

少の注意にて鑛滓の成分を我々の希望に副はしめ同時にその成分の均一を計り得可く、常に均一なる成分の鑛滓の供給を受けたらんには之れを利用し高爐セメントとして完全に利用厚生の道を計るは困難なる事にあらずとの自信に達するを得るを以て、要は鉄鐵製造關係者と、高爐セメント（他の製品なるも可）製造關係者との相互の了解を進め、共存共榮の實を取り、少くとも我國に於て副生する鑛滓は及ぶ限りこれが利用の道を講じ、これに對する諸條件を完備せしめ、これを高爐セメント其他の製品として完全に利用せば、砂上の樓閣として一笑に附せらるゝ鐵の自給自足の如きは、必ずや著しくその機運を助長せらる可きものなるを信じて疑はず。

## タングステン鋼に於ける針狀地鐵の 生成に就いて

（大正十五年十一月日本鐵鋼協會第二回講演大會講演）

村上武次郎

武田修三

### 目 次

I. 緒 論	(b) 冷却の途中に於ける組織の變化
II. 變態點の變化	IV. 針狀地鐵の組織と麻留田組織との異同
(a) 最高加熱溫度の影響	(a) 顯微鏡組織と硬度
(b) 冷却速度の影響	(b) 焼鈍に伴ふ電氣抵抗の變化
(c) 組成の影響	(c) 炭素鋼に於ける針狀地鐵との差異
III. 顯微鏡組織の變化	V. 針狀地鐵生成の機構
(a) 變態點と顯微鏡組織の關係	VI. 概 括

### I. 緒 論

タングステン鋼を變態點以上遙に高き溫度より冷却するときは、其速度速ならざる場合に於ても、其變態が著しく阻止せられて 500° 以下に降下し、又は一部分降下して所謂二段變態を起すことは古くより知られた事實で、其の原因に關しては Osmond<sup>(1)</sup> 以來多くの學者に由て研究せられた。Osmond、Böhler<sup>(2)</sup>、及 Guillet<sup>(3)</sup> は其の原因はタングステンが波來土變態を阻止するに由るといひ Carpenter<sup>(4)</sup> は之

(1) Osmond, Journ. Iron & Steel Inst. (1890,) I, 61; Rev. Métall. (1904), 348

(2) Böhler, Wolfram u. Rapid Stahl. (1904).

(3) Guillet, Rev. Métall. (1904), 263.

(4) Carpenter, Journ. Iron & Steel Inst. (1905), I, 433.

を複炭化物に歸し、Edwards<sup>(1)</sup> は高温度に於て生ずる特種炭化物に歸因すと述べ、Swinden<sup>(2)</sup> は下降變態を  $Fe_3W$  及  $Fe_3C$  の同時析出によると考へ、又 Dejean<sup>(3)</sup> は  $600^\circ$  以上の變態は大洲田→吐粒洲であるが下降せる變態は大洲田→麻留田であると論じて居る。併し何れも之を證明すべき事實に於て不充分である。

其後本多博士及著者の一人は<sup>(4)</sup> タングステン鋼の組織について研究し、亞共析タングステン鋼に於ては他の特殊鋼の場合と異なり、變態點が下降しても常に地鐵が現はれる、但針狀となりウイードマンステツテン組織をなすことを知り、磁氣分析の結果より其理由を次の如く説明した。亞共析(Hypoeutectoid)タングステン鋼の標準化せるものは、 $4Fe_3C \cdot WC$  なる複炭化物を有し波來土を形成するが、之を  $Ac_1$  點以上に熱するときは複炭化物は二つの炭化物  $Fe_3C$  及  $WC$  に解離して大洲田に溶解する、最高加熱温度餘り高からざるときは、冷却の際結合して複炭化物を再生するが、更に高温度( $900^\circ$  以上)に熱するときは  $WC + Fe \rightleftharpoons Fe_2W + Fe_3C$  なる反應を起して  $WC$  は  $Fe_2W$  及  $Fe_3C$  に變じ、冷却に際しては非常に緩冷せない限り、溶解せる  $Fe_2W$  のために大洲田の變態が阻止せられて  $500^\circ$  以下に降り、 $Fe_2W$  を溶解せる針狀地鐵が析出し、續いて殘留大洲田が  $Ar_1$  變態を起すのであると、併し此説も猶他の事實を説明するに不充分である。

又 Hultgren<sup>(5)</sup> は此の現象を結晶速度に因て説明した、即大洲田より  $Fe_3C$  の析出する最大結晶速度は  $700^\circ$  附近の一ヶ所であるが、地鐵の結晶速度は  $700^\circ$  附近と  $500^\circ$  附近の二ヶ所に極大があるものと假定し、鋼を高温度に熱するときは大洲田の安定度を増し、冷却に際しては  $700^\circ$  附近の變態が阻止せられて、 $500^\circ$  附近に於て變態を起すのであると述べて居る、併し何故に地鐵の結晶速度の極大が二ヶ所に在るか、又變態の降下せるものは何故に針狀地鐵となるかの説明が充分でない。

茲に於て著者等は更に之が研究を進め、針狀地鐵生成の條件を確め、且其生成の機構を明にせんと企てたのである。

研究に用ひた試料は何れも瑞典鋼及金屬タングステンを適宜配合して作つたもので、第1表は其の分析結果を示す。

第 1 表

試 料	化學組成%		試 料	化學組成%		試 料	化學組成%	
	C	W		C	W		C	W
2 W 2 C	0.22	1.64	4 W 13 C	1.29	3.75	8 W 5 C	0.48	7.56
2 W 4 C	0.42	1.68	5 W 16 C	1.57	4.72	8 W 10 C	0.97	7.76

(1) Edwards, Journ. Iron &amp; Steel Inst. (1908), II, 104

(2) Swinden, Journ. Iron &amp; Steel Inst. (1907), I, 291; dit. (1909), II, 223.

(3) Dejean, Rev. Métall. (1917), 641.

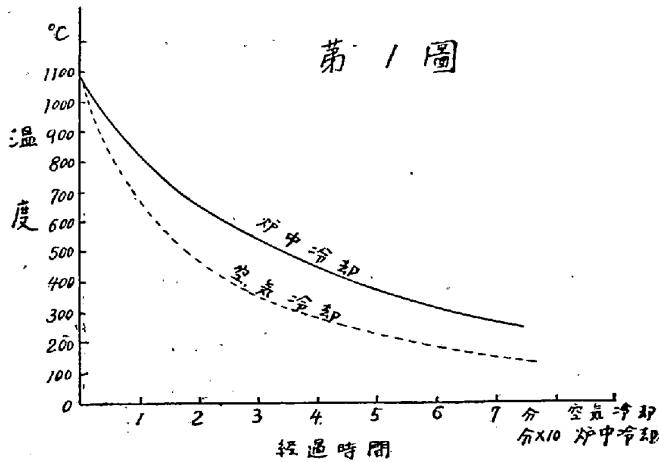
(4) 本多、村上、東北大學理科報告 6 (1917), 53; 同上, 6 (1918), 235.

(5) Hultgren, Metallographic Study on Tungsten Steels, 1920.

2 W 6 C	0.61	2.08	7 W 2 C	0.21	6.61	8 W 14 C	1.38	8.03
2 W 12 C	1.24	2.11	5 W 3 C	0.30	5.11	12 W 2 C	0.20	11.83
4 W 3 C	0.26	3.72	5 W 8 C	0.75	5.20	12 W 8 C	0.80	12.11
4 W 5 C	0.52	4.07	5 W 10 C	0.97	5.38	11 W 10 C	1.02	11.05
4 W 7 C	0.68	3.60	8 W 2 C	0.15	7.45			
4 W 10 C	1.02	4.00	8 W 3 C	0.28	7.90			

II. 變態點の變化

タングステン鋼に於て針狀地鐵が現はれるのは變態點が600°以下に降下したる場合であることは、



既に前論文に於て指摘した所である。而して變態點の降下は種々の條件に由て異なる、即最高加熱溫度、冷却速度、又は其組成に由て影響せられるものである、因て此等の諸條件を變化して其變態點の降下を觀察し、針狀地鐵生成の條件を研究したのである、而して其變態點の降下は熱膨脹の變化に由て研究した。

試料はすべて徑 5 mm 長さ 15~18cm の圓棒となし、常に當教室に於て使用せる熱膨脹計に依て測定した。最高溫度は 900°—1,000° 及 1,100° の 3 種に變化し、冷却速度は爐中冷却及空中冷却の 2 種類とした、第 1 圖は此 2 種の種類を圖示したものである。

第 2 表

試料	最高溫度(°C)	A'r <sub>3</sub>	A'r <sub>1</sub>	A'r'' <sub>3-1</sub>
0.25% 炭素鋼	1,100 爐冷	740	630	—
	900 空冷	670	550	—
	1,000 "	640	510	—
	1,100 "	620	500	—
0.75% 炭素鋼	1,100 爐冷	665	630	—
	900 空冷	—	570—500	—
	1,000 "	—	560—500	A'r <sub>3-1</sub>
	1,100 "	—	560—500	—
1.15% 炭素鋼	1,100 爐冷	—	640—620	—
	900 空冷	—	570—520	—
	1,000 "	—	560—510	—
	1,100 "	—	"	—
2 W 2 C	1,000 爐冷	750	610	—
	1,100 "	740	600	550—500
	900 空冷	670	~600	~530
	1,000 "	~650	—	530—470
	1,100 "	—	—	530—420

