

# 砂疵の成因に関する一考察

塩 谷 周 三\*

STUDY ON THE OCCURRENCE OF SAND MARKS IN STEEL.

Shuzo Shiotani

**Synopsis:** — By studying the composition, constitution size distribution and time of occurrence, the author has found out sand marks to be the product of reaction between ladle brick and molten steel. The reaction, considered theoretically, gives explanation on occurring procedure and its composition.

## I 緒 言

特殊鋼の含有する非金屬介在物をその大きさ順に大別すると、砂嘴砂疵顕微鏡的介在物とすることが出来る。砂嘴は稀にみられるものであるが砂疵顕微鏡的介在物は極めて普遍的な存在で、鋼材はこれ等の品位の優秀なことが要求される。殊に砂疵品位は用途によつては鋼材廢却の最も主なる原因の一つである爲、砂疵軽減は製鋼工場の主要命題の一つである。

然るに顕微鏡的介在物の研究の膨大なるに比し、砂疵の研究は全く遅々たるものがあり系統的に論究された報告は未だ見ない様で、組成成因に就いては勿論のこと砂疵品位と製鋼法との関聯性、或は機械的性質への影響等に於ても區々たる見解がとられ、正に砂疵は神出鬼没の感を與へている。砂疵のこの残された多くの空白の章の中、筆者は本論文では生因を中心に砂疵の二三の問題を論じてみたい。

## II 組 成

組成判定には一般には化學分析が用ひられて居るが筆者は Wohrman<sup>(1)</sup>の顕微鏡的方法を採用した。化學分析的方法は單獨抽出の不能な砂疵では他の介在物の總和が結果し、又方法論的にも種々の難點があつて必ずしも定量的とは言ひ難い。これに對して顕微鏡的方法は組成の定量結果は勿論望まれないが、對稱が個々であるので砂疵の鋼種別或は鋼塊位置別の組成差や物理的變化と組成の相關性等が一對一對應の下に把握され、更に砂疵の組成即ち構成元素の存在の仕方を知り得るといふ利點がある。

かくして得られた結果を総合して述べよう。尙紙面の都合上顕微鏡寫眞は省略した。

イ) 一般組成： 砂疵の基底は Mn に富んだ Fe-Mn-silicate であるが、この基底内の介在物の有無種類により次の如く分類される。

- i) Fe-Mn-silicate 基底單味のもの
- ii) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系サンドの介在するもの
- iii) 他の酸化物或は硫化物の介在若しくは附着するもの

特に ii) は一般砂疵の大半を占めるものである。

ロ) 基底組成の鋼種による差異： Mn に富んだ Fe-Mn-silicate 基底は鋼種により多少その組成が異り、原則的には [Si] が同一ならば [Mn] に富んだ鋼種ほど砂疵の silicate 基底も Mn に富んで居る。

ハ) 基底組成の鋼塊位置による差異： 砂疵基底は鋼種のみならず鋼塊位置によつても異なる。但しこの變化は鋼種により明瞭なものと然らざるものとがある。例へば 137 の如く [Si] 低く [Mn] の高い鋼種では鋼塊周邊部砂疵に比して中心部のものは、より Mn の高い基底を持つている。これに對して [Mn], [Si] ともに普通である 1004 や [Mn] が高くとも [Si] が共に高い 1234 では何等兩者の基底組成に見るべき差異が無い。

## III 生 因

1] 発生時期： 砂疵の発生時期を確むるため次の四階段、即ち i) 出鋼直前爐内 ii) 出鋼直後取鍋上部 iii) 注入中期取鍋下部 iv) 注入終期取鍋下部の急冷小型試料を多數熔解より採取、砂疵観見試験並びに顕微鏡的検査を行つた。

その結果砂疵の生成は、熔銅が取鍋に傾注された直後より初まり注入終期まで消滅しないこと、換言すれば熔銅が取鍋に保持される限り砂疵の生成は繼續されるものであることが判明した。いま非金屬介在物が取鍋より採取した鋼に存在する原因として次の諸項目が挙げられる。

