fig. 4, Fig. 5 に示す。

0.3% C 程度までの低炭素鋼においては流動層温度の影響は少なく、引張強さは層温の上昇に従い低下するが、その低下率はわずかである、すなわち常温から 200°C 程度までは 100°C 当たり 2~3 kg/mm² 低下するが 200°C 以上になるとほぼ横ばい状態となり強度の低下が軽微になる。一方絞り値においては層温の変化によってもほとんど変わらない。また高炭素鋼においては、低炭素鋼の場合と異なり、引張強さは層温の上昇に伴い比例的に低下し、その低下率は 100°C 当たり約 5 kg/mm² 程度であり、絞り値においても層温上昇にしたが

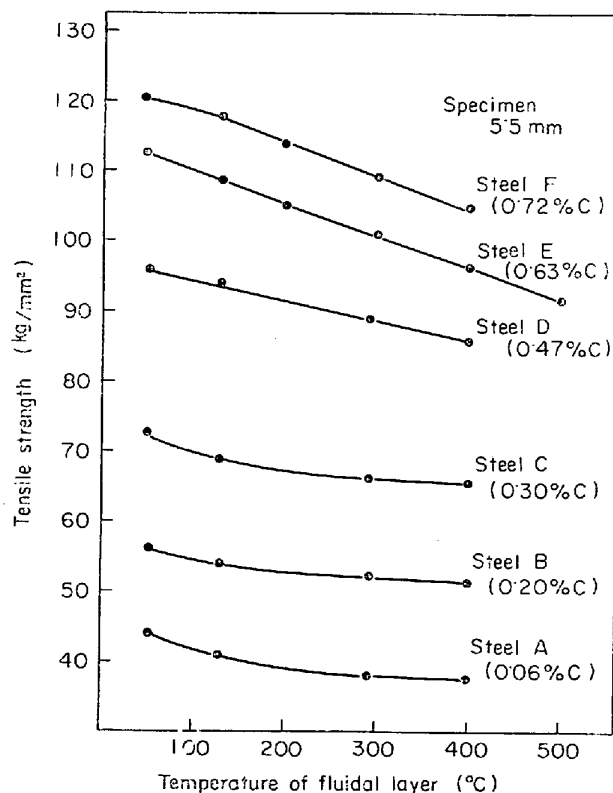


Fig. 4. Effect of temperature of fluidal layer on tensile strength of various carbon steel wire rod.

い引張強さの傾向と同様比例的に低下し、その率 2% 程度である。

さらにまた Fig. 6 に JIS SWRH62A について流動層の温度と引張強さの関係を測定点を増してプロットした。プロットはそれぞれの処理条件における 5.5 mm ϕ 1 束、400 kg の線材コイルを圧延の際の先端部 (Top) をも含め後端 (Bottom) までの 18 カ所を 1 巻当たり 8 本の引張試験結果の総平均値で表わし、処理線材コイル総数 80 束にて描いた。

4.1.2 線材の流動層処理による線径の影響

処理する線材はその線径が大きくなるとそのため線材の内部まで均一な状態でパーライト変態が終了するかが問題となってくる。ここで流動層による熱処理においても同様なことが懸念されるので、SWRH62A (Steel

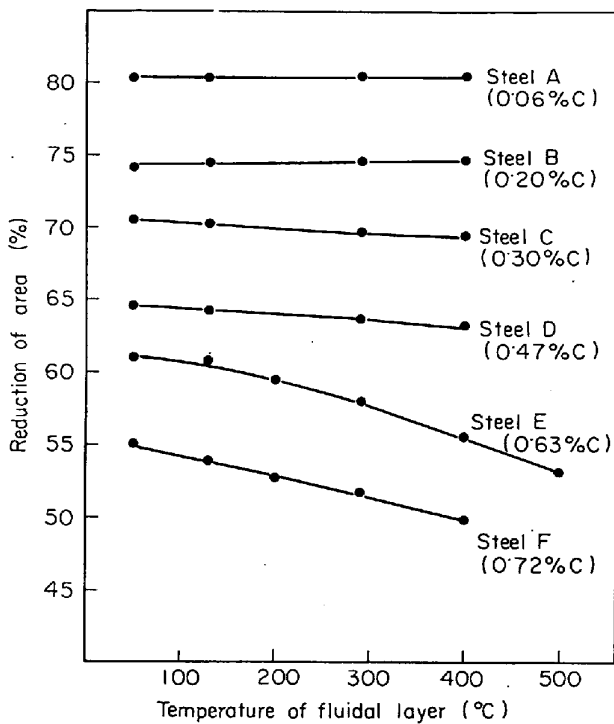


Fig. 5. Effect of temperature of fluidal layer on reduction of area of various carbon steel wire rod.

E) において実験室的に線径 25 mm φ まで調査を行ない十分対処できることをつかんだが、装置面を考慮して検討した結果、強度、組織的にも線径 13 mm φ まで問題なく均一に処理できることを確認した。このことは前述の冷却曲線からの冷却能のすぐれていることから可能であると推察できる。Fig. 7 に実験的に流動層冷却による引張強さにおよぼす線径の影響として、SWRH62A (Steel E) の線径を一般的に使用されている 13 mm φ までの線材について調べた結果を示した。処理条件は流動層温度を 250°C および 450°C に選んだ。すなわち鉛パテティングなみの強度および空気パテティングなみの強度に合せた。この結果から線径が大になることの軟化係数は 1 mm 当たりほぼ 1.5~1.7 kg/mm² と推定される。

4.1.3 線材の流動層投入温度の影響

流動層の温度により処理後の線材の強度をコントロールできうることを前項でのべてきたが、線材の流動層投入温度すなわち最終圧延機を出た線材は水冷帯を通過し冷却されコイル状に巻取つて流動層に落下するが、そのときの線材の温度は処理後の品質に大きく影響すると考えられる。一例として SWRH62A (Steel E) を用い、流動層温度を 350°C として流動層投入線材温度のみを変化させて処理した結果について述べると、Fig. 8 に示

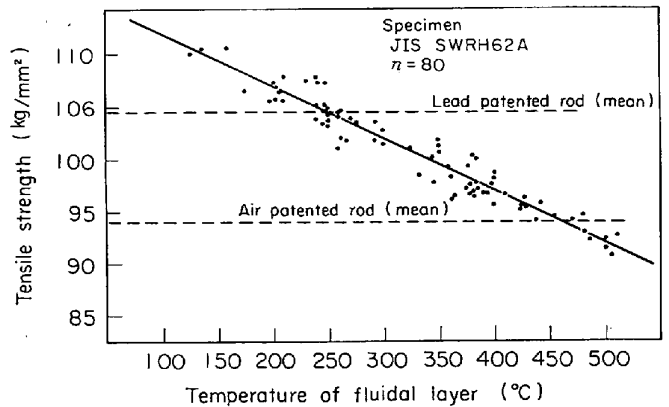


Fig. 6. Relation between temperature of fluidal layer and tensile strength of 0.6% carbon steel wire rod.

