

# 鐵 と 鋼 第二十年 第一號

昭和九年一月二十五日發行

## 論 說

### 電 氣 鐵 鋼 の 製 造 に 就 て

(日本鐵鋼協會 第 11 回講演大會講演)

西 山 彌 太 郎 \*

中 島 道 文 \*

#### 目 次

#### 緒 言

#### 緒 言

#### 第 1 編 鋼塊の製作

#### 第 1 章 固定式鹽基性平爐に依るダイナモシート用鋼塊の製作

第 1 節 材料の撰擇 第 2 節 平爐の操業 第 3 節 造塊作業

#### 第 2 章 弧光式鹽基性電氣爐に依るトランスフォーマーシート用鋼塊の製作

第 1 節 電氣爐の構造 第 2 節 電氣爐の操業 第 3 節 造塊作業

#### 第 2 編 電氣鐵鋼の製造

#### 第 1 章 電氣鐵鋼に必要な性質と電氣鋼鋼規格

第 1 節 磁化曲線及導磁率 第 2 節 鐵損失 第 3 節 時効 第 4 節 總括 第 5 節 當所電氣鐵鋼規格

#### 第 2 章 各種成分の影響

#### 第 3 章 薄鐵鋼の製造

第 1 節 材料 第 2 節 壓延作業(熱間) 第 3 節 コールド壓延作業 第 4 節 機械的性質 第 5 節 焼鈍作業

第 1 項 電氣燒鈍爐と瓦斯燒鈍爐にて燒鈍せる鋼のスケール量比較 第 2 項 連続燒鈍爐に於ける實驗 第 3 項 非連続燒鈍爐に於ける實驗 第 4 項 電氣燒鈍爐に於ける成績 第 5 項 熱間壓延仕上温度の影響 第 6 項 表面煉瓦入りの影響 第 7 項 冷態壓延の影響

#### 第 6 節 電氣試験

第 1 項 鐵損失測定 第 2 項 導磁率測定

第 7 節 矯正 第 8 節 檢定及成績書

#### 結 論

近時電氣工業の發達進歩につれ益々電氣鐵鋼の需要増大し優秀製品の出現を渴望して止まず、是於當製鋼工場は昭和 6 年 1 月より電氣鐵鋼の製造を初めたり。當初はシートバーを海外より輸入し是れを薄鋼工場に於て壓延製造したりしが其後製鋼爐に於て珪素鋼塊の製造に着手し續々優良鋼塊を製出するに至り是れを平鋼工場、厚鋼工場にてシートバーとなし薄鋼工場に供給し是處に一貫作業を完成するに至れり。次に是等製造法の大意を述べ大方の御指導を仰がんとす。

#### 第 I 編 鋼塊の製作

#### 第 1 章 固定式鹽基性平爐に依るダイナモ

#### シート用鋼塊の製作

平爐に於ては電氣鐵鋼材の内ダイナモシート用鋼塊を製作しトランスフォーマーシート用鋼塊は電氣爐に於て製作しつゝあり。當所の鹽基性平爐の構造に就きては「鐵と鋼」昭和 8 年 1 月號に掲載せられたる報告に述べたり。固定式鹽基性平爐に依りて電氣鐵鋼材を製作するに就きて困難とする處は地金を過酸化する事なく且つ多量の瓦斯を含有せ

成分	C	Si	Mn	P	S	Cu
EB	·03~·06	·9~1·1	<·15	·010~·015	·010~·015	·06
EC	·03~·06	1·6~1·8	<·15	·010~·015	·010~·015	·06
ED	·03~·06	2·9~3·1	<·15	·010~·015	·010~·015	·06

\* 川崎造船所製鋼工場

しめずして C, Mn, P, S, 等の含有量の極めて低き優良鋼を作るにあり本章は此點に主力を置いて述べんとす。當所製ダイナモント用鋼塊の分析結果は上表の範囲内にあり。

第1節 材料の選擇:—電氣鐵板材に於ては特に不純分の混在を嫌ひ殊に C と Mn との極めて低くして鋼質の優良なる事を望むが故に固定式平爐を以てしては先づ材料の撰擇に充分の注意を拂ふ事を要す。

鉄鐵は低滿庵にして良質の物を使用する事を要す。タタ鉄鐵又は兼二浦鉄鐵を用ひ尙ほ鋼質の優良を期するが爲に雲伯白鉄鐵又は大暮鼠鉄鐵を6~7%混用するに結果良好なり。瑞典鉄鐵を混用したるも此等には及ばざるが如し。

成分 鉄鐵名	T.C.	C.C.	Si.	Mn.	P.	S.	Cu
タタ鉄鐵	40~44	6~12	6~12	1.0~1.4	20~27	.01~.025	.012~.017
兼二浦鉄鐵	40~43	5~9	1.0~1.5	1.5~2.0	13~18	.005~.020	.020~.035
雲伯白鉄鐵	33~38	3.3~3.8	1.5~2.0	2~2.5	15~20	.010~.020	.012~.033
大暮鼠鉄鐵	40~44	6~12	3~6	1.6~2.4	13~29	.002~.020	.012
瑞典ヘーラン鉄鐵	40~44	6~12	7~11	1.0~1.3	3~0.35	.008~.016	.02~.03

屑鐵は厚鉄屑、薄鉄屑等の工場屑其他錆の少くして素性の明なる良屑のみを使用す。特殊鉄鐵を配合せざる時は雲伯庖丁鉄鐵を4~6%混用するに結果良好なり。

	C	Si	Mn	P	S	Cu
雲伯庖丁鉄鐵	.014~.020	.03~.12	.05~.08	.020~.030	.007~.016	.03~.013

珪素鐵は主なる配合材料なるが普通品は品質雜多にして電氣鐵板用としては適當ならず、例へば成分不均一にして珪素分の甚だしく相違せるもの不純分の含有量の多きもの或は瓦斯の含有多くして風化して粉末となるもの、又は散炭、鐵滓、珪砂等を混入せる物の如し。是等は成品に至大の悪影響を及ぼすが故に絶対に避けざるべからず。アルミニウムは再製品は一切使用せず。滿庵鐵は瓦斯の含有量少なく湯の收りの良好なるもののみを使用す。英國ヴァーガン會社の滿庵鐵を特に賞用しつゝあり。

成分 品名	Mn.	Si.	C	P	S
ヴァーガン社鉄鐵	78.00	.413	—	—	—
内地製鉄鐵	—	82.362	.036	.085	.004
獨逸製鉄鐵	10~20	7~8	47~48	—	—

鐵鐵は瓦斯拔の爲に使用する事あるも品質に依つて其の效果に著るしき差違あり上表の獨逸品は極めて良好なりき赤鐵鐵の良否が精練の效果に及ぼす影響は極めて大なり

其の良否は物理的性質の適否を以て判斷せられ化學的成分は第2に考へらる。特に細粒のもの質堅緻にして比重の大きに過ぐるもの等は禁物なり。象鼻山は最も成績良くズングンは之に次げり。

タタ、バーンの如き印度鐵石は化學的成分は極めて優良なるも堅きに過ぎて不可なり。デヨホールは細粒を除きて塊のみ使用すれば良好なり。石灰石及苦灰石は結晶質のものを避けて非晶質の極く緻密なる組織のもののみを使用す

第2節 平爐の操業:—鑄解時の C は 4~5% を目標として配合す。從而鉄鐵と屑鐵との比は時期に依りて 32~38% の間を撰び赤鐵鐵の使用量を 3.5~5.5% の間に限定せり。

石灰石は材料の装入と同時に 3% を装入し鑄解後に燒石灰として 7~8% を使用す。滿庵鐵石は使用せざるを普通とするも材料に依りては使用する事もあり。螢石は材料と共に少量を装入するも精練中は餘り使用せざるを常とす。鑄解時は出來得る限り高熱

を可とし精練中も決して熱を落さざるの注意を要す。充分なる高熱を維持しつゝ過酸化状態に陥らざる様徐々に赤鐵鐵を加へ適量の石灰を以て鋼滓を崩さざる事に努む。精練中に過酸化状態に陥りたる湯を恢復する事は非常に困難なり。鑄解を高熱にし又鑄鋼を高温度に維持する爲に燃燒瓦斯中に酸素を混入する事は有效

なり。次に示す例は B 級電氣鐵板材の精練經過なるが他の級の電氣鐵板材の精練經過も概ね同様なり。

電氣鐵板精練經過の一例

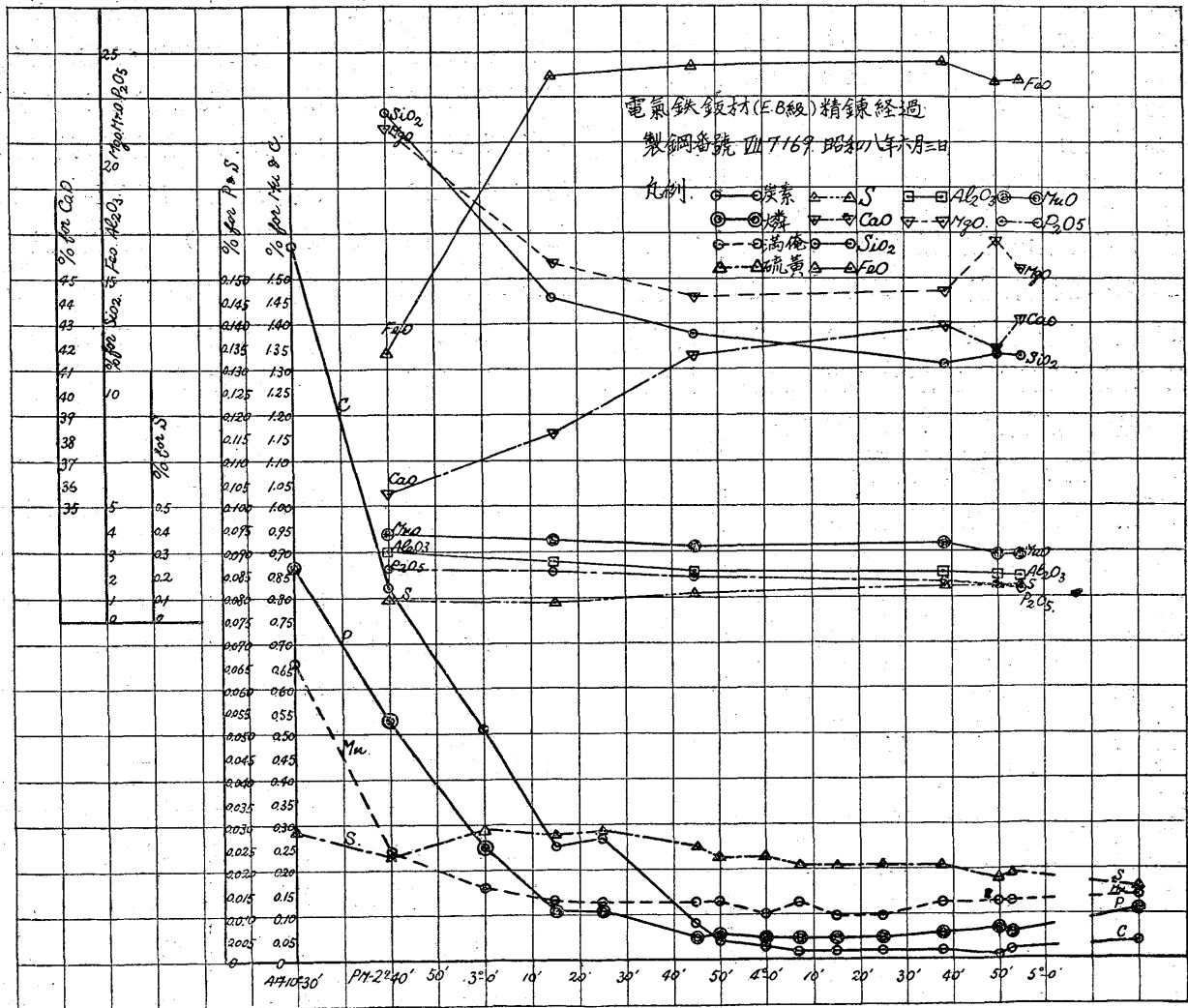
製鋼番號 VII-7196 昭和8年6月3日

装入材料		配合劑	
鉄鐵	兼二浦 11,000	滿庵鐵(英國)	30
	大暮 3,000	珪素鐵(大同)	492
屑鐵	厚鉄屑 10,000	アルミ(アルコア)	105
	薄鉄屑 5,700	チタン鐵(伏木)	20
	上等屑 8,000		
	計 37,700		
精練材		製出鋼	
赤鐵鐵(ズングン)	2,200	良鋼	35,000
燒石灰(津久見)	2,740	鑄屑	1,840
石灰石(津久見)	1,200	注入屑	1,000
スケール(場内)	620	計	37,840
螢石(上海)	100	良鋼歩止	93.83%
		製鋼時間	6'-30"
A.M. 10°-30'	装入始		
P.M. 2°-40'	鑄解		
" 2°-42'	.....	鋼試 No. 1	
"	.....	滓試 No. 1	
" 2°-45'	石灰 590	鐵石 1,000	
" 3°-0'	.....	鋼試 No. 2	
" 3°-2'	石灰 520kg		
" 3°-5'	鐵石 600		
" 3°-15'	スケール 126	鋼試 No. 3	

3°-25'	石灰	570 <sup>キ</sup>	鋼試 No. 4	滓試 No. 2	4°-15'	石灰	110	鋼試 No. 9
3°-28'	鑛石	400			4°-25'	石灰	300	鋼試 No.10
3°-45'			鋼試 No. 5	滓試 No. 3	4°-38'			鋼試 No.11
3°-50'	鑛石	200	石灰	350	鋼試 No. 6	滿庵鐵	30	滓試 No. 4
4°-0'			鋼試 No. 7		4°-50'			鋼試 No.12
4°-8'	石灰	800	鋼試 No. 8		4°-53'			滓試 No. 5
								鋼試 No.13

鋼滓試料分析結果

試料番號	成分	SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	備考	滓重量
No. 1		22.340	11.580	3.024	35.478	21.693	3.614	2.174	.097		
No. 2		14.050	23.965	2.501	38.216	15.633	3.484	2.060	.091		
No. 3		12.540	24.270	2.136	41.610	14.150	3.250	1.923	.121		
No. 4		11.160	24.425	2.059	42.924	14.426	3.276	1.579	.151		
No. 5		11.600	23.571	2.001	41.829	16.499	2.838	1.511	.151		
No. 6		11.580	23.617	1.985	43.092	15.348	2.808	1.419	.151	鋼滓鍋	8.500 <sup>キ</sup>
No. 7		11.050	21.814	1.947	43.763	16.798	3.120	1.373	.135	第一鍋	2.800 <sup>キ</sup>
No. 8		34.060	3.390	24.556	27.879	8.623	1.066	0.298	.128	第二鍋	65 <sup>キ</sup>



装入始 鑛石 鋼試 No.1 滓試 No.1

鑛石 鋼試 No.2 滓試 No.2

鑛石 鋼試 No.3 滓試 No.2

鑛石 鋼試 No.4 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.5 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.6 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.7 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.8 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.9 滓試 No.3

鑛石 鋼試 No.10 滓試 No.3

滿庵鐵 鋼試 No.11 滓試 No.4

滿庵鐵 鋼試 No.12 滓試 No.4

滿庵鐵 鋼試 No.13 滓試 No.5

出品

// 4°-56' 出鋼始め  
// 4°-59' 出鋼終り

銻鋼試料分析結果

成分 試料番號	C	Si	Mn	P	S	Cu
装入材料 (計算)	1.566	.599	.655	.087	.029	.058
No. 1	.818	痕跡	.24	.053	.023	.06
No. 2	.511	"	.16	.025	.029	.06
No. 3	.250	"	.13	.011	.028	.06
No. 4	.268	"	.13	.011	.029	.07
No. 5	.077	"	.13	.005	.025	.06
No. 6	.049	"	.13	.006	.023	.06
No. 7	.035	"	.10	.005	.023	.07
No. 8	.017	"	.13	.005	.021	.06
No. 9	.017	"	.10	.005	.021	.06
No. 10	.017	"	.10	.005	.021	.06
No. 11	.017	"	.13	.006	.021	.07
No. 12	.012	"	.13	.007	.018	.06
No. 13	.021	"	.13	.006	.019	.07
取鋼平均	.039	.974	.14	.011	.016	.06

第3節 造塊作業：一電気鐵板材の如く多量の Si 及 Al を含有せしむべき材料に於ては平爐より出鋼せる銻鋼を受くる鍋に直接に珪素鐵又はアルミニウムを投入する時は鍋の中に於て銻鋼と鋼滓との混合する極めて短時間の間に驚くべき程多量の P, Mn, Fe, を夫々の酸化物より還元するの恐れあり。次に掲ぐるは其の一例なり。

鑄鋼に直接配合劑を混合したる例。

製鋼番號 VIII-3910 昭和6年4月2日

装入材料		精鍊材料	
兼二浦銑鐵	8500	赤鐵鐵	1470
瑞典銑鐵	2000	燒石灰	2740
庖丁鐵	2000	滿俺鐵	300
厚鐵屑	19000	スケール	250
薄鐵屑	6000	石灰石	1200
計	37500		
配合材料		製出鋼	
滿俺鐵	.100	良鋼	33760
珪素鐵	1500	鑄屑	2720
アルミニウム	.0625	計	36480
鐵	.050	製鋼時間	5°-30'

成分 試料	C	Si	Mn	P	S	Cu
出鋼前試料	0.06	痕跡	.19	.005	.016	.06
取鋼試料	0.06	2.327	.486	.040	.011	.07

成分 試料	SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
滿俺投入前鋼滓	10.950	27.452	2.601	40.815	7.256	9.007	1.730	.189
出鋼前鋼滓	10.350	27.742	3.034	41.472	7.056	8.286	1.854	.205
ノコ壺ノ鋼滓	16.850	23.781	2.689	37.420	8.342	8.935	1.813	.170

\* 上の口壺の鋼滓の試料は適宜少量採取したる爲全體の平均とは見做し難し。

今装入物より計算する時は鋼滓中に含有せられたる P の 59%、Mn の 27% は還元せられて銻鋼中に入りたる譯なり幾分の誤差は免れずとするも兎も角も多量の不純物の還元せらるゝは看取し得べく電気鐵板材としては致命的の缺點なり。依而固定式平爐に於て電気鐵板材を製作せんが爲めには豫め出鋼する際に銻鋼と鋼滓とを分離し置き然る後銻鋼に配合劑を加ふる事必要なり。此の目的を達せんが爲め添附圖に示す如き装置を設け通常通り出鋼したる銻鋼を先づ第1鍋に受け大部分の鋼滓を銻鋼より分離し置き更に此の銻鋼を2個の 100mm ノツプルを通じて豫熱せられたる第2鍋に移注しつゝ、必要量の配合劑を装入起重機に依りて樋より順次に投入したるに完全に鋼滓を銻鋼より分離する事を得たり。此の方法に於て注意すべき事は第1鍋に残留したる鋼滓の絶對に第2鍋に入り込まざる内に移注を中止すべき事なり。斯して混合したる配合劑は鑄鍋中に於て均一に分布せらる。下に掲ぐるは前出 VII-7196 の各定盤に於ける鑄鋼試料の分析結果なり。出鋼前の試料と鑄鋼試料とを比較するに Mn, P, 就れも鋼滓より還元せられたる形跡なし、C と P の少しく高くなれるは珪素鐵より入りたるものなり。

成分 試料	C	Si	Mn	P	S	Cu
出鋼前の試料	.021	痕跡	.13	.006	.019	.07
第1定盤の試料	.036	.968	.14	.011	.016	.06
第2定盤の試料	.041	.978	.14	.010	.016	.06
第3定盤の試料	.041	.958	.14	.011	.016	.07
第4定盤の試料	.041	.978	.14	.010	.016	.06
第5定盤の試料	.036	.978	.14	.011	.015	.06
各定盤の平均	.039	.974	.14	.011	.016	.06

鑄込用鍋のノツプルは徑 50mm 1個にして鑄込は下注法に依る。注入管の内徑は 100mm 湯道の徑 50mm 上り穴の徑 50mm なり。各種の煉瓦は浸蝕せられ易きに依り特に耐火度高く且つ質堅緻なる事を要す。鑄型は厚鉄用鋼塊には押湯つき B1.6 を、平鋼用鋼塊には押湯なし E.6 を用ふ、B1.6 型の鋼塊單重は 1,600kg、押湯 200kg、各定盤に6個宛据へ4定盤に分注す。E.6 型の鋼塊單重 600kg にして各定盤に12個宛据へ5定盤に分注す。注入に際してノツプルの周圍に銻鋼の凍り易き傾あり。酸素を以て吹き開く事簡便の良法なり。銻鋼は流れ良くして定盤と

