

Photo. 3. Impurity TiC in final gage strips, processed from hot-rolled bands; (a) as-rolled, annealed for 50 min at (b) 650°C (c) 800°C (d) 950°C (e) 1000°C and (f) 1100°C respectively. Extraction replica.

さの不純物の分布と2次再結晶とが関連づけた点、2次再結晶に参与する不純物の大きさは 0.1μ ぐらいと推定される。この不純物の大きさに対し阿部²⁾は20から300Å, MAY³⁾は理論的に1から 0.1μ としている。今回の結果はMAYの考え方に近い。

2次再結晶に影響をおよぼしている不純物の大きさを 0.1μ とし、その必要限界量を $1/\mu^3$ とすると不純物量は $0.1\text{ vol}\%$ となる。GOLDSCHMIDT⁴⁾によればTiC, NbCの密度はそれぞれ $4.25, 7.82\text{ g/cm}^3$ である。VNとほとんど同じVCで 5.36 g/cm^3 なのでVNにもこの値を代用する。この値を使い $0.1\text{ vol}\%$ を換算するとTable 2のようになる。これを前報の2次再結晶に必要な量とくらべるとTi, Vはきわめて良好な一致を示している。

Table 2. Estimated content of inclusions necessary for the development of (110) [001] secondary recrystallization texture.

Impurity	vol %	wt %	wt %	Experiment wt %
TiC	0.1 TiC	0.055 TiC	0.044 Ti	0.04 Ti
VN	0.1 VN	0.070 VN	0.055 V	0.07 V
NbC	0.1 NbC	0.102 NbC	0.089 Nb	0.02 Nb

Nb では約4倍の差があるが、オーダー的には良い一致といえよう。

第2回冷間圧延板中の不純物の分布は熱間圧延板のそれをよく受けついでいた。このことは2次再結晶をするような第2回冷間圧延板をつくるにはすでに熱間圧延板の状態において不純物を微細に分散させておかなければならないことを示している。

5. 結 言

添加元素 Ti, V, Nb を含む珪素鋼の熱間圧延および第2回冷間圧延板の不純物TiC, VN, NbCを観察し、2次再結晶との関係を検討して、つぎの結果がえられた。

熱間圧延板は圧延状態で 0.1μ ぐらいの不純物が並んでいるが、その他に 0.01μ もの小さなものもマトリックス全面に分散している。この小さな不純物は熱処理温度上昇とともに凝集する。この時 0.1μ ぐらいの不純物も大きくなり、分布密度が下がる。この傾向は 1000°C をこえるととくに甚しい。

第2回冷間圧延板の不純物は 0.1μ ぐらいのが主であるが、その分布は熱間圧延板のそれに似ている。熱間圧延板熱処理温度が高くなると 0.1μ 程度の不純物の分布密度が下がる。

(110)[001] 2次再結晶集合組織形成に役割を果す不純物の大きさは 0.1μ 程度と推定され、必要分布密度は $1/\mu^3$ ぐらいと考えられる。これは $0.044\%\text{Ti}$, $0.055\%\text{V}$, $0.089\%\text{Nb}$ となり、実験からえられた必要添加元素量にかなりよく一致している。

文 献

- 1) 松岡: 鉄と鋼, 52 (1966), 10, p. 1635
- 2) 阿部: 金属学会会報, 1 (1962), p. 583
- 3) MAY and TURNBULL: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 212 (1958), p. 769
- 4) GOLDSCHMIDT: J. Iron and Steel Inst.(U.K.), 160 (1948), Dec., p. 345

(261) 炭素鋼の強制冷却による冷却速度測定実験について

(鋼材の冷却に関する研究—II)

