

.....  
**技術報告**  
 .....

## 全自動ジョミニー試験装置の開発

上野正勝\*・中村勝治\*<sup>2</sup>・伊藤亀太郎\*<sup>3</sup>・峰松祐行\*<sup>4</sup>

### Development of Automatic Jominy Test Apparatus

Masakatsu UENO, Katsuji NAKAMURA, Kametarō ITŌ, and Hiroyuki MINEMATSU

#### Synopsis :

A full-automatic-Jominy test apparatus has been developed, the characteristics of which are as follows :

- (1) Adoption of the smaller test specimen (conventional : 25 mm new-type : 10 mm), which enables application of Jominy test method to the thinner products so far extremely difficult.
- (2) Adoption of induction heating method, resulting in rapid heating rate so far unattainable.
- (3) Adoption of the present control system, by which desired heating pattern simulating the actual heating conditions can be obtained.
- (4) Adoption of the full-automatic sequence control system, by which end-quench test for hardenability of steel can be carried out without an operator.

In this article, the details of development and characteristics of the new-type Jominy test apparatus are shown.

#### 1. 緒 言

鋼の焼入れ性測定にはジョミニー試験法が広く用いられている。この方法には商取引上の試験方法に採用されていることもあつて実施方法については JIS<sup>1)</sup>, ASTM<sup>2)</sup> 等で規定されており、試験片は 25φ×100 を用い、加熱は電気炉で行われる。したがつて自らとり得る加熱条件にある制限が生じる。ところが最近、単純な加熱・焼入れではなく複雑な熱履歴を経たあと焼入れするような新しい熱処理プロセスの研究が進み<sup>3)~5)</sup>, この新しいプロセス条件下で焼入れ性を調べる必要が出てきた。このような条件下で鋼の焼入れ性を調べるためには従来のジョミニー試験では完全に対応できないため他の方法、たとえば CCT 図法によらねばならない。しかし、この方法は鋼の焼入れ性を組織変化まで含めて総合的に理解するには優れた方法であるが、試験に時間を要するという欠点があつた。そこで著者等は従来のジョミニー試験の持つ特徴をそのまま生かし、先述した新しいプロセス条件下でも焼入れ性試験ができる装置を開発したので、結果を報告する。

#### 2. 開発にあつての基本思想

新しい焼入れ性試験装置の開発にあたり、装置が具備すべき条件として次の 5 項目を考えた。

- (1) 試験が簡便でかつ再現性に優れていること。
- (2) 試験片はできる限り小型で、かつ加工が容易なこと
- (3) 厚み最大 50 mm 程度の鋼の焼入れ状態が推定可能なこと
- (4) 急速加熱およびプログラム加熱が可能なこと
- (5) 装置の自動運転が可能なこと

上記 (1) の条件は試験設備として不可欠の条件で、そのため試験法は従来から定評のある一端焼入れ法とした。

(2) の条件は試験片採取できる供試材の寸法範囲ができる限り制限を受けないよう考慮した条件で、本装置の場合後述するように 8φ×75 mm の試験片で試験ができるよう配慮した。

条件 (3) は小型試験片であつても厚肉材の焼入れ性が測定できるように設定した。厚みが 50 mm をこえる製

昭和 52 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 55 年 11 月 4 日受付 (Received Nov. 4, 1980)

- \* 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (現:ヒューストン事務所) (Yawata Works, Now Houston Office, Nippon Steel Corp.)
- \*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)
- \*<sup>3</sup> 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp.)
- \*<sup>4</sup> 富士電波工機(株) (Fuji Electronic Industrial Co., Ltd.)

