

論 文

UDC 621.785.616 : 621.78.063 : 621.78.062 : 66.069.83

噴霧および衝風の冷却能に関する研究*

島田 実**・武田 信男***・赤羽 晋****

Quenching Abilities of Sprayed Jet Cooling and Air Blast Cooling

Minoru SHIMADA, Nobuo TAKEDA, and Susumu AKABANE

Synopsis:

With the purpose of utilizing sprayed jet cooling and air blast cooling to the heat treatment of the steel the heat transfer coefficient α was measured and some considerations were given.

The main results obtained are as follows:

a) Air blast cooling

Following empirical formula are obtained with the range of experiments, $3 \times 10^3 \leq Re \leq 2 \times 10^4$, $0.02 \leq D \leq 0.04$ [m] and $100 \leq T \leq 600$ [°C].

$$Nu_a = 3.25 Re^{0.45} \left(\frac{D}{D_0} \right)^{-0.1} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{0.2}$$

Nu_a : Nusselt number Re : Reynolds number

D : diameter of specimen disc v : velocity of air $D_0=0.03$ [m] $v_0=8.94$ [m/sec]

b) Sprayed jet cooling

1. There are three stages in the cooling process; they are termed as the high temperature, transition, and low temperature stages. The cooling mechanisms in these stages are considered.

2. In the high temperature stage, α is the sum of those of air blast cooling and the cooling due to evaporation of water droplets.

3. The fraction of water quantity, K , which is effective for cooling by evaporation in the high temperature stage does not change with the water quantity and the temperature, when the sprayed jet velocity is constant.

4. The value of K increases with v . In the range of this experiments following equation is obtained.

$$K = 3.2 \times 10^{-v} \quad v: [\text{m/sec}]$$

1. 緒 言

噴霧冷却および衝風冷却を熱処理に適用することを目的として、鋼の焼入れにおいて重要となる温度範囲に対し、平板を用いて、熱伝達率を求めた。ノズルより噴出する空気で水を霧化する気流噴霧器を用い、空気流とともに霧流を試験片に吹きつけた。これを噴霧冷却と名づけることにする。水の供給を停止すれば、空気流のみによる冷却を行なうことができる。これを衝風冷却と名づけておく。

噴霧冷却において、空気流速と霧流量を変化させることにより、冷却速度を空冷から油冷程度まで広範囲に変えることができるものと期待される。また、冷却途中で噴霧冷却から衝風冷却に切りかえれば、たとえば Ms 点以下を緩冷することも可能である。高周波加熱による鋼の局所焼入れなどの場合は、鋼内部への熱伝導も被焼入部の冷却に関与し、表面からの奪熱が急速でなくても焼入硬化可能となりえるから、噴霧焼入れの適用に好都合であろう。

噴霧冷却については多くの研究報告があるが¹⁾、基礎

* 昭和50年4月本会講演大会にて発表 昭和50年7月9日受付 (Received July 9, 1975)

** 宇都宮大学工学部 (現在: 日本冶金工業(株) College of Engineering Utsunomiya University 2753 Ishi-machi Utsunomiya-shi 321-31)

*** 宇都宮大学工学部 工博 (College of Engineering Utsunomiya University)

**** 宇都宮工業高等学校 (Utsunomiya Technical High School)

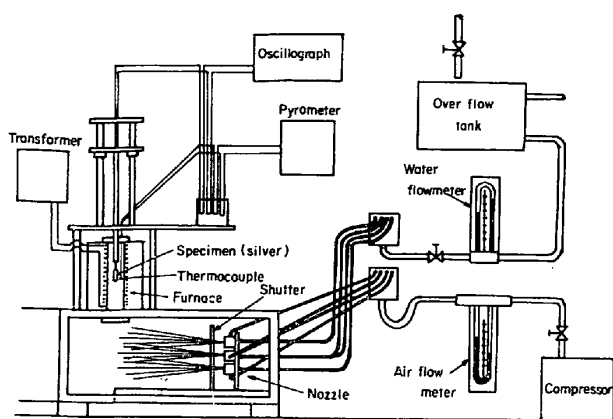


Fig. 1. Experimental apparatus.

的なものは少なく、 300°C 程度以下での熱伝達を対象としたものが主である²⁾。武山の研究³⁾ はより高温までとりあつかっているが、金属細線を用いて熱伝達率を求めたものであり、面の冷却には適用しがたい。

著者らは、直径 20 mm, 30 mm および 40 mm の平板を用い、約 700°C 以下の温度に対して熱伝達率を求め、結果について考察を行なった。

2. 実験方法

2.1 実験装置

Fig. 1 は冷却曲線を測定する実験装置の概要である。

試験片を所定加熱温度 800°C に電気炉中で加熱した後、炉の下ふたを開いて試験片を降下させ、ただちにシャッターを開いて噴霧または衝風を吹きつけ、試験片の時間に対する温度変化をペン書きオシログラフに記録させた。オシログラフの立上り時間は 0.018sec であり、本実験の範囲に対しては応答十分である。

