

高満俺大洲田鋼の加熱變化に 及ぼす炭素の影響

(日本鐵鋼協會 第9回講演大會講演)

村上武次郎
矢島忠和

THE EFFECT OF CARBON ON THE CHANGE OCCURRING BY HEATING HIGH MANGANESE AUSTENITIC STEEL;

By Tak-jirô Murakami and Tadakazu Yajima.

SYNOPSIS— High manganese steels with constant manganese, about 13 percent, and varying carbon 0.28 to 1.45 percent were quenched from high temperature; by heating these steels to several temperatures, the changes in microstructure, magnetization and hardness were studied, and the effect of carbon on these changes was thoroughly illustrated. In microstructure, the separation of carbide and the changes, austenite → martensite, and austenite → troostite, take place by heating. The acicular carbide separates in hypereutectoid steels, the amount being increased with increasing carbon content. As the temperature rises upto 450° the amount of carbide increases, after which it decreases, owing to increase of the solubility of carbon in austenite. The changes, austenite → martensite, and austenite → troostite (modulus), take place more readily, as the carbon content increases. The rate of these changes and the amount of the product are maximum at 550°. The former change gradually proceeds and does not complete even after heating for 50 hours, while the latter change nearly completes on heating at temperatures above 500° for several hours. The intensity of magnetization increases by heating, the rate being sluggish in low carbon specimens. The intensity is, therefore, less in low carbon specimens, though it exceeds over that in high carbon specimen, by a prolonged heating, when the heating temperature is below 500°. The hardness also increases by heating, the rate being large in high carbon specimens. The increase is marked at the initial stage of heating, and somewhat decreases by further heating. In a low carbon specimen with 0.28 percent, *h*-phase is formed, the martensite being increased. In this specimen, the increase of magnetization is conspicuous by heating, while that of hardness is small.

I. 緒 言

著者の一人¹⁾は三神氏と共に高温より焼き入れた単一大洲田組織を有する高満俺鋼 (1.19%*C*) 12.7%*Mn*) の加熱溫度及時間の變化に伴ふ顯微鏡、組織、磁性、密度及硬度の變化を研究し、顯微鏡組織に於ては (1)炭化物の析出 (2)大洲田→吐粒洲 (結節狀) (3)大洲田→麻留田 (4)麻留田→吐粒洲 (針狀) の四變化が單獨又は並行に進行し、是に伴ひて硬度、磁性、及密度が變化する關係を明にした。本實驗は此等加熱による變化が炭素含量に由て如何に影響せらるゝかを知らんがために行つたのである。

II. 試料の調製

原料は市販の高満俺鋼を用ひ、是に金屬滿俺と炭素鋼を適當に配合し、總量約 1.7 疋を内面にアルミナを塗付せる。

¹⁾ 村上、三神、鐵と鋼、17 (昭和 6 年) 205

黒鉛坩堝に入れ、高周波誘導電氣爐で熔融し、鐵型を用ひて徑 2.5 *cm* の棒狀に鑄造し、鍛鍊して所要の大きさに仕上

第 1 表

試料番號	<i>Mn</i> (%)	<i>C</i> (%)
1	13.77	0.28
2	13.53	0.41
3	13.42	0.59
4	13.37	0.80
5	13.00	1.14
6	13.23	1.45

げた。第1表は試料の分析結果を示す。試料の大きさは、硬度測定用には 1.5 糎立方のものを用ひ、磁性測定には長さ 7 糎、

徑 5 糎の棒狀のものを用ひ、顯微鏡試験には長さ約 15 糎、徑 6 糎のものを用ひた。

III. 實驗方法

前述の試片を 1000°C に約 20 分間保ち、水中に焼き入れると、0.4%*C* 以上のものは全部完全に大洲田組織となる。然し 0.28 のものは均一大洲田組織は得られなかつた。此等試片を真空中で次の各溫度に次の各時間加熱した。

加熱溫度 300°, 350°, 400°, 450°, 500°, 550°, ...

600°, 650°, 700°,

加熱時間 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 38, 50.

加熱に際し同一加熱温度に於ては、硬度及磁性測定試料は各1個を用ひ、各時間後の測定を同一試片にて行ひ、其の加熱時間は所要温度に達してよりの時間を通算した。硬度測定にはロツクウェル硬度計のダイヤモンド圓錐を用ひ5ヶ所の平均値を採つた。又同一試片にて次回の測定に當つては、1耗以上を研磨し、前の測定値が次回に影響する事を避けた、磁性測定試片の加熱温度通算は硬度試片と同一であつて、之を約 275 Gauss の磁場に入れた時の磁力計の鏡の振れをスケールで読みとつた値で表はした。吐粒洲の面積は、顯微鏡寫眞に就いてプラニメーターによりて測定し、針狀炭化物の面積を引き去つた殘餘の大洲田の面積に對する百分率で表はした。

IV. 實驗結果

A. 顯微鏡組織の變化に及ぼす炭素の影響

各加熱温度に種々の時間加熱して冷却後の顯微鏡組織に表はれた各相は、第 2~6 表に示した。表中 A は大洲田 M は麻留田、T は吐粒洲を表はす。又(微)とあるは其微量なるを示す。又代表的の組織は顯微鏡寫眞 Nos.1~32 に示した。是等の結果を見ると次の事實を知る事が出来る。針狀炭化物の析出は、寫眞 Nos. 1 乃至 12 に示すが如く 1.46% C 1.14% C の試料にのみ表はれ低炭素のものに表はれない。又其の析出の始まる温度は 1.46% C では 300° C, 1.14% C では 400° で何れも 450° で最も多く、それより加熱温度の上昇と共に、次第に其の量を減す。是れ加熱に依て炭化物が析出するのは、大洲田に溶解せる炭素の過飽和に因るので其の析出速度は温度が高い程速い。併し温度が上昇すると大洲田に於ける炭素の溶解度が増すに依て、炭化物の析出量を減するのである。又低炭素試料に於て、針狀炭化物の析出しないのは、炭素量が、大洲田の飽和溶解度以下であるによる。

大洲田より麻留田及吐粒洲(結節狀)の生成は炭素量の増加するに従つて速かになる。即麻留田の生成は過共析鋼(0.8% C 以上)では 450°~600° で吐粒洲は 450°~650° で容易に現れるが、亞共析鋼(0.28% C 鋼を除く)では、麻留田は 500°~550° で、吐粒洲は 500°~600° で徐々に生成し 450° では吐粒洲のみ 50 時間後に於て漸く認められる。又組織上には表れないが 1.46% C 試料では 450°

