

## 噴霧焼入法の研究\*

中野 平\*\*・高田 寿\*\*・後藤督高\*\*・岡 勇\*\*\*

## Study on the Fog-Quenching Method.

Taira NAKANO, Hisashi TAKADA, Tadataka GOTO and Isamu OKA

## Synopsis:

The fog-quenching is very profitable for quenching of cast or forged steel pieces, because it can control the cooling rate in a wide range, and make uniform cooling at various sections of a material with complicated shape by controlling the flow rates of water and compressed air. We studied the effect of the flow rates of water and compressed air and the distance between the nozzle and the quenched end of a test piece on the uniformity of fog-quenching and the quenching ability, by using experimental fog-quenching apparatuses. The results obtained were as follows.

The uniformity of quenching could be improved by decreasing the flow rate of water or by increasing that of compressed air, but greatly improved by increasing the distance between nozzle and quenched end, though, in both cases, the quenching ability decreased.

With an increase in the flow rates of water and compressed air, the quenching ability increased remarkably at first, but saturated gradually.

From the severity of quench factor ( $h$ -value) calculated from experimental data by using E. Schmidts' diagram, it was found that the fog-quenching method could cover a wide range of cooling rates from that of oil quenching to that of air cooling.

(Received 24 July 1963)

## I. 緒 言

一般に鑄鍛鋼品の焼入には、油タンクまたは水タンク中での浸漬焼入が行なわれているが、このような液体中での焼入では冷却過程における各温度域の冷却能が液体の特性によつて決まるために、冷却速度を自由に調節することは困難で、高温域で速く低温域で遅いという理想的な焼入冷却速度を得ることがなかなかむづかしい。しかしながら、噴霧焼入では、①水および空気の流量を増減することにより、冷却速度を各温度で広範囲にわたつて任意に変え得る。②各部の直径または肉厚の異なるものに対して各部に均一な冷却速度が与えられる。③軸材ではその回転が容易であるので均一な冷却が行なえる。など幾多の利点を有している。

噴霧焼入の適用例としては、高温、高速回転で使用され、軸の振れが極度に嫌われるタービンローター軸、発電機軸があるが、上記の噴霧焼入の有する利点から更に一般の鑄鍛鋼品にも広く利用されることが予想される。

このような観点から、噴霧焼入を行なう場合の水流量空気流量およびノズルと被焼入体との距離の、噴霧の冷却均一性と冷却能におよぼす影響について調査したので報告する。

## II. 試験装置および方法

試験装置は冷却均一性測定用と冷却能測定用との2台を製作した。冷却均一性試験装置は、Fig. 1 に示すように4本の支柱の上に板状試験片を置き、下方から噴霧ノズルで冷却が行なえるもので、噴霧ノズルと試験片冷却面との距離は500~1,000mm間、100mmごとに変わることができる。板状試験片は、S40C炭素鋼製の450mm角、厚さ90mmの大きさで、これには冷却中の温度を測定するための熱電対挿入孔が、その対角線上の中心から75mm間隔、計7個所に直径5mm深さ75mmの寸法で穿けてある。したがつて、温度測定位置は冷却面から15mm内部であり、温度は直径0.3mmのクロメル・アルメル熱電対を用いて電子管式温度記録計に記録させた。

