

昭和九年七月二十五日發行

論 說

鐵の機械的性質に及ぼすマンガンの影響に就て

(日本鐵鋼協會第 10 回講演大會講演)

嘉 村 平 八*

THE EFFECTS OF MANGANESE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF IRON.

Heihachi Kamura.

SYNOPSIS:—The specimens of manganese iron which contains up to 3.82% of manganese are made by the melted iron obtained from the sponge iron by hydrogen reduction with the metallic manganese in the market. Ten ingots of different manganese content are forged into the proper shape for the investigation. The measurement of electric conductivity, the mechanical testing and the microscopic investigation on the specimens were carried on as forged, annealed and quenched conditions.

The electric resistivity of the annealed sample increases 0.6 microhm by increasing 0.1% of Mn and that of the quenched sample is little higher than annealed ones. The tensile strength and the elastic limit gradually increase up to 2% Mn, proportionally to the manganese content and over 2%, the ratio of increase is remarkable. In the quenched sample, these increase is marked up to 2% Mn, over 2%, the rate of increase in tensile strength is reduced and the elastic limit decreases suddenly. The elongation and the reduction area decrease exceedingly up to 0.2% Mn, over 0.2% they do not show much decrease by increasing the manganese content and over 2.2% Mn show sudden decrease. In the quenched specimens the rapid decrease of the reduction area is recognized increasing manganese under 0.67% and by increasing more manganese there is not much change in elongation and reduction area. But there is shown sudden decrease from 2.8% to 3.8% Mn in which malleability can hardly be recognized.

The impact value is markedly reduced as the manganese content decreases. Especially in the annealed condition, this phenomenon is more marked, in 0.7% Mn it is 3 kg.-meter. Then as the manganese content increases it suddenly goes up and reaches maximum, 13 kg.-meter, in 2% Mn. Over this content of manganese it shows sudden decrease and in 3.8% there is almost no value in all conditions.

In the micro-scopic investigation, the structure of low manganese specimens in annealed condition consist all ferrite crystals. When the manganese content increases to about 2% some martensitic structure appears and in 3.8% manganese it changes completely to martensite. In the quenched condition, the martensitic structure appears already in 0.677% manganese and the structure becomes completely martensite in 2% manganese.

緒 言

Mn は製鋼作業に於て脱酸劑として使用せられ鋼の品質を害せざる程度の完全なる脱酸を行ふ爲めには鋼の中に或る一定量の残留を必要とし、鋼の成分規格として一定の Mn の含有を要求して居る。

鋼の物理的性質に及ぼす Mn の影響に就ては數多の研究

があり、鋼中の炭素量の増加に連れ其の影響が大なる事が認められ炭素 0.2~0.7% の鋼に於て Mn 0.1% の増加に依り抗張力約 2 kg/mm² を増し、伸張率 0.5~1.5% を減じ、硬度 (ブリネル) 3.6~12.6 を増加して居る。最近では此の Mn の著しき影響を研究して炭素の含有少く Mn の含有高き “D” quality steel (C 0.33, Si 0.12, Mn 1.1~1.4%) の如き極めて靱性に富む良鋼材が現はれて居る。所で鋼の場合に於ては炭素以外に色々の不純物の存在

* 明治専門學校

の爲め判然たる Mn の影響を知るに困難である。

鐵に及ぼす Mn の影響に就ては Guillet¹⁾, Arnold²⁾, の研究があり最近では英吉利の Hadfield³⁾ 氏の研究があるも炭素其他の不純物の多き試料に依れるが故に的確なる結果が得られて居ない。著者は不純物極めて少き鐵に金屬マンガンを加へて Mn 以外の不純物極めて少き試料を製造し其の物理的性質を研究した。

