

マンガン鋼の變態點及顯微鏡組織

(昭和3年11月第4回講演大會講演)

村上武次郎
三神正苗

ABSTRACT

THE TRANSFORMATION POINTS AND THE MICROSTRUCTURE OF MANGANESE STEELS; by TAKEJIRO MURAKAMI AND MASAMITSU MIKAMI.

By measurement of the thermal expansion and the magnetisation during heating and cooling with different rates, the transformation points of manganese steels containing less than 12 percent of manganese and 1.2 percent of carbon were determined. From the result, the relation of their transformation points and compositions or the heating and cooling conditions of steels were thoroughly studied. The microstructures of steels cooled in three cooling conditions, i. e. slow cooling furnace-cooling and air-cooling were observed, and the three structural diagrams corresponding to the respective cooling conditions were constructed and the change of microstructure due to the difference of the composition and the cooling condition were demonstrated.

I. 緒 言

マンガン鋼の變態點及顯微鏡組織に就ては、既に多くの研究がある。Osmond⁽¹⁾は種々のマンガン鋼に就いて冷却曲線をとり、マンガン鋼の變態點はマンガンを加ふるに從て次第に降下し、マンガン5%に於ては 100° 以下となり、7%のマンガンを含むものは、常溫まで變化がないことを示した。

又 Wüst⁽²⁾はマンガンは鋼の變態點を降下し、Ar₁ 點は 5%までは 1%につき 20° 乃至 25° 降下す。又加熱の場合と冷却の場合に於ける變態溫度の差は、マンガンを増すに從て増加する。又 5%以上になると冷却に際して熱變化を認めず、顯微鏡組織は波來土の代りに、麻留田及吐粒洲となると述べて居る。

又 Dejean⁽³⁾は炭素量 0.3~0.4% と 0.7~1.0% との 2種のマンガン鋼に就て、其變態點及顯微鏡組織を研究した。其の結果によると、炭素量 0.3~0.4% の鋼に於ては、マンガン量 0~3.5% の範圍に於ては、500° 以上の高溫度に於て Ar₁ 變態が起り波來土組織となる。氏は之を變態 A と名けた。又マンガン量 3.5~11.0% に於ては、變態は遙に低い溫度に於て起り、麻留田組織となる。氏は之を變態 B と名けた。而して 3.5~4.0% のマンガン鋼は、A 及 B 双方の變態を有し、組織は麻留田及吐粒洲より成る。又炭素量 0.7~1.0% のマンガン鋼に於ては、變態 A の溫度は前者よりは高く、變態 B の溫度は低く現はれる。又マンガン含量 9% 以上になると、冷却條件同一でも變態 B は常溫以下に降るが、猶變態 A はよく現はれ、組織は大洲田及吐粒洲より成ると。

(1) Osmond, Compt rend., 1897,

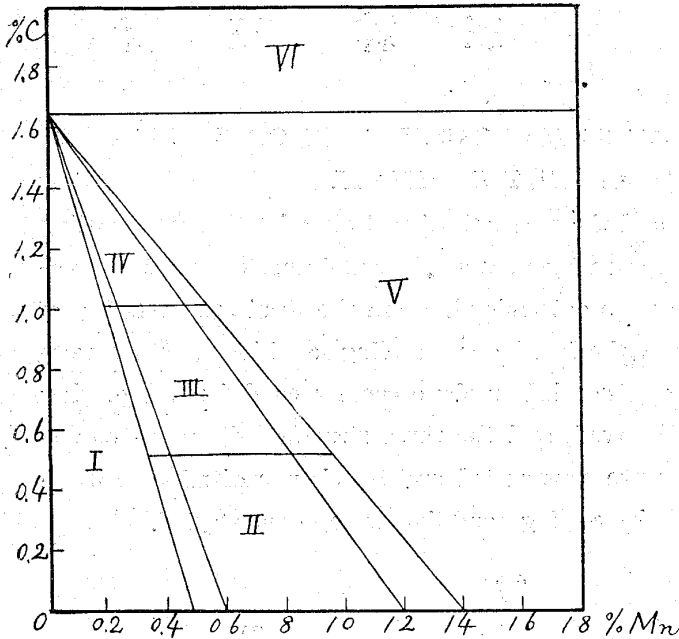
(2) Wüst, Metallurgie, 6 (1909), 3.

(3) Dejean, Compt. rend., 1917, 334; Stahl u. Eisen. 39(1919), 68.

又 Meyer⁽¹⁾ は 1%以下のマンガンによる Ar₂ 點の降下する量を測定し、1%の添加に由て 60° の降下を認めた。

又 Gumlich⁽²⁾ は炭素量 0.22%以下のマンガン鋼に就て、其磁氣變態點を研究し、マンガンを加ふるに從て Ar₂ 點は急に降下し、12.4%に於ては -8° となる。又 Ac₂ 點はマンガンの添加に由て徐々に降下し、Ar₂ と Ac₂ との溫度差はマンガンを加ふるに從て増加することを明にした。

第 1 圖



- | | |
|--------------|-------------|
| I. 波來土 | II. 麻留田 |
| III. 麻留田+吐粒洲 | IV. 炭化物+吐粒洲 |
| V. 大洲田 | VI. 炭化物 |

併し鋼の變態點は其の組成によるのみならず、最高溫度及冷却速度に由て、變化するものであるが、冷却條件による變態點の變化は猶明でない。

又マンガン鋼の顯微鏡組織については、古く Guillet⁽³⁾ が提出した組織圖がある。第1圖は其組織圖を示す。之に由て見れば、低炭素鋼にマンガンを加ふるときは、波來土組織は麻留田となり、更に増せば大洲田となる。但

1.65%以上の高炭素鋼は此等の組織の變化を起さないのである。併しこれは種々不合理の點がある。例へば炭化物の存在は界域 IV のみでなく、界域 V にも又界域 I にも炭素含量多きものには、初析炭化物が存在すべく、界域 I の炭素量少きものには、初析地鐵が分離して居る筈である。又界域 VI には炭化物のみではなく、マンガン量に從て吐粒洲、麻留田又は大洲田が存在する筈である。

因て著者等は種々の組成のマンガン鋼をつくり、種々の條件の下に冷却又は加熱し、熱膨脹及磁性の變化に由て其變態點を觀測し、又顯微鏡組織を觀察して組成との關係を研究し、各冷却條件の下に於ける組織圖を構成して、種々の事實を考察した。

II. 試料の調製

試料は次の分析結果を有するアームコ鐵、瑞典鋼、金屬マンガン及びフェロマンガンを用ひ、全量約 2kg になるやうに各原料を調合し、内面にアルミナを塗つた黒鉛坩堝に入れ、クリプトル電氣爐によつて熔融した。

(1) Meyer, Stahl u. Eisen, 34 (1914), 1395.
 (2) Gumlich, dit. 39 (1919), 966.
 (3) Guillet, Alliage Métalliques, 1906, 311.

第 1 表

	C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Al(%)	Fe(%)
アームコ鐵	0.013	0.011	0.019	0.019	0.023	—	—
瑞典鋼	0.300	0.440	0.300	0.013	0.017	—	—
〃	0.710	0.210	0.270	0.029	0.023	—	—
〃	1.100	0.200	0.270	0.027	0.020	—	—
〃	1.480	0.180	0.220	0.026	0.020	—	—
金屬マンガン	0.040	95.000	0.290	—	0.005	0.587	4.03

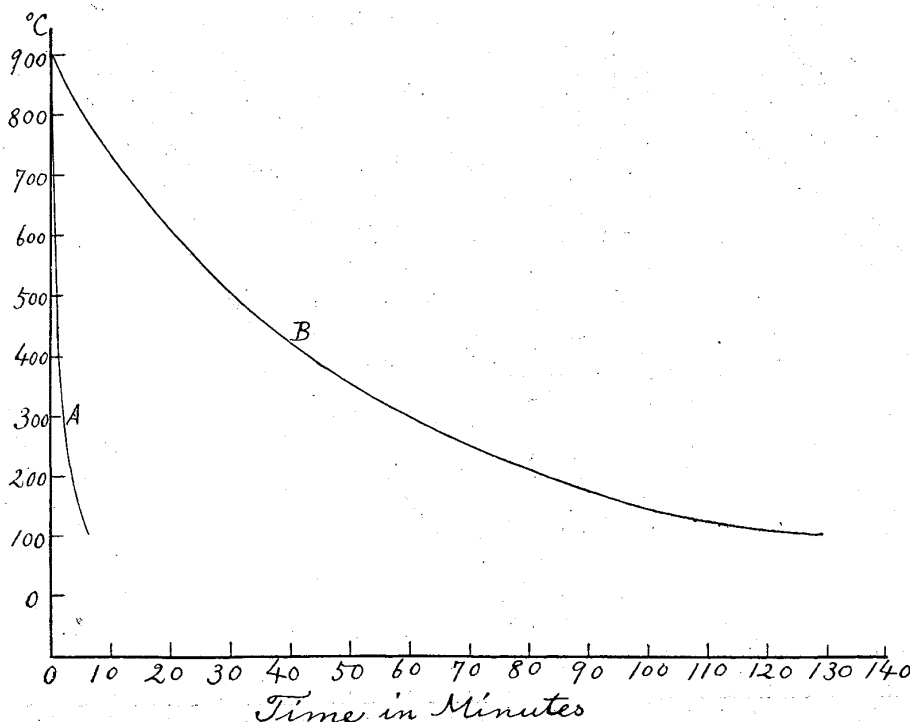
よく熔融し完全に混合したる後、徑 1cm の棒に鑄造し、焼鈍し鍛鍊したる後、徑 5mm の棒に仕上げ、熱膨脹測定には長さ 18cm、磁氣分析には長さ 7cm として測定に用ゐた。第 2 表は此等試料の上分析結果を示す。

第 2 表

試料番號	Mn(%)	C(%)	試料番號	Mn(%)	C(%)	試料番號	Mn(%)	C(%)
No.1	0.64	0.30	No.10	0.59	0.67	No.19	0.72	1.22
2	0.85	0.27	11	0.97	0.66	20	1.11	1.27
3	1.36	0.33	12	1.23	0.77	21	1.69	1.20
4	2.07	0.41	13	2.01	0.63	22	1.92	1.11
5	4.04	0.38	14	3.56	0.64	23	4.10	1.19
6	6.11	0.41	15	5.93	0.68	24	5.43	1.08
7	8.11	0.42	16	7.73	0.69	25	7.55	1.16
8	10.14	0.39	17	9.78	0.78	26	10.98	0.98
9	11.85	0.42	18	11.76	0.74	27	12.74	1.19

III. 熱 膨 脹

第 2 圖



熱膨脹は本大學に於て常用する装置を用ひ、試料を石英管に入れて眞空管中に於て熱し、長さの變化を平面鏡に傳へ、其の傾斜を尺度望遠鏡に由て觀測した。

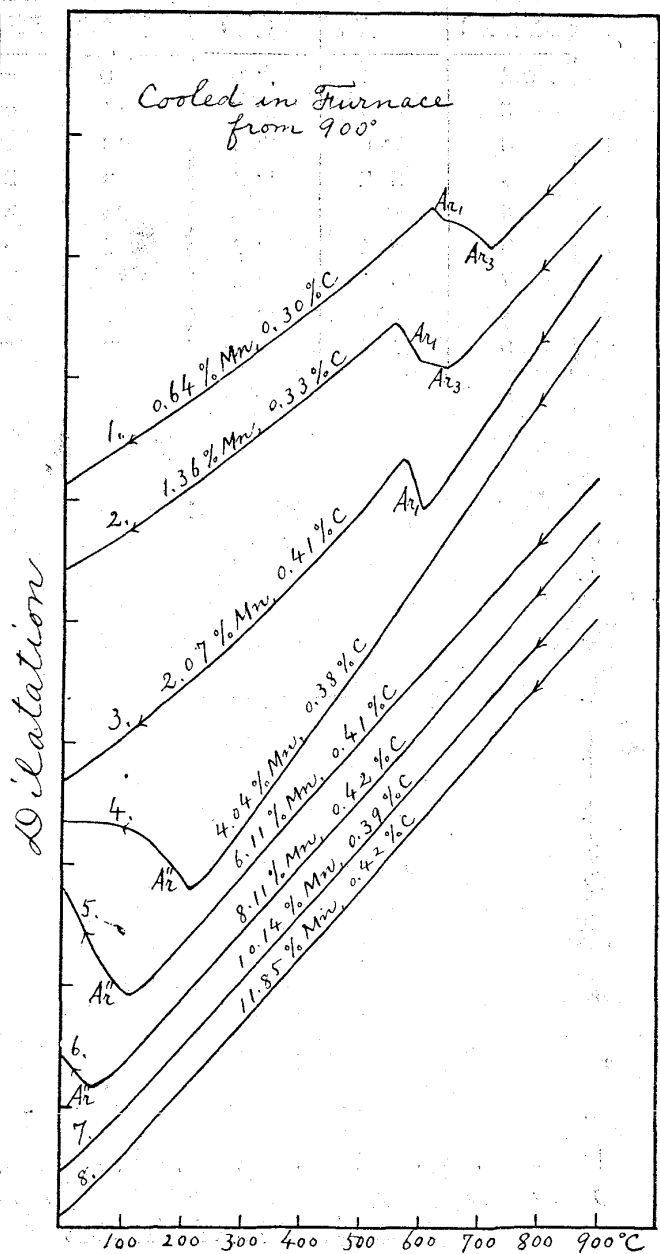
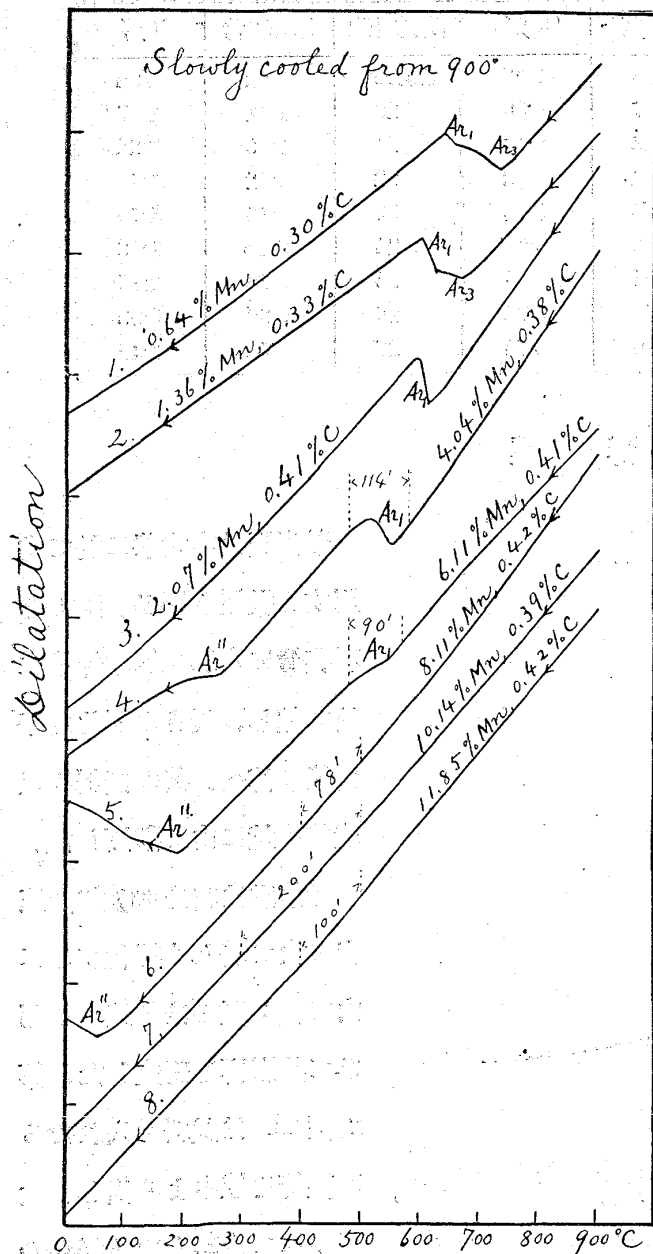
變態點は其冷却及加熱速度に由て著しく變化するに由て、3種の冷却速度を用ひて其影響を研究した。第2圖 A は試料を入れたる石英管を爐中より出し、大氣中にて冷却したる場合の