- A) 出鋼時に於る鋼滓の混入
- B) 出鋼時熔銅の激突による取鍋煉瓦の剝脱混入
- C) 高温による煉瓦の物理的熔融
- D) 脱酸生成物の凝聚肥大

\* 日本钢管株式會社富山電氣製鐵所

## E) 凝固脱酸生成物

## F) 熔鋼-取鍋煉瓦間反応生成物

A, B並びにCはその儘では砂斑の成因で無いことは砂斑組成より簡単に知ることが出来る。又砂斑の浮

第 1 表

CH NO (T.M)	T. °C	鋼 淬組成					鋼浴組成					O				
		SiO <sub>2</sub>	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
500A 1630	61.10	184	5.10	0.35	11.53	1.83	1.20	0.40	0.29	KO.75	0.10	0.44	J16	0.16	0.11	0.015
B 1583																0.010
C 5443	256	23.06	0.36	12.98	0.83	1.56	0.36	0.17	19.25	0.10	0.43	0.12	0.18	0.12	0.19	0.012
581A 1665	61.34	17.24	0.44	12.95	1.16	1.75	0.77	0.33	KO.44	0.35	0.48	0.25	0.15	0.14	0.11	0.018
B 1572	56.97	11.5	19.32	0.22	1.12	1.90	1.92	0.16	0.23	19.01	0.38	0.44	0.29	0.19	0.15	0.014
C 5253	71.7	21.94	0.30	9.66	6.67	1.95	0.19	0.16	19.91	0.43	0.50	0.26	0.15	0.14	0.014	
515 A 1642	61.53	17.3	16.32	0.25	1.23	1.21	1.40	0.93	0.18	19.86	0.43	0.50	0.26	0.15	0.14	0.018
B 1547	63.34	20.10	0.48	8.31	3.90	1.75	0.47	0.55	19.51	0.43	0.50	0.26	0.15	0.14	0.018	
C 5280	10.1	24.72	0.49	9.01	3.39	1.81	0.26	0.26	19.15	0.43	0.46	0.23	0.16	0.11	0.017	
515 A 1583	61.93	13.0	16.24	0.15	1.99	3.23	3.12	0.56	0.50	19.92	0.47	0.40	0.21	0.14	0.11	0.013
B 1505	62.72	11.5	19.06	0.46	8.84	3.57	3.60	0.17	0.33	19.12	0.42	0.36	0.13	0.16	0.11	0.018
C 5172	71.2	21.50	0.36	10.35	3.72	2.96	0.14	0.24	19.49	0.42	0.36	0.13	0.16	0.11	0.014	
620 A 1573	62.45	0.58	19.10	0.58	9.00	2.88	3.66	0.59	0.37	19.68	0.40	0.39	0.15	0.16	0.18	0.018
B 1560	60.98	10.1	19.50	0.43	10.66	3.20	3.42	0.10	0.31	19.63	0.40	0.41	0.14	0.20	0.11	0.022
C 5011	50.8	24.34	0.43	11.62	2.93	4.44	0.07	0.28	19.12	0.40	0.41	0.14	0.20	0.11	0.022	
918 A 1642	31.56	20.64	0.22	1.34	5.76	3.29	3.35	0.21	0.44	19.41	0.49	0.45	0.25	0.13	0.11	0.010
B 1538	65.65	2.9	13.56	0.33	6.08	1.21	1.15	0.19	0.30	19.35	0.35	0.36	0.13	0.26	0.11	0.011
C 1505	51.82	29	26.73	0.33	12.76	6.25	0.16	0.17	19.49	0.36	0.35	0.11	0.25	0.13	0.017	
918 C	51.78	22.26	20.36	0.17	1.17	4.36	3.29	0.15	0.19	19.12	0.31	0.31	0.16	0.23	0.10	0.012
B 1538	51.53	62.9	22.32	0.25	9.01	4.94	3.38	0.23	0.10	19.18	0.33	0.31	0.14	0.23	0.10	0.013
C 4119	55.45	23.1	26.03	1.64	9.56	6.29	1.21	0.28	0.42	19.84	0.31	0.31	0.16	0.23	0.15	0.006
911 A 1573	62.62	0.50	19.08	0.22	6.88	3.20	0.40	0.56	0.15	19.11	0.31	0.31	0.13	0.22	0.10	0.010
B 1490	61.17	6.5	21.56	0.30	1.63	4.20	3.35	0.26	0.31	19.15	0.31	0.30	0.16	0.21	0.10	0.010
C 1468	53.65	0.43	21.90	0.57	9.04	4.29	2.21	0.22	0.25	19.81	0.31	0.30	0.15	0.23	0.09	0.005
919 A 1573	58.64	0.51	19.10	0.23	11.44	5.19	1.79	0.21	0.23	19.02	0.35	0.32	0.16	0.24	0.10	0.009
B 1515	53.06	0.51	23.15	0.21	12.81	5.55	1.26	0.23	0.21	19.92	0.37	0.36	0.16	0.26	0.11	0.016
C 1505	54.21	0.50	23.16	0.21	13.10	6.30	1.09	0.23	0.21	19.56	0.37	0.30	0.14	0.24	0.11	0.014
1022 A 1630	61.19	0.50	20.98	0.22	6.95	6.52	1.32	0.49	0.32	19.20	0.61	0.63	0.23	0.26	0.11	0.008
B 1515	53.21	4.5	21.68	0.26	9.51	9.16	0.96	0.24	0.21	19.15	0.56	0.61	0.23	0.25	0.11	0.014
C 537	52.12	0.51	25.98	0.34	10.13	6.91	1.41	0.23	0.23	19.81	0.58	0.71	0.23	0.23	0.10	0.010
1212 A 1618	60.25	0.36	20.72	0.18	7.03	5.76	3.59	0.57	0.21	19.46	1.61	0.85	0.20	0.21	0.10	0.014
B 1515	56.34	0.43	21.26	0.22	1.93	6.61	3.62	0.50	0.16	19.28	0.65	0.76	0.19	0.29	0.10	0.013
C 1515	51.29	6.65	26.67	0.34	8.91	6.81	3.43	0.22	0.14	19.37	0.62	0.72	0.19	0.26	0.13	0.013

