

高マンガン大洲田鋼の加熱による 組織及性質の變化

(日本鐵鋼協會 第五回講演大會講演)

村上 武次郎
三神 正苗

SYNOPSIS

The Change of Microstructure and Properties by heating of High Manganese Austenitic Steel. by Takejiro Murakami and Masamitsu Mikami.

A high manganese austenitic steel with 12.74%Mn and 1.19%C, obtained by quenching in water from 1000°, was heated at several temperatures from 400° to 700°, for various lengths of time upto 50 hours, during which the change of microstructure, density, hardness and magnetization was studied. In microstructure, the following changes take place:— (1) separation of carbide, (2) formation of troostite (nodulus), (3) formation of martensite, (4) formation of troostite(acicular) from martensite. The separation of carbide firstly takes place; as the heating temperature rises, the rate of separation increases, though the quantity of the carbide decreases, on account of an increase of the solubility. The formation of troostite (nodulus) and martensite take place in temperature ranges, 420°~680°, and 420°~600°, respectively; in the early stage of heating, the changes proceed most readily in the vicinity of 550°, and as the heating time increases, the temperature at which the change is maximum shifts gradually to the lower temperature. The acicular troostite is formed in the temperatures above 500° from the martensite. The density increases with the separation of carbide and the formation of troostite, but decreases with that of martensite. The hardness increases with the formation of carbide and martensite, but decreases with that of troostite. Magnetization increases with the formation of martensite and troostite, though no change is observable with the separation of carbide. From these facts the process of tempering of the austenite at several temperatures was inferred. The troostites, nodulus and acicular, are formed by different mechanism, that is, the former is formed by the A_{r1} change as the pearlite, while the latter is formed by tempering of martensite after long heating. According to Tammann's theory, the experimental results obtained were well explained. By means of the differential dilatometer, the A_{c1} range was determined to be 530°~680°.

I. 緒 言

マンガン 10~14%、炭素 1.0~1.4% の高マンガン鋼を 1000° 以上から水中に焼入れるときは大洲田組織となり、頗る靱性あるものが得られることが古く Hadfield に由て発見せられて以來、高マンガン鋼は工業上各種の方面に應用せられるに至つた。従て之が熱處理による組織及諸性質の變化は多くの學者に依て研究せられた。

Hadfield¹⁾ は 10.88%Mn, 1.16%C 及 13.38%

1) Hadfield, Journ. Iron & Steel Inst., 1913, II, 191.

Mn, 1.26%C の二種の高マンガン鋼に就て其熱變化を研究したが、1300° から 200° までの間に於て加熱の場合にも、又冷却の場合にも認むべき熱變化はなかつた。

Potter¹⁾ は種々の高マンガン鋼に就て種々の熱處理を施し其の顯微鏡組織と機械的性質との關係を研究した。其の結果高温度より焼入れたものを 350° 以上に熱すると、大洲田は吐粒洲に似た細

1) Potter, Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 50 (1914), 437.

微組織となり、延伸性は0となり非常に脆くなる。又11.0~11.5% Mn, 1.10~1.15% Cの高マンガン鋼を高温度より冷却の途中種々の温度より水中に焼入れるときは、其性質は焼入温度が650°以上ならば、高温度より焼入れたものと差はないが、593°以下から焼入れるときは、抗張力並に延伸率は共に著しく低下し、顯微鏡組織に於て炭化物の析出を見た。因て靱性を得るために高温度より焼入れることが必要なるは炭化物の析出を防ぐに在ることを明にした。

又非磁性大洲田鋼を500°乃至650°に再熱するときは、磁性を有するに至ることは、古くLe Chatelier¹⁾が報告して居る。又Hadfield & Hopkinson²⁾も同様の事實を明にした。即水中に焼入れたものを熱するときは磁性を生じ、硬くて脆弱となる。併し比磁性と硬度との関係は比例せない。又此等の變化に伴うて炭化物の析出及吐粒洲の生成を見る。又高温度から非常に緩冷しても磁性となる。而して磁性となつたものゝ加熱曲線を探り、650°附近に於て A_{c1} 變化の起ることを確かめ、マンガンは A_1 變態を阻止することは大きいが、大洲田、地鐵及炭化物の平衡温度即 A_1 點を常溫以下に降下せしめるものではないことを明にした。

又V. N. Krivobok³⁾は種々の處理に因て歪みを與へた高マンガン大洲田鋼を加熱し、其温度及時間を變じて組織の變化を研究し、殊に高倍率の下に其の組織の變化を觀察し、大洲田鋼の加熱に

よる分解の順序を次の如く述べて居る。高マンガン大洲田鋼を熱するときは、加熱温度低くとも細き炭化物が析出する。それより加熱温度を高めるか、又は加熱時間を増すときは炭化物の析出は進み、且凝集する。而して炭化物が析出すれば其の周囲の炭素及マンガンの量が減するに因て、遂には $\gamma \rightarrow \alpha$ の變化を阻止することが困難となりて α -鐵を生じ、更に多量の炭化物が析出する。而して更に加熱温度を高めて760°に熱すると、析出せる炭化物の附近に於ける吐粒洲中の地鐵は γ -鐵に變ず。從て擴散が容易となり、前に析出した炭化物は更に凝集して、二相(炭化物と固溶體)の分離が一層完全になるのであると。

此の如く高マンガン大洲田鋼は高温度より緩冷するか、又は高温度より焼入れた後加熱するときは、硬度の増加、延伸性の減少、磁性の現出等の變化が起り、顯微鏡組織に於ては大洲田より炭化物が析出し、麻留田及吐粒洲の生ずることは明である。本研究は更に加熱温度及加熱時間の變化に伴ひ、此等諸性質並に顯微鏡組織の變化を一層定量的に測定し、諸變化の間の關係を明にし、大洲田が變化する機構を知らんと企てたものである。

II. 實驗方法

實驗材料は次の分析結果を有する大同電氣製鋼所製高マンガン鋼を用ゐた。

Mn=12.74%, C=1.19%, Si=0.29%, S=0.03%

之を鍛鍊して各所要の形狀に仕上げ、種々の熱處理を施したる後、密度、硬度及磁性を測定し、又顯微鏡組織を觀察した。試片の大きさは密度及硬度測定には1.5cm立方のものを用ゐ、磁性の測定には長さ7cm 徑5mmの棒状のものを用ゐた。又顯微鏡組織の研究には長さ約1.5cm 徑約6mmのも

1) Le Chatelier, Compt. Rend., 119 (1894), 272.

2) Hadfield & Hopkinson, Journ. Iron & Steel Inst., 1914, I, 106.

3) Krivobok, Trans. Amer. Soc. Steel Treat. 15 (1929), 893.

のを用ゐた。

此等の試片はすべて太き石英管に入れ、真空中に於て 1000° に熱し、20 分間保ちたる後水中に焼入れ、下記の温度に下記の時間加熱した。

加熱温度 400°, 450°, 500°, 550°, 580°, 600°, 650°, 700°,

加熱時間(時) 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 38, 50

此等の加熱には毎回太き石英管中に密度及硬度測定用試片1個、磁性測定用試片1個、及鏡檢用試片數個を入れ、白金及白金ロヂウム熱電對の熱接點が其上に来るやうに置き、之をニクロム製電氣抵抗爐中に入れ、真空中に於て上記各温度に熱した。温度の調節には橋本製作所製電流自働調節器を用ゐて電流を調節し、長時間に亘つてよく ±2° 以内の定温に保つことが出来た。

同一温度の加熱實驗は常に同一試片に就て行ひ、各所要温度に達したる時より起算して所要の時間加熱した。例へば 3 時間の場合には試片を爐中に入れ、所要温度に達したる後 3 時間経過したる時、石英管と共に試片を爐より引き出し、空中に放冷して前記諸性質を測定した。又 6 時間の場合には再び之を爐中に入れて更に 3 時間加熱して同様に冷却した。以下此の如くにして加熱時間合計 50 時間にまで及んだのである。

此の如く分割加熱すると連続加熱するとは、其結果全く同一ではない筈である。併し所要温度に達するに要する時間、及加熱温度より室温に達するまでの時間は次表の如く加熱時間の數時間乃至數十時間の長きに比しては、僅小であり、高マンガン鋼の如く變化の遅いものは此等の加熱及冷却の途中に於ける變化は殆認められないのである。

一二の試片に就いて分割加熱と連続加熱とを比

加熱温度	400°	500°	600°	700°
加熱温度に達するまでの時間	10~15分	10~15分	10~15分	10~15分
加熱温度より70°に達するまでの時間	20分	21.5分	23分	23.5分

較して見たが殆差がなかつた、又 700° より冷却の場合には空中冷却では少しく磁性が現はれたが、油中焼入では非磁性であつたことの外には、空中冷却でも油中焼入でも冷却速度は殆影響がなかつた。

又同一温度の場合には常に同一試片を用ゐた理由は、試片異なるときは最初同様に焼入れても、全く同一の密度及硬度のものを得がたく、又磁性測定用試片の如きは、全く同一形状のものをつくるのが困難なので、時間による變化を定量的に比較することが出来ないからである。加熱は常に真空中で行つたので、加熱の間に酸化脱炭等の變化は殆認められなかつた。

密度の測定には前記 1.5cm 立方の試片を用ゐ、熱處理の後各面を Hubert 研磨紙で O 號までよく磨き、其重量を化學天秤で秤量し、次に水中で秤量し、次式に由て其密度を計算した。

$$\rho = \frac{P\rho_0}{Q - \left(\frac{w \frac{l}{l_0} \rho_0}{\delta - \lambda} \right)} + \lambda$$

茲に ρ : 求むべき密度

ρ_0 : 水の密度

w : 試片を吊すに用ゐた針金(白金)の重さ

P : 空気中にての試片の重さ

Q : 空気中にての重さと水中にての重さとの差

l_0 : 針金の全長

- l : 針金の水中の長さ
- δ : 針金の密度
- λ : 空氣の密度

又硬度の測定には密度を測定した試片を用ひ、Rockwell 硬度計を用ひてダイヤモンド圓錐で、一側面の5個處を測定し、其平均値を採つた。又磁性の測定には前記の圓錐狀試片を用ひ、附磁コイルの中央一定の位置に置き、275 ガウスの磁場に於て磁力計の鏡の偏倚に由て測定した。

III. 實驗結果

A. 顯微鏡組織 各加熱溫度に於て種々の加熱時間の後冷却し、顯微鏡組織を研究した。第1表は其結果を示す。又其代表的の顯微鏡寫眞を末尾に示した。特記したものゝ外はすべてピクリン酸で腐蝕したものである。

第 1 表 顯 微 鏡 組 織

加熱時間 \ 加熱溫度	400°	450°	500°	550°
0	A	A	A	A
3	A	A+C	A+M+C+T	A+M+C+T
6	A+C(微量)	A+C+T(微量)	A+M+C+T	A+M+C+T
9	A+C(少量)	A+C+T(少量)	A+M+C+T	A+M+C+T
12	A+C(少量)	A+M+C+T(少量)	A+M+C+T	A+M+C+T
18	A+C	A+M+C+T	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T
24	A+C	A+M+C+T	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T
30	A+C	A+M+C+T	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T
38	A+C	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T
50	A+C	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T	M(+A)+C+T

加熱時間 \ 加熱溫度	580°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A
3	A+M+T+C	A+T+C	A+T+C	A+C
6	A+M+T+C	A+T+C	A+T+C	A+C
9	A+M+T+C	A+T+C	A+T+C	A+C
12	A+M+T+C	A+T+C+M(少量)	A+T+C	A+C
18	A+M+T+C	A+T+C+M(少量)	A+T+C	A+C
24	A+M+T+C	A+T+C+M(少量)	A+T+C	A+C
30	A+M+T+C	A+T+C+M	A+T+C	A+C
38	A+M+T+C	A+T+C+M	A+T+C	A+C
50	A+M+T+C	A+T+C+M	A+T+C	A+C