2 W 4 C	1,000	爐冷	690	620	~500 x
	1,100	"	680	600	550-480
	900	空冷	620.....		500
	1,000	"	—	—	530-430
	1,100	"	—	—	510-420
2 W 6 C	900	爐冷	690	620	—
	1,000	"	665	600	~540-460
	1,100	"	—	—	550-460
	850	空冷	650	~580	510-450
	900	"	~620	—	510-450
	1,000	"	—	—	530-430
2 W 12 C	1,000	爐冷	—	640-610	—
	1,100	"	—	605-590	—
	900	空冷	—	—	530-430
	1,000	"	—	—	490-390
	1,100	"	—	—	460-390
4 W 3 C	1,000	爐冷	760	~600	~530-470
	1,100	"	750	~600	~530-450
	900	空冷	700	~600	~450 x
	1,000	"	~670 x	—	510-440
	1,100	"	—	—	510-430
4 W 5 C	900	爐冷	720	~610	—
	1,000	"	710	600	~500 x
	1,100	"	~680 x	—	520-430
	900	冷空	650.....		520
	1,000	"	—	—	500-410
	1,100	"	—	—	480-380
4 W 7 C	1,000	爐冷	700	~600	~510-470
	1,100	"	~651 x	—	510-430
	900	空冷	630	—	480
	1,000	"	—	—	490-380
	1,100	"	—	—	470-370
4 W 10 C	900	爐冷	660	610	—
	1,000	"	650	610	~500 x
	1,100	"	—	620-600	~500 x
	900	空冷	—	570-510	—
	1,000	"	—	—	470-380
4 W 13 C	1,100	"	—	—	450-350
	1,000	爐冷	—	660-620	—
	1,100	"	—	660-630	—
	900	空冷	—	580-540	—
4 W 13 C	1,000	"	—	550-520	—
	1,100	"	—	—	470-410 A''r

5 W 16C	1,100	爐冷	—		650—620	—
	900	空冷	—		610—560	—
	1,000	"	—		590—550	—
	1,100	"	—		520—480	—
7 W 2 C	1,000	爐冷	810		~650	~500 x
	1,100	"	800		~650	~450 x
	900	空冷	~750	x	~600	—
	1,000	"	750		600	~450 x
	1,100	"	—		—	500—430
5 W 3 C	900	爐冷	780		650	—
	1,000	"	770		650	~500 x
	1,100	"	~750		650	510—430
	900	空冷	720		600	~450
	1,000	"	~700	x	—	490—380
	1,100	"	—		—	470—360
5 W 8 C	1,000	爐冷	710		620	~500 x
	1,100	"	700		~600	x ~500—430
	900	空冷	650		560	~450 x
	1,000	"	~630	x	—	470—380
5 W 10C	1,100	"	—		—	450—330
	1,000	爐冷	670		610	—
	1,100	"	650		600	~500 x
	900	空冷	—		600—500	—
	1,000	"	~630	x	—	460—370
8 W 2 C	1,100	"	—		—	440—330
	1,000	爐冷	860		—	—
	1,100	"	850		—	~500 x
	900	空冷	~800		—	—
	1,000	"	~800		—	~450 x
8 W 3 C	1,100	"	~800		—	450—350
	1,000	爐冷	810		680	—
	1,100	"	800		650	~500 x
	900	空冷	760		~600	~450 x
	1,000	"	760		—	~450—350 x
8 W 5 C	1,100	"	~730		—	430—360
	1,000	爐冷	790		650	—
	1,100	"	780		650	500—430
	900	空冷	760		~600	—
	1,000	"	740		—	440—350
8 W 10C	1,100	"	~650		—	430—350
	1,000	爐冷	700		620	—
	1,100	"	670		~600	~500 x
8 W 10C	900	空冷	640		~550	~450 x

8 W 14C	1,000	空冷	—	—	450—350
	1,100	〃	—	—	420—330
	1,100	爐冷	—	655—640	—
	900	空冷	—	580—520	—
	1,000	〃	—	550—520	—
12W 2 C	1,100	〃	—	520—470	—
	1,100	爐冷	860	—	~500 ×
	900	空冷	不明	—	~550 ×
	1,000	〃	~800	—	~430
	1,100	〃	780	—	430—390
12W 8 C	1,000	爐冷	750	~630	~500 ×
	1,100	〃	750	~630	~500 ×
	900	空冷	700	~600	~450 ×
	1,000	〃	700	—	~460—370
	1,100	〃	~670	—	440—360
11W 10C	1,000	爐冷	750	~600	—
	1,100	〃	730	~600	~500—420 ×
	900	空冷	690	~580	~450 ×
	1,000	〃	680	—	450—400
	1,100	〃	~670	—	440—350

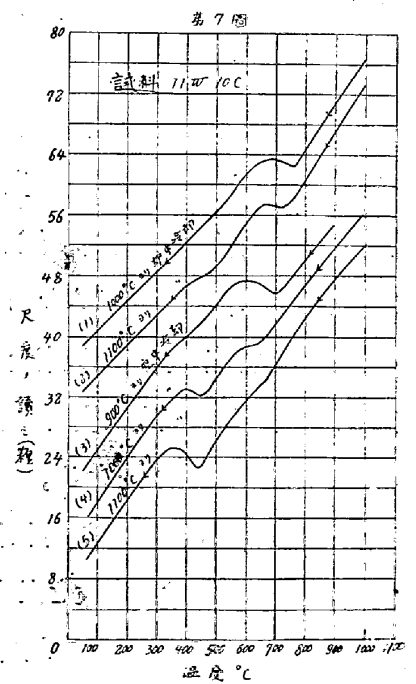
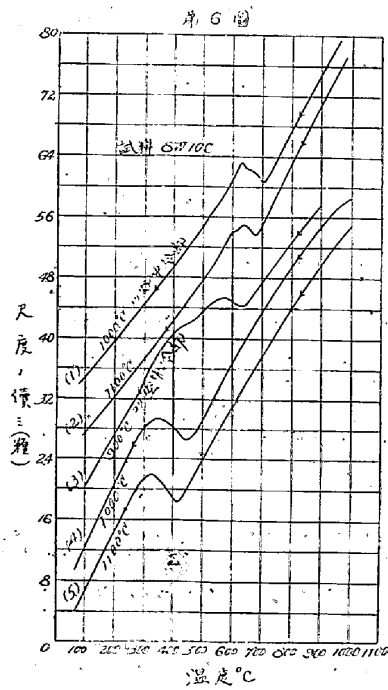
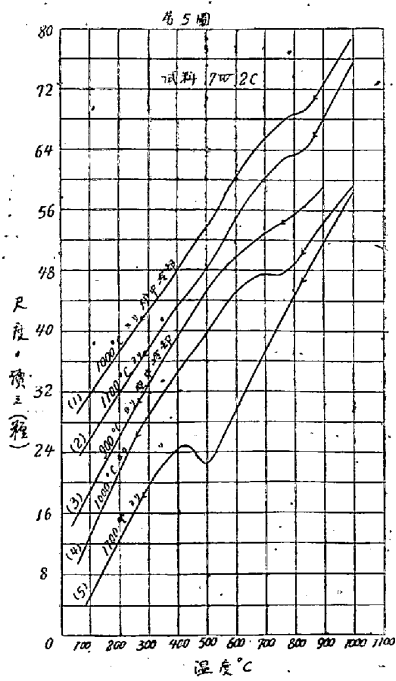
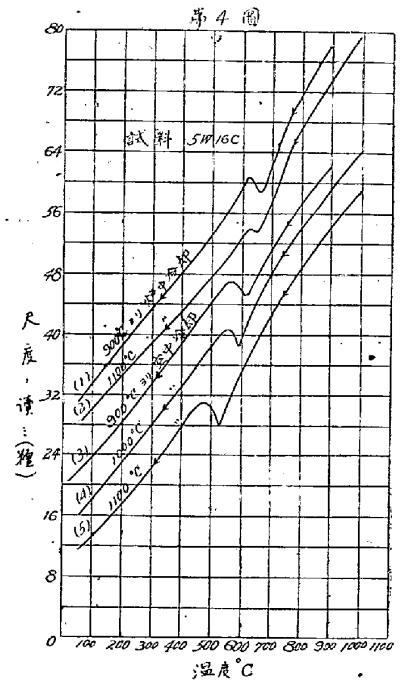
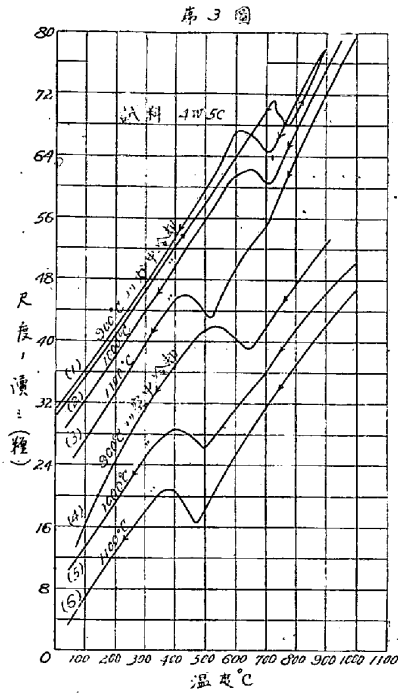
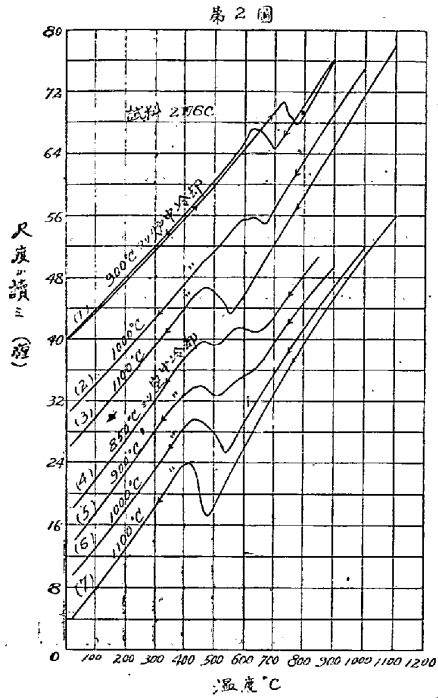
× 印は變態の痕跡を示す。

又試料はすべて各最高温度に達した後20分間放置して冷却した。空中冷却の場合は冷却速度が稍速であるため、試料の大部分と其一端に接した熱電對の熱接點とは同一温度で冷却することは出来ない、ために冷却曲線上に現はれた變態點は實際の値よりも多少異なるものと考へられる、第2表は其測定結果を表示したもので、第2~7圖は其代表的冷却曲線を示したものである。

圖に於て縦軸は長さ按比例する所の尺度の讀みで、横軸は温度を表はす。又各曲線が重複するのを避けんがため、各曲線毎に尺度の零點を變じて表はした。又各曲線に於て現はるゝ所の異常膨脹は何れも  $Ar_2$  及  $Ar_1$  變態に歸因するものであるが、此等の試料はすべて三元系合金であるから、 $Ar_1$  變態も一定温度で完結せず或温度範圍に於て進行するにより、 $Ar_2$  點と  $A'r_1$  點とを區別することは困難である、因て第2表に於ては唯其の温度を比較するため變態の始點を  $A'r_2$  とし終點を  $A'r_1$  點として表はした。又下降したる變態は夫々"を附して表した。

