

## キルド鋼の非金属介在物に関する研究 (III)\*

小池 与作\*\*・犬塚 家親\*\*・堀 籠 健 男\*\*

RESEARCH ON THE NON-METALLIC INCLUSIONS  
OF KILLED STEEL (III)

Yosaku Koike, Iechika Inuzuka and Takeo Horigome

## Synopsis:

(1) The relation between the cooling conditions of ingot bottom and the flow-up speed of macroscopic inclusions were researched. Here the experimentally designed 500kg ingot molds whose bottoms were lined with refractories were compared with the normal molds by investigation of experimental ingots or forged billets. Al additions in the ladle were 200~500 g/t. The results obtained were as follows.

(i) The streak seams were far less found in the bottoms of the ingots which were made with the special molds using refractories at their bottoms than in those with normal molds.

(ii) When Al additions in the ladle were 210 g/t, Fe-Mn-Al silicate-seams with high  $Al_2O_3$ -content were found in the sample-ingots, but the seams of  $Al_2O_3$ -type increased by addition of 500 g/t Al.

These silicate-seams presumably had been molten in the mold because of the appearance of almost perfect sphere, while  $Al_2O_3$ -seams (cubic crystals) had been at solid state in the molten steel.

(iii) The relations between the crystal structure of ingot and the seams-distribution were not clearly recognized.

(iv) A small secondary pipe was found in the ingot bottom which was made by the special mold.

(2) The relations between the crystal structure of ingots and the seams-distribution in 5 ton practical ingot (top-poured) were investigated.

(i) The seams almost never occurred in the columnar crystals.

(ii) The seams were found at random within the end of columnar crystals at the ingot-bottom.

These inclinations of seams-distribution presumably were as much influenced by other causes as by crystal structure.

(iii) The group seams which were very rarely found in the ring ghost were recognized to have been influenced by segregation at the solidification of the ingot.

## I. 緒 言

第2報においては Al 処理を行つた鋼の非金属介在物とくに  $Al_2O_3$  系、および  $Al_2O_3$  の高い Mn-Fe-Silicate 系砂疵の性状ならびに生成過程につきつぎの3項に対して調査した。

(1) 顕微鏡的形態および化学成分に基く考察、(2) 下注法における湯道内の鋼の砂疵に関する実験ならびに考察、(3) 沈澱晶の砂疵生成におよぼす影響の理論的検討。

これらの砂疵は主に熔鋼中にすでに肉眼的大きさのものとして析出していたもので、熔鋼凝固の際に大型のものを析出したり、または顕微鏡的大きさの  $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  が鑄型内で凝集して砂疵となる機会は少ないこと

をのべた。一般に上注鋼塊においては砂疵は鋼塊底部に発生する機会が多いのであるが、これは鋼塊の凝固条件注入中の熔鋼流による巻込み、その他の条件により、肉眼的介在物が完全に浮上除去されなかつたことが大きな原因と推定される。

ここでは鋼塊の凝固条件を対象とし、鑄型底部の冷却速度が酸化物系砂疵の浮上の難易におよぼす影響、これら酸化物系砂疵の熔鋼中における状態および砂疵分布と鋼塊の結晶構造との関係等を明らかにしようとしたものである。試験用 500 kg 鑄型を使用し、鋼塊底部の冷却条件を種々変えて注入した鋼塊につき各種の調査をなし

\* 昭和 31 年 4 月 本会講演大会にて講演

\*\* 富士製鉄株式会社、釜石製鉄所

検討を加えた。またこの実験に関連して 5 t 実用鋼塊における結晶構造と砂疵分布、注入条件と砂疵発生率との関係等を調査しその概要をまとめた。

## II. 実験方法

### (1) 造塊

Fig. 1 に示すような 3 種類の 500 kg 鑄型につき実験した。(I) は普通のもの、(II) は鑄型の底部および下部約 60 mm をシャモット煉瓦にて内張りとしたものであり、(III) は鑄型底部および下部 90 mm を煉瓦にて内張り、鋼塊の冷却速度をおそくしたものである。

