

技 術 報 告

階段冷却法を用いたビレット強制水冷装置*

三塚正志**・住友博和***・佐保巧建****・岡田弘義*****

New Intermitted Type Billet Cooling Bed

Masashi MITSUTSUKA, Hirokazu SUMITOMO, Noriyuki SAHO, and Hiroyoshi OKADA

Synopsis:

The paper presented the studies of billet cooling bed and the development of new intermitted cool type billet cooling bed at the Yawata Works of Yawata Iron & Steel Co. By the use of new cooling device, the cooling capacity of cooling bed was improved, especially the deformation of billet during cooling was almost eliminated.

(Received Oct. 22, 1969)

1. 緒 言

圧延後の鋼材を強制冷却することは、冷却時間の短縮、冷却床の小型化および作業環境の改善に有効である。したがって、材質や形状に悪影響のない範囲内で、強制冷却が行なわれている。

低炭素鋼の場合、変態終了後の水冷は、ほとんど材質に悪影響しないが、高炭素鋼や合金鋼の場合、水冷によって割れる危険性がある。後者は、非水冷材として、処理されている。

一方、最終製品の形状に対する要求は非常にきびしいが、中間製品のそれは、後工程の作業性を低下させない程度までは、許容される。形状に悪影響を与える原因は不均一冷却であり、これは、スキッド上の鋼材を、上下面から水冷するとき、避けることはできない。この不均一冷却による鋼材の変形を、ある程度まで防止するには筆者の一人がすでに発表した¹⁾²⁾階段冷却法を採用することも、一つの手段である。これは、水冷と空冷を交互に繰り返しながら冷却する方法で、水冷期間に生じた温度分布の不均一を、空冷期間にある程度まで回復させることによつて、鋼材内の不均一な温度差を、ある限度内におさえ、塑性変形による永久変形を軽減する方法である。

階段冷却法を採用したビレット強制水冷装置が、当製鉄所において、昭和41年7月から稼動しているので本装置の考え方、設計内容などを報告する。

2. 強制水冷装置の考え方

本水冷装置の設置に際し、冷却効果、ビレットの曲がり防止法および作業性について検討した。

2.1 冷却効果

筆者の一人がすでに発表したように³⁾、鋼材を水冷するとき、とくにソフトクーリングするとき、その冷却効果は、水滴と鋼材が直接接触する範囲で急増する。すなわち、Fig. 1に示すように、自然冷却による放熱量は、鋼材温度の降下につれて急減するのに対し、水冷によるそれは、300~350°C以下で急増する。したがって高温部を自然冷却し、水冷効果の大きい低温部を水冷するのが望ましい。

しかし、今回の水冷装置は、既設工場の冷却床（長さ25m）に設置する関係上、水冷効果の小さい600~700から水冷せざるを得なかつた。

2.2 曲がり防止対策

相対する面を均等に冷却すれば、ビレットは曲がらない。しかし、スキッド上に密着して並んでいる70~100mm□×7~12mlビレットの上下面を均等に冷却することは不可能である。その理由は、i)上下面の冷却

* 昭和44年10月22日受付

** 八幡製鉄(株)八幡製鉄所技術研究所

*** 八幡製鉄(株)君津製鉄所

**** 八幡製鉄(株)八幡製鉄所八幡製造所

***** 八幡製鉄(株)本社

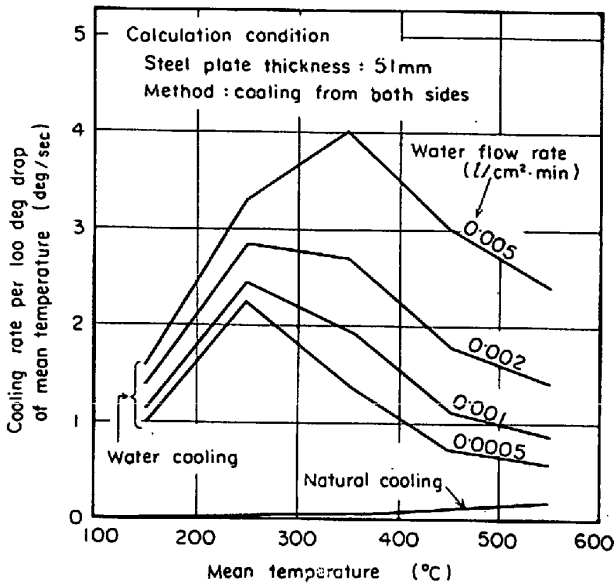


Fig. 1. Comparison of the cooling effect of forced water cooling with of natural cooling.