噴霧器としては Fig. 2 (a) に構造を示した気流噴霧器を用い、これを 4 個、Fig. 2 (b) の位置に配し、試験片面に均一分布の空気流および霧流があたるようにした。

水は井戸より給水された水道水であり、オーバフロー・タンクから水流量計、弁、分配器を経て噴霧器に導かれる。他方、空気はコンプレッサから、弁、空気流量計、分配器を経て噴霧器に導かれる。水はノズルより噴出する空気によつて霧化され、空気とともに試験片に吹きつけられる。水の供給を停止すれば衝風冷却となる。

2.2 空気流速分布と霧量分布

噴霧器を上述のように 4 個配置した場合について、ピトー管を用い、空気流速分布を測定した結果を Fig. 3 に示す。これより、ノズルからの距離 $L=400\text{mm}$ および 500mm の位置では、本実験で用いた直径 40 mm 以

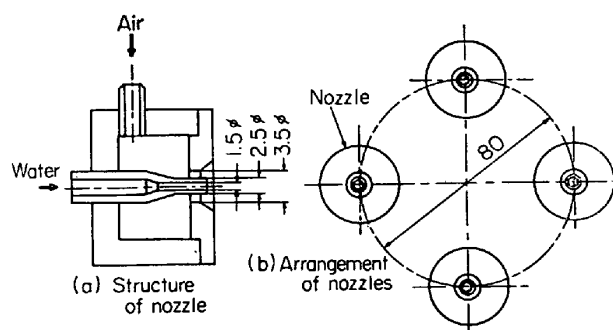


Fig. 2. Spray nozzle.

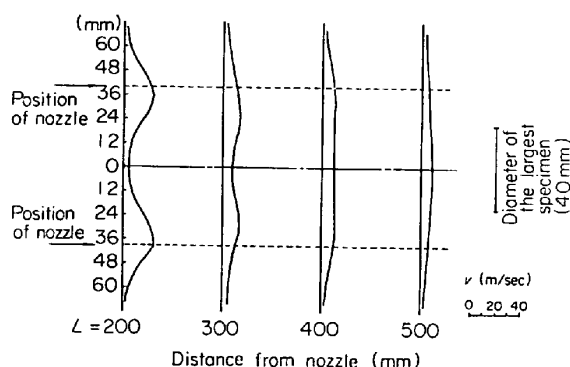


Fig. 3. Velocity distribution of air.
(Quantity of air $Q_a=3194\text{cm}^3/\text{sec}$)

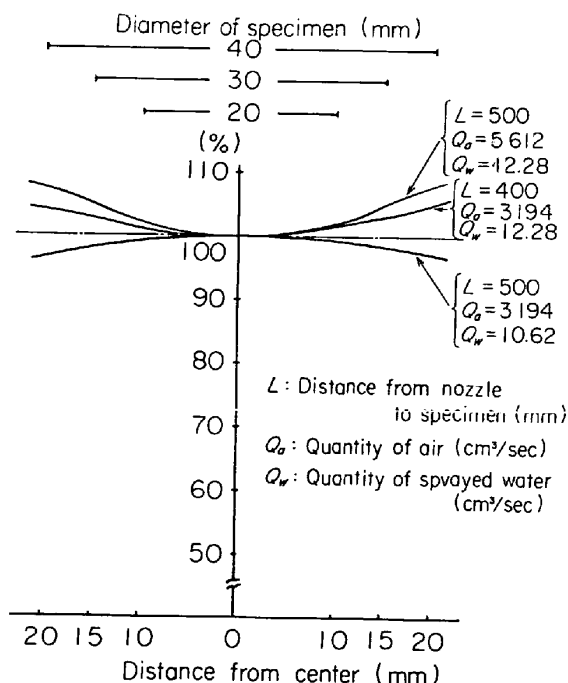


Fig. 4. Quantity distribution of sprayed water droplets.

下の試験片に対し、その全面にほぼ様な空気流速分布をえられることがわかる。ここでは、ノズルを通る空気流量 $Q_a=3194\text{cm}^3/\text{sec}$ の場合を示したが、本実験で採

用した他の空気流量の場合についてもほぼ同様であつた。

Fig. 4 に霧量分布測定結果を示す。これは上述のノズル 4 個の場合につき、400 mm または 500 mm はなれた距離に、内径 6 mm の集滴管を多数配置し、噴霧を捕集して、単位時間、単位面積あたりの霧量を求め、中央位置における霧量を 100% として分布を表わしたものであつて、距離 400 mm および 500 mm の位置で、試験片全面に対し、一様に近い霧量分布がえられることがわかる。

以上の結果から、本実験ではノズルから試験片までの距離を 400 mm または 500 mm とすることとした。

後述の実験結果には、試験片位置で測定した空気流速 v m/sec およびこの位置で求めた霧流量 Q mm³/mm²·sec を冷却条件として示してある。

2.3 噴霧粒径

噴霧粒の平均直径 d_0 を、抜山、棚沢の式⁴⁾を用いて計算した。本実験で行なつた範囲の水流量 Q_w cm³/sec、空気流量 Q_a cm³/sec (いずれもノズルを通る単位時間あたりの流量) およびノズル出口での空気速度 v_a m/sec に対して、 d_0 を算出した結果は Table 1 のとおりである。抜山、棚沢によれば、最大粒径はほぼ $2.3 d_0$ となる。

