

## 論 文

UDC 621.785.47.084.063.1 : 669.14-122.4-426

## 沸騰水を利用した高炭素鋼線材の直接パテニング処理法\*

武尾敬之助\*\*・前田 閑一\*\*・上瀬 忠興\*\*  
 岩田 齊\*\*・里見 祥明\*\*・中田 秀一\*\*

## The Direct Patenting of High Carbon Steel Wire Rod by Film Boiling

Keinosuke TAKEO, Kanichi MAEDA, Tadaoki KAMISE,

Hitoshi IWATA, Yoshiaki SATOMI, and Hidekazu NAKATA

## Synopsis:

A new direct patenting method characterized in coiling hot rolled wire rods in a aqueous solution bath held at its boiling temperature has been developed. The unique idea originated from the discovery of the fact that the cooling rate of wire rod during a film boiling stage when quenching in hot water is comparable to that of conventional patenting.

The remarkable features are as follows:

- 1) The apparatus is so compact as it can be set up in an existing rod rolling mill without any trouble.
- 2) The operation is very simple and the running cost is quite small.
- 3) The cooling ability is so high as the tensile strength level of the wire rod processed by the present method is between that by lead-patenting and that by air-patenting, and large diameter rods up to 14  $\frac{1}{2}$  mm are available.
- 4) The variation in the mechanical properties is sufficiently small as for general purposes except for high grade applications.

(Received March 25, 1974)

## 1. 緒 言

プレストレストコンクリート用鋼線、ばね用鋼線、ワイヤロープ、タイヤコードなどに使用されているピアノ線や硬鋼線の素材である高炭素鋼線材は、熱間圧延後パテニング処理を行なったのち酸洗などの表面処理を経て、伸線される。この線材は、表面欠陥のないことと共に、優れた機械的性質やその後の冷間加工性およびこれらの性質の均一性が要求される。また一方では、表面処理における脱スケール性のよいことも大切な性能の1つである。

従来の熱間圧延では最終の仕上圧延機を出た線材は高温でコイル状に捲取られた後、そのままの形で冷却されるので、冷却速度が遅く、従つてスケールが厚く生成するほか、炭素量に対応して析出する初析フェライトが、比較的少量にかつ、粗粒になり、パーライトのラメラ間隔の大きい粗大パーライト組織となる。このような組織のものでは、強度も低く、以後の伸線性も悪いので、

再加熱しパテニング処理を施している。この処理を熱間圧延に引続いて実施する考え、すなわち、直接パテニングは、工程省略の点でその経済的効果が大きいことから、前世紀の末頃から種々の方法<sup>1)</sup>が考案され実施されてきた。10年程前までは得られた線材は通常のパテニングしたものに匹敵するものではなく、加工度の少ないものや中間サイズまでの下引伸線が行なえる程度であった。例えば0.6%炭素鋼の5.5mm $\phi$ 線材では2.3mm $\phi$ まで(加工度83%)は伸線できるものが作られてはいたが、その鋼線の性能は製品としては不十分であった。

近年、線材の熱間圧延の高速化による仕上温度、捲取温度の上昇および、コイル単重の増大によつて、その後の冷却速度が低下し、スケール発生量の増大のほか、組

\* 昭和46年4月、昭和47年10月、昭和48年10月  
 本会講演大会にて発表  
 昭和49年3月25日受付

\*\* 住友電気工業(株)

織の不良化を招き、従来の熱間圧延線材よりも伸線性が悪化する傾向すら出てきた。更にまた合理化、効率化の面からもますますこの直接パテントングの実現が要望されるようになり、研究開発の努力の結果熱間圧延された線材をループ状にして移動するコンベアー上で衝風で冷却するタイプのステルモア方式<sup>2)3)</sup>が開発され、これに刺戟されてシュレーマン方式<sup>4)</sup>、デマージ方式<sup>5)</sup>のほか、国内においても新日鉄方式<sup>6)</sup>、神鋼方式<sup>7)</sup>などが次々と開発されてきた。これらの方式は冷却媒体として空気や、スプレイ、あるいはジルコン砂を使用する特徴のあるものである。われわれもこれらと異なつた、冷却媒体として沸騰水を基本とし、沸騰熱伝達による冷却を利用する新しい方法<sup>8)</sup>を開発し、0.8%炭素鋼線材を主体とする直接パテントングした高炭素鋼線材を生産しているので本方式の原理、特徴、処理装置および得られる線材の性能について述べる。

2. 沸騰熱伝達による直接熱処理の原理

高温の金属を水中に浸漬した時の冷却曲線は Fig. 1 に示すように4つの段階<sup>9)</sup>からなるとされ、第I段階では金属周辺の水が沸点に達するまでの冷却段階で表面部の冷却曲線にのみ観察される。第II段階は金属が水の蒸気膜に包まれた膜沸騰段階で、この蒸気膜が熱伝達を阻害するので冷却は遅くなる。この状態での冷却が進み膜厚が薄くなりながらある温度に達すると、急に気泡が激しく発生する。これが、第III段階で、核沸騰段階と呼ばれ、冷却速度は極めて大きくなる。核沸騰に移る温度は特性温度あるいは遷移温度などと呼ばれている。このあと冷却が進み水の沸点近くになると気泡発生が止み、対流による、第IV段階すなわち対流冷却段階に移つてやがて冷却を完了する。

水による鋼の焼入冷却挙動の研究は従来よりいろいろと行なわれているが、鋼を試片として用いると酸化など

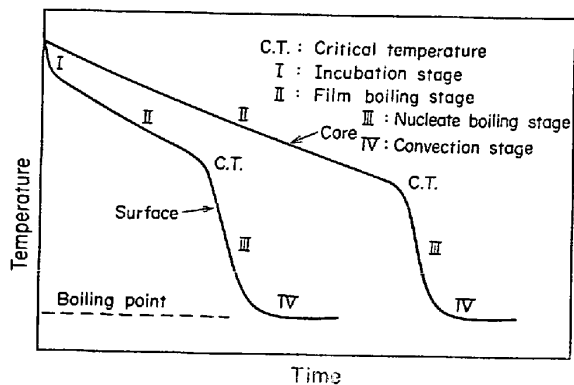


Fig. 1. Schematic diagram of the cooling curve when quenched in water<sup>9)</sup>.