第 2 表

T.M	n <sub>B</sub>	n <sub>A</sub>	SiO <sub>2</sub>	~	SiO <sub>2</sub>	~	(A)	(B)	~	SiO <sub>2</sub>	~	(A)	(B)	~	SiO <sub>2</sub>	~	(A)	(B)	~			
1.A	61.10	1.41	15.10		11.53		50.19	C-A		7.A	61.78	10.71	20.16	B-A	48.92							
C	54.43	20.06	22.89	7.9	12.98	14.81	31.8	31.79	45.44	B	59.53	11.16	22.32	3.64	9.09	25.55	47.87	47.91	B-A			
Z A	50.30	10.43	17.24		6.31		4.688	C-B		C	54.45	11.36	26.00	31.62	7.71	25.6	11.63	18.9	33.51	40.81		
B	56.84	1.29	19.32	20.15	1.91	1.12	1.45	42.59	44.52	8.A	65.02	10.53	19.88	6.88					-5.1	C-B		
C	52.53	10.82	21.94	31.56	11.41	9.66	34.8	33.10	36.05	B	61.77	11.66	21.56	22.70	1.62	8.03	11.5	16.01	19.40	C-B		
3.A	61.53	10.66	16.32		1.23		54.24	B-A		C	56.05	11.02	17.00	31.31	8.62	24.94	24.95	35.18	40.61	-1.9		
B	63.34	15.8	20.75	22.12	5.80	8.31	8.66	16.3	14.45	50.58	4.36	1.06	19.30	11.93						C-B		
C	53.30	10.85	24.71	28.63	6.51	9.01	10.43	15.8	42.22	46.58	4.01	1.08	19.00	12.87	13.13	2.74	21.27	31.61	3.13			
4.A	61.93	10.83	16.24		1.49		55.57	B-A		C	54.24	10.14	13.18	15.66	1.80	13.10	14.15	14.1	36.10	36.10		
B	62.72	1.34	19.06	20.64	4.40	8.84	2.08	47.56	51.51	10.A	60.19	10.50	19.98	8.95						C-B		
C	50.92	10.47	21.50	22.35	3.74	10.35	11.74	2.16	43.25	47.85	7.46	B	56.53	11.22	21.68	22.16	1.78	9.57	10.05	11.0	40.10	42.10
5.A	63.45	0.94	19.00		2.00		4.892	B-A		C	54.74	10.89	15.78	23.15	6.39	10.78	10.04	10.99	39.88	39.08		
B	60.23	1.31	19.50	23.30	1.10	10.66	11.09	2.10	46.13	48.02	-1.01	A	60.35	10.89	14.72	1.03	8.93	14.49				
C	56.11	10.86	24.34	27.53	7.83	11.62	13.14	2.05	38.62	43.60	4.34	B	56.34	11.24	22.76	23.80	3.08	10.3	8.48	14.5	39.02	41.11
6.A	59.59	0.85	19.64	"	1.34	13.04	44.71	B-A		C	51.70	10.98	16.64	31.28	1.78	8.99	10.55	10.91	39.62	35.95		
B	56.45	1.50	23.56	24.86	4.42	12.36	13.14	1.70	37.17	41.32	-2.95	C	51.70	10.98	16.64	31.28	1.78	8.99	10.55	10.91	39.62	35.95
C	51.82	10.69	16.75	20.74	5.88	17.73	14.64	1.60	37.90	39.84	-3.97											

上述度の考察及び強制脱酸間もなき爐内に何等出現を見ずして終始取鍋内にその存在が限られている事實よりD, E もその主因とは認め難い。従つて砂斑は、詳細な考察は省略したが熔鋼-取鍋煉瓦間反応生成物であると、一應は推定されるのである。

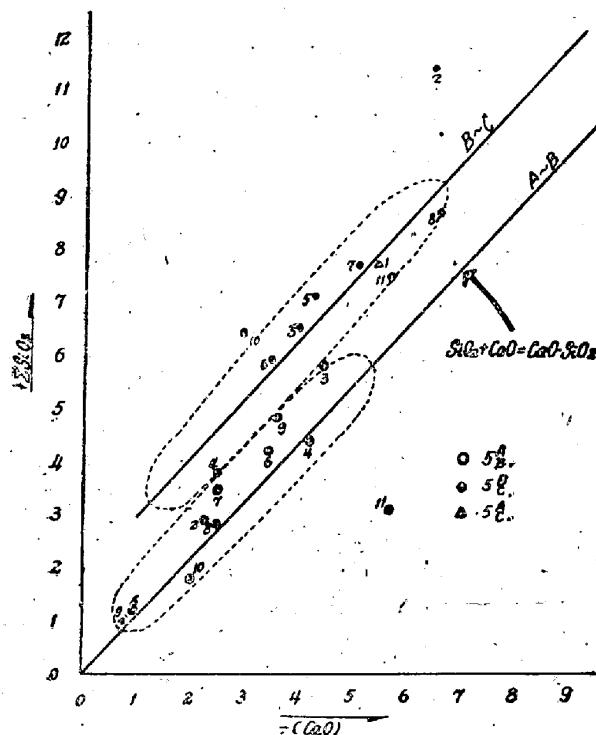
2] 熔解試験： 前節に於て砂斑の成因と考へられるに至つた熔鋼-取鍋煉瓦間反応の存在を量的質的に確むるため次の試験熔解を行つた。

供試鋼種は炭素鋼、低Mn鋼 (Mn 0.8~1.10%), Si-Mn 鋼 (Mn 0.6~0.8 Si 1.5~1.8) を用ひ同一爐で可及的同一條件の下に熔製し、前述 i) ii) iv) の階段より鋼浴鋼滓分析試料酸素試料砂斑及びサンド分析試料を採取した。第1表はその結果を示す。

いま爐内より取鍋終期へかけての鋼滓の量的質的變化を考へるに當つて、鋼滓重量の實測の不可能なこの場合絶対量的考察は勿論出来ないので、取扱ひは對量的に進めるを得ない。それにはシャモット中の Ca が極めて少くこれに反して鋼滓は多量の Ca を含むことからして鋼滓の Ca は終始不變と看され、その%の見掛けの減少は鋼滓重量による稀釋と考へて、第1表の各成分%をすべて爐内鋼滓重量に対する%に換算した、第2表はこれを示す。

