

砂鉄系原料鉄の配合率を異にする3種の 刃物鋼の比較について

小柴定雄* 菊田光男**

A Comparative Study of Three Types of Cutlery Steels Containing Different Percentage of Iron Derived from Iron Sand

By Sadao Koshiha, D.S.E., and Mitsuo Kikuta
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It has been deemed as rather a difficult task to catch precisely the transformation process of pure carbon steel such as cutlery steels by the conventional method when it is cooled in air because of too rapid progress of the phenomenon. To cope with this situation the writers took up a new method in which a simple dilatometer is used, and observed on a comparative basis the transformation process of three types of Hitachi cutlery steels produced from iron of iron sand origin with different percentage.

To sum up it; the transformation of cutlery steel in air cooling starts when iron temperature descends below A_{r1} point due to super cooling. The temperature then rises due to latent heat and again goes down along a logarithmic curve after the transformation completes. In this process, the steel with larger percentage of sand iron origin iron content begins and completes the transformation at higher temperatures and sooner than those containing less iron sand origin iron. Also the former seems to give out less heat during its transformation process than the latter.

〔I〕 緒 言

筆者らはさきに砂鉄系原料鉄の配合量の鋼質におよぼす影響について種々研究⁽¹⁾を行ってきた。その結果砂鉄系原料鉄を100%含有する刃物鋼の特異性の一つとして、変態速度が他のものに比し大きいことを確認した。すなわち変態点の生起状況を観察するにあたりあるいは焼入性試験のさい変態を生じやすいことがあきらかとなった。しかしながら焼入における変態の正確な生起状況はまだ今後の問題として残されている。この問題はより精密な測定方法を用いて研究する予定であるが、本報においては過去にとられてきた刃物鋼の空冷変態をより正確と考えられる方法でその生起状況を調べたもので、その結果より砂鉄系原料鉄から造られた鋼の優秀性の原因について検討を加えてみたい。

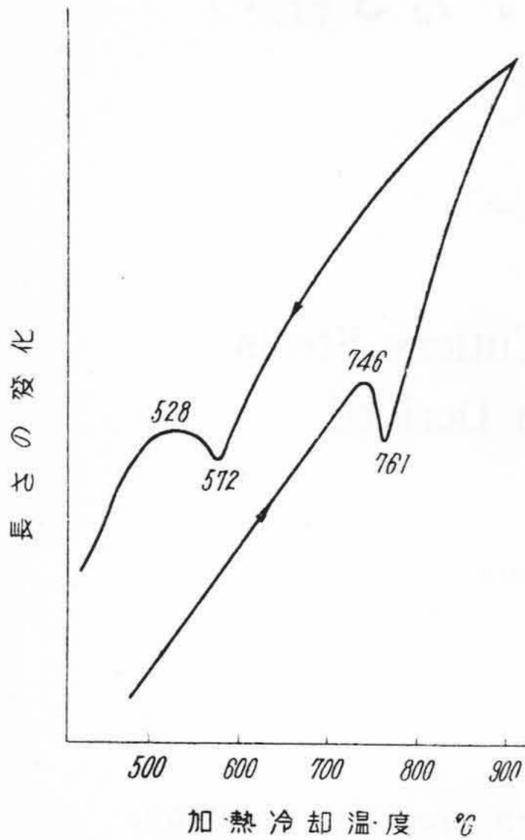
* 日立製作所安来工場 工博

** 日立製作所安来工場

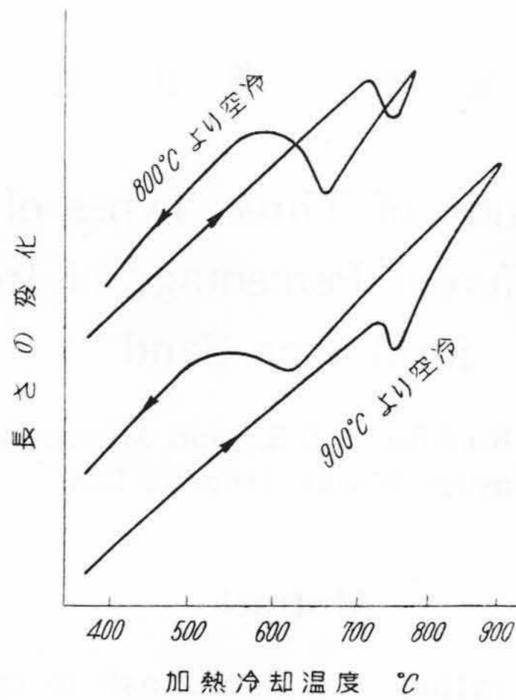
〔II〕 実験方法および試料

従来の空冷における変態点を測定する場合はもつばら本多式熱膨脹計によつたものが多い。その一例を第1図(次頁参照)に示す。すなわち加熱速度 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で 900°C に達せしめ、この温度に10分間保持後電気炉をとりさつたさいの長さ対温度曲線で加熱にさいして A_{c1} 点は 746°C に始まり 761°C に終つている。この間の温度差は 15°C である。また空冷にさいしては石英管の熱伝導に妨げられ 572°C に始まり 528°C で終了したかにみられる。

