

昭和 16 年 7 月 25 日 發行

論 說

鋼に含まれる珪素に関する研究 (第 1 報)
低ニッケル鋼の鋼質に及ぼす珪素の影響に就て

(日本鐵鋼協會第 24 回講演大會講演, 昭 15, 10)

太 田 雞 一 *

STUDY OF THE SILICON CONTAINED IN STEEL (I): EFFECT OF SILICON
ON THE QUALITY OF LOW-NICKEL STEELS

Keiiti Ôta

SYNOPSIS:—Effect of silicon on the quality of structural low-alloy nickel steels melted in the acid open hearth furnace was studied and the results were as follows:

(1) The silicon contained in steel produce a remarkable influence and the silicon in excess of about 0.23% causes a visible change in mechanical properties, grain size, hardenability and transformation-velocity.

(2) As compared with steels with less than 0.23% Si, those with more than 0.23% Si have more refined grains, better hardenability, and when the larger sections are heat treated, the mechanical properties (particularly, Izod impact value) in the core are especially higher.

(3) The macrostructure of the forging varies with the silicon content. Steels with less than 0.23% Si consist of dendrites and granular, masses while those with more than 0.25% Si are formed into a uniform structure of dendrites alone.

(4) The quantity of sand inclusion has no reference to the silicon content in the range of 0.15 ~ 0.35% Si, but the silica tends to decrease remarkably with the enhancement of the silicon.

I. 緒 言

鋼の成分規格を見ると我國に於ても外國に於ても Mn は 0.3~0.8% と云ふやうに一定量を含有することを規定して居るが, Si は 0.2% 以下とか 0.35% 以下と云ふやうに或る許容量を定めそれ以上を含有することを禁止して居る。これには色々理由のあることと思ふが要するに Mn は焼入性を改善し S の害を抑制する等鋼質に及ぼす效用が良く知られて居て鋼の有効成分であることが認められて居るのに反し, Si の鋼質に及ぼす影響はまだ充分調査されて居ない點があつて有効成分として認められるに至らず, 單に砂疵が増加するであらうと云ふ危懼からその含有量のなるべく低からんことを希望して居るものと考へる。

抑々 0.1% 程度の微量の Si が鋼の靱性を著しく害すると云ふ説は鍊鐵に関する經驗から導き出されたものである

が非常に有力に行はれて居たものと見え, 1889 年 Hadfield¹⁾ が Si は 1.7% までは事實上軟鋼の靱性を害することなく抗張力を増加することを實驗的に證明し, 鍊鐵の靱性を害するものは珪酸で珪素ではないことを明かにしてからも珪素有害説はなかなか跡を絶たなかつた。軟鋼の材力に及ぼす Si の影響に就てはその後多數の研究²⁾ が行はれ極端な有害説は否定されたが研究の結果が必ずしも一致せず現在尙はつきりした結論に達して居ない憾がある。今これを最も單純なフェライトに及ぼす Si の影響に就て見るも, Si は靱性の犠牲に於てのみ硬度を増加すること C と全く同様であると説く者と, 2% 附近までは殆ど靱性の損失なしに硬度を増加すると主張する者がある。筆者の研究によれば Si は純鐵の抗張力を増加するばかりでなくアイゾット衝撃値を著しく増加し, Si 2.5% までは Si 量に比例してフェライトの強度及び靱性が直線的に増加すると云ふ特異な結果を得て居る (第 3 圖参照)。

* 日本製鋼所室蘭製作所

茲で注意すべきは上述の結果は主として研究室で行はれた精密ではあるが規模の甚だ小さい實驗から導かれたもので實際平爐又は電氣爐で熔解した材料に就て調べたものではないことである。それでは此方面の研究はどうなつて居るか云ふと、 Si が鋼の降伏點及び抗張力を増加することは例外なく一致して居るが靱性に就ては完全に相反する結果が報告されて居る。即ち Si の増加は靱性を著しく害するから鋼の Si 量は 0.3% 以下に制限すべしと説く者と、 Si は 1.0% までは靱性を増加するから高い降伏點を要求する高級構造用鋼には 1% 前後の Si を含有せしむべしと説く者とがある。

Turner²⁾ は Mn 等の脱酸剤を使用することなく最大 0.15% の Si を使用して鹽基性ベセマー爐で熔解した純鐵並に豫め C 及び Mn で脱酸を行つた後最大 0.5% の Si を加へて製造した鹽基性ベセマー鋼に就て鋼質に及ぼす Si の影響を調査し、 Si は靱性の犠牲に於てのみ抗張力を増加し純鐵に於ては 0.13% で既に著しく靱性を害することを述べて居る。

藪内氏は酸性電氣爐製炭素鋼 (C 0.35%, Mn 0.6%, Si 0.3~0.6%) に就て鋼質に及ぼす Si の影響を詳細に調査し

(イ) Si が増加すると抗張力及び降伏點が増加するが伸、絞及び衝撃値が減少する

(ロ) この傾向は靜的試験より動的試験に於て、熱處理状態より焼鈍状態に於て著しく現はれることを報告して居る。

Harrison³⁾ は甲鉄用 Ni 鋼 (C 0.4%, Mn 0.3~0.8%, Ni 4.0%, Si 0.05~0.87%) に就て材力に及ぼす Si の影響を調査し、 Si が増加すると抗張力及び降伏點は増加するが伸、絞及び衝撃値が減少するから Si の含量は 0.3% 以下に制限する必要があることを述べて居る。

獨逸に於ては 1925 年以來 Freund 鋼と稱する低炭素・高珪素鋼 (C 0.10~0.15%, Si 0.9~1.1%, Mn 0.5~0.8%) が高級構造用鋼として盛んに製造され、同時に本鋼に関する多數の研究⁴⁾ が發表された。炭素鋼に比べて降伏點高く且靱性特に衝撃値が大きいと云ふ Freund 鋼の特性は、本鋼が C の一部分を Si を以て置替たものであることから見て明かに Si の効用に歸すべきもので、Meiser, Gillett 等により Freund 鋼は Bosshardt 爐に限らず普通の鹽基性平爐、電氣爐に於ても容易に製造出来ることが明かになり、獨逸以外に於ても多量に製産され

た實績に徴して、少くとも低炭素鋼に於ては Si 1.0% までは鋼の靱性を損はないことは疑問の餘地がないものと考えられる。

Jones⁵⁾ はルツボ製高級構造用鋼 (C 0.3%, Mn 0.4~1.5%, Si 0.07~1.5%) に就て、焼鈍及び焼準状態に於ける材力に及ぼす Si 及び Mn の影響を調査し

(イ) Mn 0.45% を含むものでは Si 1.0% までは Si の増加と共に強度及び靱性が増加するが 1% 以上になると衝撃値が急に減少する。

(ロ) Mn 量が増加するとこの Si の有效限界が Si の高い方へ移る。

(ハ) Si 及び Mn の最も効果的の組合せは Mn 1.3%, Si 0.9% である。

ことを報告して居る。

Kinzel⁶⁾ は電氣爐で熔解した高級構造用鋼 (C 0.3%, Mn 1.0%, Si 0.3~1.6%) に就て焼準及び焼入炭 (油及び水) の状態に於て材力に及ぼす Si の影響を調査し Jones と全く同様の結果を得たことを述べ、最も有効な鋼種として C 0.3%, Si 1.0%, Mn 1.0% を提案して居る。

以上は専ら材力に及ぼす Si の影響に就て觀察したものであるが Si は砂疵に對しても重大な關心を持たれて居る。而してこの問題に就ては各方面に於て色々研究せられて居るが條件が複雑なために區々な結果が出てこれ亦完全な結論に達して居ないやうである。尙白點に及ぼす Si の影響に就ても賛否兩論があつてはつきりしたことはわかつて居ない。室井氏⁷⁾ は酸性平爐に於て差物前に Si が 0.3% も還元するやうな場合に白點が出易いことを認めて居るが、それは鋼の Si 含量が高い爲めではなく多量に Si が還元するやうな爐況に原因すると考へられることを述べて居る。

かやうに鋼質に及ぼす Si の影響は少し詳しく調べて見ると不明瞭な點が極めて多い。勢ひ Si に對する認識も不徹底ならざるを得ない理で、 P , S 程有害視されないまでも有效成分として認められるに至らず、結局 0.35% 以下なら宜からうと云ふことになつて居るものゝやうである。

翻つて考へるに Si は製鋼作業に於て最も多く使用される元素の一つで鋼とは切つても切れない關係に在る。従つて鋼に含まれる Si に就て徹底的に調査研究を行ひその作用を闡明して置くことは甚だ重要な意義を有するものである。

筆者はこの見解の下に鋼に含まれる Si に關する研究を

行つた。本報告はその第1報であつて、酸性平爐で溶解した構造用低ニツケル鋼に就て鋼質に及ぼす Si の影響を調査した結果を述べたものである。

II. 試料

1. 成分

實驗に用ひた材料は第1表の規格(日本標準規格ニツケル鋼第1種乙に該當す)によつて製造した構造用低ニツケル鋼 20 熔解でその成分は第2表に示す通りである。本表は Si 0.23% を境に甲乙二組に分け且各組とも Si 量の順に並べてある。後に述べるやうに本鋼に於ては Si 0.23% を境として鋼質が激しく變化するから説明の便宜上こゝで分けたもので外に何等の意味はない。

第1表

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%
40~45	<35	30~80	<035	<035	1.0~1.5

2. 熔解

熔解は 50 趣の酸性平爐に於て所謂石灰法によつて行つた。原料は銑鐵 30%, 精製鋼 30%, 鋼屑 40% で各熔解を通じて大體一定して居るが、鑛石、石灰及び差物は熔解によつて多少の相違があることは第2表に示す通りである。

鋼の Si 量と熔解との關係は別に報告する積りであるから茲では第2表からわかるやうに鋼塊の Si 量が差物前の爐況の影響を受けること極めて大きく、Si の高い乙組の

ものは甲組のものに比べて差物の Si 量が多いばかりでなく Si の歩留が良好であることを指摘して置くに止める。

3. 試験材

鋼塊は 500 kg でこれを徑 40mm の丸棒に壓延した。試験材はこの丸棒を長さ 250mm に切斷したもので、熱處理は試験材に就て行つた。

4. 試験片

試験材は熱處理後その中心部に於て縦方向に抗張試験片(14mmφ×50mm)及びアイソット衝撃試験片各一本を採取した。變態點、結晶粒度及び焼入性の測定には夫々その目的に應じた特殊の形をした試験片を用ひた。

III. 材力に及ぼす珪素の影響

1. 焼鈍に於ける材力及び組織

焼鈍状態に於ける材力を代表的な 6 熔解に就て測定した結果は第3表に示す通りである。普通の焼鈍即ち 850° から爐冷した場合の材力を見ると Si 0.23% 以上を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて降伏點及び抗張力がそれぞれ 4kg/mm² 及び 2kg/mm² 高く、伸、絞も僅かながら優れて居る。材力の中で最も相違の甚しいものはアイソット衝撃値で、Si の低い甲組のものが平均 13ft.lb であるのに對し Si の高い乙組のものは 22ft.lb で約 1.7 倍に當つて居る。