冷却速度を表はすもので、之を空中冷却と名ける。又第2圖Bは試料を爐中に入れた儘、電氣爐に通ずる電流を切つて、爐中に於て冷却したる場合の冷却速度を表はすもので、之を爐中冷却と名づける。又緩冷といふのは更に冷却速度の遅いもので、之は試料に由て全く一定でないが、大體變態點附近の冷却速度を1分間に約 1° の割合にした。

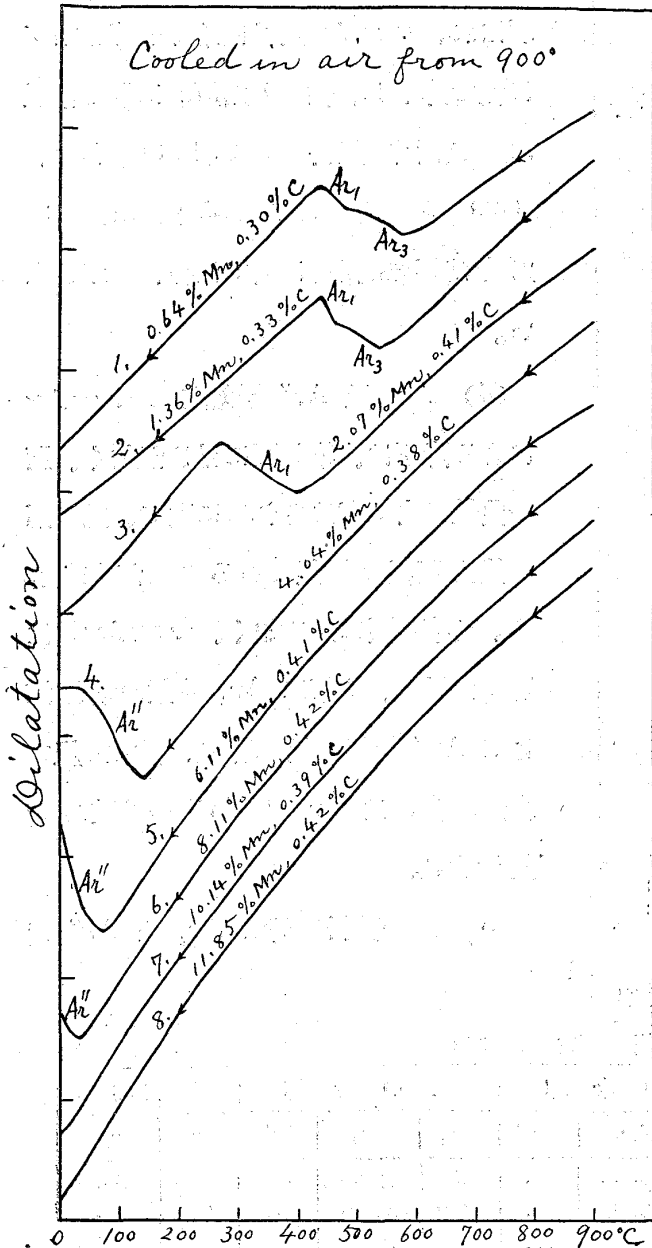
(A) 炭素量約0.4%のマンガン鋼 第3圖乃至第5圖は炭素量約0.4%のマンガン鋼を 900° より3種の方法を以て冷却したる場合の、溫度-熱膨脹曲線を示す。又第6圖は 900° より緩冷したるものの加熱曲線を示す。何れも縦軸は長さの變化を表はし、横軸は溫度を示す。又各曲線の重なるを避けんがため、零點を移して表はした。第3表は此等の曲線に於ける變態點を表示したもので、第7圖は此等變態點とマンガン量との關係を圖示したものである。此等の變態は或一定溫度に於て完了す

第 3 圖

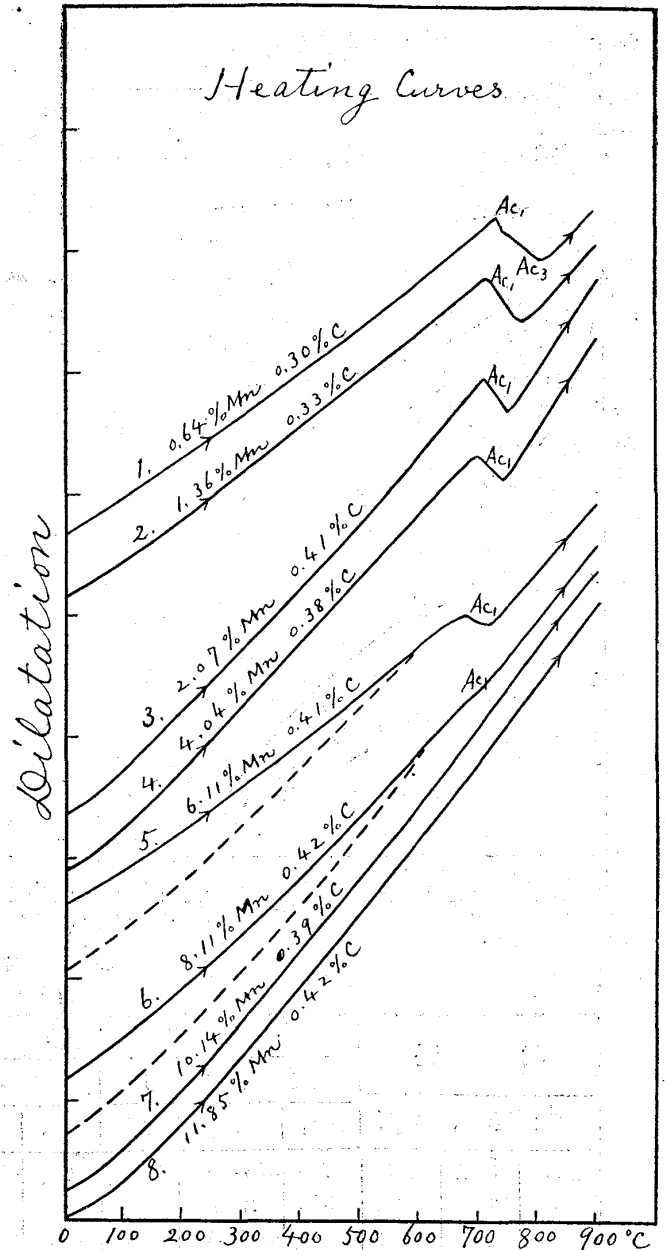
第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖

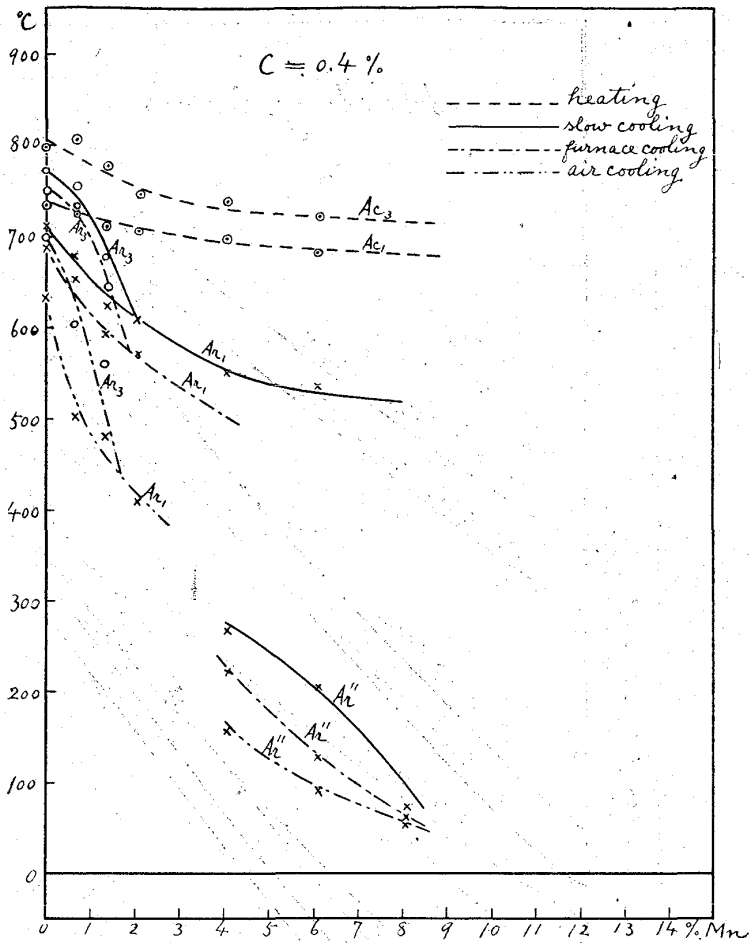


るものでなく、或温度範圍に於て進行するものであるが、第7圖に於ては、何れも變態の始點を表はした。又 300° 以下に降下したる變態は、大洲田→麻留田の變化に相當するもので Ar'' を以て表はした。

此等の結果を通覽するときは、冷却曲線に就ては次の事實が見られる。

- (1) Ar₃ 變態はマンガン含量又は冷却速度を増すに従つて降下し、2%Mn 以下に於ては明に現はれるけれども、それよりもマンガン含量多いときは、Ar₁ 變態と合一す。
- (2) Ar₁ 變態はマンガン量又は冷却速度を増すに従て降下し、緩冷の場合には 6%Mn まで現はれるけれども、爐中冷却及水中冷却の場合には 4%Mn 以上には現はれない。

第 7 圖



第 3 表
約 0.4 %C

試料			變態點 (°C)										
			緩徐冷却			爐中冷却			空中冷却			緩徐加熱	
番號	Mn%	C%	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ac ₁	Ac ₃
No.1	0.64	0.30	753	678-658	—	737	655-637	—	603	502-461	—	733	808
3	1.36	0.33	679	623-608	—	644	594-559	—	562	481-461	—	714	775
4	2.07	0.41	—	610-591	—	—	601-571	—	—	410-283	—	708	747
5	4.04	0.38	—	551-512	269	—	—	221	—	—	158	698	737
6	6.11	0.41	—	534-504	205	—	—	128	—	—	92	681	720
7	8.11	0.42	—	—	73	—	—	64	—	—	55	678	—
8	10.14	0.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	11.85	0.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

態の相對量は、冷却速度に由て變化するもので、冷却速度を減ずるに從て Ar₁ 變態を増して Ar'' 變態を減ず。例へば試料 No.5 (4.04 %Mn, 0.38 %C) 及 No.6 (6.11 %Mn, 0.41 %C) は爐中冷却及空中冷却の場合には第 4 圖及第 5 圖に於ける曲線 4 及 5 に見るが如く、Ar₁ 變態は現はれないが緩冷却の場合には第 3 圖曲線 4 及 5 に見るが如く、Ar₁ と Ar'' の兩變態が現はれる。

又最高加熱温度の影響を知らんがために、各試料を 1,100° より爐中冷却をなし、其變態點の變化を研究した。其結果 900° より冷却したる場合と、殆異なることを知つた。

(3) Ar'' 變態は 4 %Mn 以上に於て現はれ、マンガン量又は冷却速度を増すに從て降下し、約 10 %Mn に於て常溫に達す。因て試料 No.8. (10.14 %Mn, 0.39 %C) 及 No.9. (11.85 %Mn, 0.42 %C) 以上は常溫に於ては變化を示さない。

(4) Ar₁ 及 Ar'' 變態點のマンガンによる降下は、第 7 圖に見るが如く、別の曲線に由て表はされるに因て、此の兩變態は別種の變態であることが知られる。又第 3 圖に見る如く、マンガン量は増すに從て、次第に Ar₁ 變態の量を減じて Ar'' 變態の量を増す。從て或組成範圍のものは Ar₁ と Ar'' の 2 段の變態を示す。

(5) 同一試料に於て Ar₁ と Ar'' 變

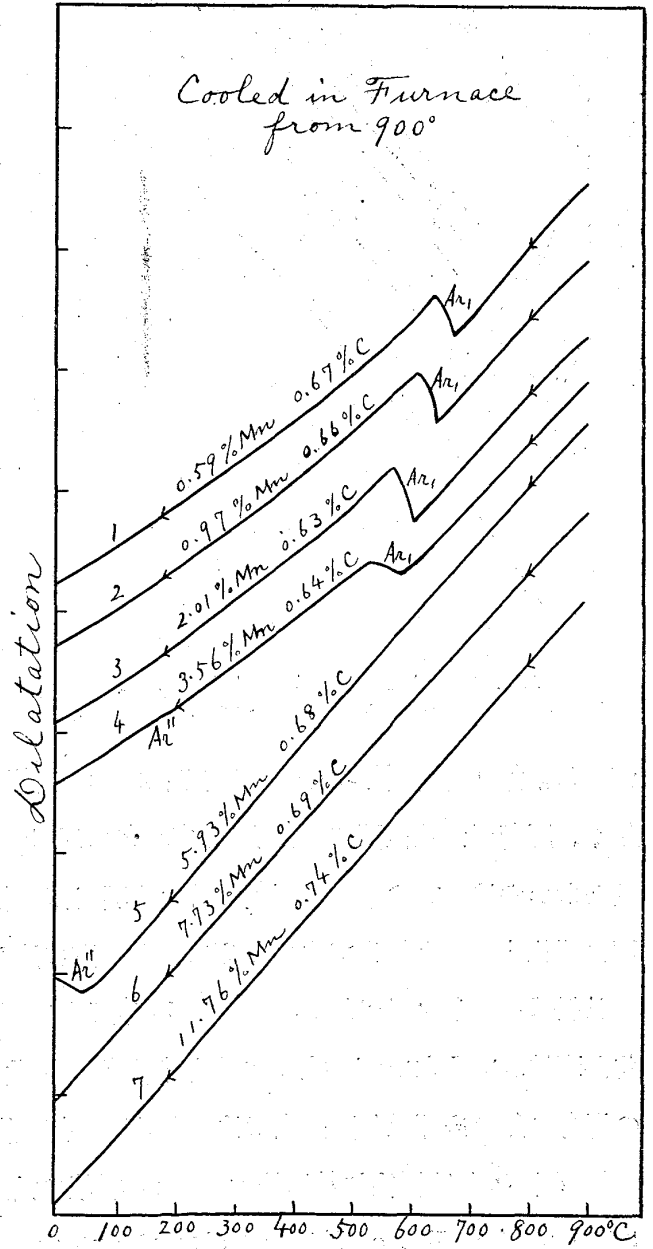
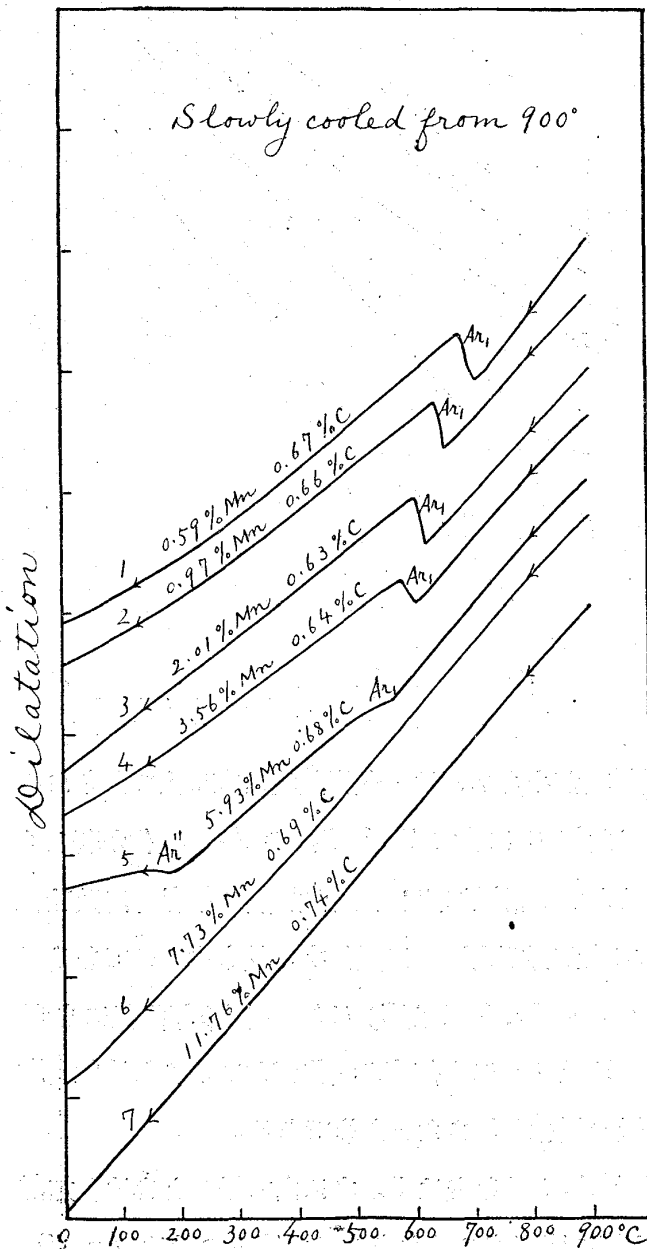
次に加熱の際に於ける變態點を求むるため、次の2種の加熱速度を用ゐた。