機構が相異なること, ii) ノズルの閉塞などによつて, 冷却効果が不均一になること, iii) スキッド幅が 230 mm と広いため, それに乗っている部分の冷却効果が小さいことなどである. i) は, 噴射方法の改良や噴射流量の制御によつて, ii) は, 丹念なノズルの整備と高度な冷却水の浄化によつて, iii) は, スキッドを狭くすることによつて, ある程度まで解決できる. しかし, 既設工場に設置する装置に, 上記条件を求めることはできない. したがつて, 階段冷却法を採用し, 消極的に, ビレットの曲がりを防止することにした.

Table 1. Specification of spray pipe in the cooling test apparatus.

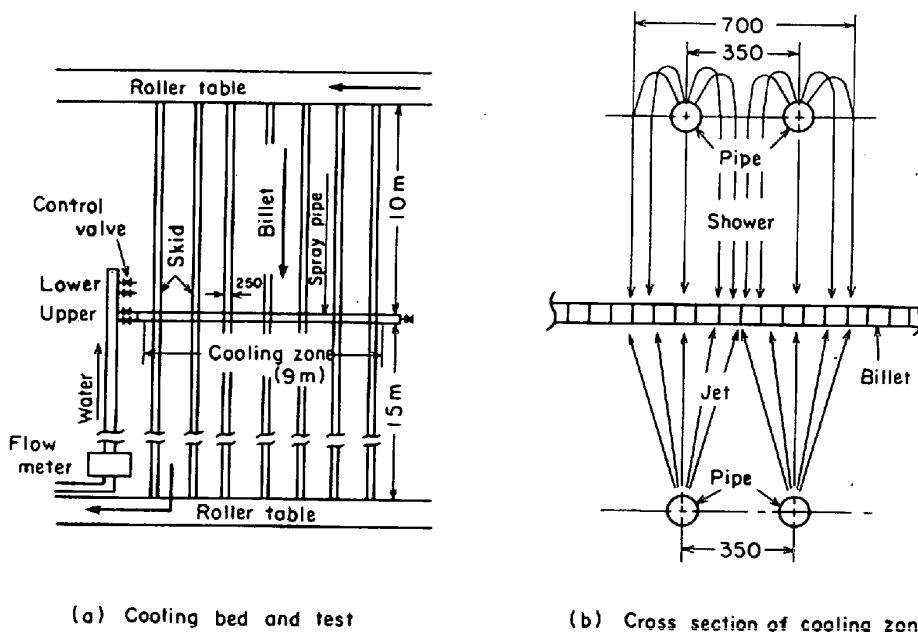
Item	Size and number
Length	Total : 11m, Hole section : 9m
Diameter	3 B
Number of pipes	Upper : 2, Lower : 2
Number of holes	643/pipe
Diameter of hole	1.5 mm

2.3 作業性

作業性に関しては, i) ビレットの処理作業, ii) 発生蒸気の除去, iii) 冷却帯内の材料除去および iv) 非水冷材や短尺材の混入などに対する対策を講じた. i) については, 冷却床出側でのトップ材の仕分け作業やビレット搬出用起重機の故障に備えて, 8~10m の余裕が必要である. このため, 水冷装置は, 冷却効果の小さい高温側に設置せざるを得なかつた(冷却床全長は約25m). ii) については, 建屋内に蒸気が充満すると, 起重機の運転, 冷却床近傍での作業および屋内配線などへ影響するから, 蒸気を強制的に屋外に排出せねばならない. iii) については, この冷却には, ビレット移送用装置がないから, 水冷帯内のビレットを起重機で除去できるようにせねばならない. iv) については, 水冷材と非水冷材, 長尺材と短尺材が入り乱れて, 冷却床に入るから, 両者の境界部の水冷を制御せねばならない. 以上のような条件を考慮して, 本装置を設計した.

3. 予備実験

計算結果や実験室の実験結果から, “階段冷却法を用



(a) Cooling bed and test

(b) Cross section of cooling zone

Fig. 2. Schematic illustration of the cooling test apparatus.