1. 試料 試験材料は水素還元法に依り製造せる還元鐵をタンマン爐にて熔解し得たる、次の如き成分の熔鐵に、金屬マンガンの適量を配合熔解して得たるものにして、市場に得らるゝ金屬マンガン中には Si , P 等の不純物を含有せる爲め熔融後の試料中には是等の不純物の僅少なる増加を免れず、且つ含有 Mn の高き試料中の炭素の含有が多少増加せるは、金屬マンガン中に少量の炭素の存在せる爲めなるべし。

熔鐵成分	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.01	0.03	0.02	0.013	0.008	0.04
金屬マンガン成分	Mn	Fe	Si	P		
	95.00	4.30	0.299	0.358		

試験に供せし試料分析は第1表に示せるが如くにして Mn の含有量 0.081% より 3.82% に及び炭素其他の不純物の含有僅少にして既往の研究に使用せられし試料に比し遙かに純度高きものなり。

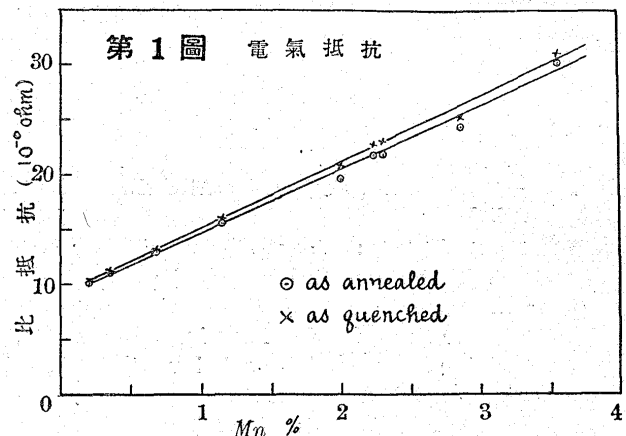
第1表 試料分析表 %

No.	C	Mn	Si	P	S
1	0.010	0.081	0.017	0.013	0.004
2	0.011	0.201	0.014	0.017	0.004
3	0.020	0.349	0.005	0.019	0.004
4	0.022	0.677	0.005	0.021	0.004
5	0.029	1.140	0.017	0.031	0.004
6	0.044	1.890	0.043	0.024	0.004
7	0.047	1.990	0.033	0.034	0.004
8	0.045	2.240	0.064	0.021	0.003
9	0.063	2.300	0.064	0.024	0.003
10	0.073	2.820	0.064	0.028	0.003
11	0.101	3.820	0.102	0.058	0.006

2. 電氣抵抗 前記試料の鍛鍊せる儘のもの、鍛鍊後 900°C にて焼鈍せるもの、及び 950°C より水中に焼入せるものに就て電氣抵抗の測定を行へる結果は、第2表に示せるが如くにして、鍛鍊後のもの、並に焼鈍後のものに於ては、殆んど變化なく僅かの相違を示し、焼入試料にては少しく増加し何れも電氣抵抗の増加は Mn の含有量に比例し、略ぼ直線的に現はされ焼鈍試料に於て Mn 0.1% の増加に依り、0.6 microhm の電氣抵抗の増加を示せり。

此の結果に依れば鐵中に於ける Si 0.1% の増加に依る電氣抵抗の増加 1.2 microhm, P の 0.1% 増加に依る電氣抵抗の増加 1.55 microhm に比し著しく少なく、 C の 0.1% 増加に依る電氣抵抗の増加 0.6 microhm に等しく、Hadfield⁴⁾ 氏の Mn 0.1% に對する電氣抵抗の増加 0.54 microhm に比し稍々高く、Yensen⁵⁾ 氏の 0.7 microhm に比し稍々低く、 Mn が鐵の電氣抵抗に及ぼす影響は炭素と略ぼ同様なる事を知るを得べし。

第1圖は含有 Mn の増加に伴ふ電氣抵抗の變化を焼鈍



後のもの並に焼入後のものに對し測定せる結果を圖示せるものなり。

第2表 電氣抵抗 10⁻⁶ ohm at 15°C

No.	Mn %	As forged	As annealed	As quenched
2	0.201	10.05	10.14	10.26
3	0.349	10.99	11.00	11.15
4	0.677	12.93	12.91	13.19
5	1.140	15.48	15.53	16.07
7	1.990	20.10	19.63	26.73
8	2.240		21.75	22.70
9	2.300		21.77	23.00
10	2.860		24.27	25.10
11	3.530		30.26	31.10