緩徐加熱 50°— $\frac{60}{分}$ →400°— $\frac{40}{分}$ →600°— $\frac{30}{分}$ →700°— $\frac{40}{分}$ →800°— $\frac{20}{分}$ →900°
 普通加熱 50°— $\frac{35}{分}$ →400°— $\frac{30}{分}$ →600°— $\frac{30}{分}$ →700°— $\frac{30}{分}$ →800°— $\frac{15}{分}$ →900°

第6圖は900°より緩冷したるものを緩徐加熱したる場合の加熱曲線で、普通加熱の場合には700°附近に於ける變態が、稍廣い溫度範圍に涉つて進行するが、其の始まる點は殆差がない。又600°以下に於ける變化は、前の冷却狀況に由て異なる。第3圖曲線1~3に見る如く前の冷却に際してAr₁變態が完結し、Ar''變態のないものは、次の加熱曲線に於ては第6圖曲線1~3に示すが如く、Ac₁變態點の外變化はないけれども、第3圖曲線5又は6の如く、前の冷却に於てAr₁變態が一部分又は全部起らないで、Ar''變態の起つたのは、次の加熱曲線に於て600°以下に異常變化

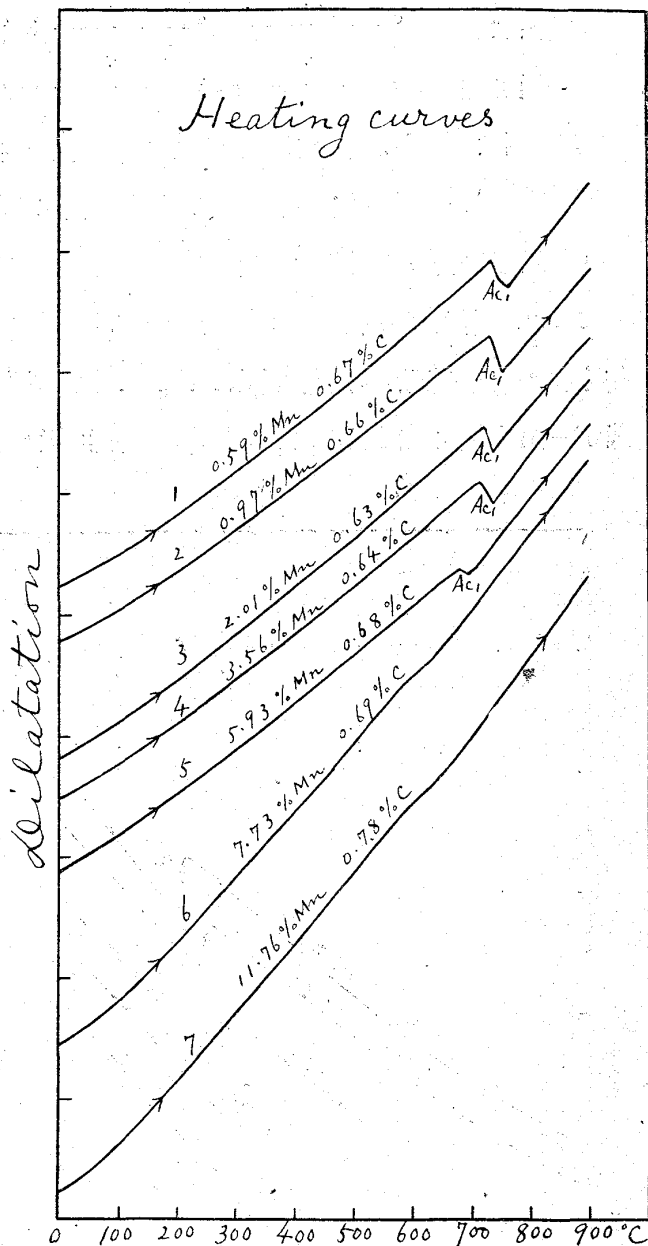
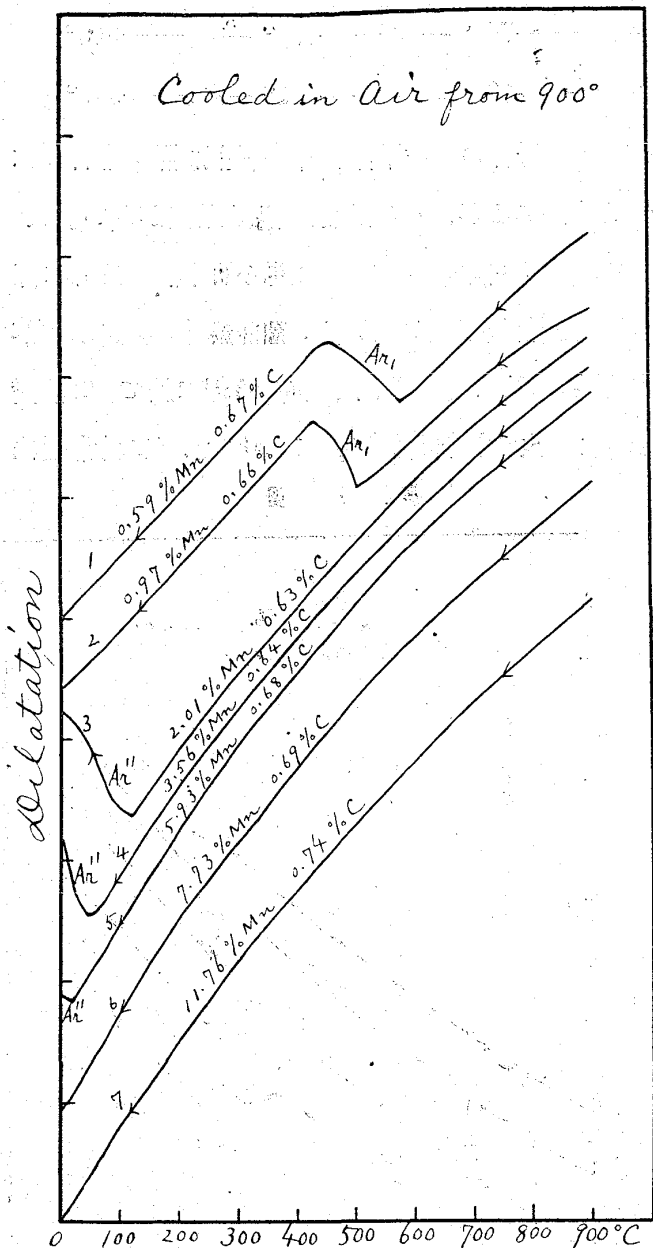
第 8 圖

第 9 圖



第 10 圖

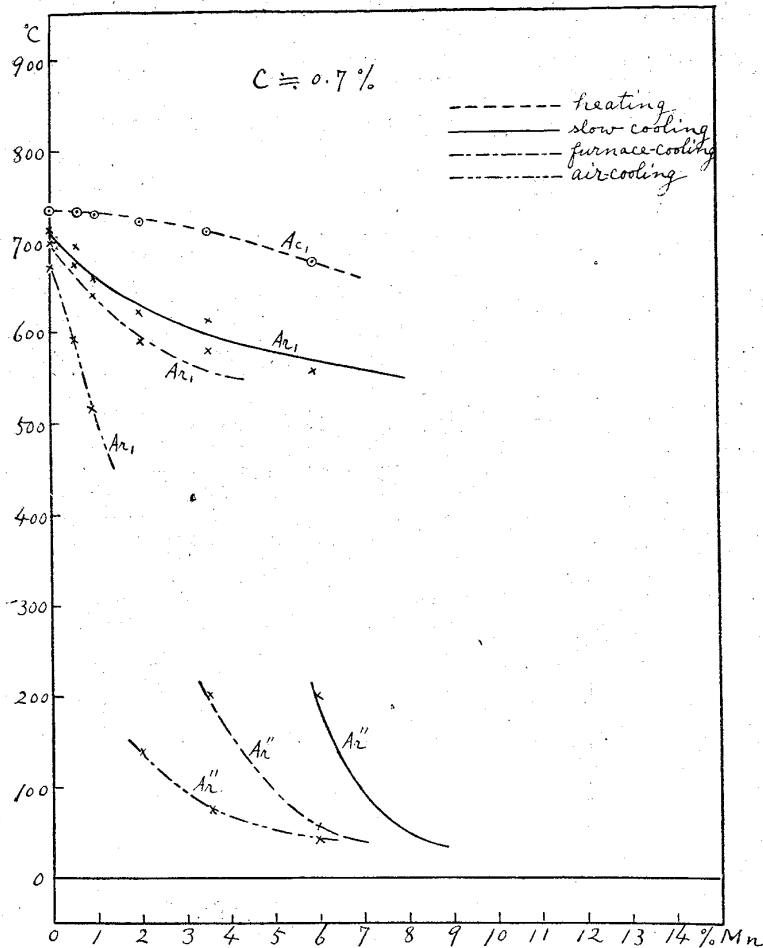
第 11 圖



が起る。第 6 圖曲線 5 の 500° 以下に於ける膨脹係数が小さいのは、顯微鏡的研究に由て知られる如く、麻留田が吐粒洲に變化するに因るのであり、又曲線 6 に於て 700° 附近の Ac_1 變化が著しく見えないのは、前の冷却の際大部分の大洲田が變化せないで常溫に達し、之が加熱の際麻留田及吐粒洲に變化すること極めて少いために、 Ac_1 點に達して之が再び大洲田に變化する量も少いのである。又試料 No.8 (10.14 %Mn, 0.39 %C) 及 No.9 (11.85 %Mn, 0.42 %C) は第 3 圖冷却曲線にも變化が現はれて居ないが、次の加熱曲線 (第 6 圖曲線 7 及 8) にも何等の變化がない。これは此實驗の場合の如き冷却及加熱速度では、大洲田は何等組織の變化を起さないためである。

第 7 圖印は緩徐加熱に於ける Ac_1 變態の始點及 Ac_2 點を表はす。之に由て見るときは、加熱に際して Ac_1 及 Ac_2 點はマンガンの添加に由て次第に降下するけれども、其降下の量は Ar_2 及

第 12 圖



Ar₁ 點の降下の如く著しくない。従て加熱及冷却に際して起る變態點の溫度差は、マンガン量を増すに従て増加することが知られる。之に由て考へるとマンガンは A₃ 及 A₁ 變態點を降下せしむるのみならず、A₃ 及 A₁ 變態の起るのを妨げるものである。

(B) 炭素量約 0.7% のマンガン鋼

炭素量約 0.7% でマンガン量の異なる種々の鋼について、同様の實驗を行つた。第 8 乃至 10 圖は 900° より 3 種の冷却速度を以て冷却したる場合の冷却曲線、第 11 圖は緩冷したるものを緩徐加熱したる場合の加熱曲線を示す。又第 4 表は此等の變態點を表示したものであり、第 12 圖は變態の始點とマンガン量との關係を圖示したものである。

表 4 表
約 0.7% C

試料			變態點 (°C)										
			緩徐冷却			爐中冷却			空中冷却			緩徐加熱	
番號	Mn%	C%	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ar ₃	Ar ₁	Ar''	Ac ₁	
No.10	0.59	0.67	706	696—681	—	—	676—646	—	—	599—481	—	735—760	—
11	0.97	0.66	—	662—647	—	—	643—613	—	—	518—454	—	733—752	—
13	2.01	0.63	—	622—606	—	—	591—559	—	—	—	140	724—740	—
14	3.56	0.64	—	612—588	—	—	582—533	205	—	—	76	710—730	—
15	5.93	0.68	—	556—502	200	—	—	56	—	—	46	678—697	—
16	7.73	0.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	11.76	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

此等の結果を見るときは、炭素量 0.4% のマンガン鋼に就いて述べたと同様な事實を見ることが出来る。即 (1) Ar₁ 變態はマンガン量又は冷却速度を増すに従て降下し、緩徐冷却の場合には 6% Mn まで現はれるけれども、爐中冷却の場合には 4% Mn まで現はれ、空中冷却の場合には 1% Mn までしか現はれない。(2) Ar'' 變態は爐中冷却の場合には 3.5% Mn 以上、空中冷却の場合には 2% Mn

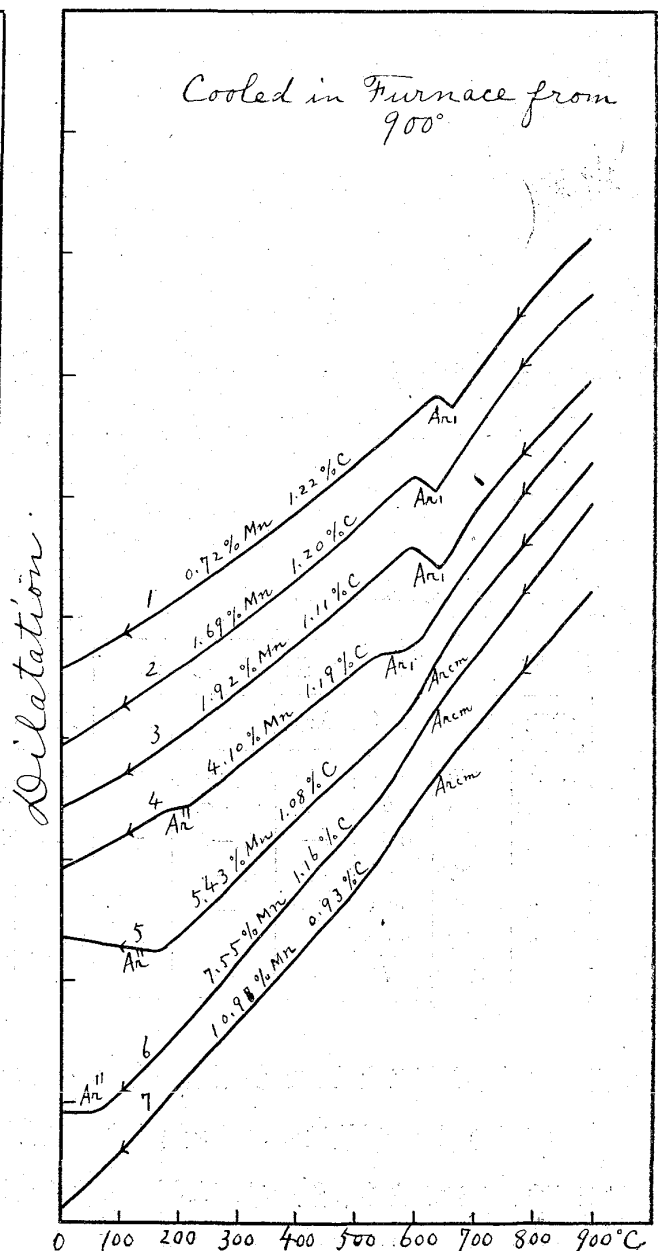
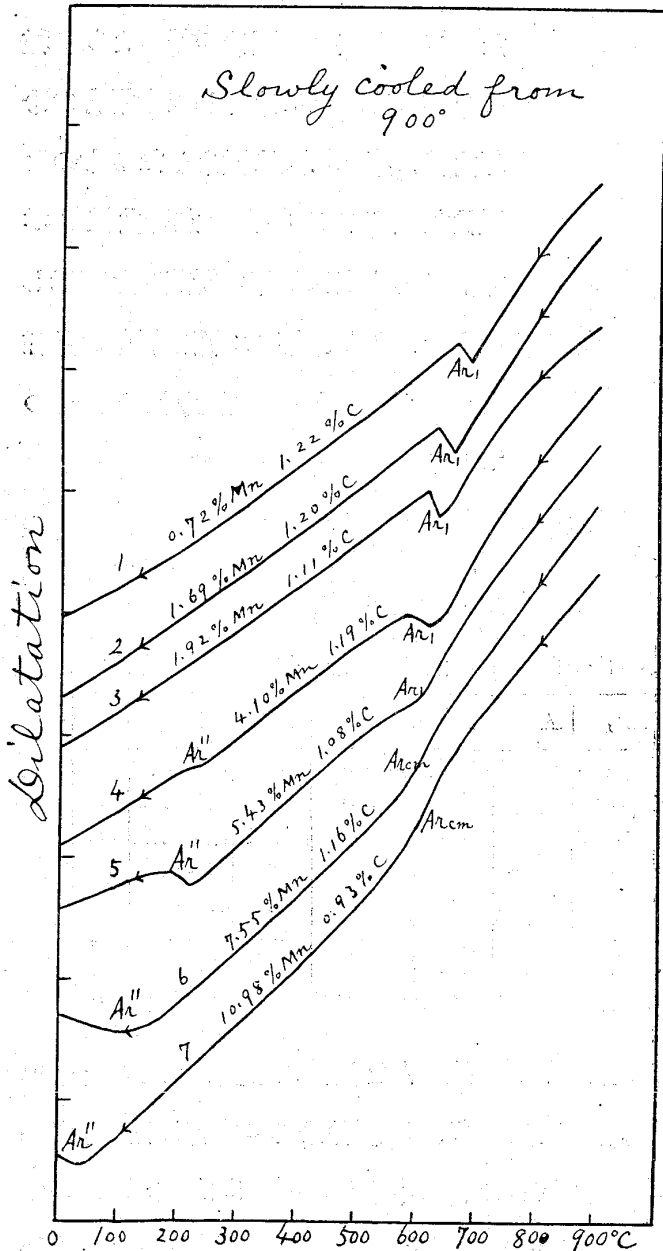
以上に現はれ、マンガン量又は冷却速度を増すに従つて降下し、約 8 %Mn に於て常溫に達す。因て 8 %以上のマンガンを含むものは、常溫以上に於ては變化を示さない。又 (3)Ar₁ と Ar'' 兩變態がマンガン量及冷却速度に由て次第に變化する關係は前の場合と同様である。