八幡製鉄, 技術研究所

○島田 道彦・三塚 正志

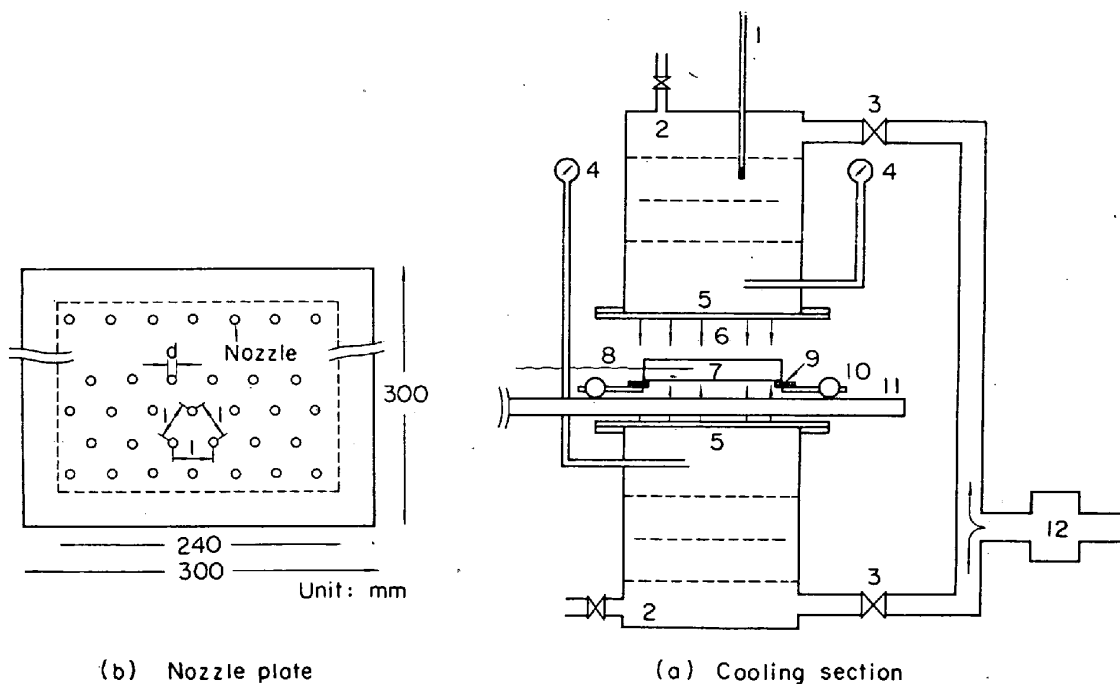
On Cooling Rate by Forced Water Cooling to Carbon Steel.

(Study on cooling of steel—II)

Michihiko SHIMADA and Masashi MITSUTSUKA.

1. 緒 言

鋼板の強制水冷は広く行なわれているが、水量や水温と平均冷却速度との関係は、あまりよく知られていない。そこで著者らは、多数の細い水流ジェットが鋼板に垂直に衝突する場合の鋼板中央の平均冷却速度を測定し、水量、水温と平均冷却速度との関係を求めた。



- 1. Thermometer
- 2. Tank
- 3. Control valve for water flow rate
- 4. Pressure gauge
- 5. Nozzle plate
- 6. Water jet
- 7. Sample
- 8. Thermocouple
- 9. Brick
- 10. Carrier for sample
- 11. Rail
- 12. Electromagnetic water flowmeter

Fig. 1. Experimental apparatus.

2. 実験装置および方法

実験装置を Fig. 1 に示す。装置は試料加熱部、冷却水供給部、試料冷却部、温度および流量測定部から構成されている。試料加熱部はカンタル電気炉で、930°C に保定してあるが、雰囲気調整は行なわない。冷却水供給部は内容積 800 l の加圧タンクで、水道水、加熱用蒸気、冷却用水、加圧用圧縮空気が供給できる。試料冷却部は、試料に対して上下対称に配置した 2 個の冷却用ジェット噴射タンクと加熱試料を乗せる台車から構成されている。噴射タンクの中には 3 枚の整流板があり、ノズル板はボルト止めしてある。ノズル板は厚さ 5 mm の鋼板で、ジェット噴出孔がすべて正三角形になるように配置してある。試料とノズル板の間には、水流ジェットしや断用シャッターがある。温度測定部は、試料測温用 CA 熱電対と自動平衡型 6 点連続 mV 記録計、冷却水測温用水銀温度計、加圧タンク壁測温用サーミスタ温度計電気炉内測温用 PR 13 熱電対と自動平衡型 mV 記録計から構成されている。流量測定部は、水量測定用電磁流量計とジェットの噴出圧測定用ブルドン管圧力計から構成されている。