3. 機械試験

a. 抗張力及び弾性界:— 第2圖に示せるが如き試験片を使用し、試験の結果は第3表並に第3圖に依て示せるが如くにして、抗張力に於て見るに一般の材料に於けるが如く鍛鍊せるものは焼鈍後のものに比し少しく高く 1mm² に對し 30 kg. より漸次増加し、 Mn 2.0% に於て約 48 kg を示し弾性界は 25 kg. より 33 kg. に増加せり。又焼鈍せるものに於ては 26 kg. より約 Mn 2.0% のものにて 42 kg. となり、 Mn の増加と共に直線的に増大し、 Mn 0.1% に對し増加率 1.46kg. にして、2.0% 以上に於ては抗張力の増加更に著しく、3.8% のものに於ては 77 kg. を示し

¹⁾ L. Guillet: Les Aciers Speciaux 1904.

²⁾ Arnold and Knowles; J. Iron and Steel, 1906.

³⁾ R. Hadfield; J. Iron and Steel, 1927, No. 1.

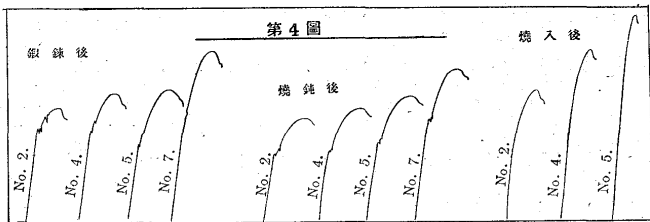
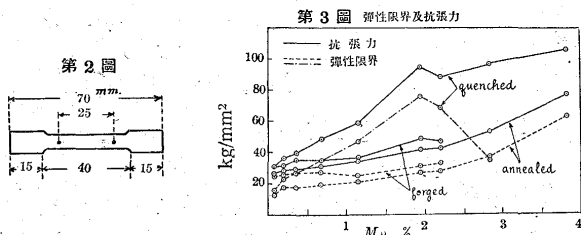
⁴⁾ R. Hadfield; J. Iron and Steel, 1927, No. 1, p. 297.

⁵⁾ T. D. Yensen; J. Amer. Inst. Elec. Eng. 1924, 43, p. 558.

第3表 機械試験成績 (I)

NO.	Mn %	As forged				As annealed				As quenched at 950°C			
		Elastic limit kg/mm ²	max. stress kg/mm ²	Elongation %	Reduction area %	Elastic limit kg/mm ²	max. stress kg/mm ²	Elongation %	Reduction area %	Elastic limit kg/mm ²	max. stress kg/mm ²	Elongation %	Reduction area %
1	0.081	24.7	30.9	41.6	33.1	12.5	26.1	58.0	74.9	15.9	30.4	31.2	81.0
2	0.201	25.4	31.4	38.6	73.5	17.5	28.2	52.0	75.0	22.7	36.2	32.0	68.0
3	0.349	26.8	35.0	43.1	81.5	17.6	29.1	51.2	74.5	26.5	39.7	30.0	59.1
4	0.677	27.3	34.8	42.8	74.2	19.5	30.9	50.4	73.0	34.8	48.6	20.0	53.5
5	1.140	25.3	36.4	45.4	72.2	21.2	34.3	49.6	69.3	47.0	58.7	12.0	48.5
6	1.937	31.3	48.7	36.0	64.2	27.2	41.7	47.9	65.6	75.5	95.0	12.0	40.6
7	2.200	33.2	47.0	36.0	65.7	27.9	42.6	45.6	59.5	68.3	88.3	12.5	42.1
10	2.820					36.8	53.2	32.0	64.5	35.1	97.0	11.2	30.4
11	3.820					63.2	77.4	2.4	6.0		106.4	0.4	1.8