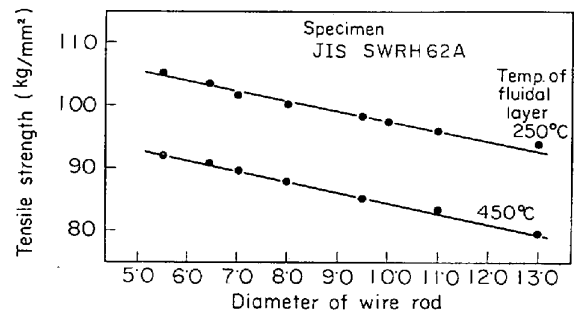


Fig. 7. Effect of diameter of wire rod on tensile strength of 0.6% carbon steel wire rod treated in the fluidized bed.

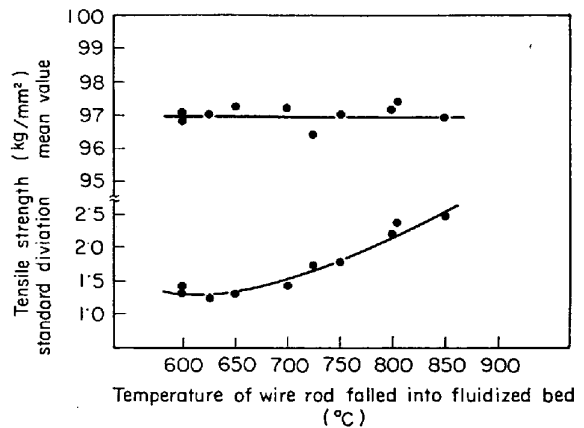


Fig. 8. Effect of temperature of wire rod into fluidized bed on the distribution of the tensile strength along the length of a coil.

すように、平均引張強さの投入温度の差による変化はほとんど認められずほぼ一定していることが判明した。しかしながら投入温度が高いほど 1 巻ごとの引張強さのバラツキあるいは 1 束全体のバラツキが大きくなる。すなわち偏差を求めると投入温度 600°C で 1.3 kg/mm² 程度、700°C で 1.7 kg/mm² 程度、800°C で 2.3 kg/mm²

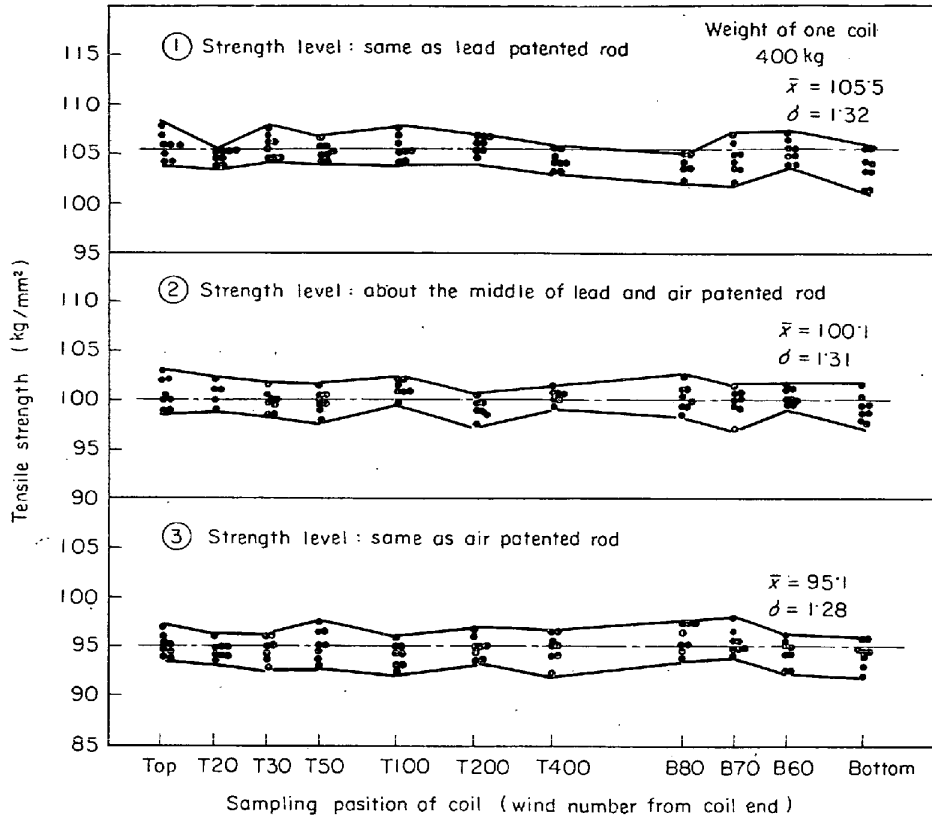


Fig. 9. Distribution of tensile strength along the length of a coil, carbon steel wire rod (Steel E) treated in the fluidized bed.

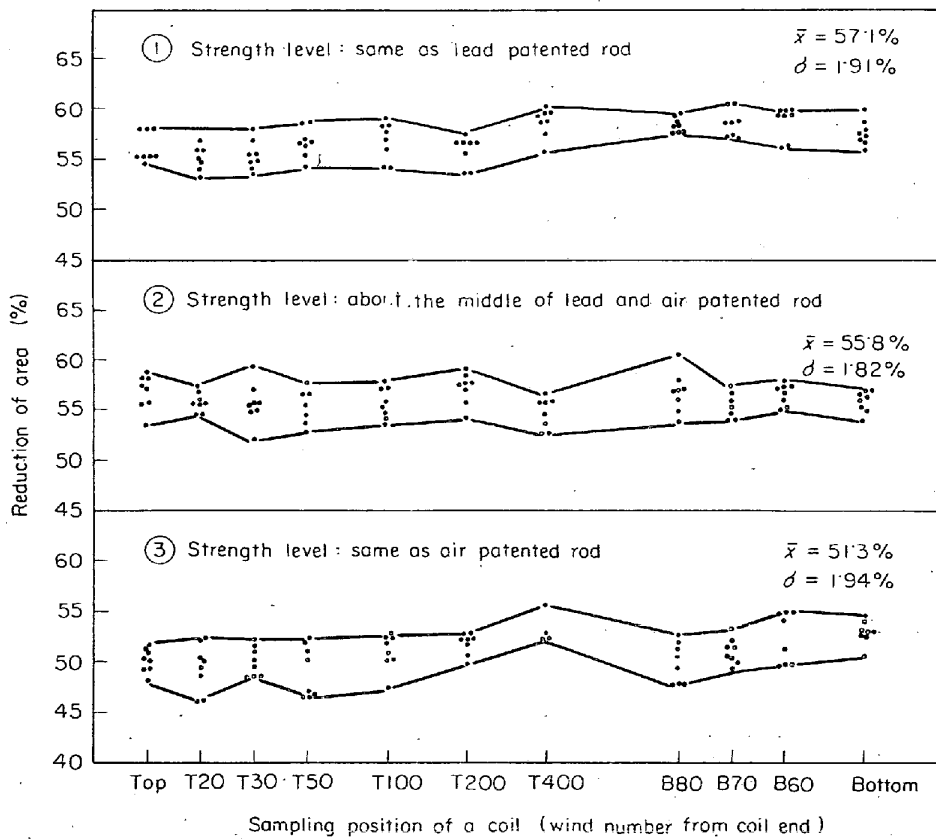


Fig. 10. Distribution of reduction of area along the length of a coil, carbon steel wire rod (Steel E) treated in the fluidized bed.