表中 n<sub>B</sub> は爐内(A)より取鍋初期(B)へかけての見掛け  $\Sigma C / O \%$  の增加率、他も同様の増加率、又(1')

から、これ等もこれに準ずるであらう。従つて今 D) 項が極めて微量として省略するとすれば、取鍋内鋼滓増量が A) B) C) 項のみによるものならば當然  $\Sigma SiO_2$  の增量は  $(CaO)$  の減量に對して上式線上に配置さるべきである。これを見るために  $-(CaO)' + \Sigma SiO_2'$  をプロットしたのが第1圖である。



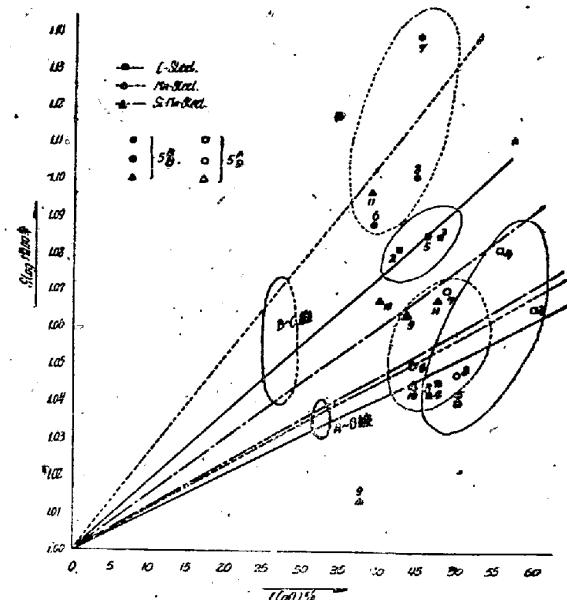
第1圖

圖より明らかなことは爐内より取鍋初期への變化を示す A～B 線は正確に  $SiO_2 + CaO \rightarrow CaO \cdot SiO_2$  の反線と一致することで、これは取鍋初期の煉瓦浸蝕の全ては鋼滓によるものなることを示すものである。

然るに取鍋初期より終期へかけての變化を示す B～C 線は A～B 線と合致せずその上部に位置している。これは取鍋初期より終期へかけては鋼滓が取鍋煉瓦を食ふ以外に尙  $\Sigma SiO_2$  の增加を來す別の道があること、然もそれは  $(CaO)$  の作用に對して安定な形で補給されていることを意味するものである。この取鍋内鋼滓増量の原因は、上述鋼滓増量の原因よりも明らかなる如く熔鋼一煉瓦間反応の存在以外には無いのであつて、こゝに熔鋼一取鍋煉瓦間反応の存在を實驗し得るのである。

次にこの熔鋼一取鍋煉瓦間反応の鋼種による差異について調べてみよう。第1圖は  $(CaO)$  の変化を軸にとつた時間の運動等の factor が入りこの關係は不明瞭なので、直接鋼滓の同一煉瓦浸蝕作用に對する鋼滓増量を圖示してみた。第2圖はこれを示す。

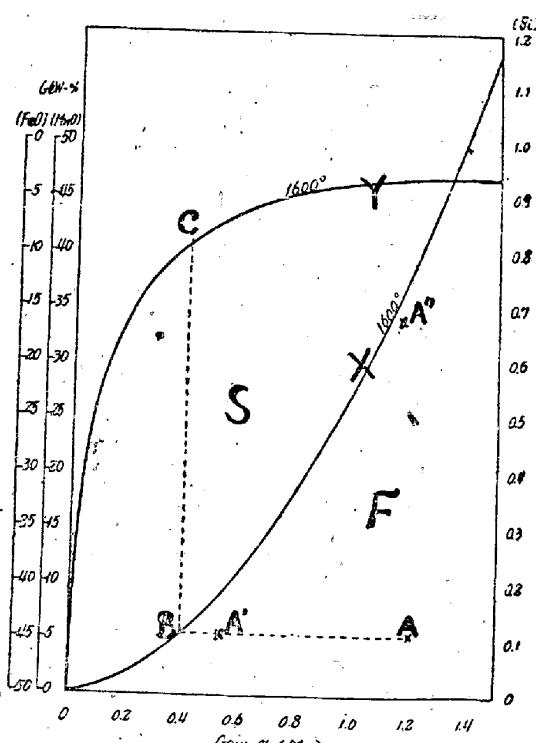
可成りの分散もみられるが大體 A～B 線は各鋼種共



第2圖

同一の位置に位することは前圖で得られた如く、この階段間では鋼滓増量は鋼種に無関係に鋼滓のみに起因することを意味するものある。これに反して B～C 線が甚だしく鋼種差を示していることはこの階段間での鋼滓増量は鋼滓によるものに非ずして熔鋼そのものによる作用によるからである。即ち Mn 鋼は熔鋼一取鍋煉瓦間反応最も激しく、炭素鋼これに次ぎ、Si-Mn 鋼は極めて不活潑である。

以上により熔鋼一取鍋煉瓦間反応の實在とその鋼種特性を知ることが出來た。



第3圖

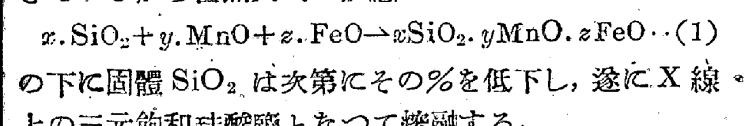
3] 生因： 上に述べ來つたことより砂疵は Mn に富んだ Fe-Mn silicate の基底組成を持つこと、しかもそれは取鍋内に於て熔銅と煉瓦間の反応によつて生成されることを知つたが續いてこれの理論的考察を進めてみよう。