表中 A は大洲田; C は炭化物; T は吐粒洲; M は麻留田を示す。

400° に加熱した場合に於ては、寫眞 Nos. 1~4 に示すが如く、加熱時間を増すに従て、炭化物の針狀結晶が次第に増加する。No. 4 はピクリン酸

ソーダで腐蝕したもので、針狀の炭化物は容易に黒く着色せられる。(黒點は鋼滓)。又地は大洲田であつて 50 時間後に於ても變化はない。

450° の場合に於ては寫眞 Nos. 5~8 に示すが如く、炭化物の析出の外に麻留田及吐粒洲の生成が伴ふ。吐粒洲は結節狀に現はれ、容易に酸に由て腐蝕せられるに反し、麻留田は容易に腐蝕せられ難く、強く腐蝕すると固有の針狀組織が現はれる。炭化物の析出は 400° の場合よりも遙に速で 12 時間に於て殆全部析出し、加熱時間が更に増しても増加せない。寫眞 Nos. 5~8 に於て大差がない。又吐粒洲の生成は 12 時間加熱に於て、明に大洲田粒の境界に沿うて認められ(寫眞 No. 5)、加熱 24 時間に於ては吐粒洲の量も増し、麻留田も存在して居る(寫眞 No. 6)。それより加熱時間

が増すに従て吐粒洲は多少増加するが著しくはなく、大洲田の地は次第に麻留田に變化する。(寫眞 Nos. 7 及 8)。

次に 500° の場合に於ては寫眞 Nos. 9~12 に示すが如く、加熱時間の増すに従て同様に炭化物の析出、麻留田及吐粒洲の生成が起るが、其變化は 450° の場合よりも更に速かで、3 時間の加熱で既に多量の炭化物が析

出し、又吐粒洲及麻留田も 3 時間に於て其の生成が明に見られる。(寫眞 No. 9)。更に加熱時間を増すときは、麻留田及吐粒洲の量を増すが、炭化物

の量は殆ど變化がない。又寫眞 No. 11 は特に 1000 倍に擴大したもので、吐粒洲は網目狀に析出せる炭化物の周圍に發達せることが見られる。又 500° 以上に於て長時間熱するときは、麻留田の針狀組織は腐蝕せられ易くなり、焼入炭素鋼を焼戻した場合と同様に、次第に吐粒洲に變化することが知られる。

550° の場合に於ては寫眞 Nos. 13~16 に示すが如く、同様に炭化物の析出、麻留田及吐粒洲の生成が起るが、何れの變化も一層速に進行する。但炭化物の析出量は少い。例へば 3 時間加熱の結果は No. 9 と No. 13 とを比較すれば明なる如く、550° の場合には 500° の場合よりも、吐粒洲及麻留田の量が多く、炭化物の量は少い。而して 550° の場合には更に加熱時間を増しても、其量の増加が著しくない。但加熱時間を増すに従ひ麻留田の針狀組織が腐蝕せられ易くなることは 500° の場合よりも早い。

加熱溫度が 580° になると、此の場合に於ては寫眞 Nos. 17~20 に示すが如く炭化物の析出は 550° の場合よりも更に減少し、吐粒洲及麻留田の生成も少い。又加熱時間による變化も 6 時間以上は餘り著しくない。

更に加熱溫度が高くなつて 600° になると、寫眞 Nos. 21~24 に示すが如く、針狀炭化物の析出はなくなり、唯大洲田粒の境界のみに現はる。又吐粒洲及麻留田の生成量は 550° 以下の場合よりも少い。又吐粒洲中の炭化物は粗粒となり、寫眞 No. 22 に示すが如く、充分擴大するときはよく層狀組織が見られる。殊にピクリン酸ソーダで腐蝕すると一層よく現はれる。

加熱溫度 650° に於ては寫眞 Nos. 25~28 に示

すが如く、針狀炭化物の析出はなく、又麻留田の生成もない。唯大洲田粒の境界に吐粒洲が生ずるのみである。而して此場合に於ては少しく擴大すると、寫眞 No. 26 に示すが如く、よく層狀組織が見られる。而して其量は長時間熱するも殆ど變化がない。

更に加熱溫度を高めて 700° とするとき、寫眞 Nos. 29~32 に示すが如く、麻留田及吐粒洲の生成はなく、炭化物が大洲田粒の境界に析出するのみである。而して其量は數時間以上長く熱しても殆ど變化がない。

此の如く高マンガン大洲田鋼を熱するとき、顯微鏡組織に於ては炭化物の析出麻留田及吐粒洲の生成が起る。而して其加熱溫度及加熱時間に從て其量が異なり、炭化物は加熱溫度の低い方が析出速度は遅いが、其量が多い。又麻留田は 450° 以上に於て生じ、550° 附近に於て最生じ易く、それより加熱溫度が高くなるに從て減少し、600° 以上に於ては著しく減少す。又吐粒洲（結節狀）も 450° 以上に於て生じ、550° 附近に於て最容易に生ずるが、50 時間後に於ては 500° の方が多くなり、それより加熱溫度が高くなるに從て減少し、700° に於ては認められなくなる。

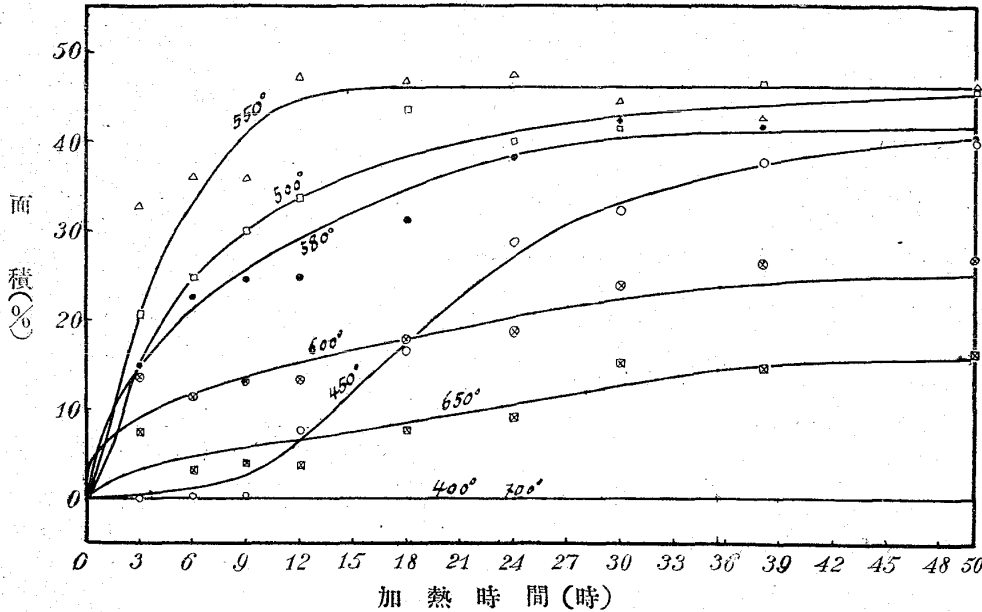
此等の顯微鏡組織に於ける各變化を定量的に表はすことは困難であるが、吐粒洲（結節狀）は顯微

第 2 表 結節狀吐粒洲 (%)

加熱時間	加熱溫度	400°	450°	500°	550°	580°	600°	650°	700°
0		0	0	0	0	0	0	0	0
3		0	0	21	33	15	14	8	0
6		0	0	25	36	23	12	3	0
9		0	微量	30	36	25	13	4	0
12		0	8	34	47	25	13	4	0
18		0	17	44	46	31	18	8	0
24		0	29	40	47	38	19	9	0
30		0	32	41	44	42	24	15	0
38		0	38	46	43	42	26	15	0
50		0	40	46	46	40	27	16	0

鏡寫眞に就てプラニメーターを用ゐて其面積を測定し、百分比に由て表はし、其大體の變化を知ることが出來た。第2表は其結果を示す。又第1圖は此結果に由て、吐粒洲が時間と共に變化する關係を圖示したものである。

第1圖 吐粒洲



之に由て見れば

吐粒洲の生成速度は加熱温度が昇るに従て速かとなるが、600°以上に於ては其の生成量少く、早く一定値に近づく、而して50時間後に於ける吐粒洲の量は500°~550°の場合最多く、それより温度

が昇るに従ひ、又降るに従て減少す。猶茲に注意すべきことは如何なる温度に於ても、又如何に長く熱しても、全部を結節状吐粒洲又は麻留田に變

化せしむることは出來ないことである。

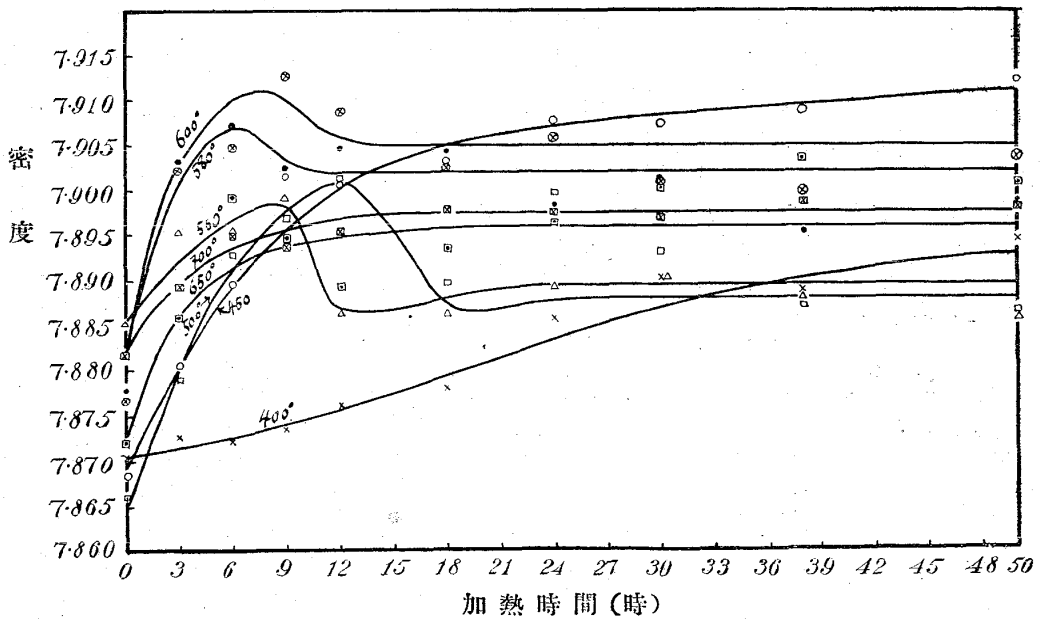
B. 密度 加熱温度及び加熱時間による密度の變化は第3表及第2圖に示す。

之に由て見るときは高マンガン大洲田鋼は既に

焼入状態に於て可なり密度の差があるが、之を種々の温度に於て加熱するときは、其加熱時間による密度の變化は、加熱温度に由て次の如く三種となる。

(1) 400°及450°の場合、此場合には加熱時間を増すに従て密度を増す。但400°の場合には密度の増加緩慢で

第2圖 密度



あるが、450°場合には初めより10時間以内に於て急に密度を増し、それより後増加の割合緩慢となる。

(2) 500° 乃至 600° の場合、此場合には加熱時間を増すに従て初め急に密度を増し、極大値を経て後密度を減じ、或一定値に達す。而して其極大値は温度の高い場合には短時間の所に起る。即ち 500° の場合には 12 時間、550° の場合には 9 時間、580° の場合には 6 時間の處に起る。

(3) 650° 及 700° の場合、此場合には加熱時間

第 3 表 密 度

加熱時間 / 加熱温度	400°	450°	500°	550°	580°	600°	650°	700°
0	7.8705	7.8685	7.8660	7.8851	7.8777	7.8766	7.8816	7.8718
3	7.8725	7.8806	7.8790	7.8951	7.9032	7.9022	7.8892	7.8858
6	7.8721	7.8897	7.8929	7.8955	7.9071	7.9048	7.8953	7.8993
9	7.8735	7.9015	7.8968	7.8991	7.9024	7.9128	7.8936	7.8948
12	7.8761	7.9006	7.9012	7.8861	7.9047	7.9086	7.8954	7.8893
18	7.8780	7.9031	7.8896	7.8862	7.9042	7.9029	7.8978	7.8935
24	7.8858	7.9076	7.8998	7.8891	7.8982	7.9067	7.8976	7.8962
30	7.8901	7.9073	7.8930	7.8902	7.9011	7.9008	7.8969	7.9002
38	7.8887	7.9083	7.8871	7.8880	7.8951	7.8996	7.8989	7.9036
50	7.8945	7.9122	7.8864	7.8858	7.8989	7.9036	7.8980	7.9008