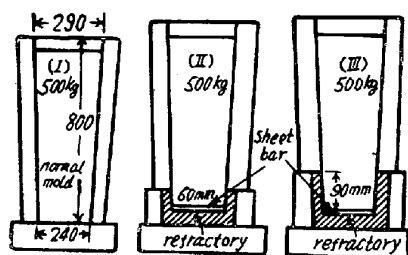


Fig. 1

鑄型の寸法は図に示すとおりであり、底部には耐火物が溶鋼の衝撃により機械的におかされないように厚さ 10 mm のシートバーを敷いた。鑄型内溶鋼中を浮上した介在物ある程度鋼塊上表面近くに残留させるため押湯はつけなかつた。また取鋼の最後に近い溶鋼を利用して実験したので、一般に注入条件は良好でなく砂疵が発生しやすい状態を選んだ。

注入方法は全部上注法によるものであり、つぎの 2 回の試験を行つた。

#### (a) 第 1 回

C 0.45%, Si 0.25% キルド鋼, Al 添加量 210g/t

(I), (III) の鑄型につき比較実験, 小鋼塊に対し, 注入温度は低めとし (1525°C) 介在物が浮上しにくい条件を与えた。これは鋼塊のまま調査した。

#### (b) 第 2 回

C 0.6%, Si 0.25% キルド鋼, Al 添加量 500g/t

(I), (II) の鑄型につき実験, 各 1 本の鋼塊は注入温度 1550°C とし, これはピレットに鍛造したものにつき調査した。別に注入温度をさらに下げ, 注入速度をとくに小さくして, 鋼塊を鑄込み, これは鋼塊のまま調査した。

### (2) 鋼塊試験

試験鋼塊は鋼塊のまま切断, または 150 mm 角ピレットに鍛造した後, 砂疵検査および砂疵の顕微鏡試験, また学振法による清浄度の比較を行つた。また sulphur

print による偏析状況および macro etch による鋼塊の結晶構造を調査し, 結晶構造と鋼塊内における砂疵分布との関係等につき検討した。

## III. 実験結果

### (1) 砂疵試験

(i) 第 1 回試験の鋼塊については中心部より縦断し鋼塊頭部より 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 の部分に等分し, 各部分について中心部よりシェパーにより約 0.8 mm ずつ切削し, その都度肉眼的の介在物発生位置, 形状, 大きさの概要を記録した。Table 1 はその成績を示したものである。

普通鑄型 (I) による鋼塊を A, 鑄型底部に煉瓦を内張りしたもの (II) による鋼塊を B とした。またこれら砂疵は  $Al_2O_3$  の高い Mn-Fe-Silicate と  $Al_2O_3$  系のものに区分することができる。High- $Al_2O_3$  系のは Table 1 より明らかなごとく鋼塊の底部 4/4 と 3/4 の部分では A 鋼塊は B 鋼塊よりもはるかに多い。0.3 mmφ 以上の High  $Al_2O_3$  系介在物も B 鋼塊にのみ認められた。

鋼塊の上半部 3/4, 4/4 の部分では鋼塊頭部の上表面に近い部分を除いては A, B 鋼塊ともに介在物は少なく A, B 両者の間に差異を認めない。

また A, B 鋼塊ともに鋼塊頭部上表面直下の部分には溶鋼中より浮上した砂疵が多数存在していた。その大きさも 1 mmφ 以上のものがあつた。また  $Al_2O_3$  系砂疵については, Table 1 より A 鋼塊には底部 4/4 の所に最大 1 mm 程度のも 3 個, B 鋼塊には 4/4 の所に 0.7 mm 程度のも 1 個が認められた。砂疵の鋼塊内における分布の状態を Fig. 2 に示した。

Fig. 2 に示すように A, B 両鋼塊とも砂疵は鋼塊の側表面より 45~50 mm 以内の所に発生していた。また両鋼塊ともに頭部表面直下の砂疵の密集しているものは鑄型内溶鋼中を浮上したもので, その大きさは 1 mmφ 程度の大形のものもあるが, 0.3 mm 以下の小形のものもある。しかもこれらは鋼塊底部に発見されたものと肉眼的にも, また顕微鏡的にも全く同様のものであり, High  $Al_2O_3$  系の Mn-Fe-Silicate が大部分である。

したがつて実験鋼塊底部に発見された前述の砂疵は沈澱晶の影響等により介在物が下方に移動したものでなく浮上できる条件にあつたものは完全に浮上し, 最後に浮上したものは押湯がなかつたため鋼塊頭部湯面の粘性が大となり, 表面直下にとどまつたであろう。

(ii) 第 2 回試験の鍛造品について砂疵検査を行つた

Table 1. The distribution of streak seams in sample ingots.