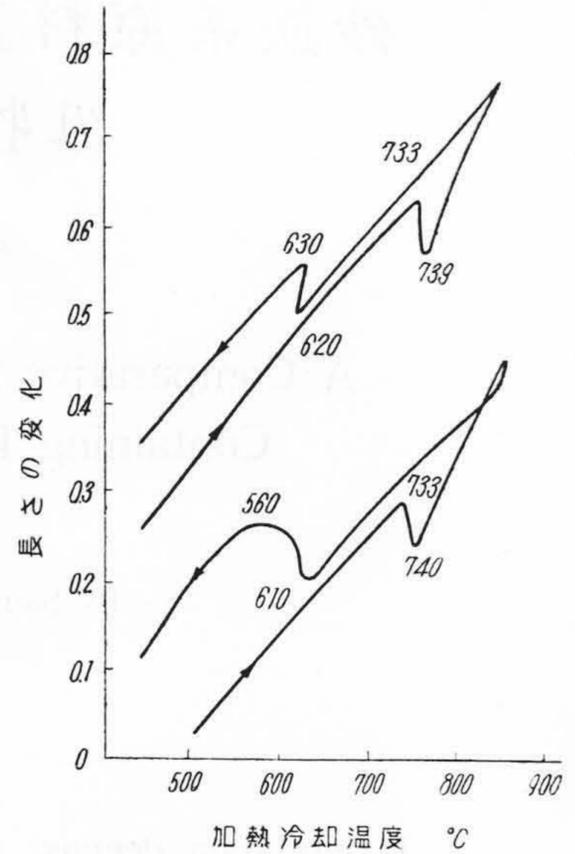
第2図(次頁参照)は佐藤式自記装置で同じ試料を用いて画かせた曲線である。この場合は温度は標準試料の熱膨脹により決定されるものであるから加熱のさい十分緩徐な速度で温度を上げないと見掛けの変態範囲が大きくなり正確を期しがたく、空冷の場合の変態点生起温度も標準試料の冷却速度に支配されるのでいつそう信頼度が



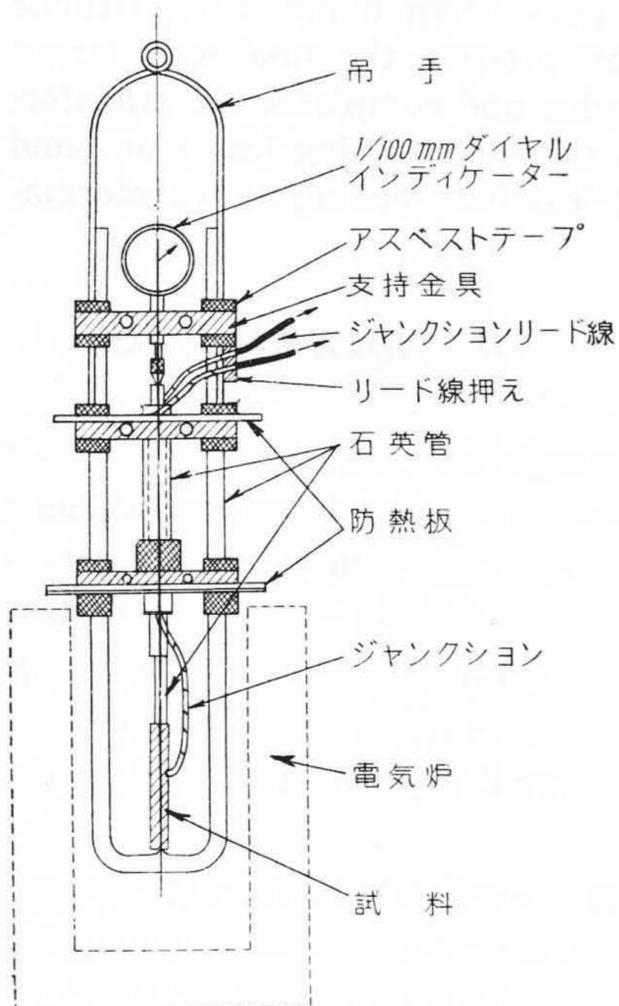
第1図 本多式熱膨脹計による空冷曲線 (白紙2号B)
Fig.1. Air Cooled Curve by Honda's Dilatometer (White Label #2)



第2図 佐藤式自記装置による空冷曲線 (白紙2号B)
Fig.2. Air Cooled Curve by Sato's Self Recording Dilatometer (White Label #2)



第3図 簡易全熱膨脹計による空冷曲線 (白紙2号)
Fig.3. Air Cooled Curve by an Author's Simple Dilatometer (White Label #2)