を増すに従ひ、初め稍急に密度を増し、約 6 時間以後は殆一定である。

此等の結果を顯微鏡組織と比較するとき、よく其の密度の變化と組織の變化との関係を知ることが出来る。即ち炭化物の析出は密度を増し、麻留田の生成は密度を減じ、吐粒洲の生成は少しく密度を増すのである。400° の場合に於て加熱時間を増すに従て次第に密度を増すは次第に炭化物の析出するによる。又 450° の場合には最初 10 時間以内に於て密度の増加急なるは、大洲田より炭化物の析出するに歸因するので、400° の場合よりも其の増加著しきは、加熱温度高きため、炭化物の析出速度を増し、短時間に於て過飽和炭化物が析出し終るによる。而して夫れより後密度の増加緩慢となるは、麻留田の生成による密度の減少を伴ふことによること、寫眞 Nos. 5~8 を見れば知られる。又 20 時間以後にも少しづつ密度を増すは炭化物の析出及吐粒洲の生成による密度の増加の

方が、麻留田生成による密度の減少よりも少しく大なるためと考へらる。

又 500° 乃至 600° の場合に於て初め急に密度を増して極大値に達し、それより後密度を減ずるは、初めは炭化物の析出及吐粒洲の生成による密度の増加が大であるが、次第に麻留田の生成による密度の減少著しくなるため極大に達し、それより減少するので、或時間以後に於て殆一定となるのは、此等諸變化の進行遅くなり、密度の増減を伴ふ諸變化が相消殺するためと考へらる。又加熱温度が高い場合には、其の密度の極大値が短時間の處に現はれるのは、

温度高ければ此等の變化が速に進行するによる。

又 650° の場合に初め稍急に密度を増すのは炭化物の析出及吐粒洲の生成により 700° の場合に於ける増加は炭化物の析出によるので、後殆一定となるのは平衡に近いためである。

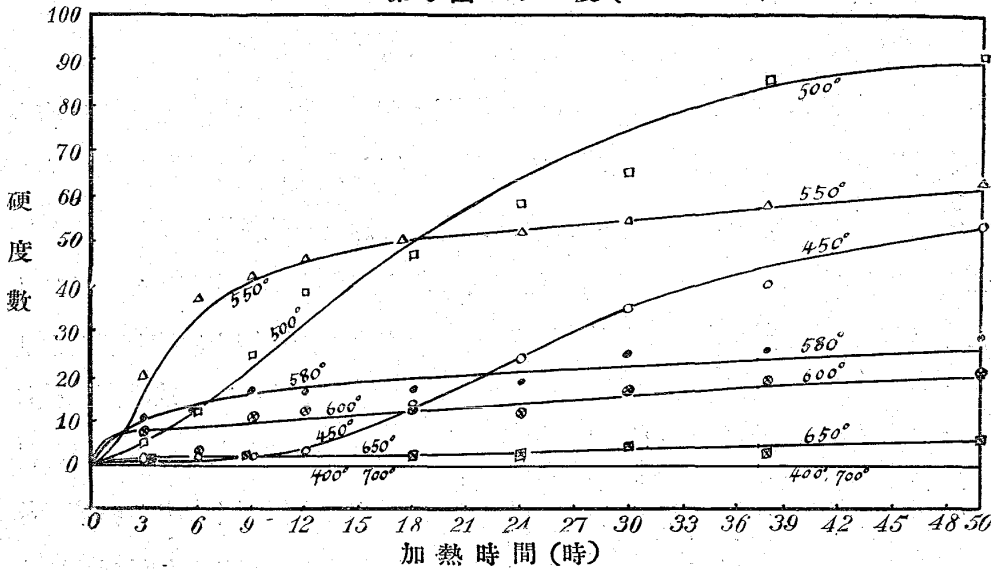
C. 硬度 加熱による硬度の變化は第 4 表及第 3 圖に示す。

第 4 表 硬 度 (Rockwell C)

加熱時間 / 加熱温度	400°	450°	500°	550°	580°	600°	650°	700°
0	17	18.5	17	18	18	13.5	19	16
3	16.5	20	23	36	28	22.5	17	16
6	17	22.5	38	39	28.5	22	18	20
9	17	24	41	40	31	30	19	21.5
12	18	27	43.5	39	29	29.5	19	22
18	19.5	41.5	42	37	29	26	19.5	19
24	23	43	44	40	31	28	19	22
30	27	44	42	39	32	30	21	25
38	22	45	44.5	39.5	30.5	30	22.5	24
50	23	47	44	39	32	30	22.5	25

之に由て見れば何れの場合に於ても、加熱時間を増すに従て硬度を増す。但 400°、650° 及 700° 場合には其變化極めて微小であるが、500° 乃至 600° の場合には初め急に硬度を増して或値に達

第3圖 硬 度 (Rockwell C)



此溫度以上に達すれば、平衡状態に於ても變化せない大洲田が残存すべく、麻留田の生成量が少くなるためである。

D. 磁性 第5表及第4圖は加熱による磁性の變化を示す。

し、それより以後殆一定の値を保つ。而して其の一定値に達する時間は、加熱温度の高い方が早い。又450°の場合には硬度の増加することは遅いが、50時間後には他の温度の場合よりも大なる値に達す。

之を顯微鏡組織の變化と比較するときには、炭化物の析出は少しく硬度を増し、麻留田の生成は著しく硬度を増す。又吐粒洲の生成は少しく硬度を減ずるが、大洲田の地に少量の吐粒洲を生ずる場合には、少しく硬度を増すことが知られる。400°、650°及700°の場合に於ては、唯炭化物又は少量の吐粒洲を生ずるのみであるから、唯少しく硬度を増すのであつて、500°乃至600°の場合に於て初め急に硬度を増すのは、主として麻留田の生成による。而して其一定値に達する時間は加熱温度の高い方が早いのは、麻留田の生成其他の變化は温度が高い程早いためである。但50時間加熱後の硬度は450°の場合最大で、それよりも加熱温度が高くなるに従て次第に減少するのは、炭化物の析出量及麻留田の生成量が少いためである。即温度高ければ炭化物の溶解度大きく、又後に記述する通り、A₁變態が530°より初まるに由て、

第5表 磁性(磁力計の振れ mm)

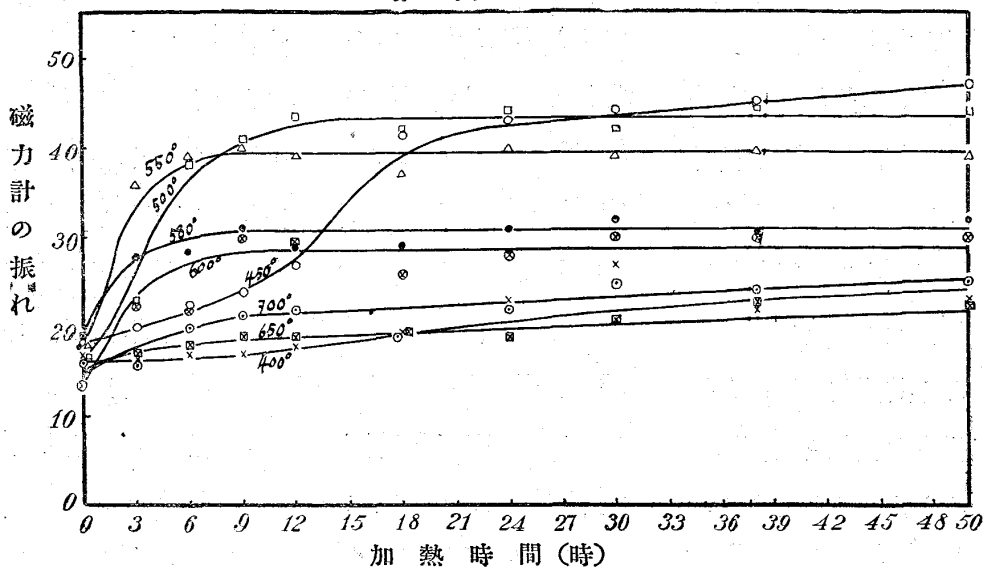
加熱時間 / 温度加熱	400°	450°	500°	550°	580°	600°	650°	700° ⁽¹⁾
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1.5	5.0	20.0	10.5	7.0	1.5	2.5
6	0	2.0	12.0	37.0	12.5	3.0	1.0	0
9	0	2.0	24.5	42.0	16.5	10.5	2.5	0
12	0	3.0	38.5	46.0	16.0	12.0	2.0	2.5
18	0	13.5	46.5	50.0	16.5	12.0	2.0	2.0
24	0	23.5	58.0	51.5	18.5	11.5	2.0	1.5
30	0	34.5	64.5	54.0	24.5	16.0	4.0	2.0
38	0	40.0	85.5	57.5	25.0	18.5	2.5	3.5
50	0	53.0	91.0	63.0	28.5	20.5	5.5	2.5

(1) これは700°より空中冷却したる場合の値で油中焼入すると0となる。

之に由て見れば400°及700°の場合には、50時間加熱しても全く非磁性¹⁾であるが、其他の場合には熱するに従て磁性を増す。但其磁性の増す割合は加熱温度に由て著しく異なる。即450°以上は温度の昇るに従ひ、加熱の初めに於て磁性の増す割合は大きい、早く一定値に近づく。而して其の一定値は温度の低い方が大きい。即450°の場合には50時間加熱後に於ても猶磁性が増加する形勢に在るが、500°の場合には40時間以後に於ては磁性の増加緩慢となる。又550°の場合には10時間位、580°及600°の場合には3時間

1) 700°の場合には空中冷却すると少しく磁性が現れるが、油中焼入すると全く非磁性である。

第4圖 磁 性



大部分終結する、而して磁性の強さが温度の高い方が少ないのは、 A_{c1} 變態の始點即 550° 以上に於ては如何に長時間熱しても變化せない大洲田が残留し、麻留田及吐粒洲の生成量を減ずるによるのである。

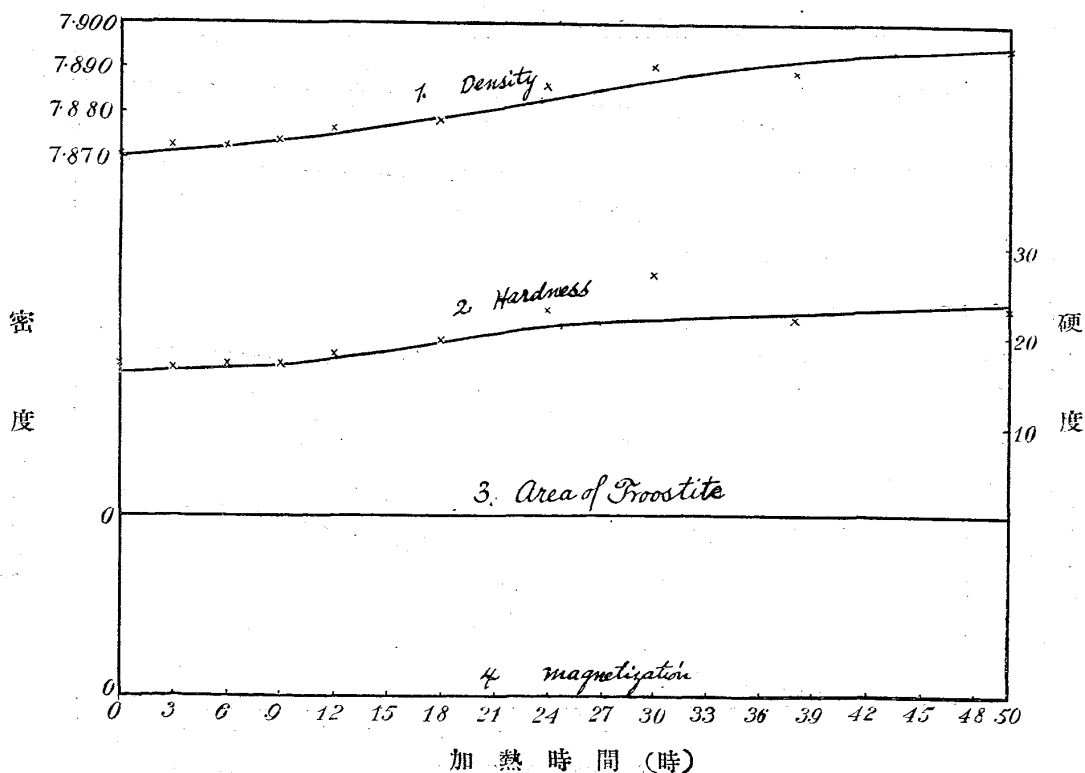
位で、以後殆一定となる。而して 50 時間後に於ける磁性は 500° の場合が最大きく、其れより温度が昇るに従て減少する。

