

鐵 と 鋼 第十七年 第十一號

昭和六年十一月二十五日發行

論 說

鋼 の 冷 却 現 象

(日本鐵鋼協會 第6回講演大會講演)

堀 江 鐵 男

目 次

緒 言	
第 1 部 鋼材の空中放冷	
I 節 變態域上より空中放冷	
II 節 變態域下より空中放冷	
第 2 部 鑄型内鋼材の放熱	
III 節 厚さ 60 mm 鑄型内冷却	
VI 節 厚さ 30 mm 鑄型内冷却	
第 3 部 總 括	
V 節 變態熱の冷却状態に及ぼす影響	
IV 節 變態域内温度の移行状態の考察と鋼塊 偏析	
結 論	
附録第 1. 測 熱	
附録第 2. 變態域の測定	
緒 言	

高熱にある鋼の冷却現象は、冷却に伴ひて著しく變態熱を發する爲に、其の熱的關係が頗る複雑であるが、此の冷却現象を確むることは製鋼上重

要なる事柄である。

造塊鍛鍊及び熱鍊作業に當り、鋼に發生する種々の缺陷、例へば鋼塊に起る幽痕、砂疵、氣泡、收縮管等は、融鋼の冷却に伴ふ凝固状態に深き關係を有し、或は鋼材に起る白點、其の他割疵等も亦變態域通過の冷却状態に因りて生ずるものである。

鋼體の冷却状態に關して、理論的又は實驗的に研究されたるものは多數ある、J. E. Fletcher 氏¹⁾は鑄型内の温度を測熱し融鋼の凝固状態に就きて各種の考察を試み、齋藤博士²⁾は圓壙形の高熱鋼體の冷却状態に就きて數學的に論及し、又特に鋼板の焼入に應ぜる場合に變態熱を算入して冷却状態を示されて居る。

A. L. Feild 氏³⁾は簡単に融鋼の凝固速度を計算し N. M. H. Lightfoot 氏⁴⁾は融鋼の凝固状態に就き從來の諸氏に比して一層精細に計算を試みた。殊に潜熱の影響を見出さんとして、鑄型に接觸せる融鋼の半無限體の場合に見事なる温度降下

曲線を計出して居る。只圓壙體の場合は函數が複雑にして、實數を入れて求むることが一般に困難なる爲めか、其の溫度分布に關しては論及して居ない、特に鋼板の焼入に應ぜる場合を、齋藤博士の算入せる同一數値を以て計算し、中心部の冷却状態を比較研究して居る。

氏の計算によれば中心部に於ては此の場合に變態點の移行が中心に向つて略ぼ等速度であると言ふ。

菊田博士⁵⁾は圓壙形の各種の大きさのものに就きて鑄型内の融鐵の凝固冷却の状態を簡單なる凝固熱算入法によりて計出して居り、又 A. Hultgren 氏⁶⁾は各種の場合に就き鋼塊の組織より其の凝固状態を推論して居る。

E. F. Law 氏⁷⁾は 18 吋立方の鋼片に就きて變態點以上より空中放冷、水中、油中冷却をして内部の溫度、並に材力とを示して居るが、只立方體が周圍の六面より冷却せるために圓壙體の周圍のみにより冷却する場合と著しく異り、且つ測熱箇所が少いために内部の熱的關係を委しく求むることが困難であり、又變態點の降下状態を仔細に知ることが出来ぬのは残念である。

其他 J. Janitzky 氏⁸⁾ French & Klopsch 氏⁹⁾ A. M. Cance 氏¹⁰⁾ A. M. Portevin & P. Chevnard 氏¹¹⁾ A. M. Portevin & M. Gravin 氏¹²⁾等も各種の小鋼片につきて冷却状態を示せるものもあるが、之等は何れも其の組織との關係を研究せるものにして特に鋼體内部の複雑なる冷却状態の研究ではない。前述の融鋼又は鋼板の冷却等に關する各種の理論的研究に於ても、多くの假定を以て論ぜるものなれば、之によりて變態熱が冷却状態に及ぼす各種の影響、變態域内の冷却

状態又は鋼體内の溫度分布、冷却速度、又は變態點の降下状況等各種の熱的現象を稍々仔細に知ることが困難である。

依て著者は質量の大なる圓壙形鋼體の冷却に於ける變態熱の影響、變態點の降下其他諸種の熱的現象を實驗的に索むる爲に、高炭素鋼丸形 1 磅半鋼塊の 1 部を取り、之を變態域上或は域下に於て焼鈍爐中に加熱後、空中放冷及び鑄型内放熱の 2 種の冷却を行ひて内部の冷却溫度を測定し、茲に複雑なる鋼の冷却現象を稍々明かに示すことを得た。

本論第 1 部には鋼材の空中放冷、第 2 部には鑄型内放熱の場合に就きて鋼材内部の熱的關係を示し、第 3 部には之等の總括を述べ且つ鋼塊偏析に對する考察を試み、次に測熱方法及び冷却速度による變態域の測定に關しては煩雜を避くるため夫々附録第 1、第 2 として詳説することとした。

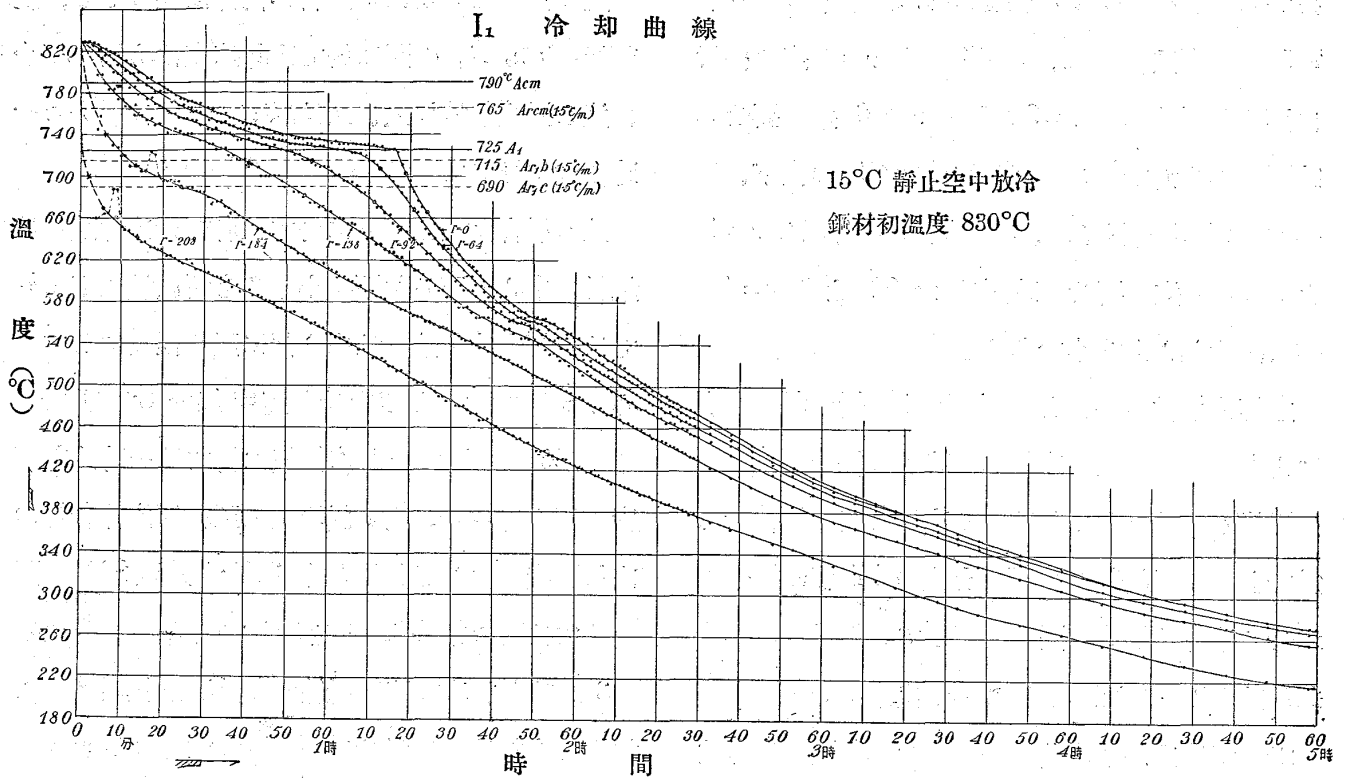
第 1 部 鋼材の空中放冷

長時間爐中に加熱保持 (附録第 1、附 2 圖) せる直徑 416 mm の圓壙形過共析鋼材 (附録第 1 附 1 圖) を中心より外面迄半径 $r=0, 46, 92, 138, 184, 208$ mm の箇所にて 15°C の靜止空中にて測熱す。(附録第 1、第 2 參照)

I 節 變態域より空中放冷

加熱鋼材初溫度 830°C の場合

1) 冷却曲線 (I_1 圖)。使用鋼材は共析鋼に近き過共析炭素鋼にして、其の平衡状態に於ける A_{cm1} , A_1 は夫々 790°C , 725°C である (附録第 2) 而して冷却速度毎分 1.5°C の場合にセメントの析出開始點を $A_{cm}(1.5^{\circ}\text{C}/\text{m})$ 及び A_{r1} の開始點 (begining pt.) を $A_{r1b}(1.5^{\circ}\text{C}/\text{m})$, A_{r1} の終息點 (end pt) を $A_{r1e}(1.5^{\circ}\text{C}/\text{m})$ とせば測定



結果、此等は夫々 765°C, 715°C, 690°C を示した。(附録第 2)

I₁ 圖の冷却曲線圖上に此等變態温度線を描き入れて見れば、鋼材の中心部は變態域内に於て著しく温度の變化があることを知る。且つ 560°C 附近に於て $r=138$ より中心 $r=0$ に至る間、順次再發熱を來せるは主として残留せる變態の進行せるためであり(附録第 2)此の變態を Ar_1' とす(附録第 2)。鋼材外部は表面 $r=208$ に於て測熱開始後 8 分及び $r=184$ に於ては、17 分後に一時、温度の急激なる上昇を來して居る。之は冷却速度の著しき變化により變態の一時に促進せられたものであると思はれる。冷却速度を變化しつつある各冷却曲線上に於てセメントイト析出開始點、 Ar_1 開始點及び Ar_1 終息點即ち $Arcm$ (×印にて示す)、 Ar_1b (●印)、 Ar_1e (○印)を夫々示せるが其の温度は第 1 表の如くであり(附録第

2)、之に依れば鋼材の外面に近く各變態點の降下著しく、中心部に於ては Ar_1 の變態降下が特に甚しきことが解る。

第 1 表 變態温度 (空中放冷)

	r.m/m						Mark
tr.p.°C	0	46	92	138	184	208	
$Arcm$	763	762	762	760	740	700	×
Ar_1b	703	707	715	713	711	700	●
Ar_1e	665	668	675	681	690	670	○

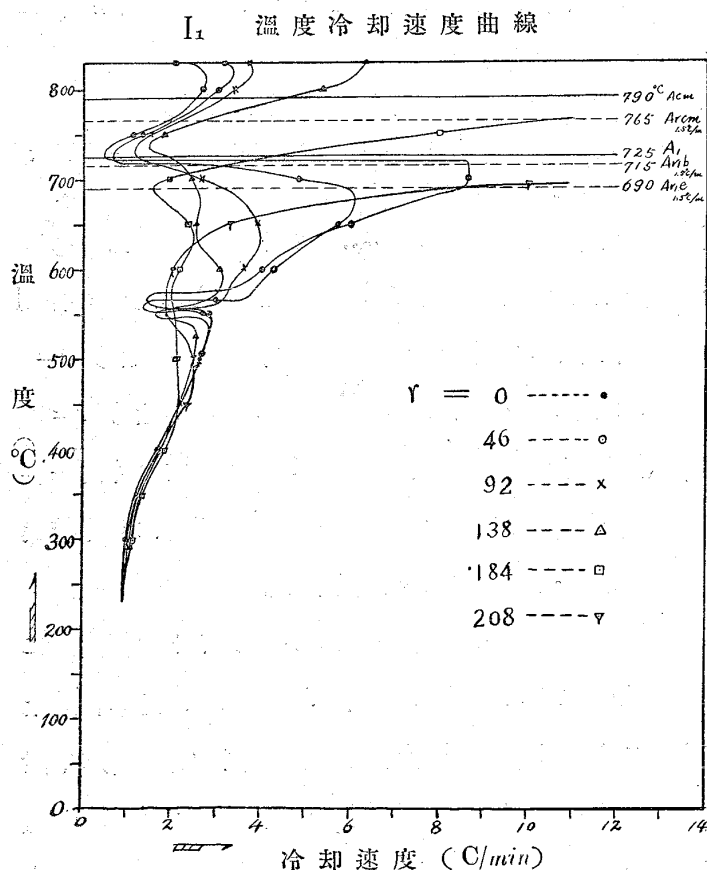
各冷却線上に於て 725°C が中心に向つて各測熱半径への到達時間を見るに、 $r=138$ より $r=92$ 又 $r=92$ より $r=46$ 及び $r=46$ より $r=0$ 迄に要せし時間は何れも 14 分にして全く同一経過時間を示せることは、變態熱の影響に基く特異の現象と認めることが出来る。

此處に云ふ變態熱とはセメントイトの析出並に Ar_1 による發熱を云ひ、725°C は丁度 A_1 點なるも、 Ar_1 の開始温度は更に低く(附録第 2、附表 1、附 6 圖参照)斯る現象を示せる温度が A_1 と一致せるは冷却の状態によりて遇々一致せるも