F. Körber - W. Oelsen<sup>(2)</sup> は熔鐵が [Si], [Mn] で脱酸された際の脱酸生成物に就き第3圖の關係を明らかにした。

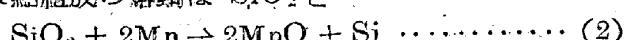
即ち圖の S 界域に位する [Si], [Mn] では脱酸生成物は固體  $\text{SiO}_2$  のみを、F 界域では  $\text{SiO}_2$  に未飽和の熔融状 Fe-Mn silicate を生ずる。

又兩界域の境界線上の [Si], [Mn] では脱酸生成物は  $\text{SiO}_2$  に飽和した Fe-Mn silicate で K-H によれば  $\text{SiO}_2$  は常に 50% で残餘の  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  は Y 曲線により決定されるとしている。

今こゝに F 界域の熔銅に固體  $\text{SiO}_2$  が接觸したとすれば、この熔銅は元來未飽和の珪酸鹽溶液と平衡すべきであるから當然次式の反應



一方これに對應して熔銅に於ては P. Bardenhener-G. Thanheiser<sup>(3)</sup> が酸性平爐の熔解過程の實驗より得たと同様の経過が起ると考へられる。即ち第4圖の如く A 點組成の熔銅は  $\text{SiO}_2$  と

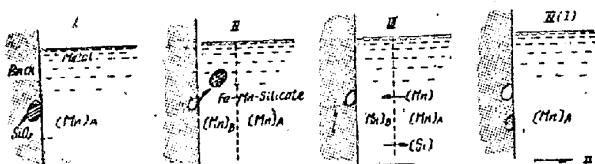


の如く反應し只矢印の方向に [Mn] 消費を續けつゝ遂に飽和曲線上に至るまで成分移動を行ふのである。

さて取鍋煉瓦に近接せる熔銅の薄層を考へれば上述のことは全く同様に行なはれて、シャモツト煉瓦中の固體  $\text{SiO}_2$  は主として (2) 式の反應の下に生じた  $\text{MnO}$  及び既存の  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$  と (1) 式の反應を行ひつつ飽和曲線上の組成に至るまで % 低下を續け遂に熔融、熔銅中に離脱浮上する。

この離脱し熔銅中に入つた Fe-Mn silicate は後述する如く更に熔銅と平衡すべき安定な成分の三元熔融珪酸鹽へと移動するのであるが、この珪酸鹽の銅中に殘

留したもののが砂疵そのものであると考へられるのである。然りとすれば砂疵の生成機構は第5圖の如く圖示することが出来る。



第 5 圖

#### IV 二三の考察

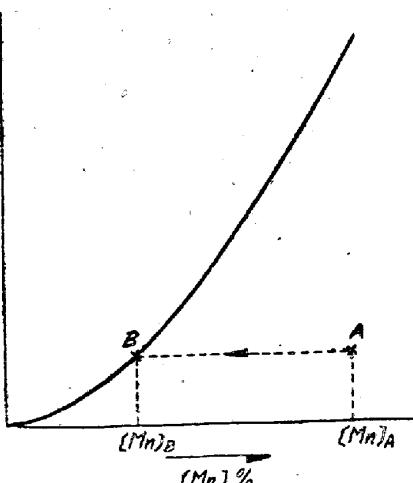
次に上述の生成機構より砂疵の性質舉動の二三に就て考察してみよう。

1] 組成に就て： 砂疵の組成に就て II で述べた所を要約すれば

- i] 一般基底組成………Mn に富んだ Fe-Mn silicate である，
- ii] 砂疵内介在物………一般には  $\text{Al}_2\text{O}_3$  系サンドが介在す，
- iii] 基底組成の銅種特性……同一 [Si] ならば [Mn] の高い銅種ほど silicate の Mn も高い，
- iv] 基底組成の塊塊位置特性……外周部のものより中心部に近いものは Mn に富んでゐるが、この傾向は銅種により顯著なものと然らざるものとがある。

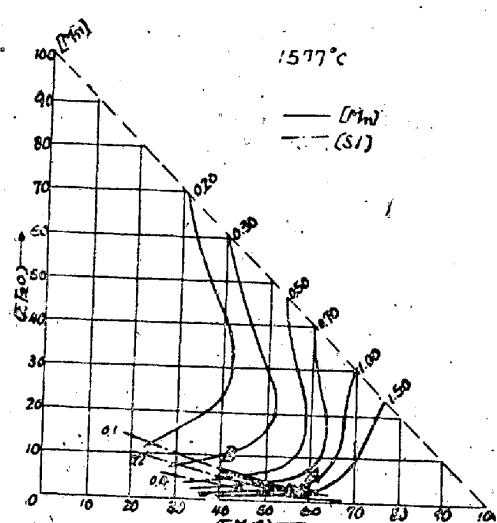
これを説明するに當つて今一度砂疵の生成機構を振り返つてみよう。砂疵は [Mn], [Si] が第3圖の未飽和熔融珪酸鹽區域に在る熔銅 A とシャモツト煉瓦中の  $\text{SiO}_2$  が接觸している時、煉瓦に近接せる熔銅薄層内で A  $\rightarrow$  B 方向に [Mn] 消費が行なはれ主としてその際生成せられる  $\text{MnO}$  と固體  $\text{SiO}_2$  が反應し、その結果生じた三元珪酸鹽は熔銅薄層の組成が B に達した時、これに平衡する C 組成となつて熔融し熔銅中に離脱するのであつた。従つて一般構造用特殊銅では生成當時の砂疵母體は第3圖より明らかな如く  $\text{SiO}_2 = 50\%$ ,  $\text{MnO} = 43 \sim 45$ ,  $\text{FeO} = 7 \sim 5$  で明らかに Mn に富む Fe-Mn silicate である。この砂疵母體は更に熔銅と反應し後述する如く一般には更に Mn 富化の方向を辿るので、砂疵基底組成は Mn に富む Fe-Mn silicate であるといふ實驗的事實は充分理解されるのである。