試料の成分を Table 1 に示す。試料は 28×200×200 mm で、1 次元熱流(厚さ方向だけ)を得るため、電気炉の許す限り、大きくした。試料中央巾方向の硬度分布から、試料の中心部約 100 mm φ の範囲内は、ほぼ 1 次

元熱流になつている。

試料の測温位置は、中心から半径 30 mm の円周上にあり、厚さ方向の中央に 3 カ所、表面から 5 mm に上下各 1 カ所、表面に 1 カ所(冷却開始信号用)である。熱電対孔(測温孔)は熱流を乱さないためには小さく、熱電対は時定数を小さくするためには細いものが望ましいが、CA 熱電対を使用する関係上、930°C での使用に対しては太いものが望ましく、これらのかねあいから、熱電対の線の径を 0.65 mm、碍子径(2 穴用)を 3.2 mm、測温孔径を 3.5 mm にした。熱電対の温接点は、測温孔先端の 2 mm φ×2 mm の部分で試料に点溶接することによつて、試料との熱接触をよくし、測温孔を試料の等温面に作ることによつて、熱伝導誤差を少なくし、測温孔先端部の 8 mm φ×10 mm の部分に、アルミナ 6、粘土 4、水ガラス少量で作つたトロをつめることによつて、測温孔への冷却水の浸入を防止した。

実験に際しては、常温試料を 39 min 間で 930°C に加熱し、30 分間保定後抽出し、14~20 sec 後に冷却を開始した。

3. 実験結果および考察

930°C の炉に常温の試料を入れると、炉温(雰囲気)は 80~120°C 降下する。試料の温度は、初期には表面が若干高いが、35~40 min 経過すると全体がほぼ均一になる。抽出から、冷却開始までの 14~20 sec 間に表面

Table 1. Chemical composition of sample.

C	Si	Mn	S	P	B	Ni	Cr	Al	Cu	V	Ti
0.12 ~0.13	0.43 ~0.45	1.15 ~1.18	0.014 ~0.015	0.019 ~0.021	0.0000 ~0.0002	0.02	0.20	0.03	0.04	0.08	<0.01