一方、冷却能試験装置は、Fig. 2 に示すように直径200mm、長さ700mmのSCM4鋼製丸棒試験片を円筒形ドラムの中へ挿入し、下方から噴霧ノズルによる

\* 昭和38年4月本会講演大会にて発表  
昭和38年7月24日受付

\*\* 株式会社神戸製鋼所中央研究所

\*\*\* 株式会社神戸製鋼所技術管理部、工博

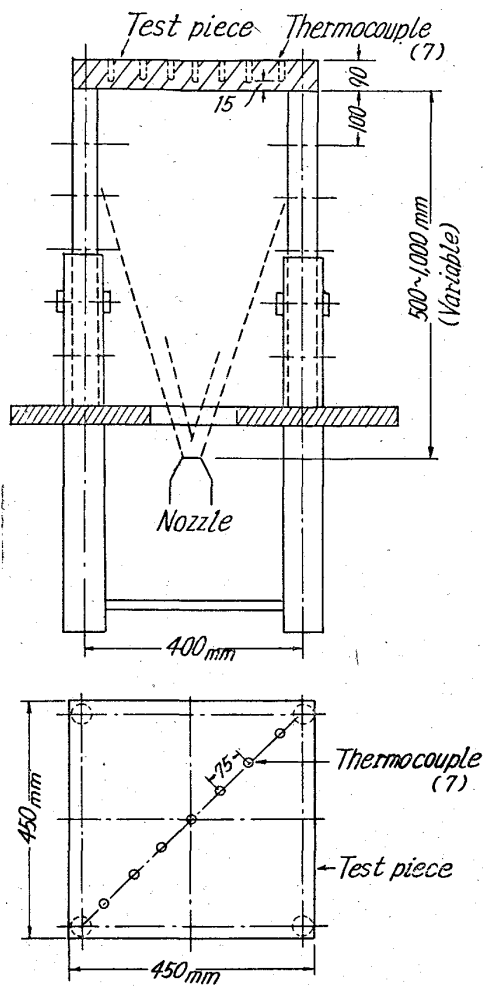


Fig. 1. Fog-quenching apparatus for cooling uniformity test.

冷却を行なう、いわゆる一端焼入方式によるものである。試験片は、冷却端面から 20, 40, 75, 125, 200 および 350 mm の計 6 個所の位置の側面に直径 8 mm, 深さ 70 mm の熱電対挿入孔が穿けてあり、また円筒形ドラムにも同じ位置に孔が貫通している。この円筒形ドラムは試験片の側面からの温度低下を防ぐためのもので、ドラムの中は 3~10 mm Hg 程度の真空状態にしておきまた遮蔽板を置いて熱伝導、あるいは対流による熱の移動を極力防止した。この装置は冷却端面から噴霧ノズルまでの距離が 300~700 mm の間で 100 mm ごとに変え得るもので、冷却中の温度は冷却均一性試験の場合と同じ方法で測定した。

前記 2 種類の冷却試験片は、いずれの場合も 850°C の温度で 2 hr 以上、雰囲気調整炉により無酸化加熱した後装置にセットし、各測位置の温度が 300°C 以下に低下するまで測温した。このようにして得られた冷却温度曲線を用い、噴霧の冷却均一性および冷却能を調べるために 850°C~300°C 間の平均冷却速度を求めた。た

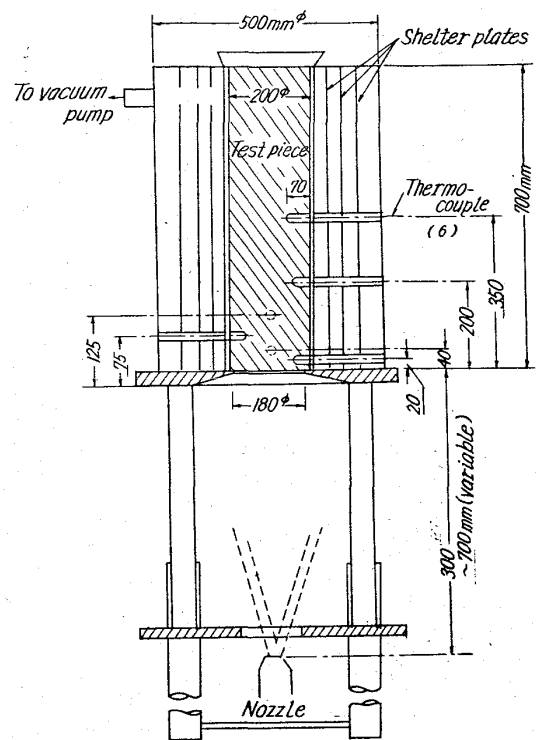


Fig. 2. Fog-quenching apparatus for cooling ability test.