のである。725°C の直上に於ける温度、例へば 730°C に就き見るに、 $r=46$ より $r=0$ 迄の移行に要せし時間は、 $r=92$ より $r=46$ 迄に要せし時間よりも大である。然るに 725°C の直下、例へば 715°C を見るに、其の温度の移行が、 $r=46$ より $r=0$ 迄に要せし時間は $r=92$ より $r=46$ 迄に要せしよりも小である。

之等は鋼材の外方より順次發する變態熱の影響によりて、中心部の冷却が一時益々緩慢となり次に影響の遞減と共に急速なる冷却状態に變化せる爲であり、變態熱の影響なき次の II 節の場合に示せる冷却曲線 II₁ 圖と對照して、鋼材内部の冷却状態を明かに區別することが出来る。

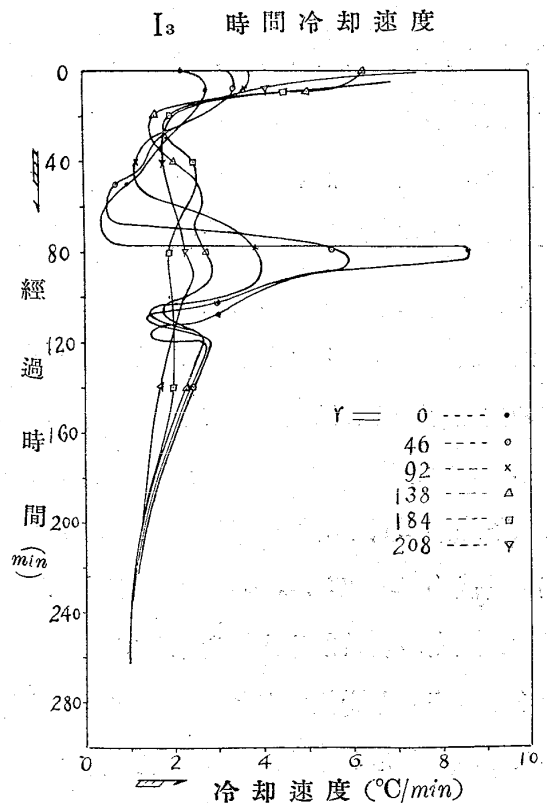
2) 温度冷却速度曲線 (I₂ 圖)。I₁ 圖の冷却曲線の各部に於ける正切より求めたる冷却速度を温度と共に示せば I₂ 圖の如くなる。



之に依りて見るに本鋼材の内部に在りては、變態域 Ac_m, A_1 の間に於て冷却速度は次第に極小に達し同變態域以上、又は以下に於ては、夫々一時極大に達して居る。

此の場合變態域以上に於ては各極大冷却速度は鋼材の中心に至る程順次小なるも變態域以下に於ては各極大冷却速度は中心部に至る程大にして中心 $r=0$ に於ては極大冷却速度毎分 8.6°C である。560°C 附近の Ar_1' 變態に於ては一時冷却速度に極小を生じ、更に低温度に至れば内外各部の冷却速度は殆んど相等しく 300°C 乃至 200°C 間に於ては略々毎分 1°C を示して居る。

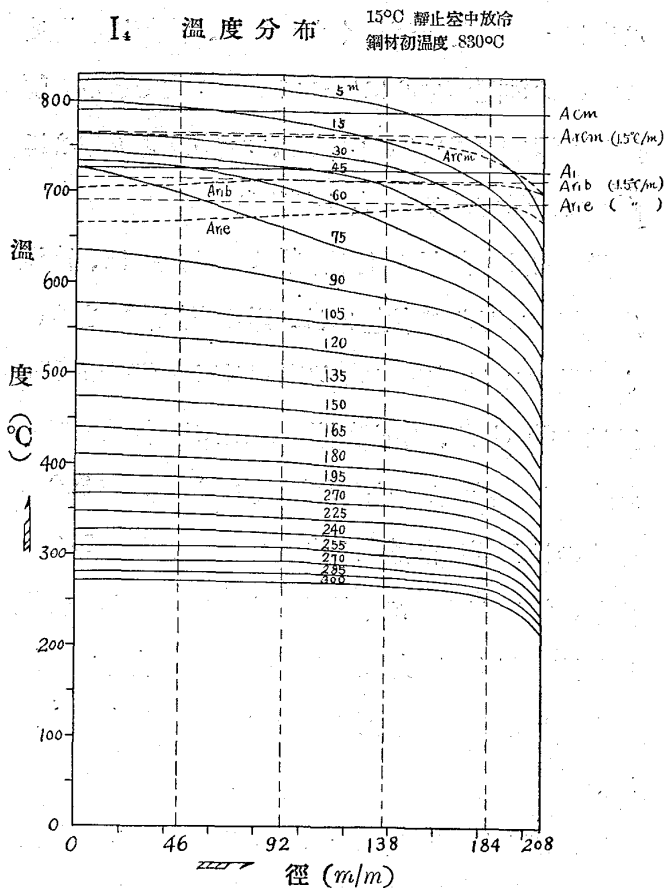
3) 時間、冷却速度曲線 (I₃ 圖)。經過時間に對する冷却速度を示せば I₃ 圖の如くなる。



鋼材の外側に於ては測熱開始 20 分後は長時間に涉りて冷却速度の變化少きも、内部に於ては長時間に涉りて變化が著しい、内外冷

却速度の偏差は測熱開始後 60 分乃至 85 分の間に於て最も著しくなつて居る。

4) 温度分布 (I_4 圖)。 I_1 圖より鋼材内部の温度分布並に變態點降下の状態を示せば I_4 圖の如



くである。温度降下曲線は開始後 5 分、及び毎 15 分のものを 5 時間に至るまで取つて示した。中心に於ては 5 時間後 270°C まで降下して居る。鋼材内部の温度勾配は、 A_1 變態温度附近に在りては著しく小となり、 Ar_{1e} 附近に至りて増大し、更に低温度に至れば次第に減少して著しく小となる。

殊に中心部に在りては、 Ar_1 變態域及び其の直下に於て毎 15 分の温度降下度著しく、且つ Ar'_1 點の直下に於ても稍々其の傾向を示して居る。

變態域内に於て鋼材中心部附近の温度勾配が著しく小なるはセメントタイトの析出並に主として

Ar_1 の變態による發熱が外方より順次影響するためであり、斯かる異様な温度降下曲線の状態は圓筒形鋼材の場合に數學的に見出すことは頗る困難で、今日まで未だ充分に示されてゐない。

變態點の降下を見るに、 Ar_{cm} は鋼材の外方に於て、又 Ar_1 變態は内部に至る程降下が著しい。殊に其の下限 Ar_{1e} は廣範圍に涉りて中心に向つて益々降下せる状態にある。

變態點の降下著しき合金鋼の如きは、一層斯かる傾向を來す理である。

Ar_1 變態域内に於ける温度勾配を見るに頗る急に於て、 Ar_1 變態が内部に向つて順次開始すると同時に其の直ぐ外方に於ては順次變態完了する如き状態にあることが能く解る。

之によりて鋼材の内部に歪の發生する状態を考察して見るに、中心部附近に於ては熱的收縮度大にして、外周は之に向つて稍々降服するとなすも著しき脆性歪¹³⁾を生ずることが解る、且つ變態下限 Ar_{1e} 温度附近に於ては變態完了による收縮歪と熱的收縮歪とが相合して脆性歪は益々其の度を加ふることとなる。

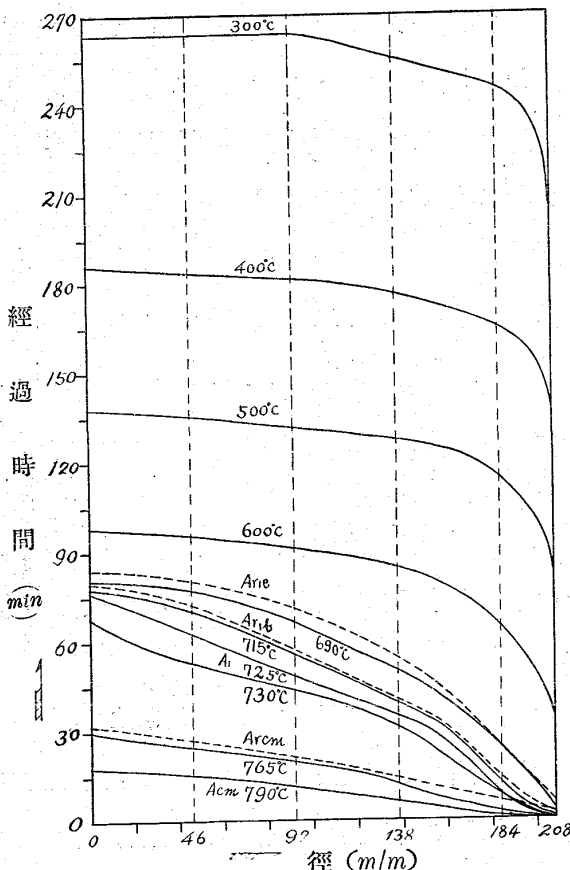
低温度に至れば本實驗の場合には鋼材の上下兩端面よりの冷却の影響も次第に加はるものなれども一般に温度勾配は内部の廣範圍に涉りて著しく小となるため 560°C 附近の Ar'_1 變態の如きは鋼材の内部にて比較的同時に起り、且つ外周も之に向つて降服すること困難なるを以て、變態の量少きにも拘らず之に應ぜる歪力は可なり大なるものと考へられる。

鋼材の内部に生ずる白點¹⁴⁾の如きは、鋼の化學組成と不純物にも因るが、主として熱間に於て變態が進行して斯る脆性歪を起し、鋼材の内部に

破斷を來せるものにして、白點の發生又は其の鋼材内の分布状態¹⁵⁾は本圖によりて能く解説することが出来る。不充分なる焼鈍後の割疵又は時季割の如きは、低温度に於て變態の進行せる場合なれば、温度勾配殆んどなきため、内外同時に歪力が作用し、且つ温度も低温なれば變態の量少なるにも拘らず鋼材の外部より中心に至るまで頗る危険なる状態を惹起するために外ならない。

5) 定温面移行状態 (I₅ 圖)。圓壙體が外周より一様に冷却する場合に、圓壙の軸心を中心とする同心圓は常に同一温度にあるものと看做することが出来る。之を茲では 定温面 と稱することとする、或る温度の定温面は外部より中心に向つて次第に移り行くべきであり、其の移行の状态は外面より中心に向へる定温面示性曲線によりて能く示すことが出来る。I₁ 圖の冷却曲線によりて鋼材

I₅ 定温面移行状態



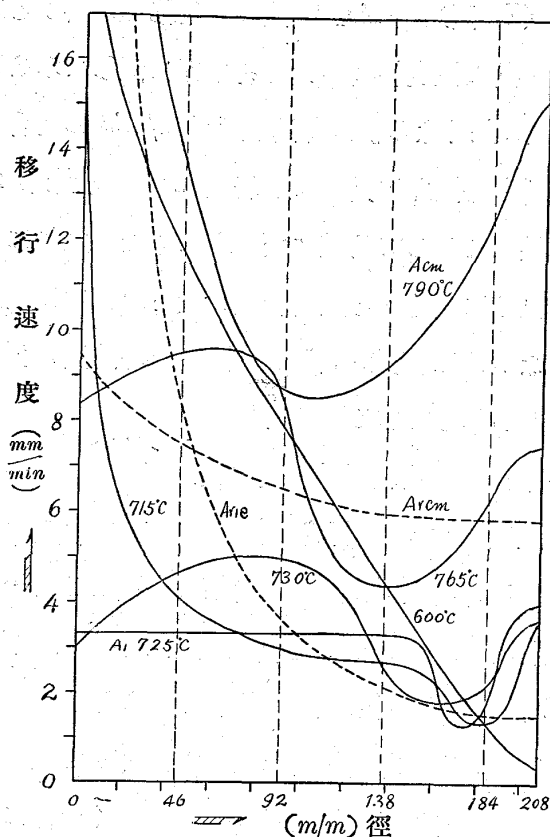
の外面より中心に至る種々の温度の定温面を假想して其の移行状態を経過時間と共に示せば I₅ 圖の示性曲線の如くなる。之によりて見るに變態域上又は域下の温度の定温面移行の示性曲線は、中心部に至りて勾配著しく小なるも、變態域内温度のものは勾配が中心に向つて一般に大である。變態域内温度 725°C の曲線は、 $r=138$ より中心に向つて直線である。(I₁ 圖参照)

從つて此の鋼材の上下兩端よりの放熱は、高温度に對しては測定位置には、殆んど影響なきものと見做すことが出来る。725°C 直上の温度 730°C 又は 765°C は、中心部附近に於て移行状態益々緩慢なるも該温度以下 715°C、690°C 乃至 500°C のものは反對に急速なる移行状態を示して居る。内外の温度が次第に平均せるためであるが、低温度に到る程上下兩端面の冷却状態も影響して一層著しく斯る状態を生ずるものであると考へられる。

變態點の移行状態を見るに、變態點 Ar_{1b} は降下し難きため(附録第 2)、此の附近の温度 715°C と同様なる示性曲線を有するも、降下し易き Ar_{cm} 及び Ar_{1e} は、鋼材の外方 $r=184$ 附近に於ては其の附近の温度 765°C 又は 690°C の示性曲線と異り、曲線は稍々直線に近づく傾がある。中心部附近に於ても既に I₂ 圖に示せる如く、冷却速度増大するを以て變態の降下し易き場合には、曲線の中心に向へる勾配は稍々大となる。之は變態點の降下せるため、移行速度が減少して経過時間が長くなる爲にして、理論的に考へても、斯る傾向のある事は明かで、此の圖によりて一層明瞭に知ることが出来る。