Table 2. Results of water cooling test when the billet flow on the cooling bed was continuous.

Billet surface temp. (°C)			Water flow rate (l/m ² /min)			Bending of billet (mm)
Point a	Point b	Difference (deg)	Upper (A)	Lower (B)	B/A	
260	70	190	4.1	25~27	6.3	<20
400	200~270	130~200	3.8	38~40	10.3	//
600	500	100	9.5~10.2	33~38	3.6	//
635	535~565	70~100	7.9~9.5	38~43	4.7	//
650	500~580	70~150	3.8	38~40	10.3	//
670	600	70	7.9~8.8	33~36	4.1	//
680	550	130	14~16	33~38	2.4	100~150
685	600	85	11~12	41~52	4.4	<20
685	585	100	11~13	62	5.1	//
685	615	70	7.9~9.5	38~43	4.7	//

Temp. measuring point : same as shown Fig. 3. Size of billet : 70mm□×8m

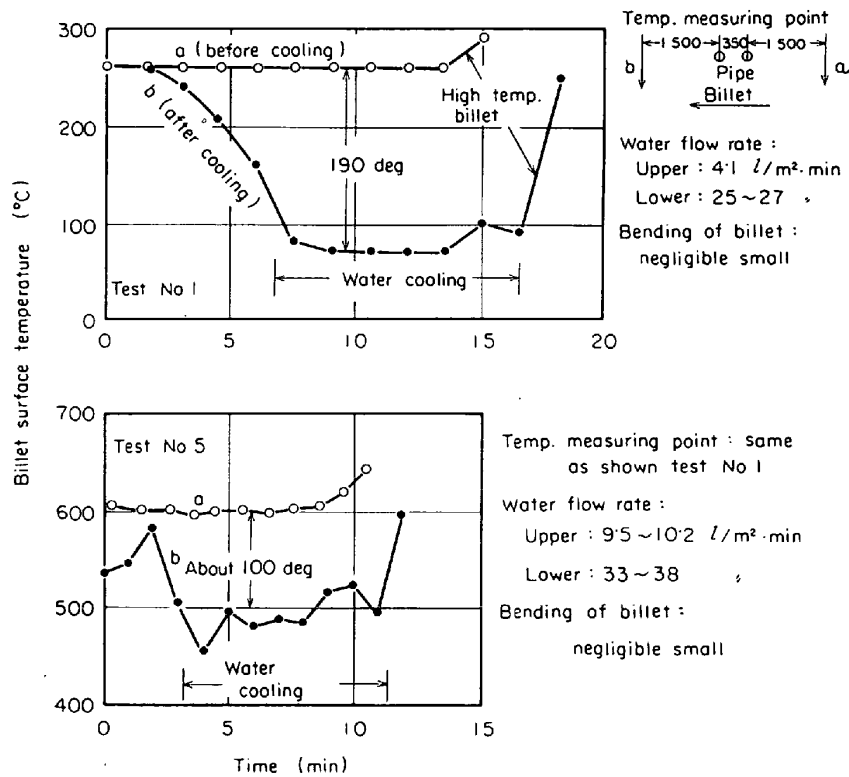


Fig. 3. Water cooling effect when the billet flow on the cooling bed was continuous.

いれば、形状を損うことなしに、ビレットの強制水冷が可能である”ということもわかってきた。しかし、大型現場装置としての実績がないから、現場材を用いた階段冷却法のチェックや設計資料を得るため、現場の冷却床に、簡単な水冷装置を設置し、予備実験を行なった。

3.1 実験装置

実験装置の設置場所や装置の概略図を Fig. 2 に、冷却水噴出管の略仕様を Table 1 に示す。水冷部は、冷却床の入口側から約 10m の位置にあり、ここに到達するときのビレット温度は 600~700°C である。水冷部は 1.5mmφ の孔を多数穿孔した 3B 管を、上側と下側に各 2 本配置した構造で、噴出流量の制御は、下側を噴出

圧力で、上側を噴水高さで行なった。

3.2 実験方法

ビレットの水冷は、2つの方法、すなわち、連続圧延時と圧延中断時に行なった。前者の場合、ビレットは、冷却帯(幅約 800mm)を半連続的に通過するから、同一ビレットは、1~2回水冷される。他方、後者の場合冷却帯に停止したビレットは、繰り返し水冷される。