程度と順次大きくなっていることが認められる。

このように適正な流動層投入温度は低いほどよいと考えられる。これは熱間圧延によつて、機械的に変形されたオーステナイト結晶粒が水冷によつて成長が抑制されながら再結晶するため、したがつて流動層投入温度の低いいわゆる水冷のよきいたものは組織が小さく、そのためパーライト変態が早く起こり、かつ短時間に終了するので、処理後の引張強さのバラツキが減少するものと推察される。ただここで流動層投入温度が低いほどよいといつても、水冷を強化させ過冷によるベーナイトあるいはマルテンサイトの生成はおのずから避けなければならないので、水冷にも限度があることは注意を要することである。

4.2 処理線材の特性

直接圧延熱処理の主目的である、一般に行なわれている圧延後のパテントングあるいは軟化処理などの熱処理を省略して、線引加工が行なえることに対して、処理線材の特性はコイル全長にわたつて均一でバラツキの少ないことなどが必要である。流動層による線材直接冷却では従来の単なる空気放冷や衝風冷却に比べより安定した特性が得られ、また流動層温度を変え一般の鉛パテントングあるいは軟化処理と同等の特性が得られることを確認した。以下に機械的性質、顕微鏡組織、表面スケールなどの特性を述べる。

4.2.1 機械的性質

(1) 高炭素鋼の機械的性質

Fig. 9~10 に硬鋼線材の代表例として SWRH62A (Steel E), 5.5 mm の処理後の1束コイル全長にわたる引張強さおよび絞り値の分布状態を示した。引張強さのレベルはこの流動層の特徴から鉛パテントング処理のみ空気パテントング処理のみおよび両者の中間的な強度の3種類を選んだ。いずれの強度レベルにおいても標準偏差が 1.3 kg/mm² とバラツキは非常に少なく安定している。また絞り値もいずれも 50% 程度以上とすぐれ、標準偏差も約 2.0% と安定していることがうかがわれる。さらにこれらからわかるように、コイル内の位置による機械的性質のかたよりはまったくみられず、コイル全長にわたつて均一である。

また Table 2 に SWRH62A の 5.5 mm φ 線材における流動層温度を3種類変えた流動層処理材と鉛および空気パテントング材、さらに通常圧延材の引張強さ、絞り値の比較を行なつた。流動層処理材のいずれも引張強さのコイル内変動および同一チャージ内の変動ともかなり小さくなり、また絞り値においても一般パテントング材よりもすぐれ変動も差が見られない。

(2) 低炭素鋼の機械的性質

Table 2 の硬鋼線材の特性にあわせて軟鋼線材の一例として Steel B (0.20%C) の 5.5 mm φ を流動層砂温を常温 125°C, 275°C の三条件に変え流動層処理したも

Table 2. Variation in the tensile properties of the direct patented 5.5 mm wire rod, air and lead patented rod and conventional hot rolled rod.

Specimen	Treatment	Tensile strength (kg/mm ²)			Reduction of area (%)		
		Mean	Standard deviation in a coil	Range in a heat	Mean	Standard deviation in a coil	Range in a heat
Steel E	Direct patented (I) (II) (III)	105	1.3	7	57	1.9	7
		100	1.3	8	56	1.9	7
		94	1.3	10	51	2.0	8
	Lead patented Air patented Conventional rolled	105	1.1	4	48	2.3	5
		94	1.2	6	44	2.3	5
78		3.5	17	40	3.3	11	
Steel B	Direct patented (VI) (V) (VII)	55.5	0.8	6	74	1.2	5
		53	0.8	6	75	1.1	5
		52	0.75	6	75	1.0	5
	Conventional rolled	49.5	1.8	14	74	1.8	10

* Standard deviation in a coil : n=80/coil.

** Treated temperature of fluidal layer ; I : 250°C
 I : 350°C
 II : 450°C
 IV : 30°C
 V : 125°C
 VI : 275°C

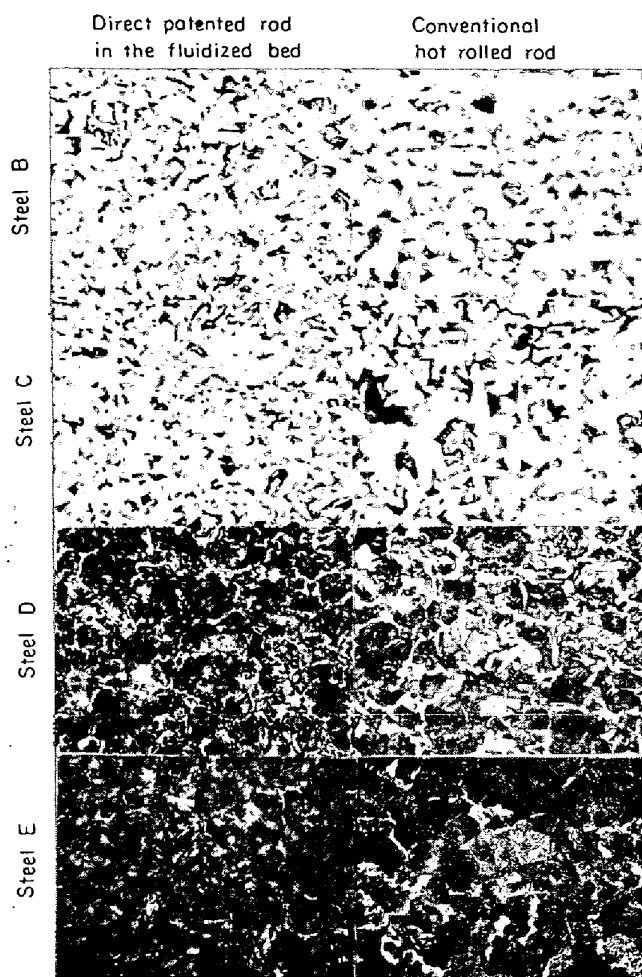


Photo. 2. Comparison of the microstructures of direct patented rod in the fluidized bed and conventional hot rolled rod. $\times 400(2/7)$

の、また通常圧延のもののコイル内の機械的性質の変動を示した。軟鋼線材の流動層処理材は前述したように流動層温度による特性の変化は少ない。引張強さのコイル内変動は標準偏差 $0.7 \sim 0.8 \text{ kg/mm}^2$ と小さく、さらに絞り値においては標準偏差 1% 程度であり、通常圧延材に比較してコイル全長にわたりかなり均一な機械的性質を示す。

4.2.2 内部組織

Photo. 2 に各炭素含有量の 5.5 mm 線材の流動層処理材と通常圧延材の光学顕微鏡による内部組織の比較を示した。流動層処理材は低炭素含有量側で明らかなようにフェライト粒度あるいはパーライト部分の大きさが通常圧延材に比し小さく均一に分散していることがわかる。また炭素含有量が高い側で明らかなように初析のフェライト量が通常圧延材より少なくなっていることがうかがわれる。また Photo. 3 に SWRH62A (Steel E), 5.5 mm ϕ の流動層処理材、空気パテント材および鉛