なお実験結果および考察に示してある流量および流速は、試験片位置での Q mm³/mm²·sec および v m/sec の測定値であり、Table 1 からただちにそれらの場合の d_0 を知ることはできないので、実験結果の図中等に d_0 の値を記入しておいた。

2.4 試験片

試験片は、厚さ 2 mm、直径 20 mm、30 mm および 40 mm の銀円板とした。銀を用いた理由は、熱伝導がよく、変態をおこさず、また、高温における酸化が少なく

Table 1. Mean diameter of sprayed water droplets, d_0 .

v_a m/sec	Q_a cm ³ /sec	Q_w cm ³ /sec	d_0 μ m
199	3 194	5.51	94
		10.62	209
		15.5	349
		20.0	560
330	5 612	5.51	44
		10.62	93
		15.5	153
		20.0	218

v_a : velocity of air at nozzle outlet, m/sec
 Q_a : quantity of air flowed out from nozzle, cm³/sec
 Q_w : quantity of water flowed out from nozzle, cm³/sec

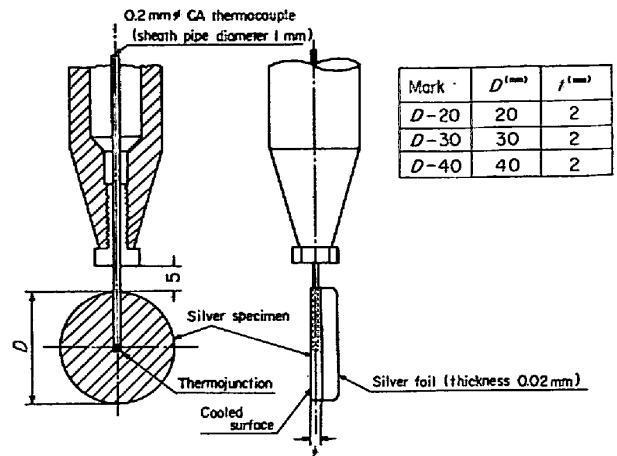


Fig. 5. Specimen.

て実験をくりかえしても最初の状態に近い表面を保てるためである。

試験片の構造を Fig. 5 に示す。試験片円周面から中心に向けて、直径 1 mm の穴をあけ、これにシース管外径 1 mm、直径 0.2 mm の CA 熱電対を、その溶接先端が穴底で銀試験片に密着するように挿入し、試験片の温度を測定した。熱電対先端の試験片への接触状態を検討するために、熱電対先端を硝酸銀よりの銀析出法⁵⁾で銀試験片に埋め込んだ場合と結果を比較したが、両者にとくに差が認められなかつた。銀円板の冷却を一面からのみ行なわせるために、その裏面を厚さ 0.02 mm の銀箔でカバーした。カバーと銀板との間隔は約 3 mm であり、この間には空気が存在している。銀板とカバーを、銀析出法により、その周辺で接着した。銀箔およびこれと銀板との間の空気の熱容量は、銀円板の熱容量の 1% 程度となるので、その影響を無視し、銀板裏面は熱的に絶縁状態にあるものとしてあつた。

また、高温の試験片からの放射による放熱については 700°C における放射熱量を計算し、これより熱伝達率を求めた結果、2 kcal/m²·hr·°C の程度で小さいので、これを無視することとした。

銀板の冷却面は鏡面仕上げとした。試験片の使用回数は 20 回程度までとした。

熱伝達率 α を求めるには、後述の (1) 式を用いたが、この式は試験片全体が一樣温度を保ちつつ冷却する場合に成立する。そこで、800°C に加熱した厚さ 2 mm の銀板を種々の熱伝達率 α のもとで一面から冷却した場合に銀板表面および裏面の温度がいかに変化するかを、ハイスラ線図⁶⁾を用いて求めた。その結果を Table 2 に示す。ただし、銀の熱伝導率を 350 kcal/m·hr·°C、比重量を 10 490 kg/m³、比熱を 0.056 kcal/kg·°C とした。

Table 2. Comparison of temperature of both side surfaces of silver plate, thickness 2 mm, cooled from one surface only with heat transfer coefficient α .