(a) 最高加熱温度の影響

第2~7圖に於て各試料を種々の最高温度より同一速度で冷却した曲線を比較するときは、よくその影響を知ることが出来る、爐中冷却の場合に於ては最高加熱温度  $900^\circ$  以下なるときは、 $Ar_2$  及  $A'r_1$  變態は共に通常の温度( $700^\circ$  以上)に於て起るが、加熱温度を上昇するときは此等變態の一部降下し二段變態をなす、更に加熱温度が上昇するときは  $700^\circ$  附近に起る變態は次第に減少し、下降變態  $A''r_{3-1}$  は増大する、而して或温度以上に熱するときは全部降下して  $A''r_{3-1}$  變態のみとなる、此等の事實は前



論文に於て磁氣分析に由て得たる結果とよく一致す、而して其變態の下降が現はるべき最高加熱溫度並に全く下降すべき溫度は此等の圖に由て知られる如く、各試料の組成及冷却速度に由て異なるものである。

### (b) 冷却速度の影響

第2~7圖に於て空中冷却の場合と爐中冷却の場合とを比較するときは、よく其影響を知ることが出来る、即ち空中冷却の場合に於ては爐中冷却の場合よりも變態點の降下著しく、冷却速度大なるときは變態の下降を起すべき最高加熱溫度低く、冷却速度遅ければ變態の降下しないやうな溫度より冷却してもよく變態の降下を見るのである。併し油又は水中に焼入するときは餘りに冷却速度大なれば、麻留田組織となり針狀地鐵を生ぜない。(次節参照)

### (c) 組成の影響

變態點の降下に及ぼす組成の影響も亦頗る大なるもので、炭素及タングステンの含量が異なるに從て變態點の降下も異なる。

(i) 炭素量一定でタングステン量の異なる場合、第8~13圖は炭素量約一定でタングステン含量の異なる各種の鋼を  $1,100^{\circ}$  より空中及爐中冷却した場合の冷却曲線で、タングステンに由る變態點下降の影響を示したものである。之に由て見れば (i) タングステンの増加と共に  $Ar_3$  變態の量を増し又其溫度が高くなる。

(ii) タングステンの増加と共に  $Ar_1$  變態の量を減ずる。

(iii) 全く下降した變態點  $A''_{r_{3-1}}$  はタングステン量約 8% まではタングステンを増すと共に低下する、更にタングステンを増すときは變態の溫度は變らないが、完全下降は起り難くなる、即ち更に高き加熱溫度と更に大なる冷却速度を要する。

(2) タングステン量一定で炭素量の異なる場合、第14~19圖はタングステン含量一定で炭素含量異なる種々の鋼を空中冷却及爐中冷却した場合の冷却曲線を示す、之に由て見れば (i) 亞共析鋼に於ては炭素量の増加と共に  $A''_{r_{3-1}}$  變態の量を増し、且其の溫度も低くなる。

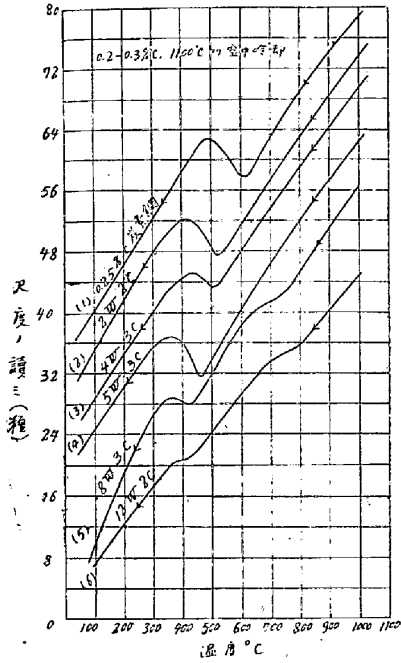
(ii) 過共析鋼に於ては炭素量を増すに從て變態の降下は起り難くなる。(iii)  $Ar_{3-1}$  變態を下降せしむべき最高加熱溫度は炭素量を増すに從て上昇する。併し低炭素鋼に於ては炭素量を減ずるに從て  $Ar_3$  變態の降下困難となる。

第20圖は  $1,100^{\circ}$  より空中冷却したる場合に於て變態の降下を起すべき組成範圍を示すものである。圖に於て縦軸は炭素量を表はし横軸はタングステン量を表はす、又●印は完全に變態の降下するものゝ組成を示し、○印は二段變態をなすもの、×印は變態の降下せざるものの組成を示す。

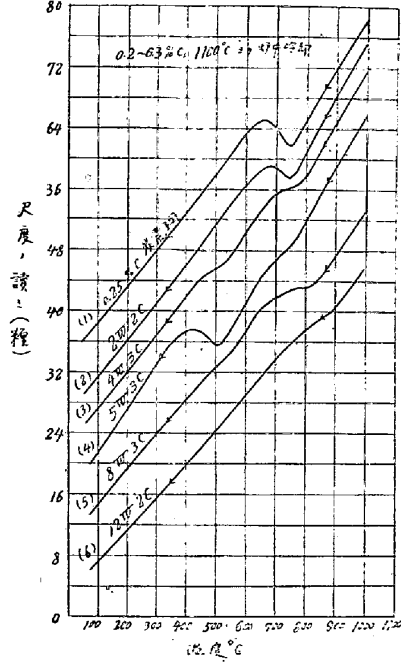
之に由て見れば  $1,100^{\circ}$  より空中冷却に由て變態點の完全に降下するのは、タングステン含量 8% 以下、炭素含量 1.2% 以下のもので變態點の一部降下するものは猶高タングステン高炭素の範圍に擴がる、但し又タングステン含量 1% 以下なるときは完全降下は起り難いに由て、完全降下を起すべき組