のため、繰返し使用に難があり再現性に劣るとされ、さらに冷却途中で変態発熱が起き、冷却曲線の解析に適さぬことから、鋼に代えて銀を用いて研究されることが多い<sup>10)</sup>。銀は鋼に比べて熱伝導率が大きいので状況が異なつてはくるが、再現性がよく解析に便利なので、われわれも基本研究の一部に銀棒試片を用いた。銀棒は9mmφの200mm長のもので、中芯に2.9mmφの孔を長さの中央まで穿ち、この孔径とほとんど同一径のステンレスシースのCA熱電対を挿入した。なお試片と熱電対シースとの間にはBrazepasteを塗付し伝熱を確実にした。電気炉で所定温度に均熱し約100lの温水槽に投入し水平状態に細線で吊しつづ冷却した。この中芯部の温度変化をペン書きオシログラフに記録した。

水温の高い場合の冷却曲線を Fig. 2 に示す。水温が高くなるにつれて膜沸騰段階での冷却速度が遅くかつその時間が長くなり、特性温度は低くなる。60°C以上の温水は、変態に関する750°C~500°Cの温度範囲での冷却速度が小さいので、通常の焼入硬化を目的とする焼入には適さない。しかし、この冷却曲線を高炭素鋼のC-C-T図<sup>11)</sup>中に記入してみると Fig. 3 のようになり、60°C以上の時の冷却曲線はマルテンサイトやベイナイ

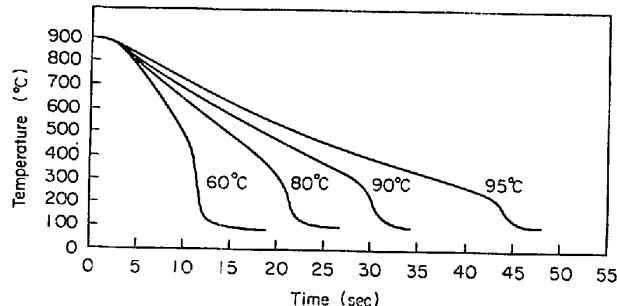


Fig. 2. Cooling curves at a core of 9 mm φ silver rod quenched in pure water of different temperature.

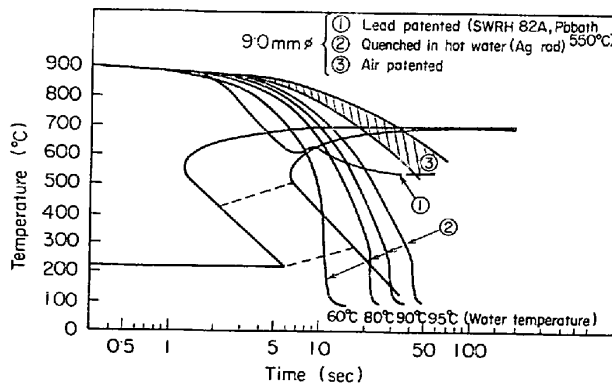


Fig. 3. C-C-T diagram of steel (0.76%C, 0.29%Mn, A. T. 860°C)<sup>11)</sup> and various kinds of cooling curves.

トの生成なしにパテンチングの行なえる条件にある。比較のために空気パテンチングと、鉛パテンチングの場合の代表的冷却曲線を併記したが、これを見ると銀棒の場合の 60°C~100°C の温水中での膜沸騰段階での冷却は、空気パテンチングと鉛パテンチングとの中間の冷却条件となつている。このように温水中冷却の特徴である膜沸騰段階の冷却挙動を巧みに利用すると、高炭素鋼線材のパテンチング処理ができる。

### 3. 処理条件の影響

前述のように冷却条件は温水の温度により変わるが実際作業においては4で述べるいろいろの理由により水温を沸点(100°C)としているので、この条件を中心にした他の条件の影響について述べる。この実験には、鋼線材試片を使用した。冷却過程の挙動測定については、前述の銀棒試片の場合と同様であるが、試片への熱電対挿入孔径は1.6mmφで、熱電対シース径もほとんど同一でこの間に Brazepaste を塗付した。鋼試片の表面は #60 の研磨紙で仕上げ、加熱はアルゴン雰囲気で行なつた。試験ごとにスケールが僅かではあるが生成するので再研磨を繰返し使用した。この方法での再現性は本目的に対して十分であつた。

#### 3-1 線径の影響

高炭素鋼線材についての冷却曲線の例を Fig. 4 に示す。線径の増加につれて、変態温度が僅かではあるが高くなることが明りようである。変態が完了するまでの冷却速度がパテンチングで重要であるが、途中、変態があるので、便宜上、温水への投入温度から 650°C になるまでの平均冷却速度を比較すると、線径との間には従来から言われているように Fig. 5 に示すような直線関係があり、直線の傾斜は-1.25で多賀谷、田村による銀試

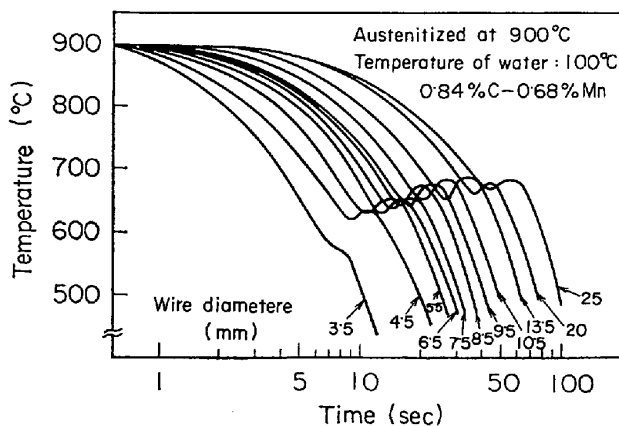


Fig. 4. Cooling curves at the core of steel wire rod.