之を顯微鏡組織の變化と比較するときは、炭化物の析出には全く磁性の變化を伴ふことなく、麻留田及吐粒洲の生成に従て磁性を生ずることが知られる。従て磁性の増加大なるは大洲田より麻留田及吐粒洲の生成大なるによる。而して 450° 及 500° の場合には 50 時間後に於ても、猶此等の變化進行しつつあるが、 550° 以上の温度に於ては、それ以前に於て既に此等の變化

IV. 各温度に於ける變化の總合的考察

更に各温度に就て上記の諸變化を比較對照するときは、各温度に於ける變化の順序を一層明瞭に知ることが出来る。第 5~12 圖は 400° , 450° , 500° , 550° , 580° , 600° , 650° 及 700° の各温度に

第5圖 400°C



於て加熱時間の増すに従て、密度、硬度、磁性及吐粒洲の變化する關係を圖示したものである。

高マンガン大洲田鋼の加熱による組織の變化の内、吐粒洲の生成は第1圖又は第5~12圖曲線(3)に由て表はすことが出来るけれども、本實驗に由ては炭化物の析出及麻留田の生成を數量的に示すことは困難である。併し密度、硬度及磁性の變化を併せ考ふるときは、よく其變化の順序を知ることが出来る。即顯微鏡組織の變化と諸性質の變化との關係は之を表示すると次の通りである。

顯微鏡組織	密度	硬度	磁性
炭化物の析出	増	増	無
大洲田→麻留田	減	増	増
大洲田→吐粒洲 (結節狀)	増	減	増
麻留田→吐粒洲 (針狀)	増	減	増

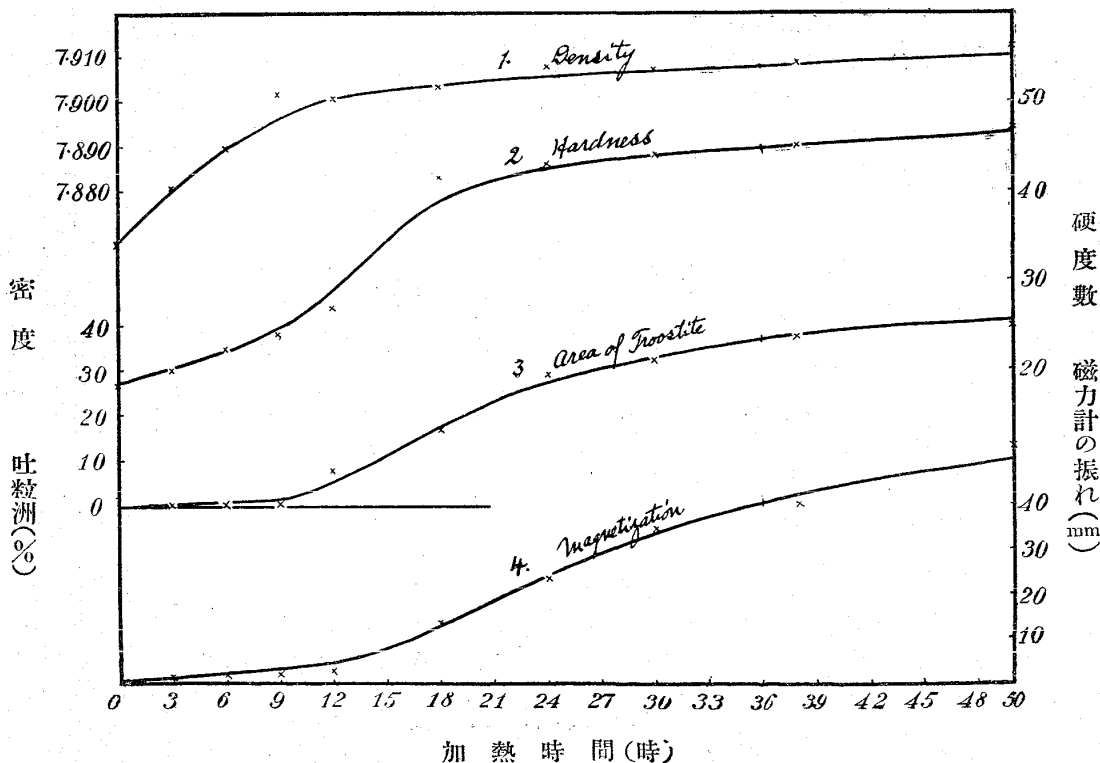
400°の場合に於ては第5圖に示すが如く磁性の變化はなく、吐粒洲の生成もないに由て、密度

及硬度の増加は全く炭化物の析出に歸因する。従て30時間位までは次第に炭化物の析出を増し、それより後は殆ど變化がないことが知られる。

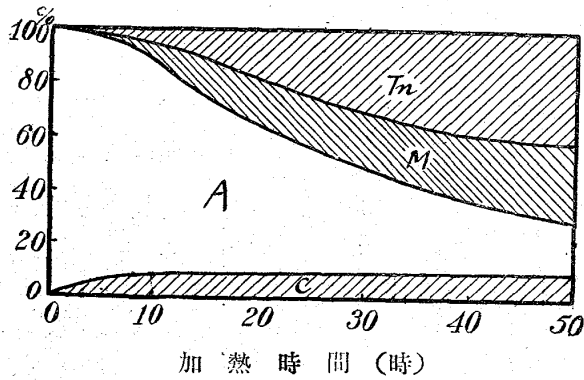
450°の場合に於ては第6圖に示すが如く、密度の増加は初め10時間以内に於て著しく、硬度の増加はそれより後れて10乃至20時間に於て著しく、磁性の増加は10時間以後引續き増加し、50時間後に於ても猶益増加しつゝある。又吐粒洲の生成は初め10時間以内は遅いが、それより後次第に増加する。之に由て見れば10時間以内に於て密度の増加著しく、而も磁性の増加僅小なるは主として炭化物の析出に歸因すべく、麻留田及吐粒洲の生成が10時間以後に多く進行することは磁性の増加に由て知られる。而して硬度の増加が10~20時間に於て著しく、此間に於て密度の増加僅小なるは麻留田の生成著しきによると考へらる。又20時間以後に於て徐々に密度を増すは

吐粒洲の生成及炭化物の析出による密度の増加が、大洲田より麻留田の生成による密度の減少よりも大なるに由るべく、硬度の増加僅小なるは炭化物の析出及麻留田の生成量少く、そのために起る硬度の増加が、猶吐粒洲の生成に由て

第6圖 450°C



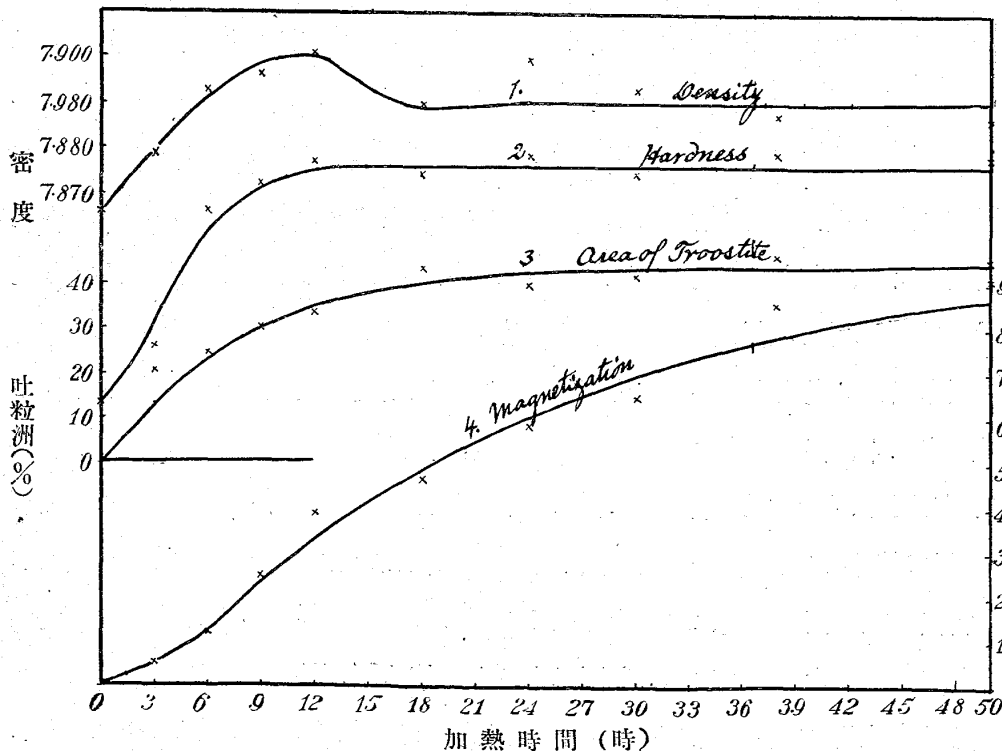
第 6A 圖 450°C



減少するによると考へらる。従て 450° に於ては初め炭化物の析出盛に起り、次で麻留田の生成盛となり、吐粒洲(結節状)の生成は其進行緩慢なることが知られる。第 6A 圖は此關係を定性的に圖示したものである。縦軸は各組成分の百分率を表はし横軸は加熱時間を表はす。又 T_n は結節状吐粒洲、 M は麻留田、 A は残留大洲田、 C は炭化物を表はす。之に由て加熱時間に従ひ各組織成分の變化する關係を知ることが出来る。

500° の場合に於ては第 7 圖に示すが如く、最

第 7 圖 500°C



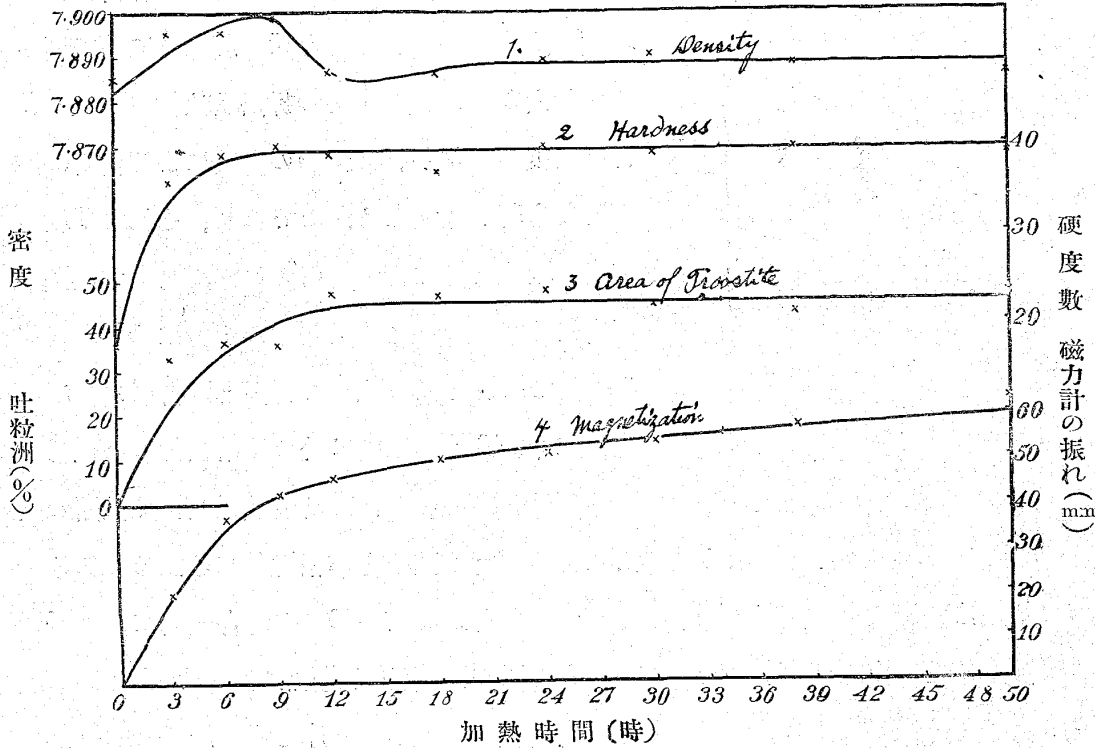
初より次第に磁性を増加するにより、麻留田及吐粒洲の生成が知られる。又 10 時間以内に於て密度の増加大なるは、炭化物の析出及吐粒洲の生成による密度の増加が、麻留田の生成による密度の減少よりも著しく大なるためであり、それより以後密度の減少せるは、麻留田の生成に歸因する減少が大なるためである。又硬度の増加は 10 時間以内に於て著しきは炭化物の析出と麻留田の生成によるべく、10 時間以後に於ては殆硬度の變化なきは、麻留田の生成による硬度の増加と、吐粒洲の生成による硬度の減少とが相消殺するためである。