第4図 簡易全熱膨脹計図
Fig.4. Construction of Simple Dilatometer

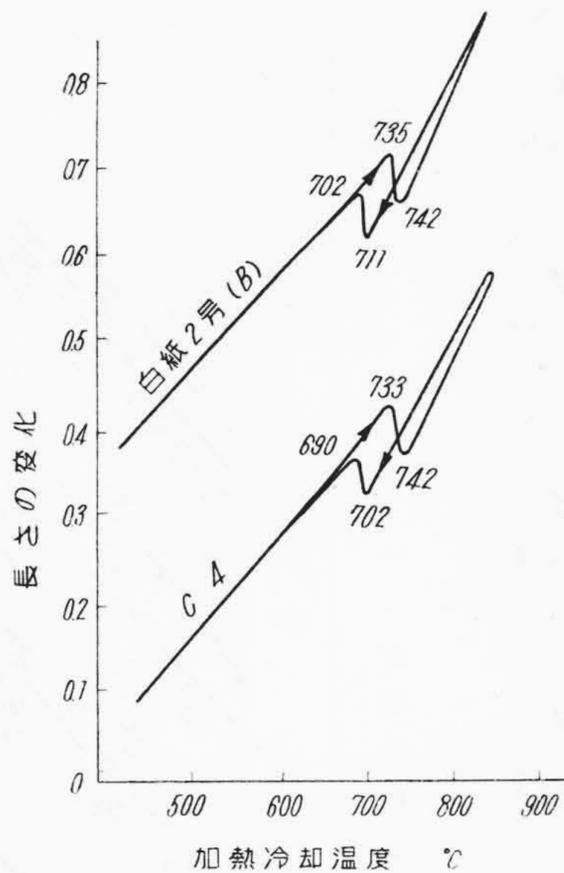
少くなる。すなわち両者とも定性的な比較はできるが、実際の空冷変態を長さ対温度曲線で現わす場合は適當でない。

第3図は簡易全熱膨脹計によつてえられた空冷曲線の一例である。下の曲線は試料側面にジャンクションの熱接点を軽く触れしめた場合で Ar' は $610^{\circ}C$ に始まるが、終了温度は $560^{\circ}C$ とみなされる。上の曲線は熱接点を試料側面の小孔中へ入れた場合で空冷のさい試料の温度は変態時に逆行するのがあきらかに認められる。すなわち昔いわれた再輝点 (Recalescence Point) を裏付けるものである。

炭素鋼の空冷変態で潜熱による試料温度の逆行現象は石原氏らのブラウン管オシログラフによる研究^{(2)~(4)}においても認められたところである。

第1表 試料の化学成分
Table 1. Chemical Composition of Specimen

| 成分 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 鋼種 | | | | | | | | | |
| 白紙2号 (A) | 1.11 | 0.08 | 0.12 | 0.011 | 0.003 | 0.03 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| 白紙2号 (B) | 1.15 | 0.11 | 0.14 | 0.010 | 0.003 | Nil | 0.07 | 0.10 | 0.03 |
| 黄紙2号 | 1.12 | 0.15 | 0.25 | 0.021 | 0.006 | 0.07 | 0.11 | 0.11 | 0.132 |
| C 4 | 1.04 | 0.20 | 0.36 | 0.010 | 0.009 | 0.06 | 0.04 | Nil | 0.150 |



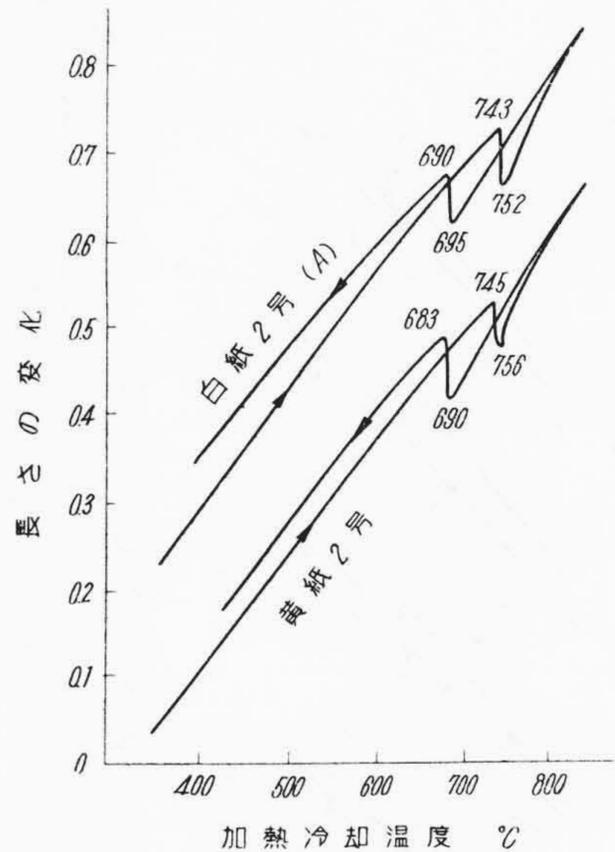
第5図 加熱冷却速度 7°C/min の場合
Fig.5. Dilatometric Curves (Heating and Cooling Rates 7°C/min)

第4図の装置はさきに筆者の一人が製作せるもので、すでにオーステンパーにおける変態曲線、耐火煉瓦の熱膨脹係数測定などに用いられたが、取扱い簡便で操作方法よろしきをうれば精度も十分高いので改めて紹介する次第である。すなわち試料は一端をU字型石英管の真中の突起に支えられ他端は小石英管を介してインディケータの接触部により軽く圧されている。白金、白金ロジウム熱電対(またはアルメル、クロメル熱電対)はその熱接点 が試料のほぼ中央側面に穿けた小孔中に入り⑥の押え金具で外部よりリード線が動いても試料に伝わらぬようになつて冷接点に接続される。試料は支持金具の位置を変更すれば広範囲にその長さを変えることができ、また直径方向もU字型石英管の広さにより相当広くかえうる。