衝撃試験片を檢鏡した結果は第1圖に示す通りで、*Si

の高いものも低いものもパーライトとフェライトより成立つて居るがフェライトの出方に可成りの相違があつて Si の低いものはフェライトの網目が甚だしい。フェライトの網目を利用して結晶粒度を計ると前者が 3 乃至 4 號であるのに對し後者は大體 6 號でその間約 2 號の違ひがある。

焼鈍に於ける材力特に衝

* 顯微鏡寫眞は 100 倍の倍率を用ひ徑 80mm の視野で撮影した。(但本誌には約 80 倍に縮めた。編輯係)

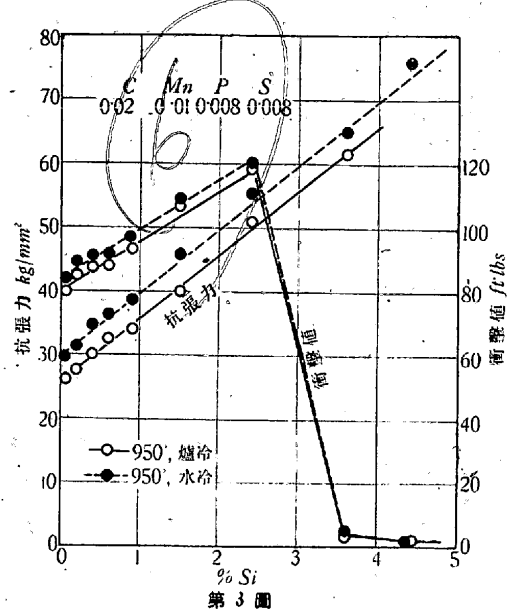
第2表

組別	熔解番號	化學成分%							鑛石		差物%						Si%		差物前炭素量%	出鋼溫度 °C
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	石灰%	石	低磷	高珪素	フエンロマン	フエンロシリ	シガリコマン	アルミニウ	差	差		
甲	1	.42	.17	.54	.031	.015	1.37	.26	1.6	0.8	1.0	1.0	.7	—	.2	.02	.14	.03	.32	1688
	2	.40	.19	.52	.029	.016	1.43	.24	0.5	0.9	—	1.0	.6	—	.3	.02	.14	.05	.24	1684
	3	.41	.20	.50	.030	.018	1.27	.27	3.1	1.0	1.0	1.0	.7	—	.2	.02	.14	.06	.30	1677
	4	.43	.21	.56	.027	.017	1.40	.16	4.6	0.9	—	1.0	.6	—	.3	.02	.14	.07	.39	1677
	5	.42	.21	.53	.028	.018	1.36	.20	1.1	1.7	1.0	1.0	.7	—	.2	.02	.14	.07	.32	1692
	6	.43	.22	.51	.032	.017	1.27	.20	3.5	1.3	1.0	1.0	.6	—	.3	.02	.16	.06	.33	1684
	7	.41	.22	.58	.025	.018	1.47	.25	1.3	1.0	1.0	—	.7	.2	.3	.02	.18	.04	.35	1684
乙	8	.41	.24	.53	.027	.017	1.33	.21	4.5	1.2	—	1.0	.6	—	.3	.02	.14	.10	.36	1681
	9	.42	.25	.48	.033	.018	1.22	.19	5.8	1.0	1.0	1.0	.6	—	.2	.02	.14	.11	.38	1680
	10	.41	.25	.55	.026	.018	1.35	.25	3.0	1.1	1.0	1.0	.6	—	.3	.02	.16	.09	.35	1684
	11	.41	.25	.58	.031	.021	1.44	.23	1.2	0.8	1.0	—	.6	.2	.3	.02	.18	.07	.33	1673
	12	.42	.26	.57	.029	.017	1.32	.20	4.1	1.2	1.0	1.0	.6	—	.3	.02	.16	.10	.31	1680
	13	.41	.26	.58	.031	.019	1.25	.25	1.5	0.8	1.0	—	.7	.2	.3	.02	.18	.08	.36	1677
	14	.42	.27	.57	.026	.017	1.41	.25	1.0	0.5	1.0	—	.7	.2	.3	.02	.18	.09	.36	1673
	15	.41	.27	.48	.026	.019	1.46	.26	3.0	1.0	1.0	—	.6	.2	.3	.02	.18	.09	.36	1680
	16	.42	.28	.55	.026	.020	1.48	.25	2.0	0.8	1.5	—	.7	.2	.2	.02	.17	.11	.35	1680
	17	.42	.29	.55	.027	.018	1.25	.15	1.5	0.8	1.0	1.0	.6	—	.3	.02	.16	.13	.32	1680
	18	.43	.29	.53	.027	.020	1.31	.26	0.9	0.4	1.0	1.0	.7	—	.2	.03	.19	.10	.34	1687
	19	.41	.30	.55	.025	.021	1.48	.24	1.5	0.8	1.5	—	.7	.2	.2	.03	.17	.13	.30	1680
	20	.43	.33	.59	.029	.020	1.35	.26	1.8	1.2	1.5	1.0	.7	.1	.2	.03	.20	.12	.33	1688

第 3 表

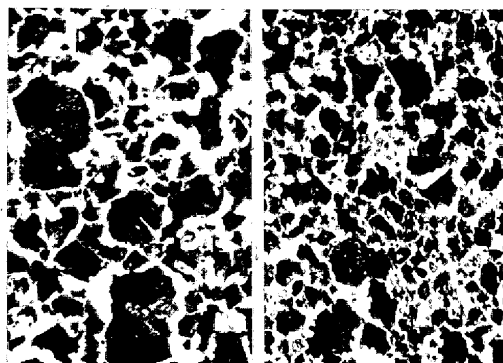
組別	熔解番號	Si %	熱處理	抗張試驗				衝擊試驗		結晶粒度
				降伏點 kgf/mm ²	抗張力 kgf/mm ²	伸 %	絞 %	アト イ ツ ツ 値 ft·lb	衝 撃 値 ft·lb	
甲	3	20	850° × 3h, 爐冷	35.8	68.3	25.6	37.4	11.3	11.6	3~4
	4	21	"	35.2	67.2	25.6	37.5	16.6	12.0	3~4
	6	22	"	35.6	68.8	24.9	36.5	11.3	14.5	3~4
	平均	21	—	35.5	68.1	25.7	37.1	12.9		3~4
乙	3	20	1,150° × 3h, 爐冷	36.0	70.5	22.6	34.8	7.1	8.5	1
	4	21	"	35.8	68.7	23.9	35.2	10.9	7.8	1
	6	22	"	36.2	71.6	21.7	32.5	6.7	4.6	1
	平均	21	—	36.0	69.9	22.7	34.2	7.6		1
乙	10	25	850° × 3h, 爐冷	38.8	70.4	27.0	41.5	22.4	23.1	6
	13	26	"	39.1	70.8	25.5	42.0	21.1	21.4	6
	16	28	"	39.0	70.3	28.2	42.4	23.8	22.4	6
	平均	26	—	39.0	70.5	27.0	42.0	22.4		6
乙	10	25	1,150° × 3h, 爐冷	39.6	74.2	22.3	34.2	12.7	10.6	0
	13	26	"	39.3	74.5	22.4	35.5	11.3	13.4	0
	16	28	"	41.8	76.0	22.1	36.8	12.0	11.6	0~00
	平均	26	—	39.9	74.6	22.3	35.5	11.7		0

として Si の高いものは低いものに比べて衝撃値が大きい。結晶粒は第2圖に示すやうに 850° の場合に比べて格段的に大きく, Si 量に就て云へば Si の高いものの方が反つて大きくなって居る。この事實は焼鈍に於ける材



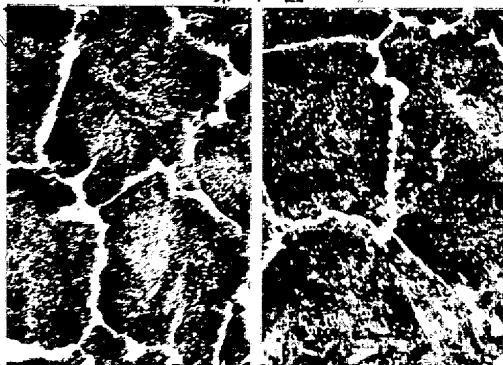
撃値に現はれた Si 量の影響は主としてフェライトの出方に在ることは第 1 圖に示した組織から容易に想像が出来るが, 結晶粒度のみの影響がフェライトの性状にも變化があるかは

判らない。因つて焼鈍温度を色々變へて結晶粒度の影響を調べた。



第 1 圖

焼鈍温度の最も高い 1,150° に於ける結果を示すと第 3 表のやうで, 850° の場合に比べて衝撃値が著しく減少するが依然



第 2 圖

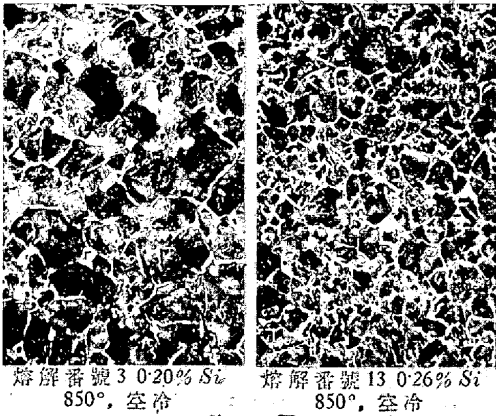
力が結晶粒度の外にフェライトの性状の影響を受けることを示すもので, 純鐵の強度及び衝撃値が第 3 圖に示すやうに Si 2.5% までは Si 量に比例して増加すると云ふ筆者の研究から見て, 鋼に含まれる Si 量が増加するとフェライトに固溶する Si が著しく増加しフェライトの強靱性を増大する結果によるものと考へる。

2. 焼準に於ける材力及び組織

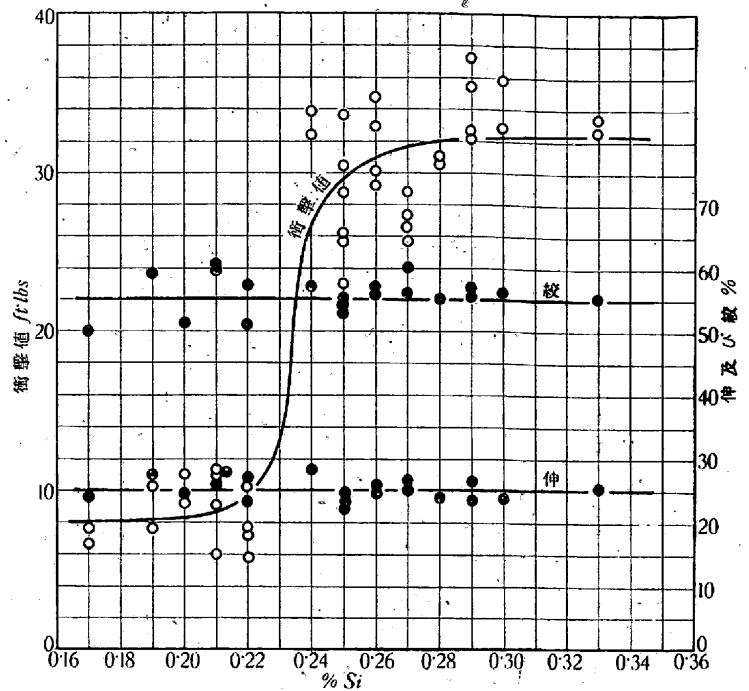
第 3 表に示した 6 熔解を 850° から焼準した場合の材力は第 4 表に示す通りで, 焼鈍の場合と同様に乙組のものは甲組のものに比べて衝撃値が良好である。組織は第 4 圖に示す通りで Si 量によってフェライトの出方に相違があ