之に由て考ふれば 500° の場合に於ては 450° の場合と同様に前記四變化が引續き重なつて起り、其變化の進行する順序も大體同様であるが、唯其進行速度が一層早いことが知られる。

550° の場合に於ては第 8 圖に示すが如く、磁性の増加は 500° の場合よりも更に速で、10 時間以内に於て急に起り、それ以後に於ては緩慢であ

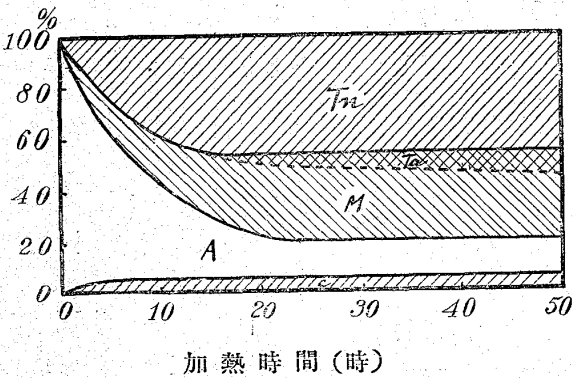
る。併し吐粒洲の生成速度曲線も、大體之と同様であるに由て、麻留田の生成と、吐粒洲の生成とが殆平行に進行することが知られる。又磁性の増加を 450° 及 500° の場合と比較する

第 8 圖 550°C



留田の生成によるべく、密度の減小に相當する點に於て硬度の増加なきは、麻留田の生成による硬度の増加が吐粒洲の増加のため消殺せられるのであると考へらる。因て其の變化の進行狀態を圖示すると、大體第 8A

第 8A 圖 550°C



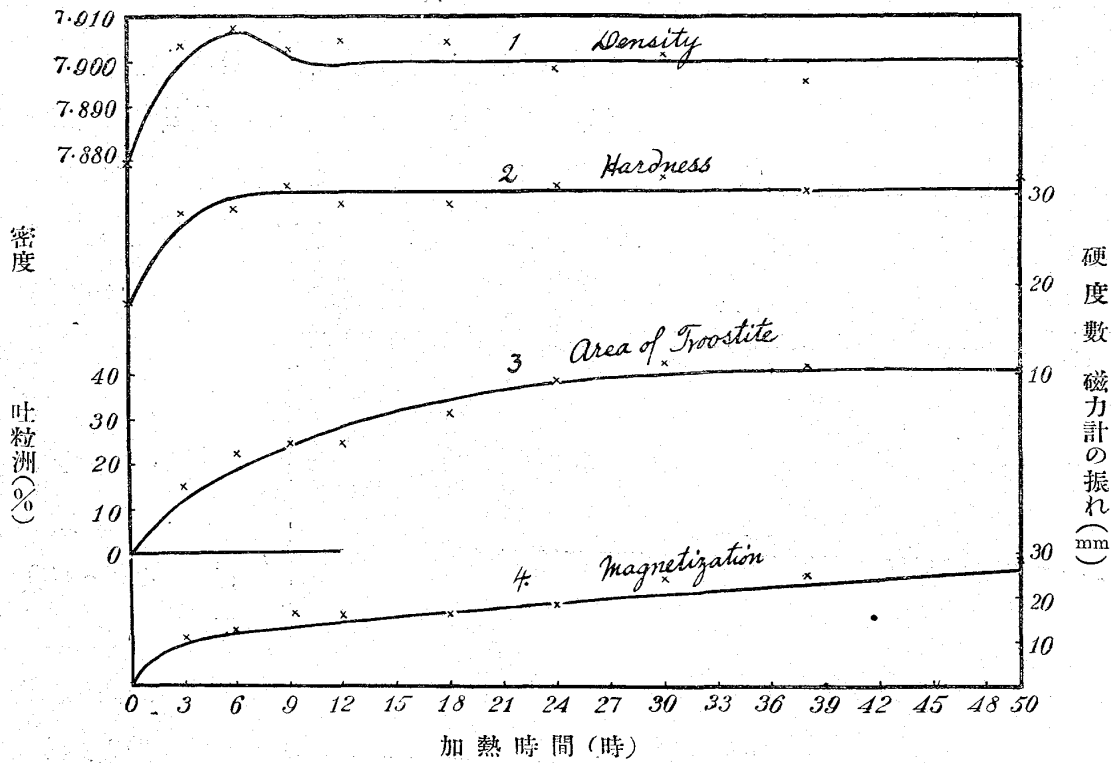
圖の如く表はすことが出来る。圖に於て T_u は針狀吐粒洲で、麻留田の焼戻に由て生ずる吐粒洲を表はす。而して 30 時間以上に於て大洲田の量が殆一定なるは、 A_{c1} 點以上であるため變化せぬ大洲田が残存するのである。

と、短時間の所に於ては温度の高い方が磁性の増加著しいが、其後は進行緩慢となり、20 時間以後に於ては磁性の強さは、550° の場合の方が 500° の場合よりも小となる。(第 4 圖参照)。又炭化物の溶解度は温度の上昇に従て増加すべく、従て析出する炭化物の量は、加熱温度が高ければ少いこと、顯微鏡組織に由ても明である。従て第 8 圖に於て密度の初め増加するは炭化物の析出及吐粒洲の生成に歸因し、次で減小するは麻留田の生成大となるによる。又硬度の初め増加するは炭化物の析出及麻

580° 及 600° の場合は第 9 圖及第 10 圖に示すが如く、大體 550° の場合と同様であるが、各變化の進行速度は温度の上昇に従て速となり、密度の最高點は一層短時間の所に現はれ、又硬度及磁性の増加も短時間に起る。但し温度の上昇に従ひ、生成麻留田及吐粒洲の量も減じ、析出炭化物も減するに由て、密度、硬度及磁性の増加も少くなる。即 A_1 變態區間に入るに由て、温度が昇るに従て平衡狀態に於ける共存 γ -相即残留大洲田の量が増し、吐粒洲、麻留田及炭化物の生成量が少くなるのである。今 600° の場合に於ける變化を圖示すると、第 10A 圖の如く表はされる。

650° 以上になると第 11 圖及第 12 圖に示すが

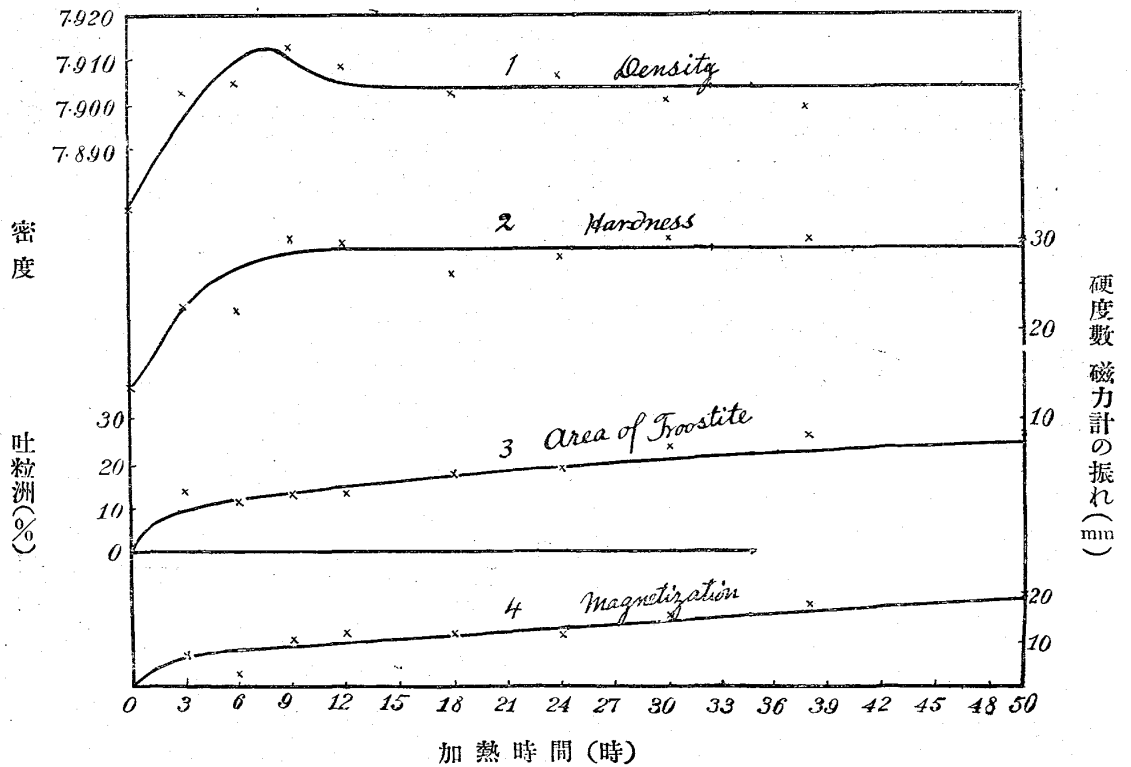
第9圖 580°C



である。
 (顯微鏡寫眞 Nos. 29~32)。
 因て此鋼は過共析鋼で、
 A_1 變態範圍の最高限は650°と700°との間に存在すべく、後述の如く、實測の結果は680°を得た。

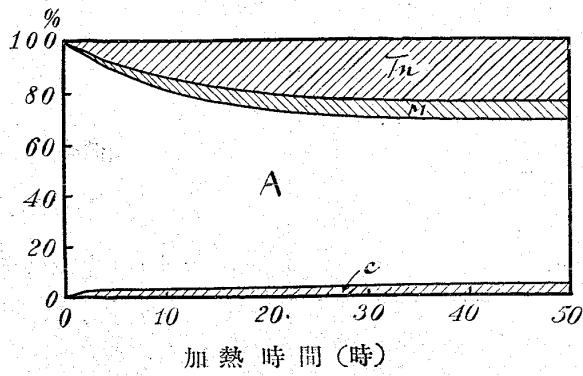
如く、諸性質の變化頗少く、唯加熱の初めに稍著しく密度の増加が表はれる。此増加は炭化物の析出による。650°の場合に磁性が少しく増して居るのは、麻留田の生成ではなく、少量の吐粒洲を生ず