品は従来のジョミニー試験法で十分対処できるから、本試験法で再現可能な冷却速度範囲を  $t \leq 50$  mm の板の板厚中心の冷却速度とした。

条件 (4) は従来の熱処理パターンを含め幅広い熱処理条件が設定できるための条件であり、(5) は省力化を考えて設定した条件である。焼入性試験は品質管理にも用いられるので本開発においては自動運転は重要な条件の一つと考えた。

上述のような条件を満足させるため加熱方法は加熱速度、制御性の点より誘導加熱とし、従来、分離していた加熱装置と焼入装置を一体化し、自動運転ができる機構とした。以下、本装置の詳細について述べる。

### 3. 装置の概要および諸特性

焼入性試験は基本的には加熱と冷却の組み合わせである。本装置の場合、自動運転の必要性からこれに試験片の収納・搬送機能および一連の動作を制御する機能が加わって構成される。

Photo. 1 に装置の全体を示す。この写真中の記号①が制御盤、②が本体、そして本体の後方に高周波発生機が設置されている。

Fig. 1 に本装置の構成図を示す。以下、この構成図をもとに各構成要素の機能および諸特性について説明する。

#### 3.1 試験片寸法および試験片収納器

Fig. 2 に本装置用の試験片寸法を示す。図に示すように試験片は A, B, C の 3 部分から成り、A の部分で焼入性 (硬さ分布) が測定される。B, C の部分は試験片を保持するためのもので、B の部分は試験片保持部への

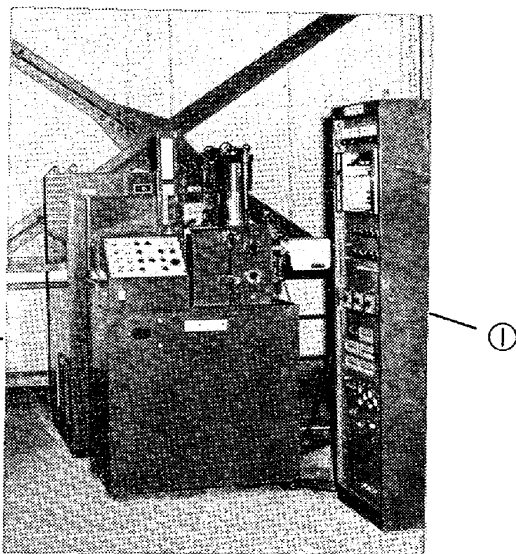
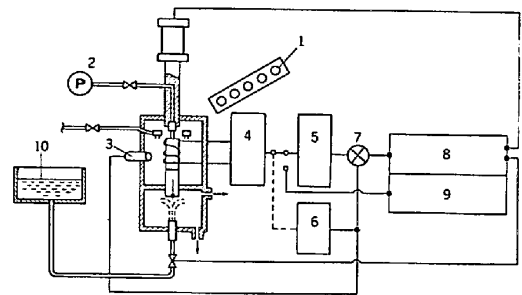


Photo. 1. Whole view of automatic Jominy test apparatus.



1. Specimen 2. Vacuum pump 3. Infrared radiation thermometer 4. Induction heating generator 5. Automatic temperature control 6. Selectable temperature relay circuit 7. Point of comparison 8. Program signal generator for temperature control 9. Power control signal generator 10. Cooling water

Fig. 1. Block diagram of the apparatus.

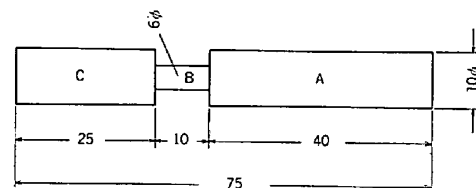


Fig. 2. Dimensions of test sample for this apparatus.

熱の拡散をできるだけ抑制するため径を小さくした。試験片の直径 ( $d$ ) はできる限り小さい方が試験片の採取可能範囲が広がる点で有利だが、あまり小さくすると冷却速度のばらつきが生ずるので、一応 8 mm を下限とし、標準試験片の直径は 10 mm  $\phi$  とした。

A 部分の長さは試験片にシミュレートする冷却速度範囲によつてきまる。標準長さとして 40 mm を設定した。厚み 50 mm の鋼材を現状の工業的な冷却手段で冷却する場合の冷却速度は厚さ中心部において、約 5~10 °C/s である。この冷却速度に相当するジョミニー試験片の水冷端の位置は 20~30 mm であるから、40 mm の試験部の長さをとれば大部分の鋼材の焼入れ性試験が可能である。