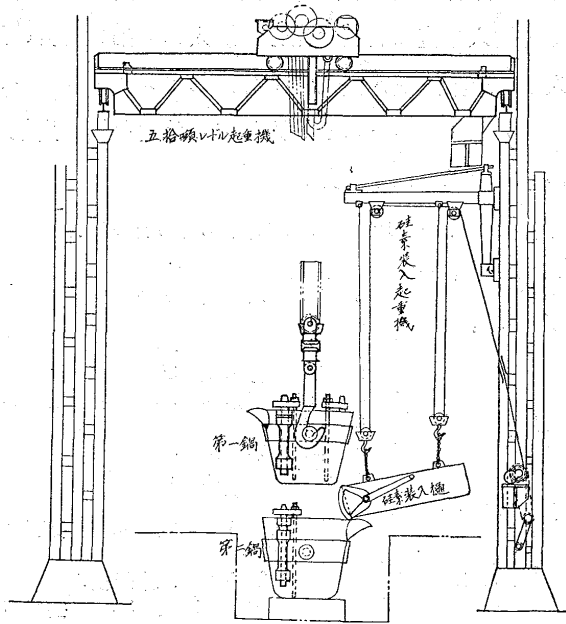
各定盤別試料分析結果

成分 鋼番	第一定盤					第二定盤					第三定盤					第四定盤				
	C	Si	P	S	Mn	C	Si	P	S	Mn	C	Si	P	S	Mn	C	Si	P	S	Mn
VIII-5223	.06	3.215	.014	.013	.13	.06	3.229	.012	.014	.13	.059	3.201	.013	.012	.13	.059	3.220	.013	.014	.13
I-4694	.046	3.093	.010	.013	.13	.046	3.107	.012	.014	.13	.046	3.107	.010	.012	.13	.046	3.055	.010	.013	.13
IX-3412	.054	3.149	.012	.013	.16	.054	3.154	.012	.013	.16	.050	3.154	.012	.011	.16	.060	3.154	.014	.014	.13
VIII-6167	.038	1.471	.009	.016	.16	.038	1.452	.009	.015	.16	.038	1.499	.010	.016	.16	.038	1.499	.010	.016	.16
VIII-6094	.047	1.485	.010	.013	.16	.047	1.485	.013	.014	.16	.043	1.499	.011	.013	.16	.043	1.499	.011	.014	.16
VIII-5817	.037	1.471	.009	.016	.16	.042	1.471	.009	.009	.16	.042	1.471	.009	.010	.16	.037	1.476	.011	.008	.16
VII-7196	.036	0.968	.011	.016	.14	.041	.968	.010	.016	.14	.041	.968	.010	.016	.14	.041	.978	.011	.015	.14

鑄型との間隙其他より逸失し易きに依り特に入念に目塗を施すの要あり。鑄込の速度は通常良鋼碗當り 16 秒、1 秒當り 67mm 位なり。斯くして鑄込みたる結果を見るに各定盤毎の試料分析の結果は殆ど差異なし 即ち鑄鍋の中に於ては殆ど析離し居らざる事を知る。只だ最上層の深さ約 100mm の鑄鋼は割合に珪素を多く含むを以て之れを捨つるの要あり。

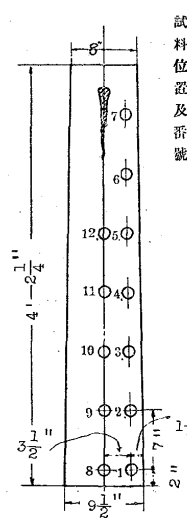
VII-7196 E. 6 型鋼塊縦断面偏析検査

試料番號	成分					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
No. 1	.036	1.011	.13	.011	.016	.07
No. 2	.031	1.015	.13	.011	.016	.07
No. 3	.040	1.006	.13	.011	.015	.07
No. 4	.041	1.015	.13	.011	.014	.07
No. 5	.040	1.011	.13	.011	.016	.07
No. 6	.035	1.011	.13	.011	.015	.07
No. 7	.040	1.006	.13	.010	.016	.07
No. 8	.035	0.987	.13	.010	.018	.06
No. 9	.044	0.978	.13	.011	.017	.07
No. 10	.045	0.978	.13	.010	.016	.07
No. 11	.049	0.982	.13	.011	.017	.06
No. 12	.053	0.996	.13	.011	.014	.06



鑄込を終りたる鋼塊は約 1 時間を経て鑄型より抽出し直に緩冷ピットに入れ極めて徐々に冷却し約 24 時間を経て取出す。厚板用鋼塊は押湯を切斷したる後表皮を切削し更にチツピングを爲したる上表面に石灰を塗り鐵板にて包みて厚板加熱爐に装入す。平鋼用鋼塊は表面を充分に手入を爲したる上石灰を塗り平鋼加熱爐に装入す。鋼塊の断面の各所より試料を採取し分析したる結果を検するに殆ど偏析の傾向を認めず。次の例は前出 VII-7196 の偏析を検したる成績なり。試料採取の位置は附圖に示す如し。

適當なる操作を経たる鋼塊は勿論鑄巢を生ずる事なし。然し乍ら操作を誤る時は鑄巢を發生し易き性質あり鑄巢の發生する位置は普通鋼塊に於けると全く趣を異にし表皮より



相當の深さに丸味を帯びて不秩序に配列す。然も底部には少なく頭部に近き程多く發生するの傾向あり。故に頭部に近く發生し居りても底部には全く發生し居らざる事屢々あり。鑄巢發生の原因を擧げんに第一に精鍊の不良に依る事勿論なり。脱酸不充分なれば Si と Al とを多量に含むと雖も鑄巢を發生す。第二には鑄込速度の影響を被る事鋭敏なり。注入速度大に失する時は他の條件は良好にても鑄巢を發生し易し第三には Si と Al との平衡を得ざる場合なり。其他の條件に就いては普通の鋼塊に於けると異なる事なし。電氣鐵鋼用鋼塊は割れ易き事に於て有名なり

從而鑄型の形狀、鑄込の溫度等に於て注意を要すべきも此等の條件は電氣鐵鋼材の持つ特異性の爲めに犠牲に供せられざる可らざる場合多し。然し乍幸にして精鍊の充分に行届きたる鋼塊に於ては殆ど割れを發見せず。

**第2章 弧光式鹽基性電氣爐に依るトランスフォーマーシート用鋼塊の製作**

電氣爐に於ては主としてトランスフォーマーシート用鋼塊を製作し時にダイナモシート用鋼塊を製作す。電氣爐に於ける操作は兩者殆ど異なる事なく且つ當所の鹽基性電氣爐作業の特色は鹽基性平爐に於て精鍊せられたる銻鋼を材料として再精鍊するにあるを以て本章に於ては此の點を主としてトランスフォーマーシート用鋼塊の製作に就きて述べんとす。當所製トランスフォーマーシート用鋼塊の分析結果は概ね下の範圍内にあり。

成分級	C	Si	Mn	P	S	Cu
E.T	03~0438~42	08~010	010~015	010~015	010~015	06

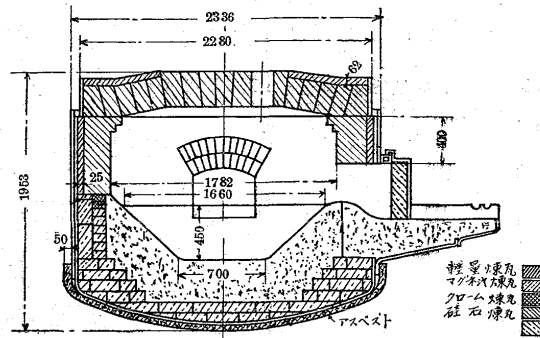
第1節 電氣爐の構造:—當所は容量 3.5 噸の鹽基性弧光爐 2 基を有す。爐體の構造は兩者同じにして附圖に示すが如くなれども電氣設備は少しく相異せり。其の概略は下の如し。

	第一號爐	第二號爐
變壓器方式	3相 60 サイクル	3相 60 サイクル
變壓器容量	350 KVA.	350 KVA.
一次電壓	2,200 V	2,200 V
二次電壓	150V. 114V. 89V.	100V. 101V. 96V.
塞流器方式	3相 60 サイクル 自冷鐵心型	3相 60 サイクル 自冷鐵心型
塞流器容量	90 KVA.	90 KVA.
電流調整裝置	自動水壓式	自動水壓式
電極の直徑	150mm	150mm

第2節 電氣爐の操業:—電氣爐は鹽基性平爐との合併法に依つて作業す鹽基性平爐に於て精鍊を完了し出鋼したる厚鉄又は薄鉄材の銻鋼の一部を容量約 4 噸の小鍋に取り秤量したる上電氣爐に装入す。殘湯は鍋と共に再び秤量して其の差額に依りて装入量を算出す。此の小鍋には豫め適量の骸炭末を入れ置き銻鋼の炭素量を約 0.3% に一定する時は銻解も速に精鍊作業も容易となる。銻鋼を注入すると同時に石灰を投入し直に通電して密閉し約 40 分間を放置す。此の間に装入作業中に冷却したる銻鋼は熱度を恢復し一部爐壁に凝固したる鋼も殆ど銻解す。此の頃より赤鐵鑛

石灰、螢石、等を適量に投入して装入物中の不純物を除去す。普通此の酸化期は約 40 分間なり。速成分析の結果  $C < 0.03\%$ 、 $P < 0.008\%$  にして鋼滓の物理的状況良好にして瓦斯の放出も好調なるを見て第1回の除滓を爲す。此の時は完全に除滓を爲す事なく極めて迅速に大部分の除滓を爲したる後直に相當多量の石灰と螢石とを投入して還元作業を開始す。第1回の除滓の爲に冷却したる熱を恢復し鋼滓の状況好調にして脱酸の良好なるを見極めて第2回目の除滓を爲す。此の時は完全に除滓して爐壁等に絶対に鋼滓を残さざる注意肝要なり。除滓を完了すると同時に所要量の珪素鐵を投入し直に石灰を充分に投入して第2回目の還元期に入る。珪素鐵投入後約 15 分にしてアルミニウムを投入す。アルミニウムを投入して5分間を経て出鋼す。操作の一例を示せば下の如し。

第1圖 電氣爐煉瓦積



製鋼番號 E-I-1929 E.T. 昭和8年6月21日  
 装入量 3,490 kg 装入材料薄鉄材  
 装入開始 AM 8°-08' 石灰 80 kg  
 電通140 V. 1,450 A. " 8°-10'  
 " 8°-45' 赤鐵鑛 30  
 " 9°-0' 赤鐵鑛 30  
 " 9°-10' 赤鐵鑛 30 石灰 32 kg  
 " 9°-20' 赤鐵鑛 30  
 " 9°-30' 石灰 6  
 " 9°-40' 石灰 12  
 第一回除滓 (通電中) AM 10°-0'  
 電壓切換107 V. 1,900 A. " 10°-5' 石灰 60 kg 螢石 4 kg  
 第二回出滓 (閉電) " 10°-43'  
 通電 107 V. 1,800 A, " 10°-50' 珪素鐵投入  
 " 石灰 30 螢石 2  
 附電 " 11°-05' アルミニウム投入  
 出鋼 AM 11°-10'  
 製鋼時間 3時間2分 良鋼噸數 2,800 kg  
 押湯噸數 600 kg 注入及鑄層 90

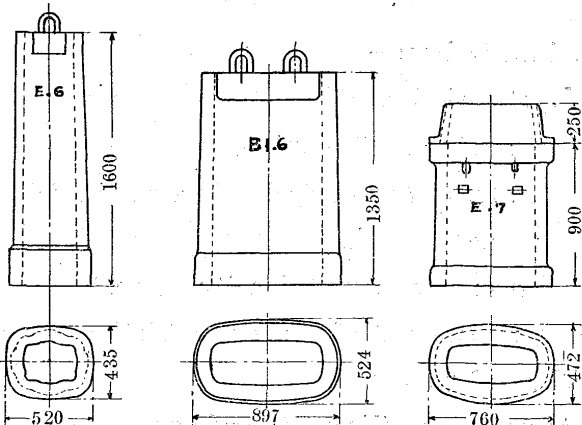
合併法に依る電氣爐の能率は電氣爐自身の性能に依る以外平爐との調和の程度に依りて著るしく影響せらる。出鋼後直に平爐の銻鋼を装入し得る場合と數時間待ちたる後装入する場合は製鋼時間に相當の差異を生ずる譯なり。當所平爐の製鋼時間は4時間乃至4時間半にして電氣爐の製鋼時間は約2時間半なるが此の場合電氣爐に装入し得る材料を出鋼しつつある平爐が5基以上ある時は電氣爐は能率良

く作業し得るも之れより減するに従ひて平爐の出鋼との調和を得難く空爐にて待つ時間増加すべし。

當所電氣爐操業以來の電氣鐵鋼材製作の作業成績は下の如し。

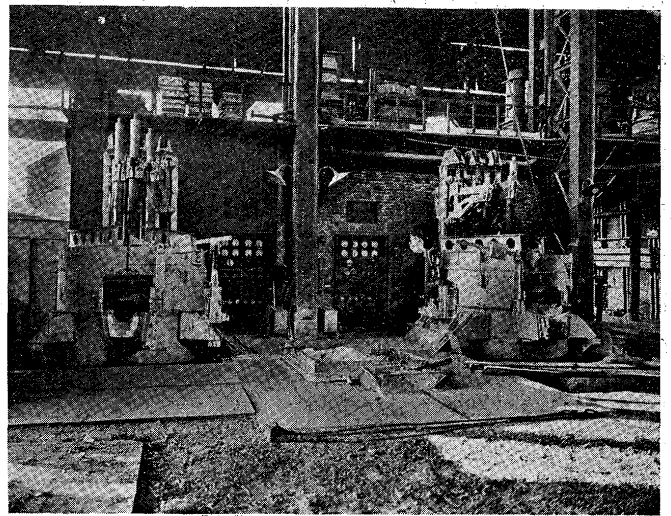
月 別	1 號 電 氣 爐				
	1回當り 装入噸數	1回當り 製鋼時間	装入時當り 製鋼時間	良鋼噸當り 電氣消費量	良鋼噸當り 電力消費量
7 年 5 月	971	3°-29'	3°-23'		
6	995	2°-58'	2°-59'		
7	1034	2°-53'	2°-47'		
8	1223	3°-01'	2°-28'	9.42	960
9	1881	2°-58'	1°-33'	5.77	635
10	1862	2°-16'	1°-13'	4.96	534
11	1865	2°-03'	1°-06'	4.55	507
12	1853	1°-57'	1°-03'	4.42	507
8 年 1 月	1826	1°-49'	1°-0'	3.77	539
2	1820	1°-44'	0-57'	4.11	490
3	1775	1°-35'	0-53'	3.50	460
4	1770	1°-36'	0-54'	4.19	481
5					
6	3049	2°-59'	0-58'	2.34	447
月 別	2 號 電 氣 爐				
8 年 3 月	3506	2°-17'	0-39'	4.03	371
4	3457	2°-24'	0-41'	4.18	390
5	3404	2°-48'	0-49'	5.31	446
6	3233	2°-25'	0-45'	4.00	383

第3節 造塊作業：一鑄鍋の容量は3噸500ノツツルの徑は35mm鋼塊の重量は700kg、押湯の重量は180kg、鑄型の形狀はE.7.一定盤に4本立にして注入の速度は通常毎秒58mm、良鋼噸當り55秒位なり。鑄鍋は豫熱の必要なし 鑄型は充分に掃除したる後アルミン塗料を壓搾空氣によりて塗布したる後乾燥して使用する。注入を終りたる鋼塊は約1時間の後鑄型より抽出し直に緩冷ピットに入れ約24時間を徐冷したる後取出し押湯を切斷し表皮を切削



し更にチツピングを爲したる後表面に石灰を塗布し薄鐵鋼にて包み厚鐵鋼加熱爐に装入す。鋼塊に就きて起る缺點の主なるものは鑄巢なり。其の生成する原因を列舉せん第一は電氣爐内鑄鋼の熱の不平均にあり。電氣爐は平爐と異り加熱の面積は狭少にして冷却の面積は比較的に廣大なるが故に電氣鐵鋼材の如く高熱を要するものに於ては爐内の鑄鋼の温度は不整になり勝にして從而精鍊の度合も爐内の部分に依つて相違あり。此の缺點を減少せんが爲めには爐の四方殊に爐底より放散する熱を出来る限り防止し弧光の熱

第1圖 電氣製鋼爐



を強烈に過ぎずして然も爐床部分の温度を高からしめざる可らず。之が爲には爐床はマグネシヤスタンプを廢してドロマイトスタンプと爲し更に底鐵の外側に厚2吋のアスベストを張り、爐胴には胴鐵と珪石煉瓦との間に厚1.5吋の斷熱煉瓦を張り、天井は珪石煉瓦の上を厚2.5吋の斷熱煉瓦を張りて保温に努めたるに效果顯著なり。保温装置を完全に爲す事は單に鑄鋼の熱を一樣ならしむる而已に止まらず電力の消費量を減じ製鋼時間を短縮するに著るしき效果ある事を認めたり。次に鑄巢發生の第二の原因は爐床の形狀の不整なる事なり。歪みたる爐床を以てして良鋼を作る事は困難なる如し。第三の原因は鑄込速度の宜しきを得ざる事にして此點平爐鋼に就て述べたると同じなり只だ電氣爐は容量小なる爲めに一定盤に注入する鋼塊の數を左右せらるゝ事多く、此場合單にノツツルの徑に依つて鑄込速度を加減しても充分なる結果を得難し鋼塊の割れ、偏析等に就きては平爐鋼に就きて述べたると異なる事なし。

## 第II篇 電氣鐵鋼の製造

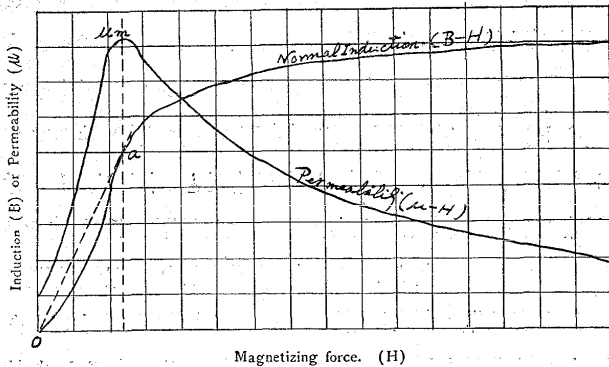
### 第1章 電氣鐵鋼に必要な性質と電氣鐵鋼規格

第1節 磁化曲線及び導磁率:—電氣鐵鋼に最も必要なるは電磁氣的性質では是れは磁化曲線又は B—H 曲線を見れば其の特性が分る。第1圖に示す如く誘導 B と磁化力 H との関係は H が大となれば水平に近づき B の増加は H と同率に進まず或る一定値に接近する、換言すれば鐵分子の磁化が飽和する事を示し従つて飽和曲線とも呼ばれる。誘導 B は其鐵鋼の毎 cm<sup>2</sup> を通る磁力線の數で即 lines/cm<sup>2</sup> であつて其面積が毎 cm<sup>2</sup> であれば其單位を gauss と云ふ名稱で表はさる。誘導が gauss にて表はさるゝ時は磁化力は普通には gilberts/cm で表はされ又時には Ampere-turns per cm (或は Ampere-turns per inch で示される)。

次に感應度と磁化力との比  $\frac{B}{H} = \mu$  は導磁率と呼ぶ。即 Permeability =  $\frac{\text{Gauss}}{\text{Gilbert per cm}}$  となる。導磁率と磁化力との関係は第1圖の  $\mu$ —H 曲線にて知らるゝ如く maximum permeability  $\mu_m$  は O を通り磁化曲線に切線を引く事に依りて得らる然して此の導磁率の高き事が電氣鐵鋼に又大切なる條件にして如何にすれば此の導磁率を高め得るか重要問題なり。次に單位の關係を示す。

次に各種鐵材の磁化曲線を示す。(第2圖)

(Fig. 1)



Magnetizing force. (H)

Units of Induction.