の焼戻しに於ても少量の α 鐵の生成を磁性に依て認める事が出来る。

斯くの如く麻留田及吐粒洲の生成速度は炭素量の減少と共に遅くなるため、低炭素のもの程麻留田及吐粒洲の生成に長時間の加熱を要する。例へば 0.41% C 及 0.59% C に於ては寫眞 19 及 24 に示すが如く、加熱温度 450° にて少量の吐粒洲を認めるが麻留田は 50 時間後に到るも発見することが出来ない。然るに炭素量 0.8% 以上の場合、麻留田、吐粒洲の生成は炭素量に關係なく 450° に加熱した場合、前者は 12 時間後、後者は 6 時間後に發生する。寫眞 No. 2, 7, 13 は麻留田の成生せる状態を示す。其の後の増加の傾向は炭素量の多いもの程大きい。加熱温度 500° に於ける組織の變化は寫眞 No. 3, 8, 14, 15, 20, 21, 25, 26 に示すが如く 0.41% 試料に於ては 9 時間後に吐粒洲 18 時間後に麻留田が現れ、其の發達も遅々たるに拘らず 0.59% 試料では吐粒洲は 6 時間後に、麻留田は 9 時間後に認められ其生長速度も大きい。又過共析鋼に於ては加熱後 3 時間にして吐粒洲及麻留田を生じ 12 時間にして針狀吐粒洲を生ず。寫眞 No 4, 9, 16, 22, 27 は 550° に加熱せる場合の組織で、變化は何れの試料に於ても此温度に於て最も著しい。然るに 600° に於ては吐粒洲は短時間で現れるに反し、麻留田の生成は急激に減少し 0.41% C 及 0.59% C の低炭素試料に於ては全然現はれない。又炭素量 0.8% 以上の試料にては少量を認め得るに過ぎない。(寫眞 No. 5, 10, 17, 23, 28)。又寫眞 Nos. 6, 11, 12, 18 に示す如く 650° では過共析鋼のみ少量の吐粒洲を生じ、短時間に析出を終つて後殆んど變化を認めない。

上述の大洲田→麻留田の變化は定量的に示すことは困難であるが大洲田→吐粒洲(結節狀)の變化は之をプラニメーターで測定し得る故其の面積を大洲田に對する百分率で示したものが第 7~10 表で、第 1~4 圖は 450° 500° 550° 600° の各焼戻温度に於て吐粒洲生成進行の状態を各試料に就て比較したものである。是によると加熱温度同一の場合吐粒派の生成速度及一定時間後の生成量は炭素量と共に増加する 450° では 0.41% C 0.59% C の試料は吐粒洲の生成量は僅少であるが 0.8% C 以上の高炭素試料では 6 時間の加熱によりて現はれ漸次増加する。加熱温度 500° 以上では低炭素試料に於ては吐粒洲の生成速度は緩慢であるが高炭素試料に於ては急に増加し容易に或一定量

に達する。而して其の一定値に達する時間は加熱温度が高い程早い但其の一定値は 550° に於て最大で 600° では却つて小さい。 $0.28\%C$ 鋼に就ては改めて後に記述する。

B. 磁性に及ぼす炭素の影響

各試料の $300^{\circ}\sim 700^{\circ}$ の各加熱温度に於ける磁性の變化は第 11~15 表に示す。又第 5~8 圖は $450^{\circ}\sim 600^{\circ}$ の各温度に於ける變化を圖示したものである。之に由て見ると炭素量の少い方が磁性の増加が遅い。此の事實は大洲田→吐粒洲（結節狀）の變化と同様であるが結節狀吐粒洲は速に一定量に達するに拘らず、磁性は時間と共に益々増加の傾向を示す又各加熱温度に就て觀察すると 550° 以上では磁性の増加は速で且炭素量の高いものが常に高い磁性を示してゐるが 500° 以下に於ては増加の傾向は初めは 550° の場合より少いが時間の経過に従ひ益々増加するに依て後には却て大となる。又炭素量の低いものの方が大なる磁性を有するに至る。而して 500° 及 450° の場合に於ては $0.8\%C$ の試料が最も高い磁性を有しそれよりも高炭素のものは却つて磁性が小さい。此理由を考ふるに磁性の増加を示すべき變化は 大洲田→麻留田 大洲田→吐粒洲 の 2 つであるが結節狀吐粒洲は或る時間で一定値に達するため、其の後の磁性の増加は専ら大洲田→麻留田の變化による。又各試料に於て麻留田の生成速度は $0.6\%C$ 以下では炭素量と共に増加するが、炭素量 0.8% 以上のものは麻留田の生成は炭素量の小なるものが大きい。而して吐粒洲の生成量は炭素量と共に増加するに由て麻留田に變化すべき量は炭素量が多ければ少くなるからである。換言すれば加熱當初の磁性の増加は大洲田→吐粒洲の變化に起因するに於て炭素量の多い試料に著しい。然るに後に到つて、吐粒洲が一定の値に達すると専ら大洲田→麻留田の變化に伴つて磁性が増加する。而して平衡状態に於ては低炭素のものが多量の鐵を有するにより、大洲田→麻留田の變化は炭素量の少いもの程大きい。従つて其の變化に起因すべき磁性の増化は炭素量の小なる方が大きいのである。

C. 硬度に及ぼす炭素の影響

硬度増加の原因は炭化物の析出及大洲田→麻留田の變化で、大洲田→吐粒洲（結節狀）及麻留田→吐粒洲（針狀）は何れも硬度を減少せしむる。第 16~20 表は各試料の加熱による硬度の變化を示し、第 9~12 圖は之を圖示したものである。之に由て見れば何れの場合にも炭素量の高いものが最硬い。又顯微鏡組織と對照する時は此硬度増加の

原因は炭化物の析出によること著しく、麻留田の生成に依るよりも大きい。且炭素量の高いものは初め急に硬度を増し時間と共に次第に減少する。この現象は加熱温度の高い程著しい。これは大洲田→麻留田→針狀吐粒洲の變化に起因する。加熱温度が 600° になると硬度の極大値は 550° の場合よりも低い。これは炭化物の析出が少いのと又大洲田→麻留田の變化が少いためである。又 600° に於て時間と共に硬度の降下を見るが、これには麻留田→針狀吐粒洲の變化は認められぬ故に、主としてセメントイトの凝集するためと考へられる。針狀炭化物を析出せない 0.8% 以下のものでは硬度の變化は大體磁性及吐粒洲曲線の變化と一致するのは、専ら大洲田→麻留田→吐粒洲（針狀）及大洲田→吐粒洲（結節狀）の變化によるためである。