本実験においては各試料とも 750°C に1時間焼鈍し 7mmφ×70mm L に仕上げ中央部に 3mmφ 深さ 4mm の穴を穿けたものを用いた。試料の化学成分は第1表に示すごとくである。

いまこの簡易熱膨脹計で普通の変態点測定を行つた結果を示せば第5図および第6図のごとくになる。第5図は加熱冷却速度 7°C/min の場合で、Ac₁ の開始がやゝ過熱され白紙2号は 735°C でほとんど直線的に長さを収縮して 742°C に終つている。この場合の変態温度範囲はわずか 7°C であるのに対し C4 は 733°C に始まり 742°C で終る。すなわち温度差 9°C である。

Ar₁ は白紙2号の方は 711°C に始まり 702°C で終るのに対し、C4 は 702°C に始まり 690°C に終る。すなわち前者の温度差 9°C に対し後者は 12°C である。この



第6図 急熱急冷の場合
Fig.6. Dilatometric Curves (Heating and Cooling Rates Rapidly)

結果はさきに研究⁽¹⁾されたごとく砂鉄系原料鉄を 100% 含有するものとそうでないものとの差異でもあるが、いつそう正確な値と思われる。ちなみに同じ鋼種を本多式熱膨脹計で測定したさいは加熱冷却速度が 1°C/min の場合でも白紙2号は Ac₁ は 737~748°C, Ar₁ は 711~699°C の結果を示した C4 は Ac₁ 733~746°C, Ar₁ 706~690°C となつている。

これはジャンクションの熱接点 が直接試料中に入つて いるので温度のズレが少いためであつて、これを急熱急冷するとき はあきらかに過熱過冷の現象を示し、潜熱のため一旦温度が後もどりして変態を完了する。

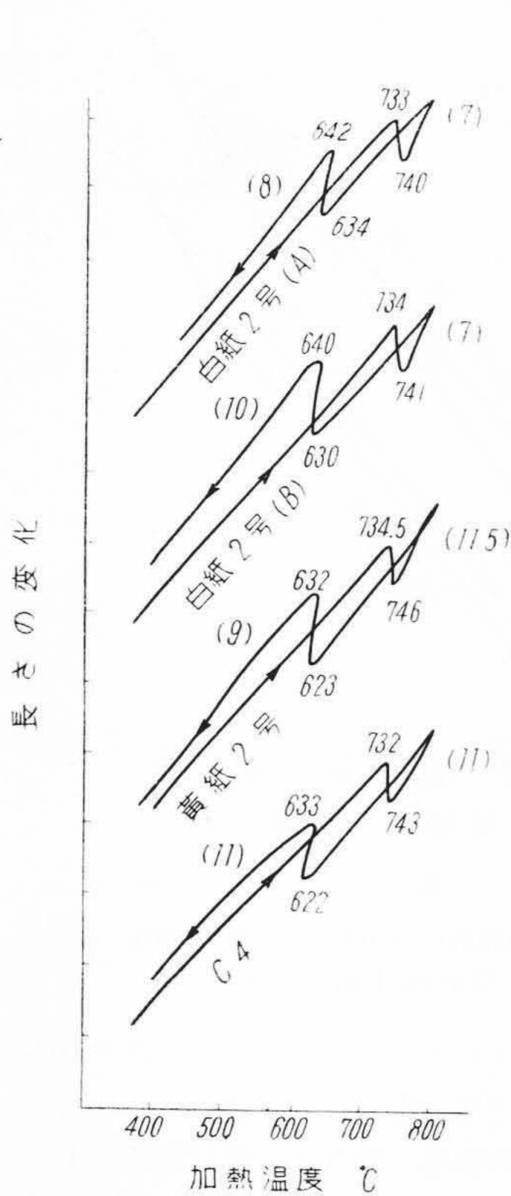
第6図は 850°C に保持した電気炉中へ装入した 850°C に達してからできるだけ早く炉中冷却させた場合である。急熱急冷のため 400~600°C 附近では加熱冷却両曲線の間 に相当開きを生じ、Ac₁ は 7°C/min の場合よりも約 10°C くらい高くであるが、通常の熱膨脹計のような大きな温度のズレはない。ゆえに短時間で変態点を測定したい場合鋼種によつては便利でまた熱膨脹係数の算出も直接目盛で読めるから都合がよい。