又最高加熱溫度の影響を知らんがために、各試料を 1,100° より冷却して其變態點を研究したが、速度同一ならば、900° より冷却した場合と殆ど變化がなかつた。

又加熱の場合に於ける變態點についても、炭素量 0.4 %のマンガン鋼の場合と同様に、Ac₁ 點はマンガン量を増すに従て降下する。(第 11 圖及第 12 圖) 又前の冷却曲線に於て Ar'' 變態を有するものは、Ac₁ 點以下に於て異常變化を示す。又第 11 圖曲線 6 及 7 に於て 600° 附近に少しく異常變化のあるのは、冷却に際して變化せなかつた大洲田が、一部分變化するためである。

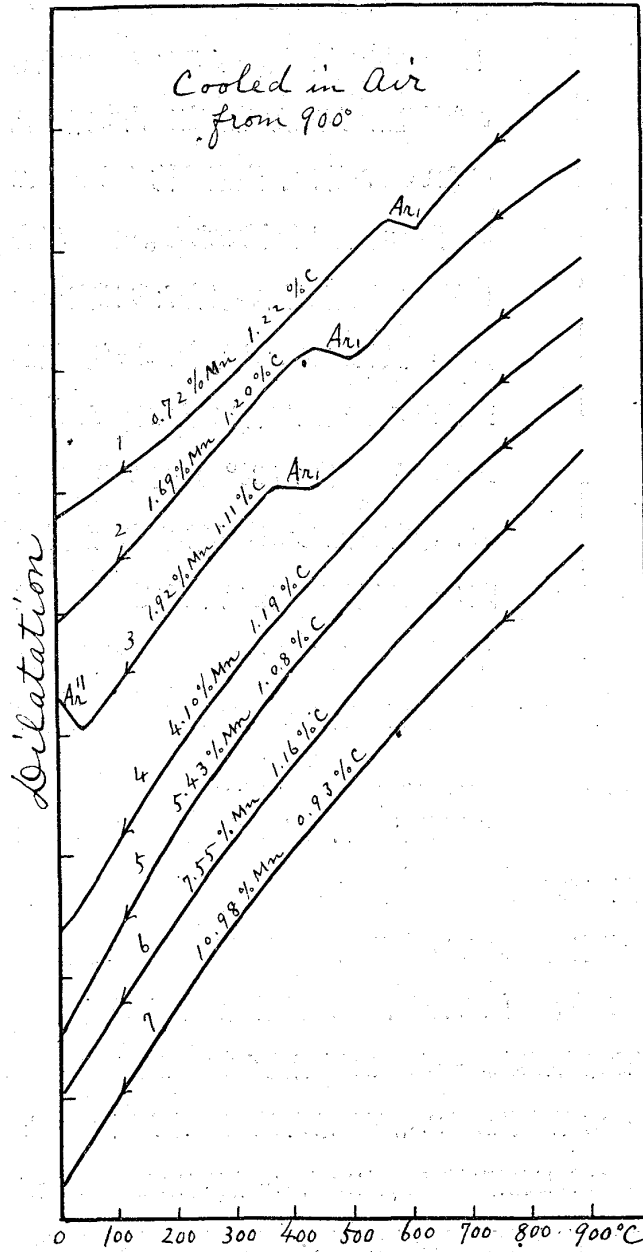
第 13 圖

第 14 圖

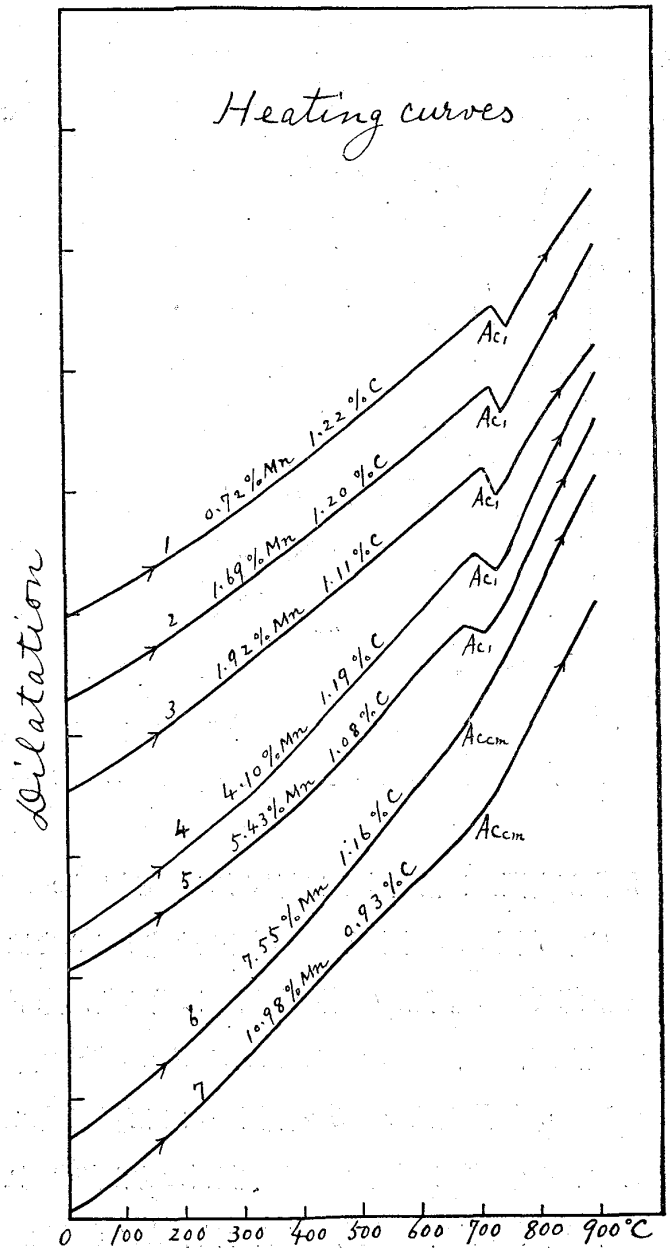


(C) 炭素量約 1.1% のマンガン鋼 炭素量的 1.1% でマンガン量異なる種々の鋼に就いて同様の實驗をなした結果は、第 13 乃至 16 圖に示す。又此等の曲線に於ける變態の始點を表示したものが第 5 表であり、更に之を圖示したものが第 17 圖である。

第 15 圖



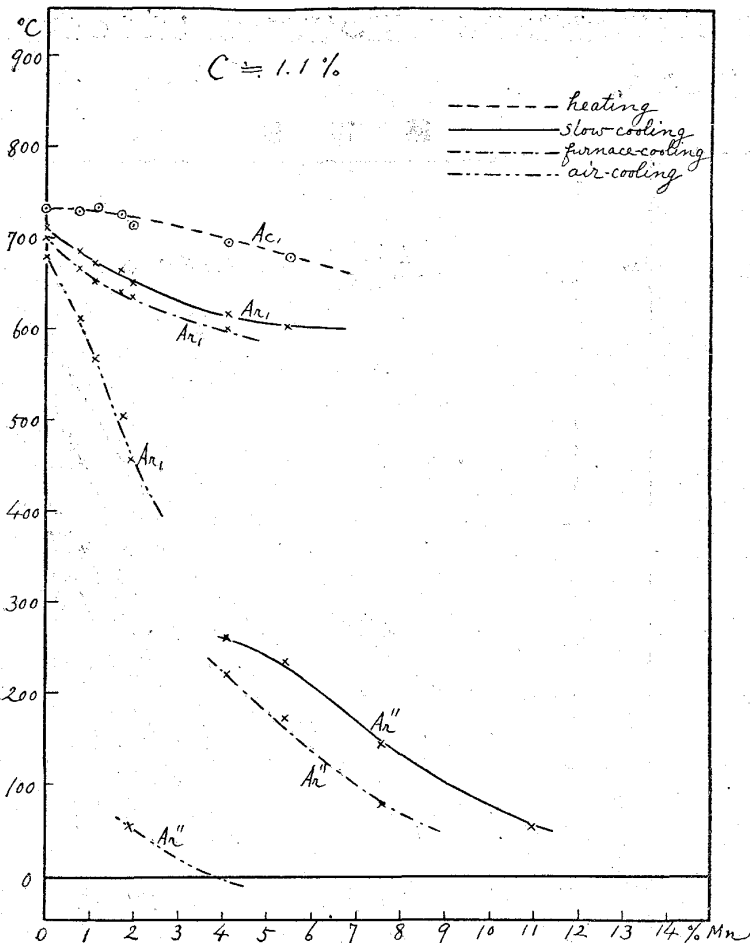
第 16 圖



第 5 表 約 1.1% C

試料			變態點 (°C)							
			緩徐冷却		爐中冷却		空中冷却		緩徐加熱	
番號	Mn%	C%	Ar ₁	Ar''	Ar ₁	Ar''	Ar ₁	Ar''	Ac ₁	
No. 19	0.72	1.22	686-662	—	666-636	—	612-562	—	730-750	
21	1.69	1.20	664-633	—	642-602	—	503-445	—	726-743	
22	1.92	1.11	650-620	—	639-591	—	459-392	55	711-731	
23	4.10	1.19	616-581	261	602-552	223	—	—	699-728	
24	5.43	1.08	602-552	232	—	173	—	—	680-710	
25	7.55	1.16	—	145	—	76	—	—	—	
26	10.98	0.98	—	59	—	—	—	—	—	

第 17 圖



此等の結果を通覧するときは、マンガ量又は冷却速度を増すに従て、Ar₁ 變態の溫度は次第に降下し、又其量は次第に減じて Ar₁'' 變態の量を増し、且其溫度が降下すること、又此等の變態點は最高加熱溫度に由て殆ど變化せないこと等は、炭素量約 0.4% 並に 0.7% の場合と同様である。但此場合に於ては炭素量低い場合よりは高マンガンの試料にまで Ar₁ 及 Ar₁'' 變態が現はれる。又此場合に於ては Ar₁ 及 Ar₁'' 變態の外に 600° 乃至 700° に於て、冷却に際しては異常收縮、加熱に際しては異常膨脹が存在する。殊に緩冷の場合に著しく現はれる。又高マンガ試料に著しい。これは顯微鏡的研究によれば、冷却に際しては大洲田から炭化物が析出し、加熱に際しては炭

化物が大洲田に溶解するに歸因するので即 Ac_m 變態である。

又第 7 圖 第 12 圖 及 第 17 圖を比較するときは、炭素含量による變態點の變化を知ることが出来る。即 (1) A₃ 點は炭素量を増すに従ひ急に降下して A₁ 變態と合し、更に炭素量が増せば Ac_m 變態が現はる。(2) マンガンによる Ar₁ 變態の降下は冷却速度同一ならば炭素量少い方が著しい。(3) Ac₁ 變態點はマンガ量同一ならば炭素量によつて殆ど變化がない。(4) 冷却速度充分遅くないときは、Ar₁ 變態は炭素量の多い試料の方が起り易い。これは顯微鏡的研究に由て一層明に知ることが出来る。(5) 冷却速度速なるときは、Ar₁'' 變態の始點は高炭素試料の方が低い。此關係は空中冷却の場合の曲線に於て、最明瞭に知られる。但冷却速度遅いときは、炭素量に由て大なる差はない。換言すれば炭素量を増すに従て、冷却速度の影響大となる。

VI. 磁氣分析

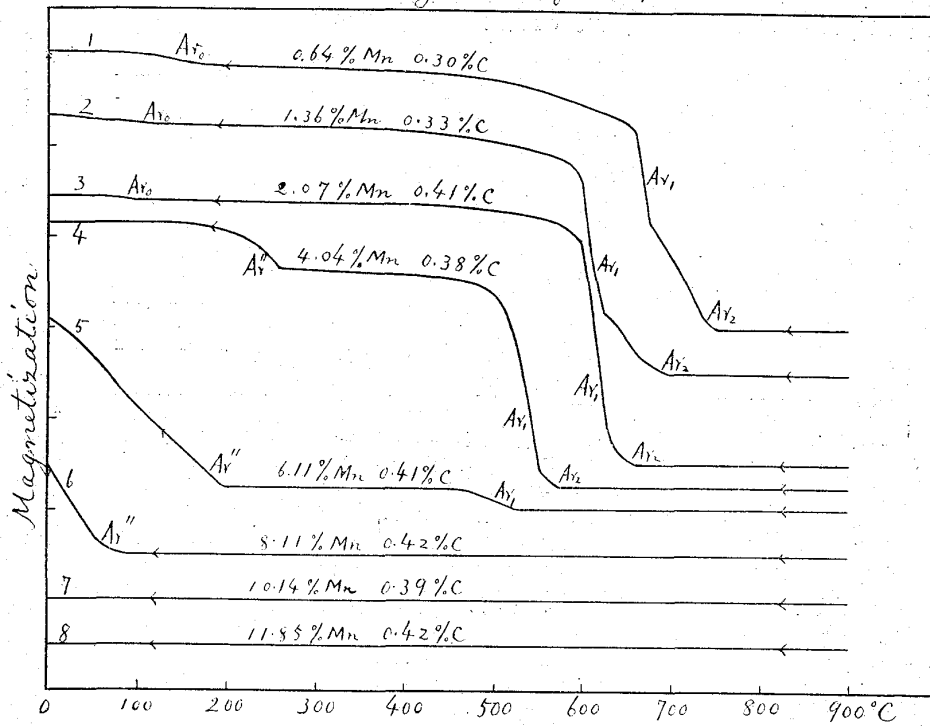
試料は長さ 7 cm 直径 5 mm の圓壘形のものを用ひ、磁力計法に由て、磁場 220 ガウスに於て磁氣分析を行つた。冷却及加熱速度は膨脹測定の場合と同様とし、緩徐冷却及爐中冷却の 2 種に於て測定した。第 18 圖乃至第 29 圖は此等磁氣分析の結果を示す。磁氣曲線に於ける横軸は溫度を表はし、縦

軸は磁氣の強さを表はす。又各曲線の相重なるを防ぐために、零點を移して表はした。

(A)炭素量約 0.4 %のマンガン銅 第 18 圖は 900° より緩徐冷却、第 19 圖は 900° より爐中冷却したる場合の冷却曲線、第 20 圖は 900° より爐中冷却したるものを加熱したる場合の曲線を示す。又第 6 表は此等の曲線に於ける變態點を表示するもの、第 21 圖は變態點とマンガン含量との關係を圖示したものである。但し變態點としては冷却に際しては變化の始點をとり加熱に際しては變化の終點を採つた。