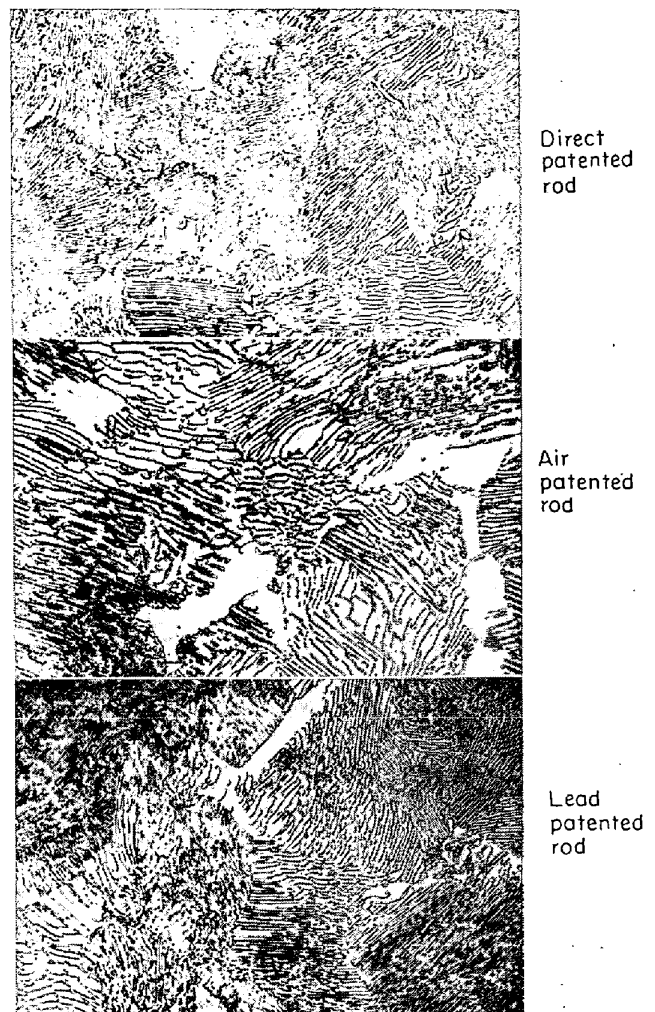


Photo. 3. Electron microstructures of carbon steel wire rod (Steel E) processed by the fluidized bed direct patenting air and lead patenting. $\times 5000(3/5)$

パテント材の内部組織について、カーボン蒸着による二段レプリカ法による電子顕微鏡組織を示した。流動層処理材は引張強さ 105 kg/mm^2 の組織で、初析フェライト量は空気パテント材よりかなり少なく、鉛パテント材程度であるが、その形状は鉛パテント材でよく見られる細長いものはあまりなく、小さいものが均一に分散している状態である。また流動層処理材のパーライトはそのラメラが同一方向性をもっている部分いわゆるコロニーサイズ (colony size) が空気パテント材、鉛パテント材より小さいことがわかり、さらにラメラ間隔は空気パテント材より明らかに短く、鉛パテント材程度もしくはそれより短いようである。

このことは 4.1.3 項でも若干ふれたが、流動層処理線材は熱間圧延されたのち水冷帯および流動層によつて急速に冷却されるため、オーステナイト結晶粒度は冷却の

Table 3. Amount and thickness of scale of the direct patented rod compared with conventional hot rolled rod.

Specimen	Direat patented rod in the fluidized bed					Conventional hot rolled rod				
	Amount of scale (wt %)	Thickness of scale (μ)				Amount of scale (wt%)	Thickness of scale (μ)			
		FeO	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	total		FeO	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	total
Steel A	0.24~0.26	5~7	1~2	0	6~8	0.53~0.89	9~15	2~4	0~1	12~20
Steel C	0.18~0.26	7~8	1~2	0	7~9	0.55~1.50	16~18	2~4	0~1	20~23
Steel D	0.20~0.25	8~10	1~2	0	9~11	0.50~0.95	15~17	3~6	0~1	19~22
Steel E	0.18~0.30	5~7	1~2	0	6~8	0.45~0.75	13~17	3~5	0~1	17~21

過程での成長を抑制されそれに加えてパーライト変態が低温側に移動し、ラメラ間隔が短くなると考えられるため、空気パテンティングおよび鉛パテンティングの場合のように再加熱する際と様相を異にするので、コロニーサイズは小さく初析フェライトが少なくまたラメラ間隔も短いものと推察する。

4.2.3 線材表面のスケールと酸洗い特性

本処理材の特徴から、熱間圧延後の線材はただちに水冷帯を通り流動層に投入されるので、線材表面が高温の状態である中にさらされスケールが発生する時間が通常の圧延線材に比べて短いためスケール量は少なくなる。

Table 3 に流動層処理線材と通常圧延線材のスケール量、厚みについて調べた結果を示す。試験材は Table 2 に示した組成の 5.5 mm ϕ 線材を選び、スケール量測定は 1 コイル当たり 20 本、長さ 150 mm のカットサンプルを用いスケール除去前後の重量を測り算出した。スケールの組成および厚さ測定は線材横断面を研磨後 2% 硝酸アルコールで軽く腐食して 1000 倍の光学顕微鏡観察を行なった。

これらの結果、流動層処理材は通常圧延材に比しスケール量は 1/3 以下と非常に少なく、その組成もうすいヴ

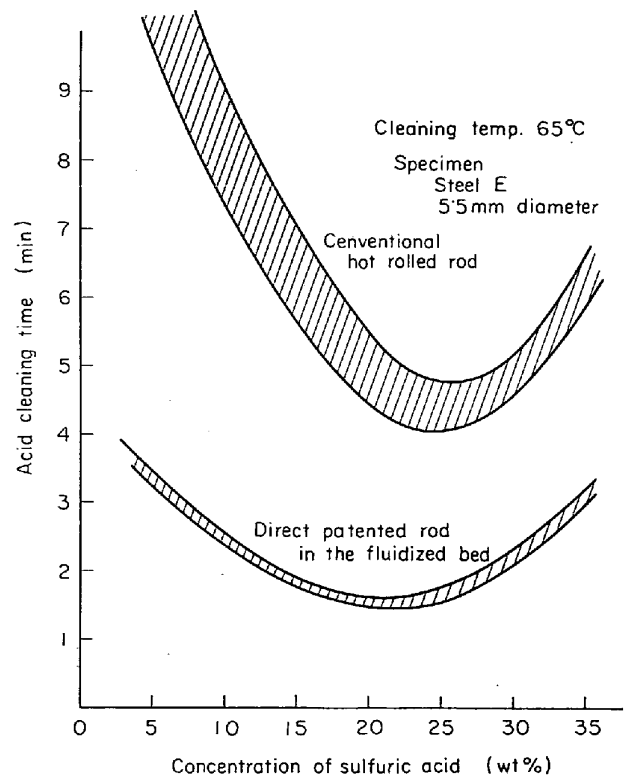


Fig. 12. Relation between concentration of sulfuric acid and acid cleaning time required for the descaling of direct patented rod in the fluidized bed as compared with conventional hot rolled rod.

イスタイト (FeO) 層と若干のマグネタイト (Fe₃O₄) 層からなり、ヘマタイト (Fe₂O₃) は全く発生していないことが明らかにされた。

このことは伸線加工などを行なう前の酸洗い工程で非常に有利となることが想像される。すなわちスケール組成において通常圧延材に比べ酸に難溶性であるマグネタイト (Fe₃O₄) が非常にうすく、酸に溶けやすいヴィスタイト (FeO) が大部分でかつうすいので、酸洗いでの脱スケールがかなり改善されることになる。

Fig. 11 および Fig. 12 に一般に行なわれている酸洗いわゆる塩酸および硫酸での酸洗いによる脱スケール

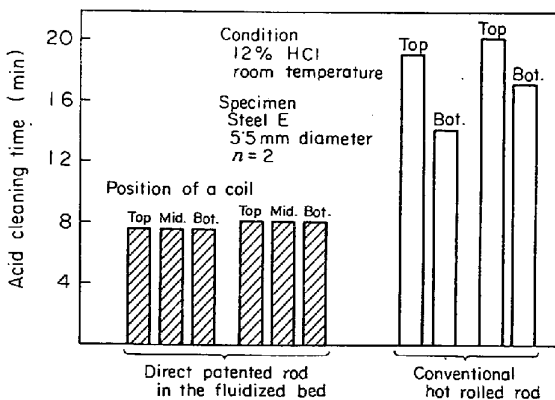


Fig. 11. Acid cleaning time required for the descaling of direct patented rod in the fluidized bed as with conventional hot rolled rod.