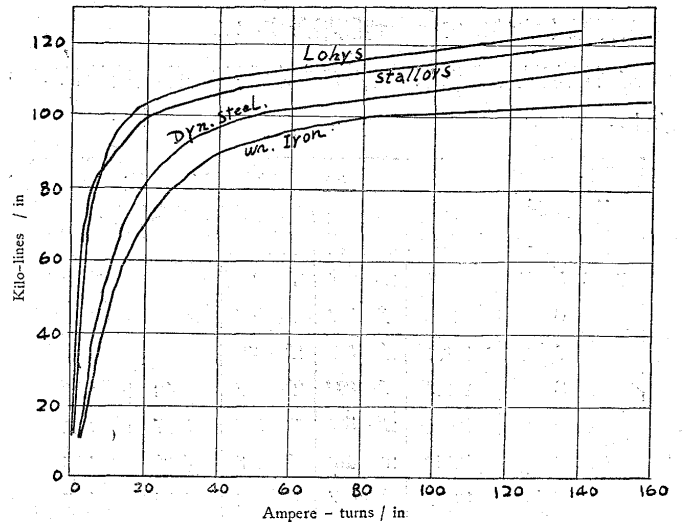
	Max well/in <sup>2</sup>	Line/in <sup>2</sup>	Gauss.	Kapline/in <sup>2</sup>	Kapline/cm <sup>2</sup>
1 Line/in <sup>2</sup>	1	0.001	0.155	0.000167	0.0000258
1 max well/in <sup>2</sup>	1	0.001	0.155	0.000167	0.0000258
1 Line/cm <sup>2</sup>	6.45	0.00645	1	0.001075	0.000167
1 Gauss	6.45	0.00645	1	0.001075	0.000167
1 Kapline/in <sup>2</sup>	6,900	6.	.930	0.93	0.155
1 Kapline/cm <sup>2</sup>	38,700	38.7	6,000	6.	1

Units of Magnetizing Force.

	Gilbert/cm.	Gauss	Ampere-turn/cm	Ampere-turn/in
1 Gilbert/cm	1	1	0.796	2.02
1 Gauss	1	1	0.796	2.02
1 Ampere-turn/cm	1.255	1.255	1	2.54
1 Ampere-turn/in.	0.495	0.495	0.394	1

第2節 鐵損失:—是れは鐵鋼を交番に磁化する際に起る電力の消費にして鐵心中に生ずる Hysteresis 及び Eddy Current の兩損失を併せたるものにして Power loss,

(Fig. 2) 各種鐵材磁化曲線



Watt loss 或は Core loss と稱せらる、電氣鐵材に於て磁束密度 B が或る飽和點に達する迄磁化力を次第に増し次に逆に磁化力を次第に減少するに曲線は元の曲線に一致せず、即磁化力を零にして OA の誘導が残る此の OA を残留磁氣と稱す。残留磁氣を消滅せしむるには更に一つの磁化力を加へる事を要す。即ち第3圖による OC なり。是れを保磁力 (Coercive force) と稱す。

更に電流を逆にして B—H 曲線の完全なる cycle をすれば closed loop が出来る。即ち Hysteresis loss は Hysteresis loop の包含する面積となり電流の方向を逆にする度に磁氣誘導が磁化電流より遅れる事より生ずるものにして鐵の分子を熱するのみにして電力の消費となり磁化力が交番に迅速に變化するが如き場合に起り易く發電機の發電子、交流用變壓器の如きが最も多く此の作用を受ける。

Hysteresis loop の包含する面積が即爲されたる仕事で、消費されたる Energy は

$$\text{Per c.c./cycle} = \frac{\text{Area of loop}}{4\pi}$$

Steinmetz law:—

$$\text{Hysteresis loss} = V(\eta f B_{\text{max}}^{1.6} \times 10^{-7}) \text{ watt.}$$

V : volume of sample (C.G.S)

f : frequency or cycle of magnetisation per second.

B<sub>max</sub> : maxm. flux density (gauss)

η : coefficient of molecular friction.

Values of η :

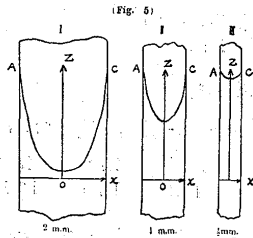
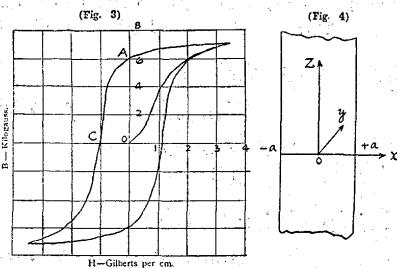
transformer silicon steel = 0.001



armature stampings	= 0.0012~0.0015
good sheet iron	= 0.002~0.005
ordinary sheet iron	= 0.004
soft cast steel	= 0.012
cast iron	= 0.016

Hysteresis loss: (ergs per cycle/c.c)

swedish charcoal iron	= 8,400
krupp dynamo steel	= 11,100
dynamo steel	= 13,500
soft steel	= 14,700
wrought iron	= 20,000



Hysteresis loss は一定の H に對して温度の上昇と共に減少するが一定の B に對しては温度の上昇と共に増す。Eddy loss も鐵心に起る普通の現象にして是れも亦鐵の分子を熱するのみにて其の Energy は

消費されるので此の Eddy loss は全鐵損の約 15~25% 位なり。

$$\text{Eddy current loss} = kV(ft B_{\max})^2 \times 10^{-6} \text{ watt.}$$

t : thickness of sheet (mils)

B : in gauss.

k : average 0.42 for S-steel.

average 1.42 for ordinary electrical steel.

“mechanical world” Electrical

Pocket Book. 1928 p 55

鐵損失は鉄の厚み、磁束密度、周波数と共に増加し又機械的歪を加ふれば増加し波形率の影響をも受けるのである。

電氣鐵鋼一般の厚みの標準は 0.35mm 0.43mm 0.5mm なれど當所に於ては特に 0.2mm の如き薄物をも注文に應じ製造せり。變壓器用電氣鐵鋼の厚みは殆んど 0.35mm なり。

鉄の厚みが餘り厚くなれば鐵損失が著しく増加する、即

ち厚みの大きなものを用ふれば Eddy loss が大きくなる。其故變壓器の如きは薄き鉄を重ねることによりて Eddy loss を減少し Eddy loss に起因する磁氣障遮作用を減じて鐵心の本質目的たる magnetic flux の通過を良好ならしむるのである。

次に鉄の厚さが如何に magnetic induction に影響するかを示す爲に水野敏之丞博士著の

“理論電氣學” 第二卷 p. 304

より抜萃し記するに今簡単に結果を導く爲に

(1) 鐵の permeability は constant と假定する。即ち  $\mu$  は磁力 H の Value により異なるのみならず鐵の Hysteresis の爲に磁力の増加する時と減少する場合とにより其の Value は異なるが今假りに Single Value で且つ constant なものとす。

(2) 鉄の兩側に於ける磁力の値を  $H_0 \cos wt$  なりとす。然して座標軸を第 4 圖の如く撰定する。磁力 H は Z 軸の方向に向ふものとす。

次の如き關係あり。

$$H = H_0 \left( \frac{\cosh 2px + \cos 2px}{\cosh 2pa + \cos 2pa} \right)^{\frac{1}{2}} \cos (wt - \phi) \dots \dots (1)$$

但し

$$\tan \phi = \frac{\sinh p(a-x) \sin(a+x) + \sinh p(a+x) \sin(a-x)}{\cosh p(a-x) \cos(a+x) + \cosh p(a+x) \cos p(a-x)} \dots \dots (2)$$

$$P = 2\pi \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}}$$

$\mu$  : permeability.

f : frequency.

$W = 2\pi\rho$  : phase angle.

$\rho$  : Electric resistance.

a : 1/2 thickness of sheet.

此の式より見れば磁力 H は x の函數にて Z や Y には無關係なり、而して H は又 x によりて其位相(phase)が異なることは(2)式より明かなり。磁氣障遮作用の大小は中心の磁力  $H_0$  と表面の磁力  $H_0$  との比で表はさるゝので厚さ a が與へられたる場合には是れは P の値即

$$2\pi \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}}$$

に關係するのである。今此の意味を明瞭にする爲に是れに數値を入れたる例を擧ぐれば

$\rho = 10,000$  (C.G.S. unit)

$\mu = 2,500$        $f = 100$

然して厚さ  $2a$  に種々の値を與へて鉄の中心磁力  $H_c$  と表面磁力  $H_o$  との比、從つて表面の magnetic induction (flux density) の比を求めるに

$$\begin{aligned} \text{厚さ } 2a = 4\text{mm} & \dots\dots\dots \frac{1}{268} \\ & = 2\text{mm} \dots\dots\dots \frac{1}{11.6} \\ & = 1\text{mm} \dots\dots\dots \frac{1}{2.4} \end{aligned}$$

となり鉄の厚さが大なる程、其の側面の磁力に比して内部の磁力が小さくなること明かなり。第5圖に之れを示す。是れにより鉄の厚さは  $0.5\text{mm}$  以下であれば鉄の表面と中心との磁力の相違が餘り出來ないこと明かなり。然しながら無暗に薄くすれば space factor (鐵にて充たさるべき空間が多くなり鐵にて充たさるべき全容積の何%かが減少する。此の率を space factor と云ふ) が大きくなり且製造が困難なると同時に製産費が無暗に高くつく。即實用的でなくなる。

第3節 時効:一軟鋼或は鋼を  $100\text{ C}$  位に保つと hysteresis loss は時間と共に次第に増加するが場合に依ると此の状態は數週間から 2~3 ヶ月に及ぶことがある。變壓器鐵心又は發電機等の如く絶えず使用し荷重の時では相當高い温度にあるから時効と云ふ特性を考慮すべきであるが現在の如く高珪素鋼のものが出來出してより殆んど時効は無視しても差支へない。其迄は約 100% の増加に達せしことありたり。Yensen の Vacuum iron の研究等により時効は無く negligible と考へらるゝに至つたが其迄は可成り考慮されたり。然し無暗に炭素の高き又不純物の多き時は注意すべきも現在の如く高珪素鋼にては negligible と考へて差支へなし。

第4節 總括:一電氣鐵板に必須なる電氣的性質は

- (1) 鐵損失少きこと (2) 導磁率高きこと (3) 時効少きこと(時効無きことを望む)
- (4) 厚さ均等なること
- (5) 鉄の表面平滑なること (6) スケール薄きこと
- (7) 適宜の柔軟性あること

等にて (1)~(3) 迄は電氣鐵板の本質的問題にて重に熱處理の如何に待つこと大なり (4)~(7) 迄は機械的取扱ひの巧拙により左右さるゝものにて外形的に決定さるゝ問題なり。

第5節 當所電氣鐵板規格:一當所電氣鐵板規格は American Society for Testing Material Specification "A-34-28" を採用しをれり (1930—Nov. 1st)。只當所と相違しをる點は該規格は比重値を珪素 2% 以上のものは 7.50 とし 2% 以下のものを 7.70 としてゐるが當所は分析掛に於て分析せる平均値を取り。

E.B	E.C	E.D	E.T
7.75	7.70	7.65	7.55

を使用しをれり。次に規格を列記する

(總て  $B = 10,000$  Gauss.)

Apollo Special Electrical. (Non-aging Sp. gr. 7.50)

30#	29"	28"	27"	26"	當所
(0.30mm)	(0.35mm)	(0.40mm)	(0.45mm)	(0.50mm)	規格
Watt per kg. 50cycle	1.375	1.375	1.41	1.50	1.56 E.T

Extra Apollo Special Electrical.

(Non-aging Sp. gr. 7.50)

29#(0.35mm)

1.24

Watt per kg. 50cycle

Selected Apollo Special Electrical.

(Non-aging Sp. gr. 7.50)

29#(0.35mm)

1.15

Watt per kg. 50cycle

Dynamo Special Electrical.

(Non-aging Sp. gr. 7.50)

30#	29"	28"	27"	26"	
Watt per kg. 50cycle	1.50	1.55	1.61	1.70	1.81 E.D.

Motor Special Electrical. (Non-aging Sp. gr. 7.50)

30#	29"	28"	27"	26"	
Watt per kg. 50cycle	1.85	1.89	1.98	2.07	2.13 E.C.

U. S. Electrical. (Slight aging Sp. gr. 7.70)

30#	29"	28"	27"	26"	
Watt per kg. 50cycle	2.09	2.20	2.35	2.51	2.60 E.B.

American Armature. (Slight aging Sp. gr. 7.70)

30#	29"	28"	27"	26"	
Watt per kg. 50cycle	2.46	2.53	2.64	2.83	3.12 E.A.

次に 1932 年 8 月 10 日更に A. S. T. M に於て測定後採用されたる規格を次に示す。當所に於ても順次製品の品位を上げる爲是れが規格の採用を見るべく努力しつゝあり

Apollo Special Electrical. (Non-aging Sp. gr. 7.50)

30#	29"	28"	27"	26"	
(0.30mm)	(0.35mm)	(0.40mm)	(0.45mm)	(0.50mm)	
Watt per kg. 50cycle	1.30	1.30	1.36	1.45	1.58

Extra Apollo Special Electrical.

(Non-aging Sp. gr. 7.50)

29#(0.35mm)

1.17

Watt per kg. 50cycle

Selected Extra Apollo Special Electrical.

(Non-aging Sp. gr. 7.50)

		29#(0.35mm) 1.08			
Dynamo Special Electrical.					
(Non-aging. Sp. gr. 7.50)					
	30#	29"	28"	27"	26"
Watt per kg. 50cycle	1.41	1.45	1.57	1.65	1.78
Motor Special Electrical. (Non-aging. Sp. gr. 7.50)					
	30#	29"	28"	27"	26"
Watt per kg. 50cycle	1.78	1.85	1.94	2.02	2.14
U. S. Electrical. (Slight aging. Sp. gr. 7.70)					
	30#	29"	28"	27"	26"
Watt per kg. 50cycle	2.02	2.14	2.32	2.46	2.64
American Armature. (Slight aging. Sp. gr. 7.70)					
	30#	29"	28"	27"	26"
Watt per kg. 50cycle	2.29	2.38	3.53	2.90	3.19

次に参考の爲に Sankey のを記す。(鐵損のみ)

Lysaght-Sankey Electrical Sheet Steel.

		(Watt per kg. 50cycle. B=10,000 gauss.)				
	30#	29"	28"	27"	26"	sp. gr.
Lohys.	2.83	2.999	3.17	3.37	3.60	7.80
Special Lohys.	2.30	2.44	2.60	2.78	2.99	7.80
Medium Resistance.	2.17	2.26	2.36	2.47	2.60	7.75
Stalloy.	1.50	1.50	1.57	1.64	1.72	7.50

第 2 章 各種成分の影響

各種成分の電気鐵鋼に及ぼす影響を記する前に少しく Historical Review を列記しやう

(1) Mushet が最初鑄鋼に石英を入れると硬く且つ脆くなることを見出した。

(2) 1880 年に多數の學者が珪素が入れば力が増すことを発見した。

(3) 1887 年に Tilden, Robert-Austen, Turner 等が 0.10~0.50% Si を入れたる鋼の性質を研究發表した而して Tensile Strength, Ultimate Strength を増すが Elongation が減ずることを見出した。

(4) 1889 年に Hadfield が鋼に 8.83% Si を装入した。7.23%, 8.83% Si の入った鋼は鍛鍊出来ない。鍛鍊可能の珪素含有量は 4.9% 迄であることを見出した。

而して上記の各實驗に於ては皆 C が相當高く 0.14~0.26% であつたが 1903 年には Baker が C を低く 0.04% になすことが出来た。

(5) 1904 年に Guillet は 30%Si の入った Fe-Si 合金の顯微鏡組織を研究した。彼は又 C が Fe-Si 合金鋼の鍛鍊度に及ぼす影響を調べ 0.94% C 含有鋼では Si 5% 以下に止むることを要するを発見した。

(6) 1912 年に Paglianti は 0.10% C, 0.22~0.60%

Mn の入った珪素鋼の研究結果を發表した。

(7) K. Daeves は鐵損失は炭素量に比例して大きくなる 0.04~0.11% C 迄は直線的である。而して 0.04% C 毎に 0.1 W/kg. の鐵損失の増加がある。且つ結晶の大きさと鐵損失とは又直線的の関係がある。

(8) Yensen は結晶の大きさと鐵損失との関係を數學的公式に表はした。(後述)

(9) Von Auwers は結晶の大きさと鐵損失との関係を否定した。

(10) Eichenberg & Oertel は結晶粒が大きく統一的なもの程鐵損失小さいが是れは鋼の中に含有されたる瓦斯により多少影響される故一概に云へぬと。

(11) Ruder は 3.25% Si のものを 1,050°C に加熱すれば粗大な結晶を得る。鋼を slight work したる後 720°C 位に加熱すれば前記の様な粗大な結晶組織を得る。鋼に小なる變形を與ふれば粗大なる結晶を得るが大なる變形を與ふれば緻密な結晶を得る。而し炭素量 0.01%~0.06% C 位では結晶の大きさに影響なしと。

(12) Bucher は結晶の大きさは變形率の大小如何に依る。大なる變形なき限り最初の結晶型は破壊されずに残つてゐる。

(13) Casaud は 2.85% Si の鋼を 450°C, 600°C, 1,100°C にて 2 時間焼鈍した。然るに 450°C にては結晶粒には變化なく 600°C にて再結晶が始り 800°C にて終る。1,100°C にては過熱されたる組織を呈する。而し 450°C にて焼鈍したるものは結晶には變化なきも鐵損失を減じ導磁率を増加する。

(14) 極く軽く常溫加工したる 4% Si 鋼に就き Von Moos が實驗し再結晶溫度は 800°C~900°C にあることを発見した。而して變形度の高い程大なる結晶を得る。再結晶は粒境界の一番強く變形を受けたる Slipping Plane より始る。

(15) 更に 1915 年に Yensen は眞空中にて珪素鋼を熔融製造し出来た鋼に就き種々實驗した。而して 2.56% Si のものは 5% Si のものと同様鍛鍊出来ないことを見出した。Hadfield, Paglianti, Baker は 2~3% Si の間に irregularities のあることを示してゐるが Yensen は正確に 2.56% Si と明示してゐる。何故に此附近のものは鍛鍊出来ぬか明らかに分らぬが大體 1 つの Compound Fe<sub>19</sub>Si だろうとのことである。是れは約 2.56% Si を含

む。而して更に  $Si$  を増し  $Fe_{19}Si_3$  にては約 4.99%  $Si$  にて鍛錬出来ない。

上記は大略歴史を述べたるが Hadfield の発見以後各學者が色々有益なる磁性質を研究發表したるが中にも顯著なるは Yensen 及 Gumlich のものである。

次に是等の結果を抜萃するに

$C$ :  $-C$  は極く僅かにても磁性には悪影響を與へる。第 6 圖に示す如く 0.008% 迄は  $C$  量に比例して鐵損失は増す。 $C$  量が多くなれば是れは  $Si$  量の多少によつて様子が變つて来る。低珪素鋼にては  $C$  量に比例して鐵損失は悪くなるが高珪素鋼にては  $C$  は黒鉛となりて析出する爲に其れ程鐵損失には影響を及ぼさぬ。圖中  $\Delta C$  は  $C$  の百分比の増加である。 $W_c$  は  $C$  による hysteresis loss の意味である。

$S$ :  $-C$  の次に磁性に害を與へるは  $S$  である。極く微量にても之れは悪影響を與へる。第 7 圖に 4% 珪素鋼の一例を示す。

$P$  及び  $Mn$ : 一是等の影響は比較的僅少なり。第 8 圖は  $Mn$  第 9 圖は  $P$  の鐵損失に及ぼす影響を示す。

$Cu$ : 一影響は極めて僅少なり。

$Si$ : 一論する迄もなく hysteresis と eddy loss を減じ時効を非常に輕減し且つ結晶粒を大きくする。即ち結晶粒が大きければ大きい程鐵損失は良好なり。但し  $Si$  の添加により著しく導磁率が降下するのが缺點なり。第 10 圖に誘導の降下する状態を示せり。珪素鋼は 4%  $Si$  以上は Hot shear しなければ鋼板は割れて剪斷出来ない。結晶粒も非常に大きく肉眼で見得る。

化學成分の外に更に鐵損失等に影響を與ふるものは此の結晶粒の大きさである。結晶粒の大きさと化學成分と hysteresis loss の關係を Yensen は次の如き式にて現はしてゐる。

Carbon in Solution (low carbon)

0~2%  $Si$

$$W_h = 65\sqrt{N} + 100,000C + 18,000S + 1,000Mn + 13,000P$$

upper limit:  $C=0.006$   $S=0.01$

$Mn=0.06$   $P=0.015$

4~6%  $Si$

$$W_h = 65\sqrt{N} + 100,000C + 12,000S + 800Mn - 4,000P$$

upper limit:  $C=0.008$   $S=0.05$

$Mn=0.16$   $P=0.05$

Precipitated carbon ( $Fe_3C$ , pearlite, graphite), 2%  $Si$

$$W_h = 3N + 800 + 16,500(C - 0.008)$$

$$+ 18,000S + 1,000Mn + 13,000P$$

upper limit:  $C=0.50$   $S=0.10$

$Mn=0.60$   $P=0.015$

4%  $Si$

$$W_h = 3N + 800 + 2,250(C - 0.008)$$

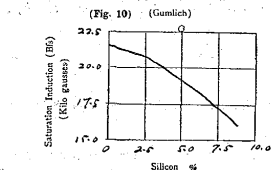
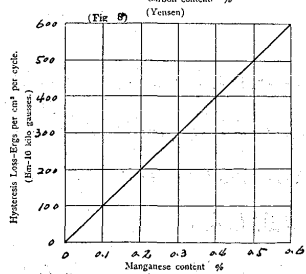
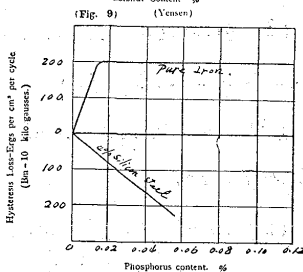
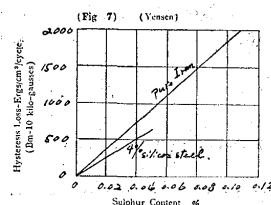
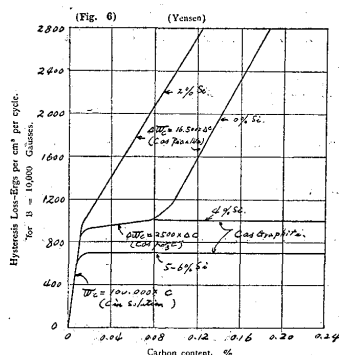
$$+ 0(C - 0.08) + 12,000S + 800Mn - 4,000P$$

upper limit.:  $C=0.08$   $C=10$

$S=0.05$   $Mn=0.16$   $P=0.05$

$W_h$  = hysteresis loss in ergs per cubic centimeter per cycle.