だし、この冷却温度曲線については、冷却試験片は加熱炉から装置にセットし噴霧冷却を開始するまでに空冷されて加熱温度から 15~30°C 低下するので、この間の各噴霧条件に対する冷却温度曲線はそれぞれの曲線を内挿して求めた。また冷却温度曲線はすべて変態熱を除外したものをを用い、それは温度-時間曲線上で変態による温度降下の停止時間を差引いた。

使用したノズルは Fig. 3 に示すような構造で、水と圧縮空気が混合されて噴霧になり、さらにその周囲に圧縮空気が単独に噴射されるもので、圧縮空気は前者を一次空気、後者を二次空気と呼ぶことにする。

試験条件は、水、一次空気、二次空気の流量、およびノズルと冷却試験片との距離を変化因子とし、水圧は 4 kg/cm<sup>2</sup> 以上、一次空気圧力は 3.5~4.5 kg/cm<sup>2</sup>、二次空気圧力は 0.85 kg/cm<sup>2</sup> とした。

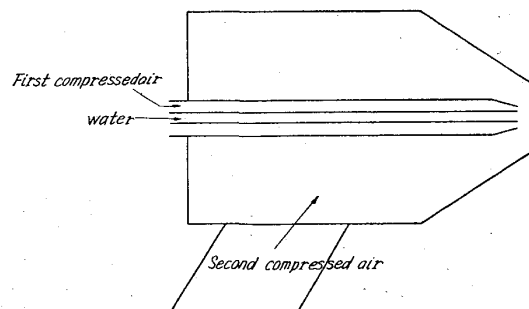


Fig. 3. Design of nozzle.

III. 試験結果

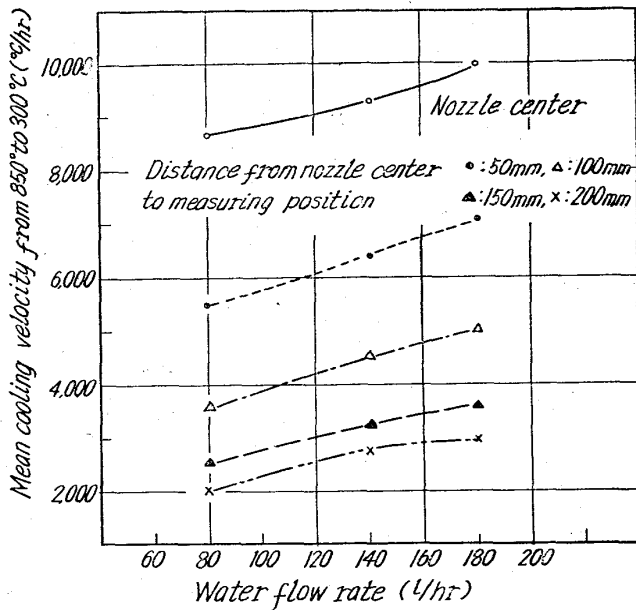
1) 冷却均一性について

Fig. 1 に示した装置によつて、二次空気流量を  $500\text{m}^3/\text{hr}$  一定とし、水流量を  $80\sim 180\text{ l/hr}$ 、一次空気流量を  $30\sim 100\text{ m}^3/\text{hr}$  の範囲に変えたほか、二次空気流量  $500\text{ m}^3/\text{hr}$  のみによる場合と空中放冷の場合とについて冷却均一性の変化を調べた。この冷却均一性は Fig. 1 に示したように板状試験片の  $450\text{ mm}$  角の平面を噴霧冷却し、その対角線上における中心から  $75\text{ mm}$  間隔の、冷却面から深さ  $15\text{ mm}$  の位置で測定した冷却温度曲線を用いて、その位置と冷却所要時間との関係から冷却試験片におけるノズルの中心から  $50, 100, 150, 200\text{ mm}$  の各位置における  $850\sim 300^\circ\text{C}$  間の平均冷却速度を求めて比較した。試験結果を Fig. 4~7 に示す。