第 4 表

組別	熔解番號	Si %	熱處理	ア イ ツ ツ 値 ft·lb	衝 撃 値 ft·lb	結 晶 粒 度
甲	3	20	850° × 3h 空冷	22.4	18.0	3~4
	4	21	"	17.3	21.7	3~4
	6	22	"	18.4	20.0	3~4
	平均	21	—	19.8		3~4
乙	10	25	850° × 3h 空冷	32.1	29.8	6
	13	26	"	28.2	30.2	6
	16	28	"	31.5	29.2	6
	平均	26	—	30.2		6



第4圖



ること之亦焼鈍の場合と全く同様である。

3. 焼入戻に於ける材力及び組織

第2表に示した20熔解に就て焼入焼戻を行ひ(特に断らない場合は焼入剤として種油を使用したものである)材力を測定した。結果は第5表に示す通りで、甲組と乙組とを比較すると抗張試験の成績にははつきりした違ひがないが衝撃試験の成績には非常に顕著な違ひがあつて甲組のものは乙組のものに比べて衝撃値が著しく低い。この関係はSi量と伸、絞及び衝撃値との関係を圖示した第5圖を見れば極めて明瞭である。即ち本鋼は焼入戻の状態に於ては伸、絞はSi量と関係がないが衝撃値は密接な関係を有し、Si 0.23%以上のものはそれ以下のSi量のものに比べて衝撃値が格段的に良好である。

第5表に示した材力は實際の作業の成績から採つたもので熱処理が區々になつて居るから焼入戻に於ける温度並に冷却速度の影響を調べる爲めに甲乙兩組の代表的な熔解3及び13に就て焼入温度及び冷却速度を變へて材力を測定した。結果は第6表に示す通りで、Siの低い熔解3は焼入、焼戻温度を加減しても衝撃値は大して改善されないが水に焼入を行へば衝撃値が著しく増加しSiの高い熔解13と違ひがなくなること、一旦水に焼入を行つたものを再び

第5表

組別	熔解番號	Si %	熱處理		抗張試験				衝撃試験		結晶粒度				變態點		
			焼入温度	焼戻温度	降伏點 kgf/mm ²	抗張力 kgf/mm ²	伸 %	絞 %	アイゾット		焼入	炭法				850° 空冷	1,150° 空冷
									衝撃値 ft·lb			850°	950°	1050°	1150°		
甲	1	.17	850	615	55.2	84.7	24.3	52.0	6.7	7.5	4~5	3~4	2~3	1~2	0~00	580	540
	2	.19	850	650	50.2	78.2	27.0	60.1	10.2	7.5	4~5	3	2~3	1~2	00	590	550
	3	.20	850	590	52.2	82.0	24.1	52.2	9.2	10.9	4~5	3	2	1~2	0~00	580	545
	4	.21	835	640	51.8	78.9	26.4	60.6	8.0	11.1	5	3	2	1~2	0~00	550	530
	5	.21	835	640	50.3	77.2	27.6	61.2	11.2	9.0	5	3~4	2~3	1~2	0~00	575	505
	6	.22	850	655	51.0	80.0	26.3	58.0	10.2	7.1	4~5	3~4	2~3	1~2	0~00	575	520
	7	.22	850	590	53.2	84.3	23.7	51.8	5.7	7.5	5	4	2~3	1~2	0~00	590	540
乙	8	.24	835	645	50.8	77.6	28.2	57.6	32.7	34.0	6	5~6	4~5	2~3	0~00	585	495
	9	.25	835	615	54.1	84.6	24.7	54.2	25.8	23.1	6	5~6	4	3	0~00	610	485
	10	.25	850	590	56.9	84.8	23.2	54.3	30.5	33.9	6	6	4~5	2~3	00	595	455
	11	.25	850	590	52.2	82.9	23.0	55.6	28.9	26.2	6~7	6	4	2~3	00	600	490
	12	.26	835	615	54.0	81.8	25.0	57.3	34.9	29.3	6	5~6	4	2~3	0~00	600	485
	13	.26	850	590	55.8	85.0	25.8	56.0	30.4	23.0	6	6	4~5	3	00	585	570
	14	.27	850	615	53.8	78.6	25.0	60.5	25.8	28.9	6	5~6	4	3	00	600	500
	15	.27	850	590	53.0	83.1	26.2	56.3	27.5	26.8	6	5~6	4~5	3	00	615	505
	16	.28	835	615	54.2	83.2	24.1	55.2	31.1	30.8	6~7	6	4~5	3~4	00	615	490
	17	.29	835	640	51.2	79.9	26.6	56.9	32.8	35.5	6~7	5~6	4~5	3	00	600	485
	18	.29	835	590	53.2	82.9	24.0	56.1	37.3	32.4	7	6	4	3	00	615	470
	19	.30	835	590	53.1	83.0	24.3	56.0	33.0	35.9	7	6	4~5	3~4	00	605	470
	20	.33	835	590	55.6	82.6	25.2	55.7	32.7	33.3	7	6	4~5	3	00	605	475

第 6 表

熔解番號	Si %	熱 處 理		抗 張 試 驗				衝 撃 試 驗	
		燒 入	燒 戻	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 長 %	絞 率 %	アト イツ	衝 撃 値 ft·lb
3	.20	810° × 5h 油冷	600° × 5h 油冷	55.5	82.6	24.6	55.8	11.8	9.9
		825° × 3h 油冷	615° × 3h 油冷	55.1	81.5	25.0	57.3	8.0	10.9
		830° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷	50.1	79.5	26.3	58.2	8.5	9.9
		860° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷	49.2	78.2	27.0	60.8	10.2	7.5
		830° × 3h 水冷	640° × 3h 油冷	55.3	80.2	27.4	57.4	58.6	54.6
		830° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷	54.1	79.3	28.5	58.8	12.7	9.2
13	.26	810° × 5h 油冷	600° × 5h 油冷	54.9	81.3	25.2	53.8	29.3	33.3
		830° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷	53.1	79.0	25.8	56.0	33.0	30.2
		830° × 3h 水冷	640° × 3h 油冷	53.7	78.8	26.3	60.1	59.1	65.1
		830° × 3h 水冷	640° × 3h 油冷	52.5	77.5	28.2	59.0	40.5	34.0
		830° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷						
		830° × 3h 油冷	640° × 3h 油冷						

油に焼入を行へば Si の低いものは元の貧弱な衝撃値に還り水焼入の効果が完全に失はれることがわかる。

衝撃試験片に就て組織を調べた結果は第 6 圖及び第 7 圖に示す通りで、水に焼入した場合は Si の高いものも低いものも共にソルバイトで組織上目立つた違ひはないが、油に焼入した場合はフェライトの出方に焼鈍の場合と同様の差があるばかりでなく(結晶粒の大きさは第 5 表の結晶粒度の欄に示してある)パーライトに可成りの違ひがあつて、Si の低いものは高いものに比べて焼の入り方が悪いことが明かにわかる。この組織上の變化から見て、衝撃値に及ぼす Si の影響が焼鈍又は焼準より焼入戻に特に顯著に現はれる理由は Si 量による焼入性の變化が加算される

爲めであることは容易に想像出来る。完全に焼入したものは不完全に焼入したものに比べて焼戻状態に於て衝撃値が優ることは公知であり、細粒鋼が粗粒鋼より衝撃値が大きいことも良く研究せられて居る¹¹⁾。併しながら Si 0.23 % 附近を境として衝撃値に斯様に大きな變化があることは報告されて居ない。因つてその主要原因と考へられる結晶粒度並に焼入性に關する調査を行つた。