α kcal/m ² ·hr·°C	Temperature °C of cooled surface	Temperature °C of another surface
3 500	688.4	700
	491.8	500
	295.5	300
	98.6	100
1 750	694.5	700
	496.1	500
	297.7	300
	99.3	100
350	697.3	700
	498.1	500
	298.9	300
	99.7	100

衝風冷却の場合は $\alpha=300$ kcal/m²·hr·°C 程度であり、Table 2 をみると表裏面の温度差は 3°C 以下であることがわかる。また噴霧冷却の場合でも高温域（これについては後述）での α は、本実験の範囲では最大 850kcal/m²·hr·°C 程度であり、したがって表裏面の温度差は 5°C に達しないものとみられる。そこで、衝風冷却および噴霧冷却の高温域に対しては、試験片が一様温度を保ちつつ冷却するとみなしても誤差は小さいものと考えられる。

2.5 熱伝達率 α の求め方

α の値を高い精度で求めるには、定常状態でこれを求めることが望ましい。しかしこの場合は高温での測定に困難を生じる。著者らは、非定常状態で冷却曲線から α を求める方法を採用した。定量的に決定しがたい幾分の誤差を伴うことは、この種の実験ではやむをえないものとする。

表面積 F m²、温度 T °C の金属板を T_0 °C のふん囲気中においたとき、金属板の温度が dt 時間に dT °C だけ降下したとすると、次式が成立する。

$$\alpha \cdot F \cdot (T - T_0) dt = -C \cdot \gamma \cdot V \cdot dT \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 α : 熱伝達率 kcal/m²·hr·°C, C : 金属板の比熱

kcal/kg·°C, γ : 金属板の比重量 kg/m³,

V : 金属板の体積 m³

$\gamma V = W$ とし、時間を sec で表わすと

$$\alpha = \frac{3600WC}{F} \cdot \left(-\frac{dT}{dt} \right) \cdot \frac{1}{T - T_0} \dots\dots\dots (2)$$

そこで、冷却曲線（温度～時間曲線）に接線をひいて dT/dt を求めれば、各温度における α を上式を用いて計算することができる。

3. 実験結果

3.1 衝風冷却

Fig. 6 (a) は測定した冷却曲線の例であり、これより熱伝達率 α および熱流束 q を求めると、それぞれ同図 (b) および (c) をえる。 T_0 は室温をとつた。

空気流速 v を変えて α を求めた結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 および以下の図に示す衝風冷却における α の値は、いずれも同条件で実験を行なつた 5 回以上の結果の平均であり、値の散る範囲は $\pm 5\%$ 程度であつた。

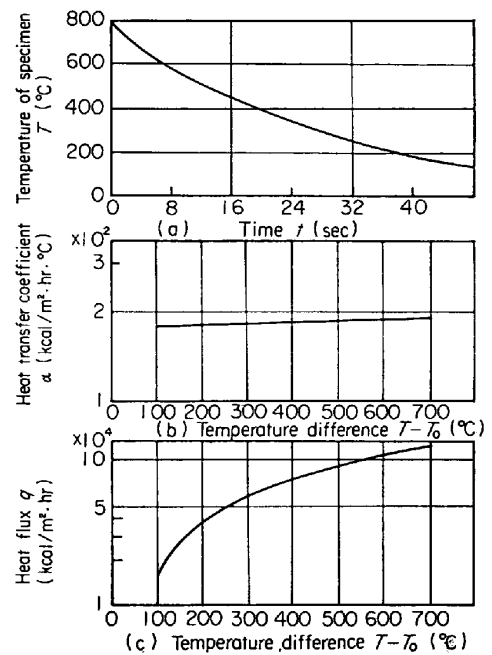


Fig. 6. Example of result obtained with air blast cooling. Specimen : D-30, room temperature $T_0=20$ °C, velocity of air at the position of specimen $v=8.9$ m/sec.

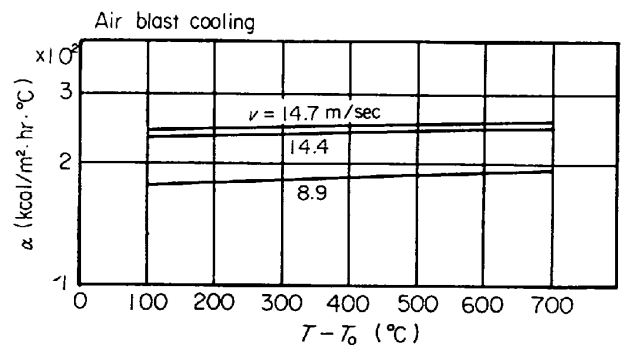


Fig. 7. Value of α , velocity of air v is changed. Specimen : D-30, $T_0=18\sim 20$ °C.

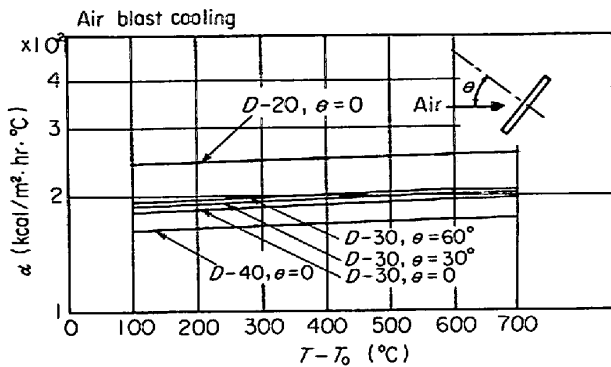


Fig. 8. Value of α , inclination or diameter of specimen is changed. $v=8.9\text{m/sec}$, $T_0=18\sim 20^\circ\text{C}$.