第10圖 600°C



るによること、曲線(3)に由て知られる。又700°の場合には吐粒洲なく、唯炭化物が析出するのみ

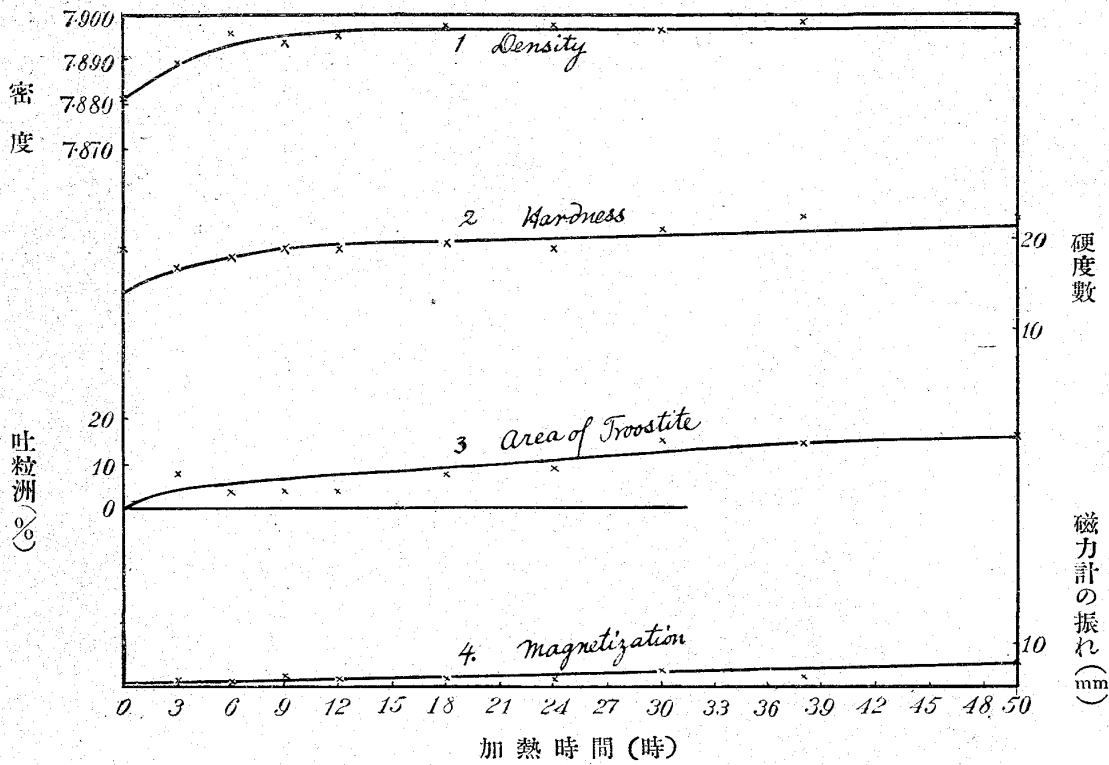
第 10A 圖 600°C



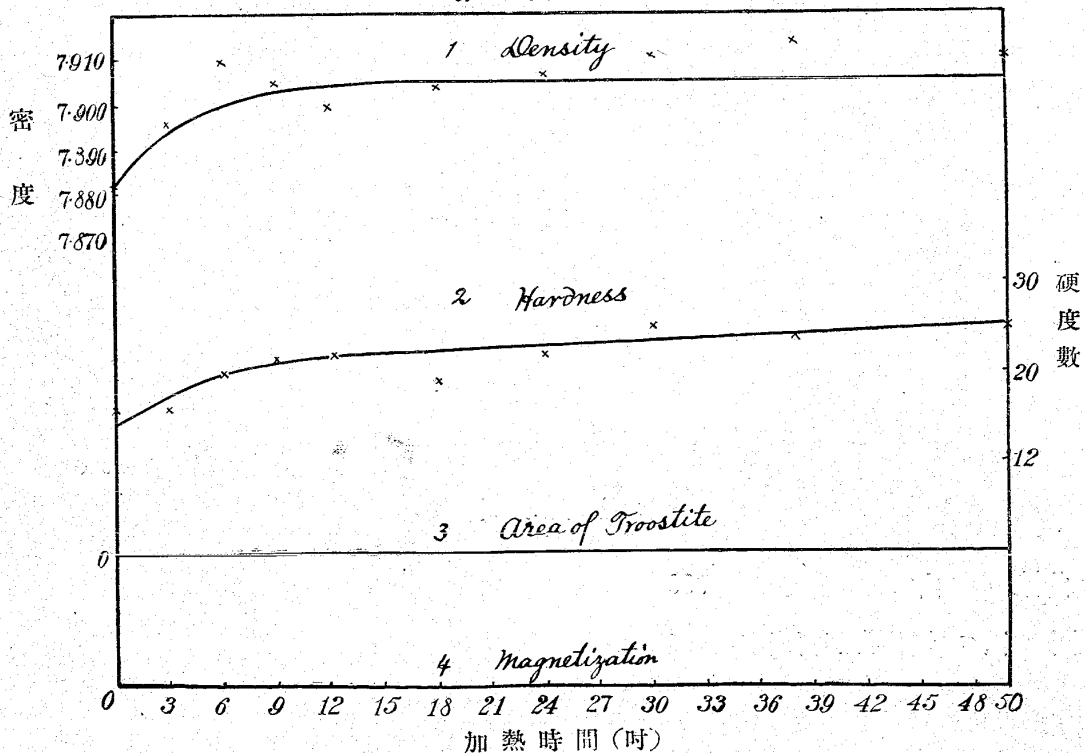
V. 各時間に於ける諸變化
進行の狀況

加熱溫度と各一定加熱時間に於ける諸變化との關係曲線を求むるときは種々の加熱溫度に於ける諸變化進行の難易を知ることが出来る。第 13 圖は各加熱時間に於ける加熱溫度と吐粒洲(結節狀)

第 11 圖 600°C

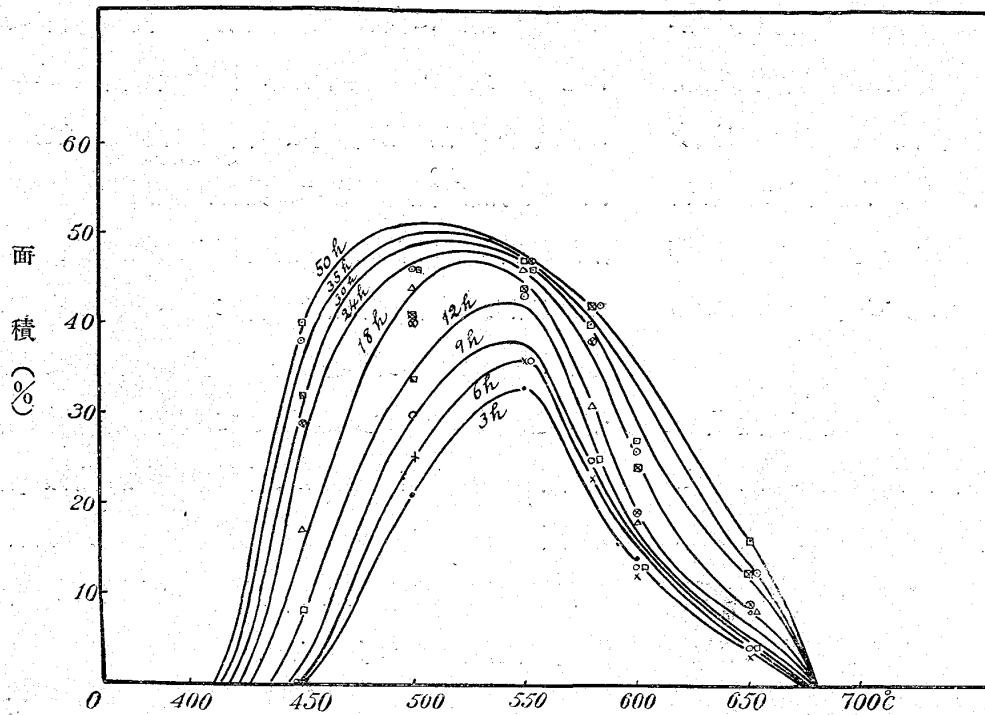


第 12 圖 700°C

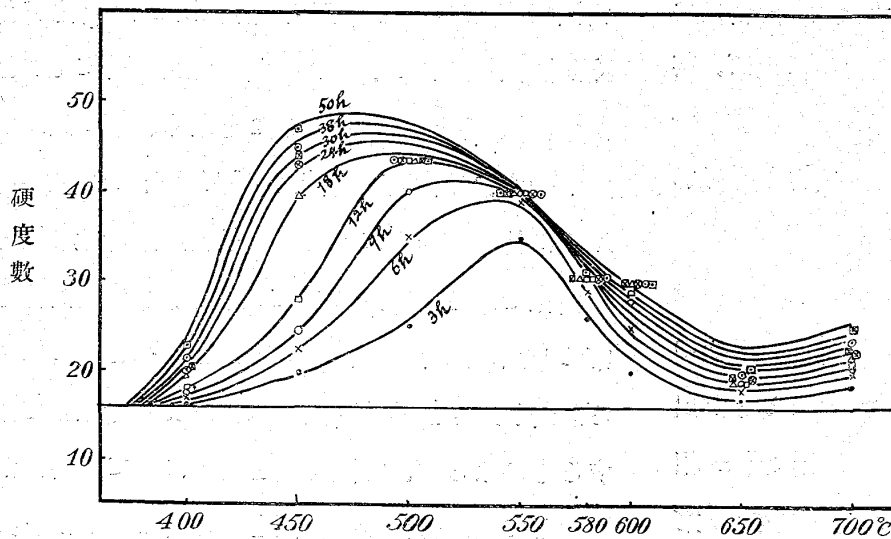


の量との關係を示す。之に由て見るときは吐粒洲は 420°~680° の間に於て現はれ、其極大は始めの中は 550° 附近であるが、時間の経過に從て低溫度の方に移動す。是れ加熱の初めには 550° 附近に於て最容易に吐粒洲を生ずるが早く平衡状態に達して變化が停止する。然る

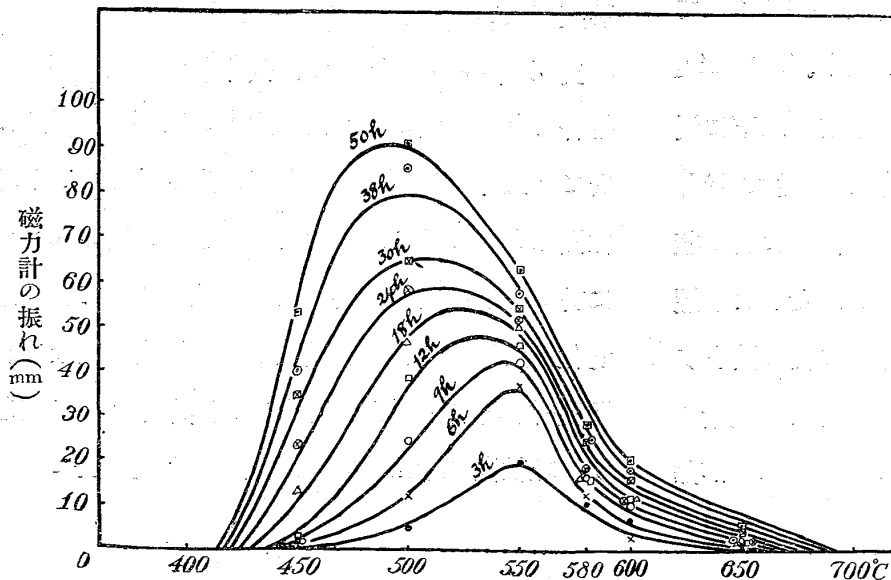
第 13 圖 吐 粒 洲



第 14 圖 硬 度 (Rockwell C)



第 15 圖 磁 性



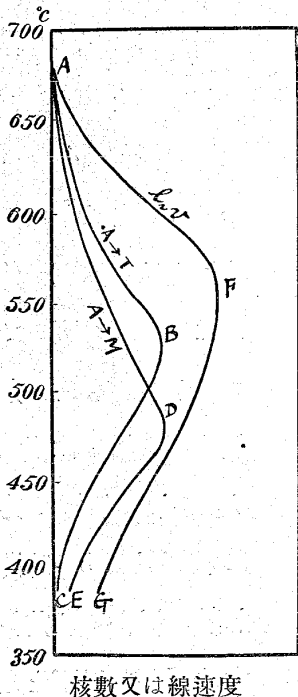
に 550° 以下に於ては平衡状態に達するまでには、多量の吐粒洲を生ずるのであるが、其進行速度が遅いのである。