時間について SWRH62A (Steel E) にて流動層処理材と通常圧延材との比較を示した。12%塩酸による常温酸洗時間は、流動層処理材は通常圧延材の1/2以下である。また硫酸の場合は酸の温度 65°C にして酸濃度を変えてみると、通常圧延材では最適酸濃度が 25% で脱スケール時間が 4~5 min かかるのに対して、流動層処理材は最適酸濃度が低濃度側に移行して 20% 程度で、さらに脱スケール時間も 1.5 min 程度となつている。

このように本処理材は酸洗所要時間を 1/2~1/3 に減少させることができ、それによつて酸洗液の消費量を低減させいわゆる酸洗のコスト低減を計りうる事ができる。またこのことは換言すれば処理能力の向上にもつながるといえる。

4.3 処理線材の伸線性および鋼線の加工性と機械的性質

本処理線材の目的であり、かつ最大の利点は、線材を一般に行なわれているパテンティングなどの熱処理を省略してそのまま伸線できることである。そこでこれらの処理線材を低炭素鋼系と高炭素鋼系にわけ、さらにステンレス鋼をつけ加えて、以下に伸線性および伸線後の鋼線の加工性と機械的性質について調査した結果をのべる。

4.3.1 高炭素鋼線材について

(1) 伸線性

Steel E, 5.5 mm φ を流動層の砂温を変えて、線材での引張強さを空気パテンティングのみ、鉛パテンティングのみ、空気パテンティングと鉛パテンティングの中間および鉛パテンティングよりもさらに高いレベルの4種類各 20 束を作り、空気パテンティング材と鉛パテンティング材を比較材として、また参考として通常圧延のままのものも付け加えた。伸線はシングルデッキ型の連続伸線機を用いて伸線限界を調査した。なおそのダイスケジュールは、

5.5→4.5→4.0→3.5→3.0→2.57→2.25→1.97→:

伸線速度 250m/min (1.97 mm φ)

→1.7→1.48→1.34→1.2→1.1→1.0→0.9:

伸線速度 400m/min (0.9 mm φ)

で行なつた。

伸線実験の結果、流動層処理材、空気パテンティング材のいずれも 1.2 mm φ ないし 1.1 mm φ の総減面率 95% 程度までまづたく断線することなく伸線できた。なお通常圧延のままの線材では 3.0 mm ないし 2.57 mm φ で断線してしまいそれ以上は無理であつた。

ここで流動層処理材が 1.1 mm φ まで伸線できたが、伸線後の鋼線の特性が劣化しておれば問題となるので、

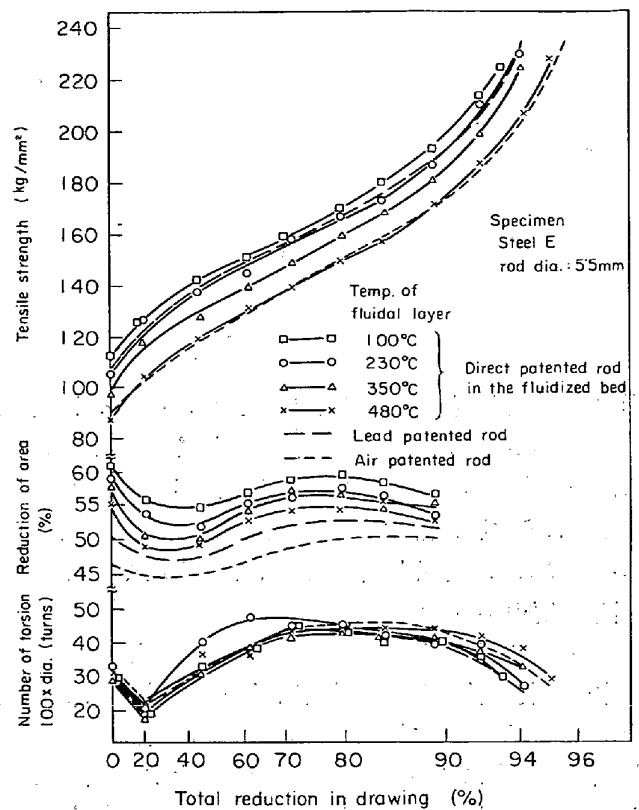


Fig. 13. Mechanical properties of wire drawing processed by direct patenting in the fluidized bed comparing with air and lead patenting (Steel E).

確認するために 5.5 mm φ からの各線径のものを採取し機械的性質を調査した。その結果を Fig. 13 に示す。流動層処理材で引張強さが鉛パテンティングなみのものは総減面率 94% の 1.34 mm φ まで捻回値の低下ほとんどなくまたキンクさせても折損もしくは割れの発生はまったくなく、鉛パテンティング材と同等の伸線性を有している。また引張強さが空気パテンティングなみのものは総減面率 96% の 1.1 mm φ まで特性の劣化なく空気パテンティング材と同等であり、さらに引張強さが鉛、空気パテンティングの中間のものは総減面においても 95% の 1.2 mm φ と前二者の中間に位している。したがつて以上のことから流動層処理材の伸線性については鉛パテンティング材および空気パテンティング材と同等のレベルであることがわかる。

(2) 伸線後の鋼線の特性

流動層処理材はコイル内の機械的性質の変動も少なく均一で、そのまま伸線しても問題ない。一般の用途でその後さらにパテンティング→伸線工程あるいはオイルテンパー処理などの工程が入らず、その状態で製品となるものもかなり多い。そこで鋼線の特性とその変動が最終製品の品質に影響するので Table 4 に Steel E および、

Table 4. Mechanical properties of 2.5 mm wire after drawing processed by direct patenting in the fluidized bed and air and lead patenting.

(5.5 mm Rod → drawing → 2.5 mm)

Specimen	Treatment of rod	Tensile strength (kg/mm ²)		Reduction of area (%)		Number of torsion 100×dia. (turns)	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Steel E	Direct patented*	171	1.3	61	2.0	42	3.0
	Lead patented	170	1.1	56	2.1	42	3.0
	Air patented	158	1.3	52	1.9	40	3.1
Steel F	Direct patented*	183	1.3	60	2.1	40	2.8
	Lead patented	181	1.2	57	2.1	40	3.0
	Air patented	172	1.4	53	2.3	40	3.0

* Treated temperature of fluidal layer : 250°C

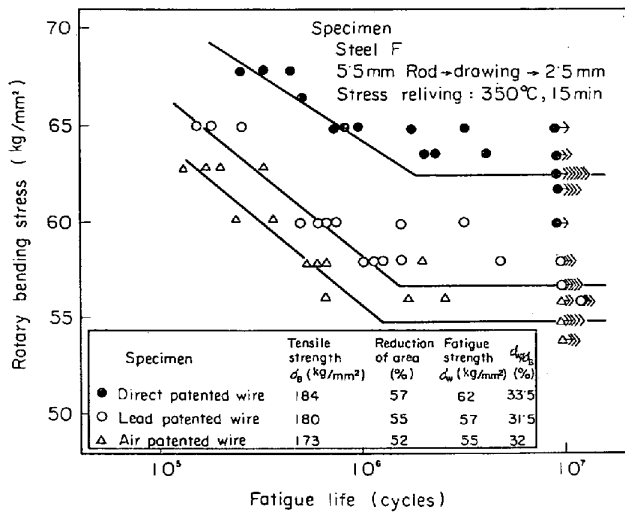


Fig. 14. Fatigue characteristics in the rotary beam test of hard drawn wire (Steel F) processed by direct patenting in the fluidized bed as compared with processed by air and lead patenting.