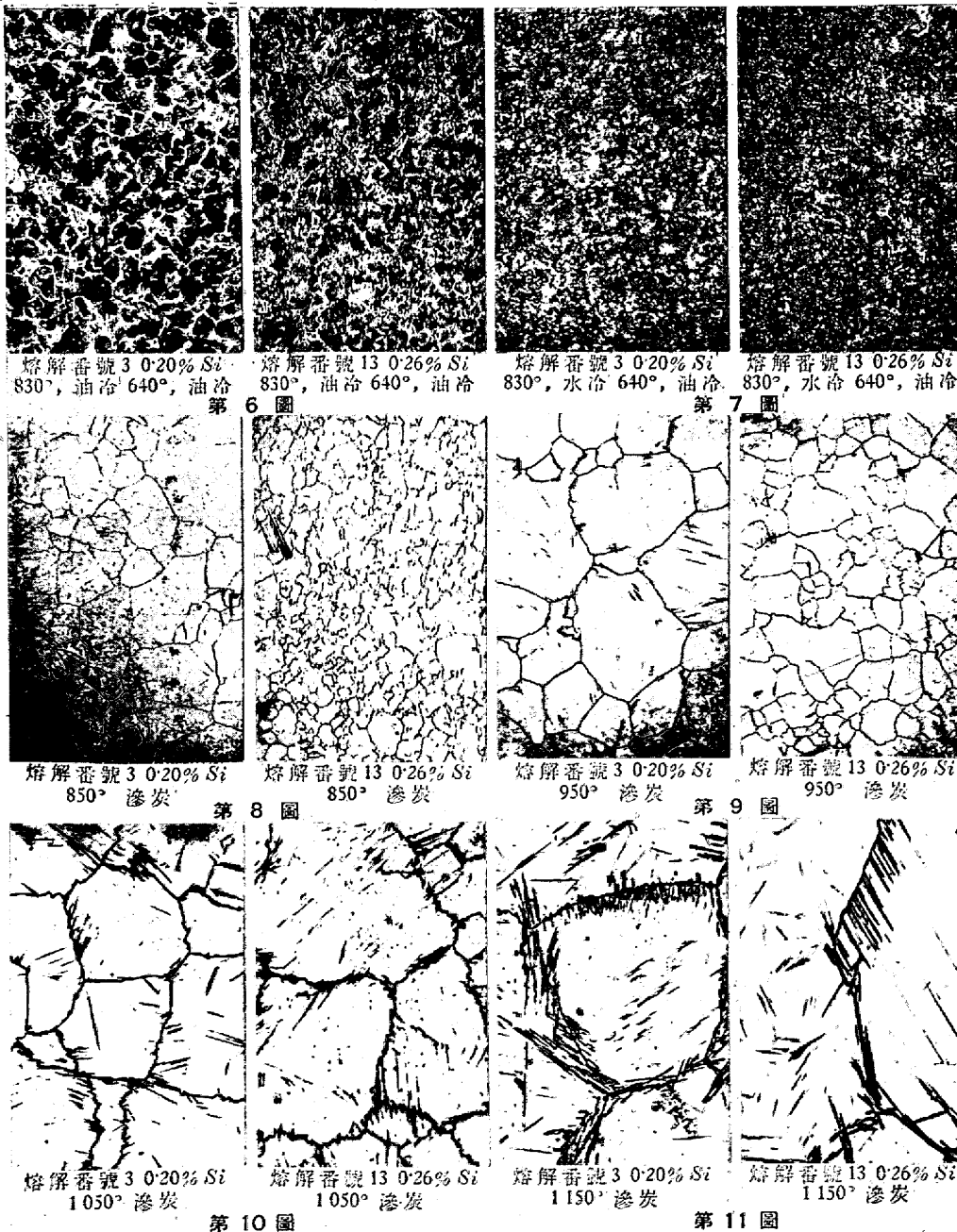
IV. 結晶粒に及ぼす

珪素の影響

1. 結晶粒度及び結晶の成長

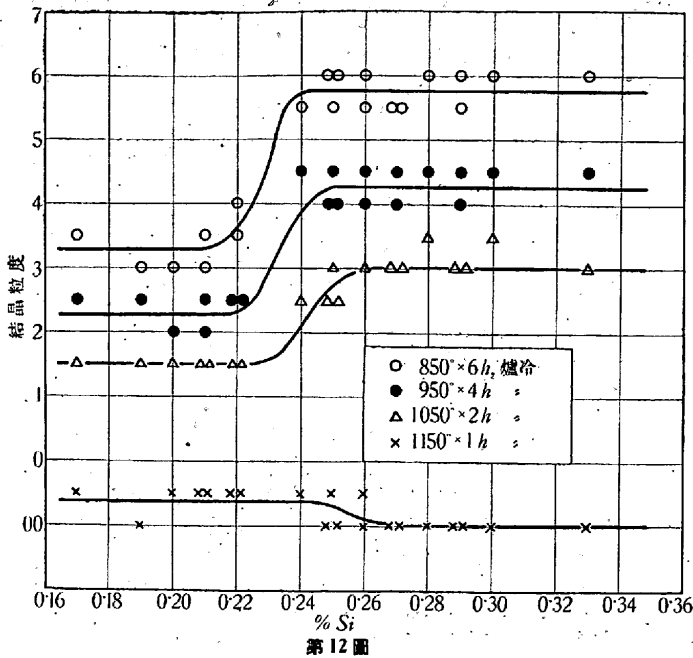
結晶粒度の測定は主として學振で制定した滲炭法によつた。

¹¹⁾ 第 8 圖～第 11 圖は熔解番號 3 及び 13 に就て 850°, 950°, 1,050° 及び 1,150° に於て夫々 6 h, 4 h, 2 h 及び 1 h 滲炭を施しオーステナイトの結晶粒度を測定した結果を示すものである。第 2 表の 20 熔解に就て同様な調査を行つた結果は第 5 表の結晶粒度の欄に示す通りで、各温度に於ける粒



26x28=728

26x38=988



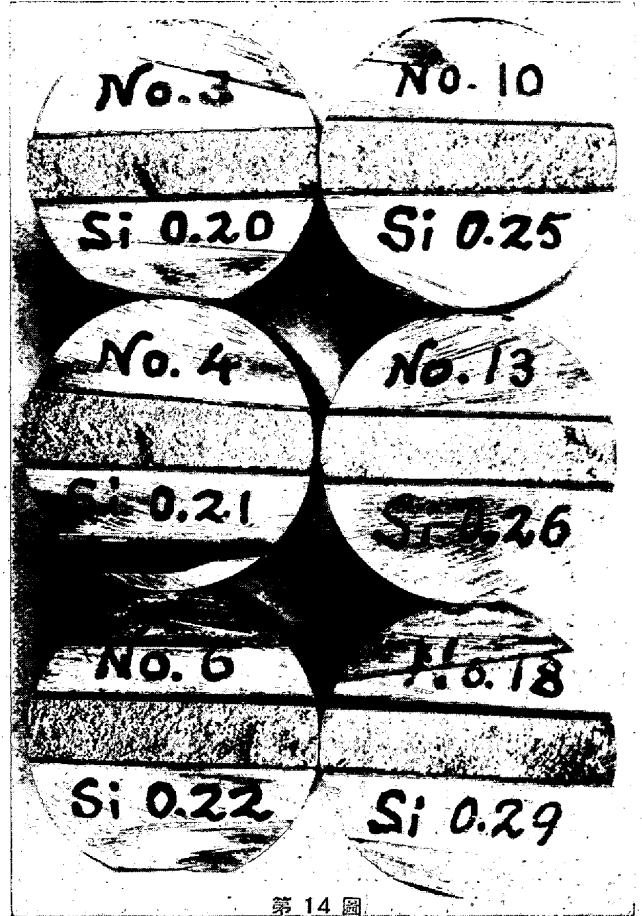
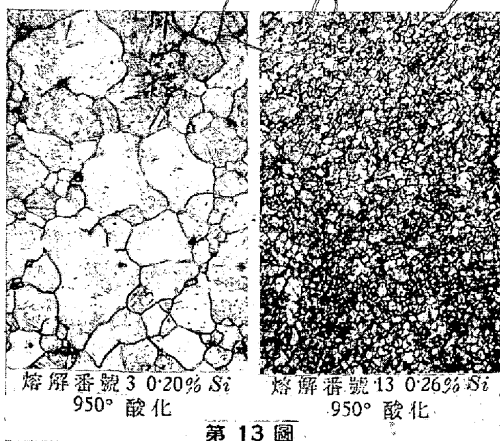
度と Si 量との関係を求めると第 12 圖のやうになる。即ち本鋼に於ては結晶粒度は Si 量と密接な関係を有し

(イ) Si 0.23% 附近を境として粒度が激しく變化し、0.23% 以上 Si を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて結晶粒が格段的に小さい。

(ロ) 變態點以上に於ては温度が上昇するに従つて結晶は次第に粗大となり (イ) に示した関係は弱められるが尙 1,100° まではこの関係を接続する。1,100° を超すと結晶は急激に成長を始め 1,150° に於ては Si 量に關係なく 0~00 の極めて粗大の結晶になる。

参考の爲めに酸化法¹²⁾によつて結晶粒度を測定した結果によれば Si 量によつて結晶粒が變化する模様は滲炭法と何等異るところがないが、結晶粒が總體に小さく現はれる傾向がある。第 13 圖は真空中で 950° に 30mm 加熱し續いて空氣を通じて 15mm 酸化を行ひ水に焼入した試験片を檢鏡したもので、第 9 圖と同一材料、同一温度であるが

(加熱時間及び冷却方法は異なる) 熔解番號 3 は粒度に於て 2 號, 13 は 2~3 號 づれも結晶が小さく現はれて居



る。

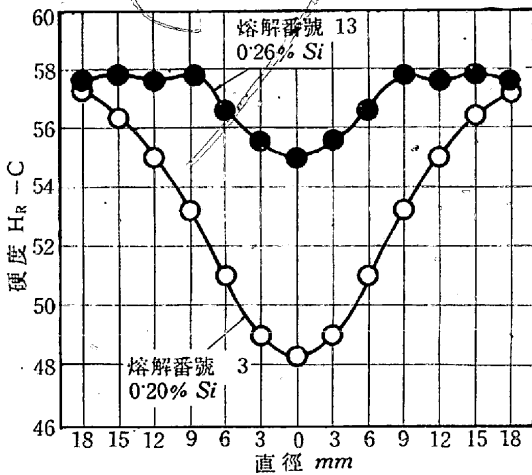
2. 破面度

徑 20mm 長さ 100mm の丸棒を 850° に 3h 加熱後水に焼入を行ひ研磨機で切欠を入れ金錘で打撃して破壊し、破面に現はれる粒度、所謂破面度を測定した。甲組と乙組との代表的 6 熔解に就て破面度を測定した結果は第 14 圖に示す通りで、Si 0.23% 以上を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて破面度が著しく大きく、結晶粒度が Si 0.23% 附近を境にして激しく變化すると云ふ上述の結果をよく裏書した。試みに Shepherd¹³⁾ の破面度数によつて表はすと熔解番號 6 は 2 號, 10 及び 13 は 5 號で、0.03~0.04% の極めて僅かな Si 量の差によつて破面度に大きな違ひを生ずることがわかる。

V. 焼入性に及ぼす珪素の影響

1. 焼入深度

焼入性を測定するには色々の方法が提案されて居るが¹⁴⁾、本研究に於ては最も簡単な丸棒を焼入して焼の入る深さを断面の硬度によつて測定する方法を用ひた。試験片は徑 40mm 長さ 120mm の丸棒で 850° に 3h 加熱後水



第15圖

に焼入を行ひ、研磨機を用ひて中央から切断し断面の硬度分布をロックウェル硬度計で測定した。測定の結果は第15圖に代表的な一例を示す通りで Si 量によって硬度分布が著しく異り Si 0.23% 以上のものはそれ以下の Si 量のものに比べて焼入深度が隔段的に大きい。

同一成分の鋼に於ては細粒鋼は粗粒鋼より焼入性が劣ることは良く研究せられて居る¹⁵⁾。然るに本鋼に於ては Si 0.23% 以上を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて結晶粒が小さいにもかかわらず焼入性が良好である。何故に従來の研究と正反對の結果を得たのであらうか。この疑問を解く爲めに變態點に及ぼす Si の影響を調べた。

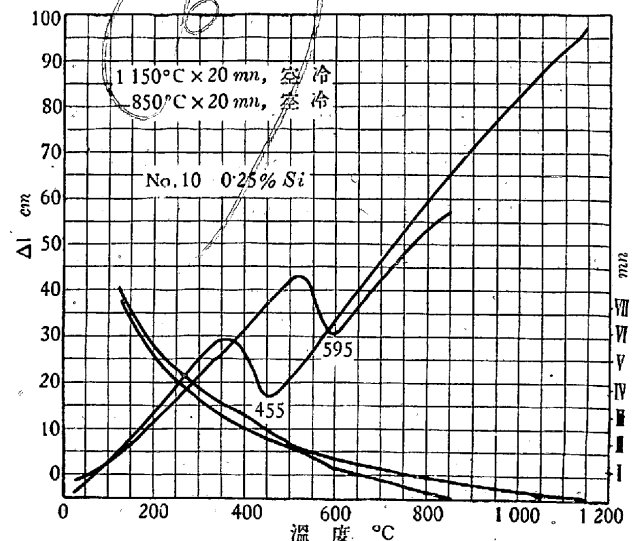
2. Ar' 變態開始溫度

炭素鋼の變態に及ぼす Si の影響は良く調査されて居て、Ni と同程度に臨界冷却速度を減少することが知られて居るが¹⁶⁾、本鋼のやうに Ni を含む場合の研究は見當らない。因つて變態特に Ar' に及ぼす Si の影響を調べた。