片での各種焼入冷却剤中での結果<sup>12)</sup>とほぼ同じである。

Fig. 6 から線径が小さくなると部分的にマルテンサイトが生成し、脆化する傾向が認められる。この線径の限界は 0.6%~0.8%C 材においては 2.0mmφ であり、この時の冷却速度は約 90~100°C/sec (中心部) と推定される。パーライト組織については、線径が小さくなるにつれて、パーライトラメラ間隔の小さい微細パーライト組織となる。上部ベイナイトの生成については、その生成し始める線径は厳密に求めたいが、0.8%C 材で 2.5mmφ~3.0mmφ、0.7%C 材および 0.6%C 材では 2.0mmφ~2.5mmφ と考えられる。すなわち、これらの線径は上述のマルテンサイトの生成する線径とほぼ同等か若干大きい程度で、Fig. 6 における引張強度が 2.0mmφ~2.5mmφ で低下しているのは、上部ベイナイトの影響であり、この場合は靱性も高い結果となつている。図には示していないが、この線径範囲でマルテンサイトが生成している場合もあり、このような試片は脆

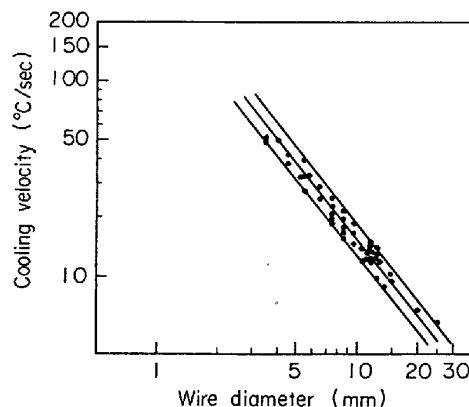


Fig. 5. Relation between wire diameter and cooling velocity at a temperature range from 900°C to 650°C (In the cases of specimens of 20mmφ and 25mmφ, from 900°C to 700°C.)

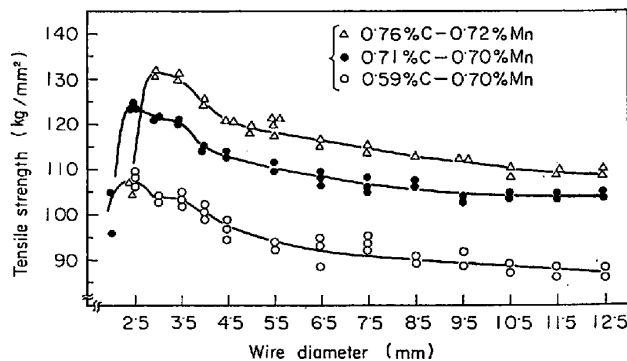


Fig. 6. Relation between wire diameter and tensile strength in case of reheating and processing.

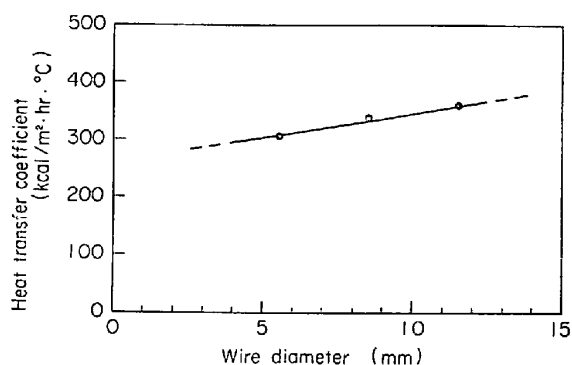


Fig. 7. Relation between wire diameter and heat transfer coefficient at stage of film boiling.

性破断のため、引張強度、絞りとも非常に低い。これらの結果から本方式による処理が適用できる線径下限は、冷却能の最も小さい水温  $100^{\circ}\text{C}$  の場合には、約  $3.5\text{ mm}\phi$  である。

膜沸騰冷却における境膜伝熱係数 ( $\alpha$ )<sup>13)</sup> を全冷却期間において一定とみなして計算し求めると約  $350\text{ Kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$  となり、Fig. 7 に示すように線径に若干関係している。熔融鉛の場合は線径  $9.0\text{ mm}\phi$  の場合、約  $5500\text{ Kcal/m}^2\text{ hr}^{\circ}\text{C}$ 、空気パテンチングすなわち空中放冷で  $9.0\text{ mm}\phi$  の場合、約  $100\text{ Kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$  で本方式の値はこの中間にある。この値を用いて種々の設計、シミュレーションが実施できる。

### 3.2 投入温度の影響

最高加熱温度を同一にして試料のオーステナイト粒度を揃えたあと、温水に投入する温度を変化させて冷却挙動を調べた。

その結果は、投入温度が高くなっただけ変態が開始するまでの時間が長くなるだけで、変態温度にもさしたる差はない。従つて捲取機に入る時の変動は大きな影響を持たないことが示唆される。

### 3.3 表面スケールの影響

鋼線材の沸騰熱伝達による冷却に関与するスケールの作用には2通りがある。その一つは温水に入れる前に線材表面に付着しているスケールの影響であり、今一つは冷却途中に生成してくる二次スケールといえるものの作用である。前者についてはアルゴンガスおよび空気中の種々の加熱条件でスケールを付着させた鋼線材について、冷却曲線を求めこれを Fig. 8 に示した。スケールが比較的薄く強固に付着しているものでは、ほとんど無影響である。稍剝離しやすいスケール生成の場合には、そのスケールを核にして蒸気膜から気泡が発生しやすくなり、そのため膜沸騰に一部核沸騰が共存<sup>14)</sup>するため、膜沸騰段階での冷却速度が若干大きくなる。通常の開放

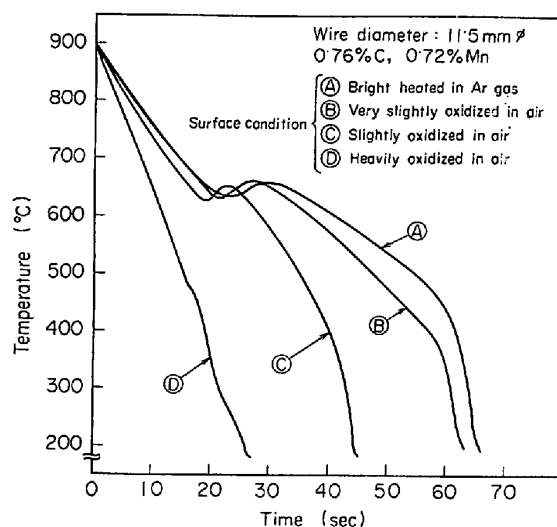


Fig. 8. Effect of the surface scaling condition on cooling behavior of steel wire.