ビレットの測温には、ランド表面温度計を用い、連続圧延中は、噴出管から前後 1.5m の位置を、圧延中断時は、水冷帯内のビレットを測定した。

3.3 実験結果

Fig. 3 に連続圧延時の温度降下量、Fig. 4 に圧延中断

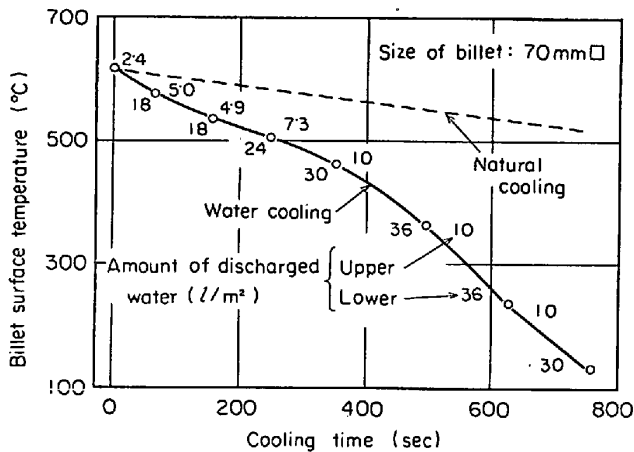


Fig. 4. Cooling curve of billet in the cooling test apparatus.

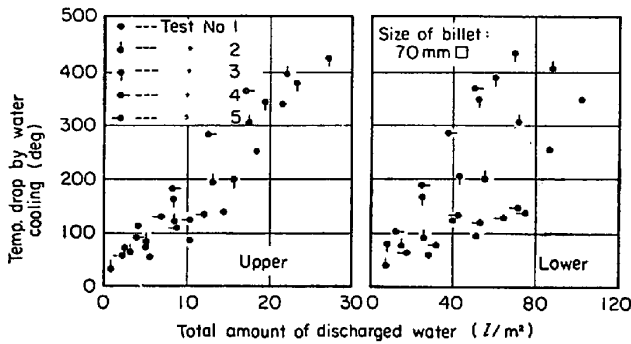


Fig. 5. Relation between the amount of discharged water and cooling effect.

時の冷却曲線, Table 2 に連続圧延時のデータ, Fig. 5 に圧延中断時の噴射水量と温度降下量との関係を示す.

3.4 結果の検討

(1) 噴射水量の上下比

スキッド上に密着して並んでいるビレットの上下面の冷却効果を均一にするには, 噴射水量の上下比, すなわち, 下/上を 4~6 にすればよい. この理由は, 上面に噴射された冷却水は, 噴射終了後もビレット上に存在しビレットを水冷するのに対し, 下面のそれは, 噴射直後に落下するため, 噴射終了直後から空冷状態になるためである. 筆者の一人の実験結果によると⁴⁾ 噴射水量が等しいとき, 600~100°C 間の熱伝達率の上下比, すなわち, 上/下は約 2 である (ただし, 噴射水量 0.0005~0.01 l/cm²·min 範囲のスプレ冷却).

(2) ビレット温度と冷却効果

Fig. 4 に示すように, 冷却水の噴射条件が等しいときビレットの冷却速度は, 300~400°C 以下で急増する. これは, 2.1 に記述したように, この温度範囲では, 冷却水とビレットが直接接触するため, ビレットから冷却水への熱伝達が急増するためである. これに対して, ビ

レットが 400~500°C 以上の場合には, 噴射直後に, 冷却水とビレット間に蒸気膜が形成されるため, 両者間の熱伝達は両者が直接接触する場合より, かなり減少する.

(3) ビレットの形状

階段冷却法を採用し, 噴射水量の上下比 (下/上) を 4~6 にすれば, 強制水冷によるビレットの曲がり, 許容範囲内におさえることができる. 今回の実験では, 面の冷却水を強制的に除去しなかつたから, 上面には, 噴射終了後も, 冷却水が局部的に集まり, その部分は長期間強制水冷の状態を持続した. この部分は冷却後局部的に曲がった. これを解決するには, 噴射終了直後に, 上面の冷却水を強制除去することが必要であり, またそうすることによつて, 上面の噴射水量の増加すなわち冷却の強化が可能になる.