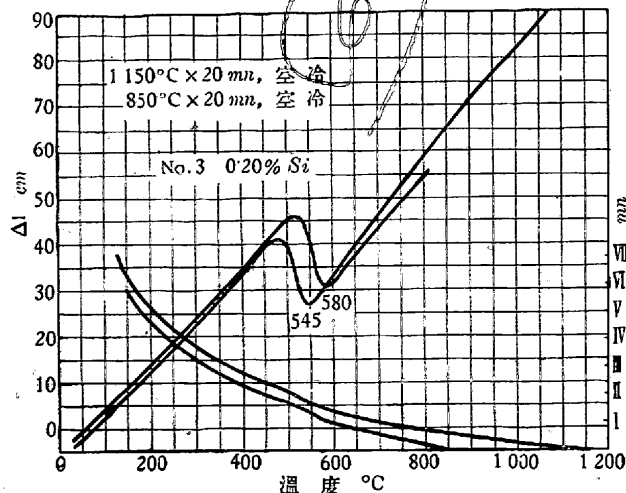
試験片は徑 5mm 長さ 100mm の丸棒でこれを窒素を封

入した石英管内で所要溫度に加熱し次で爐を取りはずし扇風機を用ひて空氣を石英管に吹きつけて冷却しその際生ずる變態の模様を測定した。第16圖及び第17圖は熔解番號3及び10に就て 850° から冷却した場合と 1,150° から冷却した場合の曲線を示したもので記入した數字は Ar' 變態の開始溫度である。冷却に要した時間は下方の曲線に示す通りで變態點附近に於ける冷却速度は加熱溫度、室温等によつて多少の違ひはあるが約 200°/mn である。

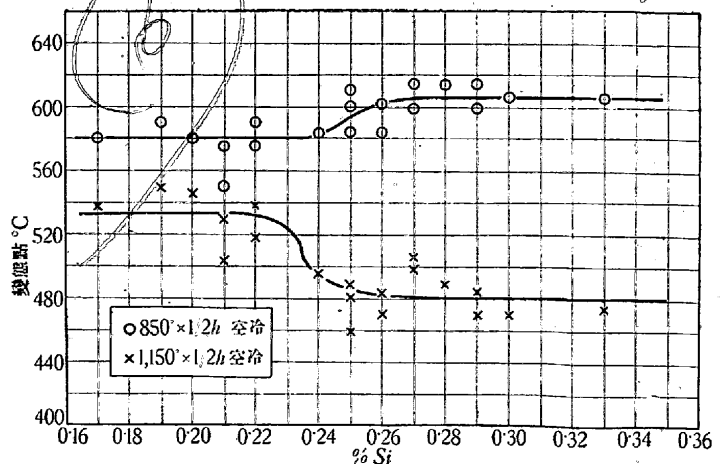
第2表に示した 20 熔解に就て同様な調査を行つた結果は第5表の變態點の欄に示す通りで Si 量との關係を圖示すると第18圖のやうになる。即ち本鋼に於ては Ar' の開始溫度は Si 量と密接な關係があつて 850° から冷却する場合には Si 0.23% 以上のものはそれ以下のものに比べて約 30° 高い溫度で變態が起るが、加熱溫度が上昇すると Si の高いものは變態開始溫度が著しく降下し 1,150° に於ては逆に約 50° 低い溫度で變態が起る。



第17圖 全膨脹曲線



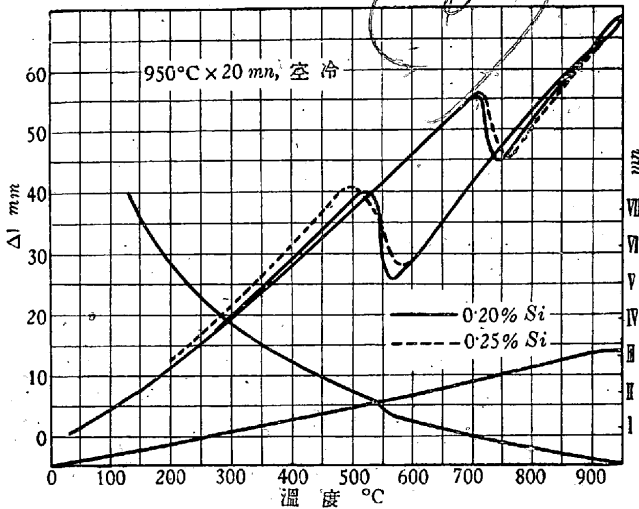
第16圖 全膨脹曲線



第18圖

3. Ar' 変態速度

変態に及ぼす Si の影響で見逃し得ないものに變態速度がある。第 19 圖は熔解番號 3 及び 10 を 950° に 20 mn 加熱後冷却して求めた膨脹曲線を重ね合せたもので Si 量によって變態開始溫度ばかりでなく變態速度に大きな違いがあることがわかる。Ar' 變態に於ける變態速度を比較する爲めに第 16 圖, 第 17 圖及び第 19 圖から變態を終了するに要した時間を求めると第 7 表に示す通りで, Si の低い熔解番號 3 は Si の高い 10 に比べて變態速度が著しく大きいことがわかる。即ち本鋼に於ては變態速度は Si 量と密接な關係を有し 0.23% 以上 Si を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて Ar' の變態速度が著しく小さい。



第 19 圖 全膨脹曲線

第 7 表

熔解番號	Si %	變態開始溫度 °C			變態所要時間 mn		
		850°	950°	1,150°	850°	950°	1,150°
3	21	580	565	545	25	28	30
10	25	595	580	455	40	45	55

これは甚だ注意すべき現象で, Si の高いものが低いものに比べて結晶粒が細かいにもかかわらず焼入性が良好であると云ふ一見矛盾するやうに見える事實も, Si の變態抑制作用が強く結晶粒の微細化による變態促進作用に打勝つて尙餘りあるものと考へれば説明が出来る。而して米國流にアルミニウムによって結晶粒を微細化した場合に著しく焼入性を害することも Al が専ら結晶粒の微細化に働き變態抑制作用をしないものと考へれば容易に説明が出来る。

この考へ方の適否は別問題として Si 0.23% 以上を含むものがそれ以下の Si 量のものに比べて結晶粒が細かい

にもかかわらず焼入性が良好で質量効果が少いと云ふ事實は甚だ重要で, 焼鈍及び焼入戻, 特に厚肉の材料を調質する場合にアイゾット衝撃値が Si 量 0.23% 附近を境として激しく變化する理由も亦この點に在るものと考へる。

VI. サンド及び各種ガスに及ぼす珪素の影響

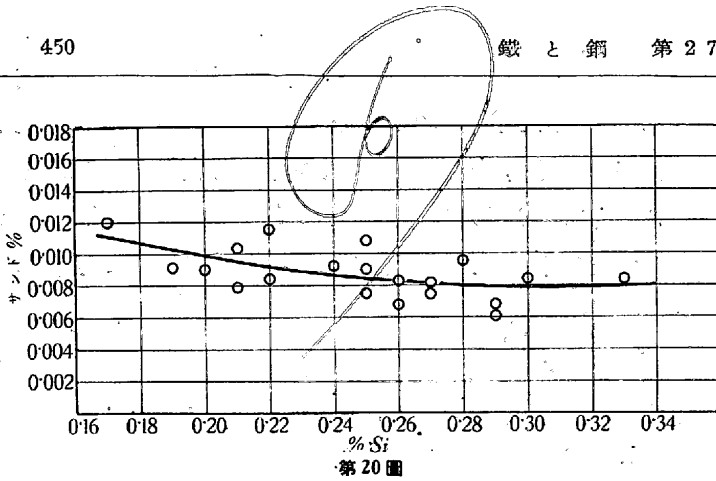
1. サンドの量及び組成

Si が増加するとシリカ系のサンドが増加し砂疵になるであらうと云ふ危懼が鋼の Si 量を制限する主要な理由の一つと考へられることは緒言に述べた通りである。若し Si 量が 0.15% から 0.35% に増加した爲めにサンドの量が著しく増へるやうであれば Si の材力を改善する作用が如何に強くとも砂疵を極度に嫌ふ高級鋼には適用し得ないことになり結果は甚だ重大である。これ筆者が特にサンドの測定並に顯微鏡及び肉眼による砂疵の検査を慎重に行つた理由である。

第 2 表に示した 20 熔解に就て硝酸法¹⁷⁾ によってサンドを定量した結果は第 8 表及び第 20 圖に示す通りで, サンドは Si 量に關係なく大體一定で強ひて云へば Si が増加するに従つてサンドが幾分減少する傾向がある。本鋼は炭素約 0.4% を含み比較的炭素の含有量が高い爲めにサンドの絶対値が低くサンドに及ぼす Si の影響を調べるには適當な材料ではないが, この結果から見て少くとも Si 0.15 ~ 0.35% の範圍に於ては Si 量の増加がサンドの増加を

第 8 表

組別	熔解番號	Si %	サンド %	清淨度		酸素 %	窒素 %
				B	μ		
甲	1	17	0.120	2	2	0.072	0.034
	2	19	0.091	1	5	0.063	0.043
	3	20	0.090	1	6	0.067	0.048
	4	21	0.079	1	4	0.059	0.044
	5	21	0.103	1	3	0.063	0.044
	6	22	0.084	1	5	0.068	0.049
	7	22	0.115	2	4	0.069	0.039
乙	8	24	0.092	2	3	0.065	0.046
	9	25	0.075	1	3	0.053	0.032
	10	25	0.090	1	4	0.063	0.039
	11	25	0.108	2	3	0.071	0.046
	12	26	0.083	1	6	0.053	0.048
	13	26	0.068	1	4	0.069	0.041
	14	27	0.082	1	3	0.051	0.034
	15	27	0.073	1	5	0.065	0.045
	16	28	0.095	1	4	0.061	0.041
	17	29	0.068	1	5	0.053	0.038
	18	29	0.060	1	4	0.058	0.051
	19	30	0.084	1	5	0.046	0.048
	20	33	0.084	1	5	0.056	0.043



第20圖

もたらさないことは云へると考へる。

サンドの問題で今一つ注意すべき點はサンドの量は少くとも組成又は出方によっては立派に砂疵となることである。従て面倒でもサンドの組成を調べ出来れば一々検鏡して見る必要がある。

本鋼のサンドの組成は第9表に代表的數例を示す通りで Si 量によって幾分組成が變化し Si が増加するに従てシリカが減少しアルミナが増加する傾向がある。但これは組成の上の増減で絶対値から云ふと Si が増加するもアルミナは不變で獨りシリカが格段的に減少することが第9表から明瞭にわかる。