v の増加により α は増加する。

Fig. 8 は、試験片を空気流に対して傾けた場合、および試験片直径を変えた場合の結果を示したものである。傾斜の影響は本実験の範囲では少ない。試験片直径が小になると α は増加する。試験片面上の流れの状態は、試験片の大きさや形状の影響を受けて、 α の値が変わってくる。形状の影響については実験を行なわなかった。

なお、Fig. 7, Fig. 8 に示されているように、試験片と空気との温度差 $T-T_0$ が $100\sim 700^\circ\text{C}$ の範囲では、温度差が変わっても α の値の変化は少ない。

3.2 噴霧冷却

噴霧冷却についての以下の実験結果は、同条件で 3~4 回の実験を行なったものの平均をとって示す。 α の値の散る範囲は $\pm 10\%$ 程度であった。また、噴霧中の空気流速を測定することは非常に困難であるので、空気のみを噴出させた場合の試験片位置における流速をもって、空気流速として示してある。実際にはこれより速度が低下するはずであるが、速度を代表する値としてこれを用いた。

T_0 としては水の温度をとった。

Fig. 9 は、 v を一定にして Q を変えた場合の α および Q をほぼ一定にして v を変えた場合の α を求めた結果である。 Q の増加により、また v の増加により、 α は増加する。霧粒の速度、霧粒径 d_0 も影響するものと考えられるが、本実験はこれらの影響を分離して検討するまでにはいたっていない。 d_0 については、その値を書きそえて参考とするにとどめる。

Fig. 10 は v および Q を一定にして、試験片直径を変えた場合の結果である。直径が小さくなると α は増加する。

Fig. 11 は冷却曲線と熱流束曲線を説明的に併示したものである。冷却過程は、これを 3 段階に分けることが

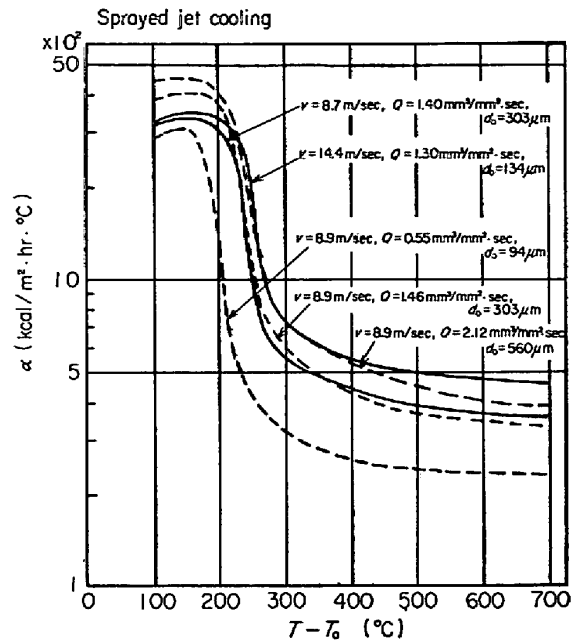


Fig. 9. Value of α , Specimen: $D=30$, $T_0=15^\circ\text{C}$. Full line curve: Velocity of air v is changed and quantity of water droplets Q is nearly equal. Broken line curve: Q is changed and v is equal.

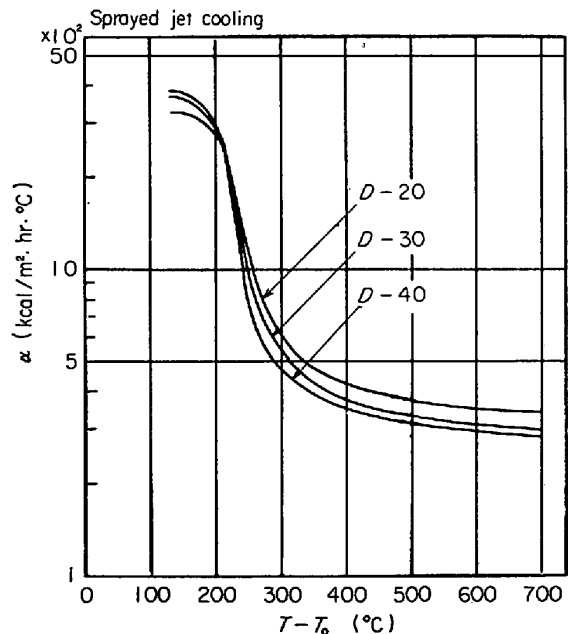


Fig. 10. Value of α ; diameter of specimens are changed. $v=8.9\text{m/sec}$, $Q=1.46\text{ mm}^3/\text{mm}^2\cdot\text{sec}$, $d_0=303\mu\text{m}$, $T_0=15^\circ\text{C}$.