冷却均一性におよぼす水流量の影響については、Fig. 4~6 に示すように、その流量は少ないほうが、ノズルの中心と、中心から離れた位置との冷却速度の差が小さくなり、冷却均一性は大となるが冷却速度は小さくなる。また、水流量が増加すると冷却速度は勿論大となるが、その傾向はノズルと冷却試験片との距離の大きいほど、またノズルの中心に近い位置ほど顕著である。他方 Fig. 7 に示すように一次空気流量についても水流量の影響と同じような傾向を示し、流量の少ない方が冷却均一性は大となるが冷却速度は小さくなる。またノズルと冷

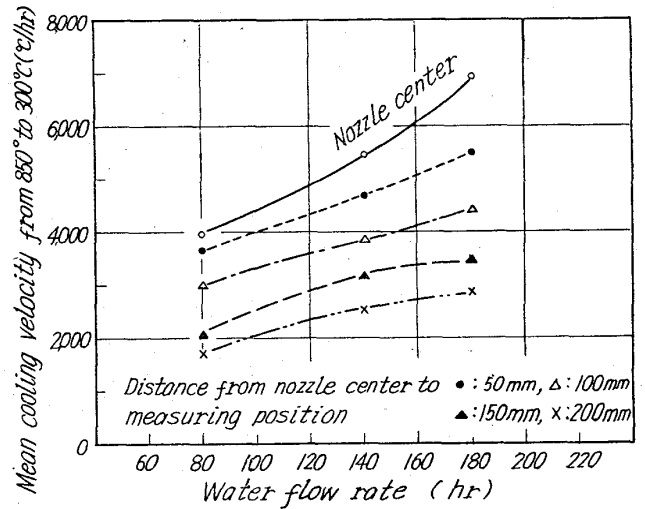
却試験片との距離についてはそれが増すにつれて冷却均一性は大きくなるが、本試験範囲では水および一次空気流量を変えた場合よりもその変化が大きい。しかし、この場合の冷却均一性の増大に対する冷却速度の低下も大きく、その傾向は水流量の小さいほど、またノズルの中心に近い位置ほど著しい。

以上の結果は、試験片冷却面のショア硬度計による硬度分布測定結果によつても全く同じ傾向が示された。なお、これらの結果の中で、冷却中の測温位置の最も外側のもは側面からの冷却の影響が考えられるので、空中却冷による冷却速度を測定した結果、Table 1 に示すように、各部の冷却速度の差は非常に小さいので、一応側



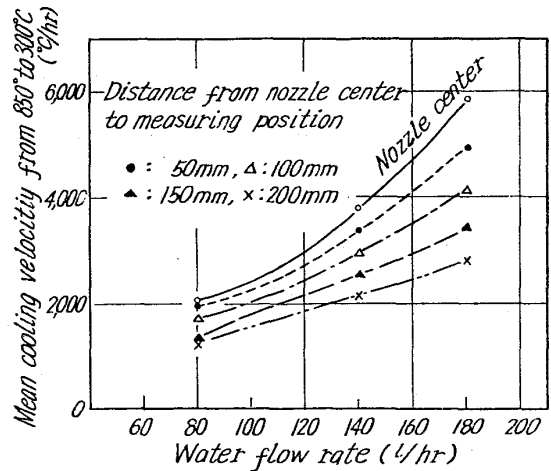
Distance from nozzle to test piece :  $500\text{ mm}$   
 First compressed air flow rate :  $80\text{ m}^3/\text{hr}$   
 Second compressed air flow rate :  $500\text{ m}^3/\text{hr}$

Fig. 4. Effect of water flow rate on the cooling uniformities (1).



Distance from nozzle to test piece :  $700\text{ mm}$   
 First compressed air flow rate :  $80\text{ m}^3/\text{hr}$   
 Second compressed air flow rate :  $500\text{ m}^3/\text{hr}$

Fig. 5. Effect of water flow rate on the cooling uniformities (2).