次にこの砂疵母體の熔融離脱の ジャモツト煉瓦中の他の成分も包まれて浮上することは容易に想像される所である。耐火煉瓦の組成は大體  $\Sigma \text{SiO}_2 = \sim 70 \sim \Sigma \text{Al}_2\text{O}_3 = \sim 30 \sim$  で  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は  $\text{SiO}_2$  に次いで多量に存在するから砂疵内に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  系サンドの多く見られるのもこれ又當然である。



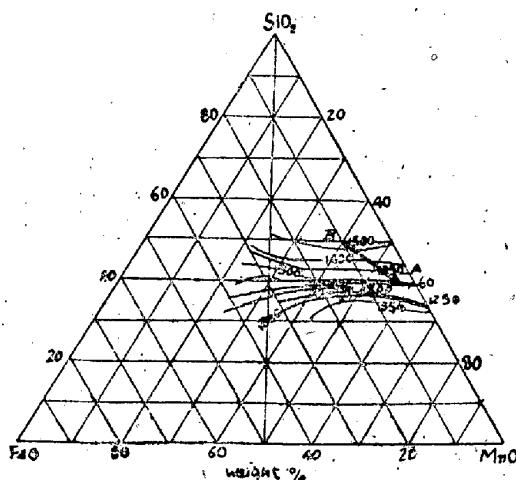
第 4 圖

さてかくの如くして離脱浮上する C 組成の原始砂疵は煉瓦近接薄層の B 組成熔鋼と平衡にあつたのであるが、今や A 組成熔鋼中に浸入したので再びこれと平衡すべく成分移動を行なはねばならぬ。Schenck<sup>(4)</sup> は FeO-MnO-SiO<sub>2</sub> 鋼滓と平衡にある熔鋼の [Mn], [Si] と ( $\Sigma$ MnO), ( $\Sigma$ FeO) の關係を與へている。第 6 圖はこれを示す。



第 6 圖

と接觸するにつれ移行すべき最終組成とを示すものである。この砂疵の成分移行は圖の曲線形より知らるごとく FeO の変化は乏しいが MnO は大きく増大する。従つて第 3 圖に示せる如く同一 [Si] の [Mn] の異なる二鋼種 A, A' を考へるとき、生誕する原始砂疵は共に同一組成であるが(第 3 圖の C 點組成)、熔鋼と接觸するにつれ次第に A' 鋼種即ち [Mn] の低い鋼種よりも [Mn] の高い A 鋼種の砂疵がより Mn に富むことになるのである。



第 7 圖

一方 FeO-MnO-SiO<sub>2</sub> 系の等液相線圖 第 7 圖から見られる如く上述の成分移動は丁度融解點低下の方向を

辿つてゐることからして鍛錬による延伸性も次第に向ふことが理解される。

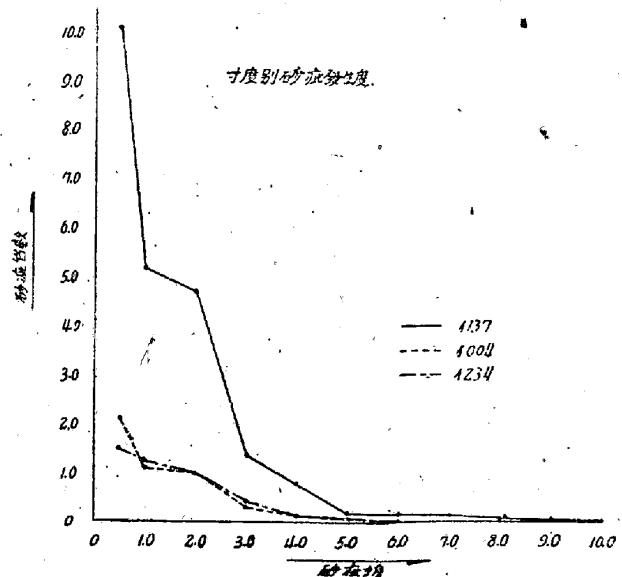
次に砂疵基底組成が鋼塊内位置を異にするとき差異を示すがその差異も鋼種により著しいものと然らざるものとがあることに就て考察しよう。いま第 3 圖の A, A' 二鋼種を例に取つて考へてみると、上述した如く原始砂疵は共に C 組成を持つているが離脱熔鋼中に浸入するにつれ A 熔鋼或は A' 熔鋼と平衡すべき新組成に移行する。この移行は時間経過と共に進捗するのであるから、鋼塊外周部の如く熔融状態の短きものより大型鋼塊の中心部の如き長く熔融状態を保つ所ではよくこの移行は進捗すべきは論を俟たない。

A 鋼種の如く原始砂疵の生誕環境をなした B 熔鋼と甚だしく組成の異なる鋼種に於てはこの鋼塊周邊部と中心部の砂疵の基底組成の差異の顯著に現るべきは當然で、1137 等はこれに屬する。