スキッド (幅 230 mm) に乗っている部分の下面は, 直接水冷されないが, この部分の曲がり, 許容範囲内であつた. これは, ビレットが 70 mm□ と大きいため, 長さ方向への伝導熱量が多いことや空冷期間中の復熱によるものと考えられる.

上下面の噴射水量のバランスがくずれると, ビレットは, 全体として弓状に曲がる. この曲がりが高温度状態で発生すると, それは冷却後も残るが, 低温の場合には冷却後回復する. しかし低温の場合でも, 大曲がりが発生すると, ビレットの押出しが不可能になる

3.5 まとめ

以上の実験から, 階段冷却法を採用し, 噴射水量の上下比 (下/上) を 4~6 にすれば, その形状 (曲がり) を許容範囲内におさえた状態で, ビレットを強制水冷できることがわかつた.

4. ビレット水冷装置の設計

上記の考え方と実験結果を基礎にし, ビレット水冷装置を設計した. 設計に際しては, 経験のない新装置だから, すべての点で安全側 (曲がり防止) の条件を採用したため, 冷却能力は, 所期の目標に達しなかつた. それゆえ, 操業結果をみたらうで冷却能力の増強ができるように設計した.

4.1 冷却部

長さ 25m, 幅 12m の冷却床に, 水冷装置を 5 台設置した (Fig. 6 参照). 各冷却帯間には, ビレット内温度分布を均一化するため, 1.2m の非水冷部分を設けた. これは, 冷却能力よりも, 曲がり防止を重視したためであり, また, 稼働後の冷却能力増強対策でもある. No 1 冷却帯の前方には, 5m の非水冷部分を設けたが, こ

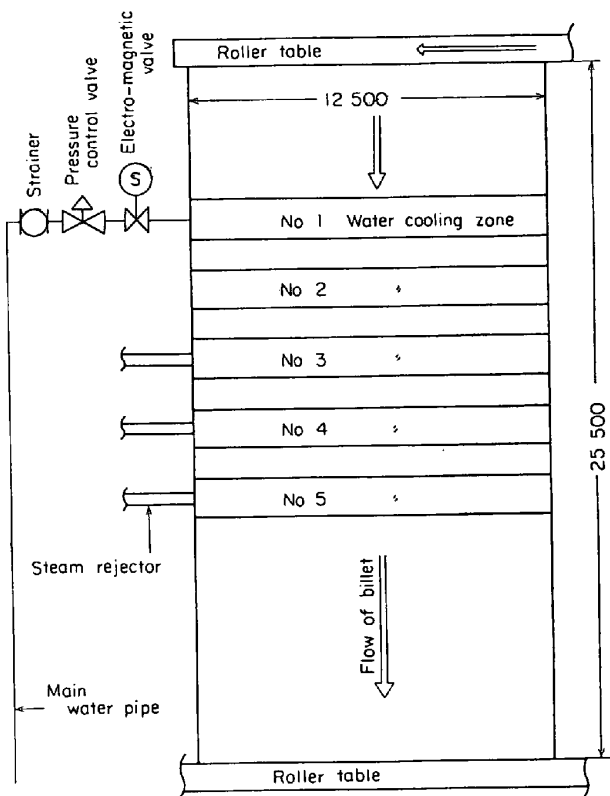


Fig. 6. Schematic illustration of the billet cooling apparatus.

ここでは、ビレット温度が 800~1000°C と高いから、ふく射で冷却させるためである。No 5 冷却帯後方の 9 m の非水冷部分は、2・3 に記述したように、ビレットの処理作業と後工程の故障対策である。

上部ヘッダーは、起重機で取りはずせる構造にし、固定部分とヘッダーの配管は、消防ホース用ジョイントで接続した。ビレット温度が低くなると、蒸気発生量が多くなるから、No 3~5 冷却帯の上部ヘッダは、フードでおおい、強制的に蒸気を吸引し、建屋外に排出した。

4.2 ノズルおよびスプレ・パターン

ノズルの取付け状態とスプレ・パターンを Fig. 7 に示す。ノズルは千鳥配置で、隣接スプレは、若干干渉するようにした。冷却水を均一に噴射するため、中実円錐型スプレノズルを用いた。このノズルには、中子が装着してあるためスプレの状態は良好だが、噴水孔の閉塞頻度が高い。