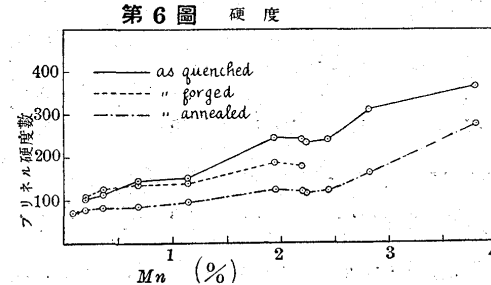
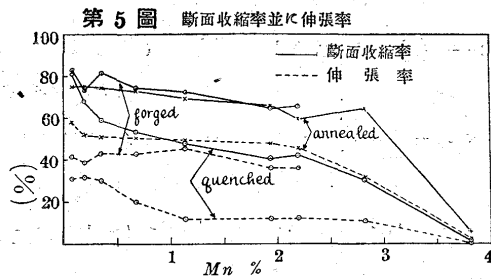
Mn 0.1% に対し 2.15 kg. の増加を來せり。即ち 2.0% 以上に於ける急激なる抗張力の増加は Hadfield 氏の結果



と一致す。弾性界に於ても 12.5 kg. より 28 kg. 餘に直線的に増し 2.0% 以上に於ては増加率大にして 3.8% のものに於て 63 kg. を示せり。焼入後の試料に於ては抗張力の増加が Mn の増加に伴ひ極めて著しく 30 kg. より 90 kg. 餘に増大し 3.8% のものに於ては 106 kg. を示せり。弾性界に於ても 16 kg. より Mn 約 2% に於て 75 kg. となり以後含有 Mn の増加に依り急激に低下し 3.8% のものに於ては弾性界並に降伏點を認めず。第4圖は鍛鍊、焼鈍、焼入試料に對する抗張力試験曲線の例を示せるものなり。

b. 伸張率並に断面収縮率：— 伸張率に於ては焼鈍後のものが最も宜しく鍛鍊後のものでは稍々低く、断面収縮率に於ても兩者の間に大なる相違を認めず。第5圖は Mn の含有増加に伴ふ伸張率並に断面収縮率の變化を示せるものにして鍛鍊試料に於て曲線の不規則を示せるは試料の加工度の一定せざる爲めなるべし。

0.2% 位迄の Mn の増加に依り伸張率並に断面収縮率共に急に低下し以後 Mn 量の増加に連れ極めて僅少なる低下を示すのみにして Mn 2.0% に於ても尚ほ伸張率 48% 断面収縮率 65% にして Mn 2.0% 以上に於ては急激なる低下



を來し 3.8% に於ては伸張率並に断面収縮率が全くなくなるは良く Hadfield 氏の結果と一致す。焼入試料は NaCl 及び BaCl₂ 各 50% を配合せる salt bath 中

にて 30 分間 950°C に加熱し水中にて急冷せるものにして、前の2種の試料に比し試験結果が著しく異なり伸張率に於ては Mn 0.35% 迄は Mn の増加に依り餘り變化なきも、夫れより抗張力の増加と共に著しく減少し 1.1% 以上に於ては殆んど變化なく 2.8% に至るも尙約 12% の伸張率を示し夫れより漸次低下し 3.8% に於て殆んど伸びを示さず、断面収縮率に於ては 0.35% Mn に至る迄急激なる低下を來し、2.2% 迄は低下の割合少く更に Mn の増加に依り急に低下し 3.8% に於て殆んど断面収縮を示さず。