$N$  = number of grains per square millimeter.



### 第3章 薄鐵板の製造

第1節 材料: 一前記各成分の影響の項に於て述べたる如く珪素以外の成分はなるべく少きを可とし珪素含有量は各々規格により異つてゐる。即ち次の如きものなり。

規格	Si	C	Mn	P	S	Cu
E.B.	1.20以下	0.10以下	0.16以下	0.030以下	0.030以下	0.10以下
E.C.	1.50~2.50	"	0.15以下	0.025以下	0.025以下	"
E.D.	2.50~3.60	0.08以下	"	0.020以下	0.020以下	"
E.T.	3.70~4.40	0.05以下	0.10以下	"	"	"

参考の爲に獨逸電氣鐵板分析を示すに

(Normal Symbol D. I. N 6400)

(1) Normal Dynamo Sheets (Dynamo A mark)

C	Si	Mn	P	S
<0.10	0.5~0.8	0.20~0.35	<0.04	<0.04

(2) Weak Alloyed Sheets (Dynamo B mark)

C	Si	Mn	P	S
<0.10	0.9~1.2	0.20~0.35	<0.04	<0.04

(3) Middle Strong Alloyed Sheets  
(Dynamo C mark)

C	Si	Mn	P	S
<0.10	1.8~2.3	0.20~0.30	<0.04	<0.04

(4) High Strong Alloyed Sheets  
(Transformer sheets)

C	Si	Mn	P	S
<0.08	3.8~4.2	0.10~0.20	<0.025	<0.025

上記は電氣鐵鋼の分析上の級別にて電磁氣的成績は熱處理法の如何によりて E.D が E.T とも E.C ともなり、又 E.D が E.T や E.C になることもあるが、よしんばかゝる結果が出て分析 E.D として出たるものは E.D とし E.T として出たるものは E.T として取扱ふ。

斯くの如く珪素量多く炭素量少なく極度に鋼を精鍊することは非常に苦心を要する。

製鋼工場にて製造されたる鋼塊は厚鋼工場、平鋼工場にて壓延せられてシートバーとなりて薄鋼工場に供給せらる。目下使用中のシートバーは

製品寸法 mm	シートバー mm	單 重 kg
0.35 × 3 × 6	7.32 × 200 × 940	10.80
0.43 × " × "	9.01 × 200 × 940	13.30
0.50 × " × "	10.3 × 200 × 940	15.20
0.64 × " × "	13.2 × 200 × 940	19.50

次に比重と各ゲージ定尺もの單重を示すに

比重及定尺(3'×6')の單重  
U.S.G.

	比重	30	29	28	27	26	25	24
E.B.	7.75	4.132	4.627	5.145	5.663	6.169	7.205	8.229
E.C.	7.70	4.094	4.607	5.112	5.627	6.129	7.159	8.176
E.D.	7.65	4.068	4.567	5.078	5.590	6.089	7.112	8.123
E.T.	7.55	4.015	4.507	5.012	5.517	6.009	7.019	8.017

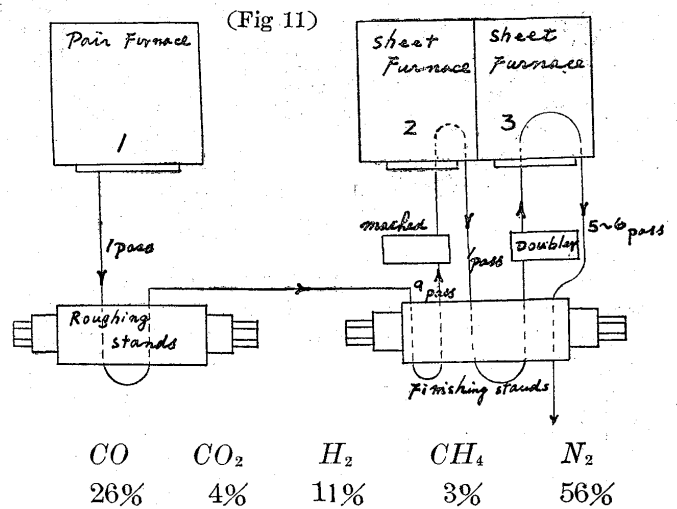
シートバーは薄き硫酸にて酸洗滌後表面を手入れし薄鋼工

場に送らる。

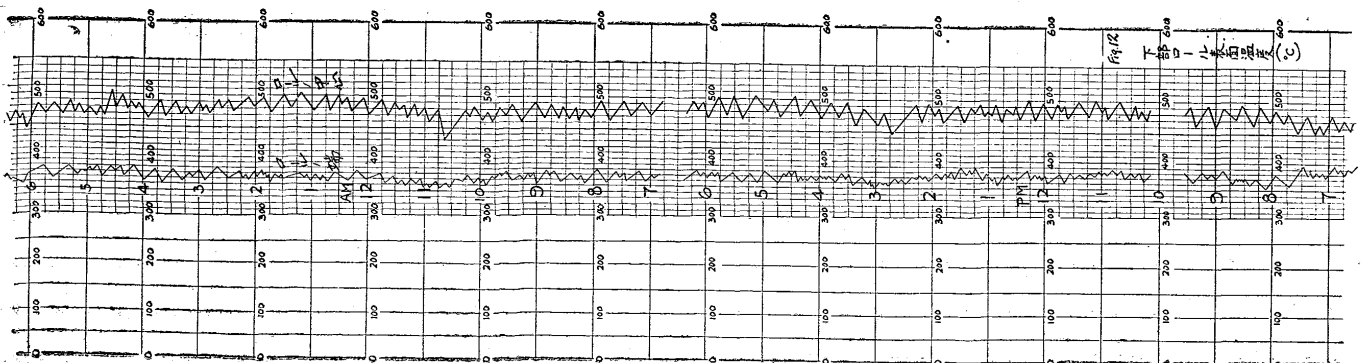
第2節 壓延作業(熱間):一目下の作業は2臺を電氣鐵鋼の壓延作業にあて他は全部黒鋼の壓延を主としてゐるロールは仕上ロール2臺に荒ロール1臺を使用し壓下調節は全部手加減にて行ふ。加熱爐は仕上ロール1臺に對して荒爐(Pair Furnace)を1基仕上爐(Sheet Furnace)を2基使用する。

加熱爐及後述の燒鈍爐に使用する瓦斯は全部發生爐瓦斯なり。

發生爐瓦斯分析は大略



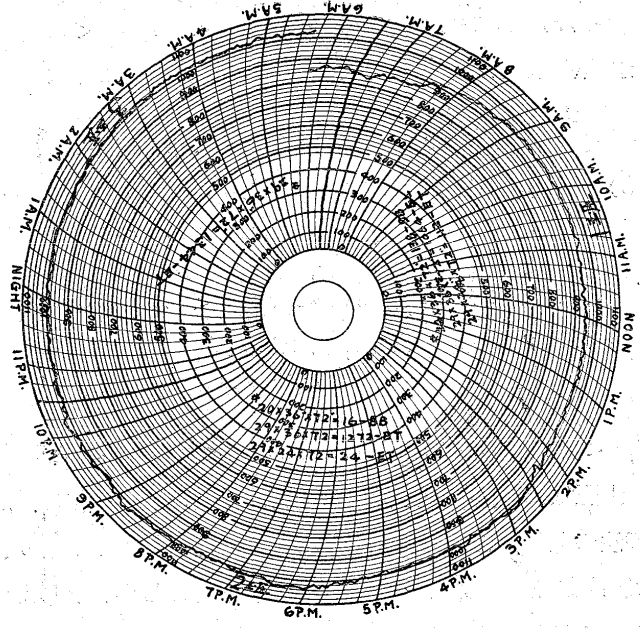
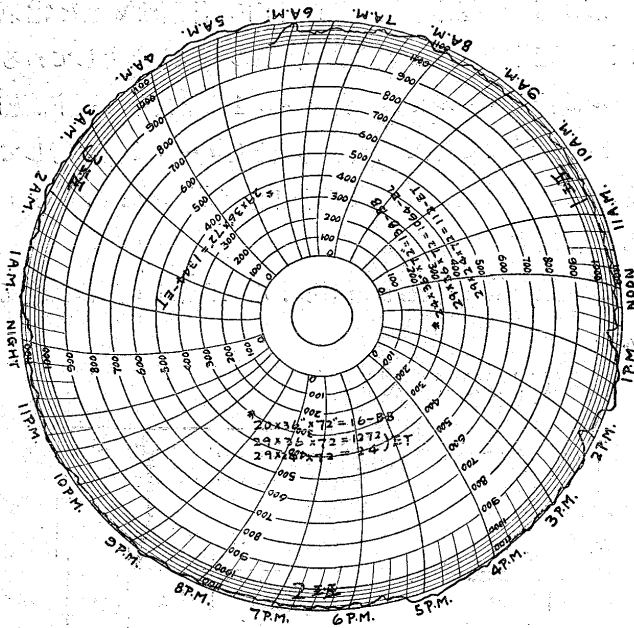
先づシートバーは充分薄鐵鋼にて包裝の上荒爐(材料加熱爐)に装入す。1 チャージは 32 枚装入す。然して荒爐前面より 2 枚づつを荒ロールに運び壓延をなす。荒爐のチャージの加熱時間約 30~40 分なり。荒爐より運ばれたる 2 枚のシートバーは先づ荒ロールに 1 回づつ通して仕上ロールに運び 3~4 回通して 2 枚を重ね約 5~6 回通じて約 50 吋位の長さとし次の 2 枚と計 4 枚を仕上爐に入れ加熱後更に爐より引き出し仕上ロールを 1 回通して折疊機(Doubler)に運び之れを眞二つに折る。長さ約 30 吋位になる。



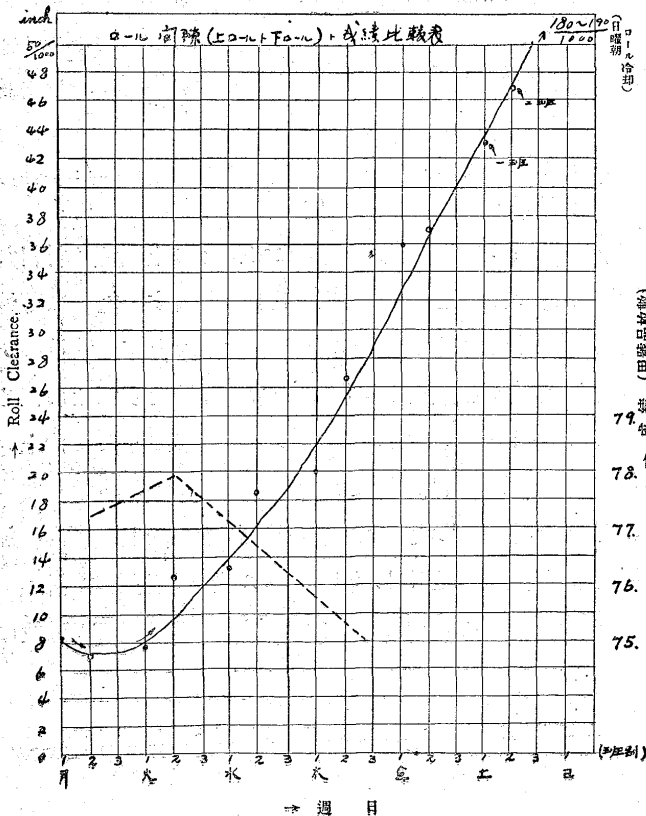
(Fig. 12) 下部ロール表面温度曲線

(Fig. 13 荒爐溫度曲線)

(Fig. 14 仕上爐溫度曲線)



(Fig. 15) New Roll Concavity = 85/1000"



ル機迄)に冷える故總べて作業は敏活なる事を要す。特に高珪素のものは冷えれば硬度高き故ロール折損の懼れあり荒爐及仕上爐及壓延中のロール温度は Recording pyrometer により絶えずレコードをなしをれり。荒爐の温度は約 950°C~1,100°C 位、仕上爐は 900°C~1,000°C 位に加熱さる。尙燃焼瓦斯も絶えず CO<sub>2</sub> recording meter により record してゐる。次に参考の爲に爐内より引き出したる鉄がロール機に至る迄に降下する温度を Optical pyrometer により測定したるに次の如し。

荒 爐				仕 上 爐			
爐番	爐内温度	荒爐引 出直後	同壓延 前	爐番	爐内温度	荒爐引 出直後	同壓延 前
1	1,000°C~ 1,100°C	940°C	940°C	1	980°C~ 1,000°C	950°C	926°C
1	"	980	960	1	"	940	920
2	"	990	940	2	"	920	900
2	"	970	970	2	"	920	910

現在製造中の鉄は厚さ 0.35mm が多く特に 0.50mm, 0.64mm 或は薄物にて 0.2mm のものを製造することあり。次に壓延作業工程を圖解したるものを(第 11 圖)に示す。荒爐及仕上爐の温度を第 13 圖、第 14 圖に掲げたり。電氣鐵鉄壓延には又ロールの調節最も重要にして是れを好い加減にする時は甚しく厚み不同の鉄を生じ檢定に於て不合格となる。ロールの concave を好く調節しロールの温度に變化なき様作業をする事を要すロールの温度に變化ある時は折損する懼れあり。又鉄の仕上温度の餘りに低きものは後に熱處理をなすも良好なる結果を得られず。電氣鐵鉄製造の第一關門は此の壓延作業の巧拙にある。次に普通口

之れを直ちに仕上爐に入れ加熱後仕上ロールに運び約 5~6 回パスして長さ規定の 6 呎より少しく長い鐵鉄を作る。即 1 パケツトは 8 枚となる。かゝる操作を絶えず繰返へすのである。電氣鐵鉄は熱の傳導不良なる爲加熱は餘程注意を要し且つ酸化しスケール出來易きにつき常に爐内は還元焔になしおく事肝要なり。鉄は又運搬中(爐よりロー

ールを週の始めに組入れ後日曜日に組替に至る迄の毎日のロールの磨滅間隙(但し熱間)を測定したるに第15圖の如し。是れにより火曜日全日と水曜日半日位はロールの状態最も良好なる事を知る。依りて電氣鐵鋼圧延には週内に1度ロール組替(水曜日午後)を行ひ絶えずロール concave を火曜日、水曜日の良好なる状態にある様に保たしめる。此處に掲ぐる圖よりロール間隙の磨滅の大なるに随ひ成績の降下する事が伺はれる。(第15圖)

第12圖に壓延中の下ロール中心及ネットの溫度曲線を示す。

ロールの溫度も圖に示す如く中心にて大體  $480^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$  にて兩端は  $380^{\circ}\text{C}$  前後なり。ロールの熱を無暗に高くすれば折損の懼れあり又低く過ぎては鋼の伸び悪くロールの concave 深くなり良き鋼を製造出來得ない。ロールの大體の life は近時熟練の結果  $1,000\sim 1,200\text{ton}$  にも達する。ロールの concave を適當に保たしめ溫度を降下せざる爲には絶えずロール状態を見ながら加熱材を加熱壓延し特に製品の荒爐、仕上爐の加熱溫度を少くとも  $950^{\circ}\text{C}\sim 980^{\circ}\text{C}$  位に加熱しおくを要す。次に良好なる製品を得る爲に壓延作業上注意すべき條件は

- (1) シートバーの厚み不同なきもの(標準重量を有する事)
- (2) 材料鋼質の均一なものを使用の事
- (3) 加熱爐に於ける加熱を充分にし不均等なく且酸化を防ぐ爲に還元焰にする事。
- (4) ロール溫度及膨脹の程度を絶えず見てロール concave を常に一定に調節する事。
- (5) 鋼の加熱状態を見て壓下を適當にする。
- (6) 爐より運ばれたる鋼は敏活に壓延作業をなし鋼の熱を落さぬ様にする。

上記の各條件に絶えず注意を拂ひをりても尙製品には厚薄の不同を生ずる。現在は各1枚毎の厚さを測定し1枚の不同  $\pm 5\%$  以下としてゐる。幅は  $+4\text{mm}$ 、長さは  $+10\text{mm}$  にて何れも一は絶対に不可なり。重量は標準重量に對しては  $\pm 5\%$  以下、1ロットに對しては  $\pm 2.5\%$  以下としてゐる。

壓延に要する原動機は 1,330 HP 誘導電動機を使用し 320 回轉を減速してロールは毎分 32 回轉位となつてゐる。

壓延成績歩止りは  $70\%$  にて夏季になれば著しく減少し約  $60\%\sim 65\%$  になる。

第3節 コールド壓延作業(冷間):—熱間壓延を終りたる鋼はなるべく温き内に剪斷し離鋼後コールドミルに送られる。電氣鐵鋼コールド壓延用のロールは普通のコールドロールより硬度の高きものを用ふ硬度は 83 位(普通鋼用ロールの硬度は 73 位)にて特に *Ni, Cr* の少量を含有せり。原動機は 350 HP にてロールは毎分 38 回轉す。

ロールの寸法は前記熱間ロールは直徑は 30" 長さはロール面 42" あり。

コールドロールの寸法は約直徑 25 $\frac{1}{4}$ " 長さは 50" なり電氣鐵鋼は常溫にては可成り脆く珪素量に比例して次第に脆くなり、高珪素鋼は冷態のままコールド壓延をすれば破れる懼れある程である、故に電氣鐵鋼は總て約 2 ton 入の電氣豫熱爐を使用し約  $170^{\circ}\text{C}$  前後に加熱し(所要時間は 30~40 分)て後蓋を取り直ちにコールドロールにかける。大なる皺を取り去り且つ表面を平滑にし space factor を良好ならしむる爲に 2~4 回コールドパスをなす。コールドパスをすることにより Eichen Value は 29# ゲージにて  $6.19\text{mm}$  から  $5.71\text{mm}$  位になり又厚さの減少は約  $0.02\sim 0.03\text{mm}$  位にて是れは一にロールのカーブの調整と壓下の具合により一定せず。

コールド壓延を終りたる鋼は直ちに検査課厚さ測定係へ送られ1枚毎に厚さを測定し合格の物は焼鈍爐へ送られ餘りに過厚のものは再度コールドロールに送らる。此の厚さ測定係に於て形狀検査の結果1號品2號品等に選別せらる

第4節 機械的性質:—電氣鐵鋼は珪素量に比例して、脆く且つ硬くなつてくる。熱間壓延作業に於ても *Si* が  $4.5\%$  以上にもなつてくれば非常に作業が困難になり鋼を室溫状態にて  $180^{\circ}$  屈曲すれば破切する。鐵損失は *Si* が多い程少く良好なれど壓延作業の困難なる點より最高珪素量は  $4.4\%$  位に制限される。低珪素のものは可成り粘り強く  $180^{\circ}$  の屈曲にも耐え且つ 4~5 回の交互屈曲も可能なり。ブラックシート(黒鋼)の軟柔を測るに Eichen Testing machine がある。是れにより電氣鐵鋼を測定し普通鋼と比較するに(29# ゲージに就き)

	熱間壓延 のまま	コールド 壓延	焼鈍 したるもの
普通鋼	5.19 mm	4.19 mm	7.01 mm
E.B.	6.24 mm	5.66 mm	7.02 mm
E.T.	4.55 mm	3.92 mm	2.67 mm

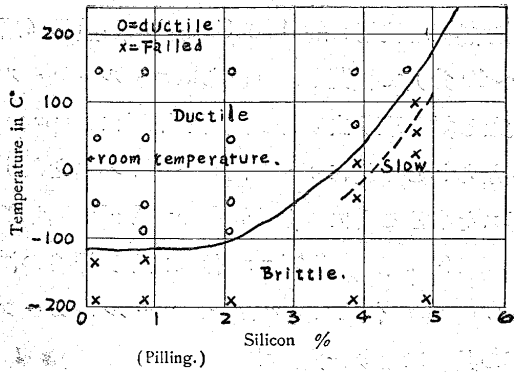
上記の如く E.T のものは焼鈍後は却つて減少する。是れは結晶組織より見て然らしむるところならん。電氣鐵鋼は前記の如く常溫状態では非常に脆い故冷間壓延の際には之

れを少しく加熱して後壓延するが是れに關しては以下の圖の如く Pilling が Curve を發表してゐる。

“Low Temperature Brittleness in Silicon Steel, N. B. Pilling, Trans. A. I. M. E., Feb., 1923” (第 16 圖)

次に電氣鐵鋼の硬度及び牽延試験をなしたり。即ちシートパーより 20%, 40%, 60%, 80% と Hot reduction をなし是れを各溫度に焼鈍後の硬度、抗張試験、顯微鏡組織を調べたり。(因に焼鈍は現場に於ける電氣爐を用ひたり)

(Fig. 16) Effect of Silicon on Temperature of Incipient Ductility of Silicon Steel.