D. 炭素量 0.28% の高滿俺鋼

炭素量 0.4% 以上の高滿俺鋼は前述の如く水靱性を有し、高温より焼入れすると完全な大洲田組織となり、之を加熱する時は麻留田、吐粒洲を生ずるが、炭素量が減じて 0.28% となると最早水中に焼入れても單一大洲田組織を得ることは出来ない。即麻留田への變化は起り易くなり $1,000^{\circ}$ より水中に焼入する時はかなり強き磁性を有する。而して第 13 圖に示す如く、焼入温度が上昇するに従つて大なる磁性を示す。又水中に焼入れたるものは油中に焼入れたるものよりも大なる磁性を示す。此の原因は熱歪力により麻留田を生成するによる。即高温から焼入する時は熱歪力は大きく、又油よりも水に焼き入れた場合が大なる熱歪力を受くるを以て麻留田の量が多いので變態の促進される事を示す。本實驗に於ては出来るだけ大洲田組織を多くするため 650° より油中に焼入れ、之をそのまま加熱して變化を見た。其の結果は第 21~23 表で第 14~15 圖は夫々磁性及硬度曲線を表はす。

顯微鏡組織に於ては加熱温度が $300^{\circ}\sim 500^{\circ}$ に於て h 相を認める事が出来る。其の内 $450^{\circ}\sim 500^{\circ}$ の加焼によりて最も多く h 相が現はれ、寫眞 No. 29~32 に示す如く 550° では却て減少する。此 h 相は包析反應 $\alpha + \gamma \rightarrow h$ に由て生ずるのである。又 600° より空中冷却すると麻留組織が得られる。（寫眞 No. 29）。而して此の試料には結節狀吐粒洲が現はれない。是れ共析變態を起さないか又は其量僅少なるによる。磁性は 300° 及 400° の加熱では殆んど變化せず、 450° では著しく増す。加熱温度が高い程最初の變化は急激であ

るが、或る時間の後は一定の値に止り、且其の値は温度が高い程小さい。此の磁性の増加は麻留田の生成による。之に由て見れば其の生成速度は温度が高い程速いけれども、平衡状態に於ける α 相の量は 500° 以上に於ては温度が高い程少い事が知られる。

硬度は第 15 圖に示すが如く加熱による變化が少く、加熱に由て少しく上昇するのみで後には下降する。而して此の變化は加熱温度が高い程速かに起る。此の増加は麻留田の生成に起因し、減少は麻留田の焼戻しによると考へられる。

此の組成の高滿俺鋼は其組織頗複雑なるため更に X 線的研究を行つた。結果は X 線寫眞 No. 4~8 に示す。No 1~3 は夫々 α 鐵、 γ 、及 h 相の標準スペクトルで、比較のため並べたのである。No. 4~8 を是等と比較すると 600° より水中焼入せるものは γ 相最多く、且 α 及 h 相の少量を認める。又 550° に熱したものは h 及 α 相より成り 500° 以下に熱したものは h 相のみ多く存在し α 相は加熱温度の下ると共に減少し γ 相は全く存在しない。之に由つて見ると γ 相は 600° 以上で安全であり h 相及 α 相は 550° 以下で安定であるが 550° に於て存在し得る h 相の量は少いことが知られる。而して 600° より水中に焼き入れたものに α 相及 h 相の少量を見るのは焼入の間に一部分生ずるものと考へらる。

V. 總 括

1) 滿俺量約 13% で炭素量 0.28~1.46% の 6 種の試料を高温度より焼入れたる後種々の温度に加熱し其間に起る顯微鏡組織、磁性及硬度の變化を研究し、此等諸變化に及ぼす炭素の影響を明にした。

2) 炭素量 0.4% 以上の高滿俺鋼に於ては何れも焼入れにより單一大洲田を得る事が出来るが 0.28% の低炭素試料では一部分變化して麻留田となる。

3) 上記大洲田鋼の加熱に因て起る針狀炭化物の析出は過共析鋼に於て起り、炭素量を増すに従つて著しい又何れの試料に於ても加熱温度を高むるに従つて其析出速度を増すが 450° に於て其の析出量最多く、それより温度を高むるきは溶解度を増すため其量を減す。

4) 大洲田→麻留田の變化は、亞共析鋼では $500\sim 550^\circ$ の間に於て起り、過共析鋼では $450\sim 600^\circ$ の間で起る。其生成速度は炭素量を増すに従て増加す。又此變化は長く

徐々に進行し 50 時間の加熱後に於ても進行する。

4) 大洲田→吐粒洲(結節狀)の變化は過共析鋼に於ては $450\sim 600^\circ$ の間に於て起るが、亞共析鋼にては $450\sim 600^\circ$ の間で起り 650° では起らない。而して或一定値に達すれば其以上進行せない。又其結節狀吐粒洲の生成は各試料を通じて 550° に於て最大であり、同一加熱温度に於ては炭素量と共に其量を増す。又其生成速度も炭素量のなるものは速で早く一定値に達する。

6) 磁性は加熱時間と共に増加し、何れの試料に於ても 50 時間後にも尙増加する。併し其速度は炭素量の少い程遅い。而し 500° 以下では初めは低炭素のものが磁性は小さいが後に大きくなる。是れ初の増加は主として大洲田→吐粒洲の變化に起因し、後の増加は主として大洲田→麻留田の變化に起因する。而して平衡状態に於ては低炭素のものが多量の α 相を有するによる。

7) 硬度の増加は何れの加熱温度の場合に於ても炭素量の高いものが著しい。是麻留田の生成よりも炭化物の析出に原因する事が大きいためである。又高炭素のものは初めに硬度を増し、後次第に硬度を減す。これは麻留田が焼戻されて吐粒洲となるためである。

8) 0.28%C の試料は加熱に依て h 相を生じ麻留田の量を増すが結節狀吐粒洲は現れない。是れ共析變態を起さないか又は其量僅少なるによる。此 h 相は包析反應 $\alpha + \gamma \rightarrow h$ に由て生ず。又此の試料は加熱に依る磁性の増加は著しいが硬度の増加は僅少である。

終に臨み X 線的研究に援助を與へられた大澤博士に謝意を表す。

第 2 表 顯 微 鏡 組 織 (0.4%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A+T(微)	A	A	A
6	A	A	A	A	A+T(微)	A+M+T	A	A	A
9	A	A	A	A	A+T(少量)	AMT	A	A	A
12	A	A	A	A	A+T	AMT	A+T(微)	A	A
15	A	A	A	A	A+T	AMT	A+T	A	A
18	A	A	A	A	A+M+T	AMT	A+T	A	A
24	A	A	A	A	A+M+T	AMT	A+T	A	A
30	A	A	A	A	A+M+T	AMT	A+T	A	A
38	A	A	A	A+T	A+M+T	AMT	A+T	A	A
50	A	A	A	A+T	AMT	AMT	A+T	A	A