空气中で加熱する際生ずるスケールのごとく粗で剝離しやすいもの時には、核沸騰の影響が大きくなるため、膜沸騰冷却段階の冷却速度が非常に大きくなり、焼が入るような状態にもなってしまう。このように投入前のスケールは非常に大きな影響を与える。このことは通常の焼入作業において粉末塗布すると焼入れに著効のあることと同様である<sup>15)</sup>。圧延中に生成するスケールの残存や、仕上圧延後に生成するスケールはこの意味で重大な影響力を持つので実際作業においては仕上圧延機から捲取機までの間で、極力これらの異物除去、表面清浄化が必要であることがわかる。二次スケールの影響は考慮の必要がない。

### 3.4 温水中への添加剤の効果

この目的は、本方法の特徴である膜沸騰段階における蒸気膜の安定化である。前述のことからもわかるように、鋼線材の投入前のスケールはその影響する所が大きく、そのスケール除去が必要であるが、実際の線材では圧延中のスケールの噛込みや、ビレットに元来あつた表面疵の残留などのために線材の全長にわたつて完全にこれらスケールや異物を除去し、核沸騰を誘発する原因を皆無にしうると期待するのは無理がある。また温水槽中での線材相互の接触などによる蒸気膜の破壊も想定された。このような場合でも安定した蒸気膜が得られることを目的として、これに適した添加剤の効果を主体に調査した。またこのようにすれば冷却条件もより安定化し、得られる線材のばらつきも少なくなることを期待した。

蒸気膜安定剤として界面活性剤の類を選び、例えばアルキルスルホン酸塩類、高級脂肪酸アルカリ塩類のような陰イオン系活性剤、第四アンモニウム塩類、脂肪酸

アミン塩類などの陽イオン系活性剤、あるいはポリオキシエチレンアルキルエステル類、多価アルコール脂肪酸エステルのような非イオン系活性剤など数十種類のものについて試験した。これらの中での1例として Fig. 9 に冷却曲線を示す。稀薄水溶液の場合には純水に比べ冷却速度は全く変わらないが、特性温度が低温側に移行することによつて膜沸騰時間が大幅に延長される。すなわち蒸気膜が著しく安定化することが示されている。液温を変化させた場合の膜沸騰時間を Fig. 10 に示すが、低温ほどその効果は大きい。界面活性剤の添加量についても実験したが 0.01% 以上であれば添加量による差は特になく、十分な効果を示すことがわかった。

実際の操業結果から、添加剤を加えた場合には線材にマルテンサイトが生成するというトラブルは全くなく、また 400 kg コイルのコイル内の性能の変動を調べた結果も Table 1 に示すように改善されることがわかった。またこのような水溶液で処理した線材には僅かではあるが、表面に保護被膜が形成され、保管中に錆びの発生がかなり抑制される。

3.5 その他の条件の影響

線材を液中で水平に保持するか、垂直あるいは斜めに支持するかによる差を調べたがほとんど差はなかった。

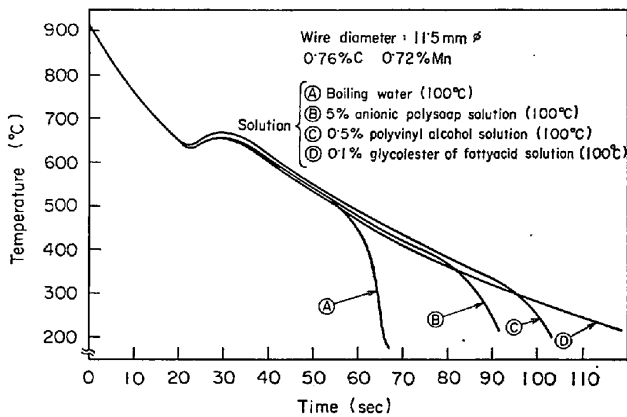


Fig. 9. Effect of addition of chemicals in water on cooling behavior of steel wire.

また液中に唯浸漬する場合と 2m/sec の速さで線材を動かした場合とを比較したが実質的な差はなかった。また圧延ロール表面の荒れを想定し #1 000 の研磨仕上と 50 S 程度の表面状態のものについて比較したが差は認められなかった。

以上、処理条件の影響について述べたが、これを基に実際操業条件を設定した。直接パテンチングは熱間圧延に引続く処理のため、圧延作業の変動が関係してくるので実際操業においては、後述するように性能のばらつきが大きくなりがちである。

4. 生産設備と操業の概要

本方式による量産設備を模式的に示したものが Fig. 11 である。仕上圧延機を出た 1 000°C 近い高温の線材は、捲取機に至るまでの区間で高压水の間歇的な噴射によつて、表面スケールが除去され清浄化されるとともに、線材の温度が全長にわたつて約 850°C に揃えられピン

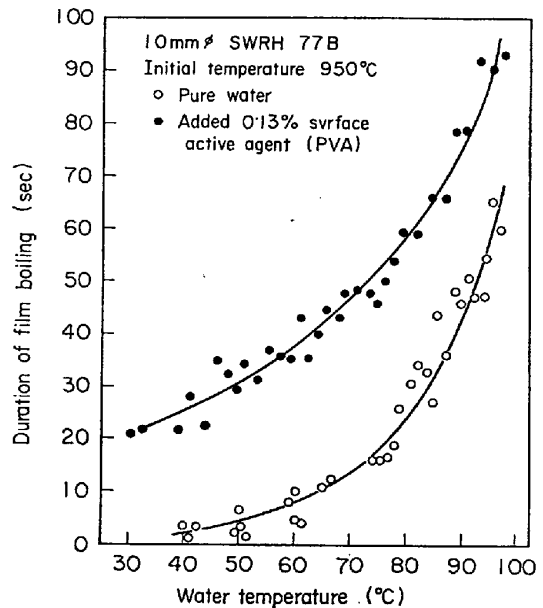


Fig. 10. Duration of film boiling when quenched in water of different temperature.