Steel F の鋼線の機械的特性について調査した結果を示すが、とくに絞りについて流動層処理線材は鉛パテティング材および空気パテティング材のいずれより高くすぐれており、諸特性のパラッキも鉛パテティング材と同等であり、鋼線でも十分均一性が保たれている。

さらにまた鋼線の疲労特性を調べるため、Steel F の 2.5 mm φ 流動層処理鋼線について低温焼鈍 (350°C × 15 min) を施して、ヘイ・ロバートソン式鋼線回転曲げ疲労試験機にて S-N 曲線を求めた。Fig. 14 にその結果を示すとおり、疲労限度は流動層処理材が最も高く、鉛パテティング材、空気パテティング材の順で、疲労限度の引張強さに対する比も本処理材がすぐれている。

4.3.2 コールドヘッダー用低・中炭素鋼線材について
ボルトやネジなどに主として用いられる低・中炭素鋼線材においても、この流動層処理を施した場合、あとの製品あるいは製造工程にどのような寄与するかをも調べたので以下に報告する。

(1) 伸線性および加工性

まず伸線性について Steel A, B, C および D の炭素量 0.06~0.47% の 5.5 mm φ 処理線材をそれぞれ総減面率約 90% まで伸線した結果、通常圧延材あるいはそれ以上のすぐれた伸線性を有し、とくに伸線後の絞りにおいて非常に安定し高い値を示すことが認められた。

つぎに本処理材のコールドヘッディング性を調査するために 5.5 mm φ ロッドを長さ(高さ) 8.25 mm に切断してプレスで圧縮試験を行ない、加工割れ発生の有無を調査した。これらの結果を Fig. 15 に示したが、Steel A, B, C および D のいずれも流動層処理材は通常圧延材に比べて割れ発生限界が高加工率側に移行し、割れの発生推移も概してゆるやかである。このことは流動層処理により組織が微細で均一なためと考えられる。このようにボルトやネジ類を加工するに当って球状化処理などの中間熱処理を省略することができる。

ここで実際にヘッディングマシンで Steel A, B, C および D の各流動層処理線材を M6, M4 のプラスネジを製作した結果、通常圧延材は炭素量 0.06%, 0.20% の M4 ですでに成形が困難であるが、それに対して流動層処理材は炭素量 0.30% でも十分成形性があり、その後の頭飛び試験でもまったく頭飛びが起こらずすぐれた加工性を有していることが認められた。

(2) 球状化特性

前述のようにボルトやネジ類への加工に対して、流動層処理材は球状化処理することなくコールドヘッダーで

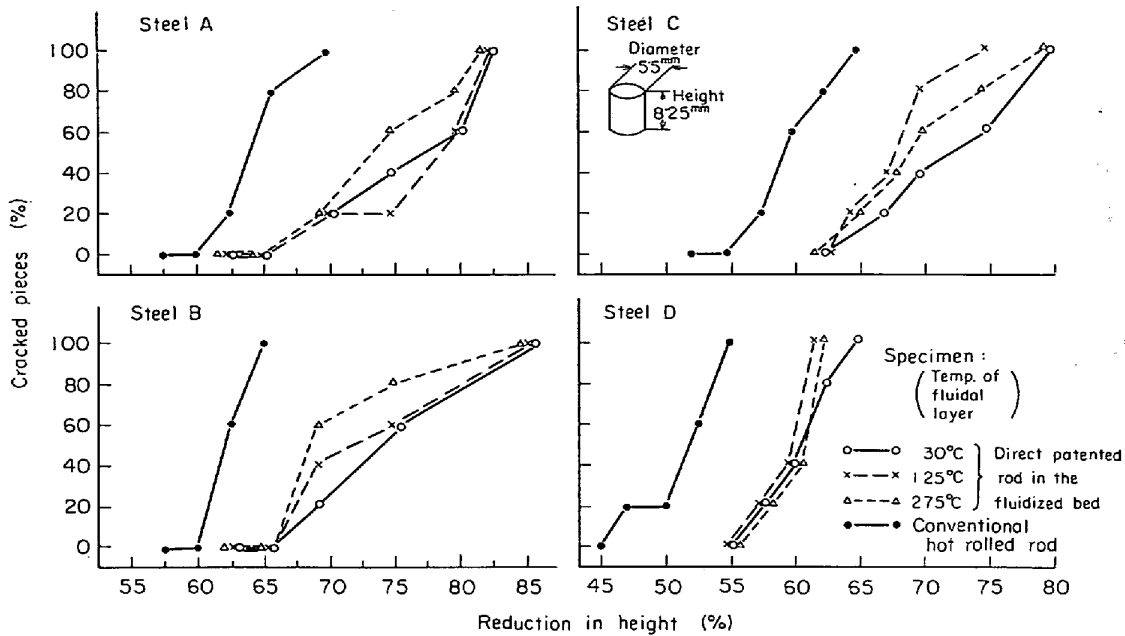


Fig. 15. Cold headability of wire rod processed by direct patenting in the fluidized bed compared with conventional hot rolled rod.

Table 5. Mechanical properties of stainless steel (SUS 27 WR) 5.5 mm wire rod processed by direct patenting in the fluidized bed compared with conventional hot rolling and water toughening.

Treatment of rod	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Reduction of area (%)	Elongation GL=200 (%)
Direct patented rod (Temp. of layer : 30°C)	30	65	71	45
Conventional hot rolled rod	43	69	69	37
Water toughening (1050°C, 5 min WQ)	26	59	74	57