第 3 表 顯 微 鏡 組 織 (0.6%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A+T(微)	A+M+T	A	A	A
6	A	A	A	A	A+T	A+M+T	A+T(微)	A	A
9	A	A	A	A	A+M+T	A+T	A+T	A	A
12	A	A	A	A	A+M+T	A+M+T	A+T	A	A
15	A	A	A	A	A+M+T	A+M+T	A+T	A	A
18	A	A	A	A	A+M+T	A+M+T	A+T	A	A
24	A	A	A	A	A+M+T	A+M+T	A+M+T	A	A
30	A	A	A	A	A+M+T	A+M+T	A+M+T	A	A
38	A	A	A	A+T	A+M+T	A+M+T	A+M+T	A	A
50	A	A	A	A+T	A+M+T	A+M+T	A+M+T	A	A

第4表 顯微鏡組織 (0.8% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T	A+T(微)	A
6	A	A	A	A+T(微)	A+T+M	A+T+M	A+T	A+T	A
9	A	A	A	A+T	A+T+M	A+T+M	A+T	A+T	A
12	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
15	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
18	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
24	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
30	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
38	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A
50	A	A	A	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A+T+M	A

第5表 顯微鏡組織 (1.4% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ATC	A+T	A
6	A	A	A+C	A+C+T	ACTM	ACTM	ATCM	A+C+T	A
9	A	A	A+C	A+C+T	ACTM	(A)CTM	ACTM	ACT	A
12	A	A	A+C	A+C	ACTM	(A)CTM	ACTM	ACTB	A
15	A	A	A+C	ACTM	ACTM	(A)CTM	ACTM	ACT	A
18	A	A	A+C	ACTM	ACTM	(A)ATM	ACTM	ACT	A
24	A	A	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A
30	A	A	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A
38	A	A	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A
50	A	A	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A

第6表 顯微鏡組織 (1.46% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A+C	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
6	A+C	A+C	A+C	A+C+T(微)	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
9	A+C	A+C	A+C	ACT	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
12	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
15	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
18	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
24	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
30	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
38	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C
50	A+C	A+C	A+C	ACTM	ACTM	ACTM	ACTM	ACT	A+C

第7表 結節狀吐粒洲 (0.4% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	微量	0	0	0
6	0	0	0	0	微量	少量	0	0	0
9	0	0	0	0	微量	少量	0	0	0
12	0	0	0	0	少量	3.18	微量	0	0
15	0	0	0	0	少量	2.73	少量	0	0
18	0	0	0	0	1.12	5.6	1.2	0	0
24	0	0	0	0	1.66	8.2	2.2	0	0
30	0	0	0	0	2.57	7.0	3.0	0	0
38	0	0	0	微量	9.15	12.3	3.9	0	0
50	0	0	0	微量	8.65	12.7	4.7	0	0

第8表 結節狀吐粒洲 (0.6% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	微量	1.1	0	0	0
6	0	0	0	0	少量	5.7	1.5	0	0
9	0	0	0	0	1.98	8.5	7.6	0	0
12	0	0	0	0	1.5	13.0	13.0	0	0
15	0	0	0	0	3.6	16.6	8.2	0	0
18	0	0	0	0	5.8	20.6	15.7	0	0
24	0	0	0	0	13.0	20.4	15.1	0	0
30	0	0	0	微量	15.0	20.8	23.0	0	0
38	0	0	0	2.5	21.0	23.8	17.1	0	0
50	0	0	0	3.0	22.7	24.3	16.8	0	0

第9表 結節狀吐粒洲% (0.8% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	12.4	15.5	11.7	微量	0
6	0	0	0	微量	30.5	37.2	19.2	6.5	0
9	0	0	0	少量	34.5	30.4	20.2	8.0	0
12	0	0	0	6.2	37.1	33.4	33.3	7.9	0
15	0	0	0	11.3	39.1	35.7	22.3	8.7	0
18	0	0	0	17.3	38.6	41.3	19.3	8.5	0
24	0	0	0	21.8	39.1	40.4	21.1	7.6	0
30	0	0	0	20.5	38.6	38.2	24.9	10.0	0
38	0	0	0	27.1	37.1	40.0	25.4	9.3	0
50	0	0	0	29.1	37.2	39.5	25.4	10.0	0

第10表 結節狀吐粒洲% (1.4% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	17.3	22.9	27.9	10.4	0
6	0	0	0	微量	27.5	36.5	32.8	8.4	0
9	0	0	0	7.1	34.7	40.9	31.0	13.6	0
12	0	0	0	17.2	35.3	43.2	33.8	14.1	0
15	0	0	0	16.4	36.4	41.5	32.3	14.1	0
18	0	0	0	26.9	43.1	43.0	28.3	14.1	0
24	0	0	0	33.3	45.7	45.8	34.9	17.2	0
30	0	0	0	31.3	49.0	39.2	34.8	18.2	0
38	0	0	0	36.1	42.7	42.8	32.6	19.2	0
50	0	0	0	36.7	41.5	42.5	33.7	20.0	0

第11表 磁性(磁力計の振れ)mm (0.4% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0.0	0.9	0.9	1.0
6	0	0	0	0	0.6	0.6	0.3	0.9	1.7
9	0	0	0	0	0.6	1.4	1.3	1.2	1.5
12	0	0	0	0	0.9	2.5	1.8	1.4	1.6
15	0	0	0	0	1.0	4.0	1.8	1.5	1.7
18	0	0	0	0	1.2	6.8	2.1	1.9	1.7
24	0	0	0	0	2.5	11.0	2.4	2.8	1.8
30	0	0	0	0.4	4.0	17.0	2.4	1.9	2.1
38	0	0	0	0.8	10.7	30.6	3.5	2.0	1.6
50	0	0	0	1.0	27.0	42.3	4.0	2.1	2.0

第12表 磁性(磁力計の振れ)mm (0.6% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0.6	1.0	1.0	1.1
6	0	0	0	0	0.7	1.8	2.5	1.0	1.7
9	0	0	0	0	0.7	5.1	3.5	1.8	1.7
12	0	0	0	0	1.3	10.2	5.4	1.8	1.8
15	0	0	0	0	2.5	18.3	6.4	1.7	2.0
18	0	0	0	0.8	4.2	26.4	7.5	1.7	2.2
24	0	0	0	0.5	8.8	38.0	9.9	1.8	2.2
30	0	0	0	0.8	17.5	42.7	11.4	2.5	2.4
38	0	0	0	1.0	42.5	46.0	11.5	1.6	2.0
50	0	0	0	1.8	67.5	48.2	11.5	2.0	2.0

第13表 磁性(磁力計の振れ)mm (0.8% C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1.0	5.3	12.7	5.9	1.7	2.1
6	0	0	0	1.2	11.3	20.2	8.5	2.6	2.2
9	0	0	0	2.1	17.6	26.1	8.7	3.5	2.7
12	0	0	0	3.4	23.8	31.5	9.4	3.3	2.6
15	0	0	0	5.7	34.0	34.6	11.5	3.6	2.9
18	0	0	0	9.7	47.9	42.2	11.7	3.7	2.5
24	0	0	0	14.8	68.2	48.7	13.2	4.0	3.0
30	0	0	0	21.9	77.0	49.5	15.1	4.0	3.3
38	0	0	0	27.3	86.0	55.3	17.2	4.1	3.5
50	0	0	0	39.5	94.0	59.0	19.0	4.5	3.5