Rockwell hardness in B scale. (and shore hardness.)

E. B. class (Si 1.044%)

No.	Reduction.	Thickness.	As hot rolled.	500°C Annealed	600°C Annealed	700°C Annealed	800°C Annealed	900°C Annealed
1.	0%	7.8 m/m	73.3(18)	68.7(17)	67.3(15)	66.1(15)	68.5(16)	68.5(16)
2.	20%	6.47 "	80.7(23)	73.9(17)	65.6(16)	63.5(15)	60.9(17)	60.9(17)
3.	40%	4.97 "	70.9(17)	70.3(16)	67.3(17)	64.7(14)	68.1(17)	68.1(17)
4.	60%	3.35 "	79.4(21)	75.3 18	63.9(16)	60.0(16)	64.7(18)	64.7(18)
5.	80%	1.68 "	78.8(20)	73.1(21)	67.7(21)	62.4(18)	69.5(20)	69.5(20)

化學組成は E. B. class は

括弧の中は Shore hardness を示す。

	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.051	1.044	0.09	0.012	0.011	0.07

E. T. class (Si 4.05%)

No.	Reduction.	Thickness.	As hot rolled.	500°C Annealed	600°C Annealed	700°C Annealed	800°C Annealed	900°C Annealed
1.	0%	10 m/m	99.7(36)	99.6(36)	99.4(34)	97.6(34)	98.7(34)	98.6(35)
2.	20%	8 "	99.8(35)	100.0(38)	99.7(34)	100.1(38)	99.6(36)	98.8(35)
3.	40%	6 "	101.0(37)	100.6(42)	99.1(35)	100.0(38)	99.9(36)	97.9(34)
4.	60%	4 "	101.1(40)	100.5(42)	100.4(40)	101.3(37)	100.2(41)	99.4(36)
5.	80%	2 "	100 (42)	100.5(42)	99.4(38)	99.7(36)	100.5(41)	99.7(36)

化學組成は E. T. class のものは

	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.049	4.048	0.09	0.013	0.010	0.07

(a) As hot rolled. E. B. class (Si 1.044%) のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	7.81m/m	46.31	40.79	36
2.	20%	6.47 "	47.15	38.30	26
3.	40%	4.97 "	45.18	38.15	38
4.	60%	3.33 "	49.27	39.01	30
5.	80%	1.68 "	49.80	38.15	26

T.S = Tensile Strength (kg/mm<sup>2</sup>)  
E.L = Elastic Limit (kg/mm<sup>2</sup>)  
Elong = Elongation (%)  
Gauge length x 50m/m

E. T. class のもの (Si 4.048%)

(b) 600°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	7.83 m/m	45.38	36.99	37
2.	20%	6.51 "	44.76	36.94	40
3.	40%	4.95 "	40.28	38.96	34
4.	60%	3.30 "	46.53	33.45	33
5.	80%	1.68 "	46.24	36.36	28

(a) As hot rolled.

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	10.31m/m	59.39	—	3.0
2.	20%	8.21 "	42.36	—	0
3.	40%	6.10 "	40.34	—	2.0
4.	60%	4.13 "	57.92	—	0
5.	80%	2.06 "	68.35	—	6.0

(c) 700°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	7.80m/m	39.25	30.52	38
2.	20%	6.37 "	41.25	28.12	40
3.	40%	4.74 "	42.62	42.03	36
4.	60%	3.34 "	41.61	35.57	36
5.	80%	1.67 "	42.31	34.90	34

(b) 500°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	10.31m/m	58.09	58.09	4.0
2.	20%	8.34 "	50.68	50.68	1.0
3.	40%	6.09 "	41.08	41.08	2.0
4.	60%	4.13 "	51.37	50.04	2.0
5.	80%	2.06 "	65.27	64.46	5.0

(d) 800°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	7.78m/m	42.33	30.20	40
2.	20%	6.50 "	39.77	—	43
3.	40%	4.77 "	40.50	30.50	38
4.	60%	3.36 "	38.33	—	40
5.	80%	1.65 "	39.52	29.25	28

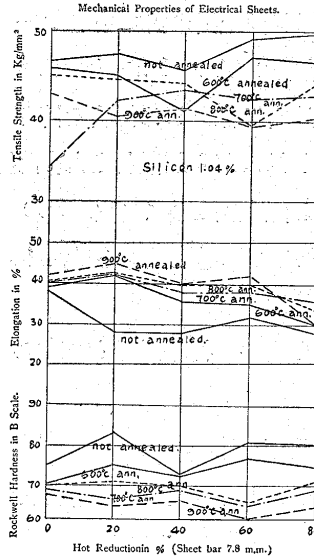
(c) 600°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	10.31m/m	35.60	—	0
2.	20%	7.98 "	38.91	—	0
3.	40%	6.14 "	47.54	—	1.0
4.	60%	4.17 "	69.02	—	9.0
5.	80%	2.09 "	69.56	—	20.0

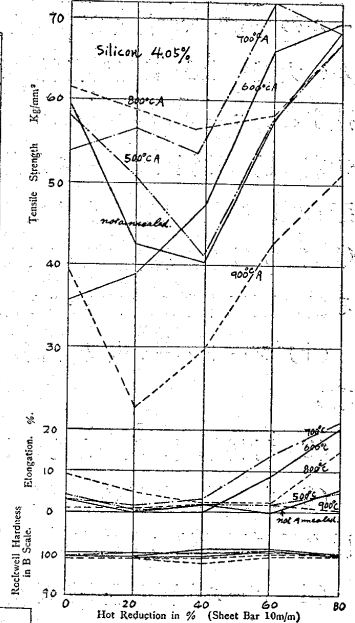
(e) 900°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness.	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	7.79 m/m	44.59	33.94	38
2.	20%	6.51 "	54.10	45.02	40
3.	40%	4.65 "	43.57	—	38
4.	60%	3.77 "	38.35	29.22	38
5.	80%	1.67 "	43.71	37.14	32

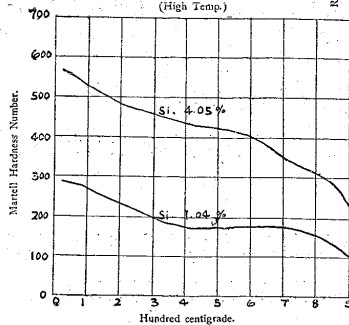
(Fig. 17)



(Fig. 18)



(Fig. 19) Impact Hardness of Silicon Steel (High Temp.)



(d) 700°C Annealed のもの

No.	Reduction	Thickness (mm)	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0%	10.31	53.92	—	3.0
2.	20%	8.32	56.78	—	2.0
3.	40%	6.05	53.69	—	3.0
4.	60%	4.12	72.10	—	14.0
5.	80%	2.02	68.32	62.34	22.0



(e) 800°C Annealed のもの

No.	Reduction %	Thickness mm	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0	10.32	61.35	—	9.0
2.	20	8.23	58.82	—	5.0
3.	40	6.09	56.53	—	2.5
4.	60	4.16	58.18	—	2.5
5.	80	2.06	67.34	58.80	15.0

(f) 900°C Annealed のもの

No.	Reduction %	Thickness mm	T.S (kg/mm <sup>2</sup> )	E.L (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong (%)
1.	0	10.31	39.11	—	1.0
2.	20	8.17	22.55	—	1.0
3.	40	6.07	29.69	—	2.0
4.	60	4.14	42.62	—	2.0
5.	80	2.11	51.51	—	1.0

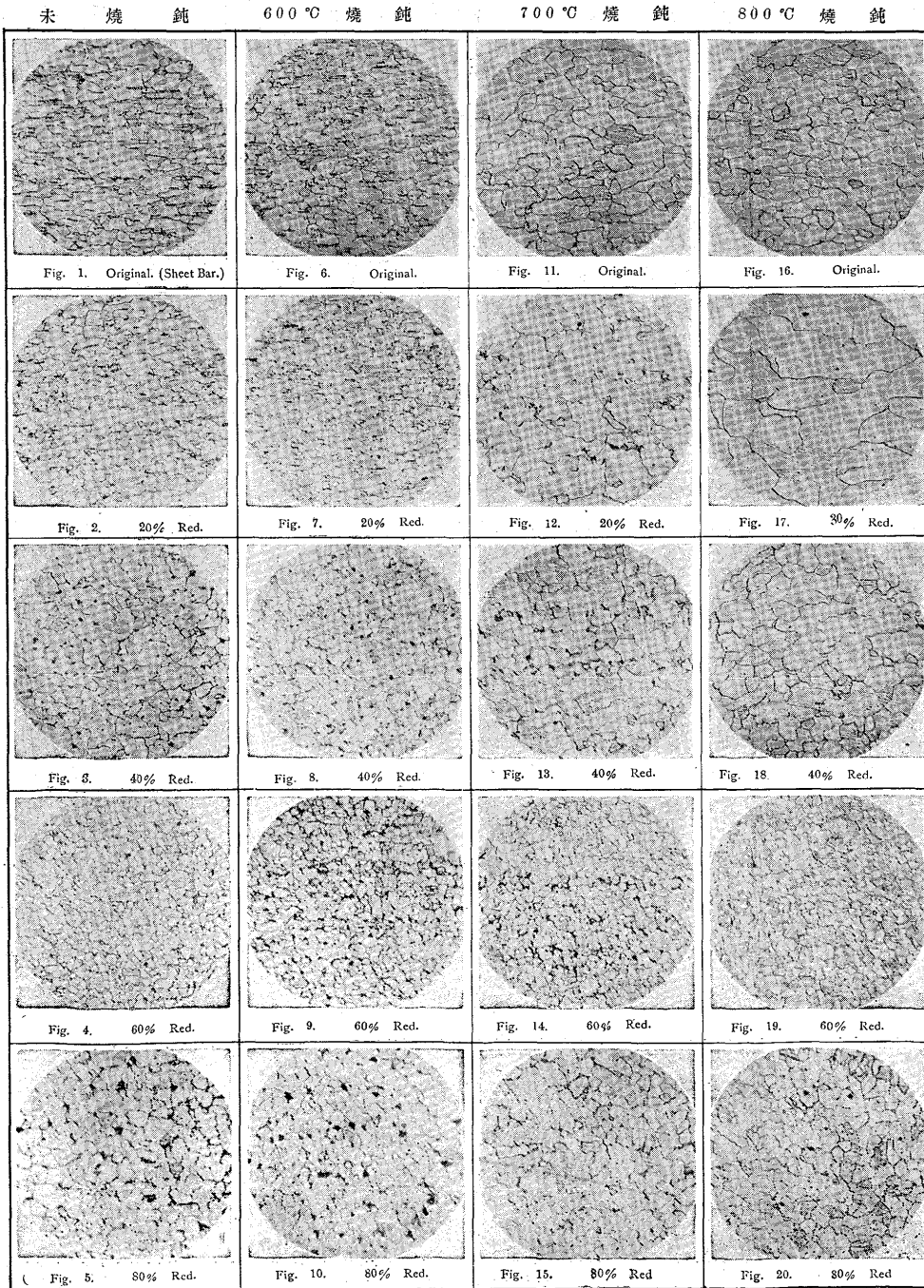
次に第 17 圖、第 18 圖に是等を Curve にしたるものを掲ぐ。尙試料の顯微鏡組織を掲げたり。(第 A 圖、第 B 圖)

Yensen が實驗したる機械的試験の結果を記するに

	1% Si	4% Si
Tensile Strength lb/in <sup>2</sup>	45,000(31.5)	80,000(56.2)
Elastic limit lb/in <sup>2</sup>	25,000(17.5)	45,000(31.5)
Elongation in %	18	3

括弧内は kg/mm<sup>2</sup> にて表はしたり。

第 A 圖 E.B.(1.04% Si) 焼鈍温度と組織



次に同じく Yensen の “Magnetic and other Properties of Iron-Silicon Alloys, melted in Vacuo,” 内に記載されたる各實驗者の機械的性質の曲線を掲げたり。(第 20 圖)

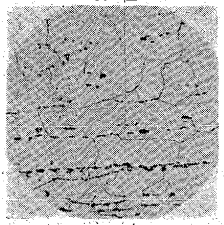
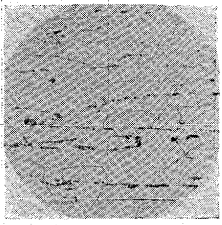
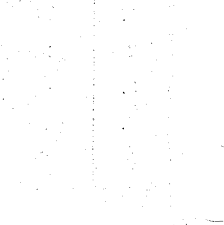
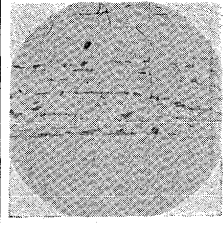
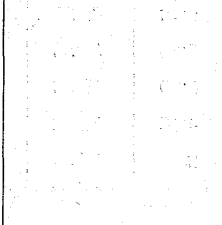
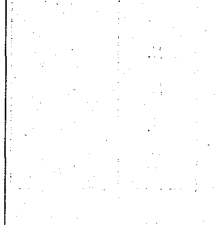
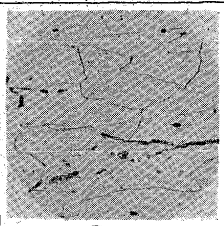
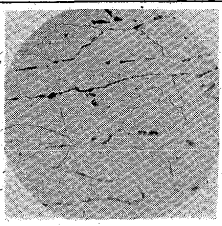

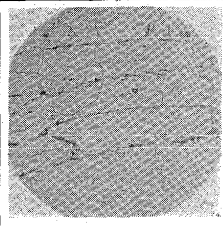
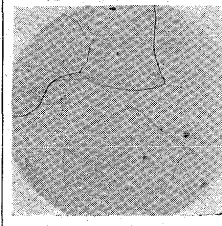
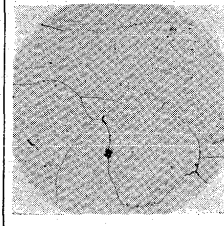
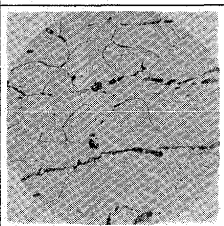

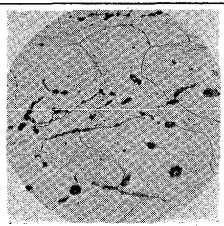
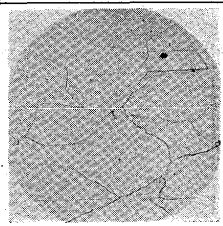
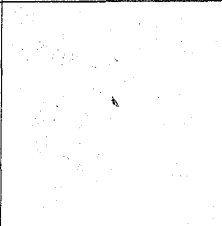
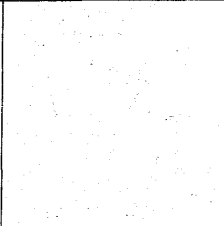
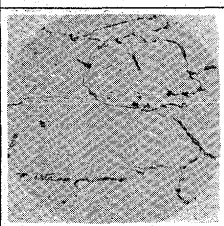
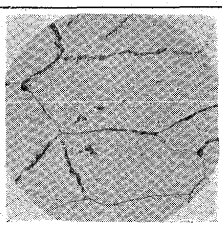

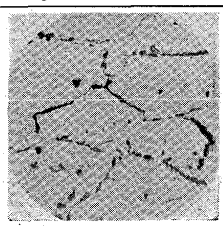
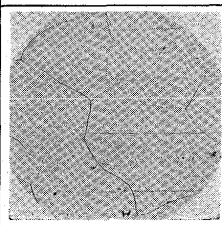
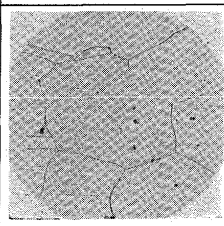
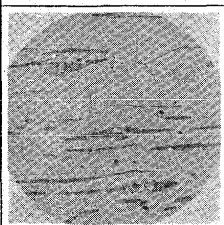
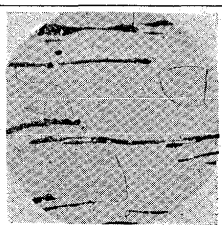
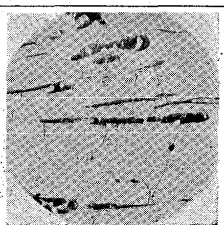
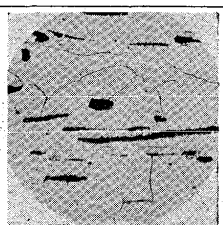
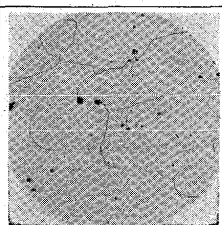
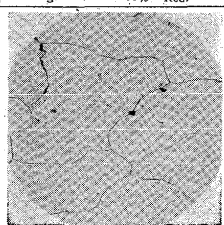
是等曲線により電氣鐵鋼は Si 4.5% 以上にては Elongation は殆んど 0 にて非常に脆く剪斷すれば破切する (必ず Hot Shear することを要す)

第 19 圖に Si 1.04%, 4.048% のものゝ熱間硬度曲線を掲げたり。

第 5 節 焼鈍作業:— 焼鈍作業は電氣鐵鋼の製造には最も重要なものなり。熱間壓延をなし冷間壓延を経たる電氣鐵鋼は以下に示す曲線にある如く鐵損失は非常に大きく且導磁率は低い、是れを適當に焼鈍することにより鐵損失は約 1/2 或は其れ以下に最高導磁率は數倍に増加する。焼鈍作業は鐵鋼を 800°C~900°C 時には其以上に加熱し或る一定時間保持後常溫に至る迄徐冷する。

是れに要する時間は數十時間、時には數日を要する。電氣鐵鋼の焼鈍作業上特に重要な

第B圖 E. T. (4.05% S) 燒鈍溫度と組織

未 燒 鈍	500 °C 燒 鈍	600 °C 燒 鈍	700 °C 燒 鈍	800 °C 燒 鈍	900 °C 燒 鈍
 Fig. 1. Original. (Sheet Bar.)	 Fig. 6. Original.		 Fig. 15. Original.		
 Fig. 2. 20% Red.	 Fig. 7. 20% Red.	 Fig. 11. 20% Red.	 Fig. 16. 20% Red.	 Fig. 20. 20% Red.	 Fig. 23. 20% Red.
 Fig. 3. 40% Red.	 Fig. 8. 40% Red.	 Fig. 12. 40% Red.	 Fig. 17. 40% Red.		
 Fig. 4. 60% Red.	 Fig. 9. 60% Red.	 Fig. 13. 60% Red.	 Fig. 18. 60% Red.	 Fig. 21. 60% Red.	 Fig. 24. 60% Red.
 Fig. 5. 80% Red.	 Fig. 10. 80% Red.	 Fig. 14. 80% Red.	 Fig. 19. 80% Red.	 Fig. 22. 80% Red.	 Fig. 25. 80% Red.