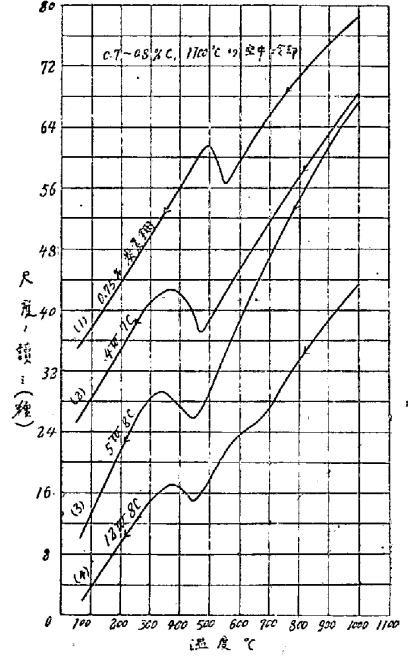
第8圖



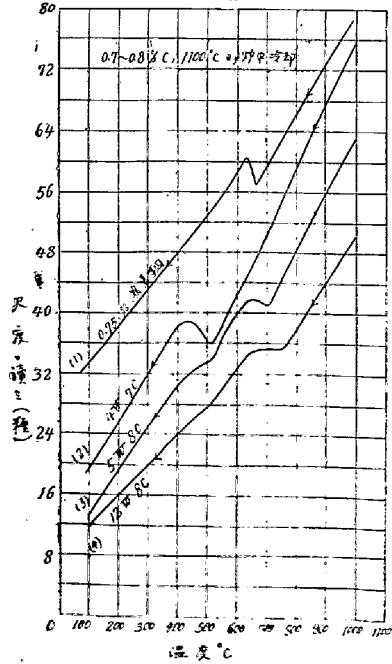
第9圖



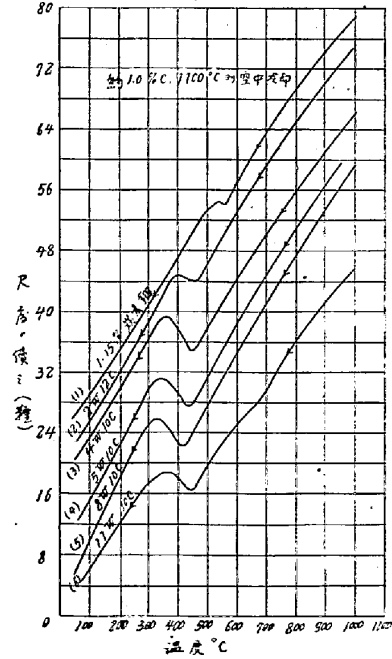
第10圖



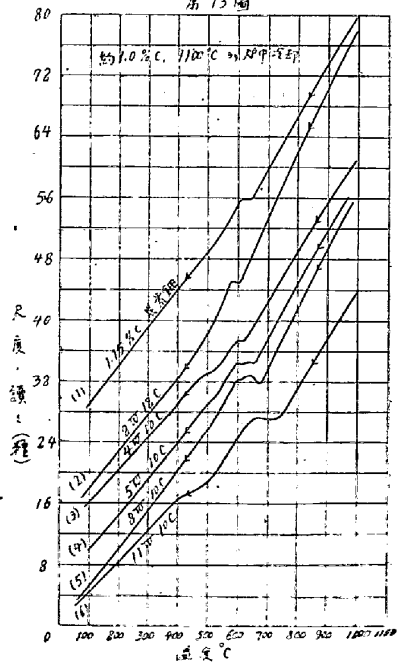
第11圖



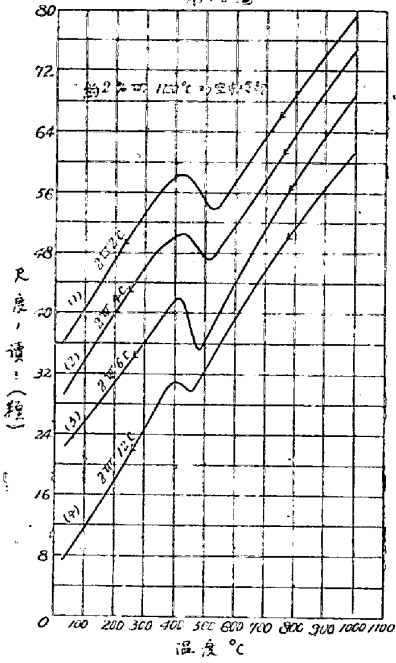
第12圖



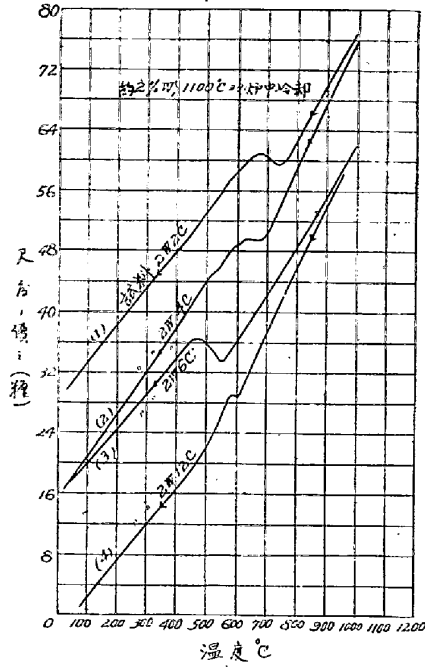
第13圖



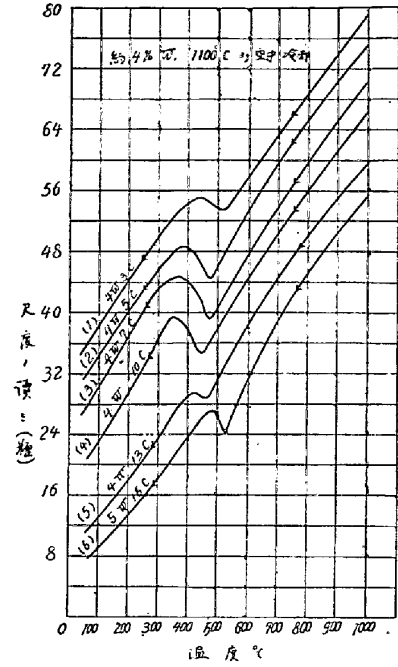
第14圖



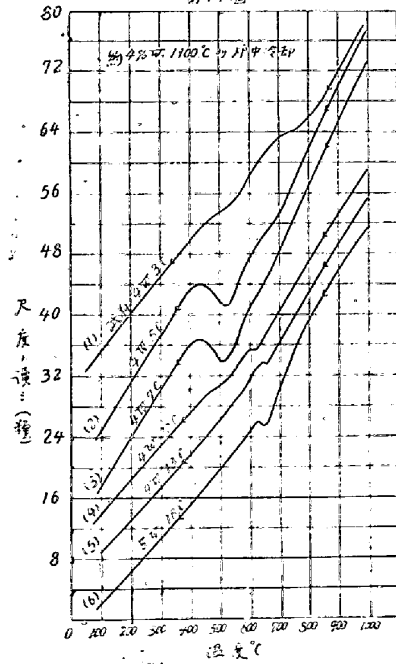
第15圖



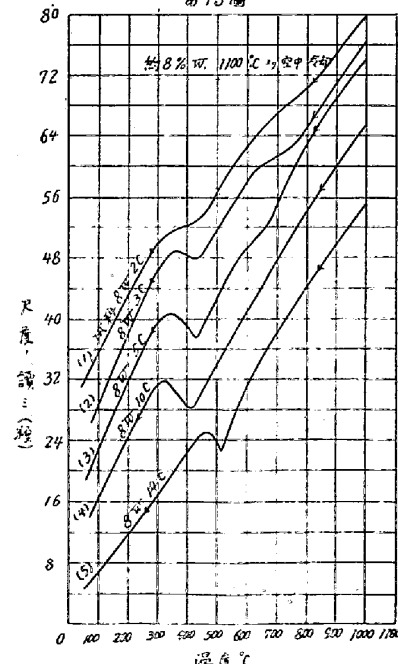
第16圖



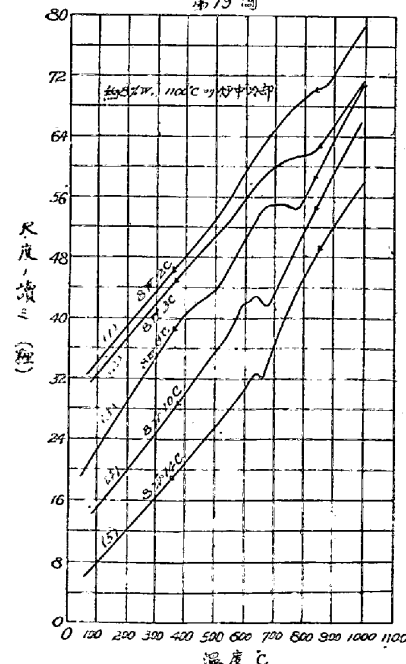
第17圖



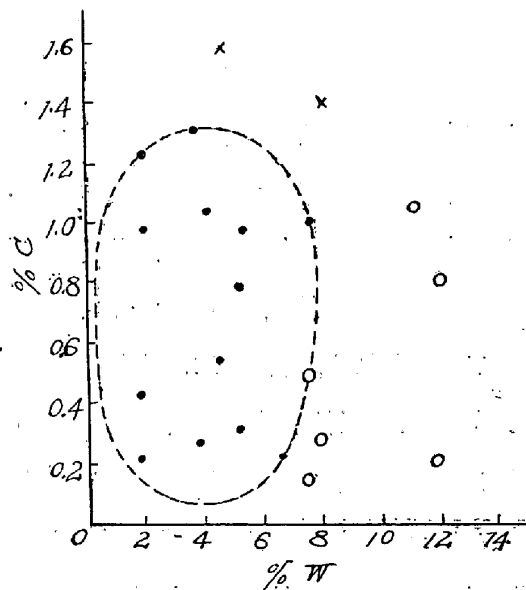
第18圖



第19圖



第20圖



成範圍は圖の如くなるのである、而して最高加熱溫度低きか又は冷却速度が遅いときは變態點の降下する組成範圍は一層狭くなるのである。

### III. 顯微鏡組織の變化

此の如くタングステン鋼は其の組成、冷却速度及加熱最高溫度に由て變態點が變化するものであるが、更に之に伴ふ顯微鏡組織の變化を研究するため、前記の各測定後一々其の組織を檢鏡し、又或種の鋼に就いては冷却の途中に於て焼入して其の變化を研究した。

寫眞 No. 1~3 は試料 4W5C を最高溫度 900°—1,000° 及 1,100° より爐中冷却したもので、夫々第3圖曲線 (1)(2),(3) に相當するものである。900° より冷

却したものは炭素鋼の標準組織の如く粒狀地鐵と波來土より成るが、1,000° より冷却したものは粒狀地鐵と針狀地鐵を有し、1,100° より冷却したものは大部分針狀地鐵より成る、且其の大きさは最高溫度の上昇に從て増大することが見られる。

之を第(3)圖曲線 (1),(2),(3) と對照するときは冷却曲線上 700° 附近に變態點を有するものは普通の粒狀地鐵を有し、變態點の降下せるものは針狀地鐵となり、一部分降下せるものは兩種の地鐵を有することが知られる。

同様の關係は實驗したすべての鋼について見られるのであつて、其の地鐵の大きさは最高溫度によるの外又其冷却速度及組成に由て異なるのである、冷却速度が増すときは次第に析出する所の地鐵の大きさを減じ、且其形態は次第に麻留田に近似して來る、寫眞 No. 4—5 及 6 は同一試料を空中冷却した

もので、寫眞 No. 1~3の各同一溫度より冷却したものと比較すると地鐵の大きさの小さいことが知られる。

又組成の影響を見るにタングステン及炭素の含量が増すに従ひ次第に地鐵の大きさを減じ、タングステン含量 10 % 以上に達するときは、粒狀複炭化物を析出し、組織は一層微細となる。又炭素量増加して共析組成を超過するときは、 $Fe_3C$  が網狀又は針狀となつて析出する、寫眞 No. 7~14 を比較すれば此等の變化を知ることが出来る。即此等は何れも 1,100° より空中冷却したものであるが、タングステン及炭素含量共に少いものは寫眞 No. 7 の如く大なる針狀地鐵を有するが、兩者の含量増加するときは寫眞 No. 8, 9, 10 の如く地鐵の大きさを減ずる、而して茲に寫眞 No. 9 及 10 は炭素量 0.97 % も含有するに拘らず猶多量の針狀地鐵を有することは注意すべき點である。又寫眞 No. 11~13 は初析セメントイトの析出せるもの、寫眞 No. 14 は複炭化物の析出せるものを示す。

次に針狀地鐵の生成溫度を知るために種々の試料を徑 5mm 長さ 1.5cm の大きさに切り、冷却後針狀

地鐵を生ずべき條件の下に冷却し、其の途中種々の温度より水中に焼入れ其の組織を研究した、但此際試料の酸化及脱炭を防ぐためすべて真空中に於て加熱し冷却した。寫眞 No. 15~19 は試料 2W 6C を 1,100° より爐中に於て冷却し其の途中種々の温度より焼入れたものである。600° 以上より焼入れたものは全部麻留田組織より成るが (寫眞 No. 15) 530° 以下より焼入れたものは針狀地鐵の析出せるを見る、(寫眞 No. 16~18) 而して其の量は焼入温度の降下と共に増加す、又 450° 以上より焼入れたものはすべて麻留田又は吐粒洲が存在する、又 450° 以上より焼入れたものは多量の針狀地鐵と吐粒洲より成るが (寫眞 No. 18) 之を常温まで冷却したるもの (寫眞 No. 19) と比較するときは、前者に於ける吐粒洲の部分には更に微細なる針狀地鐵が析出して居るのが見られる。之を第 2 圖曲線(3)と比較するときは針狀地鐵の生成と變態點との關係を知ることが出来る、即針狀地鐵は降下せる變態の初期より現はれ初め、温度膨脹曲線上異常膨脹の起る範圍に於て漸次に析出することが知られる。又寫眞 No. 19 に於て針狀地鐵間の腐蝕せられ易い部分は波來土組織と異なる。即波來土は地鐵及炭化物の同時に析出した共析晶であつて、初析地鐵とは其境界が明瞭に區別せられる、然るに此針狀地鐵間の腐蝕せられ易き部分は針狀地鐵との境界明瞭でない、大なる針狀地鐵より多くの細かき針狀地鐵が分岐し、麻留田の組織に近い外觀を呈する、是れ初めに生じた針狀地鐵はよく發達し、これより次第に細小なる針狀地鐵を分岐したもので、大なる針狀晶間の腐蝕せられ易い部分は、唯其小さき針狀晶と其の間に析出した炭化物と混在せるため、共析晶の如く一定の割合に於て兩成分が同時に析出したものではないと考へられる。