4.3 配管系統

水道本管からの原水は 5 mm 目のストレーナを通して、20m³ の貯水タンクに入れ、その圧力を大気圧にした。これは、冷却水の断続使用によるウォーター・ハンマが、本管に悪影響を与えないためである。次に、冷却水は、ポンプ (7 kg/cm²G×2・2m³/min×2 台) で加圧

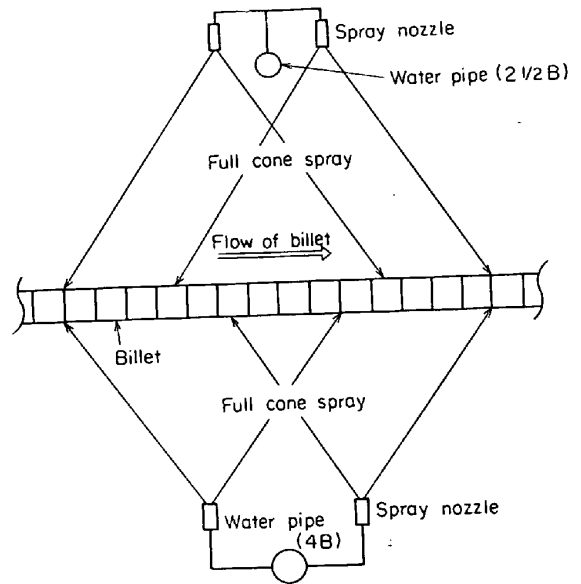


Fig. 7. Cross-section of cooling zone in the billet cooling apparatus.

し、20m³ の加圧タンク (上半分は空気) に入れる。冷却水の噴射は断続的だが、ポンプは連続運転するため、加圧タンクが一定圧力以上になったときには、ポンプから吐出された冷却水を、貯水タンクに戻した。各冷却帯では、減圧弁を用いて冷却水を所定圧力まで減圧してビレットに噴射した。

4.4 電気系統

この装置の電気系統は、電磁弁の開閉と流量計だけである。周期と水冷時間を設定すれば、電磁弁によって、自動的にスプレの噴射が on-off 制御される。また、各冷却帯の上下ヘッダごとの噴射流量が、操作盤に指示される。

5. 操業結果

ビレット強制水冷装置は、昭和 41 年 7 月から、当社八幡製造所で稼動している。稼動開始と同時に、標準作業の確立、冷却能力の把握および改造や増強方法の検討のため、数次にわたる実験を行なった。その結果、冷却能力の不足が明らかとなり、その後、能力増強工事を行なった。しかし、ビレット断面寸法が大型化し、さらに t/hr も大きくなったため、再び、冷却能力が不足するに至った。