6) 定温面移行速度分布 (I₆ 圖)。I₅ 圖の示性

I₅ 定温面移行速度分布



曲線に餘切を求めて移行速度の分布 I₅ 圖が得られる。之に依れば高温度 790°C、765°C、730°C の定温面移行速度は、鋼材内部に於て外方より内方に向つて一旦極小速度に達し、次に極大速度を取るも、低温度のもの、例へば 600°C の如きは外部より中心に向つて速度は漸進的に増大して居る。變態域内の温度 725°C (A₁ 點に相當す) は外方に於て一旦極小速度に達せる後、中心部に向つて等速度となる 715°C は同様に外方に極小速度を有するも中心に向つて著しく増大して居る。點線にて示せる變態點 Arcm, Ar₁e は前項に述べたる如く外部に於て降下著しきために其の定温面移行速度は外方より中心に向つて略ぼ漸進的に増大す。Ar₁b の定温面移行速度は 715°C と略同様な状態 (I₅ 圖) にあるを以て此處に示さざるも、外方に於て一旦極小速度を有することゝなる。即

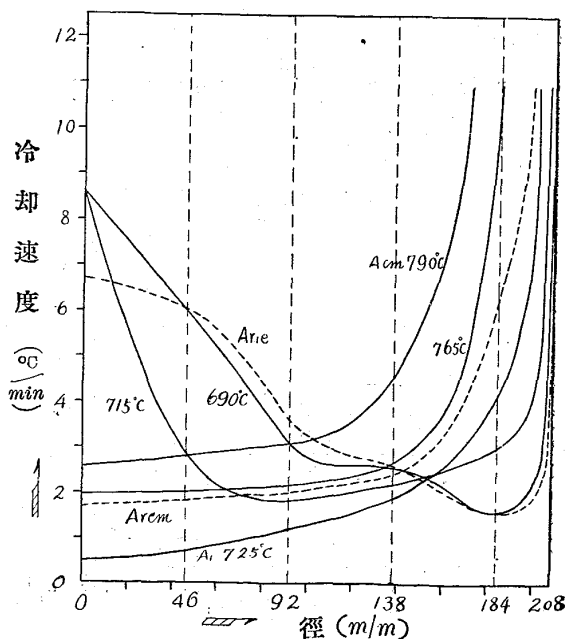
ち變態定温面の移行速度は、冷却速度による變態點降下の難易によりても著しく其の趣を異にすることが考へられる。

且つ此の圖に見る如く、高温度 790°C、765°C 等の移行速度は稍低温度の 730°C、725°C 等のものに比して、極大、極小の變化著しく大である。之は I₅ 圖に見る如く此等高温度の示性曲線は全體の勾配が常に小なるために、其の餘切の値は著しく大となるために示性曲線の勾配の變化が僅少なるとも移行速度の變化は著しく大となるためである。

本圖によりて見れば高温度の移行速度は一般に頗る大であり、且つ變態域内の温度 725°C は其の速度の分布より見て廣範圍に涉りて等速度にあるを以て、半径に應ぜる此等速度の平均値を比較して見れば 725°C の平均値は、725°C 以上又は以下の温度の平均値の何れよりも小となる。斯る傾向の著しく現はれたのは、全く變態熱の影響が大なるためである。

7) 變態域内温度と冷却速度分布 (I₇ 圖)

I₇ 變態域温度冷却速度分布

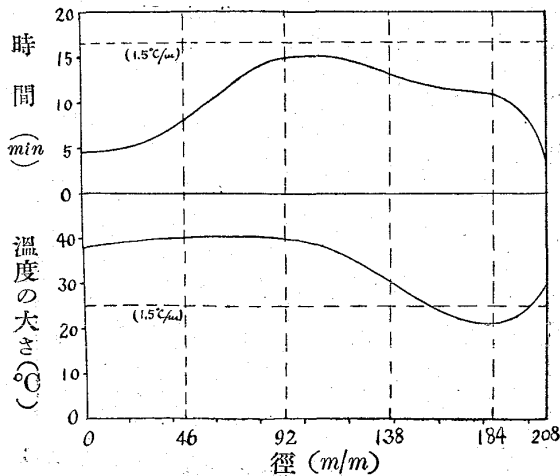


I₁ 圖 I₂ 圖より特に變態域内の溫度と冷却速度の分布を示せば I₇ 圖の如くなる。

鋼材の外方 $r=184$ 附近に於ては、高溫度より低溫度に至るに従ひて冷却速度減少するも、中心に近き部分に於ては、變態域内の溫度 725°C の冷却速度を極小として、高溫度又は低溫度に至る程反つて大となる。

Ar_1 變態に近き 715°C は、中心に於て冷却速度著しく大にして、 Ar_{1e} は之より減少せる状態にあるも、稍々其の外方 $r=46$ $r=138$ の間に於ては Ar_{1e} が反つて大なる速度の分布にある。
 $r=138$ より外周に向つては Ar_{1e} の冷却速度が再び減少して居る。之によりて見るに鋼材の外周、例へば $r=138$ 乃至 184 附近に於ては A_1 變態が比較的高溫に完了するも中心に近づく程 A_1 變態の完了は阻止せられ易きため低溫度に行はるゝことゝなり、 Ar_1' の如きを生ずることが判る。
 従つて結晶の大きさ其他組織の分布は、本圖と深き關係を有すべきである。造塊時に於て融鋼の凝固する場合に、凝固域内の溫度と冷却速度の分布も、一般に斯る複雑なる關係の許にあることが略ぼ知られる。

I₈ Ar_1 變態に要せし時間並に溫度範圍 大きさ分布



8) Ar_1 變態に要する時間並に溫度範圍の大きさ分布 (I₈ 圖)。 Ar_1 變態の開始終息に要する時間並に其の溫度範圍の大きさを半径に應じて示せば I₈ 圖の如くなる。冷却速度 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の場合の時間 16.6 分、並に其の溫度範圍 25°C (附録第 2) を點線にて示して比較に便ならしめた。之等によりて見るに、時間と溫度範圍の大きさは常に逆比例しないのは、變態域通過の際に冷却速度の變化が著しいからである。

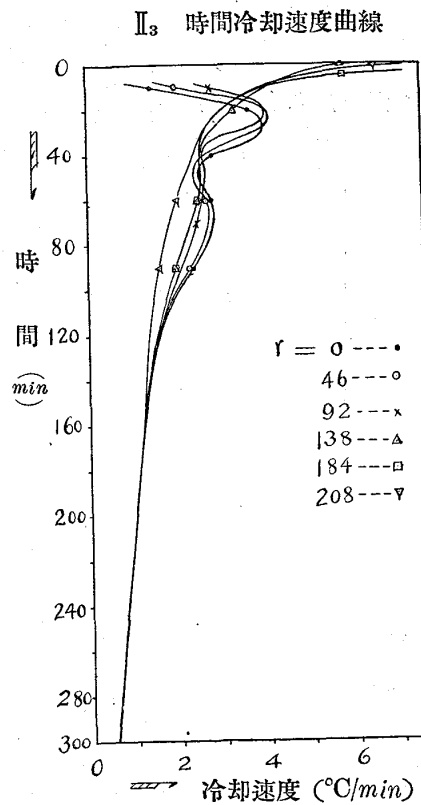
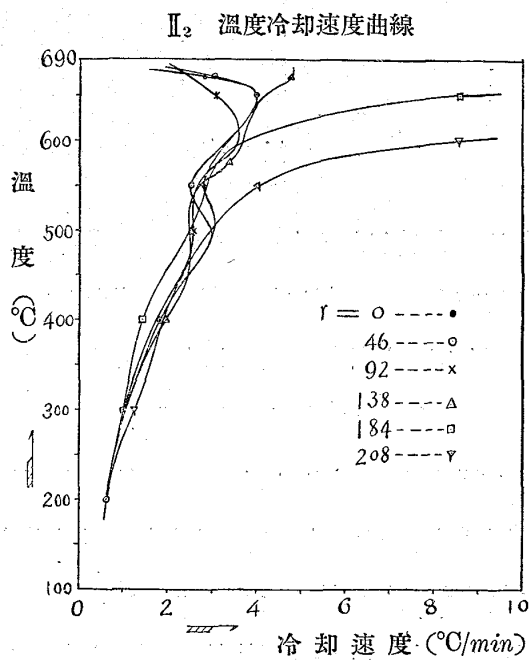
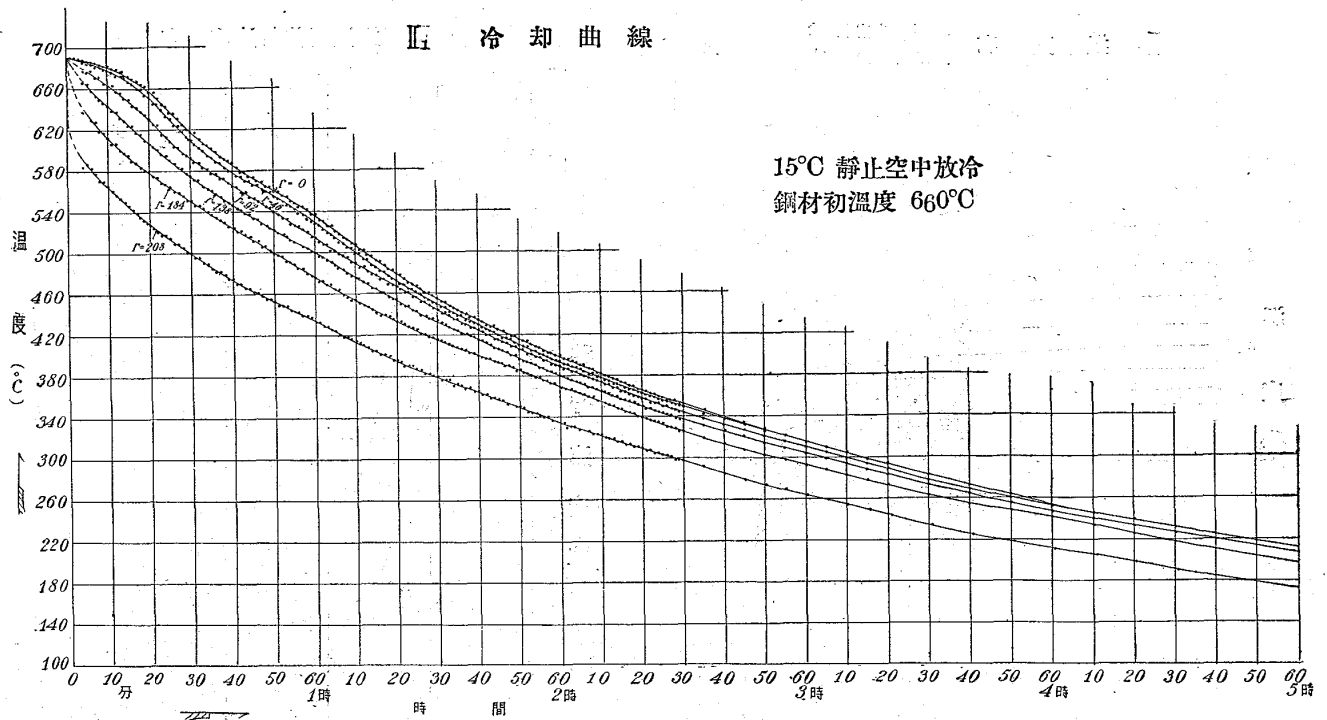
II 節 變態域下より空中放冷

初溫度 690°C の場合。

1) 冷却曲線 (II₁ 圖)。前節に實驗せる同一測熱鋼材を 690°C まで長時間加熱保持 (附録第 1 附 2 圖) したる後、空中放冷せしめたる場合に II₁ 圖の如き冷却曲線を得た。之によりて見るに鋼材の内部各部は、溫度差比較的小なく一樣に冷却して、曲線も一般に平滑である。變態熱を著しく生ずる I 節の場合とは、中心部に於て全く其の趣きを異にして居る。 570°C 乃至 520°C の間に於て中心部に稍々發熱せる如き状態を示して居る。

2) 溫度冷却速度曲線 (II₂ 圖)。本圖を見るに鋼材の外周は I₂ 圖に示せる變態域下の冷却速度曲線に近き状態にあるも、中心部は甚しき速度の増大又は變化のなきは變態熱が殆んどない爲である。

3) 時間冷却速度曲線 (II₃ 圖)。鋼材内部の冷却速度は、時間と共に比較的一様に増減し、測熱開始後 20 分乃至 30 分に至りて、一時極大に達す。40 分乃至 50 分後に於て極小速度を有するは 540°C 附近の冷却状態に因るものである。一般に内外各部の冷却速度の偏差が少ない。



線は I₅ 圖に見る變態域上又は域下溫度の定溫面移行の示性曲線と夫々同様な傾向を有するも、I₅ 圖に見る變態域内溫度の示性曲線の如き勾配を有する曲線のないのは變態熱の影響が殆んど全くないためである。