この試験片は試験の順序にしたがつて収納器 (Fig. 1 中に番号 1 に対応、以下同様) に収納される。

#### 3.2 加熱および焼入れ

試験片収納器から供給された試験片は試験片保持棒 (No. 2) によつて加熱室に運ばれる。ここで試験片は前もつて設定されたプログラムにしたがつて加熱される。加熱は周波数 100 kHz, 最大出力 5 kW の高周波によつて行われる。

温度制御に必要な測温は光温度計 (No. 3) によつて行われる。光温度計で測温できない低温域 (本装置の場合は 650°C 以下) の加熱制御は装置に内蔵された出力制御用ランプ信号発生器 (No. 9) によつて高周波出力を制御する方法で行われる。すなわち、この温度領域で

の加熱速度はこの出力制御信号を変えることによつて任意に設定することができる。試験片温度が光温度計の测温可能範囲まで上昇すると温度リレー (No. 6) が作動し、制御方式は光温度計による测温制御にきりかえられる。

試験片の加熱状態を Photo. 2 に示す。上部が加熱室、下部が焼入室である。加熱室の右側に見えるのが光温度計、後方に見えるのが先述した試験片収納器である。加熱室および焼入室の扉は試験片の酸化を防止するため通常は閉じた状況にある。

加熱が終了すると試験片は加熱室の下にある焼入室に移され、そこで一端焼入れされる。冷却水の噴水高さは従来法の基準にしたがった。Photo. 3 に焼入時の状態を示す。所定の時間、冷却されると試験片はこれまで述べた逆の経路をたどつて処理済試験片収納器に運ばれる。

次に新しい試験片が供給されると前述した工程を経て試験が繰り返される。そして所定数の繰り返しが済むと加熱プログラムは自動的に次の加熱パターンに切り変わり、この新しい条件下で再び処理が繰り返される。すべての処理が終了した時点で装置は自動的に停止する。この一運転期間で設定可能プログラム数は最大 10 種類である。

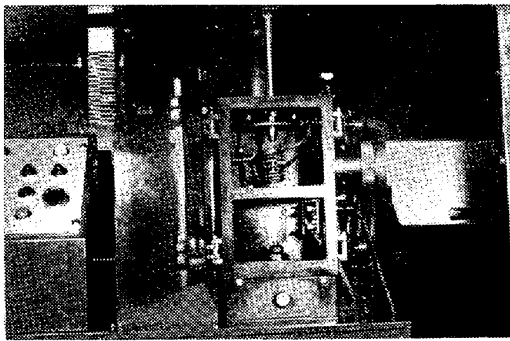


Photo. 2. Heating of specimen prior to quenching. Temperature is observed by infrared radiation thermometer and controlled according to heating program.

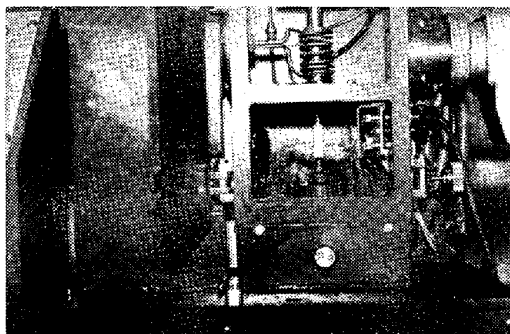


Photo. 3. End-quenching of specimen.

### 3.3 設定可能な加熱パターン

本装置に設定可能な加熱パターンは大きく分けて 2 種類ある。それぞれの加熱パターンを Fig. 3 に示す。パターン II は通常の焼入工程をシミュレートしたもので、加熱パターンは加熱速度 ( $R$ )、加熱温度 ( $T$ )、保持時間 ( $t$ ) および空冷時間 ( $\tau$ ) の 4 つの要素で構成される。そして、それぞれの要素においては図中に示した条件数が事前に設定できる。すなわち、

- 加熱速度 ( $R$ ) ..... 3 水準
- 加熱温度 ( $T$ ) ..... 5 水準
- 保持時間 ( $t$ ) ..... 5 水準
- 空冷時間 ( $\tau$ ) ..... 3 水準

これらの条件の組み合わせで 225 種類の加熱パターンを本装置に記憶させることができるが、一運転期間に使用できる加熱パターンは前述したとおり最大 10 種類である。