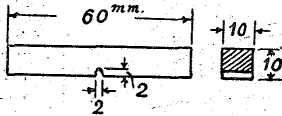
c. 硬度：— 何れの試料に於ても Mn 量に伴ひ硬度の増加を來し、焼鈍後のもの最も低く、Mn 0.5% 以下では焼入後のものは鍛鍊後のものに比し稍硬度低く 0.5% 以上では焼入後のもの稍高く、Mn 1.0% では焼入せるもの、硬度の増加が大きく 2.0% より 2.5% の間に於ては何れも硬度の變化なく 2.5% 以上 Mn の増加に依り急に硬度増加し、3.8% の試料に於て焼鈍後のものでブリネル硬度數 277 にして焼入後のものでは 364 を示せり。各試料の硬度を測定せる結果は第4表に示せるが如くにして第6圖は Mn 含有量と硬度との關係を示せるものなり。

第4表 機械試験成績 (II)

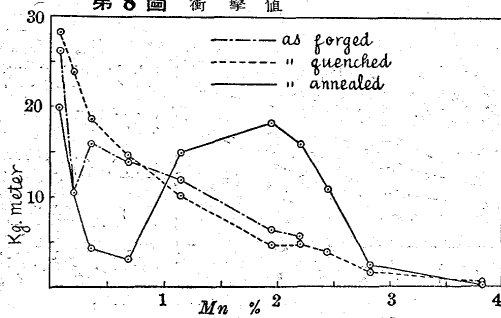
No.	Mn%	衝撃値 m.kg.			ブリネル硬度(3,000kg)		
		as forged,	as annealed	as quenched	as forged	as annealed	as quenched
1	0.081	26.08	19.75	28.12	—	72	—
2	0.201	10.40	10.48	23.74	109	79	105
3	0.349	15.80	4.34	18.60	126	84	115
4	0.677	13.82	3.10	14.72	137	87	145
5	1.140	11.97	14.80	10.02	140	97	153
6	1.934	6.34	18.17	4.66	187	126	245
7	2.200	5.57	15.81	4.84	179	121	241
8	2.240	—	23.37	9.69	—	118	235
9	2.440	—	10.88	3.85	—	121	241
10	2.820	—	2.48	1.68	—	163	311
11	3.820	—	0.20	0.50	—	277	364

d. 衝撃試験:— 鑄型に cast した試料を鍛錬せる儘の

第7圖



第8圖 衝撃値



もの、鍛錬後焼鈍せるもの、salt bath 中にて 950°C に加熱し水中にて焼入せるもの3種に對し第7圖に示せるが如き試験片に對しシャビー試験機に依り衝撃試験を行へる結果は第4表並に第8圖に示せるが如くにして鍛錬後のもの及び焼入せるものに於ては炭素其他の元素が加はつた場合と同様に、Mn の増加と共に衝撃値は急に減少し、Mn 0.08 に於て 26~28 kg.m なりしものが、1.0% に於て 11.5~12.5 kg.m となり 2.0% に於ては 5~6 kg.m に減少し 3.8% に至れば殆んど衝撃値はなくなる。焼鈍せるものに於ては Mn 0.4% 位迄急激に減少し 4 kg.m となる。是れ焼鈍の結果に依り結晶が極めて粗粒になりたる爲めにして Mn 0.7% 位になれば結晶粒は Mn の増加に伴ひ微細となる爲め衝撃値は再び急に増加し 1.14% にて 15 kg.m となり約 2.0% に於て最大に達し、更に Mn の増加に伴ひ減少す。是れ後に顯微鏡組織の項に於て明かなるが如くマルテンサイトの出現に依るものにして、即ちマルテンサイト組織の増加に依り硬度を増し粘性を減じたる爲めにして 2.82% にて僅に 1.68 kg.m となり 3.8% に於ては殆んどなくなる。第8圖は Mn 含有量と衝撃値の關係を曲線にて示せるものなり。衝撃試験後の試験片の破面を見るに鍛錬せるもの並に焼入せるものに於ては Mn の