又第 14 圖は各加熱時間に於ける加熱温度と硬度との關係を表はし、第 15 圖は加熱温度と磁性との關係を示す。之に由て見れば硬度の増加は加熱時間の短い場合には 550° 附近が最大で、加熱時間を増すに従て硬度の極大は低温度の方に移り、50時間加熱の場合には 450° 附近が極大となる。又磁性の變化は 420° ~ 680° の間に現はれ、其極大は短時間の場合には 550° 附近であるが、之れより加熱時間を増すに従て次第に低温度の方に移動し、50 時間加熱の場合には其極大は 500° 以下となる。而して此兩性質

の變化が全く一致せないのは前述の如く其原因が異なるためである。即硬度は炭化物の析出及麻留田の生成に由て増加し、吐粒洲の生成に由て減ずるが、磁性は炭化物の析出には無關係で、麻留田及吐粒洲の生成に由て増加する。而して此等諸變化の進行は溫度及時間に由て異なるからである。

今同一加熱時間に於ける加熱溫度—磁性曲線(第15圖)と、加熱溫度—吐粒洲曲線(第13圖)とを比較するとき、吐粒洲の生成量最大なる溫度は、常に磁性の最大なる溫度よりも高い。これは18分時間以後に於て著しい。而して磁性の増加は、大洲田→麻留田、大洲田→吐粒洲(及麻留田→吐粒洲)の兩變化に伴うて起るに由て、大洲田→麻留田の變化と加熱溫度との關係曲線を求むるならば、其の極大は磁性の極大よりも猶低溫度に來る筈である。即麻留田の生成は吐粒洲の生成よりも低い溫度に於て起り易いのである。

第 16 圖



核數又は線速度
溶解せる α -相) の核數は曲線 ADE の示すが如

此等の現象は Tam-
mann の説に由て次の
如く説明することが出
來る。即吐粒洲(α -相
及炭化物)の核數は第
16圖曲線 ABC に由て
示すが如く、A點 (Ar_1
變態の始點) 以下に溫
度降るに從て増加
し、530° 附近に於て極
大に達し、それより溫
度降るに從て減小す
る。又麻留田(炭素を

く、480° 附近に核數の最大を有する曲線に由て表はさる。又此等の結晶發達の線速度は曲線 AFG の如く 550° 附近が最大なる曲線に由て表はさる。因て短時間加熱の場合には其線速度最大なる 550° 附近に於て、吐粒洲又は麻留田の生成量最多いのであるが、長時間加熱の場合には線速度は小さくても、核數の大なる溫度に於て多量の吐粒洲又は麻留田を生ずるのである。而して溫度—磁性曲線(第15圖)の極大點の移動が、溫度—吐粒洲曲線(第13圖)の極大點の移動よりも著しいのは、麻留田の核數の極大點は吐粒洲の核數の極大點よりも低溫度に在るためと考へらる。

又 450°~600° 間に於ては同一加熱溫度に於て、大洲田→吐粒洲 と大洲田→麻留田の兩變化が全く無關係に進行し、何れの加熱溫度に於ても、全部結節狀吐粒洲に變化することなく、第1圖に示すが如く、吐粒洲の面積は 50% 以下で、或時間以上に於ては一定に停まる。是れ此兩變化は別種の變化である證據であつて、其核數—溫度曲線も第16圖の如く別の曲線で表はさるべきものである。若し此結節狀吐粒洲が麻留田より變化して生ずるものならば、加熱時間を増すに從て麻留田が變化して全部結節狀吐粒洲となる筈であるが、其事實はない。

又 450°~500° 附近では長く熱すれば 550° の場合よりも多量の麻留田を生ず。又 550° 以上に於ては長く熱しても、麻留田の生成量は少いが吐粒洲は容易に生じ、麻留田を生ぜない所の 650° に於ても吐粒洲の生成を見る。是れに由ても此兩變化は別種の變化で、其核の生成溫度も異なり、溫度—核數曲線は第16圖の如く其最大點が異なり、吐粒洲の方は 550° 以上の高溫度に於ても相

當の核數を生ずるが、麻留田の核數は僅小なることが知られる。而して結節狀吐粒洲は生成温度が高いために針狀の麻留田が直に吐粒洲まで進んだものとは考へられない。何となれば吐粒洲は 450° に於ても容易に生じ、又麻留田はそれよりも遙に高き 600° に於てもよく生成せられ、吐粒洲に變化せない麻留田を得ることが出来るからである。

又結節狀吐粒洲の顯微鏡組織を見る時は、 600° 以下に於て生じたものは、炭素鋼に現はるゝものと同様な腐蝕せられ易い微細なる混合物であるが、 600° 以上に於て生じたものは、寫眞 No. 22 又は 26 に示すが如く、明瞭に層狀波來土組織を示す。而して加熱温度が降るに従て微細とはなるが、温度に由て劃然たる差異がない。故に結節狀吐粒洲は波來土と同一機構により、 A_{r1} 變態に由て生じたもので、針狀麻留田より變化したものは考へられない。

故に高マンガン大洲田鋼は單に一定温度に加熱することに由ては全部を吐粒洲に變化せしむることは出来ないけれども、 A_{r1} 變態範圍を非常に徐々に冷却し、麻留田を生ずることなく、徐々に A_1 變態を起さしむるならば、炭素鋼と同様な初析炭化物と波來土より成る組織が得られる筈である。

VI. A_1 變態點の決定

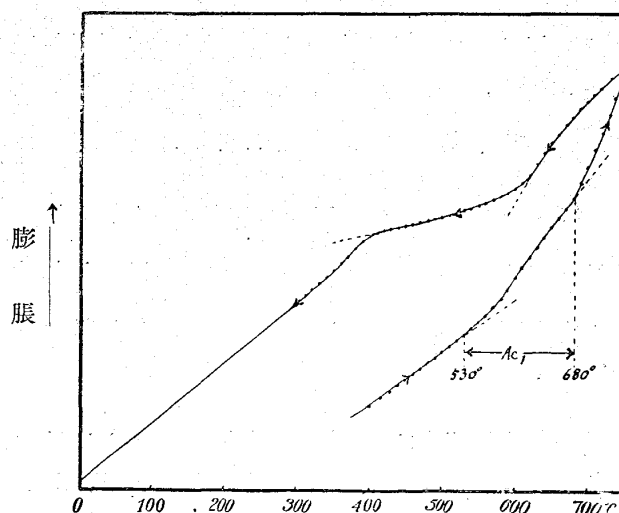
高マンガン鋼の變態點に就いては未だ充分なる研究がない。Hadfield & Hopkinson¹⁾ は燒鈍に由て磁性となつたものを加熱し、熱變化に由て A_{c1} 變態の起ることを確かめて居る。併し相則上明なる如く、此の如き三元合金たる特殊鋼に於ては、 A_1 變態、 $\gamma \rightarrow \alpha + \text{炭化物}$ は一變系反應であるか

1) Hadfield & Hopkinson, 前掲

ら、一定の温度に於て完結するものではなく、或温度範圍に亘つて進行する筈である。又此の如き變態速度の遅い鋼の A_1 變態を定めるに、熱變化によることは不適當である。何となれば平衡に近き變態温度を正確に求めんには加熱又は冷却速度を充分遅くせなければならぬ。然るに熱變化を明瞭に現はれしめるには加熱冷却速度が餘り遅くては不可能であるからである、因て本研究に於ては熱膨脹測定により、示差熱膨脹計を用ゐ、ニツケルを中性體として測定した。

試料は初め 550° に於て9時間加熱し、鏡檢の結果 40% 以上の結節狀吐粒洲を有するものを用ゐた。加熱及冷却速度は 1° につき1分の割合で、極めて徐々に加熱及冷却した。第 17 圖は其結果を示す。加熱曲線に於ては 530° 附近と 680° 附

第 17 圖



近とに明に方向の變化が認められる。 530° に於ける折點は A_{c1} 變態、 $\alpha + \text{炭化物} \rightarrow \gamma$ の開始による膨脹の増加に歸因し、 680° に於ける折點は A_{c1} 變態が終つて後、初析炭化物の溶解による膨脹の増加に歸因する。即此鋼は過共析鋼であるから、 A_{c1} 變態が完了して吐粒洲全部が γ -相に變化した後、猶初析炭化物が残留し之が次第に溶解するのであ

る。而して Ac_1 變態による膨脹よりも初析炭化物の溶解による膨脹の方が大きいのである。従て Ac_1 變態範圍は $530^\circ \sim 680^\circ$ であることが知られる。

又冷却曲線に於ては 620° 附近と 400° 附近とに於て方向の變化を見る。前者は Ar_1 變態の開始によるものであるが、加熱曲線に於ける Ac_1 變態範圍よりも曲線の傾斜が少いのは、 Ar_1 變態即大洲田→吐粒洲の變化の外に、大洲田→麻留田の變化による膨脹が伴ふためである。之に反して加熱の場合には前に 550° で長く焼鈍した試料を用ゐたので、吐粒洲及麻留田より成り、加熱に際しては吐粒洲→大洲田の變化による膨脹と、麻留田→吐粒洲の變化による收縮との差が現はれるので曲線の傾斜が異なるのである。従て此位の速度に於ては、加熱と冷却とに於て變化は全く可逆的には進行せないことが知られる。而して 400° 以下になると組織の變化は起らないで、溫度による收縮のみであるから、冷却曲線は直線となり、茲に折點を生じたので、 400° の折點は Ar_1 變態の完結を示す點ではないのである。又試料が加熱前よりも膨脹して居るのは、吐粒洲の量が加熱前よりも少きによる。

猶此熱膨脹曲線を過共析炭素鋼の場合と比較するとき、¹⁾ 炭素鋼の場合に於ては、加熱に際し Ac_1 變態に於ては急に收縮し、初析炭化物の溶解に際しては膨脹するものなるが高マンガン鋼に於ては Ac_1 變態に於て膨脹を起し、更に初析炭化物の溶解に際しては一層膨脹することが知られる。此事實は前に記した如く、大洲田より吐粒洲の析出に際しては密度を増し、又炭化物の析出に際し

ても密度を増加する事實とよく一致す。

依て諸變化に伴ふ長さの變化を表示すると、

變 化	炭素鋼の場合	高マンガン鋼の場合
大洲田→吐粒洲(Ar_1)	膨脹	收縮
炭化物の析出	收縮	收縮
大洲田→麻留田	膨脹	膨脹
麻留田→吐粒洲	收縮	收縮

即炭素鋼の場合と異なるは Ar_1 變態に伴ふ變化であつて、大洲田より吐粒洲の生成に伴うて炭素鋼は膨脹するに反し、高マンガン鋼は收縮するのである。

總 括

(1) $12.74\% Mn, 1.19\% C$ の組成を有する高マンガン鋼を 1000° より水中に焼入れて得たる大洲田鋼を、 $400^\circ \sim 700^\circ$ に 50 時間まで加熱し、其途中に於ける顯微鏡組織、密度、硬度及磁性の變化を研究した。

(2) 高マンガン大洲田鋼を加熱するときは次の四變化が起る。(a)炭化物の析出、(b)大洲田→吐粒洲(結節狀)(c)大洲田→麻留田、(d)麻留田→吐粒洲(針狀)。而して此等の諸變化の速度は溫度の昇るに従て増加するが、其量は加熱溫度に由て異なる。

(3) 炭化物の析出は最早く起り、溫度の上昇に従ひ其速度は増大するが、其析出量は溶解度の増加のために減小す。炭化物の析出は鋼の硬度及密度を増すが磁性の變化はない。

(4) 大洲田→吐粒洲の變化は $420^\circ \sim 680^\circ$ に於て起り、初めは 550° 附近が最よく進行するが、加熱時間を増すに従て、生成量の最大は次第に低溫度に移動す。吐粒洲の生成は密度を増し、硬度を減じ、磁性を増す。

1) 今野、金屬の研究 I (1924)、375

(5) 大洲田→麻留田の變化は $420^{\circ}\sim 600^{\circ}$ に於て起り、初めは 550° 附近が最よく進行するが、加熱時間を増すに従て、其生成量の最大は次第に低溫度に移動す。麻留田の生成に伴ひ、密度は減じ硬度及磁性を増す。