ことは酸化してスケールの出来るのを防ぐことなり。

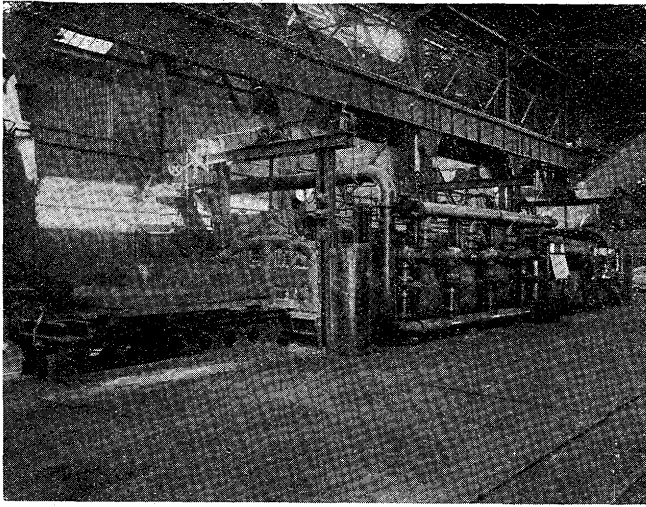
鋼板は燒鈍筐（鐵板又は鑄物筐）に装入し充分サンドソール後爐内に入れられるが特に當所に於ては燒鈍の前後に於て筐内に還元瓦斯を注入し筐内の空氣を此の瓦斯によりて置換する装置を施しをれり。所謂 Gas Pickling をなしをれり。使用瓦斯は窒素瓦斯及普通の市販の瓦斯燃料なり。然しながら酸化作用は一に溫度の高低如何による故燒鈍作業は其の目的を達し得る最低溫度にて燒鈍することなり。且電氣鐵板は一度 over anneal したるものは如何にしても良き結果を現はさざる故特に溫度には注意を要す。高珪素鋼よりは低珪素のもの酸化し易く厚き Scale 出來

るに付注意すべきなり。溫度高過ぎたる低珪素鋼板は鉄と鉄とが Stick なし離鉄に困難なり。溫度高過ぎたるものは普通誘導にては鐵損失や導磁率に大したる影響なきも高誘導に於ては飽和磁束密度が著しく減少する故に高誘導にて働く電動機や變壓器には非常に能率が低下する。然しながら極く微弱な酸化作用は寧ろ望ましく炭素を CO<sub>2</sub> 瓦斯として多少とも追ひ出すに役立つなり。

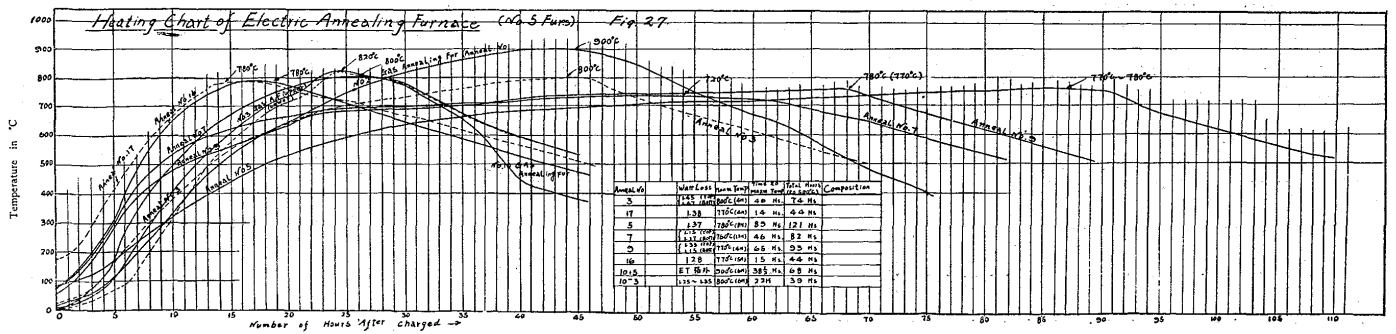
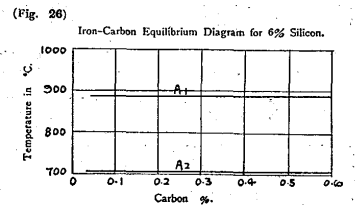
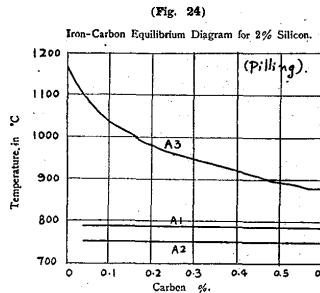
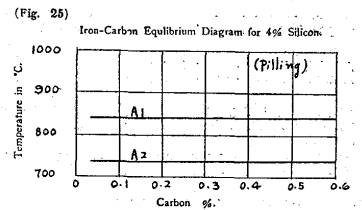
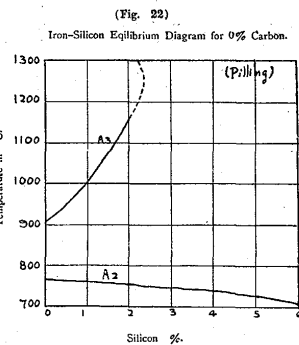
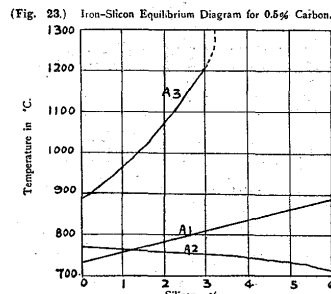
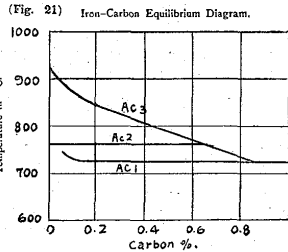
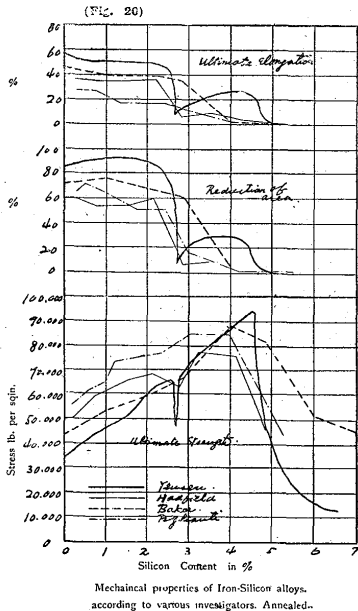
扱燒鈍作業を記する前に參考の爲に Pilling & Halliwell の實驗した鐵—珪素平衡圖を掲げる。第 21 圖より第 26 圖まで。

壓延作業を経た鉄は非常なる内部歪を受け硬くなり結晶

第2圖 瓦斯燒鈍爐



第3圖 電氣燒鈍爐



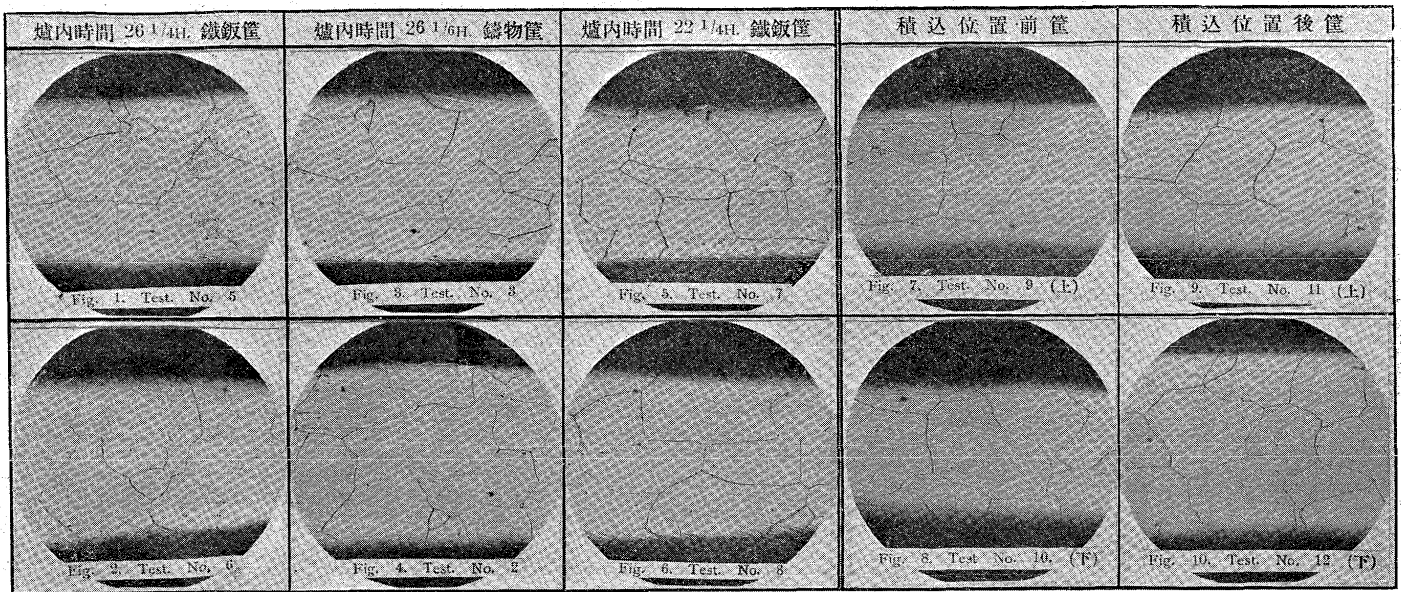
粒も不齊になつてゐるが之れを焼鈍することにより内部歪は除去され硬度を減じ延性を増し加工を容易ならしめ結晶粒の不齊を均整にする。Si量の多少焼鈍爐装入量及使用焼鈍爐により焼鈍方法に變化あるは勿論なるが如何にすれば常に統一されたる良好なる製品を得るかは技術家の最も苦心するところなり。

當所に於ては従來は10~20 噸近くを1回の装入量とし

焼鈍爐も亞米利加式ボール型(非連續式燒鈍爐)にて燒鈍を爲しつゝありたるも装入量の多きと更に幾分改良を要する點もありたる爲新に電氣鐵鈹専用燒鈍爐を新設せり。(寫眞第2圖參照) 何れも使用瓦斯は發生爐瓦斯なり。使用燒鈍箱も鐵鈹製にて1回装入量は1箱約4.5 噸を2箱計9 噸を燒鈍す。此の爐に於ては主として低珪素鋼鈹を燒鈍し變壓器用高珪素の電氣鐵鈹は更に約2 噸入り電氣燒鈍爐10

第 1 圖 連續式燒鈍爐にて燒鈍せる鉄

第 2 圖 非連續式燒鈍爐にて燒鈍せる鉄・



臺を使用しをれり。然して低珪素鋼鉄専用燒鈍爐にて爐内燒鈍時間 26 時間にて爐外引出し後常温に至る迄連続に窒素瓦斯容量 45 立 (150 氣壓) のもの約 1/2 使用す。爐内に入りてより燒鈍後蓋取り迄全時間 60 時間を要す。

高珪素鋼鉄専用燒鈍の電氣爐は約 2 噸を 50 時間にて爐内より引出し直に鐵鉄マツフルの中に入れ常温に至る迄徐冷す。全時間は約 100 時間を要す。高珪素のものは特に熱の傳導率不良に付徐熱し 2 噸前後の容量のものを約 800 °C 近く昇すに 30 時間を費しをれり。然しながら是等燒鈍時間は裝入量爐體の大きさ或は其他の條件によりて適當に変更するを要す。

次に電氣燒鈍爐の瓦斯燒鈍爐に勝る點を擧げるに

- (1) 温度の調節が容易である。
- (2) 燒鈍鉄に出来る Scale が非常に少い。
- (3) 特別の燒鈍箱が不要である。
- (4) 取扱ひ操作が簡單なり。
- (5) 均等に加熱が出来る。
- (6) 瓦斯燒鈍爐の如く燒鈍鉄を瓦斯洗滌する要なし。

但し容量の小さいのと珪當り費用が少しく高價につく。然しながら鐵鉄全體を均等に加熱し良き製品を得る上には最も必要なり變壓器用電氣鐵鉄の良好なるものは電氣燒鈍爐に依らなければ出来ない。

第 1 項 電氣燒鈍爐と瓦斯燒鈍爐にて燒鈍せる鉄の

スケール量比較:—

- (1) 瓦斯燒鈍爐にて燒鈍のもの。

是れは試験時代に所謂亞米利加式燒鈍爐に於て鑄物箱を上下に重ね燒鈍する際に上箱の方は加熱前に 25 立の窒素

瓦斯を注入し置き燒鈍後箱を爐内より引出し後冷却に至る 20 時間に約 110 立を注入せり (相當の壓力を以て)。下箱は加熱前に 25 立を注入し爐内に入れ燒鈍中絶えず窒素瓦斯を注入す。勿論爐より引出し冷却する迄絶えず連續に注入せり。約 132 時間に 270 立の瓦斯を注入せり。燒鈍後各積込み鉄の中心より試材 8"×1.2" を取り 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中にて洗滌し重量差を測定す。試材の化學分析は次の如し。

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.048	4.036	0.16	0.014	0.025	0.04

Scale の量は以下の如し。

	酸洗前量 重	酸洗後量 重	差	スケール %	積込位置
上箱	16.656	15.938	0.718	4.31	最上部
	16.475	16.000	0.475	2.88	中央
	16.519	15.938	0.581	3.52	"
			平均	3.57	
下箱	17.006	16.138	0.868	5.08	最上部
	17.181	16.831	0.350	2.04	中央
	16.444	16.038	0.406	2.47	"
			平均	3.19	

- (2) 電氣燒鈍爐にて燒鈍のもの。

分析、試材寸法は同じ、3 回分を記す。

	酸洗前量 重	酸洗後量 重	差	スケール %	積込位置
1 回	14.7178	14.5092	0.2086	1.41	中央
2 回	14.2150	13.9720	0.2430	1.709	"
3 回	13.4195	13.2305	0.1890	1.43	"
			平均	1.516	

上記の如く電気焼鈍爐のものは瓦斯焼鈍爐のものに比し約1/2にて鉄の面光澤良好なり。

次に連続爐、非連続爐、電気爐等各焼鈍爐に於て變壓器用電気鐵鋼を試験焼鈍し如何に電気焼鈍が勝れぬかを記し更に焼鈍方法のみならず焼鈍前の機械的歪(壓延作業)等が焼鈍後の鉄に及ぼす影響を概略記することとす。

第2項 連続焼鈍爐に於ける實驗:一普通の黒鉄を焼鈍する連續爐(ルツプマン式)に於て、此の爐は10臺車(1臺車に普通鉄は2箱約26噸装入のもの)を装入し爐に装入してより爐を出る迄約25~26時間を費し約2.5時間に1臺車づゝ爐外に引出すものにて、此の普通鉄積込臺車の途中に鑄物箱に電気鋼鉄を積込み2箱上下に重ねて装入したり普通鉄焼鈍途中に装入するものなる故特に箱内鉄鋼の中央にThermocoupleを挿入し絶えず温度の昇り具合を調節したり。普通鉄を過熱することなく電気鐵鋼に充分に均等なる熱を與へること最も重要なり。電気鐵鋼化學分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
(1)	0.047	3.983	0.100	0.013	0.012	0.06

にして箱内鉄の温度は770°C~780°C 全焼鈍時間は爐内26½時間なり。

試料番號	積込位置	鐵 損 失		誘 導 H=20
		V <sup>10/50</sup>	V <sup>15/50</sup>	
1	上の上	1.35	2.96	13,900
2	上の下	1.26	2.75	13,950
3	下の上	1.35	2.98	14,000
4	下の下	1.36	3.04	13,850

寫眞第1圖の Fig. 3, Fig. 4に一部組織を示す。

次に同じ爐に於て更に熱の傳導の良好なる鐵鋼管を使用し前圖と同じ焼鈍時間にて焼鈍したる場合と特に時間を短くして焼鈍したる場合との結果を見るに(前者爐内焼鈍時間26¼H 後者は22½H) 使用試料分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
(2)	0.047	3.927	0.11	0.012	0.011	0.07

今回はThermocoupleは挿入せず、管内温度は前回より少しく高し。

試料番號	積込位置	鐵 損 失		誘 導 H=20
		V <sup>10/50</sup>	V <sup>15/50</sup>	
5	中央上	1.35	2.75	13,700
6	中央下	1.35	2.63	13,800
7	中央上	1.35	2.80	13,750
8	中央下	1.36	2.80	14,400

顯微鏡寫眞第1圖 Fig 1. Fig 2. Fig 5. Fig 6. に組織を示す。是等鐵損値は規格に照して漸く合格範囲内に入るものにして良好なりとは云へず。且つ焼鈍時間の長短の影響は是れにては變化なし。但し鐵鋼管の時間の長きもの結晶粒最も大なり。未だ少しく温度の低過ぎたる傾向あり。然し乍ら組織寫眞より見て案外に鐵損値悪きはScaleの影響か或は均等に加熱されざりし爲ならん。

第3項 非連続式焼鈍爐に於ける實驗:一次に前述の特に電気鐵鋼専用焼鈍爐に於て鐵鋼管を用ひ焼鈍したり。此の爐は特に天井を低くし熱の傳導を最も早くしたるものなり。前回實驗のものは装入量約10噸前後なるに今回のものは約8噸なり。鐵鋼管内にthermo-coupleを装置し温度を調節し爐内温度は820°Cに昇けたり。爐内焼鈍時間は22時間なり。試料分析は前回の試料なき爲少しく高珪素のものを用ひたり。

	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.045	4.301	0.10	0.013	0.011	0.05

試料番號	積込位置	鐵 損 失		誘 導		
		V <sup>10/50</sup>	V <sup>15/50</sup>	H=20	H=50	H=100
9	前の上	1.25	2.83	13,600	14,900	16,200
10	前の下	1.35	3.01	13,620	15,000	16,220
11	後の上	1.33	2.92	13,650	15,100	16,320
12	後の下	1.29	2.84	13,550	14,930	16,300

上記成績の如く此の爐に於ても餘程注意深く瓦斯燃焼を行ひても尙約4噸入り一管内に於てすら上下の積込位置にて鐵損失に差を生ず。然し乍ら爐の構造と瓦斯の燃焼状態の良好なる爲部分的にも鐵損失の良好なるものを得る。是等試料の結晶組織を寫眞第2圖に示す。

第4項 電気焼鈍爐に於ける成績:一電気焼鈍爐と云へ

焼鈍番號	送電時間*	天井底部温度	装入量	鐵 損 失		
				V <sup>10/50</sup>	H=50	H=100
1	17½H	820 810)	2噸	1.37	15,350	16,660
2	18	850 830)	"	1.32	14,960	16,150
3	21	830 810)	"	1.33	15,270	16,540
4	22	830 810)	"	1.31	15,290	16,590
5	16½	820 800)	1噸	1.23	15,580	16,770
6	19½	820 800)	"	1.26	15,210	16,630
7	21	850 830)	1.5噸	1.15	15,00	16,270

\* (内5時間は各天井温度にて保持したり)

ども其の装入量と焼鈍法に當を得ざれば良好なる結果を得ず。上表は各實際作業の装入量、焼鈍法及成績を記す。全部同一分析のものを集めたり。化學分析は

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.049	4.048	0.09	0.013	0.010	0.07

此の結果より少しく温度を上げ送電時間を少しく延長し次の如き結果を得たり。

焼鈍 番號	送電 時間	天底 温度	井部 温度	装入量	鐵損失			誘導	
					V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	H=50	H=100	H=50	H=100
8	30H	860°C	860°C	1.5噸	1.18	15,150	16,210		
9	34	"	"	"	1.16	15,080	16,330		
10	29	"	"	"	1.14	15,120	16,270		
11	26	"	"	"	1.18	15,160	16,330		
12	26½	"	"	1噸	1.16	15,170	16,260		
13	31	"	"	1.5噸	1.16	15,170	16,270		
14	26¾	"	"	"	1.16	15,210	16,430		
15	26½	"	"	"	1.14	15,170	16,300		
16	28	"	"	"	1.14	14,970	16,160		