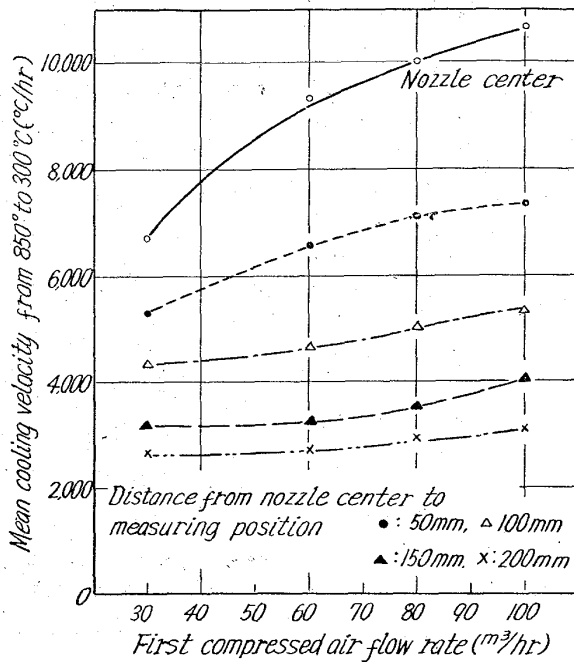


Distance from nozzle to test piece :  $1000\text{ mm}$   
 First compressed air flow rate :  $80\text{ m}^3/\text{hr}$   
 Second compressed air flow rate :  $500\text{ m}^3/\text{hr}$

Fig. 6. Effect of water flow rate on the cooling uniformities (3).

Table 1. Mean cooling velocities from 850°C to 300°C in air and second compressed air coolings (°C/hr).

Cooling conditions	Distance from nozzle center to measuring position (mm)				
	0	50	100	150	200
Air cooling	335	335	359	363	375
Second compressed air cooling (Flow rate 500m <sup>3</sup> /hr)	813	813	813	813	823



Distance from nozzle to test piece : 500mm  
Water flow rate : 180l/hr  
Second compressed air flow rate : 500m<sup>3</sup>/hr

Fig. 7. Effect of first compressed air flow rate on the cooling uniformities.

面からの冷却効果は無視することにした。Table 1には二次空気のみ(流量 500m<sup>3</sup>/hr)による冷却速度も併記したが、水および一次空気を前記流量範囲で冷却した場合よりも冷却一性はきわめて大きく、また冷却速度はかなり小さい。

## 2) 冷却能について

直径 200mm、長さ 700mm の丸棒試験片を Fig. 2 に示した冷却能試験装置に挿入し、種々の噴霧条件に対する試験片各測温位置の 850~300°C 間の平均冷却速度を測定して冷却能の変化を調べた。噴霧条件は、噴霧の霧化状態が良好<sup>1)2)</sup>な範囲を選び、ノズルと冷却試験片間距離は 700mm 一定とし、冷却速度の最も小さいものとして装置中での空中放冷から、最も大きいものとして水流量 180 l/hr 一次空気流量 80 m<sup>3</sup>/hr、二次空気流量 500 m<sup>3</sup>/hr の条件にわたって変化させた。Fig. 8 に噴霧条件に対する冷却速度の変化を示す。冷却試験片の