Table 1. Effect of addition of surface active agent in water on deviation of mechanical peoperties in a coil.

SWRH-77A, 400 kg 11 mm φ Solution	Number of samples	Tensile strength ( kg/mm <sup>2</sup> )		Reduction of area (%)	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Pure water (100°C)	30	115.0	2.4	36.5	2.0
Pure water+0.05% Polyvinyl alcóhol (100°C) (PVA)	30	113.9	1.8	40.1	1.8

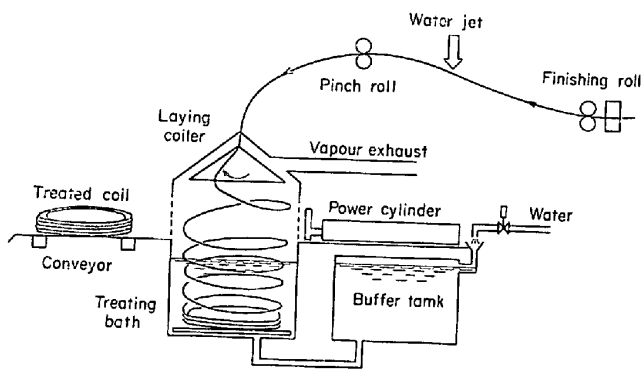


Fig. 11. Schematic diagram of the plant.

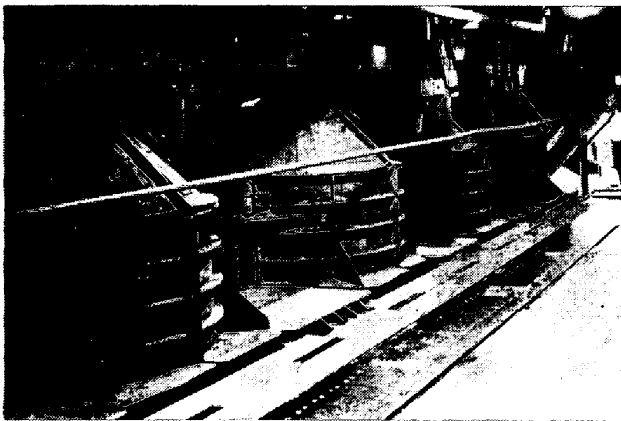


Photo. 1. The four treating coils and a conveyor.

チロールによつてレイニング式の捲取機に入り、温水槽中に落下しつつコイル状に捲取られていく。線材は先端から順次膜沸騰冷却を受けながらパーライト変態を完了し、捲取終了後はその尾端が変態に必要な時間だけ浸漬されてから、床板によつて持上げられ、プッシャーで押出されてコンベアー上に取り出される。温水槽から発生する水蒸気はダクトに吸引、回収されるとともに、温水面のレベルを一定に保つために、緩衝タンクを設けている。現在われわれのところ稼動中のものは8基でその装置の一部を Photo. 1 に示す。

実際の操業において、捲取に際し温水槽に入ってくる熱量は、 $5.5\text{mm}\phi$  線材で仕上圧延速度が  $20\text{m/sec}$  の場合でも1秒間に約  $300\text{Kcal}$  であるが、水温を  $100^\circ\text{C}$  に設定した場合には、水の蒸発潜熱を利用すれば、 $400\text{kg}$  コイルの場合、1コイルあたり約  $50\text{l}$  程度の少量の水の補給で済むことになる。非常に好都合なことに通常の線径の線材  $100^\circ\text{C}$  の湯に浸漬した時の冷却速度は、パテンチングに必要な冷却速度にほぼ一致し、しかも  $100^\circ\text{C}$  の温水を用いれば更に次のような利点もある。すなわち線材の径、コイル単重、温度および速度の変化によつて単位時間の入熱量がどのように変化しても、水温すなわ

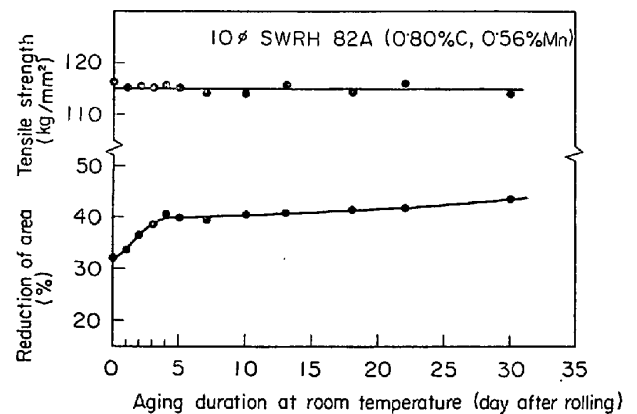


Fig. 12. Aging phenomenon of the processed rod at room temperature.