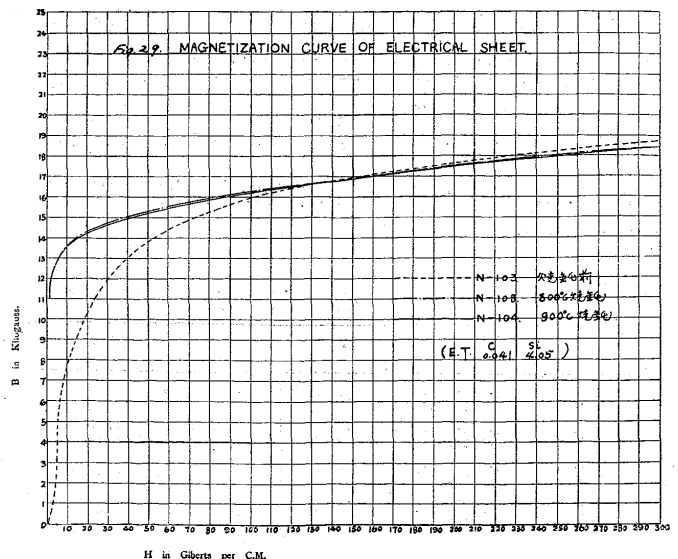
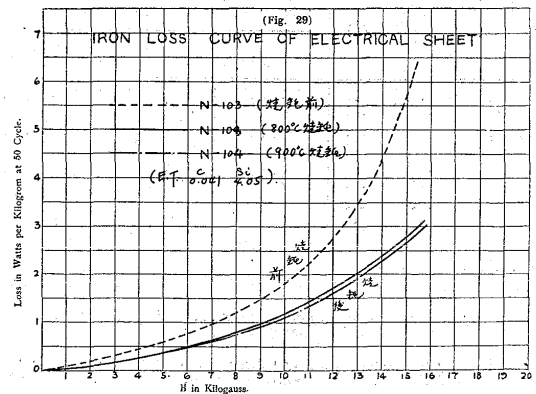
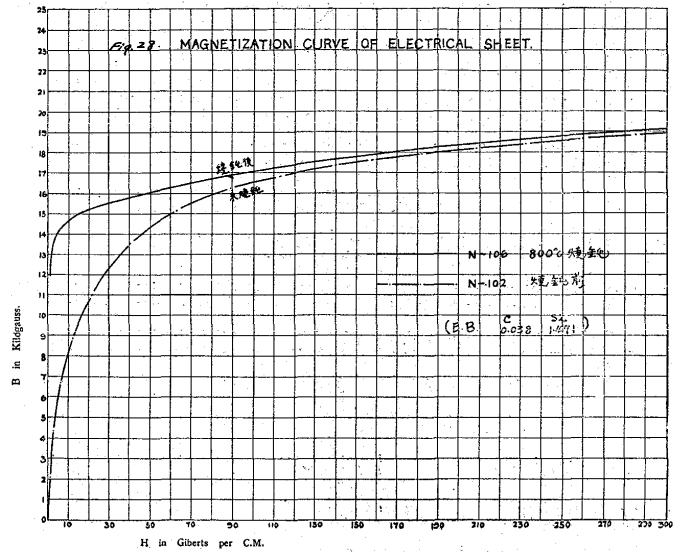
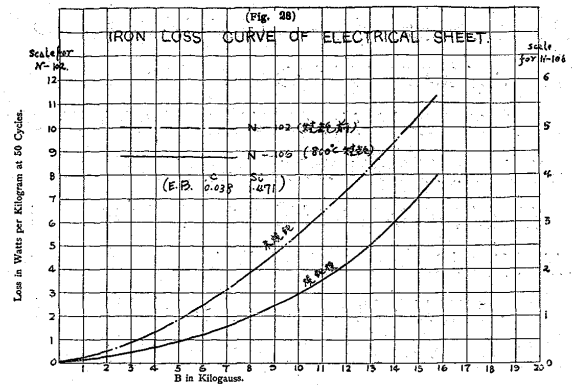
上記の如く送電時間を少しく延長して天井温度に保持時間を7時間とし且つ電氣爐天井温度と底部温度を同一にしたり。甚だ良好なる結果を得たり。現在は殆んど上記焼鈍方法により統一されたる優秀製品を陸續製造しつゝあり。送電中止後約27~29時間爐内冷却後爐より引出し更に鐵板製のマツフル内に2日間冷却す。電氣爐内に装入の際は充分是を包装して装入す。第27圖に各種焼鈍爐管内昇温曲線と成績を示す。電氣爐のHeating coilは最初は上部Coverのみなりしが其後全部底部にも入れたり。其結果曲線にある如く最初約90時間を要したりしものが其1/3の30時間に短縮する事を得たり。

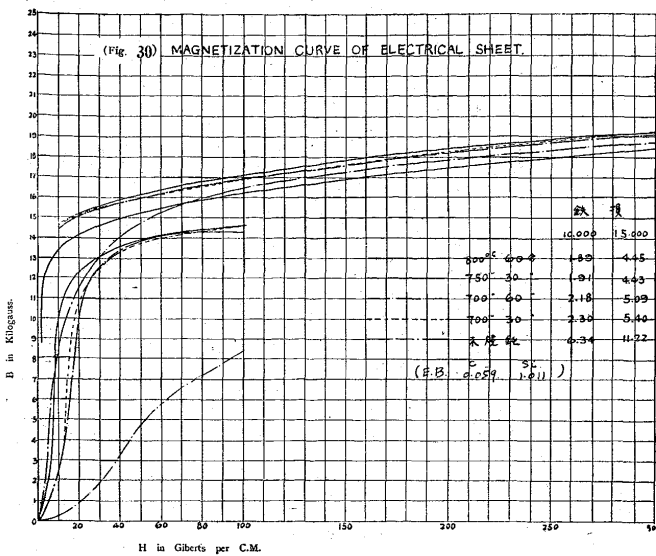
次に上記は焼鈍方法のみを念頭に置きたるが更に焼鈍前の熱間壓延の際の仕上温度、シートバーに含有されたる煉瓦入りの影響、冷態壓延の影響等2.3の實驗例を参考の爲に掲げる。

第5項 熱間壓延の仕上温度の影響:一特に熱間壓延の際仕上温度を充分昇げたるものゝ電氣試驗結果を記す。化學分析は

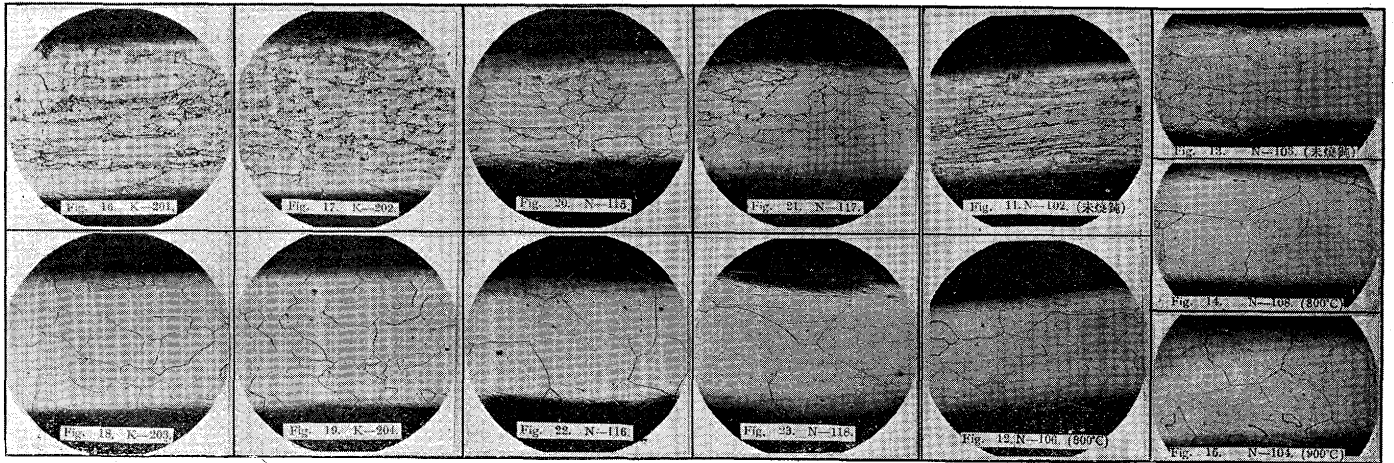
C	Si	Mn	P	S	Cu
(1) B.E 0.038	1.471	0.16	0.009	0.016	0.07

試料番號	鐵損失		誘導			
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	H=20	H=50	H=100	H=300
N-102 燒鈍前	5.52	10.39	10,750	14,430	16,500	19,140
N-106 燒鈍後 (800°C)IH	1.49	3.52	15,250	16,090	17,070	19,260





第3圖 表面に煉瓦疵のあるものと無きものゝ比較



第4圖 ホット圧延に於て仕上温度を高くせるもの

熱間圧延仕上 90°C	E.C. 1.78	1.76
	E.D. 1.51	1.54
熱間圧延仕上 940°C	E.C. 1.68	
	E.D. 1.44	
熱間圧延仕上 900°C	E.T. 1.30	
熱間圧延仕上 940°C	E.T. 1.26	

焼鈍方法は同じ爐内同一筐に積込み實驗したるものなり  
 は等仕上温度高き方焼鈍後の鐵損値は小なり。

第30圖に E.B. class にて特に珪素の少きものゝ各温度に於ける鐵損と導磁率を示せり。同じ E.B. class にても珪素量により焼鈍温度同じにて鐵損値に餘程差あり。

第6項 表面煉瓦入りの影響: 一次に電氣鐵鋼の製造工程に於てシートバー内に既に存在したる耐火物(鋼塊より來るもの)が壓延の際鐵鋼の薄く延ばされるに従ひ次第に

次に E.T. 鋼鋼にて特に仕上温度を上げたものゝ焼鈍結果を示すに次の如し。化學分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
(2) E.T.	0.041	4.05	0.10	0.014	0.011	0.06

試料番號	鐵損失		誘導		
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	H=50	H=100	H=300
N-103 焼鈍前	1.80	5.64	13,720	15,990	18,880
N-106 800°C IH 焼鈍	1.21	2.76	15,230	16,200	18,440
N-104 900°C IH 焼鈍	1.13	2.64	15,320	16,250	18,470

是等電氣試驗曲線を第28圖及第29圖に寫眞を第4圖に示す。

次に單に鐵損失のみを試驗したる成績を記す。化學分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
E.C.	0.046	1.626	0.21	0.012	0.016	0.08
E.D.	0.05	3.093	0.16	0.010	0.010	0.07
E.T.	0.053	3.924	0.18	0.015	0.012	0.07

焼鈍後鐵損失 V<sup>15</sup>/<sub>50</sub>

擴り表面に現はれたるものゝ電氣試驗結果に及ぼす影響を試驗したり。即煉瓦入り多數のものと全く煉瓦の混入なきものと同じ取扱ひをなし焼鈍前後の成績を見るに次の如し化學分析は

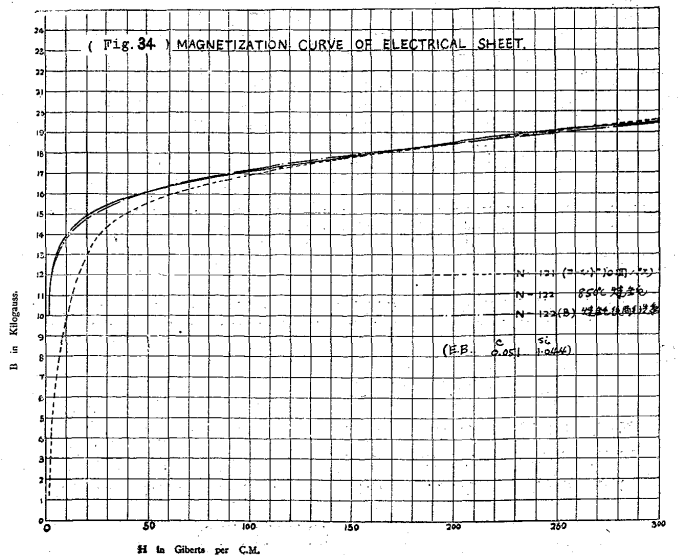
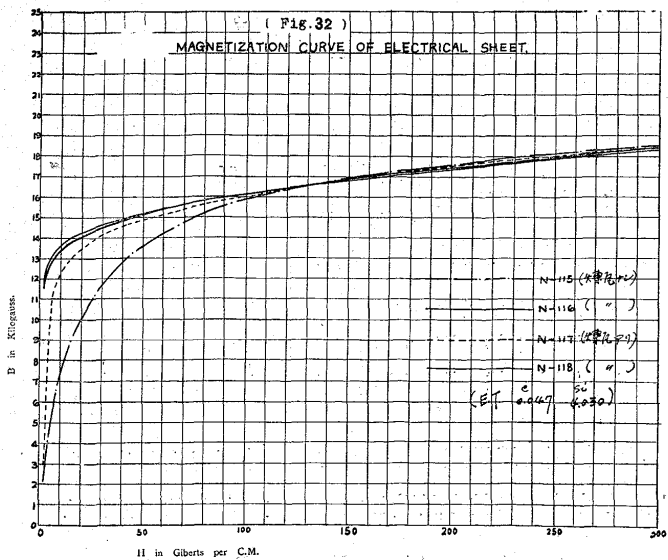
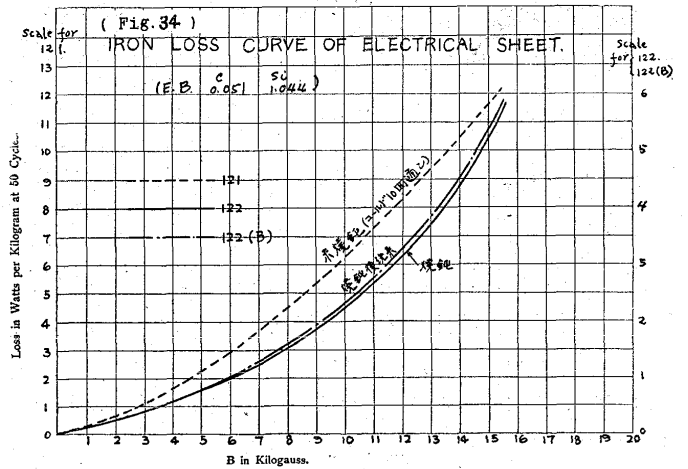
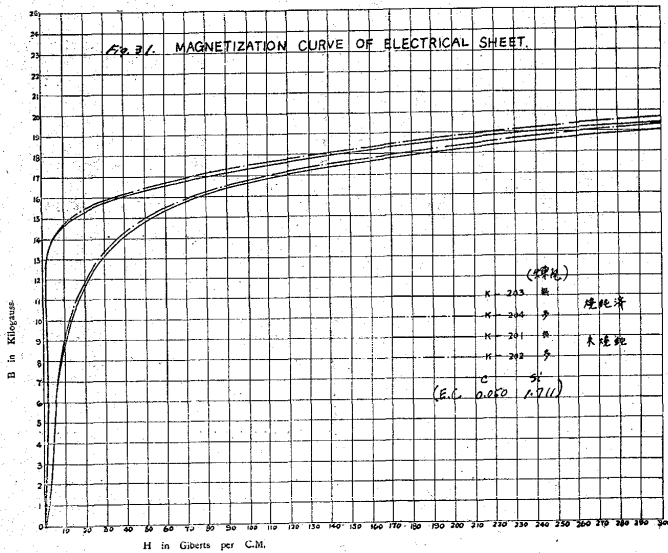
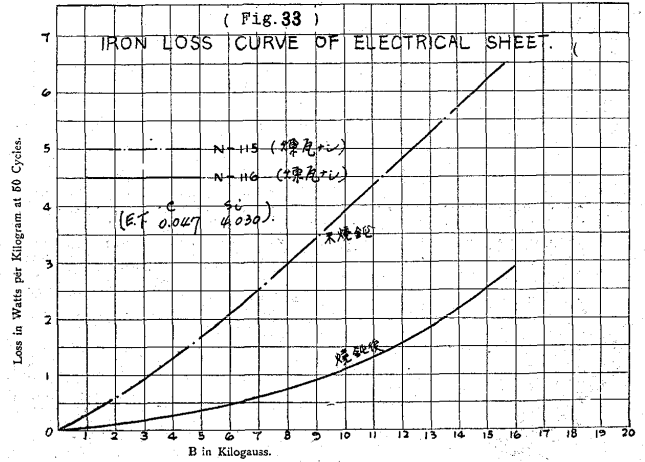
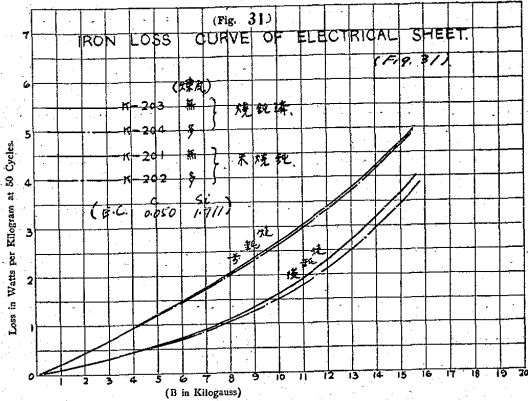
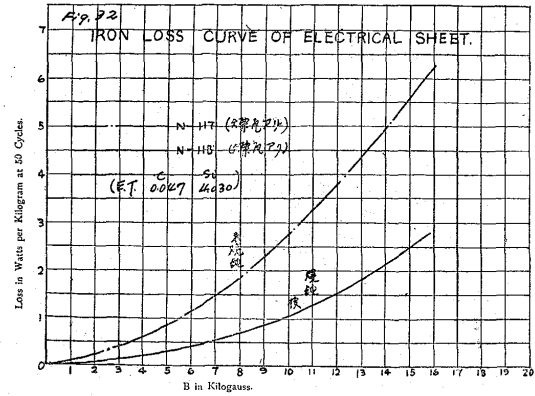
	C	Si	Mn	P	S	Cu
(1) E.C.	0.050	1.711	0.18	0.013	0.011	0.06

試料番號	鐵損失		誘導		
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	H=50	H=100	H=800
K-201(煉瓦無)未焼鈍	5.33	9.43	14,800	16,620	18,200
K-202(煉瓦多)未焼鈍	5.28	9.39	14,890	16,700	18,380
K-203(煉瓦無)焼鈍	1.62	3.98	16,340	17,340	18,630
K-204(煉瓦多)焼鈍	1.52	3.48	16,420	17,520	18,890

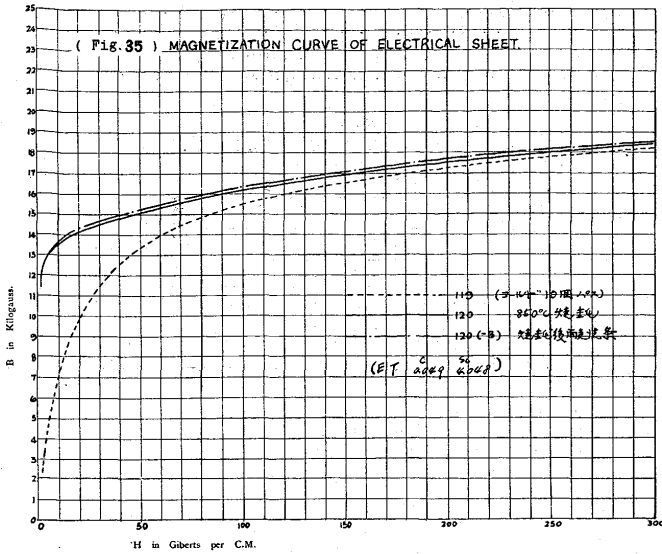
次に變壓器用鐵鋼のものにて特に煉瓦混入甚しきものと全くなきものに就き試驗したるに次の如し化學分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
(2) E.T.	0.047	4.030	0.10	0.012	0.010	0.07

試料番號	鐵損失		誘導			
	$V^{10}/50$	$V^{15}/50$	H=20	H=50	H=100	H=200
N-1 5(煉瓦無)未燒鈍	3.87	6.13	10,060	13,510	15,860	18,400
N-117(煉瓦多)未燒鈍	2.76	5.56	13,700	15,150	16,250	18,400
N-16(煉瓦無)燒鈍	1.10	2.52	14,240	14,870	15,970	18,380
N-118(煉瓦多)燒鈍	1.08	2.45	14,110	14,970	16,200	18,300







上記試験に依れば煉互入りの為電磁氣的成績には悪影響を及ぼさざる様なり。

是等試験結果鐵損失、導磁率曲線を第 31 圖より第 33 圖に示す。尙顯微鏡寫眞第 3 圖に組織を示す。焼鈍は 850°C に 1 時間なり。

第 7 項 冷態壓延の影響:—電氣鐵板は熱間壓延後は更にコールドローリングをなし板の歪を取り光澤を與へ非常に表面を滑かにする。通常 2~3 回コールドパスをなすが特に多くの機械的歪を與へる爲に各々 10 回パスを試みたり。Erichsen Value の變化及び焼鈍前後の成績は次の

エリヒヤン値

試料	厚さ	未焼鈍	焼鈍後	標準
E.B. (コールド10回パス)	0.34	4.92	6.53	7.18
E.B. (コールド2回パス)	0.39	5.66	7.02	7.44
E.T. (コールド10回パス)	0.34	3.19	2.08	7.18
E.T. (コールド2回パス)	0.37	3.75	4.52	7.35

電氣試験

E. B.

試料番號	鐵損失		誘導			
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	H=20	H=50	H=100	H=300
(121) 未焼鈍	6.27	11.62	12,810	15,580	16,990	19,540
850°C 焼鈍	2.21	5.26	14,560	16,090	17,090	19,480
焼鈍後酸洗滌	2.30	5.33	14,800	61,020	17,210	16,440