然るに A' 鋼種に於ては熔鋼それ自身の組成が B 熔鋼と殆んど等しいため、原始砂疵は A' 熔鋼ともほど平衡を保ち成分移行は行なはれないから、熔鋼と砂疵の接觸時間の如何は何等砂疵の組成變化をもたらさない。従つて鋼塊位置を異にした砂疵の成分の差異と言ふものは殆んど無いのである。1234 等はこれに屬するのである。

一般的に言へば、飽和珪酸鹽曲線より未飽和珪酸鹽區域に深く位置する鋼種ほど砂疵基底組成の鋼塊内位置差を生じ、しかもその差異は大型鋼塊ほどより著しいといへる。

2) 砂疵の発生傾向に就て： 砂疵の発生傾向は鋼種により著しい差異を示す。

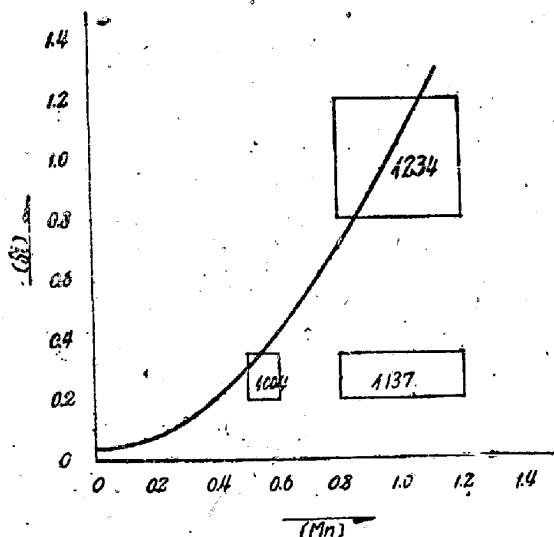


第 8 圖

第 8 圖は當工場操業以來の鍛造棒鋼の全三段削試験

成績を砂疵寸度別平均値を以て示したものである。試片寸法は $(67\phi + 54\phi + 36\phi) \times 100^m/m$ である。

圖はイ137、發生傾向著しく大でイ004、イ234大體同程度なることを示している。この著しい鋼種差は前述砂疵生成機構より容易に理解される。第4圖で説明した如く砂疵の發生量は主として MnO の供給量に左右される。この供給量は  $[Mn]_A - [Mn]_B$  に比例することからして當然未飽和珪酸鹽區域に深く位置する鋼種程砂疵の發生傾向は大でなければならない。第8圖に用ひた三鋼種に就てこれを確めるためその成分規格を脱酸生成物圖に記入した。第9圖はこれを示す。



第9圖

詳細な論究は省略するがこの圖では飽和曲線として Kōvber - Oelsen と Herty の中間線を用ひたが明らかに上述のことが見られるのである。III(4)溶解試験に於て取鍋内鋼滓量の増加率が鋼種により異なる結果が得られたが、このことも同一の事實を物語るものであつて、同様の基盤より説明される。

尙本文では省略するが同一鋼番の鋼番別砂疵發生傾向も推計學的な考察の下では全く同様の傾向が見られるのである。

3] 熱間加工による砂疵の伸延度に就て：周知の如く砂疵は熱間加工により伸延される。この砂疵の伸延度は汽鎚とロールの如く加工形式によつても左右されるが時に鋼種により鋼塊内位置により著しい差異が見られる。筆者は多數鋼塊に就て調査を行つたが本文ではイ137、イ234、イ004の三鋼種につき汽鎚加工を施した1ton 鋼塊を用ひて得た結果を報告する。

平均砂疵寸度(S)は各砂疵寸度群の中央値(m)を用ひ次式より算出した。

$$S = \frac{\sum nm}{\sum n} \quad n: \text{各砂疵寸度群の砂疵総数}$$

i) 鋼種別差：いま伸延度( $\delta$ )として、

$$\delta = \frac{(l-l_0)}{l_0} / (f-f_0) \times 100 \quad l_0 \text{ 砂疵寸度} \\ f_0 \text{ 錫鍊係数}$$

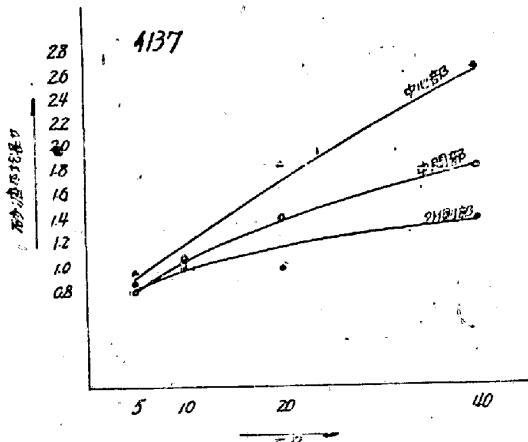
を用ひ比較のため棒鋼中心層を取つて比較すると第3表の如き結果が得られた。

第3表

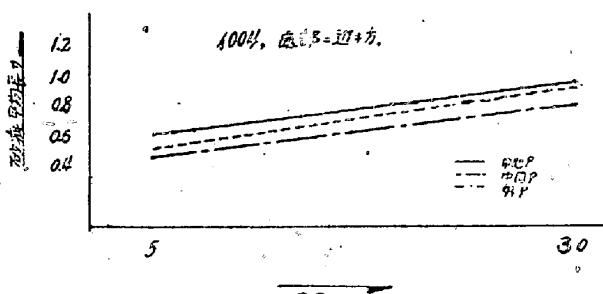
鋼種	鋼塊位置	$\delta$
イ137	頭部	4.95
イ004	中央部	2.03
イ234	頭部	0.93
	底部	~