ち冷却条件を常に一定に極めて容易に保ちうることになる。従つて現在は水温を  $100^\circ\text{C}$  にすることを原則としている。また、水を加熱する必要があるのは、作業開始の時のみである。

更に加えて温水から取出されたコイルは  $100^\circ\text{C}$  であるので、表面に付着している水分はすぐ蒸発乾燥し、あとに支障を与えない。このように水温として沸点を採用することは設備や操業の両面で非常に多くの利点を生む。これらを含めて本方式のおもな利点を挙げると次のとおりである。

- (1) 設備がコンパクトで既設の工場にも設置できる。
- (2) 本処理特有のランニングコストはほとんどない。
- (3) 設備構造が簡単で保守が容易で故障も少ない。
- (4) コイルに捲かれて冷却するので製品コイルの形状が良好で取扱いやすい。
- (5) 処理済みのコイルは  $100^\circ\text{C}$  以下なので以後の取扱いに便利である。
- (6) 騒音、熱風、粉塵などの発生がないので作業環境面、公害面で問題はない。

## 5. 処理線材の性能

### 5.1 機械的性能

本方式により得られた線材の性能は Fig. 12 に示すように、常温で放置するとしだいに絞りが増加する時効現象がある。この現象は特にパテンチング処理直後の数日間の変化が大きく人工的な促進も可能である。この原因として、本方式では  $100^\circ\text{C}$  まで一気に急速に冷却されるために、C, N, H, などの安定状態への拡散が不十分なためと考えられる。このことから温水中での浸漬時間を短くして高温から徐冷する実験を行なった。この結果

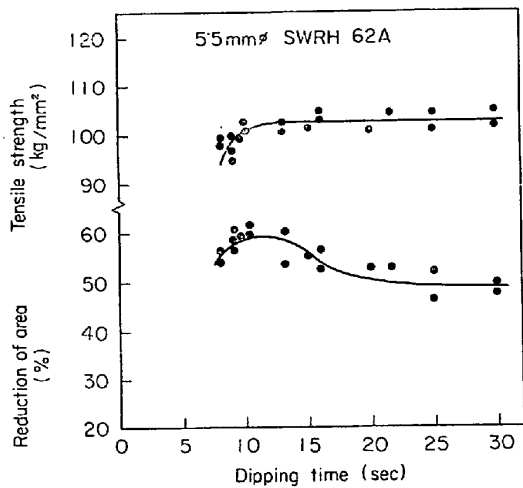


Fig. 13. Correlation between dipping time and mechanical properties obtained.

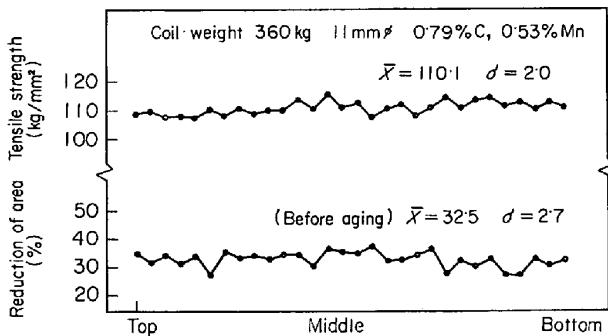


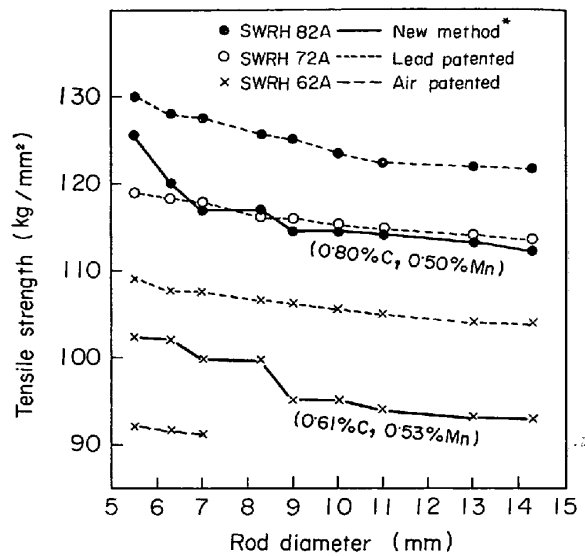
Fig. 14. Distribution of mechanical properties in the processed coil.

は、Fig. 13 のとおりで、5.5 mmφ の場合には 10 sec 以上浸漬しないと十分なパテンチングが施されず、絞りについては 10 sec 前後に最高値を示し、先の時効の存在の裏付けになっている。しかし現在はバッチ処理であり、このような最適浸漬時間を採用できないが、長時間浸漬でも伸線性など実際上は何らの支障もない。本報のデータは特に断わらない限り圧延後少なくとも 4 日間経過したものであるが十分に時効させると更に高い絞り値を示すようになる点に注意が必要である。

コイル全長にわたる機械的性質のばらつきの 1 例を Fig. 14 に示す。バッチ式のため先端から尾端までの間には、液の攪拌状況、浸漬時間などの条件に多くの差が考えられるが、製品にはその影響はなく全長で目立つ傾向は現われていないし、またばらつき程度は鉛パテンチング材と同等である。

### 5.2 線材径、炭素量と機械的性質

線材径と引張強さとの関係を C% 別に示したものが、Fig. 15 である。本図中に通常の鉛パテンチング材、ならびに空気パテンチング材（一部のみ）の引張強さの値



\* Patenting by film boiling in direct sequence with hot rolling.

Fig. 15. Tensile strength level of processed rod compared with ordinary patented rod.

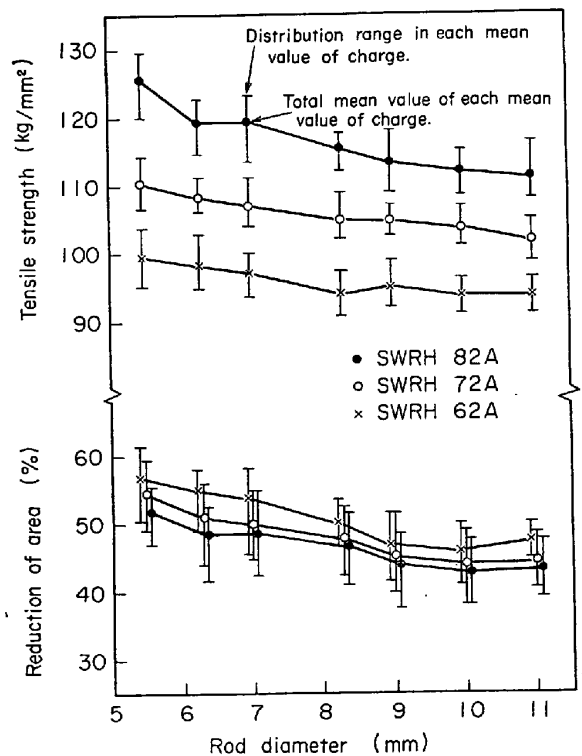


Fig. 16. Mechanical properties of processed wire rods of popular diameters in a year. (Tested within 4 to 6 days after rolling)