第 9 表

熔解番號	Si %	サンドの量 %					サンドの組成 %			
		SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	計	SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3
1	17	0038	0009	tr	0073	0120	31.8	7.5	tr	60.9
3	20	0029	0005	tr	0056	0090	31.2	5.4	tr	60.3
5	21	0033	0005	tr	0065	0103	32.2	5.5	tr	62.2
6	22	0029	0003	tr	0052	0084	34.5	3.6	tr	61.9
10	25	0020	0002	tr	0068	0090	22.2	2.2	tr	75.6
13	26	0019	0002	tr	0047	0068	28.0	2.9	tr	69.2
15	27	0016	0003	tr	0051	0070	22.8	4.3	tr	72.9
18	29	0015	0002	tr	0056	0073	20.5	2.7	tr	76.8

2. 清 淨 度

サンドの量及び組成から見て本鋼のサンドは砂疵として現はれる心配のないことは容易に想像されるが、肉眼によって砂疵を検査した結果も顯微鏡によって清淨度を測定した結果も良くこれを裏書した。

第2表に示した20熔解に就て學振で制定した非金属介在物検査法¹⁸⁾によって清淨度を測定した結果は第8表に示す通りで、最も悪いものでB2, 4 μ の程度で大部分はB1, 3~6 μ に屬し清淨度は甚だ良好でこの方面からは Si の影響を認めることが出来なかつた。

3. 酸素及び窒素

鋼に含まれるガスとしては酸素、水素、窒素が主要なも

のであるが、水素は壓延に於ける熱的取扱の相違、壓延材を放置して置いた時間の長短等によって著しく違つた値を示すから¹⁹⁾之は除いて酸素及び窒素の含有量を測定した。學振で制定した水素還元法²⁰⁾及び蒸溜法²¹⁾によって求めた酸素及び窒素の含有量は第8表に示すやうにそれぞれ0.006%及び0.004%に大體一定して居て、これ亦 Si の影響を認めることが出来なかつた。

以上のやうにこの方面に於てはシリカが顯著な減少を示す以外に Si の影響として認むべきものがないが

(イ) 本鋼の清淨度が極めて優良で且酸素の含有量が低い

(ロ) Si の高いものは低いものに比べてシリカ系のサンドが少い

ことは熔解のところで述べた。

(ハ) Si の高いものは低いものに比べて差物の Si の消費が少い

と云ふ事實と共に製鋼上最も注意を要する點で、このやうな爐況に於て始めて珪素により細粒にして且焼入性良好な鋼を製造し得るものと考へる。

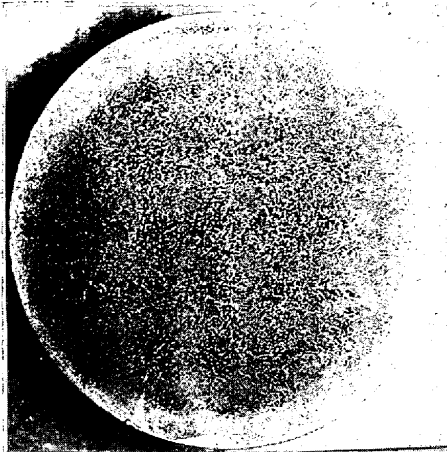
VII. その他の鋼質に及ぼす珪素の影響

1. マクロ組織に及ぼす珪素の影響

その他の鋼質に及ぼす Si の影響としては先づ第一に肉眼組織に及ぼす影響を述べる必要がある。

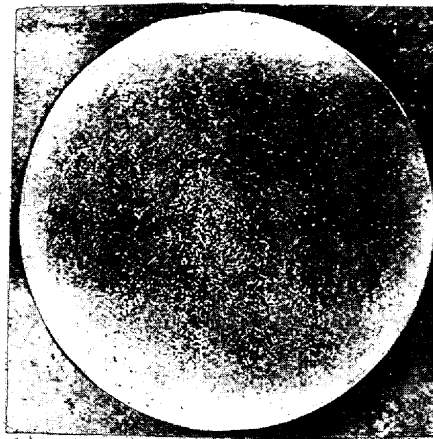
850°で焼鈍した試験材から厚さ約20mmの圓盤を切出し、断面に精仕上を施しその面を鹽化銅アンモンで腐蝕し肉眼組織を調べた。結果は第21圖~第24圖に一例を示す通りで、本鋼に於ては肉眼組織は Si 量と密接な關係を有し Si 0.20%以下では樹狀晶は外圍に限られ中心部は粒狀晶によって占められるが Si が増加するに従て粒狀晶の部分が減少し0.25%以上になると粒狀晶は消失し樹狀晶一色の均一の組織になる。

肉眼組織が Si 量によってかやうに顯著な變化を示す理由は Si が樹狀晶の發達を促進すると同時にその擴散を抑制する作用を有することによるものと考へる。 Si が樹狀晶の發達を促進することは上述した肉眼組織の變化から明かであるが、茲で特に注意すべきは同一の Si 量に於ても熔解法によって樹狀晶の發達の程度を異にし、 Si の戻りの強い場合、フェロシリコンを差物の早期に使用した場合に樹狀晶が著しく發達する傾向を示したことである。第24



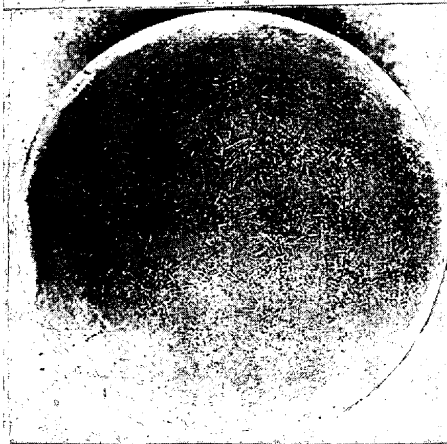
熔解番號 3 0.20% Si

第 21 圖



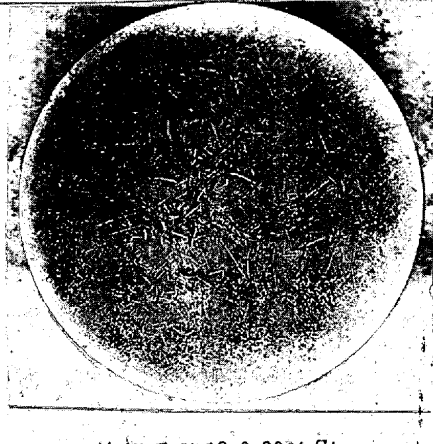
熔解番號 8 0.24% Si

第 22 圖



熔解番號 15 0.27% Si

第 23 圖



熔解番號 19 0.30% Si

第 24 圖

違ひがなかつた。従て Si の低いもの、衝撃値不良と粒状晶とは直接因果関係はないものと考えらる。

2. 黒鉛化に及ぼす珪素の影響

結晶粒度に及ぼす Si の影響のところ述べてやうに $1,150^\circ$ で 1h 滲炭後徐冷すれば第 11 圖に示すやうにセメントイトが結晶粒界及び襲開面に析出する。而してこの場合常温まで徐冷することなく 950° で冷却を停止し、この温度に 5h 保持すると Si の高い乙組に属するものは

熔解番號 13 0.26% Si
1150→950° 滲炭

第 25 圖

第 25 圖に示すやうに試験片の外側に近い結晶粒が點々として黒鉛化を始め* 然しながら Si 0.23% 以下のものは

圖はフェロシリコンを差物の早期に使用した場合の一例で樹状晶特に中心部の樹状晶の發達が極めて顯著である。

Si が樹状晶の擴散を著しく制御することは同一の鍛鍊及び熱處理を施した第 21 圖と第 23 圖及び第 24 圖とを比較すれば一見して明瞭である。即ち Si の低い第 21 圖に於ては樹状晶の枝に相當する部分は擴散して僅かに幹の部分に羽毛状に残つて居るに過ぎないが Si の高い第 24 圖に於ては樹状晶は完全にその形態を存し殆ど擴散の形跡なく恰も鑄放の小鋼塊を見るやうである。本研究の試料は前述した通りに 500kg の鋼塊を 40mm の丸棒に壓延したもので鍛造比 40 以上に及び充分鋸鍊してあることから見て Si が樹状晶の擴散に如何に大きな影響を有するかは伺はれる。

鋼質は主として顯微鏡組織によつて決定されるもので肉眼組織は第二義的のものであることが報告されて居る²³⁾。試みに熔解番號 3 に就て樹状晶の部分と粒状晶の部分から試験片を採取し色々調査して見たが、粒状晶に C, P, S が偏析する傾向を認めただけで材力其他には特記する程の

同様の熱處理を施しても黒鉛を生ずることは極めて稀れである。 Si が黒鉛化を促進する最も有力な元素であることは良く知られて居るが、 Si 量 0.23% 附近を境としてその作用に顯著な相違があることは Si の效用限界を示す一例として興味ある現象と考へる。

VIII. 總 括

以上述べたところを總括すると次のやうになる。

酸性平爐で熔解した構造用低ニツケル鋼に就て鋼質に及ぼす Si の影響を調査して次の結果を得た。

(イ) 鋼に含まれる Si は鋼質に重大な影響を有し、 Si 0.23% 附近を境として材力、結晶粒度、焼入性、變態速度等に顯著な相違がある。

(ロ) 即ち Si 0.23% 以上を含むものはそれ以下の Si 量のものに比べて結晶粒が細かく且焼入性良好で、質量効果が少く、大型の鋼材を熱處理する場合に中

* 本顯微鏡寫眞に限り倍率 50、視野 80mm にて撮影す(但本誌には 40 倍に縮めてある。係)