以下の実験は加熱速度は全部 5°C/min としそれぞれの温度に 10 分保持後装置ごと取出して空中放冷を行いそのさいの長さ と温度との関係を求めたものである。

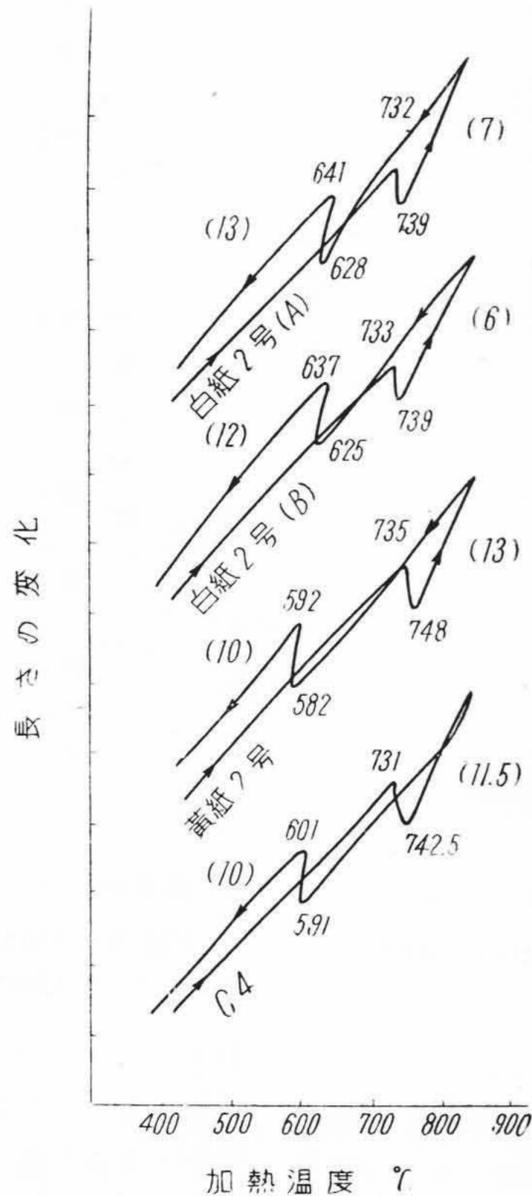
[III] 実験結果

(1) 加熱温度を変えた場合の空冷変態と温度との関係

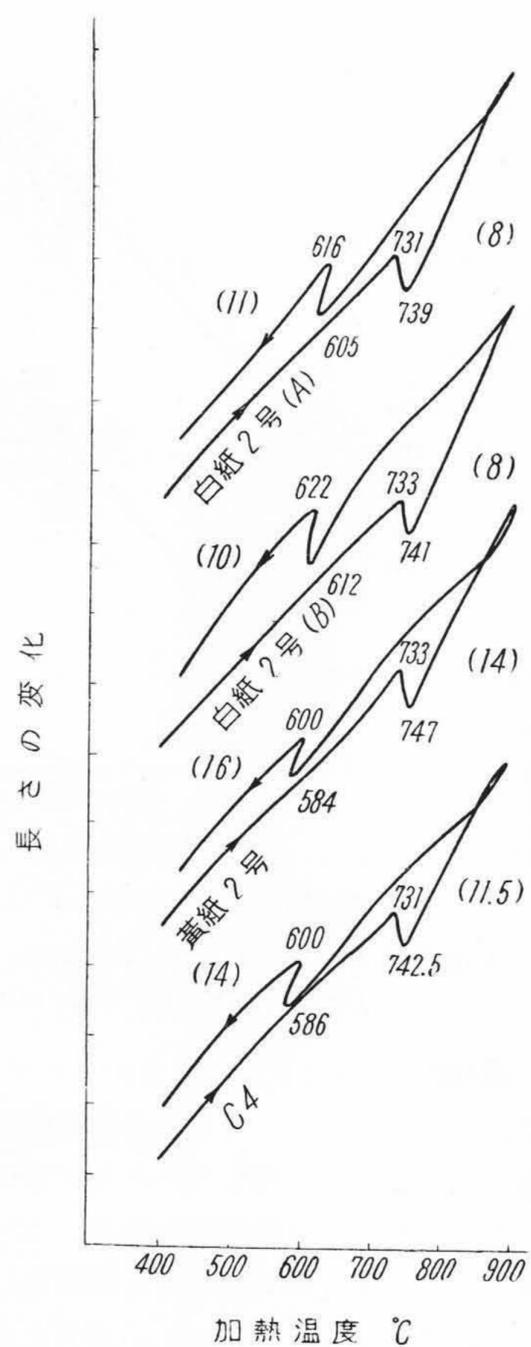
第7図および第8図(次頁参照)は 800°C, 850°C およ



第7図 800°Cより空冷せる場合
Fig. 7. Dilatometric Curves(Air Cooling from 800°C)



第8図 850°Cより空冷せる場合
Fig. 8. Dilatometric Curves(Air Cooling from 850°C)



第9図 900°Cより空冷せる場合
Fig. 9. Dilatometric Curves(Air Cooling from 900°C)

び 900°Cより空冷せる場合の白紙2号(A), (B), 黄紙2号およびC4鋼の変態生起状況を示す。すなわち Ac_1 の開始温度はどの鋼種もほとんど同温度733°C附近であるが、変態終了温度は白紙2号は2鋼種とも約7°Cの開きで終了するに対し黄紙2号は12~13°C, C4は11.5°C高い温度で終了する。

これは加熱のさいも砂鉄系原料鉄を100%含有するものは変態が容易に終了することを示すものである。

空冷における Ar' 生起状況はやはり白紙2号が2鋼種ともほかのものより高温に始まり高温で終るが、この実験では変態熱による差異は試料が細く、またメータのズレなども考慮すると正確な判定を下しえないが、900°Cの場合は相当温度が下つて変態点に達するため、いくらか正確と考えられるから、第9図により判定すると変態による温度上昇は白紙2号より黄紙2号およびC4の方が多いうように認められる。