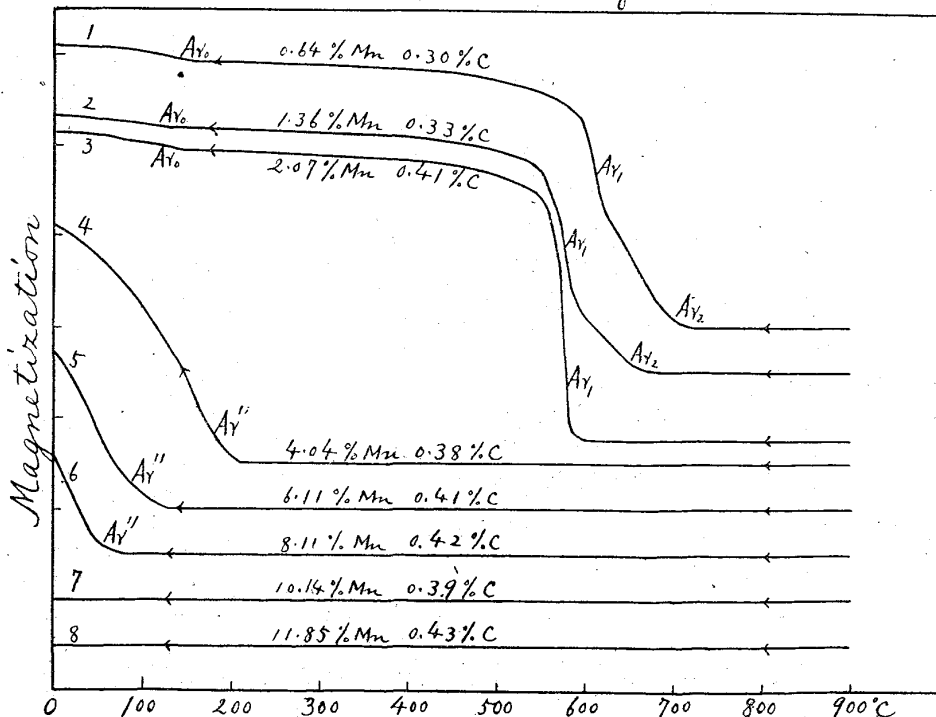
第 18 圖

Slowly cooled from 900°



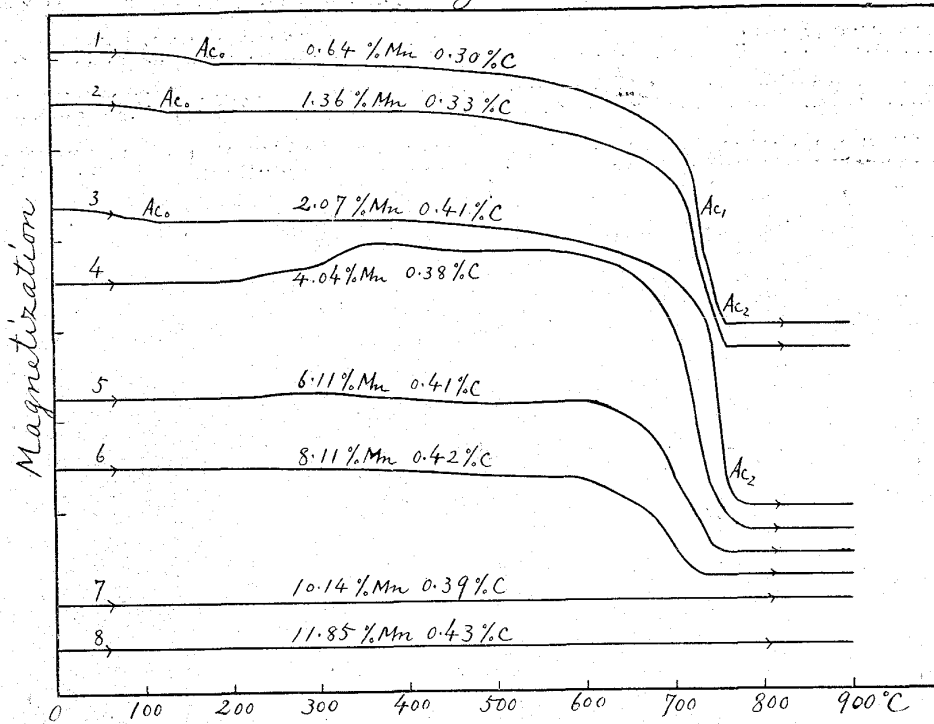
第 19 圖

Cooled in Furnace from 900°

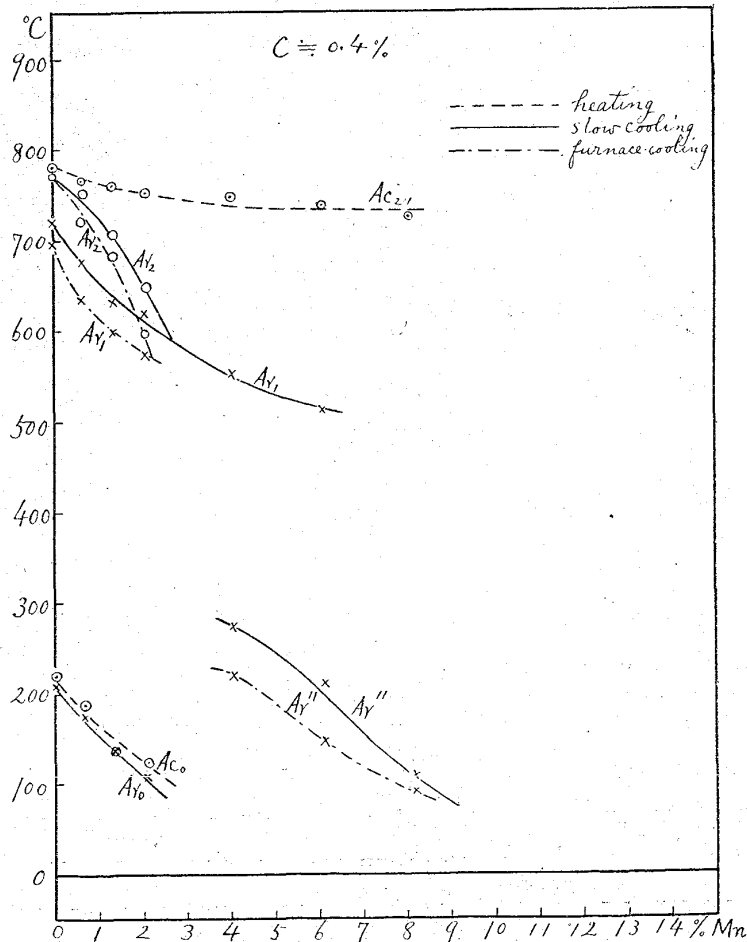


第 20 圖

Heating curves



第 21 圖



第 6 表
約 0.4 %C

試料			變態點 (°C)									
			緩徐冷却				爐中冷却				緩徐加熱	
番 號	Mn%	C%	Ar ₂	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ar ₂	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ac ₂	Ac ₀
No.1	0.64	0.30	751	675	—	176	721	635	—	166	766	186
3	1.36	0.33	709	634	—	135	684	599	—	135	761	135
4	2.07	0.41	649	618	—	114	592	573	—	153 93	753	123
5	4.04	0.33	—	550	271	—	—	—	220	—	745	—
6	6.11	0.41	—	516	210	—	—	—	148	—	735	—
7	8.11	0.42	—	—	107	—	—	—	93	—	724	—
8	10.14	0.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	11.85	0.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

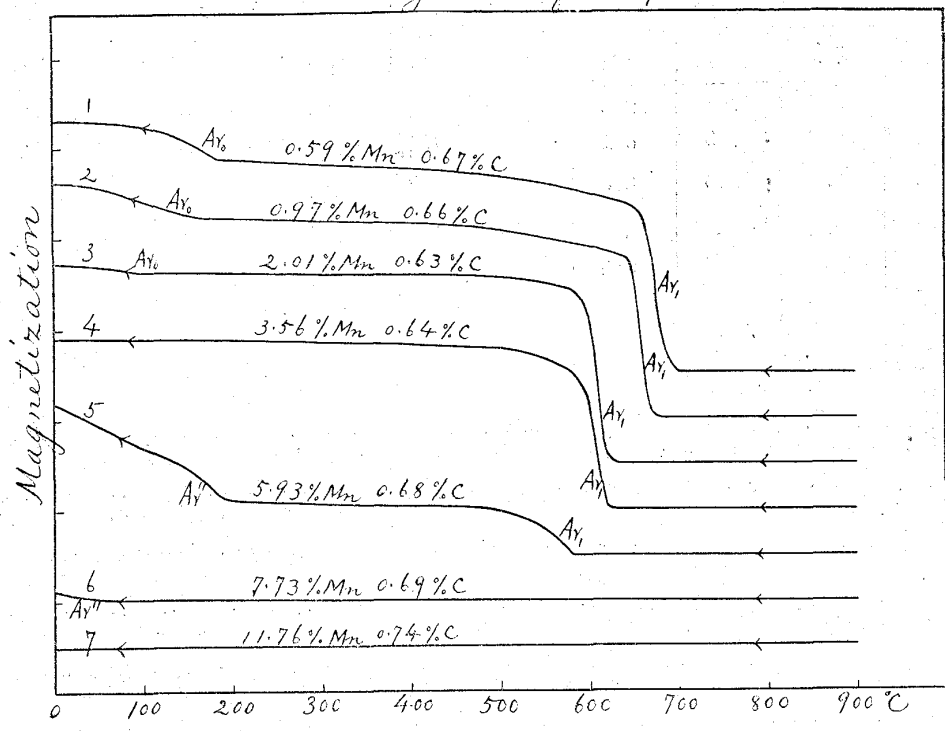
此等の變態點を熱膨脹測定に由て求めたる變態點(第 3 表及第 7 圖)と比較するときは、其の溫度の殆一致して居ることが見られる。従て前に述べたるマンガンによる變態點の影響は、磁氣分析の結果に由ても明に知られるのである。但磁氣分析の場合には、熱膨脹曲線には現はれない所の A₀ 變態即セメンタイトの變化が、マンガン量 2% 以下のものに於て現はれる。其溫度は冷却條件同一ならば、マンガンの含量を増すに従つて次第に降下し、又其變化の量を減す。是れセメンタイトがマンガンを溶解するによる。(第 18 圖曲線 4~6 に現はるゝ所の 270° 以下の變化は Ar'' 變態で、セメンタイトの變化ではない)。又冷却條件が異なれば其の變化の溫度も異なり、冷却速度速なるときは、同一試料でも少しく低い溫度に於て現はれる。又第 19 圖曲線 3 に見る如く 2 段になつて現はれることがある。但充分遅く冷却すれば 2 段の變化はないに由て、これは冷却の際析出したセメンタイトに溶解せるマンガン量が部分に由つて異なるため、緩徐冷却すれば冷却の間にマンガンの溶解量が一様になるためと考へられる。

又前に冷却曲線上 Ar'' 變態の起つたものは、次の加熱曲線に於て Ac₁ 點以下に異常變化が起ることを述べたが、其の變化は磁氣曲線上に於ては、熱膨脹曲線よりも一層著しく現はれる。例へば第 20 圖曲線 1 乃至 3 は前の冷却曲線(第 19 圖曲線 1~3)に於て、Ar'' 變態を有せないに由て、セメンタイトの變態の外 A₁ 點以下には何等の變化もないが、曲線 4 乃至 6 は何れも前の冷却曲線上 Ar'' 變態が起つて居るもので、加熱曲線上 200° 乃至 400° に於て、明に異常變化が見られる。而して其の變化は曲線 4 に於て最著しく、マンガンを増すに従て減小するは、前の冷却の間に大洲田より變化した麻留田が、更に吐粒洲に變化するによるもので、マンガンの増すに従て其變化の減小するのは、前に冷却の間に生じた麻留田の量が減小するためである。而してマンガン含量 10% 以上となれば、前の冷却の間にも大洲田は變化せず、加熱に際しても容易に變化せないのである。

(B) 炭素量約 0.7% のマンガン鋼 第 22 圖乃至 24 圖は種々の條件の下に、冷却又は加熱したる場合の曲線を示し、第 7 表は此等の變態點を表示したものである。又第 25 圖は變態點とマンガン含量との關係を示す。