第 10 表

解 番 號	化學成分%					鑄石		差物%					差 出 鑄 物 前 炭 素 量 %	鋼 溫 度 °C	込 溫 度 °C	Si% 差	熱處理 回 數	材力試驗成績					結 果				
	C	Si	Mn	Ni	Cu	石 灰 %	石 灰 %	低 磷 %	高 珪 素 %	フ エ ロ マ ン ガ ン %	フ エ ロ シ リ コ ン %	シ リ コ マ ン ガ ン %						ア ル ミ ニ ウ ム %	同 燒 戻 溫 度 °C	降 伏 點 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 長 %		絞 割 %	衝擊值		
																									平 均	最 小	
11405	32	22	55	18	05	2.3	1.4	—	1.0	5	—	4	0.15	25	1,687	1,544	18	04	1	620	35.5	60.2	28.4	52.9	28.1	23.0	完成
11409	32	22	58	17	06	2.0	1.7	—	1.0	6	—	3	0.15	27	1,684	1,539	16	06	2 ^E	620	34.6	60.1	28.8	50.6	23.5	15.3	完成
11457	32	28	56	16	06	2.5	1.7	5	1.0	5	—	4	0.15	24	1,688	1,539	19	09	1	620	37.2	61.1	26.6	47.5	26.8	22.7	完成
11465	33	26	52	30	08	2.8	1.6	1.0	1.0	5	—	3	0.15	28	1,687	1,544	18	08	2 ^C	620	39.1	64.2	24.3	45.9	28.7	18.2	完成
11484	31	24	50	19	07	3.1	1.5	—	1.0	5	—	4	0.15	27	1,692	1,544	18	06	1	620	37.4	62.1	27.6	51.3	21.9	15.5	完成
11500	33	23	52	36	06	5.7	1.7	1.0	1.0	5	—	3	0.15	28	1,683	1,552	18	05	1	612	35.9	60.2	27.5	48.7	25.3	23.5	完成
11518	33	23	52	32	06	3.4	1.5	1.0	1.0	5	—	4	0.15	28	1,688	1,544	20	03	1	620	36.2	60.6	27.4	50.2	24.3	20.9	完成
11552	34	27	50	32	06	4.2	1.5	1.0	1.0	5	—	4	0.15	28	1,672	1,531	20	07	1	620	37.1	61.1	27.2	51.2	26.1	18.1	完成
12445	34	15	53	32	11	5.1	1.7	1.0	1.0	7	—	2	0.15	31	1,684	1,536	16	01	1	625	36.3	61.1	28.0	49.4	26.6	20.8	完成
12472	35	21	53	24	10	4.2	1.8	1.0	1.0	7	—	2	0.15	28	1,687	1,544	16	05	3 ^I	633	34.6	59.2	27.5	47.0	20.3	11.4	完成
12548	34	19	51	14	10	1.7	1.7	1.0	1.0	6	—	3	0.15	25	1,684	1,537	18	01	6 ^I	620	35.6	61.0	26.8	42.1	20.1	10.0	材料不 良
12557	35	22	54	17	09	2.4	1.7	1.0	1.0	7	—	2	0.15	25	1,696	1,554	16	06	1	622	36.8	62.0	27.3	47.4	25.8	21.6	完成
12578	34	21	68	16	10	1.5	1.7	1.0	1.0	7	—	3	0.15	24	1,700	1,569	18	03	7 ^{EI}	620	33.9	59.4	25.1	33.3	19.8	8.7	材料不 良
12657	35	21	43	18	08	4.3	1.7	1.0	1.0	6	—	2	0.15	29	1,692	1,550	16	05	6 ^I	610	35.6	60.8	24.1	38.6	18.5	7.1	材料不 良
12677	36	25	53	16	07	5.1	1.8	1.0	1.0	6	—	2	0.15	30	1,684	1,537	16	09	1	580	39.2	65.5	26.2	47.6	26.3	19.7	完成
12697	35	22	51	15	08	3.4	1.7	—	1.0	7	—	2	0.15	26	1,692	1,569	14	08	2 ^C	590	35.1	62.0	25.9	39.5	25.6	21.2	完成
12724	35	19	42	16	09	7.4	1.5	1.0	1.0	6	—	2	0.15	28	1,684	1,527	16	03	8 ^{EI}	610	32.8	59.0	28.0	43.7	19.7	7.5	材料不 良
12775	32	19	51	14	12	6.6	1.2	2.0	5	6	—	4	0.15	29	1,687	1,557	15	04	6 ^{EI}	595	34.7	61.2	21.0	32.9	18.9	8.5	材料不 良
1342	33	16	49	22	08	1.8	1.7	1.0	1.0	7	—	2	0.15	25	1,696	1,567	16	00	2 ^I	560	35.7	61.4	28.0	47.5	28.0	14.5	完成
13132	33	19	52	22	07	4.8	1.4	1.0	1.0	7	—	2	0.15	27	1,684	1,537	16	03	1	572	38.0	63.9	25.0	44.1	21.9	15.9	完成
13211	34	20	49	19	08	4.3	1.3	1.0	1.0	7	—	2	0.15	25	1,693	1,554	16	04	1	630	36.4	61.9	27.7	47.3	23.3	15.5	完成
13247	35	21	48	17	08	3.1	1.8	1.0	1.0	7	—	2	0.15	23	1,687	1,533	16	05	1	638	36.4	61.6	27.8	51.5	24.7	21.1	完成
13262	32	28	55	21	08	3.1	1.0	1.0	1.0	6	—	3	0.15	22	1,704	1,570	18	10	1	611	36.3	60.5	27.2	49.5	28.3	21.7	完成
13359	33	23	55	22	09	3.9	1.8	1.5	—	7	2	3	0.15	25	1,684	1,526	19	04	3 ^I	625	37.0	62.0	21.9	44.8	25.9	13.1	完成
13391	35	24	57	33	09	3.7	1.8	1.0	—	7	2	3	0.15	25	1,690	1,543	18	06	1	635	35.8	61.8	28.1	51.3	32.4	22.1	完成
13406	33	24	54	22	08	2.7	1.1	1.0	—	7	2	3	0.15	26	1,692	1,545	18	06	1	635	35.3	59.0	29.4	51.9	26.5	24.8	完成
13431	32	21	51	22	08	3.5	1.0	1.0	—	6	2	3	0.15	26	1,687	1,527	18	03	2 ^J	600	34.7	59.4	28.7	51.6	19.0	14.7	完成
13454	32	22	54	17	09	2.9	1.0	1.0	—	7	2	3	0.15	26	1,880	1,558	18	04	2 ^I	622	35.1	61.4	25.9	46.3	19.8	11.6	完成
13494	32	25	46	16	09	2.6	1.1	1.5	—	8	3	2	0.20	18	1,692	1,539	21	04	2 ^E	624	31.9	56.2	32.0	48.5	26.3	16.9	完成
13519	33	26	51	29	07	2.7	1.8	1.0	1.5	5	—	4	0.15	25	1,690	1,525	25	01	3 ^J	623	34.8	58.0	30.7	51.3	25.2	11.3	完成
13631	33	25	50	25	08	3.7	1.5	1.0	1.0	7	2	2	0.15	27	1,688	1,545	26	01	3 ^I	620	35.0	59.6	24.8	41.7	20.1	8.8	完成
13641	34	28	60	25	08	4.3	0.9	1.0	1.0	7	1	3	0.15	27	1,690	1,559	23	05	1	634	35.8	60.0	29.2	51.3	29.0	25.8	完成
14192	32	28	50	18	06	1.6	2.4	1.0	1.0	7	1	3	0.15	23	1,690	1,541	23	05	1	626	35.3	58.6	29.1	52.2	27.6	20.8	完成
14392	34	29	63	17	06	4.3	1.6	1.0	1.0	7	—	4	0.15	25	1,680	1,540	20	09	1	620	37.9	61.8	28.7	54.0	35.0	26.5	完成
14462	33	29	59	14	06	4.3	2.3	1.0	1.5	7	—	2	0.15	25	1,688	1,552	21	08	1	610	39.2	62.6	28.9	50.0	31.8	25.5	完成
14507	36	28	62	19	06	4.0	1.9	—	1.5	6	—	4	0.15	28	1,681	1,530	23	05	3 ^C	620	35.4	58.6	27.4	48.2	30.6	20.4	完成
14564	37	30	59	13	06	3.2	1.7	2.0	1.0	6	—	4	0.15	28	1,686	1,544	22	08	1	610	37.8	62.2	26.0	45.5	28.2	20.0	完成
14573	34	24	56	15	07	4.2	1.6	1.0	1.0	6	—	4	0.15	25	1,681	1,525	20	04	6 ^{CI}	610	38.7	63.8	26.1	36.7	20.3	14.3	完成
14812	34	32	58	12	06	2.6	1.2	1.0	1.5	6	—	4	0.15	27	1,657	1,537	25	07	4 ^C	615	37.5	62.2	26.3	41.7	28.3	24.8	完成
14859	31	30	60	24	05	4.2	1.7	1.0	1.5	7	—	3	0.15	27	1,707	1,568	23	07	2 ^C	604	37.4	61.5	27.1	45.2	31.9	24.1	完成