パターン I は複雑な熱履歴をたどつて焼入れされる鋼の焼入性を調べるために考案されたパターンで、加熱開始から焼入開始に至る間で加熱条件で変わるプロセスにおける焼入性がこのパターンを用いて調べられる。この加熱パターンは加熱 (冷却) 速度 ( $R_1 \cdots R_4$ )、加熱温度 ( $T_1 \cdots T_4$ )、保持時間 ( $t_1 \cdots t_3$ ) の 11 の条件で構成される。これ等の条件は任意に設定できるが、先のパターン II と異なつて加熱パターンの自動切り換えはできない。

プログラム加熱に必要な测温は先述したとおり光温度計で行われる。もちろん、熱電対を試験片にとりつけてのプログラム加熱も可能としてある。

### 3.4 試験片の温度分布および冷却速度

誘導加熱で試験片を加熱する場合、試験部全長が均一加熱されることが必要であり、コイル直径、ピッチ、長さを検討して、コイルの最適条件を求めた。こうして求められた最適コイルを用いて標準試験片 ( $d = 10 \text{ mm}$ ) の長手方向の温度分布を測定した。加熱温度  $930^\circ\text{C}$  で加

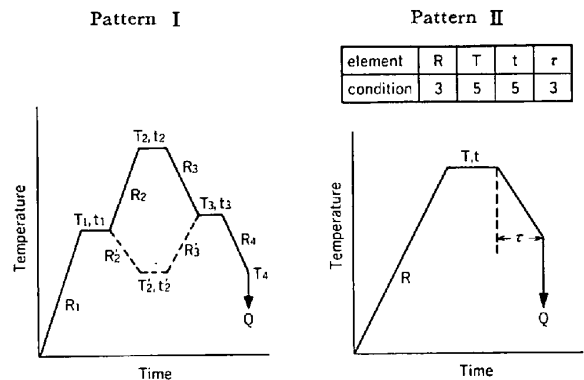


Fig. 3. Time and temperature diagram which can be set in this apparatus.

熱速度 1, 5, 20 °C/s の結果を Fig. 4 に示す. 測温場所は図中に示す 6 点である. 加熱速度に関係なく試験片各部の温度は目標値 ±5°C の範囲におさまり, JIS で規定している範囲内におさまっている.

次に水冷端からの各位置における冷却速度について述べる. Fig. 5 に直径 10 mm の試験片の各位置の冷却速度を示す. 冷却速度は従来の慣習に従って 800°C~500°C 間の平均冷却速度で示した. 参考までに従来の標準型 (d=25 mm) 試験片および d=8 mm の試験片での測定結果もあわせて示した. この図から冷却速度の再現性は非常に良いことがわかる. 焼入性を治金的観点から見て本来, 重要なのは冷却速度であるから, 焼入性の試験結果が冷却速度との対応で表示される限り, この冷却速度

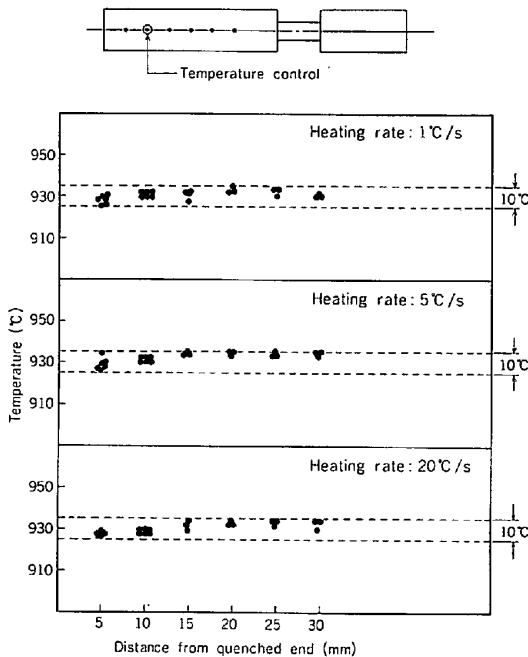


Fig. 4. Temperature distribution.