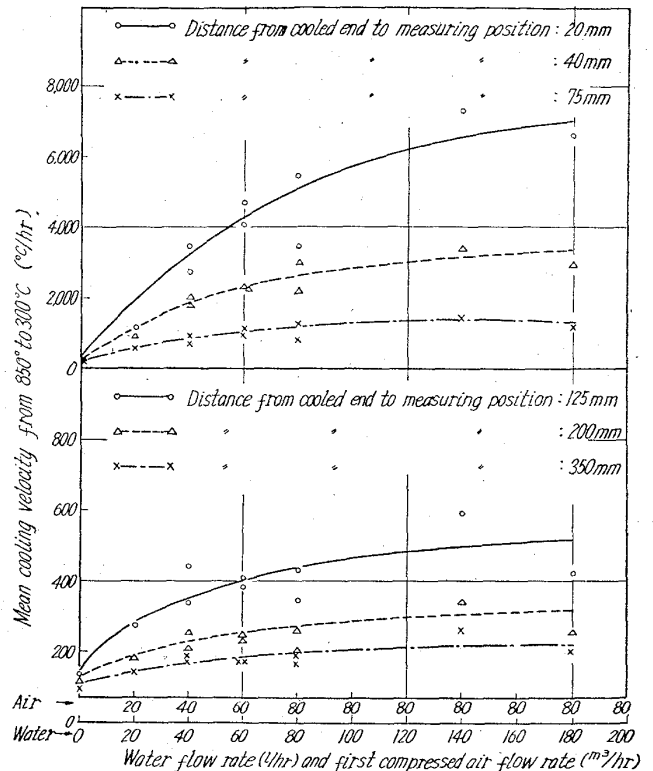


Fig. 8. Effect of water and first compressed air flow rates on the cooling velocity.

各測温位置の冷却速度は、二次空気のみ(500 m<sup>3</sup>/hr)によるエアーblast冷却から、漸次水および一次空気流量を増すにつれて大きくなっているが、本試験条件範囲内では水および一次空気流量の小さい範囲では冷却速度の変化が比較的大きく、その流量の大きい範囲ではしだいにその変化が小さくなり、飽和する傾向が示された。

以上が試験装置による実測結果であるが、この結果を用いて実際の噴霧冷却装置における代表的な軸材直径、および噴霧条件に対する焼入強度( $h$ 値)と冷却速度を計算的に求めてみた。実際の噴霧冷却装置は噴霧ノズルが円周上3個所から中心へ向けて、高さ 10m の間に多数設置されおり、焼入される軸材はもちろん回転されるので、前記の試験装置すなわち冷却試験片は静止し、噴霧ノズルが1本の場合とはかなり冷却条件が異なる。そこで、実際の噴霧冷却装置における噴霧条件と

軸材内外部の冷却速度との関係を、実際の装置で既に実測された一部の冷却速度と試験装置の結果とを用いて、図式的に求めた。この場合の試験装置におけるノズルと冷却試験片間距離は 700mm のみであるが、1,000mm の場合についても求めるためにこの両者の関係を冷却均一性試験結果から算定した。このようにして得られた各冷却曲線を用い、E. SCHMIDT の図式解法<sup>3)4)</sup>により先づ種々の噴霧条件に対する焼入強烈度 ( $h$  値) を算出した\*。Fig. 9 に実際の噴霧冷却装置における噴霧条件と焼入強烈度 ( $h$  値) との関係と、あわせて油中浸漬焼入および空中放冷の値も示した。この油中および空中放冷時の焼入強烈度は直径 300mm の軸材の実測冷却速度から E. SCHMIDT の図式解法<sup>3)4)</sup>により求めたものである。焼入強烈度 ( $h$  値) は焼入体の表面温度によっても変わるが、噴霧条件によつて広範囲に変化し、その範囲はほぼ油中浸漬焼入から空中放冷の間にわたつており非

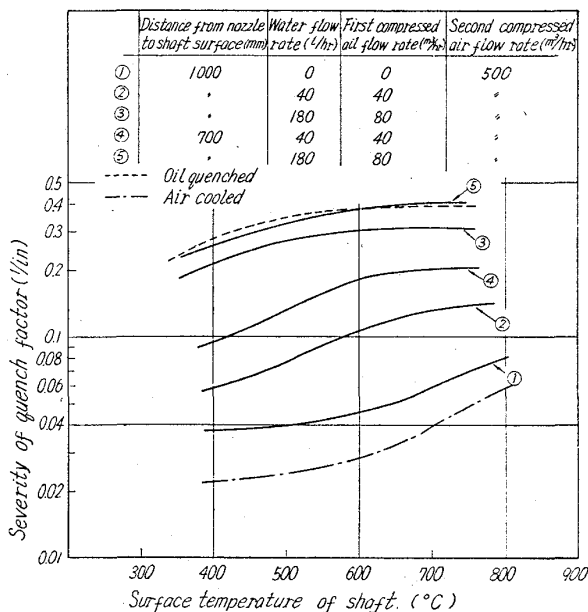


Fig. 9. Relation between the fog-quenching conditions and the severity of quench factor.