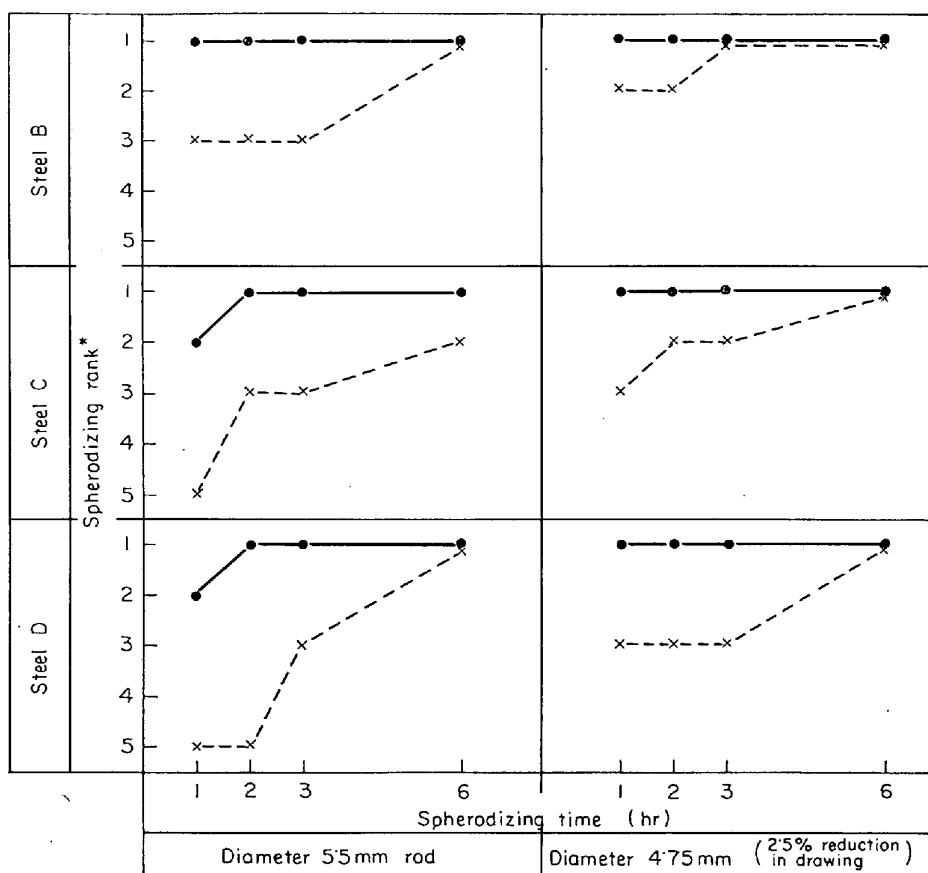
きすぐれていることを示したが、製品によつては球状化処理を必要とする場合があるので、その球状化特性を調査した。試験は Steel B (0.20% C), Steel C (0.30% C) および Steel D (0.47% C) の流動層処理と通常圧延の 5.5 mm φ 線材、さらに 25% 減面率の 4.75 mm φ 伸線材について、加熱温度を 720°C に設定して、処理時間 1, 2, 3, 6hr の球状化処理を施し球状化程度を観察した。Fig. 16 にその球状化処理による球状化程度の推移を示したが、ここで球状化程度は日本ねじ工業協会ネジ用線規格 (FIJ-FW 1963) の標準組織に準じて標準番号を決め図示した。この結果から流動層処理材はいずれの鋼とも処理時間は 1~2hr ですすでにほとんど完全な球状化処理が達成されており、通常圧延材の処理所要時間 6 hr に対して明らかに処理時間の短縮を計れることを意味している。

また Steel B および D の流動層処理材と通常圧延材を 720°C, 3hr 一定の球状化処理を施しその球状化程度を比較した。これにおいても流動層処理材は通常圧延材に比しその球状化程度のすぐれていること、さらに球状セメントタイトの分散度がよく、球状粒の大きさも総じて小さいことが認められた。

したがって流動層処理材の球状化処理は、その処理時間を大幅に短縮することができ生産性の向上につながるという利点を有し、それに加えて球状セメントタイトの大きさ、分散度からみて、その後の加工性あるいは特性的にすぐれたものが得られることを示している。

4.3.3 ステンレス鋼線材について

いままで流動層による直接熱処理が炭素鋼線材の特性に非常に有効であることを述べてきたが、ここでさらにステンレス鋼線材にもこの流動層処理を施して、伸線性



●—● Direct patented rod in the fluidized ×---× Conventional hot rolled rod
 Spherodizing temp. : 720°C
 * Spherodizing rank is based upon standard of fastener wire in The Fastener Institute of Japan.

Fig. 16. Spherodizing characteristics of wire for fastener processed by direct patenting in the fluidized bed compared with conventional hot rolled rod.

を調べ、一般に行なわれている水靱処理の省略ができるか否かを検討した。

供試材料は主にばねや金網などに使用されている SUS304 の 5.5 mm φ 線材で行なうこととし、処理は最終圧延スタンドを通過後水冷を行わず、常温の流動層に投入した。Table 5 に 5.5 mm φ の流動層処理材、通常圧延材および通常圧延後 1050°C 5 min 加熱の水靱処理を施したものの機械的性質を示した。この結果から流動層処理材は引張強さ、降伏点ともに通常圧延材より低くなっているが、水靱処理材よりも高い。また伸び、絞りにおいても通常圧延材と水靱処理の中間に位置している。なお顕微鏡組織において流動層処理材は水靱処理を施したもののように溶体化していないようである。

しかしながらこの流動層処理材 5.5 mm φ を連続伸線機にて 0.8 mm までまったく問題なく伸線できた。これは水靱処理とほぼ同等の伸線性を有しているといえ、流動層処理により水靱処理の省略が期待できる。以上ステ

ンレス鋼についても伸線性の良好なことがつかめた。さらにそのほかの諸特性についても研究を進めているがその結果は次の機会にゆずりたい。

5. 結果のまとめおよび考察

熱間圧延後の炭素鋼線材およびステンレス鋼線材をただちに一連の流動層装置により調整冷却する直接圧延熱処理について述べてきたが、この結果についてまとめると、

(1) 固体流動層粒子を適当に選択した流動層に熱間圧延線材をループ状に投入して、コイル全長にわたって均一な機械的性質を得ることができた。

(2) 流動層の温度を常温から上昇させるにしたがい線材の強度は逆に低下する。すなわち流動層設定温度を換えることにより、線材の強度を任意に選択できる。

(3) この際、線材内部組織は成分的に焼入性の大きな成分を含むものを除いて、流動層温度が常温より 500 °C まで変えてもマルテンサイトあるいはベイナイトを

現出することなく変態を終了しており、炭素含有量の多い線材でも 200°C 以上は問題ない。またフェライト粒あるいはパーライト粒は通常圧延材に比べて小さく、また均一性がましている。硬鋼線材で見ると鉛あるいは空気パテント処理のものに比べて、当処理材は初析フェライトの大きさは小さく、その量も鉛パテント処理のものよりも少なくすることができる。またパーライトのコロニーサイズが小さくラメラ間隔も短くなっている。

(4) 当処理材は熱間圧延後ただちに冷却し流動層に入るためスケール発生量が少なく、またその組成もウィスタイト (FeO) が主である。したがって脱スケール性にすぐれ酸洗時間の短縮、酸洗液の節減に有効である。

(5) 処理線材の伸線性もパテント処理などの一般熱処理材と同等の特性を有し、その後の鋼線の特性もすぐれているので、一般に行なわれている鉛あるいは空気パテント処理などの 1 次熱処理を省略することができ、さらに伸線後そのまま製品として使用するものにもそのまま適用できるものと考えられる。

(6) またコールドヘッダー用材など球状化処理を必要とするものでも、その球状化特性にすぐれ製品の性質向上あるいは球片化処理時間の短縮が期待できる。

(7) さらにステンレス鋼においても水靱処理を省略して伸線できることを見出した。

などの非常に有効な結果を得た。

なお今回は硬鋼線およびコールドヘッダー用線材を主にして、ステンレス鋼についても若干記したが、この直接圧延熱処理の適用範囲はこれらに限らずさらに低合金鋼などにおいても応用研究を続けているので、その結果は次の機会にゆずりたい。