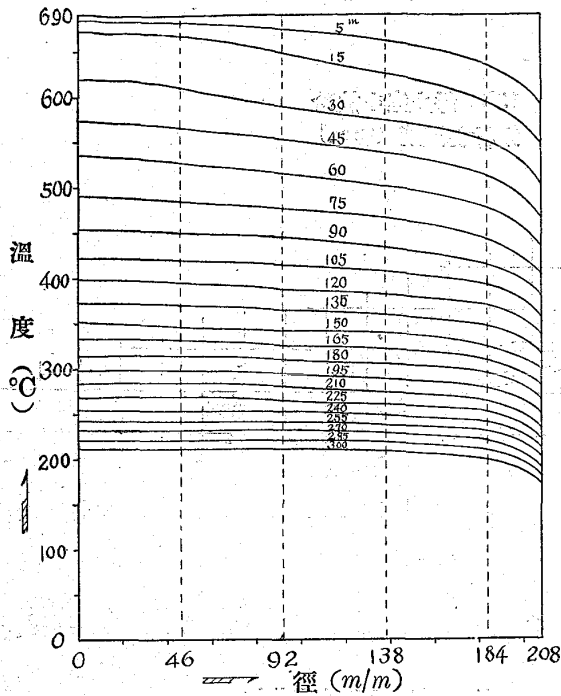
4) 溫度分布 (II₄ 圖)。測熱開始後 5 分及び毎 15 分の溫度降下曲線による溫度分布は II₄ 圖の如くである。内部は 15 分乃至 30 分に於て、溫度降下度最も著し、一般に曲線の形狀も常に同一傾向を示して居る。

5) 定溫面移行狀態 (II₅ 圖)。初溫度に近き高溫度の定溫面、並に低溫度の定溫面移行の示性曲

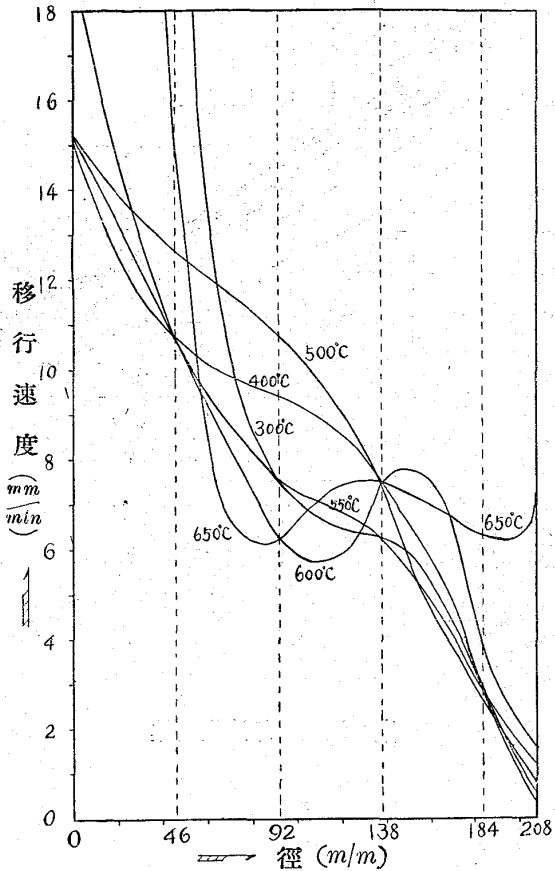
6) 定溫面移行速度分布 (II₆ 圖)。高溫度の定溫面移行速度は、鋼材の半径中央にて稍々極大、極小點を有するも、一般に中心に向つて速度著しく増大して居り、中心に向つて等速度又は之に近

II₄ 温度分布

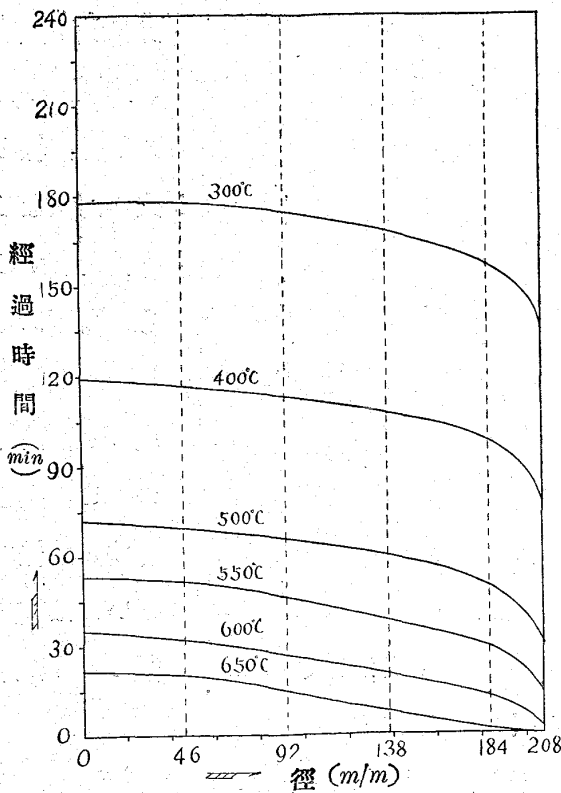
15°C 静止空中放冷
鋼材初温度 690°C



II₆ 定温面移行速度分布



II₅ 定温面移行状態



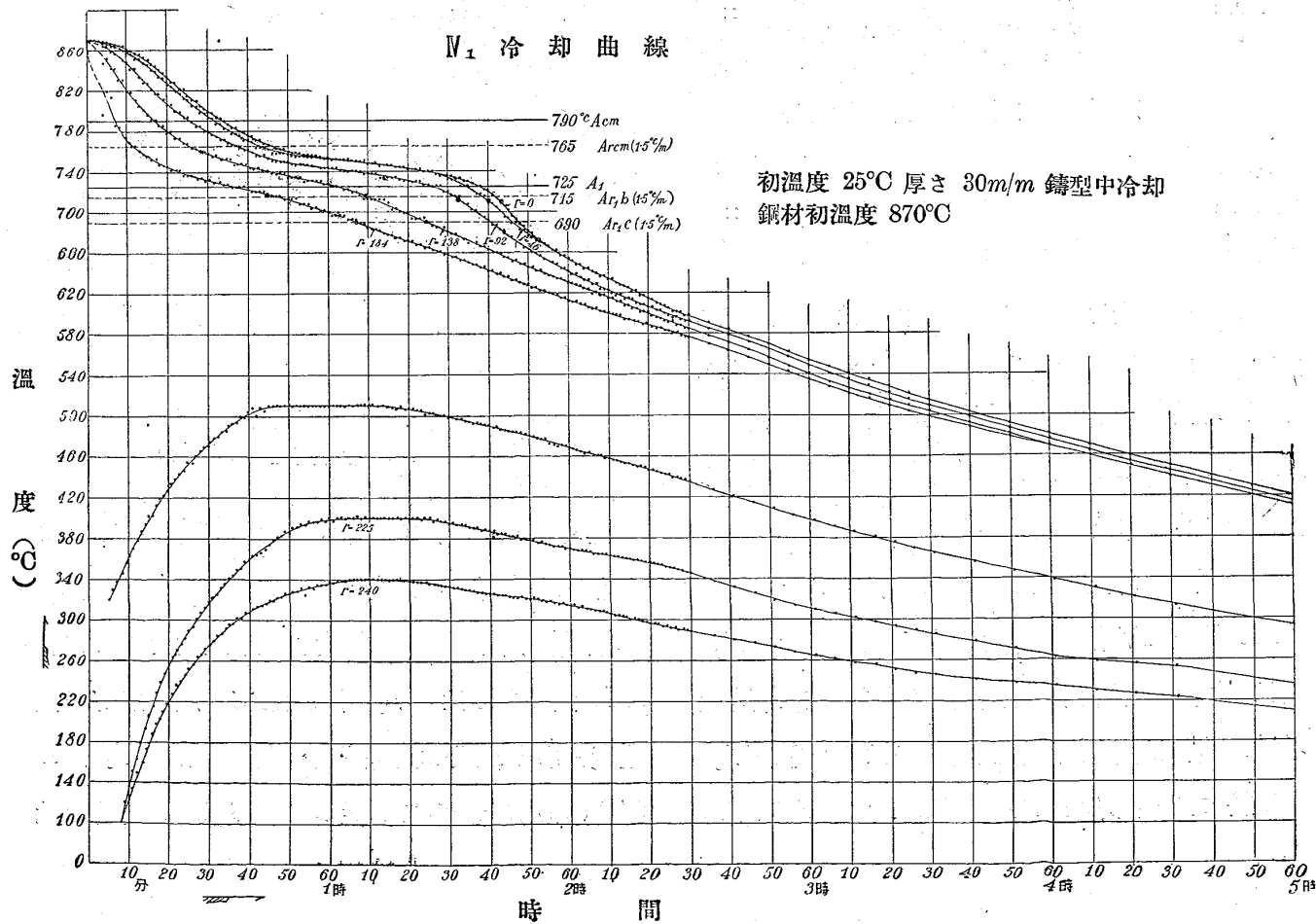
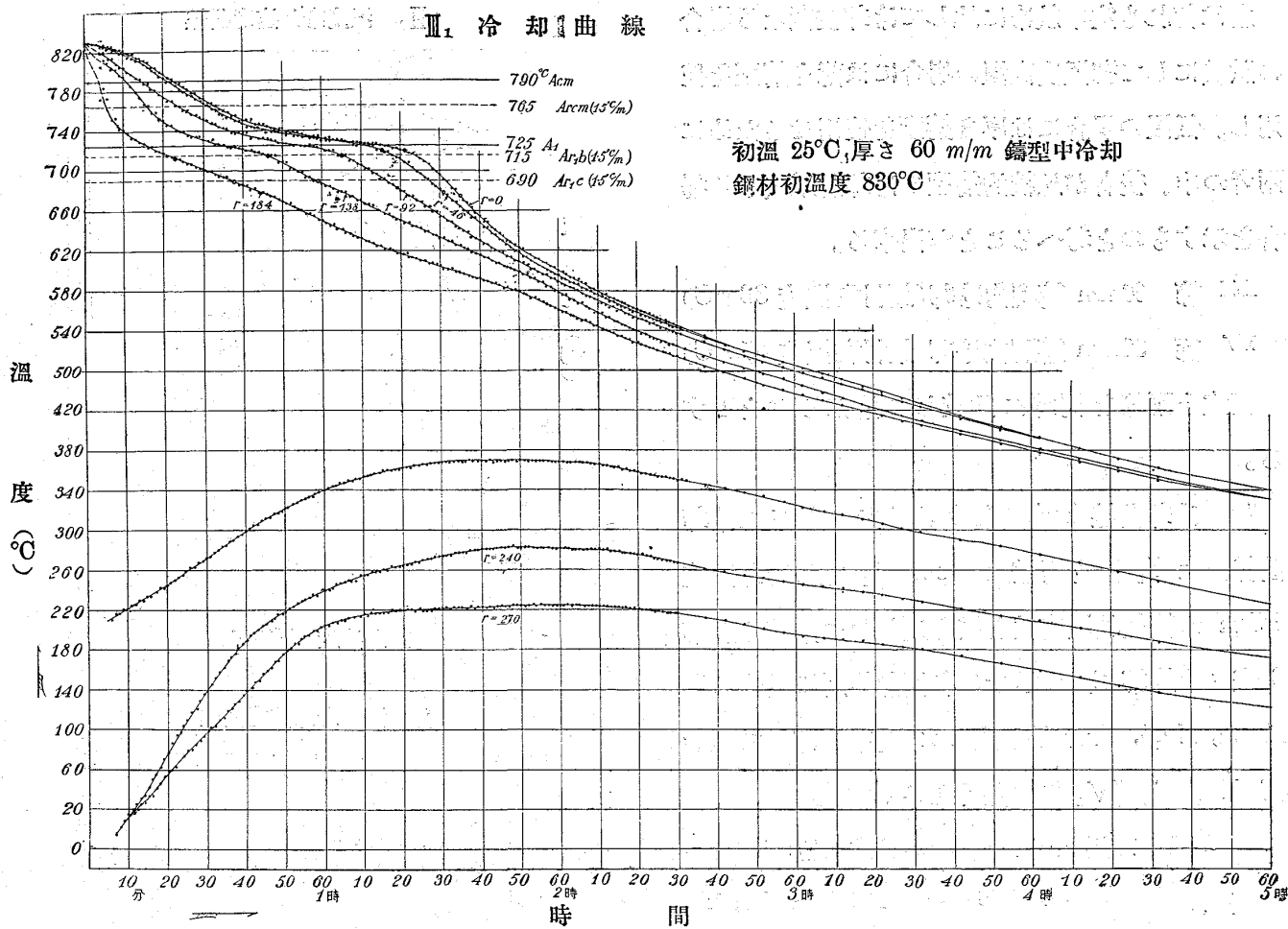
微量なる再發熱があるものとせば其影響をも幾分蒙れる爲である。一般に變態熱の影響著しき I₆ 圖と比較して甚しく状態を異にして居る。

第 2 部 鑄型内鋼材の放熱

鋼材の變態域上の温度に長時間加熱保持 (附録第 1、附 2 圖) せるものを所定位置に取り出し、直ちに鑄鐵製圓筒形鑄型を上部より覆せ鑄型内にて放熱せしめたる場合 (附録第 1、附 3 圖) に鋼材及鑄型温度を測定した。

鑄型は初温度 25°C にして厚さ 60mm 及 30mm の 2 種を用ひ、60mm 鑄型使用の場合は鋼材初温度 830°C にして、又 30mm 鑄型使用の場合は初温度 870°C とした。赤熱鋼材に鑄型を覆せた場合に兩者の間隙は何れも略々 2mm の間隙を有する如くした。(附録第 1、第 2 参照)

き速度の分布状態を見ない。只 650°C 及び 600°C の如き高温度のものは鋼材の半径中央に於て一時極小速度を生ずるは初温度に近きためであり且つ



之は何れも空中放冷に比して冷却緩慢なる場合の試験にして初温度高温の場合には薄き鑄型を使用し、低温の場合には厚き鑄型を使用せるために兩者の中、後者が比較的鑄型の冷却効果大なる場合を示すものと考へることが出来る。

III 節 60mm 鑄型内冷却(鋼材初温度 830°C)

IV 節 30mm 鑄型内冷却(鋼材初温度 870°C)