又寫眞 No. 20~24 は試料 2W 4C を 1,100° より爐中冷却の途中種々の温度で焼入れたもの、組織であつて此場合に於ては試料中の炭素含量が少いために粒狀地鐵が析出するのである、即 750° 以上に焼入れたものは全部麻留田であるが (寫眞 No. 20) 650° より焼入れたものには粒狀地鐵が現はれる、(寫眞 No. 21) 故に粒狀地鐵は此の温度範圍に於て析出したことが知られる、600° より焼入れたもの (寫眞 No. 22) は粒狀地鐵及麻留田並に吐粒洲 (黑色部分) が現はれて居るが粒狀地鐵の量には變化がない、530° 以下より焼入れたものには粒狀地鐵、麻留田及吐粒洲の外に針狀地鐵が現はれ、焼入温度が降るに従て其の量を増すこと前試料の場合と同様である。(寫眞 No. 23 及 24) 之を温度—膨脹曲線 (第 15 圖曲線(2)) と比較するときは、700° 及 600° 附近の異常膨脹は夫々粒狀地鐵及び吐粒洲の生成に歸因し、550° 以下の異常膨脹は針狀地鐵の生成に原因することが知られる、又其粒狀地鐵の發達は 700° 附近に止まり、針狀地鐵の生成範圍と連続せず全く離れたる温度範圍に於て生ずることが知られる。

#### IV. 針狀地鐵の組織と麻留田組織との異同

##### (a) 顯微鏡組織及硬度

地鐵の針狀に現はれたものは其組織頗る麻留田に類似するが、前者は後者に比し腐蝕劑に由て遙に容易に其組織が現はれる。即ち 5% ピクリン酸酒精溶液で腐蝕するときは、僅に 10~15 秒で明瞭に

組織が現はれる。蓋し容易に腐蝕せられる部分は針狀地鐵の間に於ける吐粒洲に相當するもので地鐵は容易に侵されないのである。之に反して麻留田は全部殆一樣なる固溶體より成るために、容易に其組織が現はれ難いのである。又 Hultgren は引掻硬度測定の結果、低タングステン鋼に於ける針狀地鐵は麻留田に比べると遙に軟で、粒狀地鐵と大差ないことを確かめて居る。併しタングステン及炭素含有量を増すときは、變態點の降下したる鋼の組織に於ける針狀晶と其の間の部分とは腐蝕度の差異少く、外觀甚だ麻留田組織に近いものとなる、又冷却速度を増すも同様の變化を見ること出来る。

冷却速度の影響を精細に研究するため、試料 4W5C を徑 1.5 cm, 長さ 2cm の圓柱に切り之を鹽化バリウム浴槽中に於て 1,100° に加熱し、種々の冷却速度を以て冷却し、其組織及ショア硬度の變化を見た。寫眞 No. 25~30 は其顯微鏡組織の變化を示し、第3表は其の硬度を示す、硬度數は各試料について 15 回の測定をなし、其平均値をとつたものである。

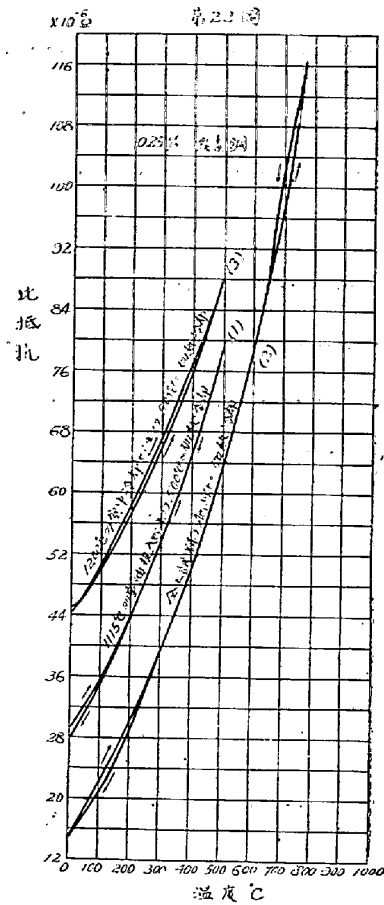
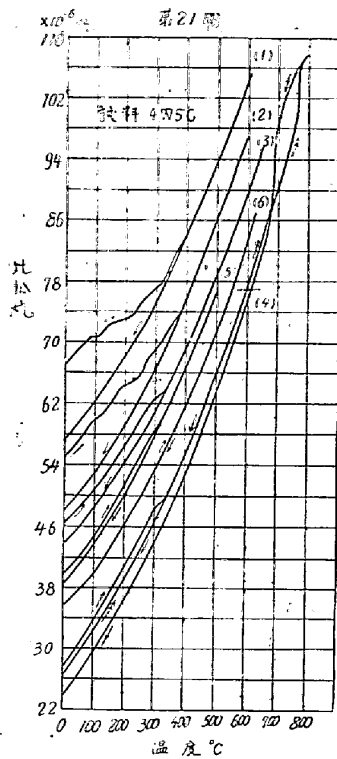
第 3 表

冷却方法	寫眞番號	硬 度	
		冷却後	550°C 焼戻後
200°C の重油に投入	—	48	45
300°C の重油に投入	No. 25	48	45
扇風器にて冷却	26	45	41
鞆にて冷却	27	38	32
空氣中に放冷	28	32	32
藁灰中に冷却	29	31	31
土中に冷却	30	28	28
900°より水中に焼入	—	57	36

寫眞 No. 25~30 に見る如く冷却速度の如何に由て、其組織は麻留田より針狀地鐵の組織に至るまで連続的に變化し、其間に急變する所がない、又第3表に見るが如く冷却速度が遅くなるに従て、冷却後の硬度も次第に減少し其間に特に劃然たる境界がない、又之を 550° に再熱するときは 900° より焼入したもの外は硬度の減少頗る小く又は全く減少を示さない。

(b) 焼戻に伴ふ電氣抵抗の變化

試料 4W5C に就て前と同様に種々の冷却速度で冷却したものを再熱し、焼戻に伴ふ電氣抵抗の變化を研究した、第21圖は其の加熱及冷却曲線を示す、曲線(1)は 1,100° より油中に焼入れたものを 600° まで加熱し冷却したる間に於ける抵抗の變化を示すもので加熱に際しては 300° 以下に於て三段の變化を示すが、400° 以上に於ては加熱及冷却曲線は全く合一する、是れ 400° に熱するときは焼戻されることを示すものである。曲線(2)は 1,100° より鞆を以て冷却したるもの即寫眞 No. 27 に相當する組織を有すもの、加熱及冷却曲線で、大體曲線(1)と類似して居るが再熱前後の抵抗の差が少い、是れ同一温度(600°)まで再熱しても焼戻される量が少いことを示すのである。又曲線(3)は 1,100° より空中冷却したもので寫眞 No. 28 に相當するもの、加熱及冷却曲線である。これには曲線(1)及(2)



に見るやうな200°以下に於ける抵抗の急變なく、唯300°附近に於て急變を見るのみである。曲線(4)は石英管中に入れて空中冷却したるものを600°まで加熱冷却し、再之を800°まで加熱冷却したる場合の曲線である。300°附近に於て加熱曲線上少しく抵抗の急變あること前者と同様であるが、冷却曲線に於て800°より冷却したるものは600°より冷却したるものよりも更に抵抗が減少して居ることは注意すべき點である。薬灰中にて冷却したるもの即寫眞 No. 29 に相當するものは曲線(5)に示す如く曲線(3)及(4)の場合に類似して居るが加熱前後の抵抗の差が一層少いことが知られる。又爐中冷却に由て更に緩冷したるもの即寫眞 No. 30 に相當するものは之を630°に再熱しても、曲線(6)に見る如く再熱の前後に於て抵抗の變化がない。

此等の結果を夫々其れに相當する顯微鏡組織と對照するときは、急冷して麻留田組織を示すものは加熱曲線上100°, 200°及び300°附近に抵抗の急變があるが、冷却速度を減ずるに従つて此等の變化を減じ、單に300°附近に一個の急變あるのみとなる、而して充分緩冷して大なる針狀地鐵を生じたものは加熱曲線上急變がない。

又再熱前後の顯微鏡組織を比較するときは、麻留田に近い組織のものは再熱後著しく腐蝕せられ易くなるが、大なる針狀地鐵となるに従ひ再熱後も變化少く、寫眞 No. 30 の如くよく針狀地鐵の發達せるものはAc<sub>1</sub>點以下の加熱に於ては全く組織の變化がないのである。併し之をAc<sub>1</sub>點以上に熱す

ると粒狀地鐵を有する標準組織となり、常溫に於ける電氣抵抗も更に減少する、前報告<sup>(1)</sup>に於て針狀地鐵を有するものは粒狀地鐵を有するものよりも磁氣の強さが小なること（同一試料に就て）を示したが、電氣抵抗の増大もよく之と一致するもので、其原因は粒狀地鐵と針狀地鐵とは其組成に於ても多少の差異があつて、針狀地鐵は麻留田に近く多少の炭素を固溶體として含有するものであらうと考へられる。

### (c) 炭素鋼に於ける針狀地鐵との差異

亞共析炭素鋼に於ても之を  $1,100^{\circ}$  以上の高溫度に熱して長く放置するときは地鐵は細長くなつて現はれる、(寫眞 No. 31)、殊に含有炭素量少きものを急冷するときは一層著しい、(寫眞 No. 32)、併し之を加熱及冷却し其間に起る電氣抵抗の變化を研究するときは、タングステン鋼の場合と異なり、加熱曲線上殆ど抵抗の急變がない、第 22 圖曲線は 0.25% 炭素鋼に就いて研究した結果である。又針狀地鐵を有するタングステン鋼の場合には、 $A_c1$  點以下の加熱に由ては抵抗の變化なくも、 $A_c1$  點以上に熱して冷却すると抵抗が減少したが、此場合には  $A_c1$  點以上に熱しても冷却後抵抗の變化がない、之に由て見れば炭素鋼に於ける針狀地鐵は標準組織に於ける粒狀地鐵と其組成の上に於て差異がなく、唯形態のみの變化に過ぎないが、タングステン鋼の場合に於ては、針狀地鐵と粒狀地鐵とは組成の上にも多少の差異あるものと考へられる。