第 14 表 磁性(磁力計の振れ)mm (1.14%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1.0	8.7	22.6	12.4	3.6	2.0
6	0	0	0	1.3	17.0	30.8	16.5	4.8	3.7
9	0	0	0	2.1	24.8	34.4	17.5	5.3	3.0
12	0	0	0	5.4	31.2	42.0	18.3	5.8	3.5
15	0	0	0	8.7	36.0	44.7	22.0	6.9	2.6
18	0	0	0.2	11.8	45.0	48.3	23.9	5.6	3.3
24	0	0	0.6	16.1	53.3	56.7	25.9	5.8	4.7
30	0	0	1.2	21.7	64.0	62.2	28.5	6.1	3.6
38	0	0	1.3	25.0	75.8	68.8	33.0	6.5	3.6
50	0	0	2.0	22.0	85.8	74.9	35.0	5.9	4.0

第 19 表 硬度(Rockwell C) (1.14%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	21.1	20.8	21.1	20.9	20.9	21.1	21.1	21.4	21.0
3	19.9	20.5	20.6	30.1	40.5	41.1	35.1	25.4	20.8
6	22.1	23.8	26.4	36.4	44.1	40.9	36.8	28.7	24.8
9	20.4	20.5	29.9	39.8	43.5	41.5	35.0	30.0	25.3
12	18.3	19.1	31.2	41.6	44.8	41.3	35.9	39.7	24.9
15	21.7	21.9	32.6	42.2	44.9	41.4	35.5	30.8	26.3
18	20.8	24.3	34.4	44.5	46.0	40.9	34.1	29.8	24.9
24	21.5	23.5	34.7	45.8	43.3	40.7	34.5	30.7	25.9
30	21.5	24.6	36.3	46.2	44.4	39.4	35.1	31.2	26.6
38	20.6	25.0	37.3	46.7	44.8	40.3	34.5	30.5	26.0
50	21.0	25.6	38.0	47.7	45.0	40.3	34.6	31.0	26.0

第 15 表 磁性(磁力計の振れ)mm (1.46%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.2	1.7	1.9	15.0	39.4	21.3	5.4	1.4
6	0	0.5	2.3	3.3	21.4	43.7	23.5	5.3	2.3
9	0	0.8	2.6	6.2	29.5	54.3	25.5	8.0	2.5
12	0	0.9	2.8	8.2	35.4	62.5	27.6	6.1	2.6
15	0	0.8	2.6	11.5	42.0	68.9	33.0	6.6	3.0
18	0	1.0	2.9	16.5	43.0	73.9	36.7	7.5	2.5
24	0	1.7	3.2	19.4	55.3	86.1	41.5	5.6	3.0
30	0	1.5	3.4	24.0	60.3	93.6	46.1	5.3	3.0
38	0	1.8	3.6	21.8	69.9	103.5	53.5	6.0	2.0
50	0	1.8	3.9	25.0	79.8	112.5	58.0	6.5	3.2

第 20 表 硬度(Rockwell C) (1.46%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	24.8	24.1	25.0	24.5	24.8	24.8	24.0	25.1	24.7
3	26.3	29.8	35.9	40.8	49.3	48.9	45.9	42.1	41.5
6	27.9	36.2	38.7	44.4	50.0	48.3	45.6	42.6	41.6
9	28.0	32.2	38.9	49.9	49.2	47.3	43.9	43.0	41.6
12	26.0	35.8	41.0	47.6	49.8	47.2	43.5	42.9	41.8
15	27.4	34.5	40.7	47.2	49.8	46.7	43.1	43.0	41.4
18	27.7	34.5	41.1	49.3	50.0	45.4	42.5	42.3	40.6
24	27.2	35.9	41.0	50.6	47.6	45.7	42.0	42.0	40.2
30	28.4	36.0	41.4	50.1	47.9	45.4	42.1	43.3	40.5
38	28.5	35.5	42.3	50.3	47.9	45.1	41.8	42.0	40.0
50	29.0	36.2	45.0	50.0	47.3	44.3	40.6	43.1	40.5

第 16 表 硬度(Rockwell C) (0.4%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	24.1	24.0	23.7	23.3	21.8	23.2	24.4	25.6	23.9
3	20.9	23.4	21.3	21.3	19.8	21.6	20.3	20.7	19.9
6	21.1	23.0	21.8	20.9	21.3	21.9	21.6	21.1	21.4
9	21.5	22.5	20.6	21.0	21.7	22.8	21.0	20.9	19.0
12	21.2	23.3	20.7	21.8	21.8	24.0	20.4	21.9	20.6
15	21.6	22.2	21.5	22.1	22.8	27.1	22.5	21.7	19.4
18	21.0	22.5	21.3	20.6	22.2	27.4	21.3	20.5	19.0
24	21.4	22.0	22.3	21.2	24.4	30.7	22.4	20.3	19.1
30	20.2	19.8	21.5	21.2	25.9	28.7	21.1	22.3	18.9
38	21.0	22.3	20.9	21.5	30.0	31.2	21.3	20.5	19.2
50	21.2	22.0	21.2	22.8	32.6	32.1	20.9	21.1	19.0

第 21 表 顯微鏡組織 (0.28%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°
1	A+M	A+M	A+M	A+M	A+M	A+M	A+M
3	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
6	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
9	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
12	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
15	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
18	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
24	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
30	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
38	A+M+A	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M
50	A+M+A	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M+h	A+M

第 17 表 硬度(Rockwell C) (0.6%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	21.6	22.8	21.9	21.6	20.3	21.3	22.4	22.3	21.1
3	21.3	21.8	22.0	21.5	20.1	21.3	22.6	19.9	19.4
6	21.2	21.9	21.9	22.2	21.4	22.0	23.4	19.9	18.7
9	21.7	21.5	20.1	20.5	21.2	26.8	23.2	20.3	19.3
12	21.8	22.1	21.6	21.4	21.7	27.7	23.2	20.3	17.9
15	21.2	20.9	20.4	21.0	22.2	30.9	23.3	19.5	18.6
18	21.2	21.8	20.7	21.0	22.4	31.8	25.0	18.8	18.0
24	19.7	21.2	21.5	21.0	25.1	34.8	26.0	19.6	17.0
30	19.0	21.5	20.5	21.1	29.5	35.0	25.9	19.0	18.6
38	20.2	21.4	21.3	21.6	32.4	35.0	25.5	19.5	18.0
50	19.8	21.2	21.2	23.5	35.0	34.5	26.0	18.8	17.5

第 22 表 磁性磁力計の振れ(mm) (0.28%C)