一方、中子装着式ノズルを使用したため、噴水孔の閉塞が多発し、冷却能力とビレット形状へ悪影響を及ぼすに至ったため、中子なしノズルに切り替えた。

5.1 ビレットの温度降下量

強制水冷によるビレットの温度降下量は、生産量、ビレット寸法およびビレット温度に影響されるから、測定値をそのまま鵜呑みにすることは危険である。すなわち

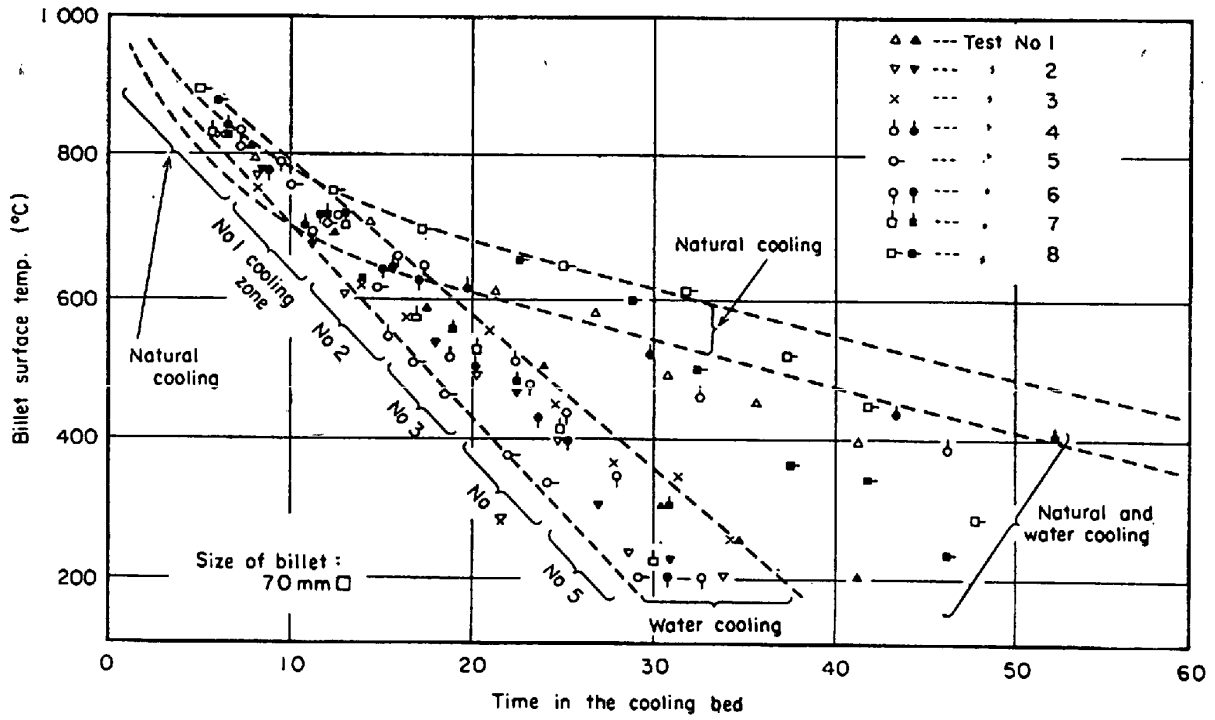


Fig. 8. Cooling curve of billet in the billet cooling apparatus.