## V. 針狀地鐵生成の機構

炭素鋼を焼入して生ずる麻留田組織はタングステン鋼に現はるゝ針狀地鐵の組織と其形態に於て頗る類似してゐる、又炭素鋼に於て麻留田は下降した變態點に於て生ずるが、亞共析タングステン鋼に於ても針狀地鐵は下降した變態點に於て生ずることも兩者よく類似せる所である。因て著者等は此の針狀地鐵生成の機構を、炭素鋼に於ける麻留田組織生成の機構<sup>(2)</sup>と同様に、組織成分の析出速度が過冷の度に由つて異なることを假定し、次の如く考へるのである。

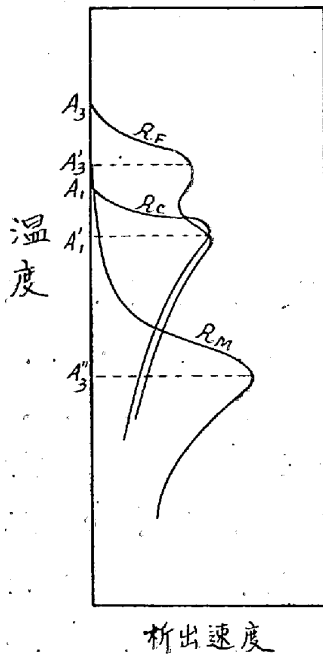
第 23 圖は亞共析タングステン鋼について各組織成分の析出溫度と析出速度との關係を示す曲線である、縦軸は各組織成分の析出溫度、横軸は其析出速度<sup>(3)</sup>を示す、曲線  $R_F$ ,  $R_C$  及  $R_M$  は夫々地鐵、炭化物及麻留田(炭化物を溶解せる $\alpha$ -鐵)の析出速度曲線である。何れも  $A_2$  又は  $A_1$  點より過冷して析出溫度が降るに従ひ次第に其の析出速度を増し、或點に於て最大に達し、更に溫度が降るときは漸次其析出速度を減少する。而して曲線  $R_F$  に於ては其の最大析出速度が  $A'_2$  と  $A'_1$  との 2ヶ所にあるのは 1 は初析地鐵、1 は共析地鐵の析出に歸因するものである。又  $R_F$  と  $R_C$  の最大が共に  $A'_1$  點附近に存在するのは、此附近に於て地鐵及炭化物が同時に析出し易きことを示す、又大洲田より麻留田の

(1) 本多, 村上前掲

(2) 金屬の研究 第3卷第9號 422.

(3) 茲に析出速度といふのは結晶核の生成速度と、結晶析出の線速度 (Linear velocity) との合成結果による析出速度を意味するのである。

第23圖



析出する速度は  $A_1'$  點以上に於ては非常に小さいが、それより温度が降るに従ひ次第に増加し  $A_1''$  點に於て最大に達する、而して其の時の速度は地鐵及炭化物の最大値よりも一層大きいと考へられる。勿論此等の析出速度曲線は定性的關係を示すもので、其實際の温度及速度は、鋼の組成、冷却速度及加熱最高温度等に由て異なるのである。

今鋼を  $A_3$  點以上より徐々に冷却するときは、初析地鐵は  $A_3$  點に於て析出し初め、 $A_1$  點に於ては同時に地鐵及炭化物を析出して共析晶 (Eutectoid) をつくるが、冷却速度を増すか又は加熱温度を高くするときは、冷却に際して過冷を起し、過冷の度を増すに従て初析地鐵の析出温度は次第に降下し、それに従て析出速度を増すが、 $A_1'$  點以下に過冷するときは却て其速度減少する。又共析晶も其析出温度が  $A_1$  點より降るに従て次第に其析出速度を増すが、 $A_1'$  點以下に過冷するときは却て其速度を減少する。此等の關係は曲線  $R_F$  及  $R_C$  に由て表はされる。

故に若し過冷著しく析出温度  $A_1'$  以下に達するときは、大洲田より地鐵及炭化物の析出は充分に起らないで更に温度が降下し、 $500^\circ$  以下に達するときは  $R_M$  曲線の示すが如く、大洲田より麻留田 (炭素を溶解せる  $\alpha$ -鐵) の析出速度が急に増大するに由て、茲に麻留田を析出するに至る、而して過冷の度を増すに従て地鐵及炭化物の析出は起り難くなり、之に反して麻留田の析出は容易に起り得ることとなる。所で焼入の場合の如く冷却速度速なるときは、其の儘麻留田を常溫に持來すことが出来るけれども、此温度 ( $A_3''$ ) 附近の冷却速度速ならざるときは、麻留田は直に炭化物を析出して地鐵又は吐粒洲に變ずる、而して此際麻留田の析出は大洲田の劈開面に沿うて起り、それより炭化物を析出するに由て生ずる地鐵は針狀を呈するのである。

此の如く考へるときはタングステン鋼に現はるゝ種々の現象をよく説明することが出来る。例へば

(1) 麻留田組織と針狀地鐵の組織とが其形態類似して居るのは、其生成の機構が同様であつて、強き過冷状態より急に析出するため大洲田の劈開面に沿うて發達するためである。而して兩者は唯炭素の溶解量が異なると考へられる。前にも説明した如く此兩者は其硬度に於ても又焼戻效果に於ても連續的であつて、其間に明かなる境異はない、著しく過冷して  $A_3''$  點附近に達し、其の温度附近の冷却速度が遅いときは麻留田に變じて後直に溶解せる炭化物を析出して針狀地鐵に變ずるが、其附近の冷却速度が速なるときは、炭化物を析出すること能はずして常溫に達する、故に其冷却速度の如何に由て、炭化物を析出する程度が異なり、針狀地鐵と麻留田との中間組織のものを生ずるのである。

(2) 普通の亞共析炭素鋼に於ても高温度に熱するときは、地鐵細長となり又は針狀となつて現はれる事は前にも述べた所である。併し此場合に於ける針狀地鐵と、亞共析タングステン鋼に現はれる針



狀地鐵とは、其生成の溫度及生成の機構が異なる。炭素鋼に於て現はるゝものは高溫度に熱せられて大洲田粒が大きくなつたために、地鐵は  $A_3$  乃至  $A'_3$  點に達して析出する場合に、粒の境界より發達し難く、劈開面に沿うて現はれたものであつて、タングステン鋼に於ける針狀地鐵の如く著しく過冷して、麻留田となり次で針狀地鐵となつたものではないのである、故に前者に於ては初析晶(地鐵)と共析晶(波來土)との境界明瞭であるが(寫眞 No. 31)、後者に於ては初析晶と共析晶との區別は明でない、又低炭素鋼を油中に焼入して生ずる針狀地鐵(寫眞 No. 32)は其形態はタングステン鋼に於ける針狀地鐵と一層よく似て居るが、之を  $A_{C_1}$  點以上に再熱しても電氣抵抗の變化はなく(第 22 圖曲線(2))、從て組成に於ても粒狀のものと同様であると考へられる、併しタングステン鋼の針狀地鐵は  $A_{C_1}$  點以上に熱すると冷却後電氣抵抗を減ずるにより猶多少の炭素を溶解せるものと考へられる。

(3) 或條件の下に冷却するときは二段變態の起る理由も炭素鋼の焼入に際して起る二段變態と同様に考へることが出来る、今亞共析タングステン鋼を高溫度より充分徐々に冷却するときは、初析地鐵は  $A_3$  點より析出を初め、 $A_1$  點に於て地鐵及炭化物が同時に析出するが、冷却速度を増すか又は最高加熱溫度を高くするときは、過冷を起し、過冷の度を増すに從て此等の析出溫度は次第に降下し、析出速度は急速に増加す、併し或程度以上過冷せしむるときは、析出速度最大なる溫度  $A'_3$  及  $A'_1$  點以下に達して析出し初むるに由て、却て其析出速度を減じ、大洲田は全部變化し終らないで溫度が降下し、 $A''_3$  點に達すれば大洲田は麻留田に變化し直に炭化物を析出して針狀地鐵に變ずるに由て、二段變態を起すのである。第 7 圖に見る如く二段變態の起る場合に於ては其兩變態の起る溫度は常に殆ど一定で、唯兩變態の量が冷却の狀況に由て異なるのみであるが、其の理由は此等の變化は、其の變化の速度の最大なる溫度附近に於て最起り易いからである。

(4) 變態點降下の難易は試料の組成に由ることは前に述べた所である、而して其の炭素量一定なるときはタングステンを増すに從つて變態點の降下困難となるのは、タングステンを増すに從つて  $R_F$  及  $R_C$  曲線に於ける最大析出速度が大きくなるによる。又タングステン量一定なるときは或程度までは炭素量を増すに從て變態點の降下容易となるが、更に炭素を増すときは漸次困難となる、其の理由は低炭素鋼に於ては炭素を増すに從て  $A_3$  變態點が降下し、且其初析地鐵の量を減ずるに由て  $A'_3$  點も降下し其最大析出速度も減少するにより、共析變態と合してその析出が阻止せられ易くなる、し更に炭素量を増し初析炭化物が現はれるやうな組成のものになると、その析出速度が増し、共析點に於ても炭化物の析出速度大となるため變態の下降困難となるのである。

(5) タングステン鋼に於ける針狀地鐵は炭素量高きものにも現はれる、(寫眞 No. 9, 10等) 若しこれが初析晶であるならば、共析鋼又は過共析鋼には現はれない筈である。併し前に述べたる如く針狀地鐵は初析晶でなく、著しく過冷したる大洲田より麻留田即炭素を溶解せる  $\alpha$ -鐵が析出し、直に炭化物を析出して生じたものであるから、共析鋼に於ても又過共析鋼に於ても、 $A_1$  變態が阻止せられるやうな條件の下に冷却するならば常に針狀地鐵を生ずるのである。