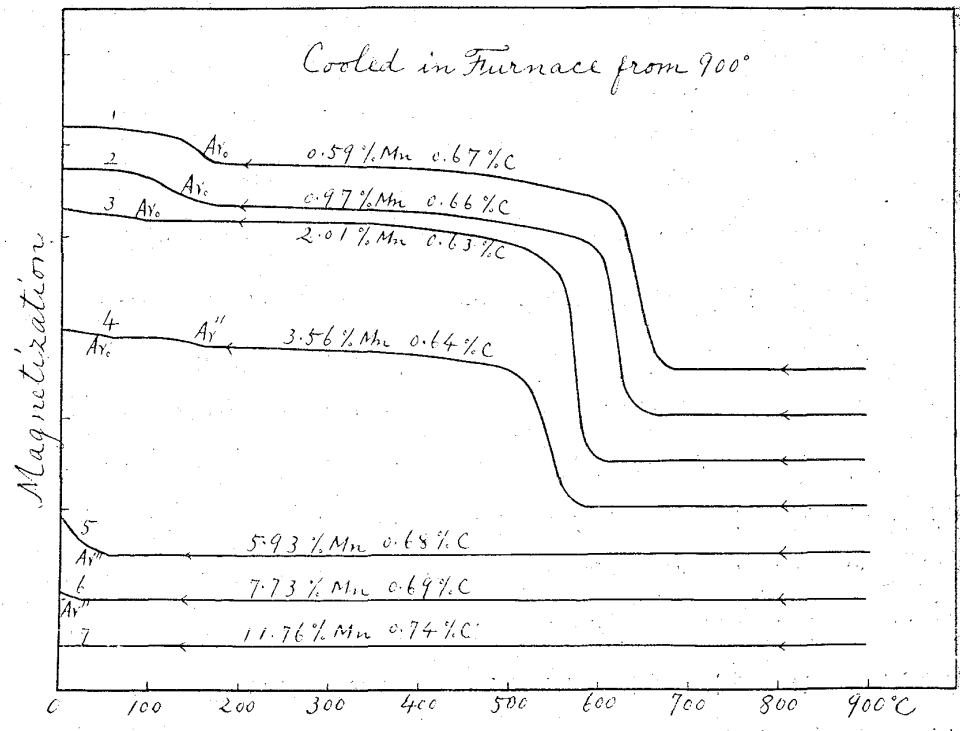
第 22 圖

Slowly cooled from 900°

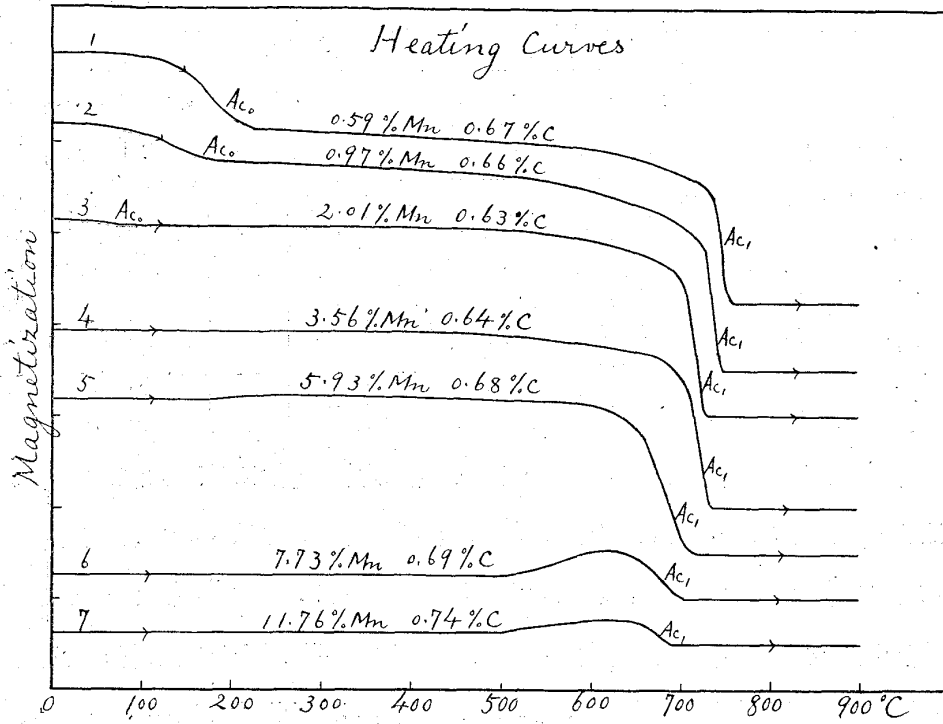


第 23 圖

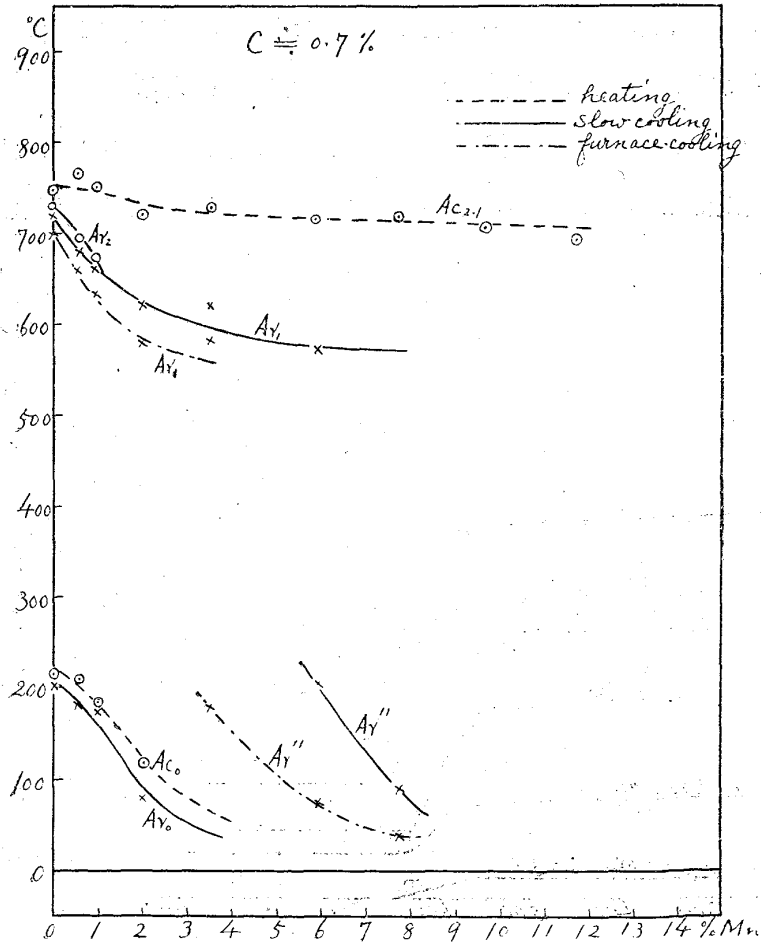
Cooled in Furnace from 900°



第 24 圖



第 25 圖



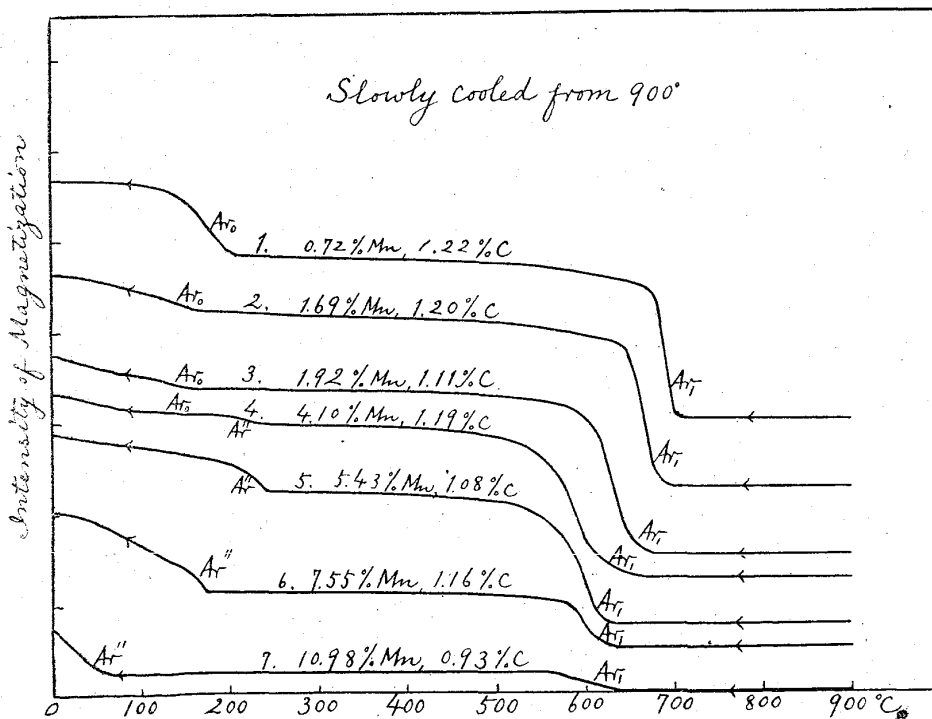
第 7 表
約 5.7 %C

試 料			變 態 點 (°C)									
			緩 徐 冷 却				爐 中 冷 却				緩徐加熱	
番 號	Mn%	C%	Ar ₂	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ar ₂	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ac ₂	Ac ₀
No.10	0.59	0.67	694	679	—	184	684	659	—	185	766	210
11	0.97	0.66	674	663	—	178	664	633	—	174	750	184
13	2.01	0.63	—	623	—	80	614	579	—	118	724	—
14	3.56	0.64	—	623	—	—	—	587	180	50	729	—
15	5.93	0.68	—	572	203	—	—	—	74	—	715	—
16	7.73	0.69	—	504	90	—	—	—	40	—	—	—
18	11.76	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

此等の結果を熱膨脹測定の結果と對照するときは、熱膨脹の變化には現はれないやうな微小な變化も磁氣變化にはよく現はれて居ることが見られる。即熱膨脹の變化は 900° より緩冷の場合に、7.73 %Mn 以上の試料には何等の變化も現はれないが、磁氣の變化には Ar'' 變態が微小ながら現はれて居る(第 22 圖曲線 6)。又第 24 圖の加熱曲線 6 及 7 には 500° 以上に於て著しき磁氣の増加が見られる。これは熱膨脹の變化にも現はれて居るが(第 11 圖)磁氣曲線には一層著しい。これは大洲田が麻留田に變化するに基因するもので、其の磁氣増加の量は 8% 附近が最大で、マンガン含量が之れ以上になると減小する。これはマンガン 8% まではマンガンを増すに従て、加熱の際麻留田に變化する量を増加するが、それ以上に於ては大洲田が變化し難くなるによる。

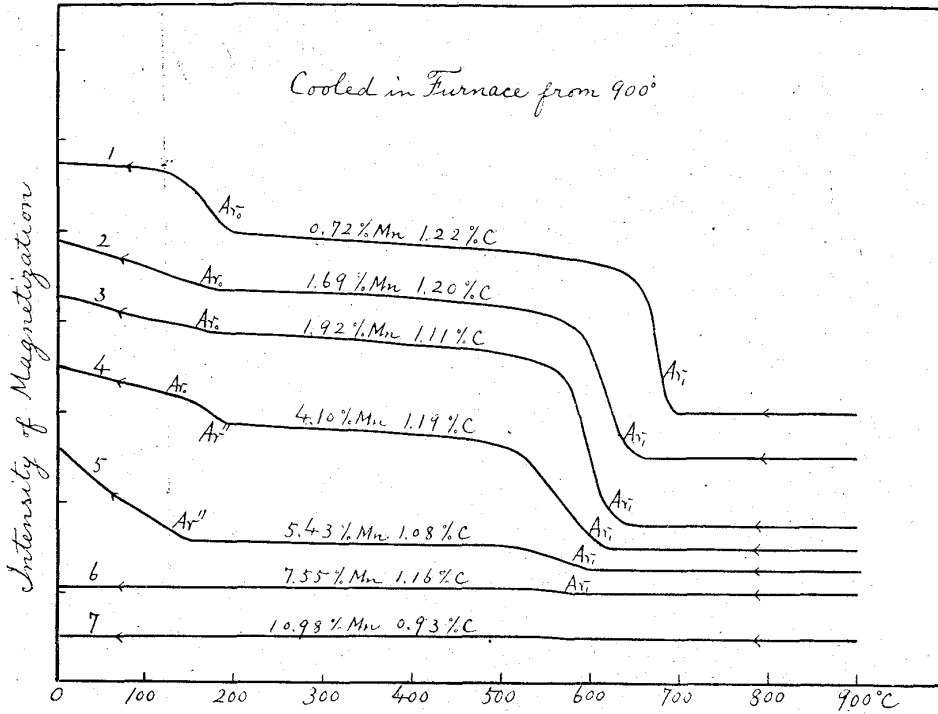
又 A。變態は 0.4 %C のものよりも著しく現はれ、又 3.5%Mn のものにも見られる(第 23 圖曲線 4)。即炭素量が多くなればマンガン量の多いものにまで、セメントタイトの變化が現はれるのである。

第 26 圖

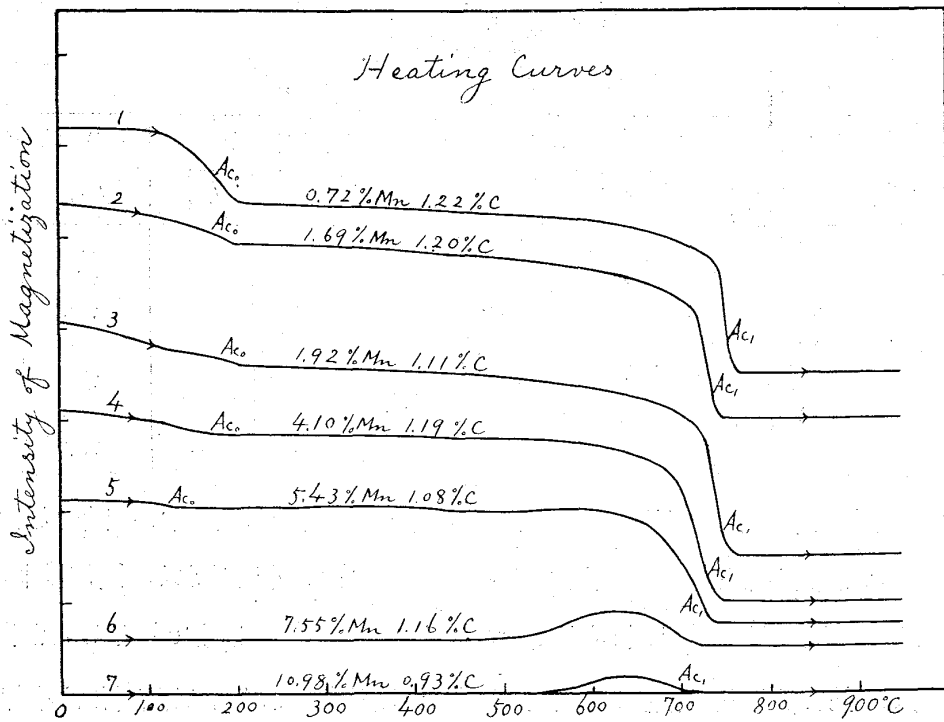


(C) 炭素量約 1.1% のマンガン鋼 第 26 乃至 28 圖は種々の條件の下に冷却又は加熱したる場合の磁氣溫度曲線を示す。又第 8 表は此等の變態點を表示したもので、第 29 圖は變態とマンガン含量との關係を圖示したものである。

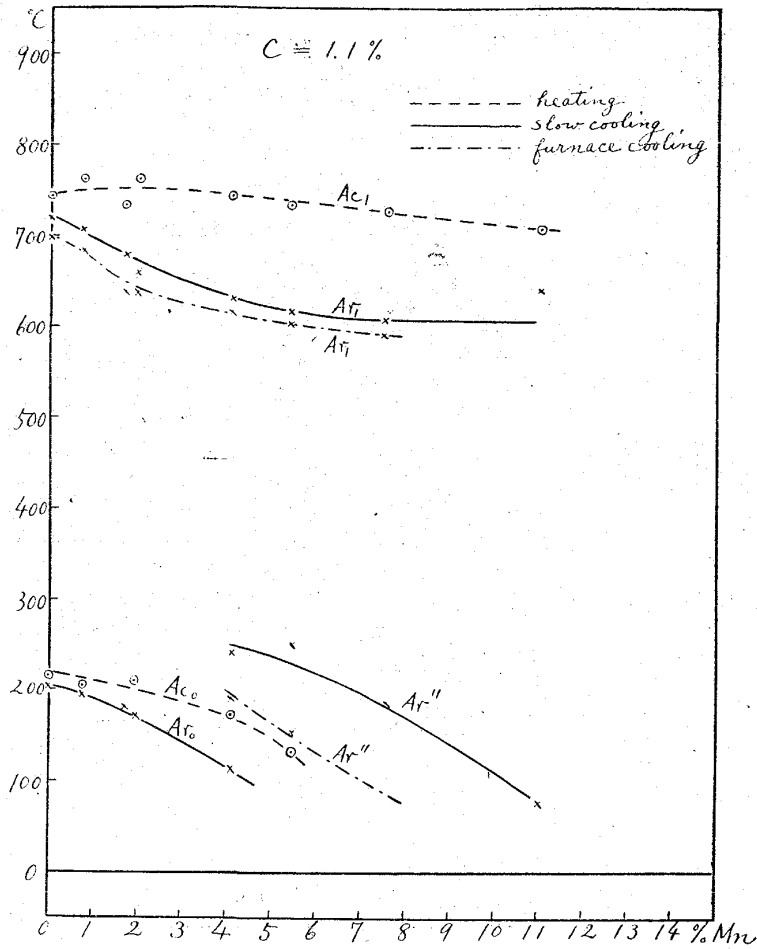
第 27 圖



第 28 圖



第 29 圖



第 8 表
1.1 %C

試料			變態點 (°C)							
			緩徐冷却			爐中冷却			緩徐加熱	
番 號	Mn%	C%	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ar ₁	Ar''	Ar ₀	Ac ₁	Ac ₀
No.19	0.72	1.22	706	—	197	682	—	191	760	200
21	1.69	1.20	677	—	183	637	—	183	734	198
22	1.92	1.11	658	—	171	639	—	174	763	210
23	4.1	1.19	630	240	—	616	192	—	744	173
24	5.43	1.08	615	252	—	601	152	—	734	—
25	7.55	1.16	606	183	—	574	—	—	725	—
26	10.98	0.98	—	77	—	—	—	—	707	—

此等の結果を熱膨脹測定の結果と對照するときは、變態の溫度は大體に於て一致せるが、熱膨脹に於ては現はれないやうな微小なる Ar₁ 變化が、磁氣の變化にはよく現はれる。(第 26 圖曲線 6 及 7) 又炭素量が多いために A₀ 變化が著しく現はれ、マンガンの多いものにまで見ることが出来る。又マンガンを増すに従て次第に其變化の溫度が降下することが明に知られる。又此變化は冷却曲線に於ては Ar'' 變化と混同する恐があるが、A₀ 變態は加熱曲線に於ても現はれるに由て其存在が知られる。例へば第 27 圖の冷却曲線 4 に於ては 200° 附近と 100° 附近とに變化があるが、加熱曲線 (第 28

圖曲線 4) には、200° 附近の變化はないに由て、これは Ar'' 變態であることが知られる。又第 27 圖曲線 5) には、150° 以下に大きな變化があるが、これも次の加熱曲線 (第 28 圖曲線 5) に現はれないに由て、Ar'' 變態であることが知られる。又加熱曲線上 300° 並に 600° 附近に於ける磁氣の増加は、大洲田より麻留田への變化に歸因すること前に述べた所である。