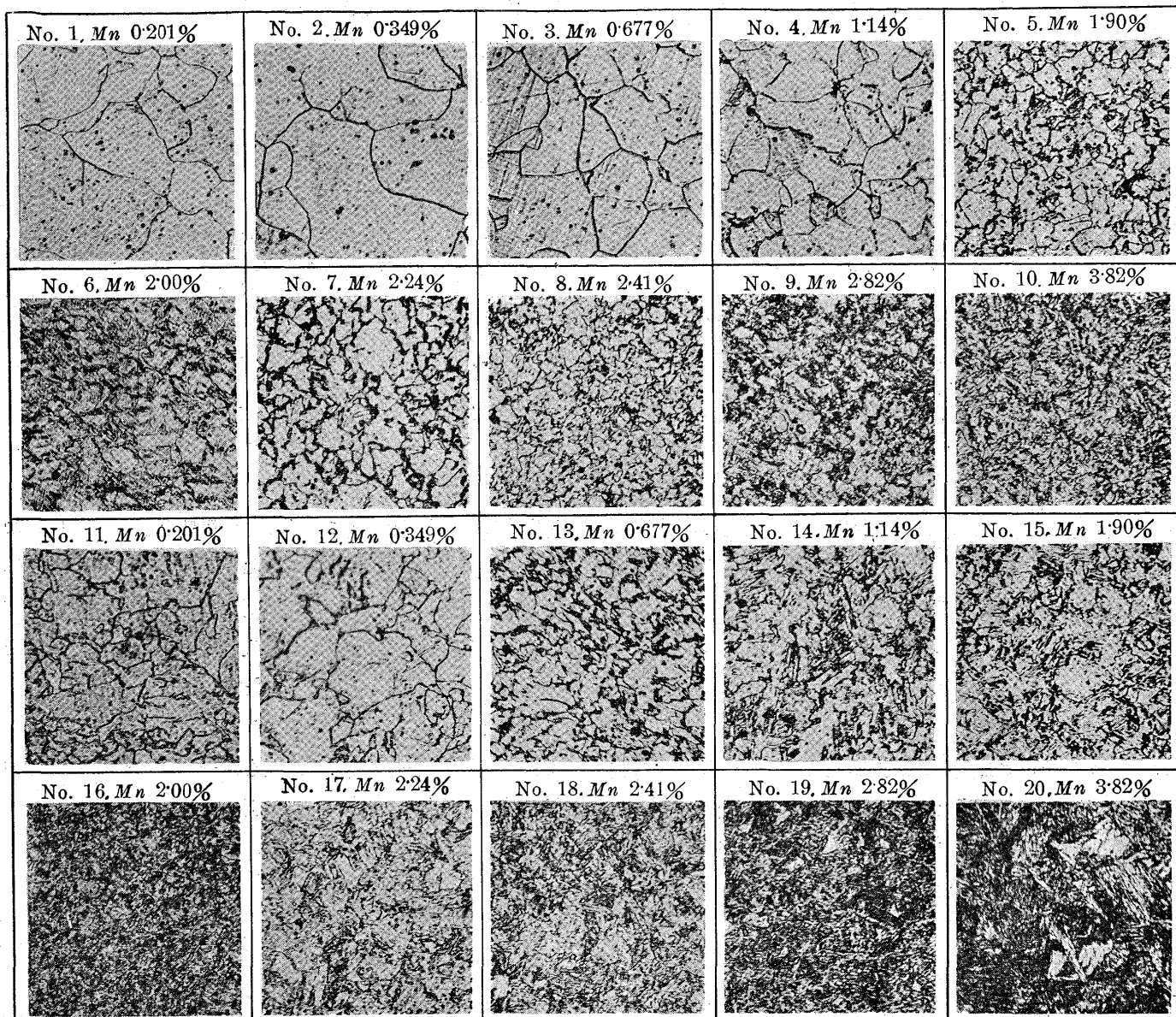
含有少きものに於ては絹白色の線織状を呈し Mn 0.677 以上のものでは灰白色にして Mn 量の増加に連れ微細なる結晶を呈す。又焼鈍後のものに於ては Mn の低きものに於ては粗粒結晶を呈せるも Mn の増加に依り漸次小さくなり 2% 以上のものにては灰白色の微粒結晶となる。