便宜上兩節を同時に比較して述ぶることとする。

1) 冷却曲線(III₁ 圖、IV₁ 圖) 之等の冷却曲線上に I₁ 圖と同様に A_{cm} , A_{1e} 並に冷却速度 1.5cm の變態域温度線を描き入れ且つ第 2 表、第 3 表(附録第 2) に示せる各測熱箇所につける A_{rcm} , A_{r_1b} , A_{r_1e} 等を夫々 ×、●、○印にて示せば III₁ 圖、IV₁ 圖の如くなる。

第 2 表 變態温度 (60mm 鑄型内放熱)

tr.p.°C	r_1 mm	0	46	92	138	184	Mark
A_{rcm}		760	760	759	753	746	×
A_{r_1b}		720	720	715	714	713	●
A_{r_1e}		675	678	682	688	689	○

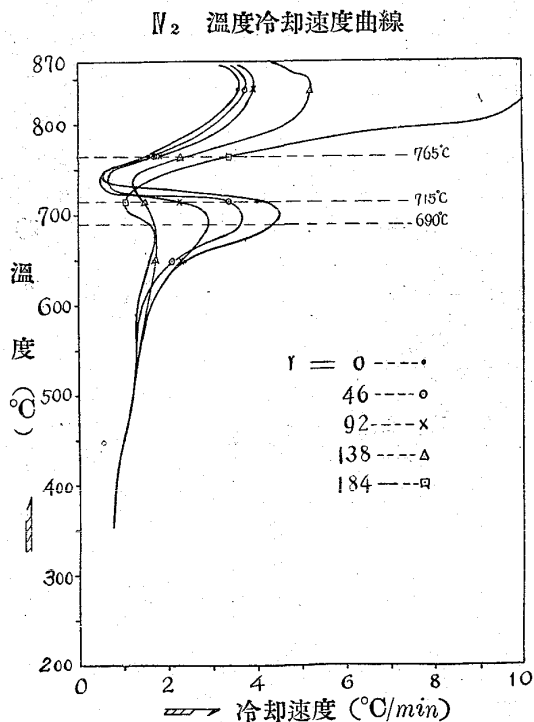
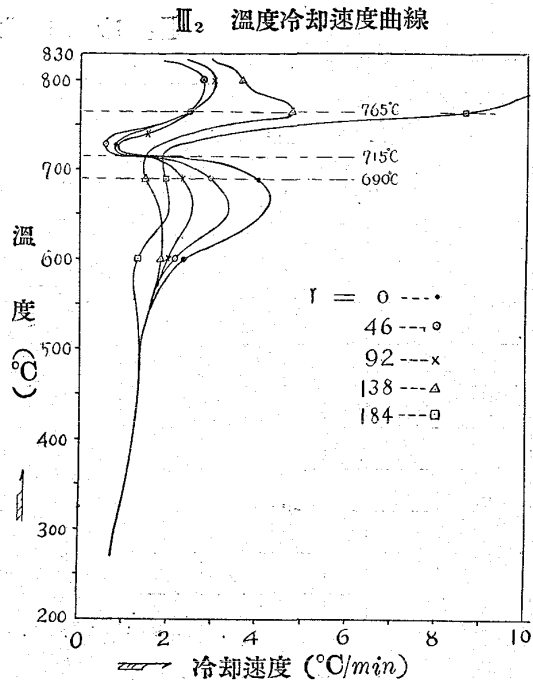
第 3 表 變態温度 (30mm 鑄型内放熱)

tr.p.°C	r_1 mm	0	46	92	138	184	Mark
A_{rcm}		764	764	764	760	756	×
A_{r_1b}		710	711	713	715	717	●
A_{r_1e}		673	675	680	690	690	○

之等兩圖及表を見るに、冷却状態は一般に何れも空中放冷の場合に比して緩慢である。特に中心部の冷却曲線の形状は甚だしく異なり、變態熱の冷却状態に及ぼす響影は、空中放冷の場合の如く顯著ならざることが判る。

2) 温度冷却速度曲線 (III₂ 圖、IV₂ 圖)

III 節及 IV 節の場合を比較して見るに、III₂ 圖は A_{r_1} 變態域下限温度附近より起る冷却速度増減の變化は廣き温度範囲内に行はるゝも、IV₂ 圖に於ては範圍小である。従つて 600°C 以下の



低温度に至れば、III 節の場合は IV 節の場合よりも冷却速度一般に大である。

各測熱半径に於ける極大、極小速度を見るに、III₂ 圖のものは IV₂ 圖に比して一般に之等が低温度であり、且つ極大速度の絶體値が IV₂ 圖の場合の方が大である。従つて之等二者の場合を比

較して見るに、鑄型の厚さは高温度に於ては影響少なく低温度に至りて其の影響が著しく現はれて居る。III₂ 圖の $r=138$ に見る如く、變態域上に於て冷却速度の異常なる變化あるは、鑄型挿入によりて冷却状態が一時變化せるためである。

第1部空中放冷 I₂ 圖と同様に何れも Ar₁ 變態域附近に於て中心部は常に冷却速度大となる。融鋼が凝固せる鋼塊の中心部に於ては却つて其の外方よりも初期晶の大きさが小なる場合があるのは中心部の温度勾配並に定温面の示性曲線の勾配が中心に至れば次第に減少すると共に此の冷却速度が著しく大となるためであると信ずる。従つて鋼塊が出来る場合に其の化學組成初温度或は冷却の緩急によりて粒の大きさと分布状態に各種の場合を生ずることがよく判る。

3) 時間冷却速度曲線 (III₃ 圖 IV₃ 圖)。

一般に III₂ 圖のものは IV₂ 圖のものに比較して、極大速度の到達時間が速であるが、之は鑄型の厚さ大にして初温度が可成り低温なるためなることは云ふまでもない。

4) 温度分布 (III₄ 圖 IV₄ 圖)。

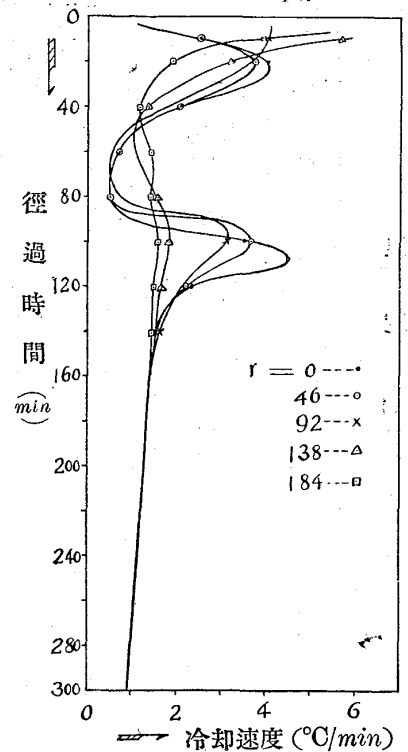
兩者の温度分布は III₄ 圖、IV₄ 圖に示す如く、5 時間後は夫々 380°C 及 420°C になり、