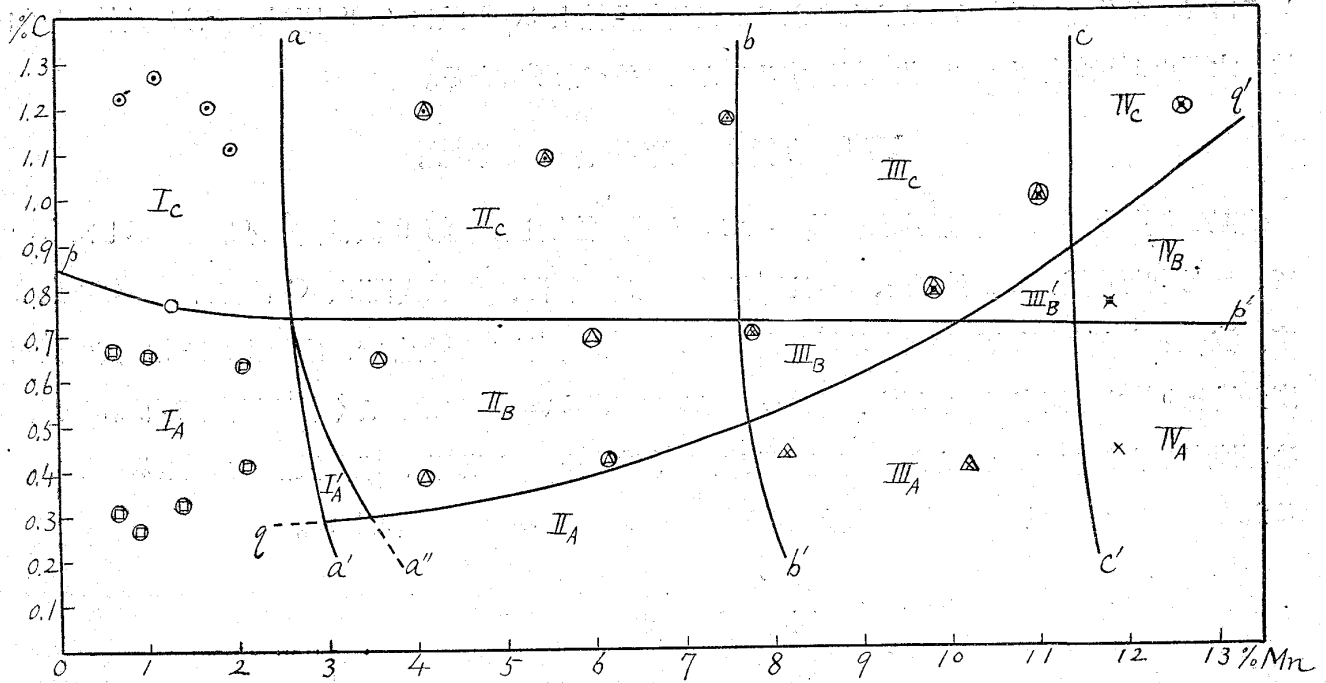
VII. 顯微鏡的研究—組織圖

上記の各實驗に用ゐた試料は測定後すべて其組織を檢鏡した。第 9 表は其の結果を表示したもので、F は初析地鐵、P は波來土、M は麻留田、T は吐粒洲、A は大洲田、C は初析炭化物を表はす。波來土及吐粒洲は大洲田より地鐵及炭化物が同時に析出した共析晶で、冷却速度に由て其の微細度が異なり、冷却速度が遅い場合、殊にマンガン含量の少いものには、よく層狀組織が現はれるが、冷却速度が増すに従て微細となり、吐粒洲となる。波來土乃至吐粒洲は唯其微細度が異なるのみであるから、之を P を以て表はし、唯麻留田と共存する場合のみを吐粒洲とした。

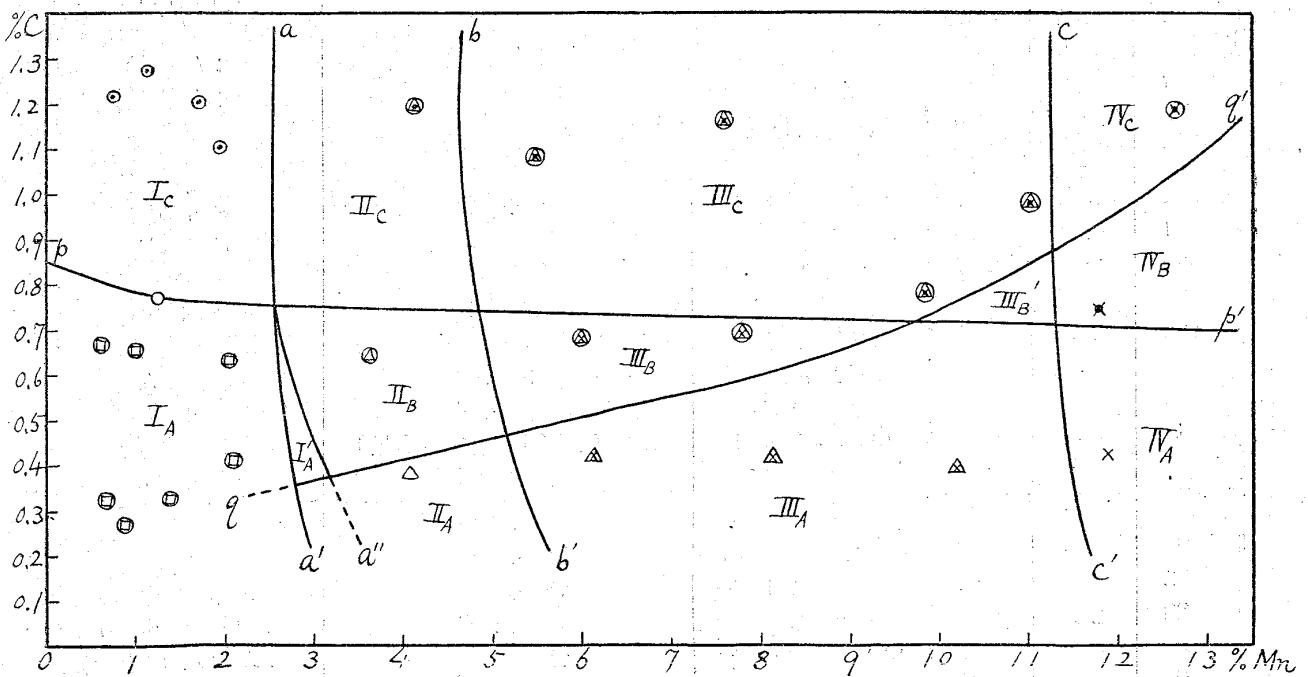
第 9 表
顯 微 鏡 組 織

試 料 番 號	試 料		緩 徐 冷 却 (900°Cより)	爐 中 冷 却 (900°Cより)	空 中 冷 却 (900°Cより)
	Mn%	C%			
No. 1	0.64	0.30	F + P	F + P	F + P
2	0.85	0.27	F + P	F + P	F + P
3	1.36	0.33	F + P	F + P	F + P
4	2.07	0.41	F + P	F + P	F+T+M
5	4.04	0.38	T + M	M	M
6	6.11	0.41	T + M	M+A(少量)	M+A(少量)
7	8.11	0.42	M + A	M + A	M+A 少量)
8	10.14	0.39	A + M(少量)	A + M(少量)	A
9	11.85	0.42	A	A	A
No.10	0.59	0.67	F + P	F + P	F + P
11	0.97	0.66	F(少量)+P	F + P	F + P
12	1.23	0.77	P	P	P
13	2.01	0.63	F(少量)+P	F(少量)+P	M + T
14	3.56	0.64	M + T	M(少量)+T	M+T(少量)
15	5.93	0.68	T + M	M+A+T	M + A
16	7.73	0.69	T+A+M	M+A+T	A + M
17	9.78	0.78	T+A+M+C	A + M + C(少量)+T(少量)	A+C(少量)
18	11.76	0.74	A + C	A + C	A + C
No.19	0.72	1.22	P + C	P + C	P + C
20	1.11	1.27	P + C	P + C	P + C
21	1.69	1.20	P + C	P + C	T+C+M(少量)
22	1.92	1.11	P + C	P + C	T+C+M(少量)
23	4.10	1.19	T+C+M(少量)	T+M+C	M+A+C+T(少量)
24	5.43	1.08	T+M+C(少量)	T+M+C+A(少量)	A(少量)+M+C
25	7.55	1.16	T+M+C	T+M+C+A	A(少量)+C
26	10.98	0.98	T+M+A+C	A+T(少量)+C(少量)+M	A+C, 少量)
27	12.74	1.19	A+T+C	A + T+C	A + C

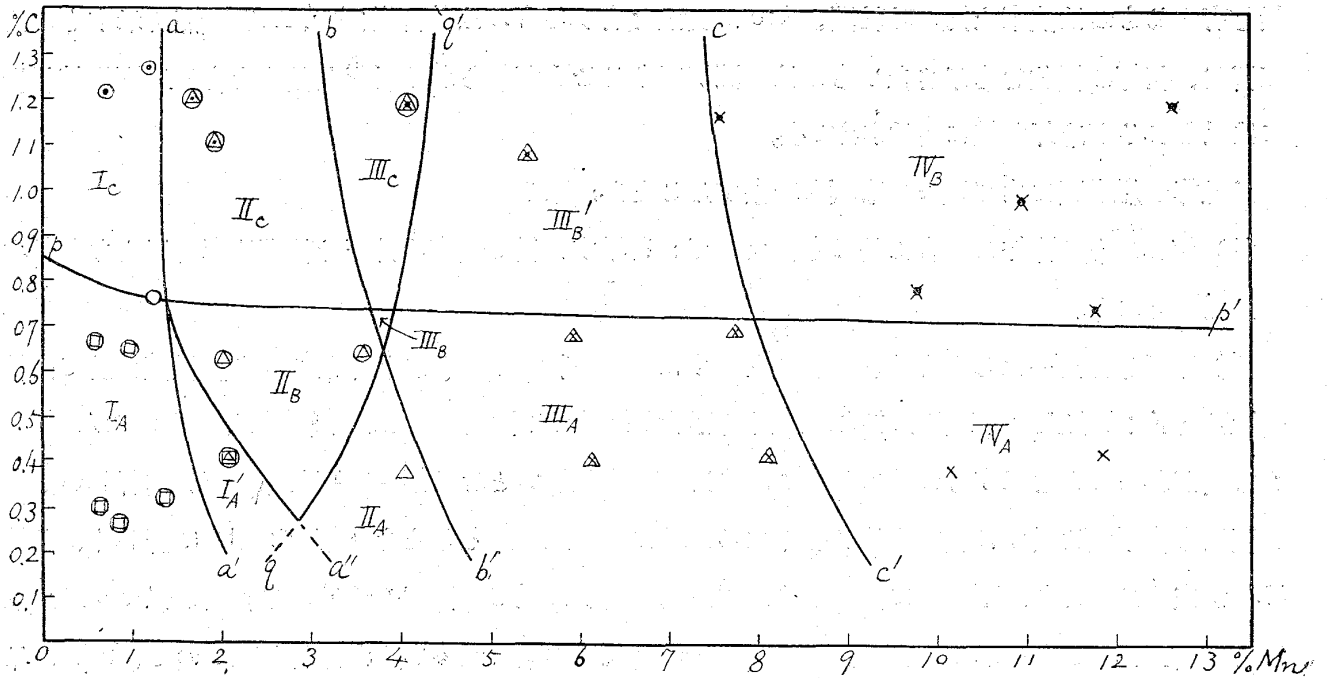
第 30 圖 900°より緩徐冷却



第 31 圖 900°より爐中冷却



第 32 圖 900°より空中冷却



第 30 乃至 32 圖は各冷却條件の下に於ける試料の組成と組織との關係を圖示した組織圖である。但 1,100°より冷却したるものは其組織が粗大であるのみで、組織成分には殆ど變化がないに由て圖示することを略した。圖に於ては□は初析地鉄、•は初析炭化物、○は波來土乃至吐粒洲、△は麻留田、×は大洲田で、此等の 2 個又は 3 個を併用したものは、其等の組織成分が共存するものである。例へば⊙は波來土乃至吐粒洲と初析炭化物の存在を示し、△は麻留田及大洲田より成ることを示すものである。

又各曲線は異なる組織を示す界域の境界線である。圖に於て曲線 pp' は初析晶が地鉄であるか又は炭化物であるかの界域の境界線であり、曲線 aa' は麻留田の現はるゝ境界、bb' は大洲田の現はるゝ境界、cc' は麻留田の消失する境界を表はす。又 qq' は吐粒洲の消失する境界を示す。故に此等の圖に於て曲線 pp' よりも炭素量多き鋼に於ては、初析炭化物が現はれ、麻留田は曲線 aa' と cc' との間の組成のものに現はれ、大洲田は曲線 bb' よりもマンガン含量多きものに現はる。又吐粒洲は曲線 qq' よりもマンガン少きものに現はれるのである。故に此等の各曲線に由て分たれた各界域の示す組織成分は次の如く表はされる。

I _A	F+P	III _A	M+A
I _{A'}	F+T+M	III _B	M+T+A
I _C	P+C	III _{B'}	M+A+C
II _A	M	III _C	M+T+A+C
II _B	T+M	IV _A	A
II _C	T+M+C	IV _B	A+C
		IV _C	A+C+T

此等の組織圖と熱膨脹測定又は磁氣分析の結果とを對照するときは、此等組織は冷却曲線と密接の

關係があることが知られる。即冷却曲線に於て Ar_3 變態を有するものは、初析地鐵を有し、 Ar_1 變態を有するものは波來土乃至吐粒洲、 A_{rem} 變態を有するものは初析炭化物、 Ar'' 變態を示すものは麻留田、何等の變化をも示さないものは大洲田であることが知られる。(但其量少きものは顯微鏡組織には見られるが冷却曲線に現はれない)。

又此等の組織圖に由て種々の事實を考察することが出来る。

(1) 何れの冷却条件の場合に於ても、マンガンを増すに従て波來土乃至吐粒洲は麻留田となり、次で大洲田となる。

(2) 冷却条件同一なるときは、炭素量を増すに従て吐粒洲が現はれ易くなる。各組織圖に於て曲線 qq' が左下より右上の方に曲れるは、炭素量を増すに従て吐粒洲の現はれる範圍が、高マンガン鋼にまで廣がれることを示すものである。これは冷却速度が遅いとき(第 30 圖及 31 圖)に著しい。又大洲田も炭素量を増すに従て現はれ易くなる。殊に冷却速度速なるとき(第 32 圖)に著しく、曲線 bb' が左上の方より右下の方に曲れるは、炭素量を増すに従て大洲田の現はれる範圍が低マンガン鋼にまで廣がれることを示す。即大洲田→麻留田の變化は炭素量が多い方が進行し難いので、 IV_C の界域の如きは麻留田がなくして吐粒洲が存在するのである。之に由て考へると、大洲田→麻留田の變化と、大洲田と吐粒洲の變化とは全く別種の變化で、無關係に進行し、吐粒洲は必ずしも大洲田より麻留田を経て生ずるものではないことが知られる。

(3) 冷却速度の影響は、速度を増すに従て吐粒洲は現はれ難くなり、之に反して麻留田又は大洲田が現れ易くなる。組織圖に於て各境界線が速度を増すに従て、左方即マンガンの少い方に移動するに由て知られる。

(4) 初析炭化物の現はるゝ範圍はマンガンを増すに従て炭素量少くて足る。是れ曲線 pp' がマンガンを増すに従て少しく下方に曲るに由て知られる。但冷却速度早く、加熱温度が高いときは炭化物の析出不充分のために、曲線 pp' は上方に移動す。

VIII. 顯 微 鏡 組 織

前記の如くマンガン鋼は其組成及冷却条件の如何に由て、其の組織が異なるのであるが、前記組織圖(第 30~32 圖)に於て同一記號を以て表はした界域のものは同様の組織を示す。即同一の組織成分より成り、唯鋼の組成及冷却条件に依て其組織成分の量、形狀及大きさを異にするのである。因て茲には各界域の代表的のものを選び寫眞 No.1 乃至 No.18 に掲げた。腐蝕劑は何れもピクリン酸の酒精溶液を用ゐた。

寫眞 No.1 は界域 I_A に屬するものの組織で初析地鐵及波來土より成る。又寫眞 No.2 は界域 I_C に屬するものの組織で初析炭化物及波來土より成る。何れも炭素鋼の亞共析並に過共析鋼の標準組織と同様である。

寫眞 No.3 は界域 I_A' に屬するものゝ組織で地鐵、吐粒洲及麻留田より成る。少しく腐蝕せられた不規則なる形狀の部分が麻留田で、白く網狀並に針狀に現はれて居るのが地鐵、其他の部分が吐粒洲である。即ち冷却速度が稍速であつたために、地鐵の一部は針狀に析出したのである。