できる。変曲点 P および Q で冷却曲線に接線を引き、その交点を R とする。R における温度を特性温度と呼ぶことにする。特性温度は Fig. 12 に示すように、霧流量の増加により直線的に上昇し、空気速度の増加により高温側に移行している。

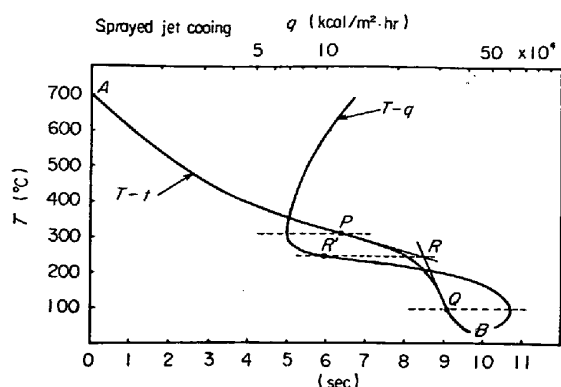


Fig. 11. Three stages in cooling process.
 A~P: high temperature stage, P~Q: transition stage, Q~B: low temperature stage.
 Temperature at R: characteristic temperature.

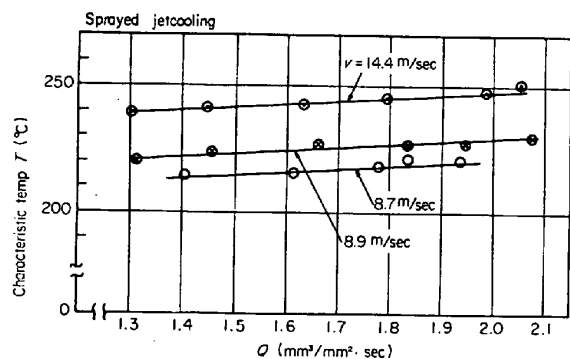


Fig. 12. Characteristic temperature related with Q and v . Specimen: $D=30$, $T_0=15^\circ\text{C}$.

4. 考 察

4-1 衝風冷却

衝風冷却の場合はヌッセルト数を Nu_a とする。 Nu_a はレイノルズ数 Re とプラントル数 Pr の関数となるが、実験結果を整理してみると、このほか試験片直径 D と流速 v の項も加える必要を生じたので、これを次式の形であたえた。

$$Nu_a = C \cdot Pr^i \cdot Re^j \left(\frac{D}{D_0}\right)^k \left(\frac{v}{v_0}\right)^l$$

係数と指数を実験結果より定め、次式をえた。

$$Nu_a = 3.25 Re^{0.45} \left(\frac{D}{D_0}\right)^{-0.1} \cdot \left(\frac{v}{v_0}\right)^{0.2} \dots (3)$$

ここに、 D_0 : 基準試験片直径 (0.03m とした)

v_0 : 試験片位置における基準空気流速 (8.9m/sec とした)

なお、 Pr は 0.70~0.72 の範囲となり変化が少ないので、これを 0.71 とし係数 3.25 の中に含めた。また Re の中の長さの代表値としては試験片直径をとり、空気

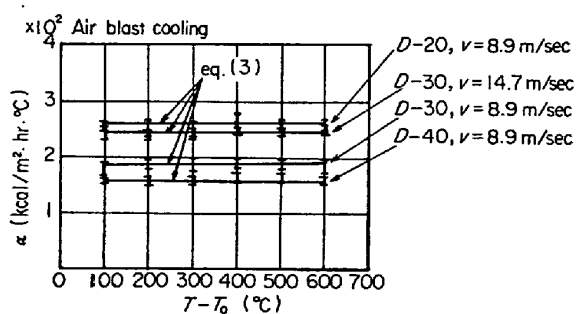


Fig. 13. Comparison of measured value of α with calculated results by eq. (3).
 $T_0=15^\circ\text{C}$.

の動粘性係数 ν および熱伝導率 λ に対しては、試験片と室温空気との平均温度についての値を採用した⁷⁾。本実験式は次の範囲について求めたものである。

$$3 \times 10^3 \leq Re \leq 2 \times 10^4$$

$$0.02 \leq D \leq 0.04 \text{ [m]}$$

$$100 \leq T \leq 600 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Fig. 13 は、上の実験式で計算した結果を図示し、これを実験値と比較したものである。実験結果にはばらつきがあり、 α の値についてはある幅をもつて考えなければならぬ。

4-2 噴霧冷却

Fig. 11 に示したように、冷却曲線は P 点まではなだらかに降下する。この点までの温度範囲では、霧粒が試験片面に接触すると同時に、あるいはその直前に飛散するように観察された。したがって、霧粒の蒸発のごく一部のみが試験片の冷却に有効に関与することとなり、冷却速度は大とならない。この範囲を高温域と呼ぶこととする。図の Q 点付近で冷却速度最大となる。冷却速度が大となる理由は、霧粒が試験片面にあたつて接触し、この接触面での急速な蒸発により奪熱されるためと考えられる。試験片温度がこれより降下すると、付着流動する水への伝熱で冷却される状態となり、冷却速度は減少して常温にいたる。Q 点より下の範囲を低温域と呼ぶこととする。

P 点と Q 点との間の温度範囲では、P 点における状態と、Q 点における状態とが混在しているものと考えられる。試験片温度が P 点より降下するにつれて、Q 点におけるような急速蒸発の割合が増加し冷却速度が大となる。試験片を観察していると P から Q にいたる温度範囲で、試験片から多量の蒸気が発生してくるのが認められた。Q 点付近で、周囲に発生していた蒸気は、噴霧流により、音を発して一時に試験片後方に吹き飛ばされていく。P 点から Q 点までの範囲を遷移域と呼ぶこととする。