空中放冷の I₄ 圖の 270°C に比して共に著しく高温であり、温度勾配並に毎 15 分の温度降下度より見るも空中放冷に比して冷却緩慢なることが明かに判る。

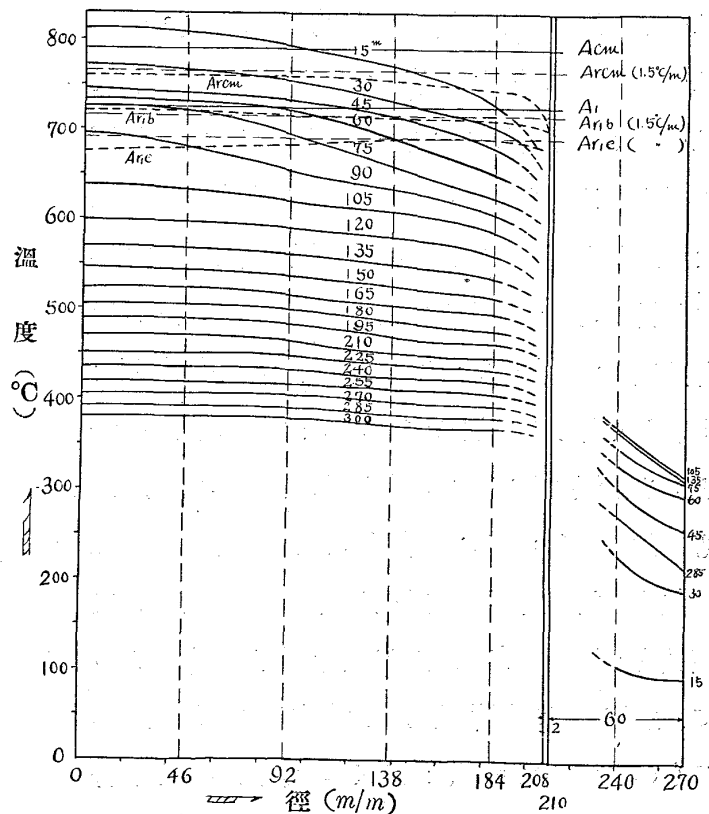
兩者の温度分布を比較して見るに III₄ 圖の

場合は A₁ 温度附近に於て中心に近き部分の温度降下度並に其の勾配が著しく小となり、従つて

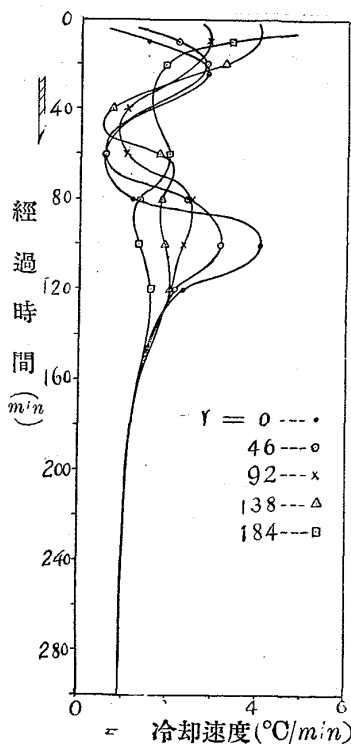
IV₃ 時間冷却速度曲線

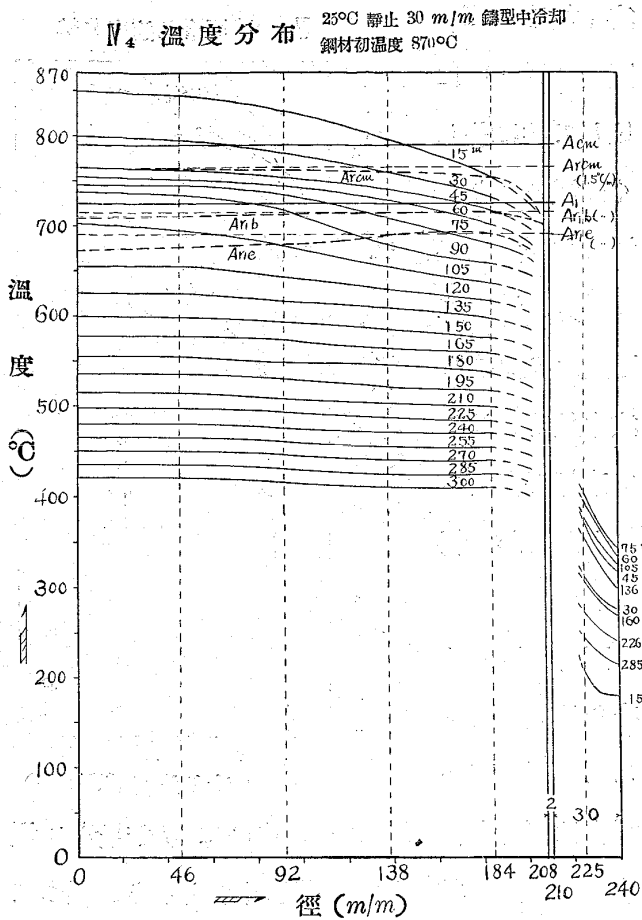


III₄ 温度分布 25°C 厚さ 60 m/m 鑄型中冷却 鋼材初温度 830°C



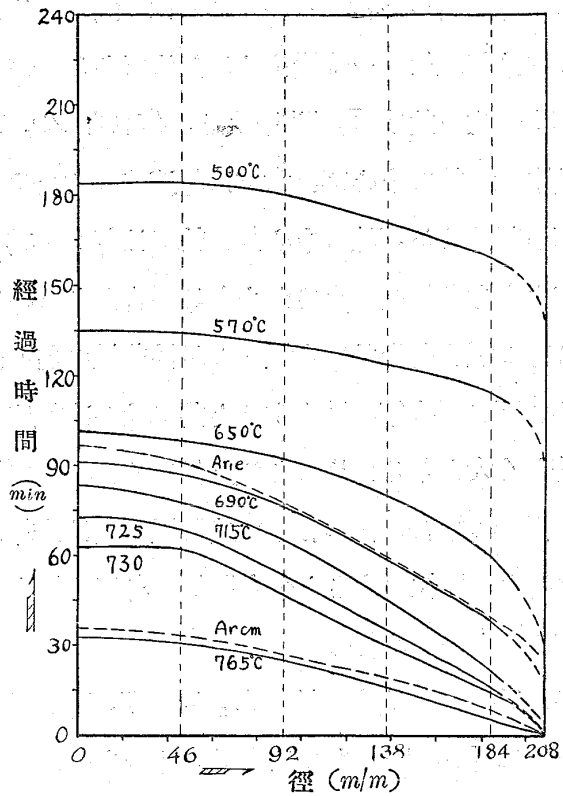
III₃ 時間冷却速度曲線





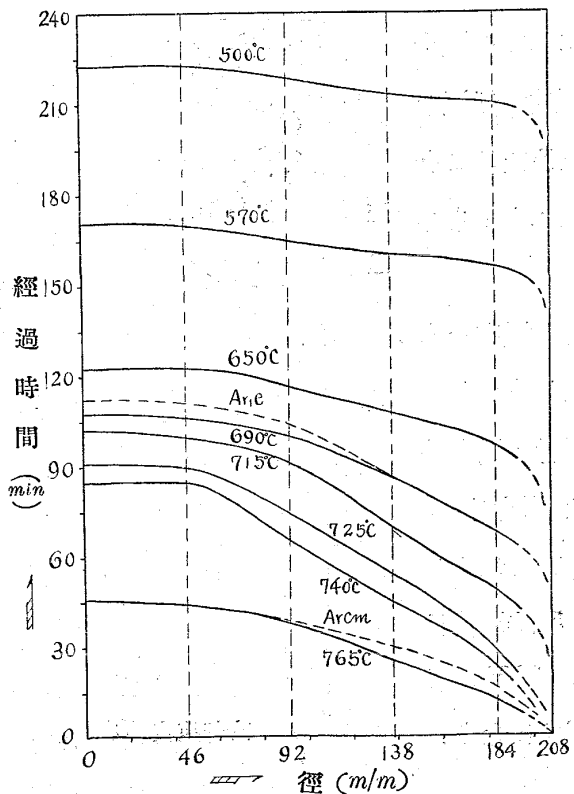
圖の如き場合には頗る困難なるものと推考することが出来る。

5) 定温面移行状態 (III₅ 圖、IV₅ 圖)
III₅ 定温面移行状態



Ar₁b は A₁ に著しく接近し冷却速度 1.5°C/min の Ar₁ 開始點 Ar₁b (1.5°C/min) より上温にあり、又 Arcm は一般に降下して居る。之に反して IV₄ 圖の場合には中心部に於て III₄ 圖と比較して A₁ 點より遙か上温に於て毎 15 分の温度降下度並に其の曲線の勾配が減少して居る。従つて Ar₁b は冷却速度 1.5°C/m の之よりも低温に起り III₄ 圖より著しく降下して居るが Arcm は III₄ 圖の場合よりも上温にして、中心部は冷却速度 1.5°C/m のもの即ち Arcm (1.5°C/min) 略ぼ同温度にある。造塊時に於て鑄型内に融鋼が凝固する場合に、凝固域内の温度分布の状態が、鑄込温度の差によりて、之等二者の變態域内に相應する如き状態にあるものとするならば、恐らく IV₄ 圖の如き場合には不純物の浮上が比較的容易であるが、III₄

IV₅ 定温面移行状態



兩者の場合に於て、高温度又は低温度の定温度面移行の示性曲線の勾配は、鋼材の中心に向つて漸進的に減少せるも、變態域内温度 740°C、730°C 又は 725°C を見るに半径の中央部に於て同一勾配に近く略直線に近き状態を示せるも、中心部附近に於ては一時急激に勾配が減少し、以後水平直線に近づく。

従つて此の中心部は殆んど同時に温度降下せる状態を示して居る。

之は緩慢なる冷却のために此の中心部の温度が一樣になる爲であるが、此の場合には鋼材の周圍に對して上下端面よりの冷却の割合が、空中放冷に比して反つて著しくなり、鋼材縦断面の等温度線は著しく隋圓狀に近づき易いことも考へねばならない。

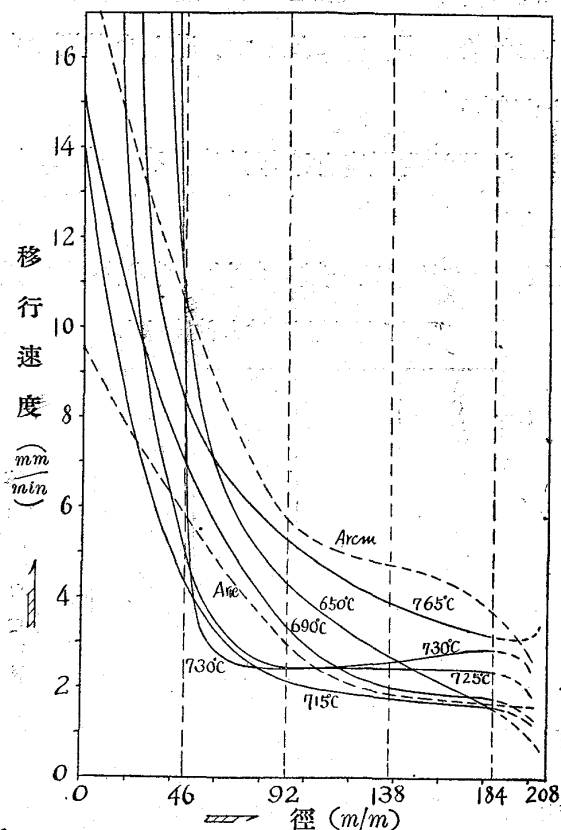
Ar_{1e} を見るに、何れも冷却速度 $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ の場合の Ar_1 の終息温度 690°C に對して、外方は殆んど之と同一状態にあるも、中心に向ふに従ひて冷却速度大となり變態の降下を來すために Ar_{1e} の移行は 690°C に比して益々緩慢となる。 715°C 乃至 690°C の移行を見るに、III. 圖の場合には空中放冷の場合とよく趣を同じうするも IV. 圖にありては中心附近に於て可成り状態を異にし、示性曲線の勾配が中心に向つて著しく減少して居る。之は前述の温度分布に就て見れば中心部の温度勾配が Ar_1 變態域下限に於て、IV. 圖の方が III. 圖よりも稍々小なるためであることが判る。

6) 定温度面移行速度分布 (III. 圖, IV. 圖)

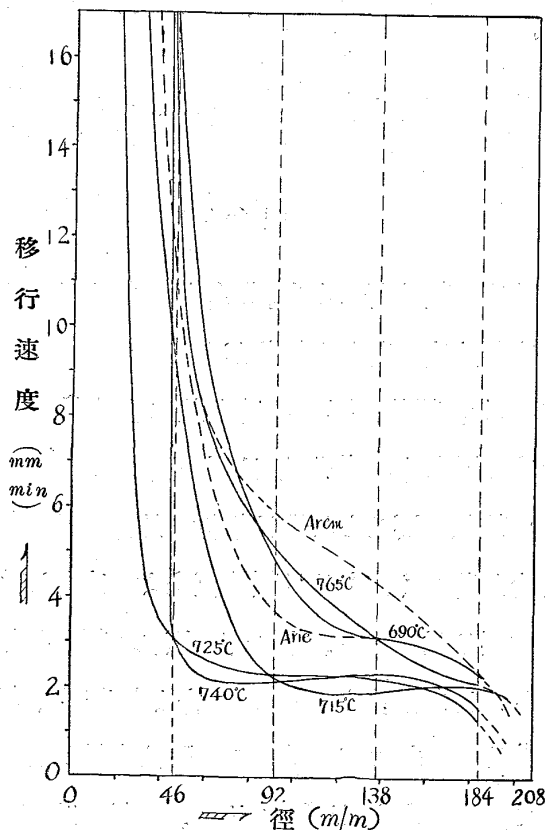
III. 圖は IV. 圖の場合に比して一般に中心部の移行速度が小である。

IV. 圖にては中心部の $r=50\text{mm}$ 範圍内に於ては移行速度著しく大にして、此の部の温度は殆ん

III. 定温度面移行速度分布



IV. 定温度面移行速度分布

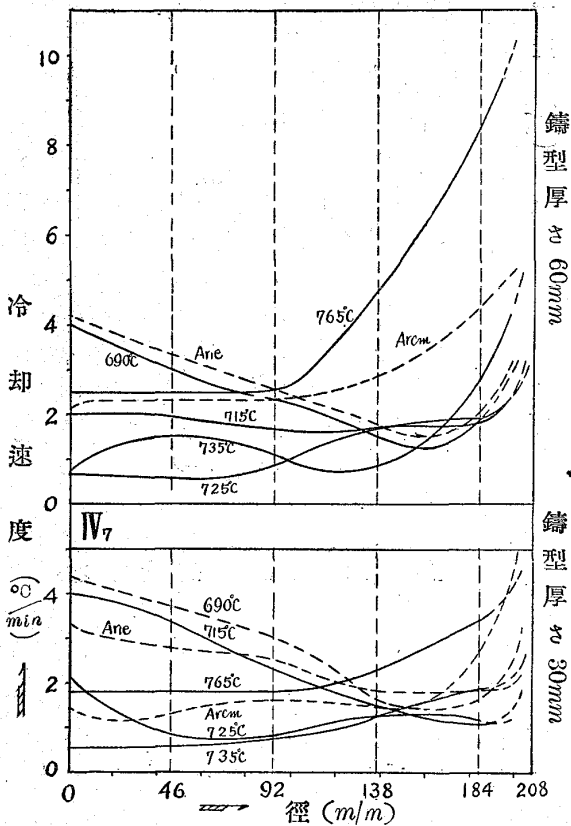


ど同時に降下せる状態を示して居る、何れも空中放冷の場合の I。圖に比して、著しき差別のあることが判る。

7) 變態域内温度と冷却速度分布 (III₇ 圖 IV₇ 圖)

III₇ 圖に於ては一般に鋼材の半徑外方に於て

III₇ 變態域温度冷却速度分布

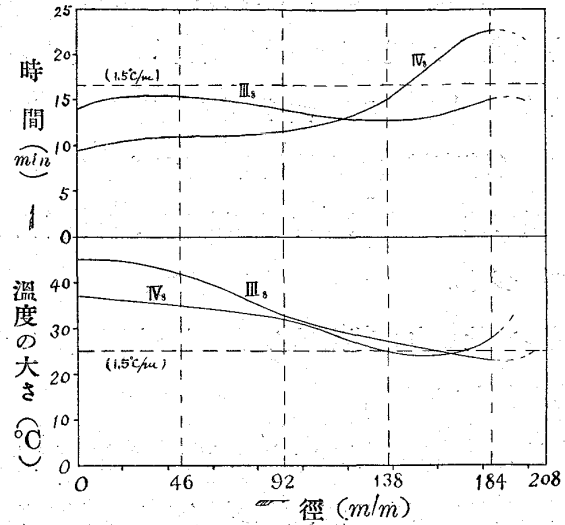


冷却速度の變化著しきも、IV₇ 圖の場合は中心に近く冷却速度の著しき變化がある。

8) Ar_1 變態に要せし時間並に温度範圍の大きさ分布 (III₈ 圖、IV₈ 圖は同一圖に示す)

Ar_1 變態に要せし時間は鋼材の外部に於て IV₈ の場合が著しく大なるは變態直上より冷却速度減少して居る爲であり、中心部に至れば變態域通過に際し、冷却速度が III₈ の場合より著しく増大せるために、却つて IV₈ の時間は III₈ より減少して居る。III₈ は I₈ に比し、一般に時間の分

III₈ IV₈ Ar_1 變態に要せし時間並に温度範圍の大きさ分布



布に於ては變化が少ないが、温度範圍の大きさは中心に行くに従ひて増大して居るが兩者略ぼ同様の傾向を示して居る。

第 3 部 總 括

上記の實驗結果によりて、鋼材内部の複雑なる熱的現象を示すことが出来た。

測熱上一定長さを有する鋼材ではあるが、之等の實驗の温度範圍内に於て、今其の結果より冷却現象に見たる變態熱の影響につきて、茲に概括して述べ、且つ特に變態域温度の移行状態より見て鋼塊偏析に就て考察して見るに次の如くである。

V 節 變態熱の冷却状態に及ぼせる影響

1) 鋼材内部の温度が Ar_1 變態域上に近づくに従ひて温度の勾配は次第に減少し、鋼材内部は廣範圍に涉りて、略ぼ同時に A_{cm} と A_1 變態點の中に来る。 Ar_1 變態域内にある同心周圍も同様に時間の経過と共に鋼材の中心に行くに従ひて其の半徑に應ずる距離は大となる。(I₁ I₄)

2) 鋼材内部の半徑に應ずる各點の冷却速度は變態域上又は域下温度附近に於て、極大を有し變態域内にありては一時極小となる。

此の場合に變態域上の各點の極大値は中心に行くに従ひて減少するも、域下溫度附近に於ける極大値は、中心に向つて増大す。(I₂)

3) 外部の冷却速かなれば鋼材内部に於て A_T 變態域の溫度の範圍の大きさは、中心に行くに従ひて一般に増大するも、同變態域通過に要する時間は却つて減少す。(I₄ I₅)

従つて中心部に於ては、 A_{T_1} 變態は一部未完了の儘溫度低下し、階段的變態を示し低溫度に於て再發熱を明かに示すことがある。(I₁ 附 5)

4) 變態域内に於て、溫度勾配は急激なる變化を生じ、従つて溫度降下曲線は、順次其の形狀を著しく變化す。變態域下限に於て溫度降下度常に甚しく中心に於ては遂に極大となる。(I₄)

5) 外部の冷却速かなれば變態域内の定溫面の内部移行速度は中心に近づくに従ひて、略ぼ等速度を有する場合には、該溫度の直上溫度、定溫面移行速度は中心に向つて漸進的に減少す。(I₆)

6) 外部の冷却速かなれば、各溫度の定溫面の内部移行速度は其の分布状態に見る如く (I₆) 溫度の上下に従ひて外面より中心に至る間に極小、極大速度を取ることあり、或は等速度にあることあり、又は外面より中心に向つて、漸進的に増大する等各種の場合を生ずる。而して變態域内溫度の定溫面の移行速度が、中心部附近にて等速度をとる場合には鋼材半徑に應ぜる其の平均値は該溫度以上又は以下の定溫面の速度の平均値の何れよりも小となる。(I₆)