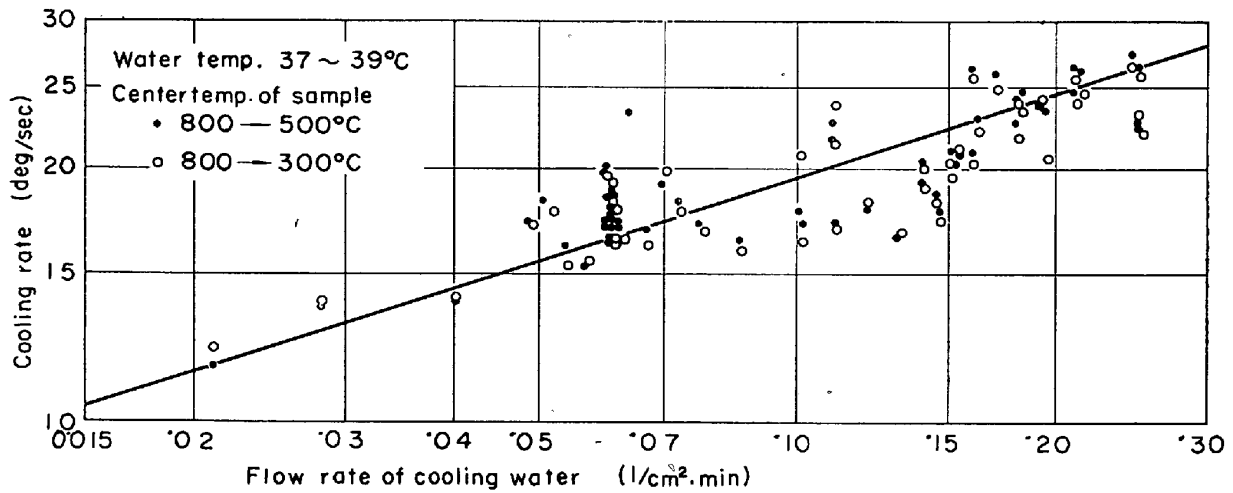


Fig. 2. Relation between flow rate of cooling water and cooling rate.

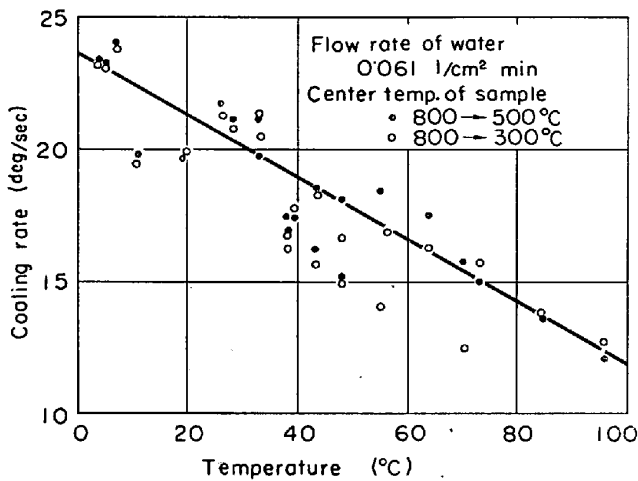


Fig. 3. Relation between temperature of water and cooling rate.

温度は若干降下するが、内部はほとんど降下しない。

冷却中試料中央の3個の熱電対は、ほぼ等しい温度を示すが、表面から5mmのものは、ジェットの間隔が相当に大きい場合でも、試料中央巾方向の硬度分布は、ほぼ均一である。

3.1 水量、水温と冷却速度との関係

実験結果を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 に示すデータのジェットの噴出圧は 0.2~4.0 kg/cm² であるが、この範囲内では、噴出圧は冷却速度にほとんど影響しないようである。データは相当にばらついているが、水量 W と冷却速度 V_{500} (試料中央 800→500°C)、 V_{300} (800→300°C) の間には、

$$V_{500} \approx V_{300} \propto W^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

水温 θ と V_{500} , V_{300} の間には、

$$V_{500} \approx V_{300} \propto (1 - 5.0 \times 10^{-3}\theta) \dots\dots\dots (2)$$

の関係がある。実験結果を用いて、 W , θ と V_{500} , V_{300} との関係を求めると、

$$V_{500} = 54.3W^{1/3}(1 - 5.0 \times 10^{-3}\theta) \dots\dots\dots (3)$$

$$V_{300} = 53.2W^{1/3}(1 - 5.0 \times 10^{-3}\theta) \dots\dots\dots (4)$$

[V_{500}][V_{300}]: deg/sec

[W]: l/cm²·min
[θ]: °C

(4) 式から計算される値と実測値との関係を Fig. 4 に示す。この式によつて、水量、水温から冷却速度が概算できる。(3) (4) 式から明らかなように、初期温度が 930°C の場合には、 V_{500} と V_{300} はほぼ等しい。99 個の実測値について調べると、

$$V_{500}/V_{300} = 1.025 \pm 0.062$$

となり、(3) (4) 式の係数の比にほぼ等しくなる。

3.2 冷却速度と硬度の関係

試料中央の平均硬度 (試料の中心部 100 mm (10 mm 間隔) 11 点の平均値) と冷却速度との関係を Fig. 5 に示す。測定値がばらついているから、定量的関係は得られないが、両者の間には、