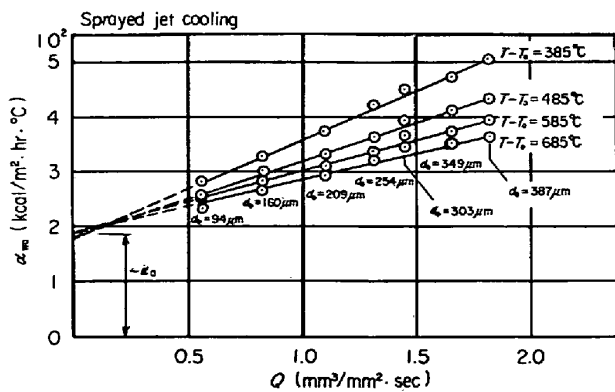


Fig. 14. Relation between Q and α_{wa} . Value of α_{wa} has a tendency to converge to α_a as Q decreases to zero. α_a is heat transfer coefficient in the case of air blast cooling. Specimen : $D-30$, $v=8.9\text{m/sec}$, $T_0=15^\circ\text{C}$.

以下噴霧冷却の高温域に注目して考察を進めることとする。この場合の熱伝達率を α_{wa} とする。Fig. 14 は α_{wa} と霧量 Q との関係を示し、試験片と霧粒との温度差 $T - T_0 = 385^\circ\text{C}$, 485°C , 585°C および 685°C 、空気流速 $v=8.9\text{m/sec}$ の場合について表わしたものである。これを見ると、それぞれの温度差に対し、 α_{wa} は Q とともに直線的に増加している。これらの直線を $Q=0$ にまで延長し、これと縦軸との交点をとると、この点における熱伝達率は Fig. 7 に示した $v=8.9\text{m/sec}$ の衝風冷却の場合の値とほぼ一致している。試験片直径および v を変えた場合についても同様の結果がえられた。そこで衝風冷却における熱伝達率を α_a とし、 $\alpha_{wa} - \alpha_a = \alpha_w$ とおくと、 α_w は霧粒のみの冷却による熱伝達率と考えることができる。ただし、正確には霧を含む場合は空気流速はやや低下しているはずであるが、噴霧中の空気流速測定が困難なため、ここでは、このことを考慮に入れないうでとりあつかっている。そこで、

$$\alpha_{wa} = \alpha_a + \alpha_w \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 α_{wa} は噴霧冷却の高温域における熱伝達率である。

Table 3 は v および Q を等しくし、試験片直径を変えた場合につき、高温域における α_w を求めた結果を示したものである。試験片直径が小になると α_w がやや減少する傾向があるが、 400°C 付近では直径の影響が現われなくなる。ただし、霧粒の大きさが変れば、霧の気流に乗る状態が変つてきて、上の影響が変化することがあるものと考えられる。

温度差 $T - T_0$ 、熱伝達率 α_w とすると、 dt 時間に表面積 F より奪われる熱量は $\alpha_w F(T - T_0)dt$ である。一方、単位時間、単位面積あたりの霧流量を Q とし、 dt 時

Table 3. Value of α_w for different diameter of specimen.

$v=8.9\text{m/sec}$, $Q=1.46\text{mm}^3/\text{mm}^2\cdot\text{sec}$,
 $d_0=303\mu\text{m}$, $T_0=15^\circ\text{C}$

$T - T_0$ °C	Diameter mm of specimen	α_w kcal/m ² ·hr·°C
685	20	86
	30	101
	40	108
585	20	98
	30	118
	40	125
485	20	125
	30	140
	40	147
385	20	182
	30	182
	40	179

Table 4. Value of K .

v m/sec	Q mm ³ /mm ² ·sec	$T - T_0$ °C	K
8.8	0.55	385	0.028
8.8	0.55	685	0.028
8.8	1.10	685	0.028
9.0	1.46	685	0.029
14.7	0.45	685	0.047
14.4	2.04	685	0.046
4.4	0.73	485	0.014

$T_0=15^\circ\text{C}$

間、面積 F における霧量 $Q \cdot F \cdot dt$ がすべて昇温、蒸発するものとすれば、 $Q F dt \gamma \{539 + (100 - T_0) C_p\}$ だけ奪熱されることになる。ここに γ は比重量、 C_p は比熱である。しかし実際には霧粒は試験片面で飛散するから、霧粒が昇温、蒸発して有効に冷却に関与する割合を K とすると、次式のようなになる。

$$\alpha_w F(T - T_0)dt = K Q F dt \gamma \{539 + (100 - T_0) C_p\} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式により、実験でえられた α_w の値を用い、 v 、 Q および $T - T_0$ により K がいかに変わるかを求めた結果を Table 4 に示す。これを見ると、 v が等しければ Q が変化しても K の値は変わらない。 v が大きいと K は大となる。 $T - T_0$ が 385°C と 685°C とで K は変わらない。 v と K との間には、この実験の範囲に関し、Fig. 15 に示す次式の直線関係がえられた。