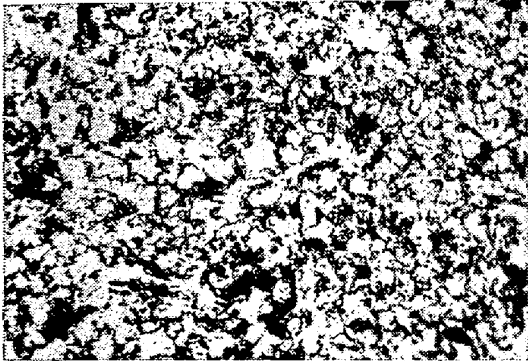
(6) 磁氣分析の結果によれば <sup>(1)</sup>700° 附近に於て  $A_1$  變態を起したものは、 $4Fe_3C \cdot WC$  なる複炭化物を有し、400° に於て磁氣變態を示すが、變態點の下降したものに於ては其の變化なく、200° に於て  $Fe_3C$  の磁氣變態を示す、其理由は炭化物  $Fe_3C$  と  $WC$  とは其析出速度が異なることを假定して説明することが出来る、即複炭化物  $4Fe_3C \cdot WC$  は  $A_1$  點以上に熱すると大洲田に溶解するが、冷却に際して其れより炭化物の析出は冷却狀況に由て異なり  $Fe_3C$  は析出し易いに反し、 $WC$  は過冷を起して析出し難く、又兩者の析出速度の最大は  $A_1$  點附近に在るが、更に過冷を増すときは  $WC$  は  $Fe_3C$  よりも其析出速度が急に減退し、析出し難くなると考へられる。故に過冷の著しくないときは、大洲田中より析出するに際し兩炭化物は、 $A_1$  點に於て容易に結合して複炭化物を生ずるにより400° の變化を示すが、加熱温度高きか又は冷却速度速で著しく過冷した場合には  $A_2$  點に達して麻留田を生じ、炭素の大部分はそれより  $Fe_3C$  として容易に析出するが  $WC$  は殆ど析出することなく冷却するにより、400° の變化なく  $Fe_3C$  に因る 200° の變化のみを示すのである。又タングステン及炭素の共に高い鋼は最高加熱温度を高くしても、容易に變態點の降下を見ないのは  $WC$  の量多く高温度に於ても完全に大洲田に溶解し得ない  $WC$  が存在するため、冷却に際して  $WC$  が析出し易く過冷し難いためと考へられる。

## VI. 概 括

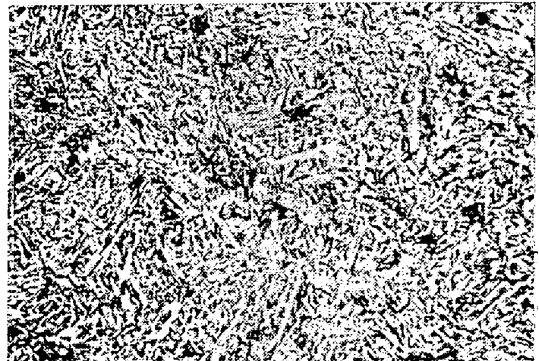
1. 熱膨脹の變化に由てタングステン鋼の種々の熱處理による變態點の變化を研究し、最高加熱温度高き程、又冷却速度大なる程變態點の下降著しきことを確かめ、又試料の組成即タングステン及炭素含量の如何に由て變態點の下降する條件を決定した。
2. 顯微鏡組織の變化を研究し、粒狀地鐵は冷却の際700°以上に於て生じ、針狀地鐵は500°以下に下降した變態點に於て現はれることを確かめ、又組成及冷却速度が組織の變化に及ぼす影響を明にした。
3. 種々の速度で冷却したるものについて顯微鏡組織、硬度、焼鈍による電氣抵抗の變化を研究し、タングステン鋼に於ける麻留田と針狀地鐵とは、其變化連続的であつて其間に劃然たる境界がないことを證明した。
4. 過熱炭素鋼に於ける針狀地鐵とタングステン鋼に於ける針狀地鐵との性質及生成條件の差異を決定した。
5. 各組織成分が過冷に由て夫々其析出速度が異なることを假定して、タングステン鋼に於ける針狀地鐵生成の機構に就いての一知見を提出し、之に由て種々の現象を説明した。

# 顯 微 鏡 寫 眞

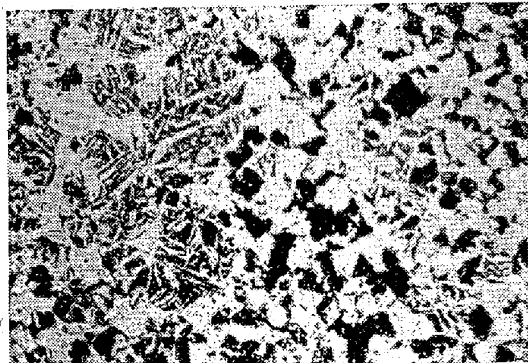
(5%ピクリン酸酒精溶液にて腐蝕)



No. 1 試料 4 W 5 C ×250  
900°C より 爐中冷却



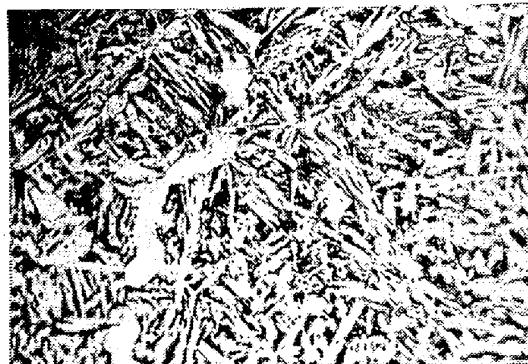
No. 5 試料 4 W 5 C ×250  
1,000°C より 空中冷却



No. 2 同上試料 ×250  
1,000°C より 爐中冷却



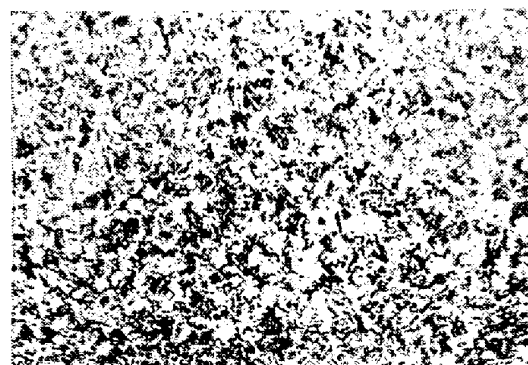
No. 6 同上試料 ×250  
1,100°C より 空中冷却



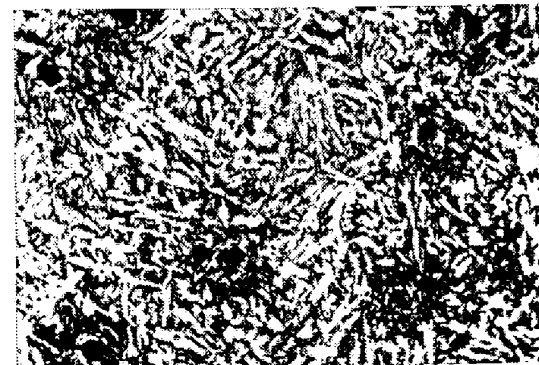
No. 3 同上試料 ×250  
1,100°C より 爐中冷却



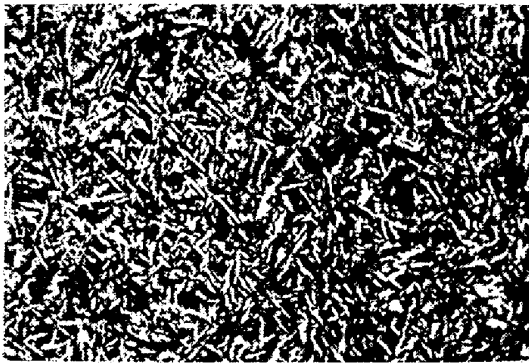
No. 7 試料 2 W 2 C ×400  
1,100°C より 空中冷却



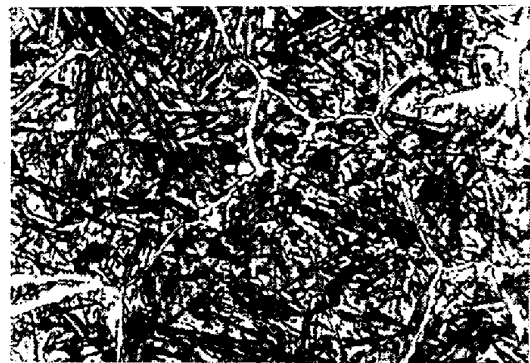
No. 4 同上試料 ×250  
900°C より 空中冷却



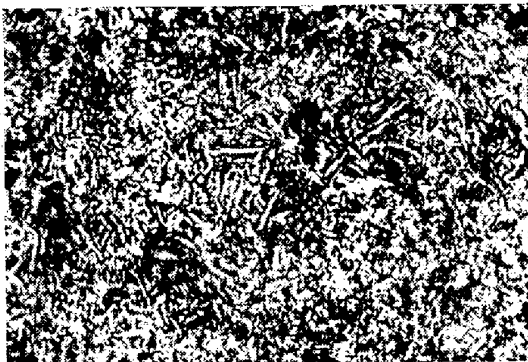
No. 8 試料 5 W 8 C ×400  
1,100°C より 空中冷却



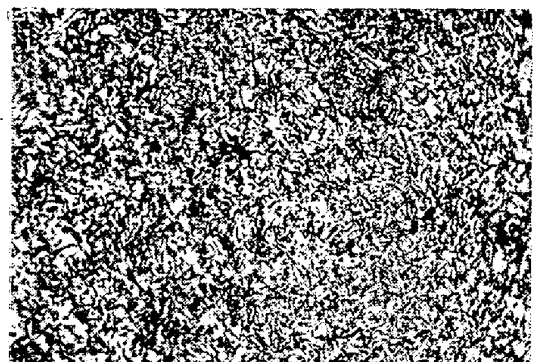
No. 9 試料 5 W 10 C      ×400  
1,100°C より空中冷却