明らかに伸延度に鋼種差が見られる。即ちイ137の砂疵は最も伸延度大でイ004これに次ぎイ234に至つては極めて少しく頭部側は未だ多少の伸びをみせるが底部に至つては  $\delta = 0$  といふ結果さへ生じている。

ii) 鋼塊内位置差：次に鋼塊内位置別平均砂疵長さと錫鍊係数との関係を示す。

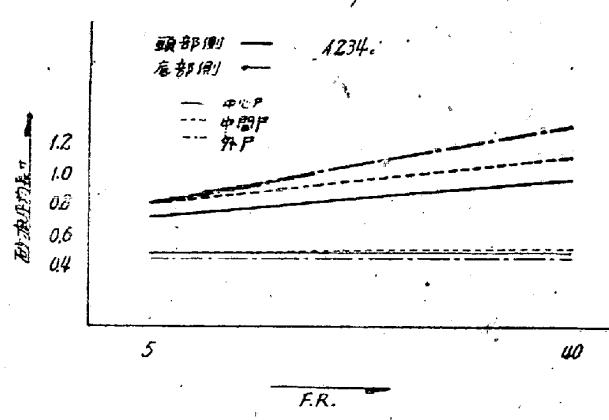


第10圖



第11圖

圖10, 11, 12はこれであるが先づイ137に於ては外層部中間部中心部の各層砂疵は錫鍊係数の増加と共に著しい伸びをみせつゝ然かも各層間に確然たる差異を示して中心部に近づく程よりよく伸びている。これに對してイ004は各層砂疵は錫鍊につれ輕度の伸延が行なはれイ137同様中心部程平均砂疵長さが大きくなつ



第 12 圖

て居るがその差は極めて少さい。然るに 1234 に至つては底部側は勿論頭部側といへども各層の序列は全く亂れ變動そのものの觀を呈している。

以上のよつて生ずる所以は砂疵生成機構よりすれば當然のこと、基本事項については既に IV(1)で述べた所である。さて 1137, 1004, 1234 の三鋼種に於ては最初熔銅の煉瓦接觸層に誕生する原始砂疵は共に殆んど同じ組成で  $\text{SiO}_2$  約 50% の伸延性の乏しいものである。然るに第 9 圖に見られる如く 1137 ではこの原始砂疵は熔銅と甚だしく不平衡にあるため煉瓦壁より離脱し熔銅と接觸するにつれ次第に成分移動を行ひ(第 6 圖)、その結果  $\text{MnO}$  に富んだ熔融點の低い伸延性の大なるものになる(第 7 圖)。

この成分移動は時間経過と共に進展するから凝固組

成の生成順序がそのまま成分移動の程度を示して、鋼塊外層部より中間部、更に中心部と明確な伸延度の増加を來すのである。これに對して 1004 は原始砂疵が 1137 より遙かに熔銅と平衡に近づいているため、成分移動が輕微で  $\text{MnO}$  の富化が少ないので伸延度も小さく、又鋼塊内位置別差異も小さいのである。1234 では 1004 より更に原始砂疵は平衡にあるため成分移動は僅少で殊に底部側の如く急冷部分ではこれが全く行なはれず從つて砂疵平均長さは鍛錬係數に無關係で伸延度 0 を示し各層の砂疵平均長さの序列も變動の蔭にくされてしまうのである。

終りに本研究に終始御指導を賜はつた日本鋼管技  
能部誠博士並びに御鞭撻御助言をいたゞいた日本鋼  
富山電氣製鐵所瀧澤所長に感謝の意を表する次第であ  
る。尙若林正巳、清水武雄、長澤四郎三君の共力によ  
る所多大なるを併せて深謝する。(昭 23.5.12 寄稿)

### 文 獻

- (1) C. R. E. Wohrman: Inclusion in iron (American Society for Steel Treating, Cleveland).
- (2) F. Körber-W. Oelsen: Stahl und Eisen, 54(1934).
- (3) P. Bardenheuer - G. Thanheiser: Mit. Kais.-Wilh.-Inst. Eisenforschg. Düsseldorf. 16(1934).
- (4) H. Schenck: Einführung in die physikalische Chemie der Eisenhüttenprozesse B. 1.
- (5) W. R. Maddocks: Ceram. Aks. 15 [5] 169(1936).

## 熔銅爐熔解に關する二、三の實驗 (I)

(日本鐵鋼協會第 34 回講演大會講演 昭 22.10)

前川 靜彌\* 山下 健\*

### STUDY ON CUPOLA MELTING (I)

Shizuya Maekawa, Takeshi Yamashita

Synopsis: — The authors have examined burning condition in the small cupola. The results of experiment is as follows:

- (1) It produces  $\text{CO}_2$  and  $\text{CO}$  gases at the same time.
- (2) Melting zone shows concave state.
- (3) The wall is exceedingly fused by materials, slag and gases.

### [I] 緒 言

最近コークスの品質が低下しその形狀も小となつてこれをその儘熔銅爐に使用する場合、通風障礙や飛散によつて良好な熔解作業を行ふ事は仲々困難であり、又コシキ爐に熱風を利用することは實際問題として容

易に實現し難い状態なので、冷風に依つても高温の湯を得る様な操業法を確立するために行つた二、三の實驗經過を取締めて報告する次第である。

### [II] 實驗第 1 爐内の燃燒に關する實驗

#### 1 豫備實驗 (小型爐に依る)

- (1) 實驗準備 第 1 圖に示す小型爐を使用して爐

\* 日本製鋼所室蘭製作所研究部