硬 度 \propto 冷却速度

の関係のあることがわかつた。

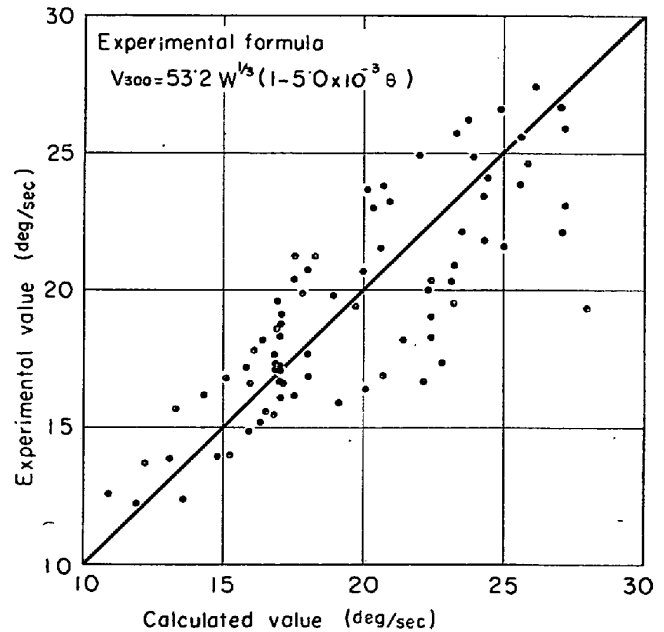


Fig. 4. Comparison of cooling rate between experimental values and calculated values from experimental formula.

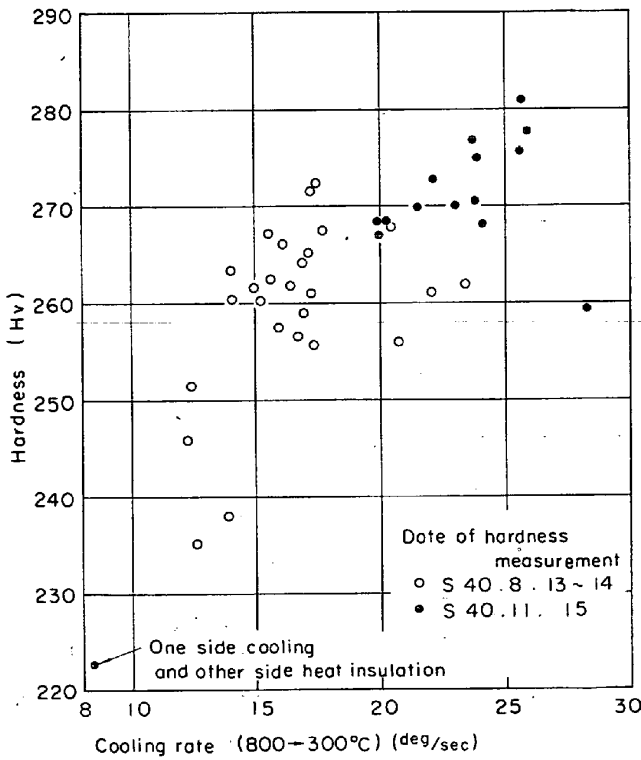


Fig. 5. Relation between cooling rate and hardness.

4. 結 言

これまでの結果をまとめると、

(i) 厚み 28 mm, 初期温度 930°C の炭素鋼の冷却速度 V_{500} (800→500°C), V_{300} (800→300°C) と冷却水々量 W , 水温 θ の間には、

$$V_{500} = 54 \cdot 3 W^{1/3} (1 - 5 \cdot 0 \times 10^{-3} \theta)$$

$$V_{300} = 53 \cdot 2 W^{1/3} (1 - 5 \cdot 0 \times 10^{-3} \theta)$$

[V_{500} , V_{300}]: deg/sec

[W]: $l/cm^2 \cdot min$ 範囲 0.02~0.30

[θ]: °C " 0~100

の関係のあること。

(ii) 上記試料の場合、 V_{500} と V_{300} はほぼ等しいこと。

(iii) 上記試料の場合、冷却速度と硬度は比例関係にあること。
などがわかった。

(262) 炭素鋼の強制冷却による熱伝達率測定実験について

(鋼材の冷却に関する研究—III)

八幡製鉄, 技術研究所

島田 道彦・〇三塚 正志

On Heat Transfer Coefficient by Forced Water Cooling to Carbon Steel.