$$K = 3.2 \times 10^{-3} v \dots\dots\dots (6)$$

(3)式および(5)式、(6)式より求めた結果を(4)式に代入し、えられた値を実験値と比較したものをFig. 16に示す。

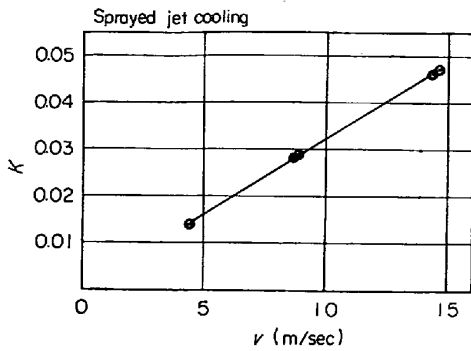


Fig. 15. Relation between K and v .
 K is defined in eq.(5).

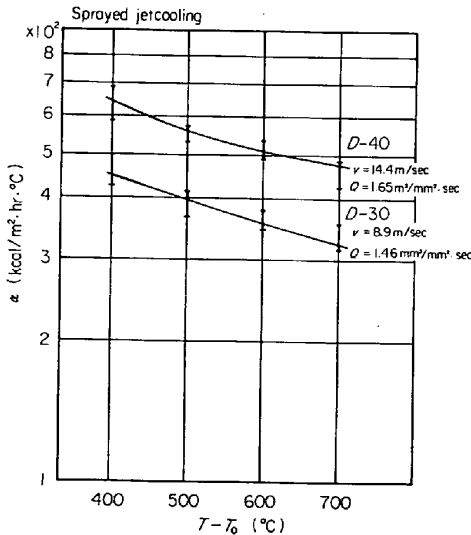


Fig. 16. Comparison of measured value of α with calculated results by eq. (3), (5), (6) and (4). $T_0=15^\circ\text{C}$.

5. 結 言

直径 20 mm, 30 mm および 40 mm の円板を, 噴霧および衝風で冷却した場合の熱伝達率 α を, 700°C 以下の温度範囲に対して求め, 次の結論をえた.

衝風冷却について

- 1) 空気流速および試験片直径一定の場合, 試験片と空気との温度差 $T-T_0$ が $100\sim 700^\circ\text{C}$ の範囲で, α の値の変化は少ない.
- 2) 空気流速が大になると α は増加する.
- 3) 試験片直径が小になると α は増加する.

4) 試験片を空気流に対して傾けても, 本実験の範囲では α の値に大きな差が表われなかつた.

5) $3 \times 10^3 \leq Re \leq 2 \times 10^4$, $0.02 \leq D \leq 0.04$ [m], $100 \leq T \leq 600$ [$^\circ\text{C}$] の範囲につき, 次の実験式をえた.

$$Nu_a = 3.25 Re^{0.45} \left(\frac{D}{D_0}\right)^{-0.1} \left(\frac{v}{v_0}\right)^{0.2}$$

ここに, $D_0=0.03\text{m}$, $v_0=8.94\text{m/sec}$ である.

噴霧冷却について

1) 冷却過程は, これを 3 段階に分けられる. これら を高温域, 遷移域および低温域と名づけ, 考察を行つた.

2) 流速が大きいと, また霧流量が多いと, α は増加する.

3) 試験片直径が小さくなると, α は増加する.

4) 高温域における熱伝達率 α_{wa} は, 衝風冷却による α_a と, 霧粒による α_w との和として表わすことができる.

5) 高温域における α_w の値は, 試験片直径が小になるとやや減少する傾向が認められたが, 400°C 付近では差が現われなくなつた.

6) 高温域で霧粒が昇温蒸発して有効に冷却に関与する割合を K とし, これを求めた結果, K の値は霧流量が変つても変化せず, 空気流速 v に対して次式の関係にあることが知られた.

$$K = 3.2 \times 10^{-3} v$$

最後に, 本研究を行なうにあたり, 種々助言と協力をいただいた淵沢定克講師, 小室秀一助手ならびに実験を補助された学生諸氏に深く感謝する次第である.

文 献

- 1) 中野ほか: 鉄と鋼, 50(1964)5, p. 761
田岡ほか: 鉄と鋼, 58(1972)11, S 511
三塚ほか: 鉄と鋼, 61(1975)4, S 160
- 2) 戸田: 日本機械学会論文集, 38(1972), p. 581
戸田: 日本機械学会論文集, 39(1973), p. 2160 p. 2172, p. 2186
- 3) 武山: 日本機械学会論文集, 27(1961), p. 1319
- 4) 抜山, 棚沢: 日本機械学会論文集, 5(昭14)18, p. 136
- 5) 多賀谷, 田村: 日本金属学会誌, B 15(昭26), p. 536
- 6) M. P. HEISLER: Trans. ASME, 69(1947), p. 227
- 7) 栗野ほか: 機械工学便覧, (昭35) 11-10, 日本機械学会