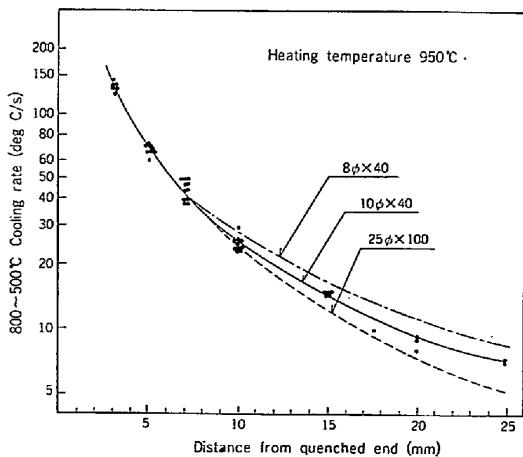


Fig. 5. Relationship between cooling rate and Jominy distance.

の違いは問題にならないと考えられる.

3.5 光温度計の測温誤差

光温度計で測温する場合, 観測される温度は試験片の放射率の影響を受けるので, できるだけこの影響を小さくするために二色温度計を採用した. また加熱中の試験片の酸化をできるだけさけるために加熱室内を不活性ガス雰囲気とした.

Fig. 6 に二色温度計で温度制御を行い, 熱電対で試験片温度を測定した時の両者の比較を示す. この実験では測温制御開始点を 680°C に設定した. この図から 680°C 以上で所定の加熱速度で加熱され, 950°C に保持されてもほとんど温度変動がないことがわかる.

4. 焼入性の測定結果および考察

4.1 従来法との比較

本実験に供した鋼の化学成分を Table 1 に示す. 供試鋼は 150 kg の真空溶解炉で溶製した. これらの鋼塊を 1250°C, 2 h 加熱, 熱間圧延で 30 mm の板に圧延した. この鋼板から 25φ×100 mm の従来型試験片および 10φ×75 mm, 8φ×75 mm の本装置用小型ジョミニ試験片を切り出した. 25φ の試験片の JIS の規格に基づく試験方法 (装置) で一端焼入れた. この時のオーステナイト化条件は 930°C, 30 mm である.

Fig. 7 に 3 種類の鋼種の 25φ と 10φ の試験片において同一の冷却速度位置における硬さの比較を示す.

次に 10φ と 8φ の試験片の比較を示す. この場合のオーステナイト化条件はいずれも 950°C, 5s, 加熱速

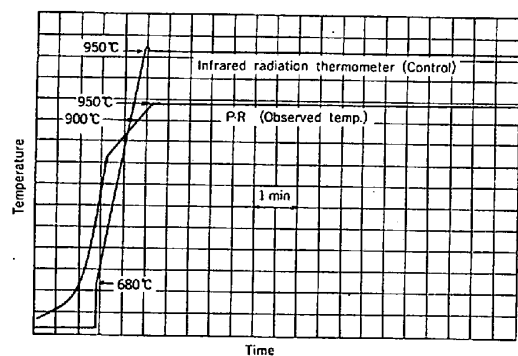


Fig. 6. Temperature control characteristics of infrared radiation thermometer.

Table 1. Chemical composition of the steels.

Steel	C	Si	Mn	Cr	Al	N	B	Ti
A	0.11	0.27	1.34	—	0.036	0.0017	0.0011	—
B	0.10	0.25	1.36	—	0.025	0.0013	0.0010	—
C	0.24	0.28	1.20	—	0.073	0.0039	0.0018	—
D	0.25	0.25	1.16	—	0.039	0.0061	0.0013	0.021
E	0.25	0.25	1.15	0.50	0.046	0.0067	—	—
F	0.25	0.25	1.16	1.61	0.050	0.0056	—	—

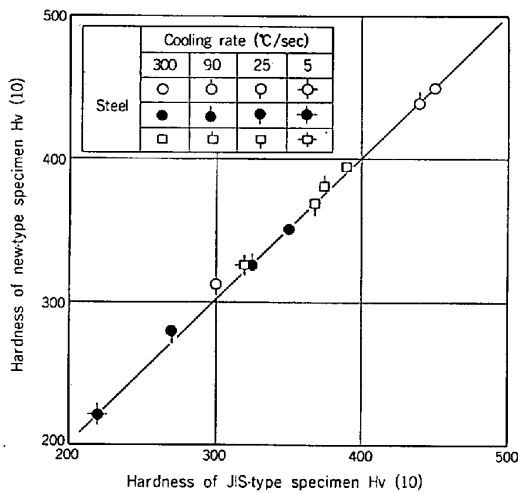


Fig. 7. Comparison of Jominy hardness between JIS-type specimen and new type specimen at same cooling rate.