Inspected position in ingot	Ingot A					Ingot B				
	High Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> type			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> type		High Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> type			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> type	
	Rate of occurrence of S.S.	Mean value of S.S. number	Number of S.S. whose dia. is 0.3 mm up	Rate of occurrence of S.S.	Number of S.S.	Rate of occurrence of S.S.	Mean value of S.S. number	Number of S.S. whose dia. is 0.3 mm up	Rate of occurrence of S.S.	Number of S.S.
From top surface to 15mm depth	10/10	4.0	4			10/10	3.5	6		
" " to 1/4 of ingot	5/15	0.3	1	0/15		4/15	0.4	1	0/15	
" " to 2/4 of ingot	9/15	0.8	0	0/15		10/15	0.9	1	1/15	1
" " to 3/4 of ingot	15/15	4.2	2	0/15		15/15	2.4	3	0/15	
" " to 4/4 of ingot	15/15	2.7	6	3/15	3	12/15	1.2	0	0/15	

Notes: (1) rate of occurrence of S.S.  
 = (number of occurrence of S.S.) / (number of inspection)  
 (2) S. S. = streak seams

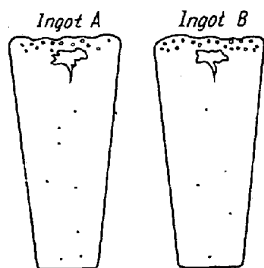


Fig. 2

結果は、Table 2のごとく普通鑄型 (I) による鋼塊Aには底部に2個の砂疵が認められたが、(II)による鋼塊Cには全然認められなかつた。第1回試験の場合に比して砂疵が少ないのは注入温度が高かつたことによるものと思われる。

砂疵の数が少ないため顕微鏡的に調査することができなかつたことおよび鍛造材であるから砂疵はいずれも長く伸びることになるのでその形態を確めることができなかった。

Table 2. The step-down test for forged samples. (S.S.: streak seams)

Position	Ingot A		Ingot C	
	Rate of occurrence of S.S.	Max. length of S.S. (mm)	Rate of occurrence of S.S.	Max. length of S.S. (mm)
Ingot-top	0/15	0	0/15	0
Ingot-middle	0/15	0	0/15	0
Ingot-bottom	0/15	0	2/15	15

またこの鋼種において注入温度を 1520°C に低下し、また注入速度をおそくした鋼塊Cについて鋼塊底部の段削を行つた結果は、第1回試験と同様な形態の砂疵がほとんど同程度に発生していた。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系砂疵の発生割合は第1回試験の場合よりもやや大であつた。これは第1回に比して第2回試験の Al 添加量が大いことに基因するものと思われる。

## (2) 砂疵の顕微鏡的形態

(i) 第1回試験鋼塊 (C 0.45%, Si 0.25%, Al 210 g/t) の段削にて発見されたほぼ球状の砂疵を顕微鏡で調べたものを Fig. 3 の (1), (2) に示した。Fig. 3 の (1), (2) よりこの介在物がほとんど真の球形に近いこと、および 500 倍の写真より High-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の Mn-Fe-Silicate であることがわかる。

この写真に示したようなものは熔鋼中で完全に熔融していたものと考えられる。これと同類の他の二、三の介在物を顕微鏡でしらべた結果は中には球形が幾分くずれて粒状のものであつた。また不規則な片状の砂疵を顕微鏡でしらべたものを Fig. 3 の (3) に示した。これは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系のもので明らかに熔鋼中で熔融状態になつたものである。

(ii) 第2回試験鋼塊 (C 0.6%, Si 0.25%, Al 500 g/t) においては鍛造したものは前述のごとく、砂疵はきわめて少なく、その形態は明らかでない。しかし注入