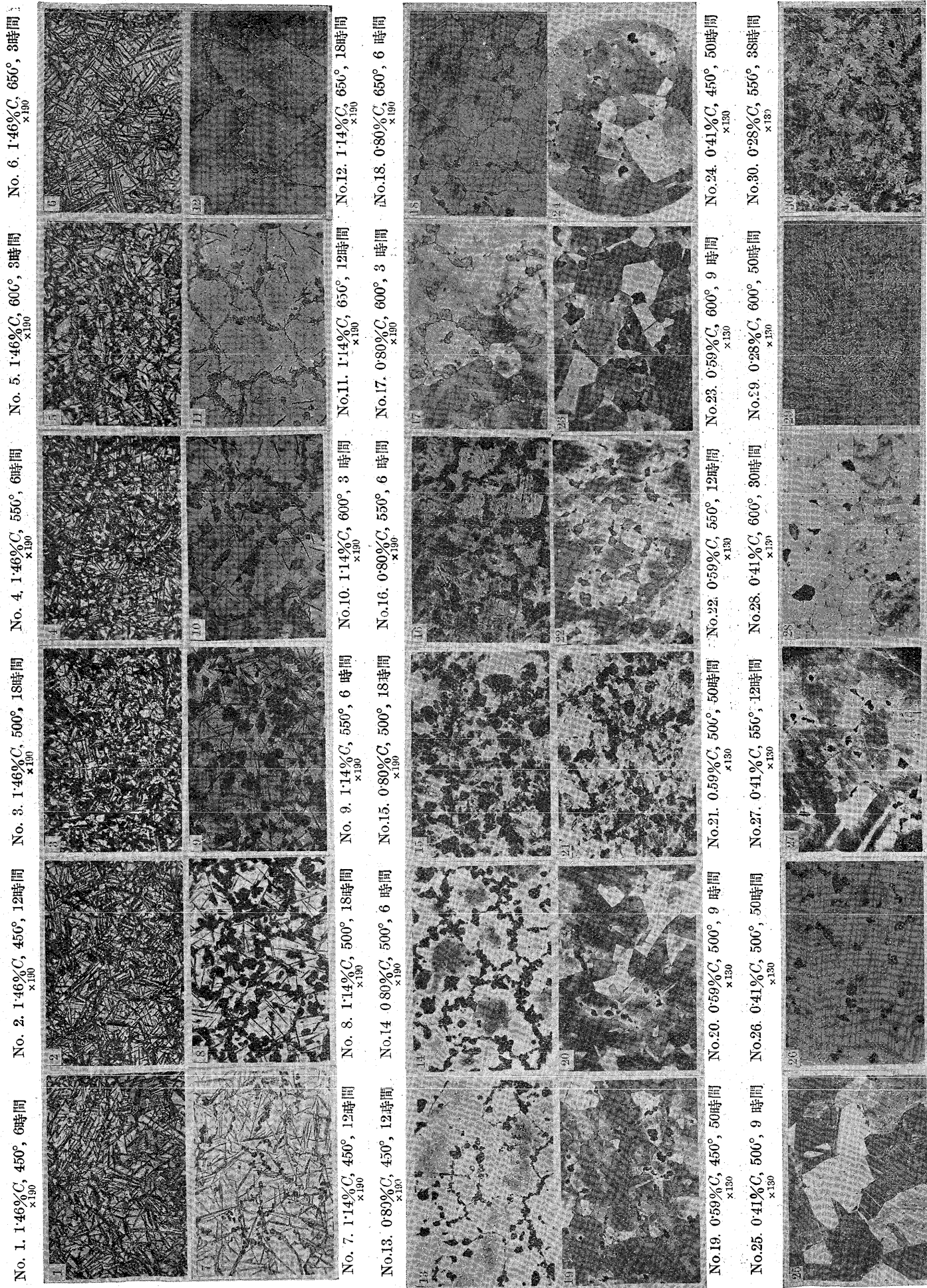
	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°
0	2.0	3.2	2.5	2.0	1.8	2.3	3.7
3	"	"	6.5	16.5	25.0	21.5	7.5
6	"	"	9.0	20.5	47.2	22.7	6.5
9	"	"	8.3	25.0	56.7	21.6	6.0
12	"	"	7.0	39.0	66.0	21.0	7.0
15	"	"	8.5	45.0	75.0	21.9	7.1
18	"	"	8.0	50.0	80.7	22.0	6.3
24	"	"	7.3	63.8	81.1	21.9	6.0
30	"	"	8.0	70.4	79.8	22.2	6.9
38	"	"	8.5	79.8	78.8	22.0	6.8
50	"	"	8.5	90.3	78.0	22.3	7.0

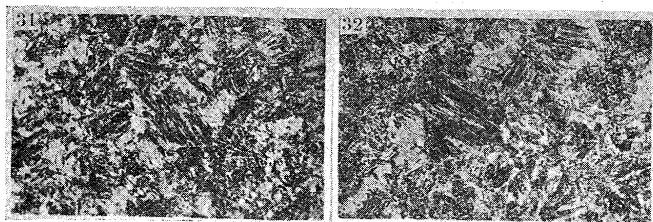
第 18 表 硬度(Rockwell C) (0.8%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°	650°	700°
0	19.1	18.8	19.1	19.1	18.5	18.7	19.3	19.0	19.1
3	18.6	18.9	17.5	16.0	25.2	33.4	26.9	14.4	12.9
6	20.4	20.6	18.5	19.7	36.1	35.5	29.8	15.5	13.3
9	19.4	19.1	19.5	20.9	38.6	37.9	28.5	19.1	13.9
12	18.2	18.1	17.8	20.9	41.4	38.2	29.2	18.1	14.5
15	20.4	20.3	15.5	26.0	42.7	37.0	28.0	20.7	14.9
18	20.0	20.3	18.0	34.6	42.2	37.2	28.6	20.6	14.5
24	20.3	20.6	17.9	36.6	40.9	37.8	28.5	20.8	14.5
30	19.2	21.7	17.2	38.8	41.6	36.6	28.3	20.8	15.2
38	19.9	20.3	19.0	41.0	41.7	36.6	28.2	21.0	15.8
50	18.0	19.8	18.8	42.9	42.7	36.3	27.0	20.5	15.5

第 23 表 硬度(Rockwell C) (0.28%C)

	300°	350°	400°	450°	500°	550°	600°
0	28.0	27.9	29.5	27.0	29.0	30.0	28.5
3	30.6	31.0	30.7	30.6	34.0	35.2	33.0
6	31.0	30.0	30.9	31.2	36.9	35.7	33.8
9	31.2	29.7	30.5	31.2	36.4	34.7	32.0
12	29.7	24.8	31.0	32.5	35.0	4.3	31.0
15	29.9	30.0	30.3	34.4	35.5	4.4	31.8
18	30.1	29.9	29.9	36.7	34.9	33.7	32.0
24	29.9	29.8	30.0	37.2	35.7	33.3	32.5
30	29.3	30.0	30.3	36.9	36.0	32.7	31.5
38	30.1	28.9	36.2	36.8	35.3	30.5	30.0
50	29.8	29.0	31.0	36.5	35.0	31.4	31.0