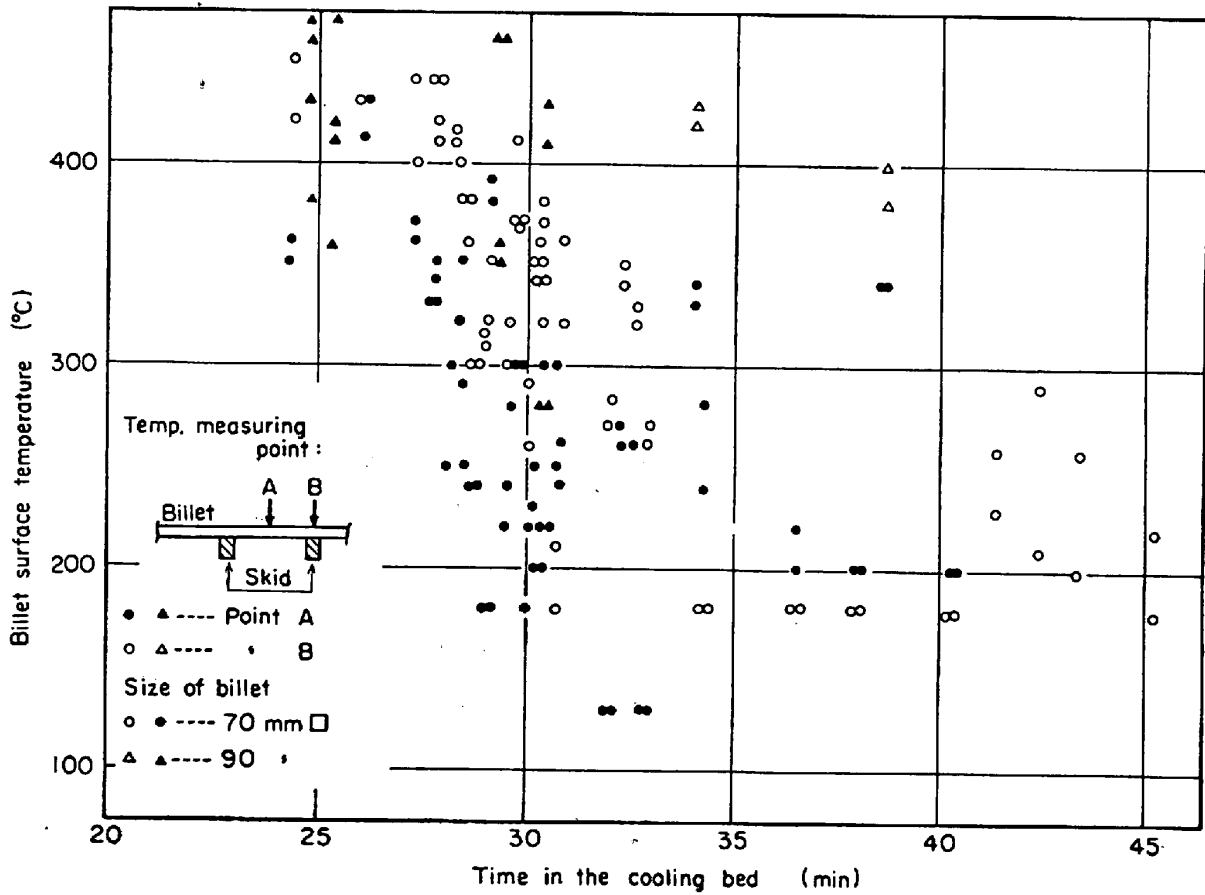


Fig. 9. Billet temperature at the outlet of No 5 cooling zone.

生産量が多いときには、ビレットの冷却床滞在時間が短く、ビレットの温度も高いから、水冷効果が小さく、その結果、温度降下量は小さい。一方、ビレットの温度が300~400°C以下になると、水冷効果の増大と熱容量の減少のため、温度降下量は大きくなる。これに対して、350~450°C以上になると、ビレットと冷却水間に蒸気膜が発生するため、水冷効果が減少し、また、ビレットの熱容量も増大するため、温度降下量は小さくなる。とくに変態点以上の温度から冷却するときには、変態熱の放出のため、温度降下量は、さらに小さくなる。

本装置によるビレットの冷却曲線を Fig. 8 に示す。この図によると、ビレットの温度降下量は、かなり大きい。これは、t/hr が小さく、ビレット寸法が 70 mm 〇と小さいためである。また、300~400°C 以下で冷却が急増しないのは、No 4 と 5 冷却帯の噴射水量を少なくしたためである。

Fig. 9 は、定常 t/hr における No 5 冷却帯出口のビレット温度で本装置の冷却効果とスキッドの影響を調べたものである。この図から、No 5 出口におけるビレット温度のバラツキはかなり大きく、これは、ビレット寸法、鋼種および全水冷時間に影響されている。すなわち 90 mm 〇が高温になるのは当然だが、鋼種によつて、鋼材と冷却水間のぬれ性に差があるため、同じ寸法でも、水冷効果に差が生ずるようである。また、スキッドに乗っている部分の水冷効果の小さいこともわかる。

5.2 ビレットの形状

上下面の噴射水量比を所定の値に保持し、適当な空冷時間を確保すれば、ビレットの曲がり、許容範囲内である。しかし、電磁弁の故障や短尺材混入時（下面の噴水が上面に落下）には、局部的に、水量の上下比がくず

れビレットはかなり曲がる。これらの障害は、装置の改造や操業方法の改良で解決することができた。

5.3 改造と増強

4.1 に記述したように、本装置はビレットの形状対策に重点を置いて設計したため、冷却効果をかなり犠牲にした。したがって、操業の結果、増強や改造をすべき点が多く現われた。その中で、i) 冷却能力の増強と ii) ノズル閉塞の防止は、本装置の生命であるから、昭和42年7月に水冷範囲を拡大し、その後、ストレーナを増設し、ノズルも中子なし方式に替えた。

最後に、ノズルメーカーに対し、閉塞の少ないノズル、たとえば、中子を装着しない中実円錐スプレ用ノズルの開発を、とくに要望する。

6. 結 言

階段冷却法を応用したビレット強制水冷装置を開発・実用化した。この装置の使用によつて、冷却床出口のビレット温度は、300~400°C まで降下し（自然冷却では、500~600°C）、また、水冷後のビレットの曲がりも少ない。

なお、本装置は昭和 41 年 7 月から稼動しているが、その後、数次にわたつて改造や能力増強工事を行なつていく。

最後に、予備実験や本装置の設計・製作に協力していただいた社内外の関係者に感謝いたします。

文 献

- 1) 三塚：鉄と鋼，55 (1969) 3, p. 300
- 2) 三塚，福田：鉄と鋼，55 (1969) 14, p. 1342~1346
- 3) 三塚：鉄と鋼，54 (1968) 14, p. 1457~1471
- 4) 三塚，福田：未発表