7) 外部の冷却速かなる場合に、變態點降下し易き場合には、該點の移行速度は半徑の外部に於て極小速度を取らざる傾向にあるも、變態點の降下し難き場合には、一旦極小速度に達する傾向を

有す。(I₆ I₇)

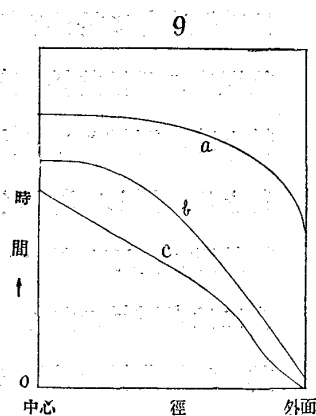
VI 節 變態域溫度の移行状態の考察と

鋼塊偏折

1) 前節の結果より變態熱の冷却状態に及ぼす影響は、外部の冷却速かなる場合に却つて中心部に著しく現はれる。此事は E. F. Law の實驗の場合に於ても同様の現象を示して居る、従つて冷却速かなる場合に變態熱を多量に有する程内部の溫度勾配を一時大ならしむることが判る。

融鋼が凝固する場合に於ては多量の潜熱を有するを以て、鋼塊の外部の冷却を急にする場合には鋼塊の中心部に至るまで溫度勾配は大となり、收縮管は深く底部まで出來易い、又極く小鋼塊にありては外部より中心まで柱晶層を生ずるのも斯る傾向にあるためであると考へらる。

2) 外部の冷却著しく緩かなれば、9 圖 a 曲線に見る如く定溫面移行の示性曲線は中心に向つて

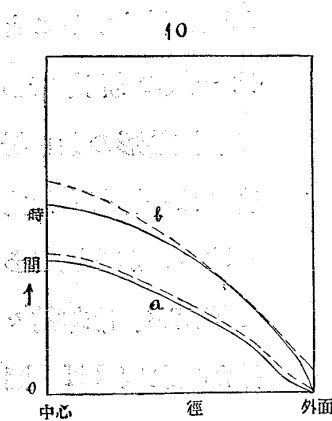


勾配を減少することは一般の傾向であり、圓壘形の如き場合には一層斯る傾向を取るのが普通である筈だが、冷却稍々速かなれば III 圖の 275°C の示性曲線

即ち 9 圖 b 曲線の如くなるが、更に冷却急なれば I₆ 圖の 275°C の示性曲線即ち 9 圖 c の如く中心に向つて勾配が常に同一となり直線に近く、此事は Lightfoot 氏の計算による鋼板の焼入に於ても示されて居るが、溫度勾配の一層減少し易い圓壘形の場合に在りても生ずることが明かに證明された。斯る現象は前述の如く主として外部

の冷却状態に全く関係するものである。之等各種の考察よりすれば鋼塊の中心部は必ず常に同一状態に凝固するものではないことがよく判る。大鋼塊の如きは内部の冷却緩かなるため、其の凝固面は 9 圖 b 曲線の如き状態を採つて移行し易く従つて硫化物の鋼塊偏析は横断面に輪状¹⁶⁾に配し、即ち輪條幽痕¹⁷⁾となるが、冷却急なる小鋼塊の場合には 9 圖 c 曲線の如く凝固面は中心部に向つて等速度に近くなり、従つて輪條幽痕は生じ難い、従つて鋼塊の中心部に於て前者の場合には第一次晶並に初期晶の大きさも其の外方より小となるが、後者の場合には中心部の第一次晶並に初期晶の粒は益々大となる傾があり、之の傾向は I₁ 圖の冷却曲線に見たる如き中心部の冷却状態にあるものと推定せらる。

3) 冷却速度増大するも變態點降下し難き場合には、10 圖 a 點線の如く變態點移行の示性曲線



は普通冷却に於ける變態温度の示性曲線 a 實線と略ぼ同様な傾向をとる、而して著しく變態點の降下し易き場合には b 點線の如く、其の示性曲線の外周に近き部分は普通冷却状態

に於ける變態温度の該曲線、b 實線よりも勾配の減少を來し移行速度は外面に至る程増大す。又中心に近づくに従ひ此の點線にて示せる曲線の勾配は増大して、移行速度の著しき減少を來すに至る (I, III, III, IV.)

融鋼の凝固に當りても同様に鋼塊の内部は同一冷却状態に於ても、凝固域の小なる低炭素鋼の如

きは凝固面の移行は、普通冷却状態の固相温度の移行と同一状態に中心部まで移行し易いが、合金鋼の如きは固相點の降下を來し易いために中心部は前者に反して移行状態が益々緩慢になり易く、V 状偏析¹⁸⁾の如きは深く低部まで生ずる傾向を有す、従つて合金鋼塊にありては鑄込熱度が稍々高くなると、收縮によりて起る此の V 状偏析を生じない事がある。即ち中心部が一時に凝固して收縮を來すと言ふことなく順次に凝固して中心に至るからであると思はれる。

結 論

變態熱量の比較的多くして、Ar₁ の變態域の降下を明瞭に示し、且つ高温に變態完了し易き高炭素鋼を用ひ一定長さの圓壙鋼材を製作し、之を加熱の上變態域上又は域下より、空中放冷及び鑄型内放熱せる場合に就きて實驗を行ひ、其の冷却現象を略々茲に明かにすることを得た。之に依つて變態熱の冷却状態に及ぼす影響を知ることが出来る。特に空中放冷の場合の如く、稍々冷却急なる場合に變態熱の影響によりて定温面移行の示性曲線は中心に向つて勾配を益々増大し或は直線となり従つて其の移行速度は中心に向つて益々減少し或は等速度を有する場合のあることを見出した。

H. Lighfood 氏の計算によれば、變態熱の影響によりて亞共析鋼鈹の焼入に應ぜる冷却に於ても之と略ぼ同様に、變態温度の移行速度は、中心附近に於て略ぼ等速度を有する現象のあることが推論せられ¹⁹⁾、此の條件は鋼塊の中心部に於ける凝固状態の推定に重要視²⁰⁾せられて居る。

然るに本實驗によりて一定長さではあるが圓壙形の場合に於ても、斯る移行状態を示す場合があるも、變態域を有し且つ變態點の降下を生ずるた

めに、此の變態溫度の定溫面の移行状態は、更に複雑なることを知つた。従つて造塊時の如く融鋼の凝固に當りて、凝固面の移行状態は、數學的論據²¹⁾によりてのみ簡単に推定し得ざることを明かに示すことが出来た。

本研究の結果は鋼材の冷却中に於て、組織の變化を推考し得るを以つて白點の發生機構又は其の出現分布状態等を從來より一層明かにすることが出来るのみならず、造塊時に起る融鋼の凝固状態の考究に當り、基礎的觀念を與ふるものであらうと思ふ、勿論本研究の結果を以て、直ちに融鋼の凝固状態を考察することは危険なるも略ぼ同様な關係の許に起るべき、鋼塊内部の各種の現象、例へば一粒の形狀大小等は前述の如く溫度勾配と冷却速度によりて又鋼塊偏析の形象變化、或は氣泡偏析の分布配在等は共に凝固域溫度の定溫面移行の示性曲線、並に凝固域通過の冷却速度によりて、最も能く推考し得らるるものと信ず。其の他一般不純夾雜物の分布並に其の生成状態等も亦主として凝固域通過の冷却状態によりて能く論ずることが出来る。之等に就きては他の實驗と共に別に述べたいと思ふ。

鋼體内部の熱的現象を明かならしむることは頗る困難なるも製鋼實作業に於ては非常に重要視すべきものであるから、茲に複雑なる鋼の冷却現象の一端に就きて實驗を試みた所以である。

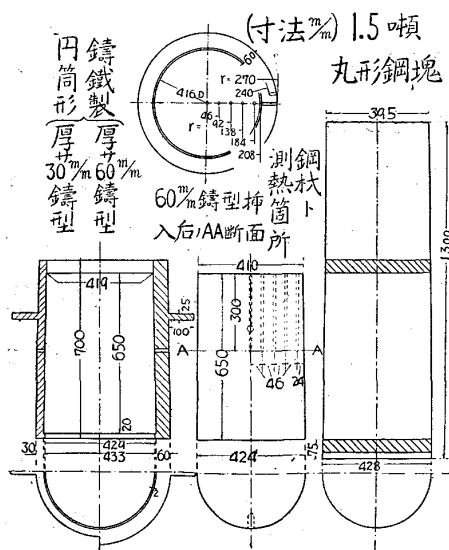
終りに臨み本研究に對し、卷頭の題名を附與し且つ發表を許可せられたる當株式會社日本製鋼所會長、常務取締役工學博士水谷叔彦閣下を始め、實驗上種々の便宜を與へられたる工場當局者に對し、謹みて感謝の意を表す。尙ほ示差膨脹計によ

る變態點の測定に關して盡力されたる理學士原於兎雄君に厚く謝意を表す。(終り)

附録第1 測 熱

1) 供試材の撰擇。酸性爐裝入材料として製作せる鹽基性 1.5 噸丸型鋼塊にして附録第2に示す如く、炭素量は .93 乃至 .94% のものを供用した。炭素鋼に於て變態熱量の大きなるは、共析鋼²²⁾なるも、其の Ar_1 變態は溫度範圍小なるために更に A_{rem} によりて溫度範圍の大きなる場合をも考察するに便なる如く共析鋼よりも稍々炭素量の多き過共析鋼を採用した、供試材として特に鋼塊を選びたるは、凝固後に存在する不純物及び組織並に

附圖 1.



凝固鋼の副射による放熱面を其儘用ひて、造塊の實際の場合と同じ様な状態にするためである。丸型鋼塊の寸法は附圖1に

示す如し。

2) 供試材。上記鋼塊の偏析少き下半部を長さ 650 mm に切斷して使用した。

供試材は稍々圓錐形なるも、其の儘使用した、特に斷面の圓形を必要とするために、表面の少量の凹凸を機削せるも、大部分は表面黒皮の儘である。此の鋼材の頂部より 300 mm まで附圖1に示す如く徑 9 mm の測熱用孔を中心より 5 箇所等距

離 46 mm 宛に穿ち(但し最も外方にある孔は表面まで 24 mm)、又運搬用の徑 25 mm、深さ 60 mm の釣穴を 2 箇所兩側に開けた。

3) 鑄型。鑄鐵製圓形鑄型は、其の内面が鋼材と同一傾斜にして、附圖 1 に示す如く低部より 20 mm の幅だけは約 2 mm 程厚くなり、赤熱鋼材に上部より挿込みたる場合、鑄型の内面が鋼材に接觸しない様に作つてある。

接觸の恐れある場合には、上部より窺ひて直ぐ傾きを直す事が出来た。従つて鑄型内の鋼材は全く副射によりて放熱せしむることが出来た。鑄型は鋼材測熱箇所と同一水平面に測熱用孔を穿ち貫通せるものと厚みの中央に達するものを作つた。

鑄型の厚さは上下同一にして、30 mm 及び 60 mm の 2 種を使用した。

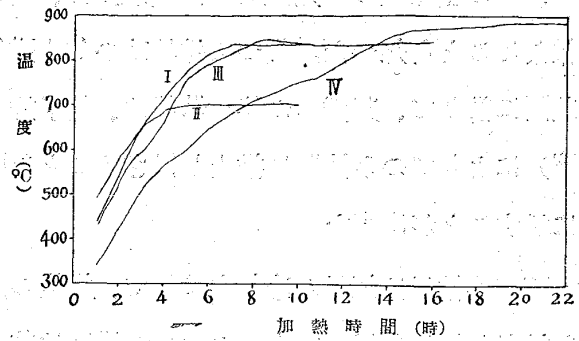
4) 測熱用具。熱電對は 0.5 mm の白金、白金ロヂウムにして、長さ 2 m のものを使用し徑 7 mm の珪素管に入れて、標準温度に充分合せたる後測熱に使用した。又鑄型に横から挿入する場合は珪素管 5 mm のものを使用した。

冷接點は魔法瓶を使用して、常に零度に保持した。測熱計はブラウン測熱計にして空中放冷の場合には 1 ヶの測熱計にて切り替へ装置を使用し、鑄型使用の場合には 2 箇の測熱計と切替へ装置とを使用した。

燒鈍爐内に於ける加熱温度は、長さ 2 m のベースタル熱電對を使用し、出来る丈白金熱電對と一致する如く、標準熱電對と豫め合せたものを使用した。

5) 加熱温度。工場作業に使用せる長形の横臥燒鈍爐内に測熱鋼材を入れ出来るだけ長時間加熱

附圖 2.

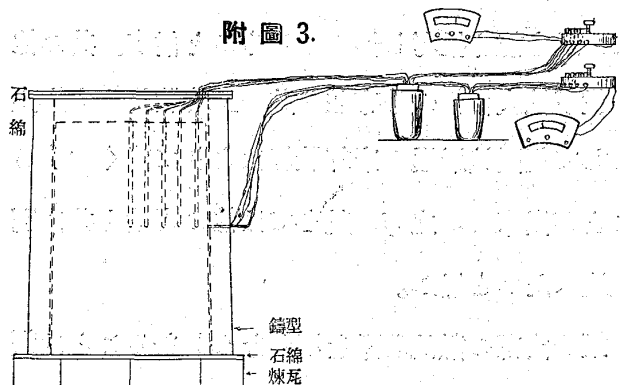


保持して充分均熱せしめた。

本論 4 回の實驗に於ける加熱温度は附圖 2 に示す如くである。

6) 測熱方法。爐内に於て所定温度に充分保持せる後、所定位置に起重機にて運搬せるに凡て 1 分以内で済んだ。特に中心部の温度は他の熱電對に先立ちて挿入し、直ちに初温度を測定し、其の儘繼續し次に他の箇所の測熱を續行する如くした。測熱中の装置は鑄型使用の場合の一例を示せば附圖 3 の如くである。

附圖 3.