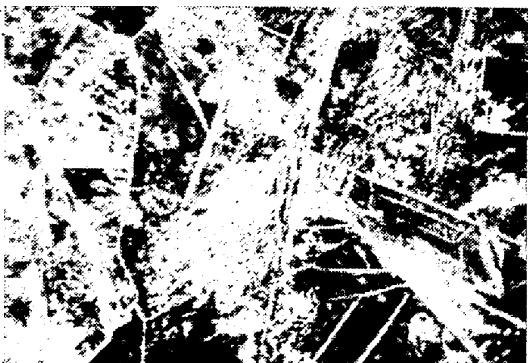
No. 13 試料 5 W 16 C      ×400  
1,100°C より空中冷却



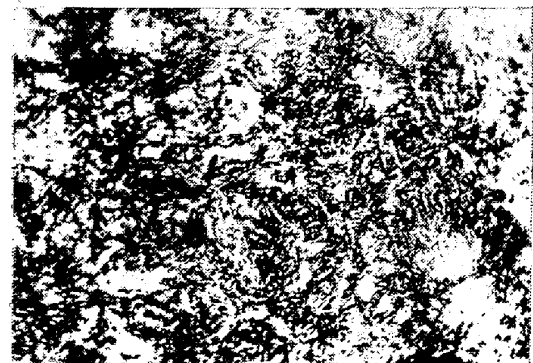
No. 10 試料 8 W 10 C      ×400  
1,100°C より空中冷却



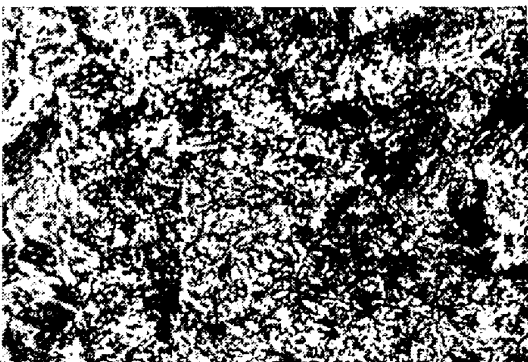
No. 14 試料 11 W 10 C      ×400  
1,100°C より空中冷却



No. 11 試料 2 W 12C      ×400  
1,100°C より空中冷却



No. 15 試料 2 W 6 C      ×200  
1,100°C より爐中冷却600°C で水中焼入



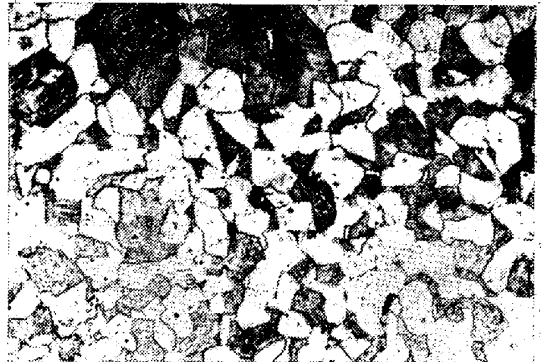
No. 12 試料 4 W 13 C      ×400  
1,100°C より空中冷却



No. 16 同上試料      ×200  
1,100°C より爐中冷却 530°C で水中焼入



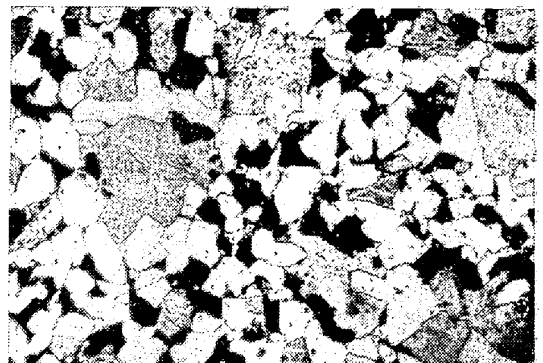
No. 17 試料 2 W 6 C ×200  
1,100°C より 爐中冷却 500°C で水中焼入



No. 21 同上試料 ×100  
1,100°C 爐中冷却 650°C で水中焼入



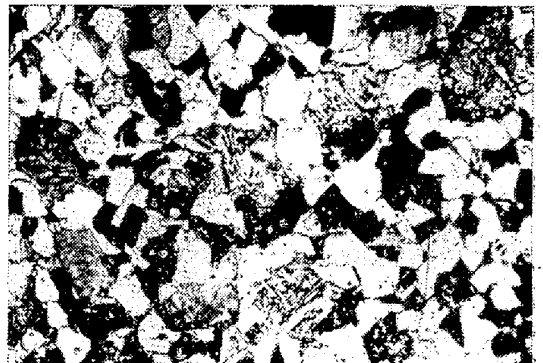
No. 18 同上試料 ×200  
1,100°C より 爐中冷却 450°C で水中焼入



No. 22 同上試料 ×100  
1,100°C 爐中冷却 600°C で水中焼入



No. 19 同上試料 ×300  
1,100°C より 爐中冷却



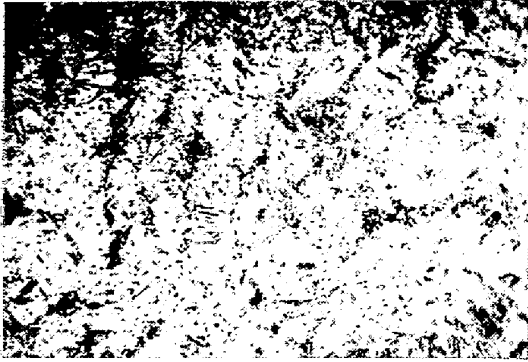
No. 23 同上試料 ×100  
1,100°C 爐中冷却 530°C で水中焼入



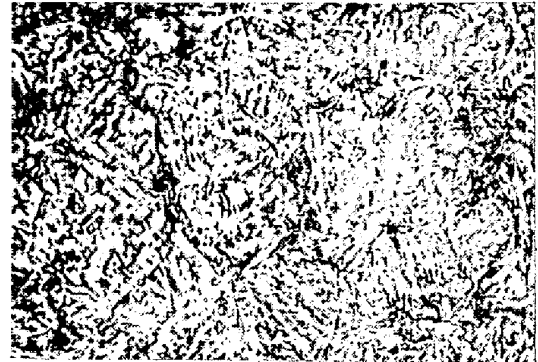
No. 20 試料 2 W 4 C ×100  
1,100°C 爐中冷却 750°C で水中焼入



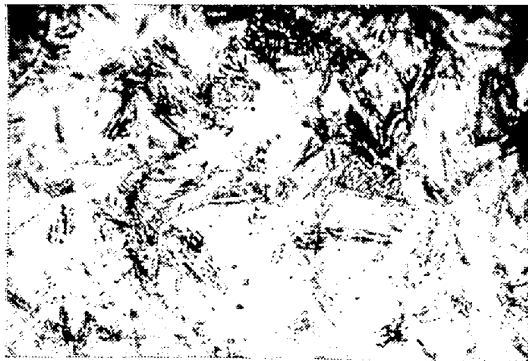
No. 24 同上試料 ×100  
1,100°C 爐中冷却 480°C で水中焼入



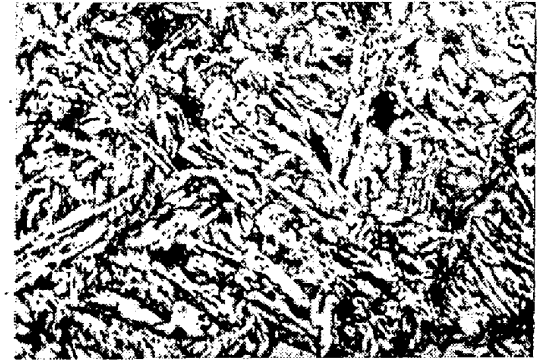
No. 25 試料 4 W 5 C ×300  
1,100°C より 300°C 重油に焼入



No. 29 試料 4 W 5 C ×300  
1,100°C より 墓灰中冷却



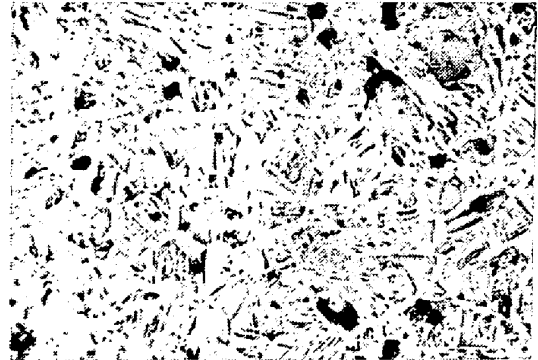
No. 26 同上試料 ×300  
1,100°C より 扇風器にて冷却



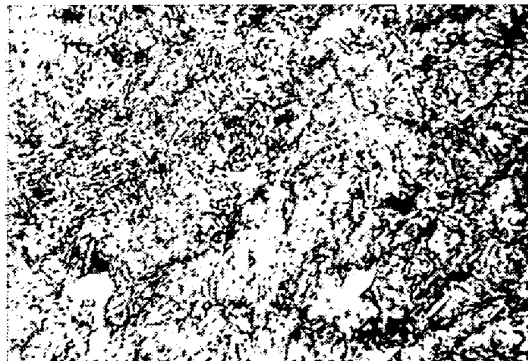
No. 30 同上試料 ×300  
1,100°C より 土中冷却



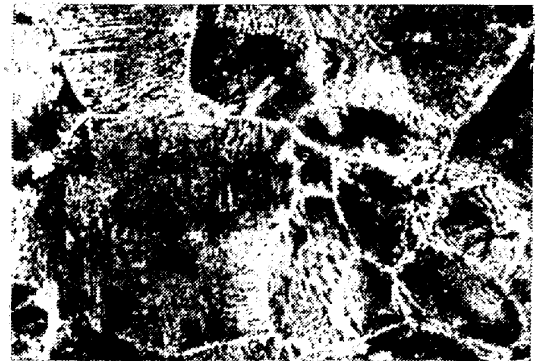
No. 27 同上試料 ×300  
1,100°C より 輪にて冷却



No. 31 0.25%炭素鋼 ×85  
1,200°C に 2 時間加熱し 空中放冷



No. 28 同上試料 ×300  
1,100°C より 空气中放冷



No. 32 0.25%炭素鋼 ×200  
1,100°C より 油中焼入