E. T.

試料番號	鐵損失		誘導			
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	H=20	H=50	H=100	H=300
(119) 未焼鈍	3.76	6.02	9,800	13,350	15,520	18,280
850°C 焼鈍	0.99	2.31	14,090	15,030	16,170	18,290
焼鈍後酸洗滌	1.08	2.37	14,310	15,250	16,360	18,560

如し。分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
(121) E.B.	0.051	1.044	0.09	0.012	0.011	0.07
(119) E.T.	0.049	4.048	0.09	0.013	0.010	0.07

上記の結果を見るに低珪素のものは餘り機械的歪を加へても良くはならず却つて悪い結果が出てゐるが是れは或は焼鈍の際に溫度が低過ぎたる爲かとも思はる。高珪素のものは歪を加へる事により非常に良好なる結果を示したり。結晶組織より見ても充分なり。E.B. E.T. とともに焼鈍後 5% 硫酸の酸洗滌をなして Scale を取除き電氣試験をなしたるに結果不良なり。是れは酸洗滌の爲に Hydrogen gas を吸引したる爲ならんか。是等試験結果曲線及顯微鏡組織を第 34 圖より第 35 圖に示す。寫眞は第 5 圖。

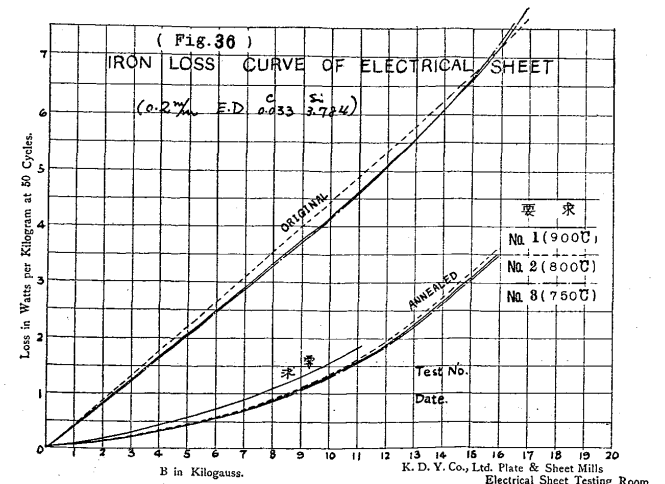
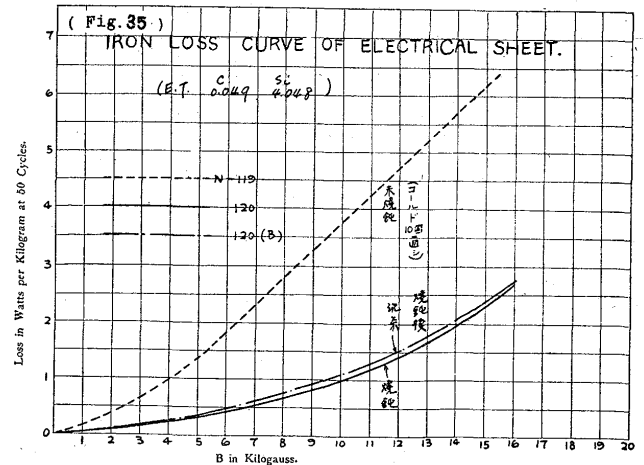
次に當所に於て極薄物電氣鐵板として 0.2mm のものを試壓したり。試料分析は

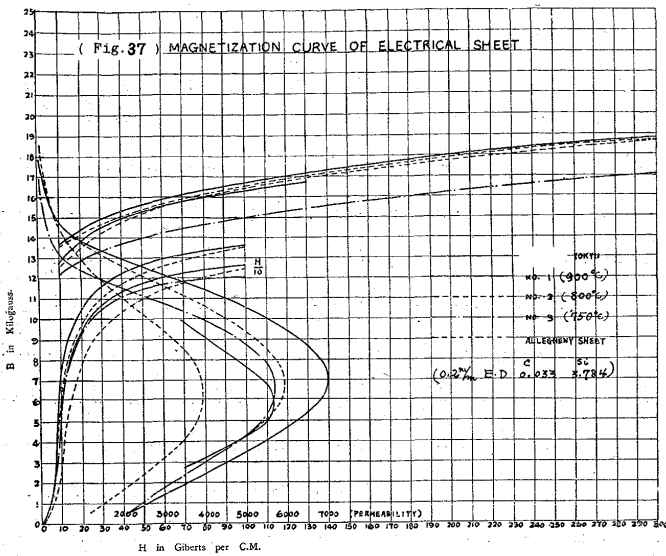
	C	Si	Mn	P	S	Cu
E.D	0.033	3.784	0.13	0.015	0.012	0.05

是れを Alleghney の製品に比較するに分析は

	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.032	3.422	0.05	0.007	0.009	0.05

Alleghney のものは鐵損失は試料不足に付測定せず、導磁率のみを測定し比較するに

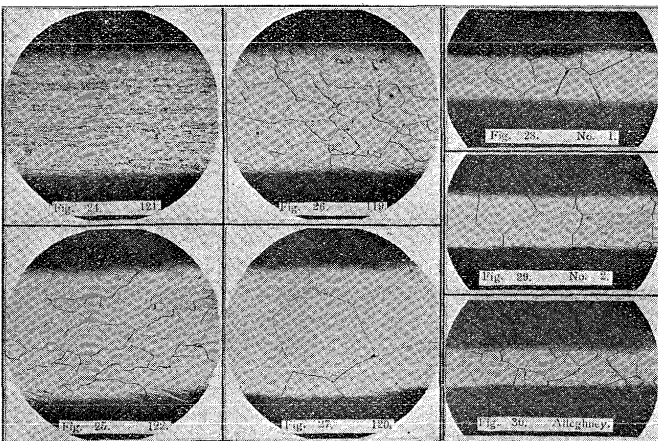




試料焼鈍温度	未 焼 鈍		焼 鈍 後	
	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>10</sup> / <sub>50</sub>	V <sup>15</sup> / <sub>50</sub>
(a) 900°C IH	4.20	6.63	1.30	3.09
(b) 800°C IH	4.44	6.71	1.33	3.17
(c) 750°C IH	4.17	6.65	1.29	3.04

	Electromagnetic characteristic.			Max. Permeability.	
	H=23	H=42	H=100		
Allegheny	8,400	14,800	16,400	3950	B = 6500
(a)	10,850	15,300	16,700	7000	B = 7000
(b)	10,200	15,090	16,530	5940	B = 6800
(c)	9,700	13,740	15,000	5720	B = 6700

第 5 圖 特にコールドパスを多くしたる鉄



是等顯微鏡寫眞及電氣試驗曲線を第 6 圖及び第 36 圖、第 37 圖に示す。

前述の結果より見て焼鈍後の成績を批判するに熱間壓延に於ては仕上温度高き方鐵損失小なり。冷態壓延に於ては特に變壓器用鉄は大なる歪を與へる方結果良好である電得

氣鐵鉄は時に平爐、電氣爐等より煉瓦を混入し來るが何等電磁氣的には影響なし。變壓器用鐵鉄にて良好なる成績を

Table. 1 Relation between Grain Size, Annealing Temperature and Deformation Degree. (annealed 1 hour).

No.	Anneal Temp.	Grain Size after annealed with following deformation (in $M^2$ )						
		5 %	10%	15%	20%	30%	40%	50%
1	500 °C	—	—	—	—	—	—	—
2	600 "	—	—	—	Recry-beg.	Recry-beg.	Recry-beg.	Recry-beg.
3	700 "	—	Recry-beg.	Recry-beg.	"	1046	571	206
4	800 "	Recry-beg.	"	"	"	1780	1110	782
5	900 "	"	33109	7974	4964	3078	1920	1408
6	1000 "	"	63060	12994	6725	3721	2604	1985
7	1100 "	376415	152772	46635	10121	6107	4298	3824
8	1200 "	895022	904889	854289	802267	774589	724022	695333

Table. 2 Relation between Grain Size, Annealing Temperature and Deformation Degree. (annealed 4 hours).

No.	Anneal Temp.	Grain Size after annealed with following deformation. (in $M^2$ )						
		5 %	10%	15%	20%	30%	40%	50%
1	500 °C	—	—	—	—	—	—	—
2	600 "	—	—	Recry-beg.	Recry-beg.	Recry-beg.	Recry-beg.	Recry-beg.
3	700 "	Recry-beg.	Recry-beg.	"	"	1251	710	311
4	800 "	"	23958	10900	3827	2081	1608	1305
5	900 "	"	37717	16613	11440	5521	3987	2512
6	1000 "	223289	62024	33832	20110	7015	5070	3690
7	1100 "	415560	353183	381243	380365	351024	336654	313080
8	1200 "	1009022	928222	985955	868444	966533	831372	793342

By M. Von Moos, P. Oberhoffer, W. Oertel. "Stahl und Eisen" Heft 13 28. Maerz. 1928.

Influence of the annealing time and atmosphere upon the magnetic properties of a material, medium carbon content (0.01%) annealing temp 800 °C

	Anneal hours.	Not anneal V <sub>10</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>15</sub>	B <sub>25</sub>	*B <sub>50</sub>	B <sub>100</sub>	B <sub>200</sub>
Air tightly annealed.	1/2	2.70	1.20	3.11	14600	15800	16900	19300
	1	2.72	1.17	3.08	14400	15400	16800	19100
	2	3.21	1.18	3.04	14400	15400	16700	19100
	4	2.67	1.17	3.00	14400	15400	16800	19100
	6	2.50	1.18	3.05	14400	15400	16700	19100
	In hydrogen gas annealed.	1/2	2.64	1.14	2.80	14500	15500	16800
1		3.00	1.10	2.76	14500	15500	16800	19200
2		2.67	1.08	2.73	14500	15500	16800	19200
4		2.77	1.09	2.72	14500	15500	16800	19200
6		2.64	1.08	2.70	14500	15500	16800	19200

By Von Moos, W. Oertel and R. Scherer. "Stahl und Eisen", 1928 Heft 15/P. 477/485.

るには電氣焼鈍爐による外なし。次に第 38 圖と第 39 圖に Moos, Oberhoffer, 及 Oertel 氏等の變壓器用電氣鐵鉄に關して實驗したる燒鈍温度、時間及變形率の

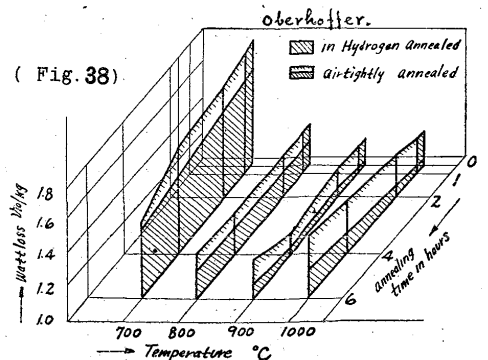
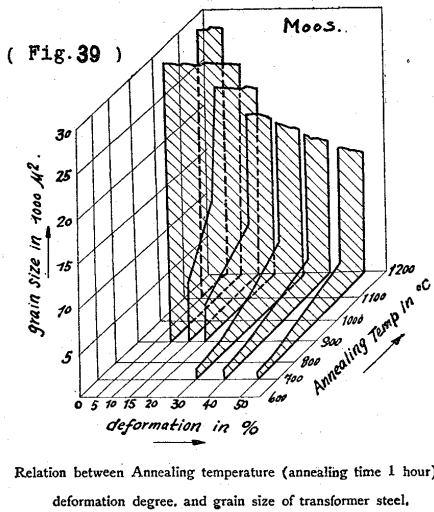


Diagram of the watt losses V<sub>10</sub> of the test pieces annealed air tightly and in Hydrogen gas in relation to the annealing time and temperature, medium carbon content.

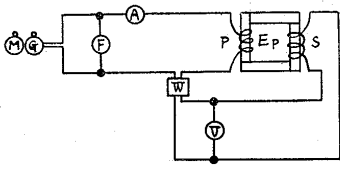
大小が鐵損失及  
結晶粒の大きに  
及ぼす影響を纏  
めたる曲線を參  
考の爲に記す。  
第6節 電氣試  
験:—

第1項 鐵損  
失測定:— A.S.  
T.M 規格 A—  
34 に準じて測  
定を行ひをれり。

この規格に依つてをらぬ點は單相正弦波電流の電源は  
60 cycle に依らず 50 cycle にて測定を行ひをる點と計算に  
使用する鋼鉄の比重値を當所分析掛測定に依る比重平均値  
を使用し dynamo sheet E.B, E.C, E.D, に對し夫々  
7.75, 7.70, 7.65, 及び Transformer sheet E.T, に對



(Fig. 40)



- M — 電動機
- G — 正弦波發電機
- A — 電流計
- F — 周波計
- V — 電壓計
- W — 電力計

しては 7.55 を使用してゐ  
る點なり。A. S. T. M. 規  
格に依れば高珪素鋼に對し  
ては 7.5 を低珪素鋼には 7.  
7 を使用することになりを  
れり。

次に測定方法を略述すれば次の通りなり。之れに使用す  
る試料は幅 3cm 長さ 50cm のストリップに剪斷するが此  
の中半分は壓延方向に殘部は之と直角方向に剪斷する各々  
2.5kg づゝ 4 束合計 4 束に束ね總重量約 10kg を取り測  
定する。

第 40 圖に示す如く結線をなし Epstein 装置 Ep に夫  
々同種のものを對せしめ磁氣回路を形成し單相正弦波電流  
を Epstein の一次捲線に通す。然るときは電流計 V の讀  
み E-volt は次の如くなる。

$$E = \frac{4fNnBM}{4D10^8}$$

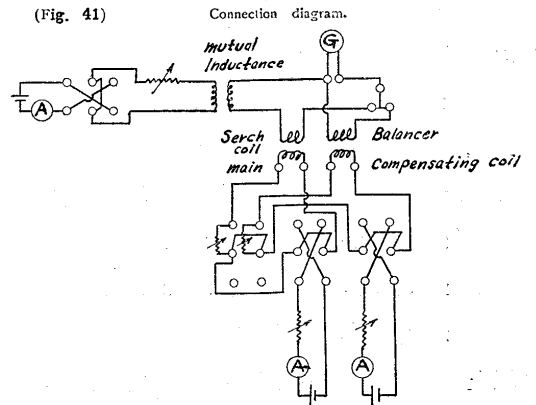
- f : form factor of primary e. m. f  
= 1.11 for sine wave.
- N : Number of secondary turns = 600.
- n : number of cycles per second = 50 cycle.
- B : maximum induction.
- M : total mass in grams. = 10,000 gr.

l : length of strips in centimeter = 50cm.  
D : density.

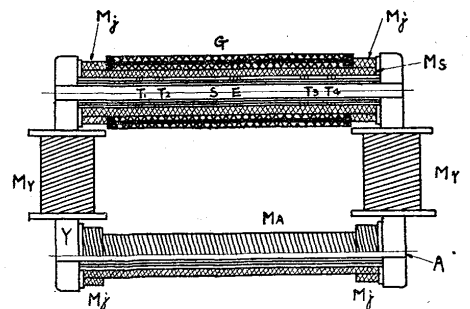
然るときは電力計 W の讀みは鐵損失と二次回路の銅損失  
との和を示す。銅損失は抵抗 R 及電壓 E とを以て表はし  
得る。即ち  $W = \frac{E^2}{R}$  に依つて Hysteresis loss 及 Eddy  
current loss との和即ち全鐵損を得。前式  $B = 10,000$   
gauss に於ける損失を測定し之れより kg 當りの損失を求  
め此の watt 數を以て代表せしむ。

第 2 項 導磁率測定:— 導磁率測定方法並に装置に就て  
は夙に各國の競つて研究する所にして現在迄研究製作され  
たる装置は實に非常なる數を數ふれども皆一長一短あり又  
其の精密度に於ても遺憾ながら完全なる装置は出來居らず  
規格に依れば Barrow 氏導磁率計を使用することになり  
居れども當所にてはより精密なる N.S 式導磁率計を使用  
しをれり。當所には此の N.S 式導磁率計二組 (H = 100  
及 300 迄) を裝備してあるが共に東京巢鴨京北電機製作  
所尾關俊郎氏が杉浦氏 (逓信省電氣試驗所) の指導の下に  
製作されたるものにして殊に測定値の萬全を期する爲逓信  
省との間に標準試料の交換を行ひ検査を爲しをれり。磁氣

回路は試  
料 S (第  
42 圖) と  
之れと同  
様の形狀  
を有する  
補助試料  
A 及び 2  
個の繼鐵  
によりて  
形成さる  
勵磁捲線  
は試料 S  
の上に一  
様に捲か  
れたる  
Ms と補  
助試料 A



(Fig. 42)



上に同様に捲かれたる MA とより成る。Ms, MA は捲數  
形狀共に等しく直列に結ばれて一電源に接続さる。補助捲  
線法は Ms, MA 上の四角に作られたる 4 個の相等しき捲

線  $M_J$ 、と繼鐵上に捲かれたる  $M_Y$  なる2個の相等しき捲線とよりなる。 $M_J$  及  $M_Y$  は直列に結ばれて他の電源に接続さる。磁位計は  $M_S$  上に作られたる圓筒形捲線  $G$  と  $M_S$  の下部に作られたる  $T$  なる捲線とより成る。磁位計は彈動電流計に結ばる。繼鐵は軟鐵により作られ2つの片に分たれ其の間に試料を挿みて端を蝶ネジにて緊合はす。測定法は先づ  $M_A, M_S$  に電流  $I$  を通じ一定磁化力を與へ  $M_J, M_Y$  に電流  $I_c$  を通じ全磁化力を逆にせるとき磁位計に結ばれたる檢流計の振れが零なる様に  $I_c$  を調節す。然るときは次の如く表はさる

$$H = \frac{0.4 \pi NI}{l}$$

$N$ : Number of turns of  $M_S$ .

$I$ : in amperes (current in  $M_S$ ).

$l$ : length of specimen.

次に  $B$  を測定するには  $M_S$  の下に捲かれたる挿索線輪  $E$  を相互誘導二次側と彈動電流計とを直列に結び相互誘導の一次側に電流  $I_{Mu}$  を通じ全ての磁化力と  $I_{Mu}$  とを同時に逆にせる時檢流計の振れが零ならば

$$B = \frac{\mu \cdot I_{Mu}}{nA} \times 10^8 - \left( \frac{A'}{A} - 1 \right) H$$

gauss となる。

$I_{Mu}$ : Primary current in amp. in mutual inductance.

$\mu$ : mutual inductance (Henry)

$A'$ : cross-sectional area of coil ( $cm^2$ )

$A$ : cross-sectional area of specimen. ( $cm^2$ )

$n$ : number of turns in search coil.

以上の如く  $H$  の値を定め之れに對する  $B$  の値を定め飽和曲線を求むるなり。計算に用ふる鋼鉄の比重値は鐵損失

(Fig. 43) 電氣鋼鉄試験證明書 (第 號)

送状番號		規格號				鋼 番
試驗番號 (U.S.G.)	鐵 板	誘 導 (H=Gilbert Per C.M.)				
		H=25	H=50	H=100	H=300	

代表分析値

鋼 番					

鐵損失ハエプスタイン數型ニ依リ A.S.T.M. 規格A-84ニ準フ B=10,000ガウス 50サイクルニテ測定ス。  
誘導値ハ N.S. 式導磁率計ニ依リ測定ス。  
(鋼鉄ノ比重ハ E-B 7.75, E-C 7.70, E-D 7.65 及 ET 7.55 ヲ使用ス)  
上記試験ノ結果ヨリ當所ノ定メ規格外ニ適合スルコトヲ證明ス。

昭和 年 月 日  
川崎造船所製鐵工場検査課  
神戸市葦合區臨濱町三丁目

測定の場合と同様なり。(第 41 圖、第 42 圖参照)

第7節 矯正:一燒鈍作業を終りたる電氣鐵板は冷却後燒鈍歪ある爲之れを矯正器にかけ 2~3 回パスして仕上げ之れを検査課に送る。

第8節 檢定及成績書:一電氣試験後矯正を経たる板は検査係にて厚さ表面疵等再檢の後合格のものは第 43 圖にある成績書を添付して之れを營業課に渡す。

### 結 論

電氣鐵板の需要は益々増大しつゝあり、品質統一國產獎勵の意よりみても優秀なる製品を送り出すこと今日我々の義務なり。上記大略電氣鐵板の製造法と特質とを述べたるが未だ徹底せざる所もあるべし。大方の御指導鞭撻を渴望する次第なり。

終りに望み終始御指導を賜り且發表を許可せられたる小田切取締役に深く感謝の意を表す。尙電氣試験に御盡力下されたる多川氏及顯微鏡寫眞を多數御取り下されし辻氏に謝意を表す。(終)