測熱鋼材は煉瓦上に厚さ 5 mm の石綿板を敷ける上に置き、測熱中は上部を常に石綿板 2 枚にて蔽ひ出来る丈上下の放熱を遮斷して周圍より放熱せしむる如くにした。

従つて鋼材が高温度にある場合には上下兩端よりの冷却は測熱箇所に殆んど影響なき状態を示せるも低温度に致れば其の影響は益々加はる傾向を有するは明である。

空中放冷の場合に鋼材の表面温度の測定は頗る困難にして、熱電對の先端に薄銅板を有する接觸熱電對を使用して見たが、温度差少からざるため、單に露出先端を強く接觸せしめたる後 10 mm² 厚さ 0.5 mm の石綿紙に、8 條の切込を有するものを先端の外方より軽く懸垂せしめて測定した。従つて表面温度は高温度に於ては比較的誤差少き状態にありて變態域附近上下の温度範圍に於ては略々差支なきものと認めらるゝも低温度に至りて稍々温度差を有する如き状態 (I₁ 圖) にありしも止むを得なかつた。

鑄型挿込の場合に鋼材表面温度は、測定全く困難にして第 2 部 III₁ 圖、IV₁ 圖に示せるものは、凡て熱電對を徑 5 mm の珪素管に入れて測定せしものであるが、實驗後他の場合に同一温度の状態で、露出先端にて鋼材の收縮と共に横方向より常に接觸せしめて測定せしに鋼材表面温度が著しく異りたるために鑄型使用の前實驗に示せる此の箇所の冷却曲線は、全く使用する事が出来なかつた。即ち III₁、IV₁ 圖の鑄型内面に應ずる温度曲線は、鋼材の表面温度を示す目的にて測熱せしものであつたが、珪素管を使用せるために、頗る低温度において鑄型内面と鋼材外面との關係を明らかにすることは出来なかつた。

一般に兩者の關係は實驗的に見出す事は頗る困難なる事柄である。

鑄型内部及び鋼材内部の温度は、珪素管を使用せる場合と熱電對の先端露出の場合に於ても温度差殆んどなく差支なきことを確めた。

鋼材中心の温度は、初温度より毎分繼續して測定し得たるも、他の箇所の温度は 3 分乃至 5 分後より測熱開始した。鑄型挿込みは中心部の測熱

開始後何れも 2 分半以内で済んだが、測熱不能の部分は特に各冷却曲線中に (I₁, II₁, III₁, IV₁) 點線を以て extapolate して作圖した。

測熱開始後 2 時間 10 分は毎分測定し、其の後は毎 5 分及び毎 10 分に測熱記録した。之等の温度は冷却曲線中の黑點にて示してある。

以上の如く測熱には充分注意して出来るだけ速かに且つ細かく記録を取つたが、測熱鋼材が大なることゝ、表面温度の測定が困難なりしたため、充分なる正確を期することは出来ないかもしれないけれども、各種の熱的傾向を知るには殆んど差支なきものと信ずる。

變態温度直上の初温度を採用せるは、燒鈍温度又は燒入温度に略ぼ相當して居り、鋼材の冷却と共に鋼塊の凝固過程の推考に便ならしめる爲であり、温度範圍を略ぼ 2 倍すれば融鋼の場合に應ずる如く考へたからである。

附録第 2 變態域の測定

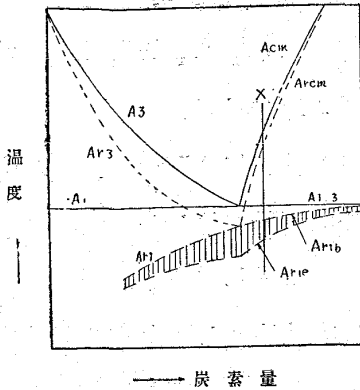
1) 使用鋼材の化學組成。測熱鋼材上面に相當せる部分の鋼塊中心部及び外側に於ける分析結果は次の如くである。

組 成 位 置	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
中 心	.94	.21	.12	.012	.026	.09	.06	.092
外 側	.93	.21	.12	.007	.028	.07	.09	.088

2) 變態域。亞共析炭素鋼の冷却による變態點の降下は低炭素程 A₃ の低下少く A₁ 低下²³⁾ 著しきも過共析鋼は高炭素程 A₁ 變態は降下し難い傾向にある。且つ Ar₁ 變態は時間と共に或る温度範圍内に行はれ共析鋼は其の範圍も比較的大である。

便宜上 Ar₁ 變態の開始點 (begining) を Ar_{1b} とし、終息點 (end) を Ar_{1e} と符號を附すことゝ

附圖 4.



した。
之等の炭素鋼に於ける冷却速度による變態點の降下状態を茲に定性的に附圖 4 の如く示せば、本試験鋼材の組成は略ぼ×印

にて示す如き状態にある。

3) 變態點の測定。試験鋼塊より徑 5mm 長さ 100mm の試料をとり示差膨脹計によりてパロース中性體を使用して内徑 1.5 吋の電氣爐内に入れ爐内は眞空に保ちて冷却速度毎分 0.5°C 以上になし電路を絶ちて得たる冷却速度毎分 27°C の間に電路を種々調節して各種の冷却速度を與へ變態點の降下を測定せるに附表 1 に示す如くである。

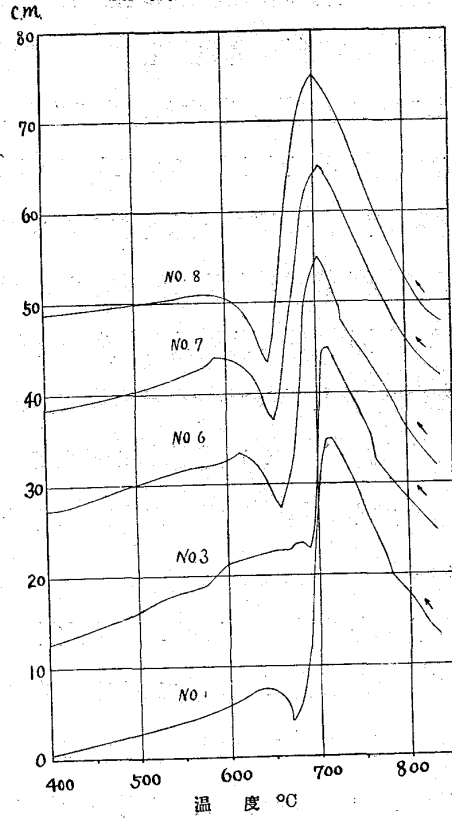
附表 1 冷却速度と變態點

No	冷却速度			Arcm	Ar _{1b}	Ar _{1e}	冷却状態
	Arcm 附近	Ar _{1b} 附近	Ar _{1e} 附近				
	°C/m	°C/m	°C/m	°C	"	"	
1	0.5	0.5	5.0	781	718	668	Ar ₁ 域内に て變化せしむ
2	1.0	1.0	10	769	718	696	一定
3	1.5	1.5	15	765	715	690	一定
4	1.25	19.0	19.0	769	702	646	Ar ₁ 直上に て變化せしむ
5	5.5	5.5	5.5	744	707	667	一定
6	9.5	9.5	9.5	723	704	661	一定
7	15.0	15.0	15.0	?	705	652	一定
8	27.0	27.0	27.0	?	700	646	絶電爐冷

加熱は 720°C 迄 5~7°C/m にて昇温 720°C より 850~900°C まで 4°C/m にて昇温せり。

表中 No.1, No.4 に示す如く變態域内の温度より冷却速度に著しき變化を與ふる場合に Ar_{1b}, Ar_{1e} の温度は Arcm 變態域上より、一定速度の冷却を與ふる場合とは附表 1 より畫ける附 6 圖より見て殆んど差異がないと見做しても差支はない。

附圖 5. 示差膨脹曲線

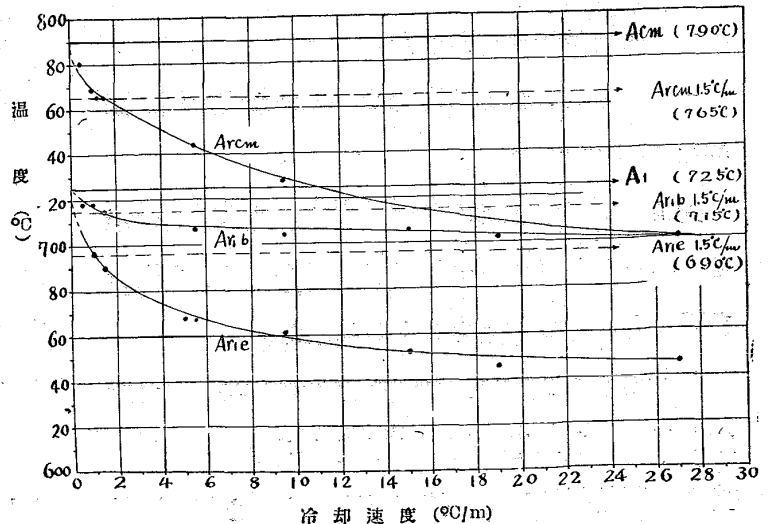


今特に示差膨脹曲線の中 5 種を示せば附 5 圖の如くである。
膨脹曲線に於て 550°C 乃至 650°C の間に於て、階段的な變態を一部示して居るが、之は本論第 1 部

空中放冷の I₁ 圖に於て再發熱せる温度に相當して居るので、曩に此點を Ar₁' と稱したのであるが、II₁ 圖に於ても幾分再發熱の状態を示せるを以て或は再結晶による發熱に因るものであるかも知れないが、之は示差測熱計等によれば一層明かに示すことが出来るかとも考へらる。

附表 1 の關係を曲線にて示せば附圖 6 の如く

附圖 6. 冷却速度による變態點降下



である。冷却速度毎分 10°C 以上になる場合には A_{cm} の値は次第に A_{r_1b} に接近²⁴⁾ するものなれば、冷却速度の小なる場合に得たる各點を連ね之より extapolate して冷却速度毎分 27°C に於て略ぼ A_{r_1b} と一致する如き曲線を得た。

此處に示せる平衡状態の A_{cm} , A_1 點は測定を行はざりしために之等變態點曲線の勾配と文献²⁵⁾ より見出して夫々 790°C 及び 725°C を採用したのである。

4) 鋼材の變態域の決定。鋼材の冷却する場合には、刻々に冷却速度が變化しつゝある故に、變態の開始、終息溫度を定むることは問題であるが、著者は次の如くして求めた。即ち前項の附圖 6 の溫度冷却速度にて示せる變態點曲線と、各實驗にて得たる鋼材の溫度冷却速度曲線とを照合して、前者の曲線に沿ひて冷却速度を減少せしめ、後者の冷却速度曲線に沿ひて順次溫度を遞下せしめて兩者に同一溫度、同一冷却速度を有する一致點を見出して、此の溫度を變態溫度と決定した。

斯る方法で簡単に見出すためには、例へば本論第 1 部の I_2 圖と附圖 6 との溫度冷却速度の座標目盛の同一なる曲線圖を作りて、之を重ね合はすか又は同一圖に兩者の曲線を畫けば、曲線の交點より各變態點を容易に見出すことが出来本論第 1 表、第 2 表、第 3 表に示せる如くである。

前項に述べたる變態點の測定に於て、變態域内に於て冷却速度を變化せしめても、或は一定速度

の冷却を與へても、殆んど變態溫度は同一なるために、茲に示せる如き方法によりて求めたる鋼材各部の變態溫度は略實際値を示すものと信ず。

(附録 終)

參照文獻

- 1) Jr. I. St. I. 1918 No. II p. 232
 - 2) 東北理科報告 Vol. X No.4
 - 3) Tr. A. S. S. T. 1927 Vol. II. p. 264
 - 4) Jr. I. St. I. 1929 No. I. p. 364
 - 5) 機械學會誌 昭和 5 年 4 月
 - 6) Jr. I. St. I. 1929 No. II. p. 69
 - 7) " 1918 No. I. p. 333
 - 8) Tr. A. S. S. T. 1922 Dec p. 335 (Vol. 3)
" 1926 p. 452
 - 9) " 1926 June p. 856
" 1929 Feb. p. 215, p. 270
 - 10) Jr. I. St. I. 1914 No. I. p. 192
 - 11) I. & C. T. R. 1921 Sep. 9. p. 335
 - 12) Jr. I. St. I. 1919 No. I. p. 469
 - 13) Engineering 1930 Nov. 28 p. 686
鐵と鋼 第 15 年第 3 號 p. 201
 - 14) K. W. Inst. 1925 Vol. 7. p. 1
 - 15) " " " p. 6
 - 16) Jr. I. St. I. 1926 No. I p. 44
 - 17) 鐵と鋼 第 13 年第 7 號 p. 545
 - 18) Jr. I. St. I. 1926 No. I p. 44
" 1929 No. II. p. 95
 - 19) " 1929 No. I. p. 364
 - 20) " 1929 No. II. p. 114
 - 21) " 1929 No. I. p. 379, p. 389
 - 22) 製鐵研究報告 V(2) 大正 14 年
 - 23) Metallography, Hoyt. p. 191
金屬の研究 第 6 卷第 2 號 p. 67
 - 24) " "
 - 25) " "
- Das technische Eisen, Oberhoffer p. 39