(6) 麻留田→吐粒洲(針狀)の變化は 500° 以上に於て起り、麻留田の生成に續いて進行す。此變化に伴ひ硬度を減じ、磁性及密度を増す。

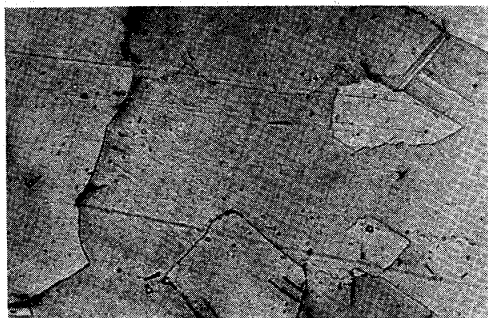
(7) 結節狀吐粒洲と針狀吐粒洲とは其生成の機構を異にす。即前者は波來上と同様變態に由て生じ、麻留田の生成せない溫度 (600° 以上) に於ても現はれ、後者は麻留田の燒鈍に由て生じ、麻留田を更に長く加熱したる後に現れる。

(8) $420^{\circ}\sim 600^{\circ}$ に於ては大洲田→吐粒洲、大洲田→麻留田の兩變化同時に進行するため、麻留田又は吐粒洲のみより成る組織を得ることは不可能である。

(9) Tammann の説に由て吐粒洲及麻留田生成量が加熱溫度及時間に由て變化する理由を説明した。

(10) 示差膨脹計に由て A_{c_1} 變態範圍が $530^{\circ}\sim 680^{\circ}$ なることを決定した。

終りに臨み破究費の補助を受けたる財團法人齋藤報恩會並に研究材料の寄贈を受けたる株式會社大同電氣製鋼所に對し感謝の意を表す。



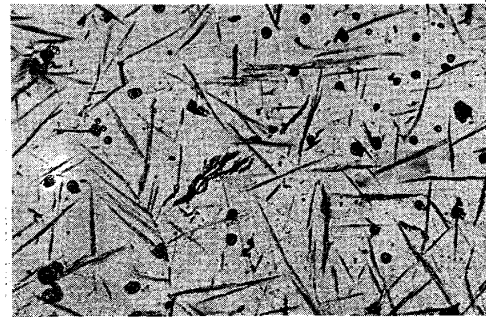
No. 1. 400° 12 時、 $\times 380$



No. 2 400° 18 時、 $\times 380$



No. 3 400° 38 時、 $\times 380$

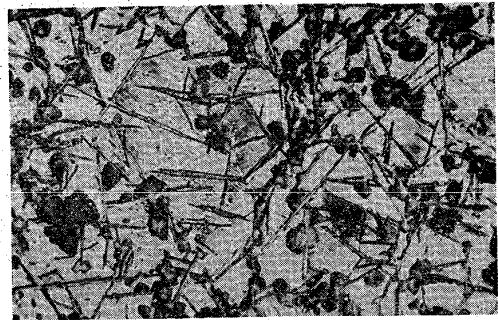


No. 4 400° 50 時、 $\times 380$

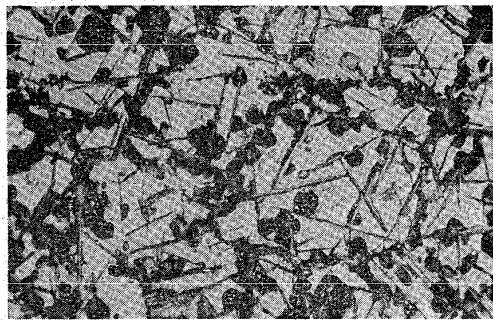
ピクリン酸ソーダ腐蝕



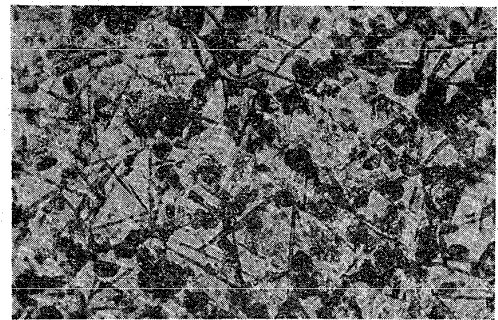
No. 5. 450° 12 時、×380



No. 6. 450° 24 時、×380



No. 7. 450° 38 時、×380



No. 8. 450° 50 時、×380



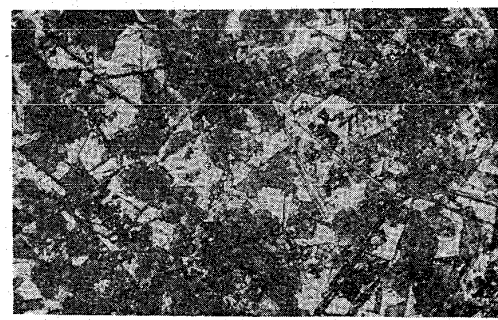
No. 9. 500° 3 時、×380



No. 10. 500° 18 時、×380



No. 11. 500° 24 時、×1000



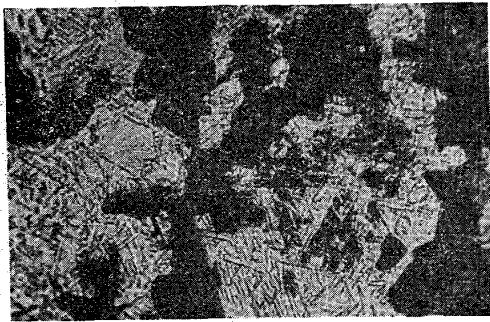
No. 12. 500° 50 時、×380



No. 13. 550° 3 時、×380



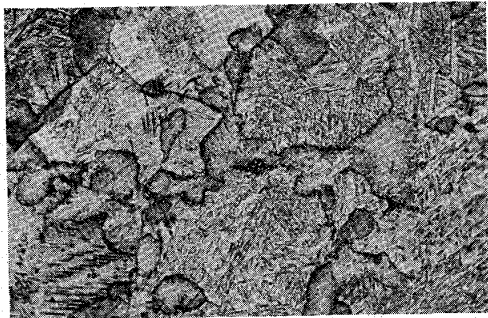
No. 14. 550° 12 時、×330



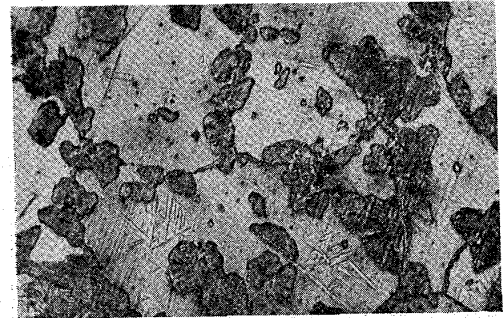
No. 15. 550° 24 時、×1000



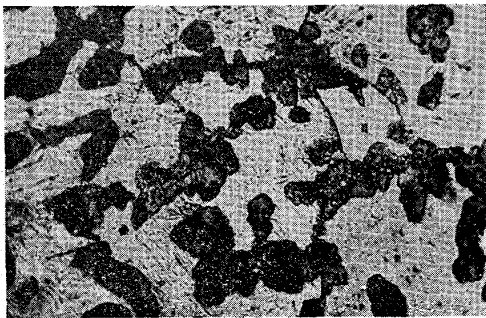
No. 16. 550° 50 時、×380



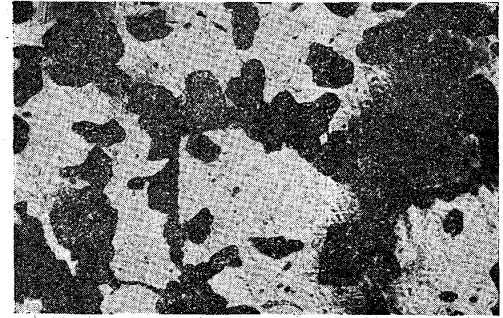
No. 17. 580° 6 時、×390



No. 18. 580° 24 時、×380



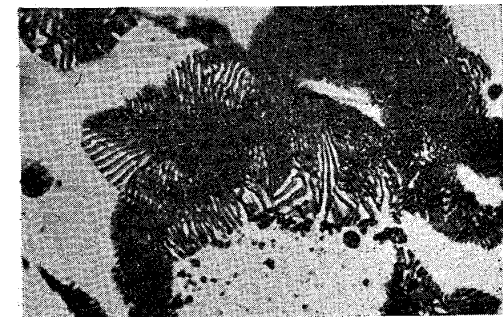
No. 19. 580° 30 時、×380



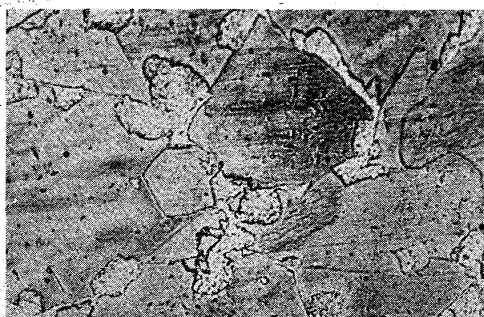
No. 20. 580° 50 時、×380



No. 21. 600° 3 時、×380



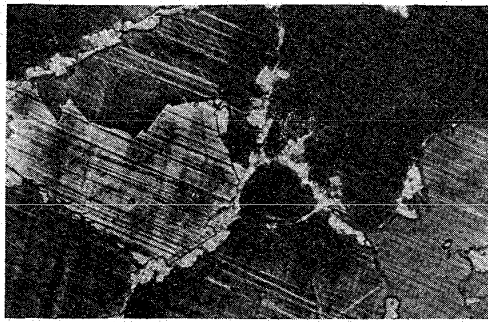
No. 22. 600° 6 時、×1800
ピクリン酸曹達腐蝕



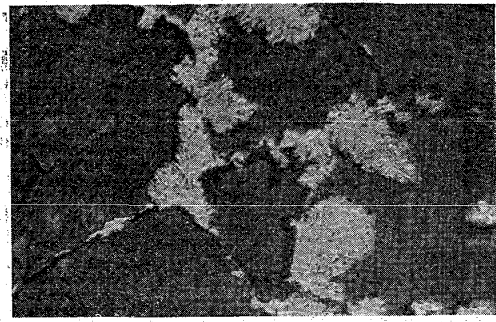
No. 23. 600° 12 時、×380



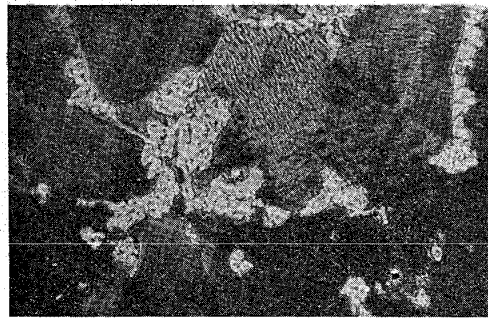
No. 24. 600° 38 時、×380



No. 25. 650° 3 時、×38



No. 26. 650° 12 時、×1000



No. 27. 650° 30 時、×380



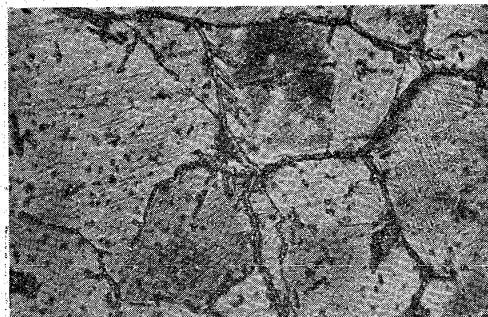
No. 28. 650° 50 時、×380



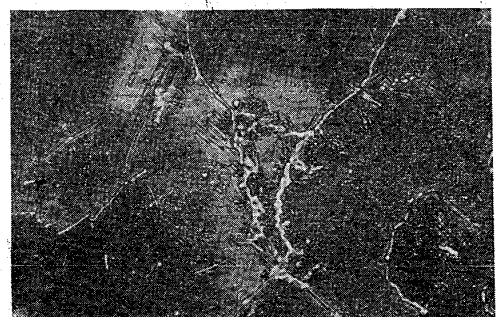
No. 29. 700° 6 時、×380



No. 30. 700° 12 時、×1000



No. 31. 700° 24 時、×380



No. 32. 700° 50 時、×380