註 熱處理の回數の欄に 7^{EI} とあるは降伏點及び衝擊値不良のために熱處理を7回施行したことを示す。尚 C は絞の略なり。

第 11 表

熔 解 番 號	化 學 成 分 %							鑄 石		差 物 %			出 鋼 温 度 °C	鑄 込 温 度 °C	Si %		熱處理		材力試驗成績					結 果				
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	石 %	灰 %	高 珪 素 銑	フ エ ロ シ リ コ ン	シ リ コ マ ン ガ ン			差 物 前 炭 素 量 %	差 差	回 數	燒 戻 温 度 °C	降 伏 點 kg/ mm ²	抗 張 力 kg/ mm ²	伸 %	絞 %	衝 撃 值 ft-lb	完 成	砂 疵	白 點 材 試 不 良 等		
10158	26	20	65	1.62	.91	.95	.54	3.2	2.3	1.0	1.0	—	3	19	1,694	1,541	16	.04	1	560	106.0	115.9	17.8	43.5	23.4	1	5	—
10163	28	26	70	1.58	.95	.94	.40	2.8	2.0	1.0	1.0	—	4	19	1,691	1,541	18	.08	1	570	102.4	112.0	16.1	44.3	33.0	4	2	—
10187	27	25	66	1.65	.92	.88	.46	6.6	2.0	1.0	1.0	—	4	21	1,697	1,541	18	.07	1	560	112.0	121.9	17.2	46.3	23.8	5	1	—
10207	26	26	70	1.63	.93	.97	.46	4.0	2.2	1.0	1.0	—	4	18	1,695	1,541	18	.08	1	560	108.4	118.6	15.5	37.7	24.2	4	2	—
10211	28	30	80	1.53	1.04	.90	.48	3.0	2.0	1.0	1.0	—	4	17	1,691	1,541	18	.12	1	568	112.3	121.5	16.3	43.3	23.2	4	2	—
10229	27	27	74	1.68	1.03	1.04	.50	3.7	1.8	1.0	1.0	—	4	19	1,697	1,545	18	.09	1	565	111.0	120.4	16.2	39.5	25.2	5	3	—
10242	26	32	63	1.58	1.03	.97	.53	2.9	1.6	1.0	1.0	—	2	19	1,695	1,541	20	.12	1	560	105.8	115.0	17.0	37.2	33.2	8	—	—
10245	27	26	56	1.68	.93	.93	.56	3.9	1.6	1.0	1.0	—	2	18	1,691	1,541	20	.06	1	550	106.7	116.3	17.2	38.8	35.0	5	3	—
10258	28	24	63	1.58	.95	.98	.51	4.5	1.8	1.0	1.0	—	15	22	1,695	1,545	18	.06	1	557	106.8	116.0	16.0	32.5	26.8	2	6	—
10260	28	28	65	1.58	1.04	.98	.51	4.2	1.6	1.0	1.0	—	15	23	1,694	1,541	18	.10	1	571	104.5	114.2	18.5	47.2	33.8	6	2	—
10272	26	31	70	1.55	.95	.90	.46	5.5	1.8	1.0	1.0	—	2	18	1,691	1,537	14	.17	1	560	108.5	117.8	16.3	47.2	30.2	7	1	—
10290	27	20	60	1.70	.99	.99	.52	5.0	1.3	1.0	1.0	—	3	14	1,700	1,548	16	.04	2 ^I	540	107.1	116.5	17.0	44.0	18.9	5	3	—
10355	27	23	73	1.70	.94	.89	.57	4.7	2.0	1.0	1.0	—	4	15	1,691	1,541	18	.05	7 ^I	552	109.2	119.0	15.2	41.3	16.1	1	4	1
10369	27	22	69	1.70	.93	.97	.54	4.3	2.3	1.0	1.0	—	4	15	1,698	1,545	18	.04	2 ^I	550	118.2	126.5	15.8	41.4	16.7	2	4	—
10346	26	20	73	1.77	.95	.94	.54	2.3	2.0	1.0	1.0	—	2	16	1,694	1,541	14	.06	2 ^I	560	107.1	116.5	17.0	44.0	18.9	3	3	—
10388	26	21	58	1.65	.94	.98	.52	2.3	2.3	1.0	1.0	—	2	17	1,691	1,541	14	.07	1	550	110.0	118.8	19.2	45.7	22.0	2	4	—
10407	30	21	57	1.81	.90	.94	.52	5.2	1.4	1.0	1.0	—	4	17	1,691	1,537	18	.03	2 ^I	550	114.0	123.8	16.2	39.7	19.2	2	6	—
10423	26	20	68	1.62	.93	.87	.54	3.5	2.4	1.0	1.0	—	1	19	1,686	1,545	.07	.13	1	551	108.5	119.2	16.2	43.4	23.2	6	—	—
10448	28	24	65	2.00	.98	.95	.52	8.9	2.3	1.0	1.0	—	3	18	1,695	1,541	16	.08	1	560	111.7	120.2	16.0	41.5	22.0	3	3	—
10452	28	25	69	1.80	1.01	.94	.50	4.5	1.3	1.0	1.0	—	3	17	1,695	1,541	16	.09	1	560	106.0	115.0	18.5	47.3	33.4	4	2	—
10474	28	24	69	1.61	1.03	.91	.52	6.3	2.0	1.0	1.0	—	3	17	1,703	1,552	16	.08	1	585	106.0	115.2	17.3	42.5	28.2	6	—	—
10495	28	23	68	1.66	.99	.91	.59	4.0	2.0	1.0	1.0	—	3	15	1,691	1,541	16	.07	1	560	105.0	115.0	17.2	44.2	24.0	3	3	—
10540	27	24	62	1.63	.94	.95	.54	4.0	1.5	1.0	1.0	—	4	18	1,695	1,541	18	.06	1	570	112.0	120.8	16.9	46.9	21.8	2	2	—
10543	27	20	67	1.64	.91	1.05	.52	4.7	1.6	1.0	1.0	—	3	15	1,687	1,533	16	.04	2 ^E	578	109.0	118.0	17.0	46.5	29.7	3	3	—
10657	28	29	78	1.71	1.01	.90	.55	5.3	1.4	1.0	1.0	—	4	19	1,691	1,537	18	.11	1	580	111.0	120.0	16.0	43.6	23.3	4	—	—
10677	28	27	74	1.55	.96	.90	.58	6.3	1.7	1.5	1.0	—	3	18	1,633	1,536	21	.06	1	580	102.8	112.3	17.4	44.3	24.0	6	—	—
10694	27	22	65	1.50	.96	.98	.61	4.1	2.1	1.0	1.0	—	4	18	1,691	1,537	18	.04	4 ^I	578	106.0	115.1	14.0	42.7	19.0	4	2	—
10740	26	26	68	1.66	1.00	.89	.51	3.7	2.5	1.0	1.0	—	4	15	1,684	1,541	18	.08	2 ^I	575	111.8	121.3	19.0	44.6	23.6	6	—	—
10920	28	28	77	1.75	1.12	.97	.59	4.0	2.0	1.0	1.0	—	4	15	1,700	1,545	18	.10	1	585	107.0	116.2	16.8	36.8	25.5	5	1	—
11546	28	20	70	1.60	1.03	.99	.52	6.8	1.4	1.0	1.0	—	3	21	1,688	1,539	16	.04	4 ^{HI}	585	109.0	119.2	16.0	40.4	17.3	—	6	2
11590	29	26	75	1.60	1.03	.90	.56	4.5	1.4	1.0	1.0	—	4	19	1,713	1,552	18	.08	1	590	106.8	116.7	17.5	43.1	22.3	2	4	—
11679	28	22	76	1.62	1.08	.90	.50	5.1	1.7	1.0	1.0	—	3	15	1,699	1,545	16	.06	1	585	105.5	118.2	17.0	44.3	21.3	3	2	3
1234	24	24	70	1.74	1.09	.86	.53	6.1	1.5	1.0	1.0	—	3	16	1,693	1,545	16	.08	1	575	105.2	114.5	19.2	55.2	31.0	6	4	—
1260	26	23	83	1.74	1.01	.95	.62	5.9	1.9	1.0	1.0	—	3	16	1,697	1,548	16	.07	4 ^I	580	110.0	119.8	16.3	47.8	16.4	3	3	—
12174	26	27	73	1.66	1.12	.96	.52	8.0	1.7	1.0	1.0	—	3	17	1,686	1,525	16	.11	1	572	101.7	111.4	17.9	43.0	30.2	6	1	1
12208	27	24	71	1.64	1.07	.91	.63	5.8	1.7	1.0	1.0	—	4	16	1,697	1,551	18	.06	1	560	101.5	111.0	18.4	46.3	27.1	6	1	1
12219	27	20	63	1.67	.93	.99	.58	3.6	1.7	1.0	1.0	—	4	14	1,690	1,527	18	.02	1	550	114.0	123.5	16.3	43.8	24.0	3	3	—
12365	28	21	66	1.64	.99	.97	.60	5.7	1.8	1.0	1.0	—	3	15	1,693	1,541	16	.05	1	560	112.0	121.0	17.3	45.3	22.1	2	3	1
12384	29	15	61	1.61	.93	.92	.62	7.4	1.7	1.0	1.0	—	3	14	1,702	1,553	21	.06	4 ^I	560	112.5	122.3	16.6	43.3	17.3	2	6	1
12505	28	21	57	1.68	1.16	.94	.62	4.0	1.6	1.5	1.0	—	2	15	1,702	1,546	14	.05	2 ^E	578	110.0	119.7	17.0	43.5	24.4	8	2	—

註 結果の欄に完成 3, 砂疵 2, 白點 3 とあるは本熔解より製造したる 8 個の中完成したるもの 3 個にして 2 個は砂疵, 3 個は白點又は材試不良により廢材となりたることを示す。

心部の材力特にアイソット衝撃値が隔段的に優良である。

(ハ) サンドの量は Si 0.15~0.35% の範囲に於ては Si 量に関係がないが、 Si が増加するとシリカが減少する傾向がある。

(ニ) 鍛材の肉眼組織も亦 Si によつて變化し、 Si 0.23% 以下では樹狀晶と粒狀晶とよりなるが Si 0.25% 以上になると樹狀晶一色の組織になる。

最後にこのやうな現象は獨り低=ツケル鋼に現はれるものではなく、その程度並に Si の效用限界には幾分の違ひがあるが、炭素鋼を始め低=ツケルクロム鋼、=ツケルクロムモリブデン鋼等に齊しく現はれることを指摘し、その一例として同一製品に就て過去數年に互つて調査した統計表を附記して置く。第10表は30 噸の鋼塊を使用する比較的大型の炭素鋼の製品に就て調査したもの、第11表は高合金鋼の例として小型であるが砂疵検査の極めて嚴格な製品に就て調査したもので、 Si が材力を改善する顯著な效用があると同時に砂疵の輕減にも亦與つて力あることを實證するものと考へる。

これを要するに筆者は本研究の結果より見て、珪素は鋼質の改良を行ふ場合に最も有效な元素の一つで珪素の利用によつて始めて焼入性良好な細粒鋼を製造し得ることを信する者で、珪素を鋼の不純物と見てその含有量が低ければ低い程良いと云ふ從來の考へ方には多分に再吟味の餘地ありと考へる者である。

終りに臨み本研究の發表を許可された日本製鋼所並に本研究の遂行に當り懇篤なる指導鞭撻を賜つた顧問水谷叔彦氏、改良部長黒川慶次郎氏に謹んで感謝の意を表はすと共に實驗の援助を頂いた萩原巖、小林佐三郎氏に厚く謝意を表す。

文 獻 引 用

- 1) R. A. Hadfield: Jour. Iron & Steel Inst. (1889)-II 161
2) T. Baker: Jour. Iron & Steel Inst. (1903)-II 312

- L. Guillet: Rev. de Mét. (1904)-I 46
P. Paglianti: Metallurgie (1912) 217
T. D. Yensen: Bulletin No. 83, Univ. of Illinois, 1915
3) T. Turner: Trans. Chem. Soc. (1887) 134 & 1888, 844
4) 藪内周三郎: 鐵と鋼 23 (昭 12) 413
5) R. Harrison: Jour. Iron & Steel Inst. (1931)-II 261
6) Schaper: Bautechnik (1925) 631
Anon: Stahl u. Eisen 46 (1926) 493
H. W. Gillett: Bur. Stand. Tech. Papers, 21. (1926~1927)
J. Meiser: Stahl u. Eisen 47 (1927) 446
H. Koppenberg: V. D. I. (1928) 918
7) J. A. Jones: Jour. Iron & Steel Inst. (1929)-II 127
8) A. B. Kinzel: Trans. A. S. S. T. (1928) 866
9) 室井嘉治馬, 鐵と鋼 24 (昭 13) 805
10) H. W. McQuaid: Trans. A. S. M. (1934) 1017
T. Swinden & G. R. Bolsover: Jour. Iron & Steel Inst. (1936)-II 457
E. Houndremont & H. Schrader: Arch. Eisenhüttenw. (1939) 393
11) 依 國一: 鐵と鋼 27 (昭 16) 145
12) P. Herasymenko: Metal Progress (1936) Sept. 30, 69
13) B. F. Shepherd: Iron Age 138 (1936) 22
14) L. Burns, T. L. Moore & R. S. Archer: Trans. A. S. M. (1938) 1
W. E. Jominy & A. L. Bolgehold: Carburizing Symp. A. S. M. (1938) 148
15) T. G. Driggs & L. Jordan: Trans. A. S. M. (1935) 839
C. H. Herty, D. L. McBride & E. H. Hollenback: Trans. A. S. M. (1937) 297
16) G. Charpy & A. Cornu-Thenard: Jour. Iron & Steel Inst. (1915)-I 275
H. Esser, W. Eilender & W. Majert: Arch. Eisenhüttenw. (1933) 367
依 信次: 鐵と鋼 23 (昭 12) 875
17) 小林佐三郎, 金森祥一, 越谷粕藏: 鐵と鋼 25 (昭 14) 1,074
18) 依 國一: 鐵と鋼 26 (昭 15) 367
19) 太田鷄一: 鐵と鋼 23 (昭 12) 354 及び 24 (昭 13) 1,005
20) 依 國一: 鐵と鋼 24 (昭 13) 541
21) 依 國一: 鐵と鋼 22 (昭 11) 837
22) H. G. Keshian: Trans. A. S. S. T. (1930) 321