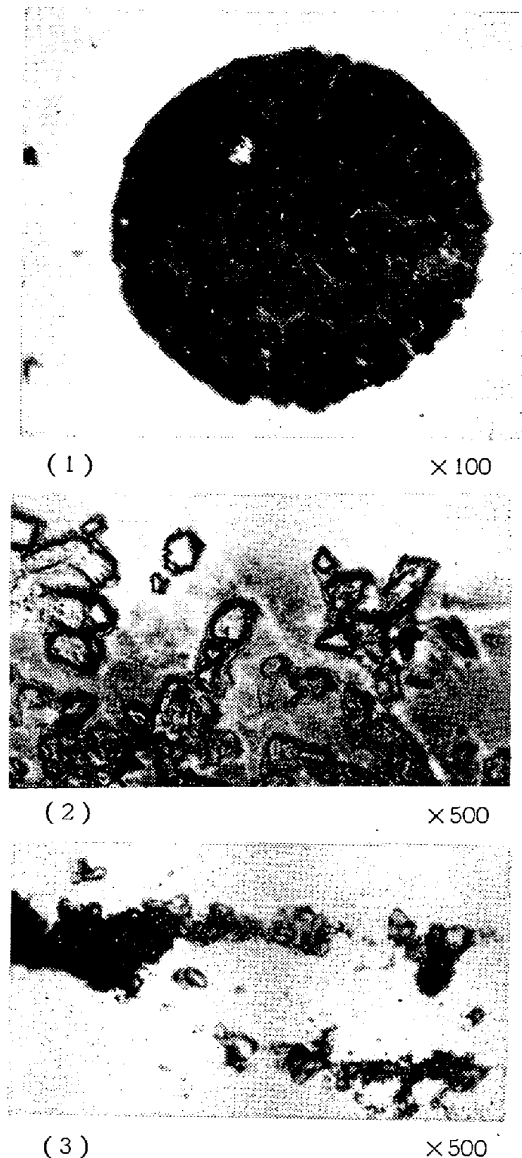


Fig. 3

速度を極力おそくした鋼塊については縦断顕微鏡試験の結果は第1回試験と同様 Fig. 3 の (1), (2), (3) に示すような砂疵が発見された。

以上のごとき  $Al_2O_3$  の高い Mn-Fe-Silicate 系の砂疵は前報において耐火物の溶損粒と [Al] との反応により生成したものが主なもので、このほか注入中に生じた酸化物等を含むものであろうと報告した。

第1回および第2回試験のキルド鋼はそれぞれ 210g/t および 500g/t の Al を取鍋に添加したものでありしたがつて凝固に伴う Silicate の析出はきわめて微量であり、この実験鋼塊の砂疵原因の主なものとはノズル、ストッパー等の耐火物の溶損粒と [Al] との反応生成物が浮上しえなかつたことによるものと考えられる。

いうまでもなくこの調査で発見された  $0.1\text{mm} \sim 0.3\text{mm}\phi$  の球形非金属介在物はノズルより注入されるまで

取鍋内溶鋼中に懸吊することができないものであり、また鑄型内においても溶鋼の粘性が低い場合は容易に浮上するものであることは Stokes の法則より明らかなことである。

### (3) 鋼塊の結晶構造と砂疵分布との関係

#### (i) 実験鋼塊

第1回試験の鋼塊 A, B についてマクロ腐蝕により結晶構造を調査した。

B 鋼塊底部は A 鋼塊底部よりはるかに徐冷されていることがわかつた。

(I) による普通鋼塊 A の底部 4/4 の所では chill 層 5~7mm, 柱状晶 18~20mm, 粗大樹枝状晶 20~30mm 程度であつた。また (II) による鋼塊 B の底部 4/4 の所では煉瓦を内張とした部分では chill 層 2~4mm, 柱状晶 7~8mm, 粗大樹枝状晶部がきわめてわずかであつた。

A, B 両鋼塊とも砂疵の分布は前述のごとく、表面より 45~50mm 以内に偶発的に発生していた。柱状晶の先端、またはリングゴースト部と砂疵分布との間には明らかな関係は認められなかつた。

#### (ii) 5 t 実用鋼塊

この実験に関連して 5 t 実用鋼塊の結晶構造と砂疵分布の関係について調査した結果の概要をのべるとつぎのとおりである。

(a) 柱状晶部には砂疵はほとんど認められない。柱状晶部は溶鋼温度がなお高いうちに柱状晶が中心に向つて伸びるため介在物は中心部に押し込まれる傾向はあるが、それだけが原因ではなく、注入溶鋼流の影響等がある。前項 500 kg 鋼塊の場合も柱状晶部には砂疵は認められなかつたが、発生位置はさらに内部であつた。