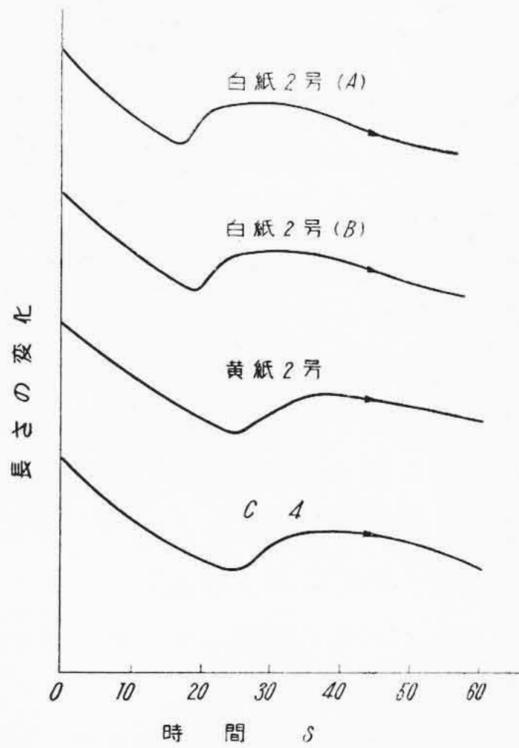
(2) 空冷変態と時間との関係

空冷変態の生起状況と時間との関係を比較するため、佐藤式自記装置により長さの変化と時間との関係を求めた。第10図はその結果を示す。試料は前述のものと同寸

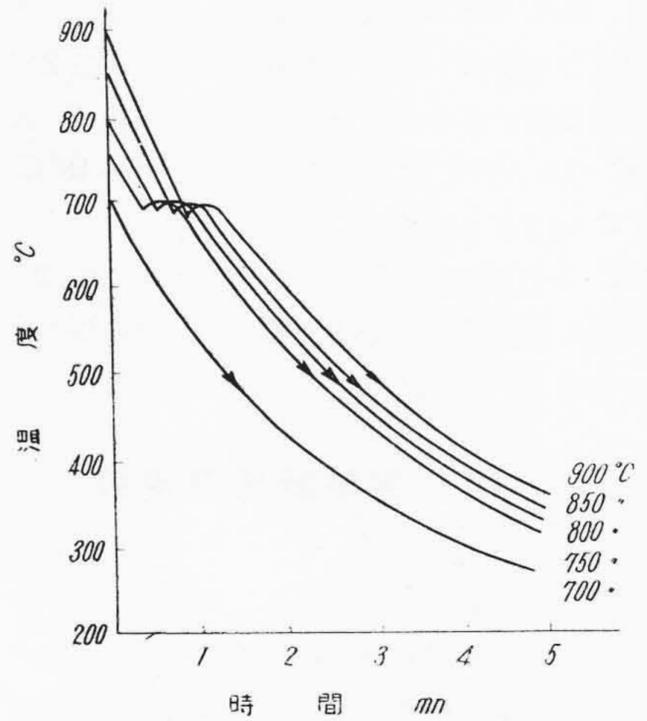
法のものを用い 800°Cに10分間保持後空中冷却を行い、長さの変化を回転ドラムに自記せしめたもので、白紙2号(A)は約17秒で変態を開始し約30秒後に完了している。同じく(B)の方はやや遅れ19秒で始まり33秒附近で終つているのが認められる。これらに対し黄紙2号およびC4はいずれも約24~25秒で変態を開始し40秒過ぎぬと終了しない。前節の実験で白紙2号は高温で変態を開始するから、時間的にもこうなるのが当然であるが、時間と長さの変化との関係を参考までに掲げた。

(3) 冷却温度曲線による空冷変態

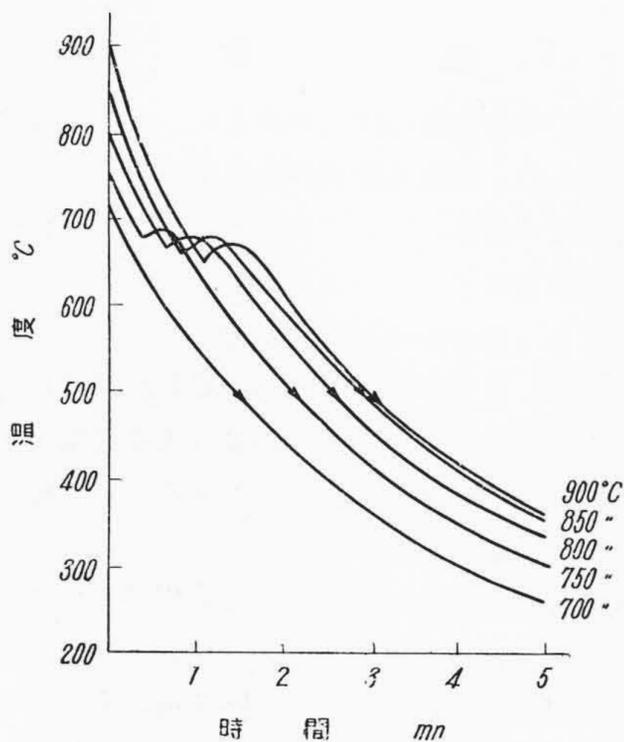
上述の実験では試料の寸法が小さいため、空冷変態にさしいして生ずる温度上昇を各鋼種について比較することが困難である。本実験においては15mm角の試料に径3mmφ深さ8mmの孔を穿ち白金、白金ロヂウムの熱接点を試料の中央部へくるようにしジャンクションと試料の隙間へはアスベストを詰め外気の影響を防止するごとくし、各温度に30分間保持後空中放冷を行いメータ