\* E. SCHMIDT の図式解法<sup>3)4)</sup>は、無限の広さの板に対して、その表面の温度降下は冷却媒体への熱伝達量で決まるとし、これは両者の温度差に比例するので熱伝達係数/熱伝導率で示される焼入強烈度  $h$  値を  $1/h$  の距離とする。また、表面から中心までについてはその間の距離を適当数分割して横軸、温度を縦軸に取り、単位時間を材料の比熱、密度、熱伝導率からの関係式で求めておけば、各分割点の単位時間当り降下する温度が図式的に求まる。円柱の場合は中心のほうが面積が小さいので分割距離を補正する。本法では  $h$  値が既知であれば板、円柱の内外部の冷却温度曲線が求まり、逆に冷却温度曲線が既知であれば  $h$  値は計算の繰返しによつて求めることができる。

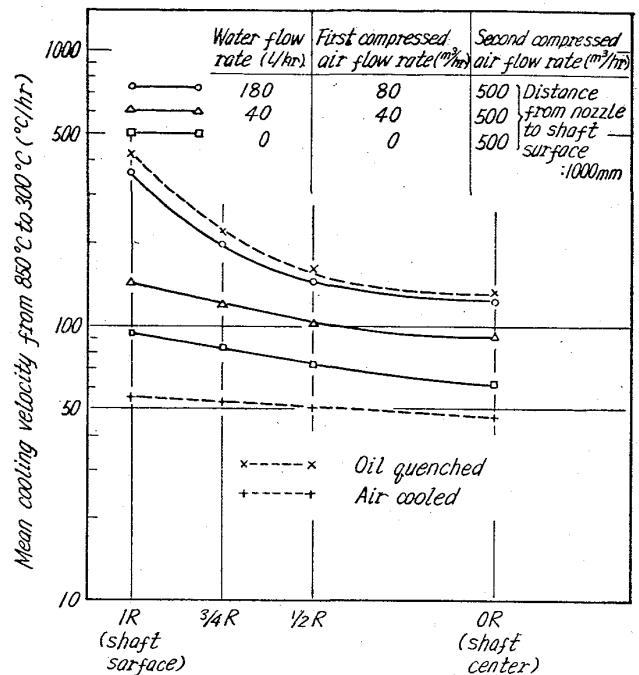


Fig. 10. Variation of the cooling velocity by fog-quenching conditions (Diameter of shaft : 1,000mm)

常に大きいことが明らかにされた。しかしその変化は水および一次空気流量がある値以上になると飽和する傾向が示された。

Fig. 10 は同様に E. SCHMIDT の図式解法<sup>3)4)</sup>を用い前記の焼入強烈度によつて実際の噴霧冷却装置に置ける直径 1,000mm の軸材内外部の冷却速度の計算例を示したもので、これによつても噴霧焼入では冷却速度を変え得る範囲が大きく、ほぼ油中浸漬焼入から空中放冷の間に広がっていることが認められた。

#### IV. 結 言

噴霧焼入の冷却均一性および冷却能試験装置を製作し種々の噴霧条件に対する冷却均一性および冷却能の変化を調べ、さらに実際の軸材噴霧焼入装置における噴霧条件と焼入強烈度 ( $h$  値) を E. SCHMIDT の図式解法<sup>3)4)</sup>により求めた。