No.31. 0.28%C, 500°, 38時間
×130No.32. 0.28%C, 450°, 38時間
×130No.1 α 相 (純鉄)No.2 γ 相 Fe-Mn(30%Mn)No.3 δ 相 Fe-Mn(16%Mn)

No.4 600° 19水中焼入

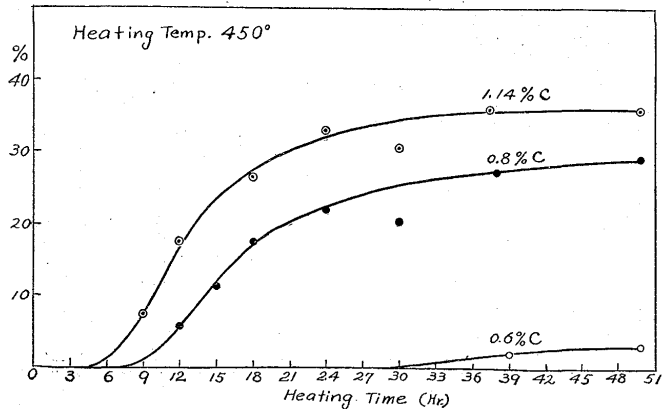
No.5 600° 30時間加熱放冷

No.6 550° 30時間加熱放冷

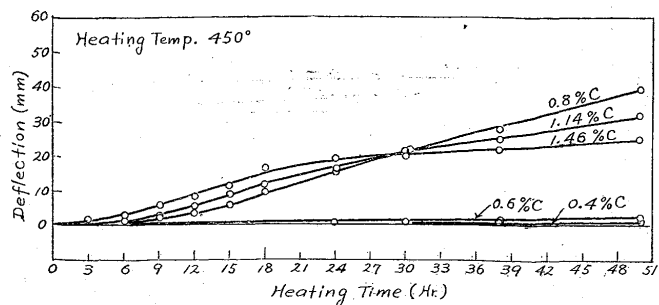
No.7 500° 30時間加熱放冷

No.8 450° 30時間加熱放冷

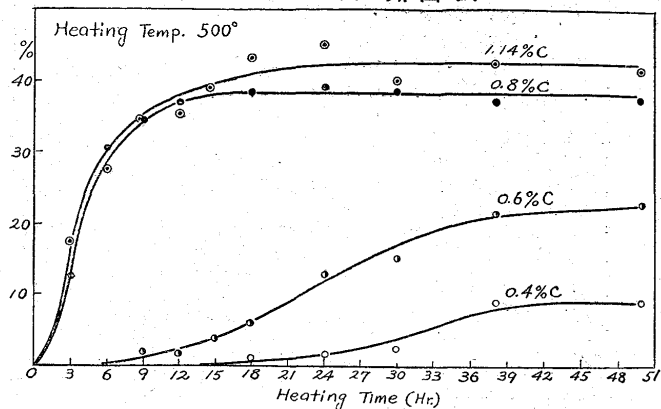
第1圖 吐粒洲面積



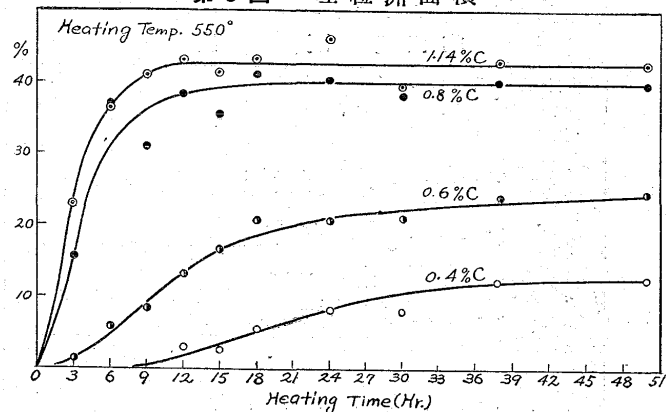
第5圖 磁性



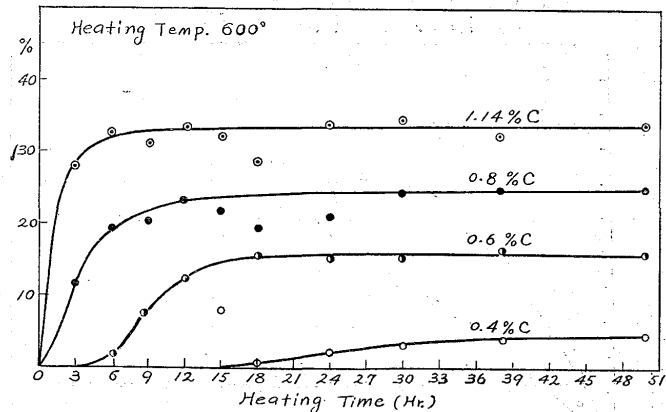
第2圖 吐粒洲面積