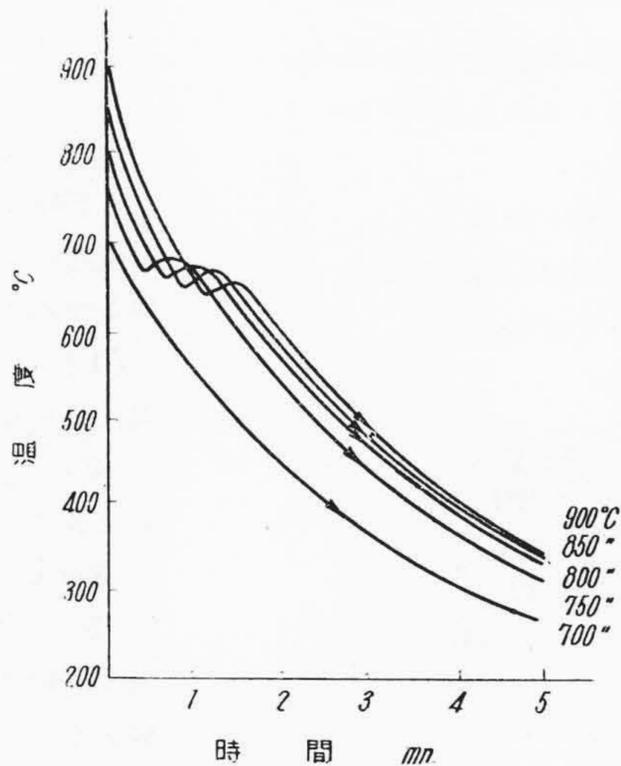
第10図 空冷変態と時間との関係 (800°C 空冷)
Fig. 10. Relation between Air Cooling Transformation and Time
(Air Cooled from 800°C)



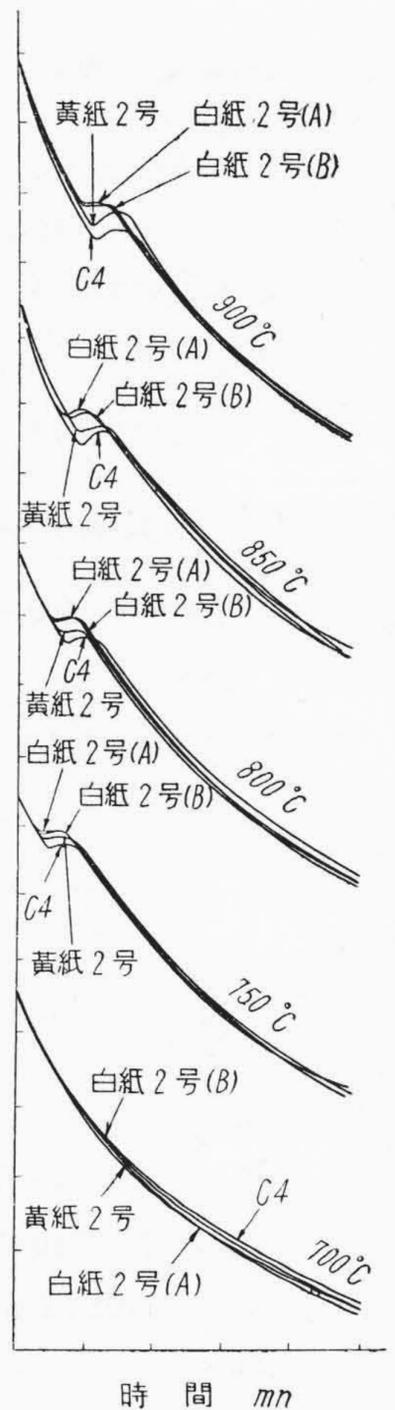
第11図 白紙2号(A)
Fig. 11. White Label #2 (A)



第12図 黄紙2号
Fig. 12. Yellow Label #2



第13図 C4
Fig. 13. C4



線14図
3種の刃物鋼の空冷曲線の比較
Fig. 14.
Comparison of Air Cooling Curves of Three Kinds of Cutlery Steel

の指示と時間との関係すなわち空冷時の冷却速度をとつた。

この結果を第11図~第13図に示す。各鋼種とも加熱温度が高くなるにつれて Ar_1 は降下し低温に現われまた終了点も同じ傾向を示す。白紙2号(B)の場合は(A)の場合とほとんど同様であつたから省略する。

第14図は3鋼種間の比較を容易にするため掲げたものでこの実験における3鋼種間の差異があきらかに現われている。すなわちこれまでの実験で認められたと同様に白紙2号は最も早くかつ高温で変態を開始あるいは終了し、黄紙2号これにつきC4が最も遅くかつ低温にあら

われる。特に 850°C 以上の温度から空冷した場合は変態潜熱による温度上昇は C4 最も大きく黄紙 2 号これにつき白紙 2 号が最も小さい。すなわち白紙 2 号は約 10~15°C であるのに比し黄紙 2 号は約 15~18°C で C4 は 20°C 以上にも達する。