1) 噴霧の冷却均一性は、水流量は少ないほうが、また一次空気流量は多いほうが若干大きくなる傾向を示すがそれよりもノズルと焼入体間の距離を増した場合のほうがより大きくなる。しかしいずれの場合にも冷却能は逆に小さくなる。

2) 焼入冷却能は水および一次空気流量を増すことによつて大きくなるが飽和する傾向を示す。

3) 軸材噴霧焼入装置の焼入強烈度 ( $h$  値) は、水お

よび一次空気流量を増すにつれて大きくなるが、やや飽和する傾向を示した。しかしその範囲はほぼ油中浸漬焼入から空中放冷の間にわたっており非常に大きいことが明らかになった。

### 文 献

- 1) 抜山, 棚沢: 日本機械学会誌, 4 (1938) 14, p. 128
- 2) 抜山, 棚沢: 日本機械学会誌, 4 (1938) 15, p. 134
- 3) W. TRINKS: Industrial Furnaces, 1 (1951), p. 401
- 4) 富岡: 神戸製鋼, 2 (1952) 3, p. 127

## 低炭素薄鋼板の連続焼鈍後の硬度について\*

周 藤 悦 郎\*\*

### On the Hardness of the Low Carbon Steel Sheet after Continuous Annealing

Etsuro SHUTO

#### Synopsis:

The effects of the hot rolling condition, soaking temperature and line speed on the hardness of the low carbon steel sheet after continuous annealing and electrolytic tinning were studied, and the relations between these processing conditions and the grain size, the carbide distribution and the approximate dissolved carbon content measured by the electric resistivity method were discussed. It was made clear that the uniformity in hardness obtained in the continuously annealed low carbon steel was mainly due to the mutual cancellation between the effects of grain size and of dissolved carbon content.

It was concluded that the line speed was an effective factor for the hardness control.

(Received 25 July 1963)

### I. 緒 言

近時ブリキや亜鉛鉄板の原板に対して連続焼鈍法が広く採用されるようになってきたが、本法によるものは箱型焼鈍法によるものにくらべて硬く、かつメッキ後の高温歪時効によつて fluting (板を円筒に丸めたときの腰折れ) を起こしやすいという特徴がある。その原因は均熱時間または最高加熱時間が短く、冷却速度が大きいため、一般に結晶粒が小さく、固溶C量が多くなることによると考えられている<sup>1)</sup>。しかし著者は連続焼鈍試験炉によつて諸種の実験を行ない、とくにホット・コイルの熱間圧延後の巻取温度を上げるとか、連続焼鈍時の均熱温度を高くすることなどによつて結晶粒の粗大化を図つたが、箱型焼鈍の場合から期待されるほどの軟らかい板を得ることができなかつた<sup>2)</sup>。従来連続焼鈍後の硬度については、最高加熱温度、時間、徐冷速度、急冷開始温度などの影響については比較的多くの実際的データが発表されている<sup>3)~4)</sup>にもかかわらず、結晶粒の大きさや固

溶C量などの冶金学的因子を基礎とした研究はほとんど行なわれていない。したがつて前述のような軟らかい板を得ることができなかつた理由についても説明できなかつた。そこで著者は電気抵抗法によつて焼鈍後の近似固溶C量を求め、結晶粒の大きさと固溶C量の相互関係およびこれらの連続焼鈍後の硬度におよぼす影響などについて検討し、軟質の連続焼鈍板を製造することが本質的に困難な理由、また従来文献<sup>5)</sup>でしばしば報告されているように、連続焼鈍板の硬度が箱型焼鈍板のそれにくらべて、いつそう均一である理由などについても明らかにすることができたので、以下に報告する。

なお本研究はブリキを主対象として実施したものであり、ブリキの諸機械的性質のうちでは、ロックウェル表面硬度 (30T) が実用上一般に基準として慣用されている<sup>6)</sup>ので、硬度に主体をおいて論述することにした。

\* 昭和37年10月本会講演大会にて発表

昭和38年7月25日受付

\*\* 東洋製缶東洋鋼鋸綜合研究所, 工博