文 献

- 1) D. W. McLEAN: Wire and Wire Products, 39 (1964) 10, p. 1606~1609
- 2) A. B. DOVE: Wire and Wire Products, 39 (1964) 10, p. 1610~1615
- 3) J. H. HITCHCOCK: Wire and Wire Products, 39(1964) 10, p. 1622~
- 4) D. W. MELEEN: U. S. Pat. 3, 231, 432 "Process for the quenching of hot rolled rods in direct sequence with rod mill"
- 5) B. HOFFMAN: Wire Journal, (1970), p. 67~70
- 6) W. J. AMMERLING: Iron Steel Eng., (1970), p. 99~107
- 7) B. HOFFMAN: ドイツ Pat. Sch 38955 and Sch 39742
- 8) D. FUNKE and H. BÖCHENHOFF, et al.: Stahl u. Eisen, 87(1967) 7, p. 293~318

- 9) L. WEGMAN ら: ドイツ Pat. 1240541, "Verfahren und Varrichtung zum Luftpatentieren unmittelbar aus dem Walzwerk kommender Stahldrähte" その他 U. S. Pat. 3, 367, 036・3, 367, 037 など
- 10) 小杉, ほか: 住友電気 (1969) No 100, p. 102~108
- 11) 小杉: 日本特許, 公告昭46—19775 "熱間圧延材の熱処理装置"
- 12) 山腰: 日本特許, 公告昭 46—6691 "流動層による熱間圧延鋼線材の冷却方法"
- 13) 水内ら: 日本特許, 公告昭 46—18842 "熱間圧延線材の処理設備"
- 14) 国井: 化学と工業, 17(1963) 10, p. 111~
- 15) 白井, ほか: 化学工場, 5(1961) 4, p. 10~
- 16) ASBECK: Stahl u. Eisen, 57(1937), p. 1189~1249
- 17) D. LEWIS: Wire and Wire Products, 32(1957) 10, p. 1179~
- 18) W. GEILZ: Stahl u. Eisen, 88(1968), p. 14~21
- 19) P. J. PREDIGEN: Wire and Wire Products, 42 (1968), p. 43~
- 20) K. SACHS, et al.: Wire Industry, (1959) 12, p. 1197~1202
- 21) K. SACHS, et al.: Wire Industry, (1960) 1, p. 71~76
- 22) E. L. KNAPP: Wire and Wire Products, 31 (1956) 8, p. 873~877
- 23) H. I. AARANSON: AIME, (1962), p. 387
- 24) J. W. CAHN and W. C. HAGEL: AIME, (1962), p. 131
- 25) 田村: 日刊工業新聞社 "鉄鋼材料強度学" (1969)
- 26) 日本金属学会: "金属材料の強度と破壊" 丸善 (1964)

討 論

【質問】1 直接冷却装置で仕上げ圧延スタンドを出た線材は水冷帯(A)で pre-cooling をしなくても、処理は可能か、また pre-cooling 後の線の温度は非常にシビアに調整しなければならないか。

住友電気工業(株) 上瀬 忠興

【回答】炭素鋼線材においては pre-cooling をしないで流動層処理を行なったものは本論文 4.1.3 に記したように、流動層に投入される線材温度が高いため処理線材の機械的性質のパラッキは大となるため好ましくない状態である。なおステンレス鋼線材では pre-cooling なしで処理している。

【質問】2 流動層の温度管理についてはどのようにしているか。

①圧延スタートの時期 ②定常操業時期
新日本製鉄(株) 上滝 洋明

【回答】①圧延のスタート時期においては、圧延スケジュールを考慮して流動層温度を常温で処理する低炭素鋼線材から開始して種々の鋼種に適した流動層温度を設定している。

②定常においては流動層中に設置されている温度計の計測より層上部に設置している流動砂冷却装置とそれに連なる循環系統に指示を与え流動砂の循環による調整を行なっている。これにより十分温度調整はできる。

【質問】3 ジルコン砂は半永久的に使用可能か

新日本製鉄(株)本社鳥取友治郎

【回答】ジルコン砂は半永久的に使用可能であり、1967年11月設置以来現在までまったく取替えは行なっていない。そして現在でもその冷却能その他の劣化あるいはトラブルは皆無である。

【質問】4 流動層処理線材の組織について、横断面組織の均一性について鉛パテンティング材および空気パテンティング材と比較して当材の特徴はないか。

新日本製鉄(株)釜石 小椋 学

【回答】高炭素鋼線材を例にとると組織は流動層処理材は本論文4.2.2で述べたように鉛および空気パテンティング材に比べて微細な組織を示している。すなわちパーライトコロニーが概して小さいこと、また遊離のフェライトが少ないことである。

また流動層処理によるパーライトのラメラは鉛あるいは空気パテンティングにおけるラメラ間隔の大なところが多くあるのに対して、概してラメラ間隔の小さなものが多く均一性が増していると思われる。

さらに処理線径が大となると冷却速度が線材の内部と表面で差異を生じるが、流動層冷却材は線材直径14mmφまでのテストでは鉛パテンティング材の場合とほとんど線材の内部表面の差異は変わらなくすぐれている。

【質問】流動層冷却の適用サイズと諸機械的性質について

新日本製鉄(株)光 井上 哲

【回答】実験室的には線材直径25mmφまで実施したが、量産レベルにおいては現在諸設備の関係から5.5mmφ~8mmφまで実施できる。

線材直径と諸機械的性質は本論文4.1.2項を参照願う。

【質問】6 本調査における比較としての鉛パテンティング処理材の鉛浴の攪拌はされているか。

帝国産業(株) 西岡多三郎

【回答】実験用鉛パテンティング設備を利用したが鉛

浴の攪拌は行なっていない。

【質問】7 流動層による処理法は鉛パテンティングに比しよい結果を得ているが、それは冷却能がすぐれているというが、鉛パテンティングも十分にコントロールすればすぐれた冷却法が得られるのではないか。

東京工業大学 中村 正久

【回答】流動層による処理材は流動層の温度により本論文2章にも記したように一般の鉛パテンティングの冷却速度と同等あるいはそれ以上の効果をもつことがわかったが、ご質問のように鉛パテンティングでも十分コントロールすればすぐれた冷却を得られると考える。

【質問】8 流動層処理材と鉛パテンティング材で同一値の引張強さでも絞り値は流動層処理材がよい。

その理由として、パーライトラメラの均一性をあげているが同一引張強さもラメラ間隔で左右されると考えられるが、同一引張強さを得るには同一ラメラでなければならぬということはないのか。

泉商事 佐藤 秀二

【回答】流動層処理材のパーライトラメラの均一性は質問4にも記したようにパーライトコロニーサイズが概して小さいこと、またラメラ間隔もそろっているようである。またオーステナイト結晶粒も微細である。

このことが流動層処理の絞り値に有効にきいているものと推察する。

引張強さにおいては、ラメラ間隔に依存することはFISHERらの研究で示されている。したがってわれわれも同一ラメラ間隔であれば同一引張強さが得られるものと考えられる。しかしながらラメラ間隔の大小の均一性に対して引張試験による平均的な強度特性にどのような効果をおよぼすかはむずかしい問題であり、今後の研究が必要と思う。

【質問】9 伸線限界の判定方法はどのようにしているか。

鈴木金属工業(株) 寺岡 信宏

【回答】伸線限界の判定法は

{ 伸線後の捻回試験における破面状況の観察
" のキンクテストによる折損の有無
伸線時の断線

で行なつた。