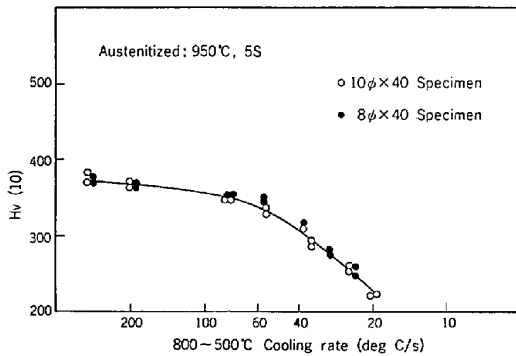


Fig. 8. Comparison of Jominy curve observed by two different size specimens (Steel : B).

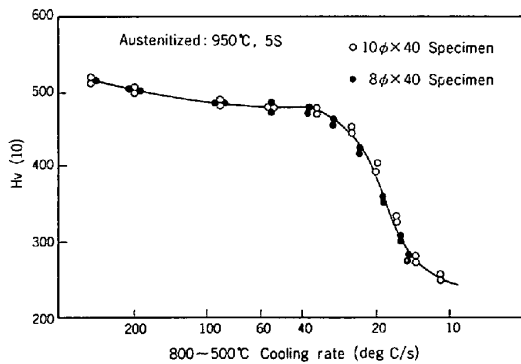


Fig. 9. Comparison of Jominy curve observed by two different size specimens (Steel : D).

度は 5 °C/s である。ジョミニーカーブの横軸は冷却速度表示とした。その結果を Fig. 8~Fig. 11 に示す。いずれも繰り返し数 3 で行った。したがって、各点の硬さの値は 3 × 2 = 6 点の平均値である。これらの図からわかるとおり、冷却速度を揃えてジョミニーカーブを比較する限り試験片の寸法の違いによる影響はないことがわかる。

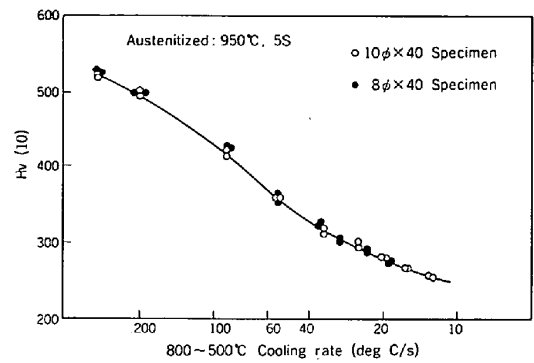


Fig. 10. Comparison of Jominy curve observed by two different size specimens (Steel : E).

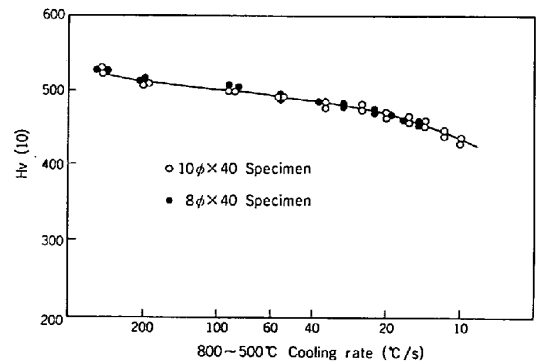


Fig. 11. Comparison of Jominy curve observed by two different size specimens (Steel : F).