700°C から空冷した場合の冷却速度は白紙 2 号 (A), (B) の間に黄紙 2 号および C4 が入った結果を示し変態を含め場合の冷却率に大差は認められない。

[IV] 実験結果の検討

変態熱はオーステナイト→パーライトの変化にさいし伴う熱の発生によることはあきらかであるが、さらに詳細に検討すると変態熱量はフェライトの生成とセメンタイトの生成および析出の各熱量の和によつて生ずるものと考えられる。木戸氏⁽⁵⁾は 1g のパーライトがオーステナイトになるには 14.5 cal, セメンタイト生成熱 42.2 cal とし共析セメント 0.83% とした場合共析セメンタイト量は

$$\text{Fe}_3\text{C}\% = \frac{[3\text{Fe}+\text{C}]}{[\text{C}]} \times 0.83 = 12.45\%$$

したがつてフェライト量を 87.55% とし $\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ に 7.8 cal/g を要するゆえセメンタイトのオーステナイトへの溶解熱

$$\epsilon = \{14.5 - (7.8 \times 0.8755 + 42.2) \times 0.1245\} \div 0.1245 = 19.4 \text{ cal/g}$$

を与えまた炭素含有量 (C-%) の変態熱量

$$q_{A_1} = 7.8 \times \frac{(\text{Fe}\%)}{100} + (42.2 + 19.4) \times \frac{[\text{Fe}_3\text{C}\%]}{100}$$

$$\text{しかるに } \text{Fe}_3\text{C}\% = [\text{C}\%] \times \frac{180}{12}$$

$$\text{Fe}\% = 100 - [\text{C}\%] \times \frac{180}{12}$$

$$\text{ゆえに } q_{A_1} = 7.8 + 8.1 \times [\text{C}\%] \text{ cal/g} \dots \dots (1)$$

(1) 式は炭素鋼の炭素含有量 A_1 と変態熱量との関係を現わしたもので、これによると炭素含有量大なるほど変態熱も大となるわけであるが、本実験に使用した試材では炭素含有量は大差なく、変態熱の大なる C4 はむしろ低目である。

また木戸氏は変態温度一定と仮定した場合変態時間は変態熱量とその温度における表面の放熱量との比となるとし、内外の温度差をも含めて変態時間中の平均表面温度を T_{Ar_1} とし変態時間を次式のごとく与えた。

$$t_{Ar_1} = \frac{q_{A_1} \rho}{2} \{0.63 \cdot 10^{-10} (T_{Ar_1}^4 - T_0^4) + 0.022 (T_{Ar_1} - T_0)\} \dots \dots (2)$$

(1), (2) 式によれば、成分同一の炭素鋼においては変態熱量、変態時間とも実験結果にみられるごとき差はな

いはずであるが、実際は相当な差異が認められる。

筆者らはこの点をつぎのごとく考える。すなわち $\alpha\text{Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{Fe}$ に要する熱量は容易に生じうる格子変態に基くものであり、これの上述の差異におよぼす影響はあまりないと思考されるが、セメンタイトの生成および析出熱量は砂鉄原系料鉄含有量の差によつて生成条件したがつて生成状況が異なるものと考えられる。すなわち砂鉄系原料鉄は広義の不純物が少いからセメンタイトの生成析出も容易であろう。換言すれば変態抵抗が少いから変態に費されるエネルギーが少く空冷変態の場合も他のものに比し比較的容易に変態が完了ししたがつて発生熱も少ないものと考えられる。850°C 以上の温度ではセメンタイトが十分オーステナイト中に固溶しその量も多いから特にこの傾向が著しいものと解される。

砂鉄系原料鉄 100% の双物鋼の優秀性については筆者の一人によりすでに一部の発表⁽⁶⁾をみているがこの優秀性の原因については上述の純度が高いことも大なる関係がある。不純物特に鋼中のガスについては興味ある現象があるがこれについては稿を改めて報告したい。

[V] 結 言

従来の双物鋼の空冷変態の生起状況をいつそう理論的にも正確な実験を行い砂鉄系原料鉄含有量の差による空冷変態の生起状況の差異について調べた。以上の実験結果を要約すればつぎのごとくである。

- (1) 白紙 2 号は空冷の場合変態が他のものよりも高温に始まりまた早く終了する。黄紙 2 号と C4 は大差ない。
- (2) 空冷変態にさいし発生する熱量は C4 最も大で黄紙 2 号これにつき白紙 2 号は最も小である。この傾向は 850°C 以上の高温から空冷を行つた場合著しい。
- (3) 白紙系の変態速度が速くまた変態熱の少いことは不純物ことにガス含有量が少いためセメンタイトの生成あるいは析出が容易に行われ、原子格子間の変化に対して抵抗をおよぼすことが少いためと考えられる。

最後に終始熱心に実験に従事された塩谷所員の労を多とし、また実験に協力された永島、木村、佐藤所員に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) S. Koshiha and M. Kikuta: Hitachi Review February 107 (1954)
- (2) 石原: 日本金属学会誌 5, 344 (1941)
- (3) 石原: 日本金属学会誌 6, 511 (1942)
- (4) 市原, 石原: 日本金属学会誌 9, 7, 4 (1945)
- (5) 木戸: 日立評論 26, 402 (1943)
- (6) 小柴, 田中: 日本金属学会誌 A15, 367 (1951), B15, 531 (1951)