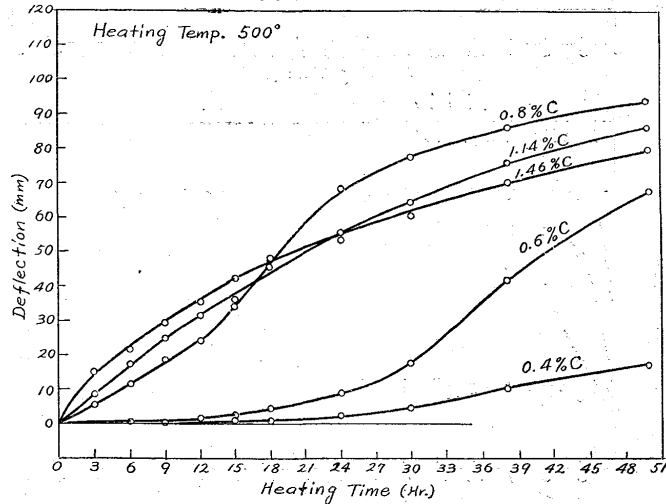
第3圖 吐粒洲面積



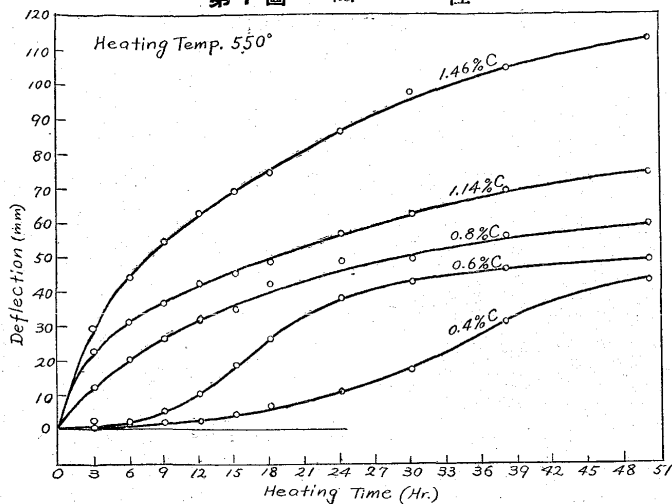
第4圖 吐粒洲面積



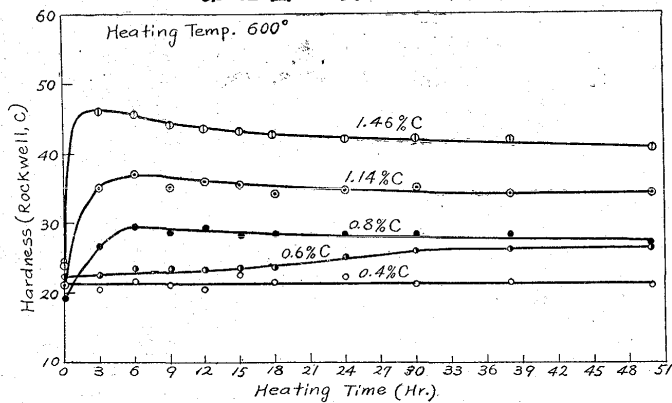
第6圖 磁性



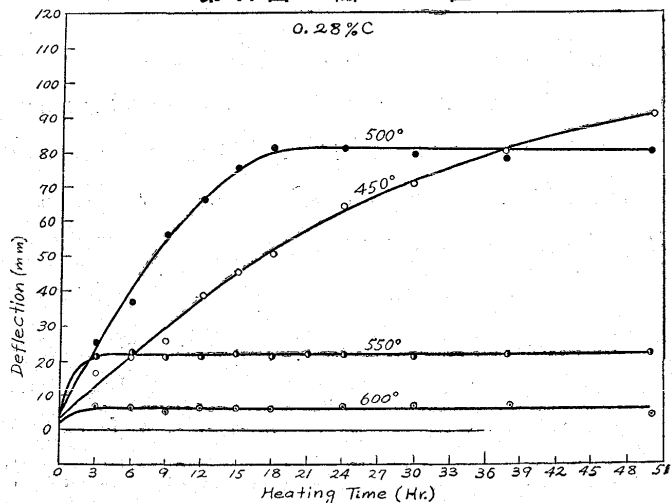
第7圖 磁性



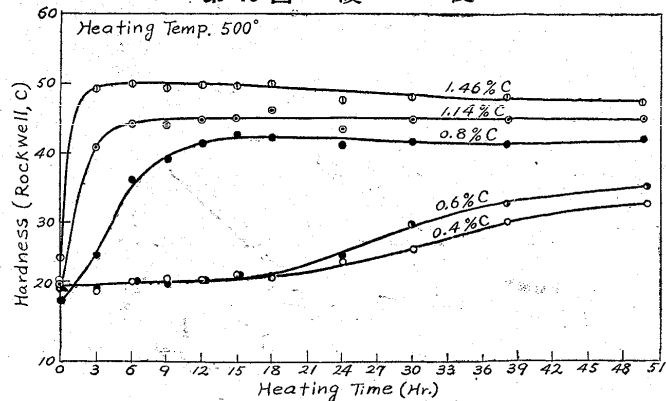
第12圖 硬度



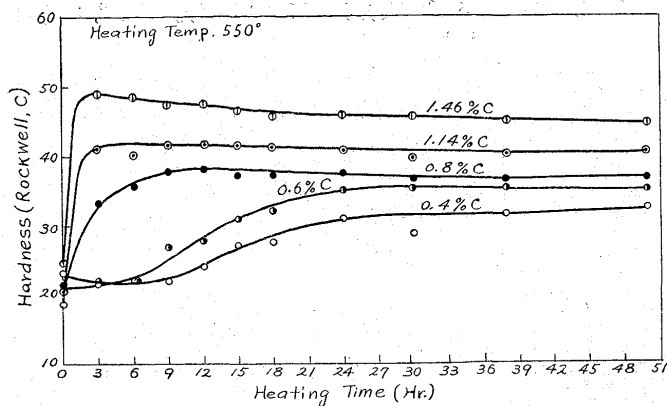
第14圖 磁性



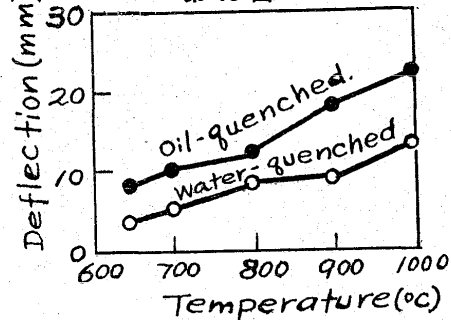
第10圖 硬度



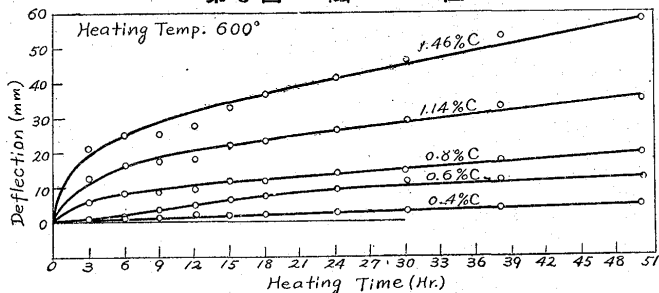
第11圖 硬度



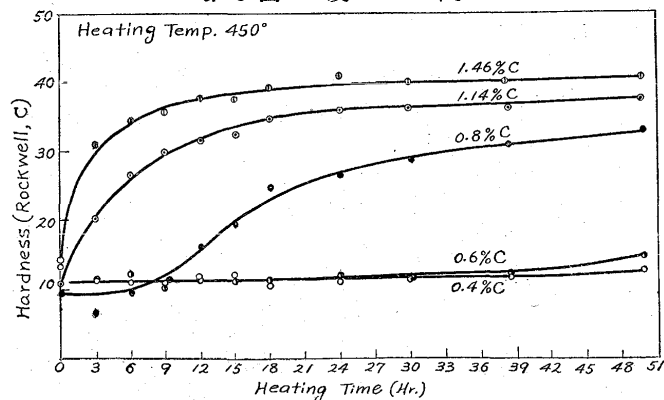
第13圖



第8圖 磁性



第9圖 硬度



第15圖 硬度