4. 顯微鏡組織 第9圖に示せる顯微鏡寫眞は本研究に供せし含マンガン鐵試料を示せるものにして、寫眞 No. 1 より No.10 に至る寫眞は 950°C に焼鈍せるものにして、含有 Mn の低きものに於ては全部 ferrite の結晶より成り固溶體の組織を示し單に Mn の増加に依り結晶粒が小さくなるのみにして Mn 2% 近々になれば結晶粒間並に結晶中にマルテンサイト組織の析出を見、No.9. Mn 2.82% のものではマルテンサイト組織が極めて顯著となり No. 10. Mn 3.82% のものでは殆ど完全なるマルテンサイト組織が見られる。No.11. より No. 20. に至る寫眞は、No. 1 より No.10. に相當せる試料を 950°C より水中に焼入を行つたもの、組織にして、No.11. 及び No. 12. に於ては焼鈍後のものに比し結晶の大きさが著しく小さくなり No.13. Mn 0.677 のもので既にマルテンサイト的な組織が出で No.15, No.16. には完全なるマルテンサイトの組織となり No. 17.~No. 20. に於ては同様なる組織を認むる事が出来る。

總 括

本研究に依て得たる結果を總括すれば次の如し。
 1. Mn の含有 3.82% 迄の鐵の電氣抵抗を測定した結果は鍛錬せるもの並に鍛錬焼鈍せるものに於ては殆んど變化なく、950°C より焼入せるものにては少しく増加し何れも電氣抵抗の増加は Mn の含有量に比例し Mn 0.1% に對し 0.6 microhm の増加を示せり。
 2. 抗張力及び弾性界は鍛錬後のものは焼鈍後のものに比し少しく高く Mn 約 2.0% 迄は含有量の増すと共に漸次増加し 2.0% 以上に於ては増加率が著し。焼入せるものにては Mn 約 2% 以下に於て抗張力並に弾性界の増加率共に著しく大にして、2% 以上に於ては抗張力の増加率減少し弾性界は急激に低下せり。
 3. 伸張率及び斷面收縮率に於ては鍛錬後のもの並に焼鈍のものに於て Mn 0.2% 迄に於て急に低下し更に Mn の含有増加するも低下率少く 2.2% 以上に及べば急激に減少せり。焼入せるものは Mn 0.35% 迄は伸張率に於ては殆んど變化なきも斷面收縮に於ては著しく減少し更に Mn

第9圖 顯微鏡組織 (×200. Etching by 5% HNO₃ Sol.)
 No. 1.~No. 10. 焼鈍せるもの No. 11.~No. 20. 950°C より水中に quench せるもの



を増加するも夫等の減少する割合少く 2.8%以上に於て急に低下せり。何れの試料に於ても 3.8% に至れば伸張率並に断面収縮が殆んどなくなる。

4. 衝撃値に於ては Mn の含有増加と共に鍛錬並に焼入試料共に急に減少し 0.7%以上にては鍛錬後のもの稍高く焼鈍せるものにては Mn 0.4%迄急激に減少し 0.7% より急に増加し 2%にて最大となり夫より再び急激なる減少を來せり。3.8% に至れば何れの試料に於ても殆ど衝撃値はなくなる。

5. 顯微鏡組織にては焼鈍せるものに於てはα固溶體の

結晶よりなり Mn 2.0%に至ればマルテンサイト組織が出現し漸次 Mn の増加に連れ 3.8% では完全なるマルテンサイト組織となる。焼入せるものにては結晶粒著しく小にして Mn 0.677%に於て既にマルテンサイトの組織が現はれ 1.937%にて完全なるマルテンサイト組織となれり。

以上の結果より推定する時は炭素を含まざる含マンガン鐵に於て焼鈍状態に於てはマルテンサイト組織の出現せざる限度のα固溶體の微細なる結晶を有する約 Mn 2% 近くのもの最も粘性に富み又之を焼入を行へば伸張率は低下するも抗張力並弾性界に富めるものとなる。