を比較のために併記してある。本方式の引張強さは、この両者のちょうど中間の値であることがわかる。圧延量の多い線材径についての実績を Fig. 16 に示す。本データは過去一年間におけるおのおののチャージの平均値

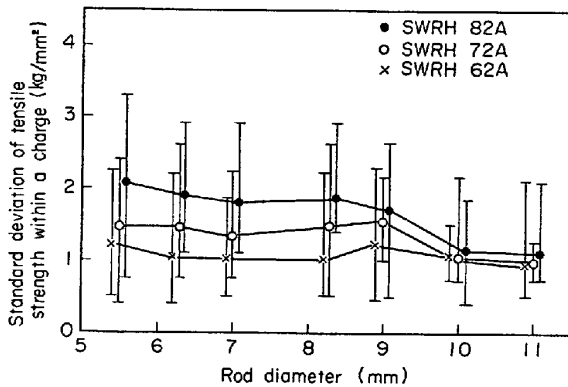


Fig. 17. Deviation of tensile strength within each charge of steel wire rod patented by film boiling in direct sequence with hot rolling. (Results from production for one year)

( $\bar{x}$ ) のばらつきの範囲と、この平均値 ( $\bar{x}$ ) の平均値 ( $\bar{\bar{x}}$ ) を示す。

Fig. 5 と Fig. 15 とから本方式の適用可能な最大線径については次のように考えることができよう。空気パテンチングの冷却速度は  $7^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  程度であるから、空気パテンチング並みの性能であれば、本方式は  $17\sim 18\text{mm}\phi$  まで適用範囲が広がるが、 $0.60\%C$  材の場合の空気パテンチングで得られる  $92\text{kg}/\text{mm}^2$  程度を直接熱処理方法の引張強さの下限とすれば、 $100^{\circ}\text{C}$  の湯を用いる限り、 $14\text{mm}\phi$  前後が線材径の上限になると言える。

引張強さのチャージ内のばらつきを Fig. 17 に示す。線材径が細いほど、 $C\%$  の高いほどばらつきが大きくなっている。最も一般的な  $0.6\%C$   $5.5\text{mm}\phi$  の場合は  $\pm 2\sigma$  で  $\pm 2.5\text{kg}/\text{mm}^2$  ほどで、従来の鉛パテンチング材や空気パテンチング材のばらつきとほぼ同じであるが、 $0.8\%C$   $5.5\text{mm}\phi$  では  $\pm 4\text{kg}/\text{mm}^2$  と大きく、鉛パテンチング材に比べて約 2 倍近くに大きくなっている。従って  $0.6\%C$  の場合には問題がないと思われるが、より高い  $C\%$  のものでは下引き用などに使用が限定されてしまうことは否めない。しかし他の方式に比べ遜色はないと見てよい<sup>3)7)16)</sup>。

### 5.3 スケール及び組織

生成したスケールを正逆転検回法ならびに酸洗法によって重量測定した。スケール量は通常のもの約半分で、 $5.5\text{mm}\phi$  の場合で  $3\text{mg}/\text{cm}^2$ 、厚さで  $10\mu$  内外である。スケールの X 線回折の結果かうヴェスタイト ( $\text{FeO}$ ) の比率が従来のものより多いことが確認され、酸洗時間の短縮や酸消費の減少の効果が期待される<sup>17)</sup>。更に酸洗後の表面が鉛パテンチング材に比べて格段に平滑で美麗である。

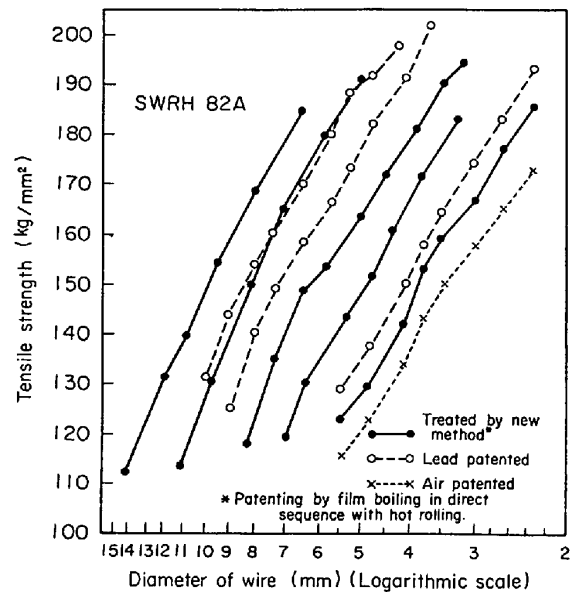


Fig. 18. Work hardening curves in wire drawing.

組織は直接パテンチング材について言われているように、コロニー (Colony) が小さく、初析フェライトが小片で均一に分散した微細パーライト組織<sup>7)</sup>であつて、いわゆる加工熱処理の効果が与えられていると言える。

### 5.4 伸線性

直接パテンチングの最終目的が線材にそのまま伸線するのに十分な加工を与え、しかも伸線後の鋼線に最終製品として満足する性能をも与えることであるから、本特性は非常に重要な項目である。加工硬化曲線の 1 例を、Fig. 18 に示す。鉛パテンチング材と比べて硬化の度合に差は認められず、実用的には全く同一視して設計してさしつかえない。伸線性は伸線機の形式、ダイス系列、潤滑剤、伸線速度、線の冷却法など多くの条件が関係するが、通常の場合であれば断線なく伸線できて、しかも性能の劣化しない線径までの全加工度でだまかに比較される。しかし、一般には製品の性能規格から、与える全加工度が決まるので、通常のパテンチング材並みの加工度にとれば合格である。本方式の線材の引張強さは鉛パテンチングのそれより低いので、従来の鉛パテンチング材から製造された鋼線と同じものを作るには、太径の線材を用い、全加工度を増す必要がある。

本直接熱処理材の線材時点での鉛パテンチング材との引張強さの差は大略  $10\text{kg}/\text{mm}^2$  で、これは通常ダイス 1 枚の追加を要する程度であつて、実際に試作した鋼線の性能は Table 2 に示すように鉛パテンチング材に劣るものではなく疲労特性についてはこれを上回る結果を得ている。Fig. 19 は平面曲げ疲労をシェンク式試験機で行なつた結果である。これと同様な結果は別方式でも



Table 2. Mechanical properties of hard drawn wires made from the processed and lead patented rods.