(b) 鋼塊底部約 1/4 以下の柱状晶の先端より、内部すなわち沈澱晶部は一般にその他の部に比して砂疵の発生率が高い。発生状況は不規則にして偶発的である。沈澱晶は前回報告のごとく顕微鏡的なものを肉眼的な砂疵に凝集させる作用はあまり大きくない。むしろ鋼塊底部の砂疵の浮上を妨げる作用があるものと思われる。この点についても注入溶鋼流による介在物の巻き込み等が併せ考えられなければならない。

(c) リングゴースト部分にきわめてまれに発生することのある帯状のグループ型砂疵は鋼塊凝固機構にもとづく偏析と関係がある。この場合も顕微鏡的のものが凝集して大きなものとなることにはあまり効果がなく、肉眼的なものを帯状に集合させるにすぎないであろう。

#### (4) 試験鋼塊のサルファープリントおよび清浄度

第1回試験における(Ⅱ)によるB鋼塊には底部に小さい二次パイプが発生していたが、第2回試験の(Ⅰ)による鋼塊Cにはほとんど認められなかった。

第1回試験のA, B両鋼塊のサルファープリントにおいてはリングゴースト附近のS偏析はほとんど差異を認めなかったが、(Ⅱ)鋼塊の二次パイプの附近にはSの偏析が大であった。

また第1回試験のA, B両鋼塊の沈澱晶部より若干の試料を採取し、学振法による清浄度を調査し、Table 3のごとく比較した。両者の間にはほとんど差異が認められない。

Table 3. The cleanness of sample ingots.

Ingot	Cleanness	Mean value of thickness ( $\mu$ )	Rem.
B <sub>1</sub>	2.5	3.1	B type
B <sub>2</sub>	5.1	3.0	
A <sub>1</sub>	2.5	3.6	
A <sub>2</sub>	4.0	4.3	

#### (5) 実用鋼塊底部の砂疵と注入条件との関係

前項において鋼塊底部の溶鋼の粘性増加速度が一つの重要な因子であることをのべたが、実際作業の上では注入温度、注入速度、注入状況および定盤鑄型の温度等が問題となる。

いまC0.45%の上注キルド鋼につき鋼塊底部の砂疵発生状況と注入温度の関係を調査した結果注入温度の低いものが一般に砂疵発生率の大きい傾向があつた。注入速度についてもしらべてみたが第1報に報告したような実験の場合と異なり一定の傾向は認められなかった。これは平均注入速度であつたため鋼塊底部の砂疵との間に

明らかな関係がなかつたものと考えられる。

## IV. 総 括

上注法によるキルド鋼の砂疵には鋼塊底部内質部に発生するもの、きわめてまれに ring ghost 部に帯状に発生するもの、または鋼塊表面近くに発生するもの等があるが、鋼塊底部内質部に発生する砂疵は鋼塊底部の冷却速度を小さくすることにより減少した。これは注入後、初晶の析出等により溶鋼の粘性が大となるまでの間に溶鋼とともに鑄型内に注入された砂疵に浮上の機会が与えられることが一つの原因である。

しかし鋼塊底部をいちじるしく徐冷することは二次パイプ等の悪影響があるので、実際問題としては鋼塊底部の溶鋼がいちじるしく急冷されない程度の溶鋼温度、または注入速度がのぞまれることとなる。

しかし一方溶鋼温度の高いことは耐火物等に対して悪影響があるのでノズル径の増大による高速注入が考えられる。また柱状晶に砂疵の少ないことや沈澱晶に砂疵が全く偶発的に発生すること等より鋼塊の結晶構造やこの実験でとりあげた鋼塊底部の冷却速度の影響等のほかにノズルより流出する溶鋼流の状況による酸化物系介在物の発生、または鑄型内溶鋼面の浮滓の内部への巻き込み等が鋼塊底部砂疵と密接な関係があると思われる。これら溶鋼の流体力学的関係については実験中である。

本研究は釜石製鉄所幹部の方々の御懇切なる御指導と関係各位の御尽力とにより実施せられたものであり、ここに厚く感謝の意を表する次第である。

(昭. 31~7 月寄稿)