#### 4.2 測定値の再現性

本装置による試験結果の再現性を定量的に検討するために測定結果のばらつきについて検討した。

ジョミニー試験による焼入性の表示方法にはジョミニー距離による表示、理想臨界直径による表示等、種々ある。本報告では「焼入性とは冶金的に見れば鋼の連続冷却における変態特性を意味する概念であり、この変態特性と本質的な関係を有するのは冷却速度」という考え方から、90% マルテンサイトが得られる臨界冷却速度でもって焼入性を表示した。

一般に 90% マルテンサイト組織が得られるジョミニー距離は硬さ測定で求められる。この場合、HODGE ら<sup>6)</sup>が求めた炭素 (C) 量およびマルテンサイト割合と硬さとの関係図が用いられる (Fig. 12)。この硬さから 90% マルテンサイト位置を判断することがどの程度の信頼性があるかを確認する目的で我々も 100% および 90% マルテンサイト組織に対応する硬さを測定し、HODGE らのデータと比較した。その結果を Fig. 12 に示した。この比較の結果、我々のデータも HODGE らの結果と一致することが確認された。そこで以下の実験には Fig. 12 を用いてジョミニーカーブから 90% マルテンサイト臨界冷却速度を求めた。

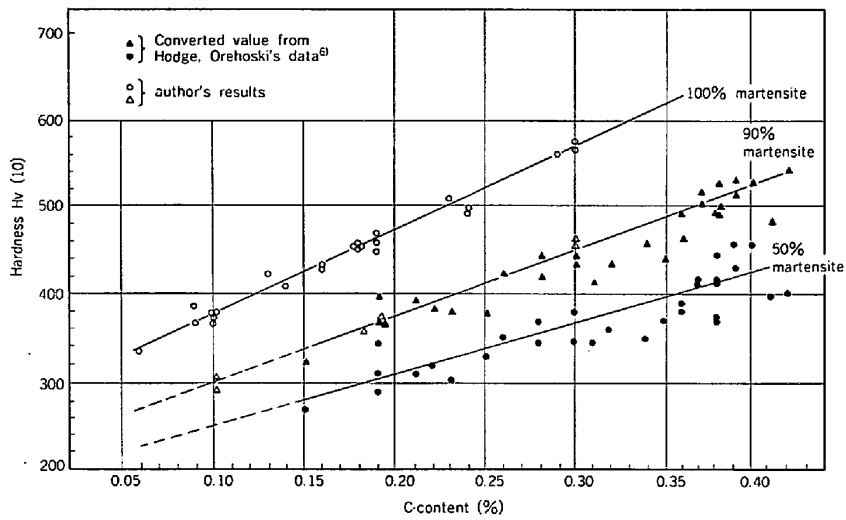


Fig. 12. Hardness of martensite products as the function of C-content.

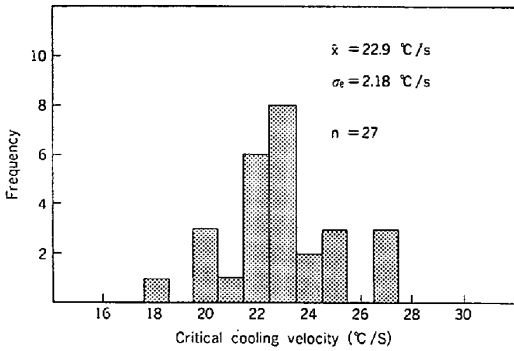
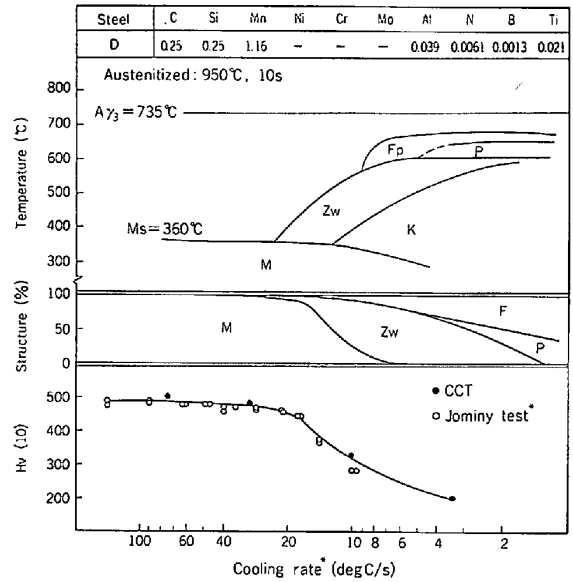


Fig. 13. Distribution of hardenability of Steel D observed by this Jominy test apparatus (Austenitized : 950°C, 5S).