(Study on cooling of steel—III)

Michihiko SHIMADA, Masashi MITSUTSUKA.

1. 緒 言

各種設備の設計, 工程の自動制御, 熱応力の解析など

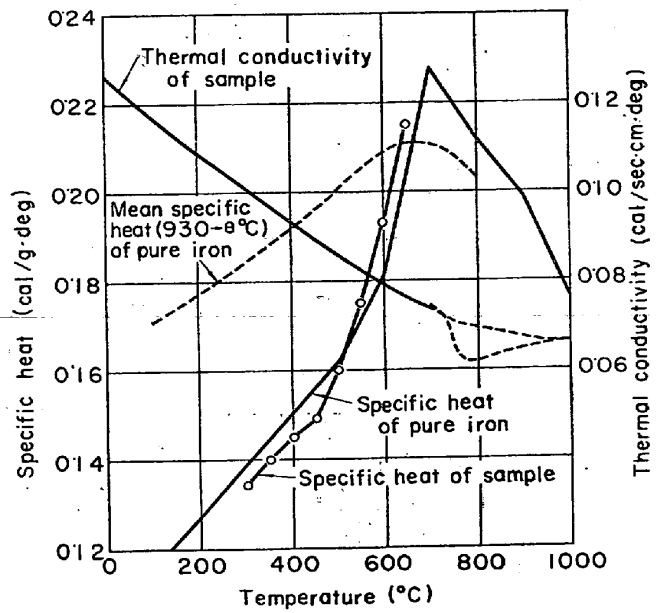


Fig. 1. Specific heat and thermal conductivity of sample.

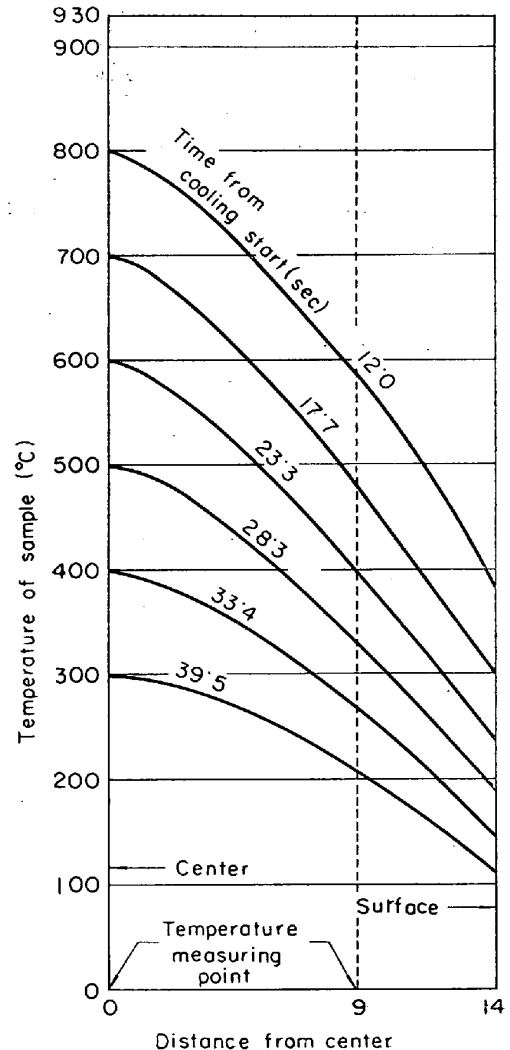


Fig. 2. Temperature distribution in sample.