寫眞 No.4 は界域 II_A に屬するものゝ組織で全部麻留田より成る。所々に黒く腐蝕せられて居るのは鐵滓の存在に歸因するのである。

寫眞 No.5 及 No.6 は界域 II_B に屬するものゝ組織で、麻留田及吐粒洲より成る。針狀晶の析出せる部分が麻留田で、黒く腐蝕せられて居る部分が吐粒洲である。No.5 が No.6 よりも組織の細かいのは冷却速度が早いためである。

寫眞 No.7 は界域 II_C に屬するものゝ組織で、初析炭化物、麻留田及吐粒洲より成る。網狀並に粒狀に析出せるが初析炭化物で、黒く腐蝕せられた廣い面積が吐粒洲、其間の不規則な外形を示して少しく腐蝕せられて居る部分が麻留田である。

寫眞 No.8 及 No.9 は界域 III_A に屬するものゝ組織で麻留田及大洲田より成る。針狀晶の析出せる部分が麻留田で、其析出のない部分が大洲田である。No.8 に於ては大洲田の量が少いけれども、No.9 に於ては多量の大洲田が見られる。

寫眞 No.10 及 No.11 は界域 III_B に屬するものゝ組織で、大洲田、麻留田及吐粒洲より成る。暗黒に腐蝕せられて居る部分は吐粒洲で、針狀晶が析出せる部分が麻留田、其の析出のない部分が大洲田である。吐粒洲は大洲田粒の境界より發達し、麻留田は其吐粒洲の周圍より發達することが知られる。

寫眞 No.12 は界域 III_B に屬するものゝ組織で、大洲田、麻留田及炭化物より成る。炭化物は網狀並に粒狀に現はれ、白色の部分は麻留田、大部分の地は大洲田である。

寫眞 No.13 及 No.14 は界域 III_C に屬するものゝ組織で、初析炭化物、麻留田、吐粒洲及大洲田より成る。大部分の地は大洲田で、初析炭化物は大洲田粒の境界及大なる針狀晶 (No.13 に於て) となつて現はれ、吐粒洲は大洲田粒の境界に於て黒く腐蝕せられて居る部分である。No.13 には其量が少いが No.14 には多く見られる。又麻留田は其量少いが、腐蝕せられ難くて白く残り、其上に微細針狀晶があるので知られる。No.13 には所々に存在し、No.14 には吐粒洲の中に存在する。

寫眞 No.15 は界域 IV_A に屬するものゝ組織で全部大洲田より成る。

寫眞 No.16 及 No.17 は界域 IV_B に屬するものゝ組織で初析炭化物及大洲田より成る、No.16 に於ては初析炭化物は大洲田粒の境界のみに析出して居るが、No.17 に於ては試料の炭素含量大なるために、粒の境界の外に針狀炭化物が見られる。

寫眞 No.18 は界域 IV_C に屬するものゝ組織で、大洲田、吐粒洲及炭化物より成る。炭化物は大洲田粒の境界に析出し、其の周圍に吐粒洲が發達して居る。

IX. 總 括

A. 炭素量約 0.4 %、0.7 % 及 1.1 % の 3 種で、マンガン含量 12 % 以下のマンガン鋼に就て、熱膨脹測定及磁氣分析の方法により、種々の加熱及冷却條件の下に變態點を觀測し、組成及此等條件による變態點の變化を研究し、次の結果を得た。

(1) Ar_3 變態はマンガン及炭素含量を増すに従ひ、又冷却速度を増すに従て次第に降下す。

(2) Ar_1 變態はマンガン又は冷却速度を増すに従て次第に降下し、且其量を減じ遂に消失す。但マンガン含量同一ならば炭素量を變ずるも Ar_1 變態の溫度には大差がない。又冷却速度同一ならばマンガンによる Ar_1 變態點の降下は、炭素量少い方が著しい。

(3) Ar'' 變態はマンガン又は冷却速度を増すに従て、或程度までは其量を増し、又其溫度が下降するが、或程度以上に達すると室温に達しても猶變化完結せないため其の量を減じ、遂に其變態を示さざるに至る。

(4) 冷却に際して起る變態の溫度は最高加熱溫度を變じても殆影響がない。

(5) Ac_3 及 Ac_1 變態點もマンガン含量を増すに従て降下するけれども、 Ar_3 及 Ar_1 變態點の如く著しくはない。又マンガン含量同一ならば、炭素量に由て殆變化がない。

(6) 冷却速度が餘り早くなければ、 Ar_1 變態は炭素量多い試料の方が起り易く、 Ar'' 變態は炭素量の多い方が起り難い。冷却速度同一ならば炭素量高いものはマンガン量の高いものにまで Ar_1 變態が現はれる。併し冷却速度が大なるときは、炭素量の多い方が此等變態の阻止せられること著しく、 Ar'' 變態點の降下も著しい。

(7) セメントタイトの磁氣變態點はマンガン含量を増すに従て次第に降下し、且其の量を減ず、是れマンガンはセメントタイトに溶けて固溶體をつくるによる。此の變化は炭素量を増すに従て高マンガンのもにまで現はる。

B. 上記の鋼を緩徐冷却、爐中冷却及空中冷却の 3 種の冷却條件の下に冷却して其顯微鏡組織を研究し、各冷却條件の下に於ける組織圖を構成し、次の諸事實を明にした。

(1) 何れの冷却條件の場合に於てもマンガンを増すに従て、顯微鏡組織は波來土より吐粒洲、麻留田、大洲田の順序に變化す。

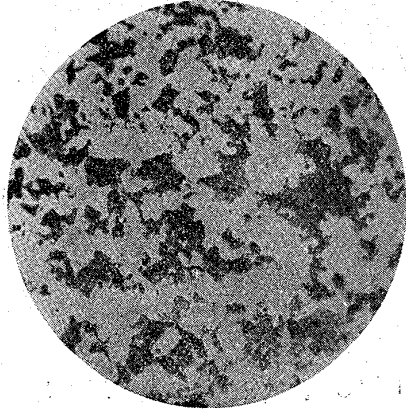
(2) 冷却速度同一なるときは炭素量を増すに従て、吐粒洲が現はれ易くなり、炭素量高きものはマンガン含量の多いものにまで吐粒洲が現はれる、又麻留田及大洲田は炭素量を増すに従て現はれ易くなる。殊に冷却速度の早いときに著しい。

(3) 冷却速度を増すに従て吐粒洲は現はれ難くなり之に反して麻留田及大洲田は現はれ易くなる。

本研究は財團法人齋藤報恩會よりの補助に依て遂行したもので、茲に同會に對して謝意を表す。

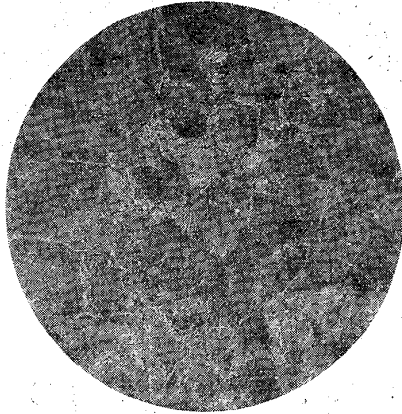
顯微鏡寫眞

No. 1.



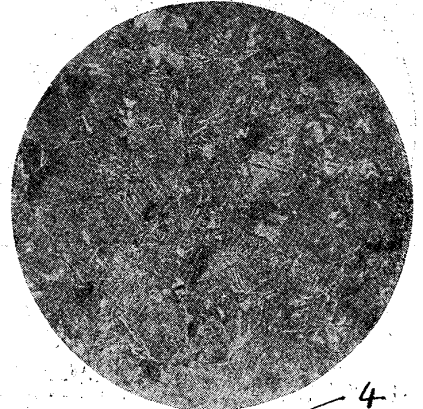
0.64 %Mn, 0.30 %C
900°C より 爐中冷却(P+F)
×330 × 3/4

No. 2.



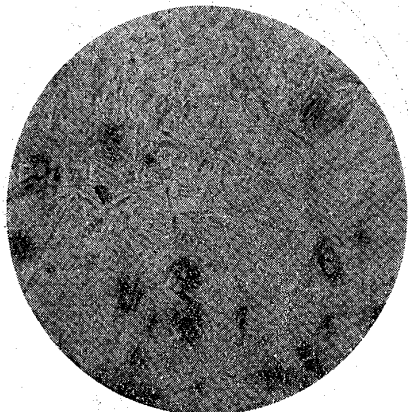
1.11 %Mn, 1.27 %C
900°C より 爐中冷却(P+C)
×330 × 3/4

No. 3.



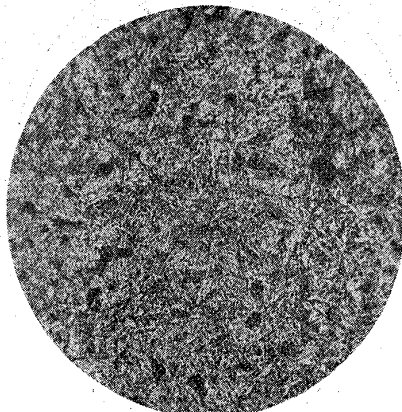
2.07 %Mn, 0.41 %C
900°C より 空中冷却(F+P+M)
×300 × 3/4

No. 4.



4.04 %Mn, 0.38 %C
900°C より 空中冷却(M)
×400 × 3/4

No. 5.



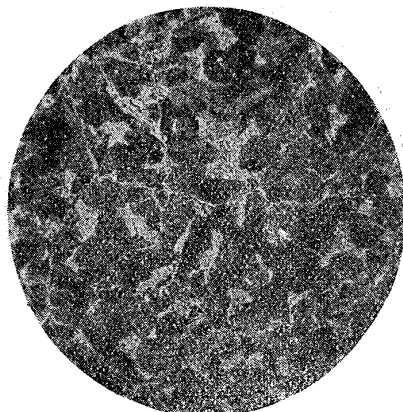
3.56 %Mn, 0.64 %C
900°C より 空中冷却(M+T)
×300 × 3/4

No. 6.



6.11 %Mn, 0.41 %C
900°C より 緩徐冷却(M+T)
×450 × 3/4

No. 7.



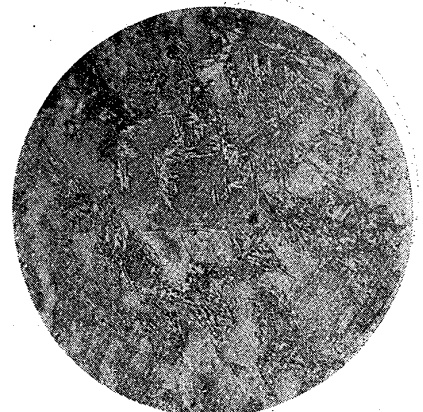
4.10 %Mn, 1.19 %C
900°C より 爐中冷却(P+M+C)
×330 × 3/4

No. 8.



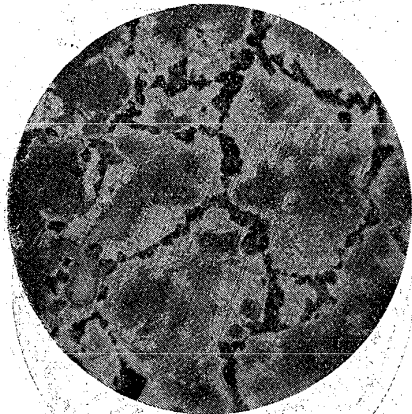
6.11 %Mn, 0.41 %C
900°C より 空中冷却(A+M)
×400 × 3/4

No. 9.



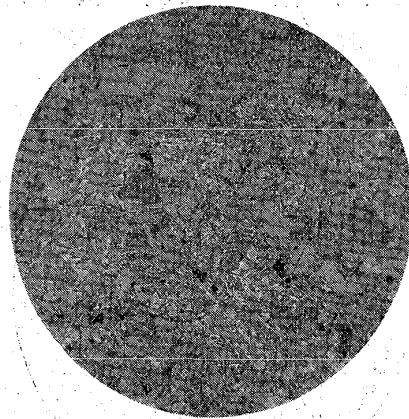
7.73 %Mn, 0.69 %C
900°C より 空中冷却(A+M)
×250 × 3/4

No. 10.



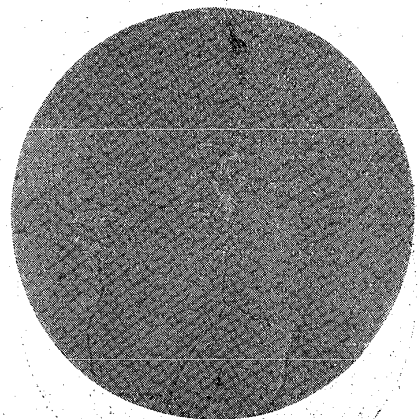
7.73 %Mn, 0.69 %C
900°C より緩徐冷却(A+T+M)
×250 × 3/4

No. 11.



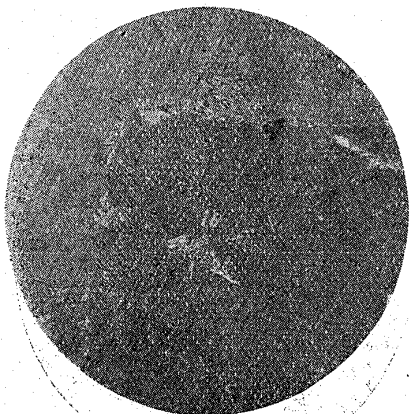
5.93 %Mn, 0.68 %C
900°C より爐中冷却(T+M+A)
×250 × 3/4

No. 12.



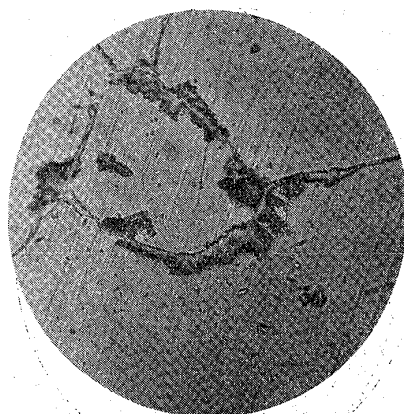
5.43 %Mn, 1.08 %C
900°C より空中冷却(A+M+C)
×100 × 3/4

No. 13.



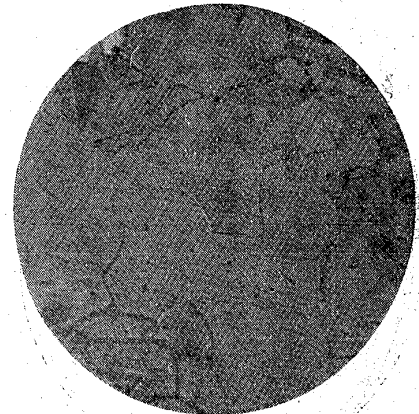
4.10 %Mn, 1.19 %C
900°C より空中冷却(A+T+M+C)
×400 × 3/4

No. 14.



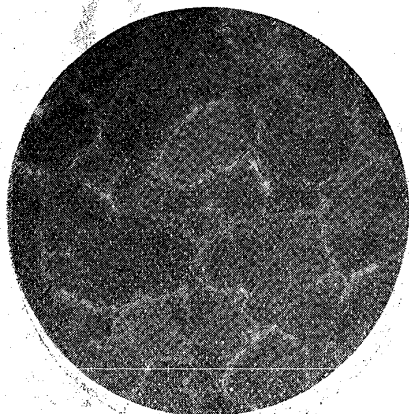
10.98 %Mn, 0.98 %C
900°C より爐中冷却(A+T+M+C)
×400 × 3/4

No. 15.



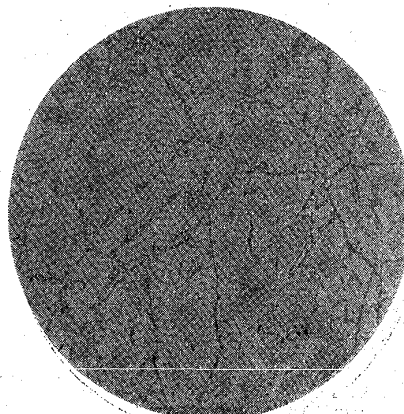
10.14 %Mn, 0.39 %C
900°C より空中冷却(A)
×250 × 3/4

No. 16.



9.79 %Mn, 0.78 %C
900°C より空中冷却(A+C)
×300 × 3/4

No. 17.



7.55 %Mn, 1.16 %C
900°C より空中冷却(A+C)
×250 × 3/4

No. 18.



12.74 %Mn, 1.19 %C
900°C より爐中冷却(A+T+C)
×530 × 3/4