Steel	Wire diameter (mm)	Rad		Hard drawn wire		
		Diameter (mm)	Patenting	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Reduction of area (%)	Torsion number (100D)
0.62% C 0.51% Mn	2.3	5.5	New method**	155	50	39
		4.85*	Lead patenting	156	48	41
0.71% C 0.53% Mn	3.5	8.3	New method**	174	47	34
		7.0*	Lead patenting	175	47	34
0.79% C 0.53% Mn	5.0	11.0	New method**	190	47	34
		10.0*	Lead patenting	191	45	32

\* Drawn from rods patented by new method.

\*\* Patenting by film boiling in direct sequence with hot rolling.

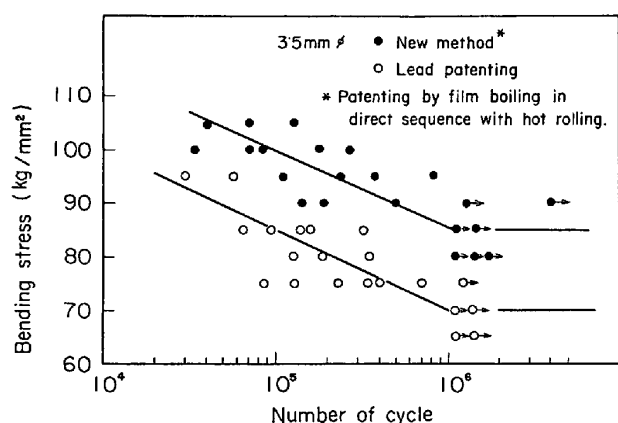


Fig. 19. Fatigue properties in plane bending of 3.5 mm drawn wires shown in Table 2.

得られているが<sup>7)</sup>, 本試作の場合には, 組織の緻密なことや再加熱がないために表面脱炭が少ないと予想されることのほかに, 加工度が高いことや表面が平滑であることも関係していると思われる。

このように実際上必要かつ十分な伸線性を有していると言える。しかし線材時点での引張強さのばらつきは, 伸線後もそのまま持続されることは従来と同様であるため, 0.6% C 材では問題がないが, より高い C% 材では従来のもより若干ばらつきが大きくなる。

## 6. ま と め

温水の沸騰熱伝達を利用する直接パテント処理法の原理, 設備, 操業条件, ならびに本方法で処理された高炭素鋼線材について述べてきたが, これを纏めると次のようになる。

(1) 60°C 以上の温水中での膜沸騰冷却を利用する

と, 高炭素鋼線材にパテント処理を施すことができることを見出し, 温水中で捲取る方式を開発した。

(2) 操業条件としては水温を 100°C に選び, 設備のコンパクト化, 操業の安定化を図った,

(3) 温水に投入する時にはスケールなどの影響が大きく, 時に焼の入る懸念もあつたが捲取前のスケール除去の採用のほか, 蒸気膜を安定化する添加剤を適量加えることでこの問題を克服した。

(4) 本方式は冷却速度が大きく鉛パテントと空気パテントの中間の引張強さが得られ, 適用可能な線径の上限は 14 mmφ 程度と広い。

(5) 本方式の線材は通常の下引き伸線には十分な伸線性を持ち, しかもそのまま通常の製品とするのに十分な諸特性を持つている。しかし現状では 0.6% C 材を除きそれより高い C% のものでは同一チャージ内の引張強さのばらつきが従来の鉛パテント材の場合より相当大きくなるので用途は限定されよう。

## 7. 結 言

以上述べたようにこの新しいアイデアの直接熱処理は現在何のトラブルもなく順調に稼動しており, この方法をわれわれは ED (Easily Drawable の意) プロセスと呼び, 線材を ED 線材と名付けている。ここに述べたようにまだまだ改善を要する点が多くあるが, まずは相当のレベルまで到達したと考えている。

終わりに臨み, 本方式の開発に関し種々の助言を頂いた前田良一氏, ならびに本量産設備の設計, 製作, 操業, および改善に努力された工務, 生産部門の方々に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 例えば D. LEWIS: Wire and Wire Products, 32 (1957), 10, p. 1179
- 2) モルガン社: 特許公告, 昭 42-15463
- 3) T. MINAKI and T. OUNO: Wire Journal, (1972), 9, p. 125
- 4) シュレーマン社: 特許公告, 昭 44-7469
- 5) デマーグ社: 特許公告, 昭 43-25810
- 6) 八幡製鉄: 特許公告, 昭 42-18894
- 7) 山腰, 金田, 鈴木, 新名, 柳, 初岡: 鉄と鋼, 58 (1972), 14, p. 1969
- 8) 小杉, 山田: 特許公告, 昭 45-8536
- 9) 多賀谷, 田村, 鍋島: 鉄と鋼, 37 (1951), 1, p. 5
- 10) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, B-15 (1951), 11, p. 535
- 11) 小林, 佐野: 鉄鋼材料便覧 (金属学会, 鉄鋼協会編), (1967) p. 1503 [丸善]
- 12) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, 20 (1956), 2, p. 124
- 13) 佐藤: 鋼の熱処理 (鉄鋼協会編), (1969) p. 15 [丸善]
- 14) 福田, 三塚: 鉄と鋼, 57 (1971), 11, S. 583
- 15) 多賀谷, 田村: 金属表面技術, 13 (1962), 5, p. 181
- 16) 萩原, 中尾, 浅川, 藤田: 川崎製鉄技報, (1970), 1, p. 91
- 17) A. B. DOVE: Wire and Wire Products, 35 (1960), 11, p. 1547