Fig. 13 に鋼 D の 臨界冷却速度のヒストグラムを示す。平均値は 22.9 °C/s, ばらつきは標準偏差 ( $\sigma_e$ ) で 2.18 °C/s である。このばらつきの内訳としては硬さ測定のはらつきとジョミニー試験片の冷却速度のはらつきが考えられる。前者は一般的に Hv (10) で 10 程度のはらつきは日常経験しているところであり、この値は Fig. 8 の 90% マルテンサイト硬さ付近で臨界冷却速度で約 2 °C/s の誤差に相当する。また後者は Fig. 5 でジョミニー試験片の水冷端から 10 mm の位置の冷却速度のはらつきは約 2 °C/s ある。鋼 D の臨界冷却速度がだいたい  $\pm 4^\circ\text{C}$  に収まっていることはこの両者のはらつきで構成されると考えてよからう。したがって本装置は冷却速度が十分制御され、その再現性が良いから焼入性試験しても十分な再現性が得られていると言える。

4.3 CCT 図との比較

鋼の焼入性は CCT 図からも知ることができる。本装置で得られた結果の信頼性を別の観点から確かめるため CCT 図との対応関係を調べた。



\* Cooling rate of Jominy specimen was shown by averaged value between 700~400°C  
Austenitized ; Heating Rate ; 15.5degC/s  
Heat Temperature ; 950°C  
Holding Time : 10s

Fig. 14. Transformation characteristics of Steel D (CRTT diagram).

Fig. 14 の上段に鋼 D に対して、あらかじめ求められた CCT 図を横軸を冷却速度表示で示した。この図を Cooling Rate Temperature Transformation 図 (CRTT 図) と称することにする。中段には変態組織割合を示す。下段には CCT で得た硬さと本ジョミニー試験で得た硬さとを冷却速度に対して示した。

ここでジョミニー試験の冷却速度は 700~400°C の間の平均冷却速度でとつた。この理由は CCT 図はすべて直線冷却であるのに対し、ジョミニー試験の冷却曲線は自然冷却であるため、温度区間によつて冷却速度が異なる

る。したがって CCT 図よりみて変態の実際に起こる温度区間である 700~400°C の間の平均冷却速度をとる方が妥当であろう。

このようにして示した硬さと冷却速度の関係は CCT 図からの結果とジョミニー試験の結果とは全く一致する。

## 5. 結 論

鋼の焼入性におよぼす成分・熱処理条件の影響に関する研究の一環として新しいジョミニー試験装置を開発した。この装置は従来のジョミニー試験装置に比べ、次のような特徴を有する。

(1) 試験片が小型で、従来の方法ではできなかった薄手材のジョミニー試験が可能である。

(2) 急速加熱およびプログラム加熱が可能である。したがって実際の熱処理条件にあわせて焼入れ性を調べることが可能である。

(3) 全自動運転が可能である。

また、この装置を用いてジョミニーカーブを求め、従来の方法で求めたジョミニーカーブと比較した結果、同

一の冷却条件下で硬さを比較する限り両者は完全に一致することが確認された。

さらにジョミニー試験片と直線冷却で得られた試験片との硬さの比較から、ジョミニー試験の冷却速度を 700~400°C 間の平均冷却速度で表示すると CCT 図法で得られた結果とよく一致することが明らかとなった。

終わりに、本装置の開発に際し、積極的に協力していただいた富士電波工機株式会社小管信吾氏ならびに貴重な助言をいただいた新日本製鉄株式会社基礎研究所井上泰博士に深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) JIS G 0561
- 2) ASTM A 255
- 3) たとえば、甲谷知勝, 木村達也, 中俣伸一, 小田島雅也, 板橋義則, 長阪哲男: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 303
- 4) 上野正勝, 板橋義則, 高橋 涉, 伊藤亀太郎: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 304
- 5) 佐藤隆樹, 上野正勝, 山本一雄, 神田光雄, 川上武利: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 307
- 6) J. M. HODGE and M. A. OREHOSKI: Trans. Met. Soc. AIME, 167 (1946), p. 627