

## 鋼塊の凝固過程に関する研究 (I)\*

(大型鋼塊の凝固過程中における固相附近の熔鋼試料採取法)

前川 静 弥\*\*・中川 義 隆\*\*\*

## STUDY ON SOLIDIFICATION PROCESS OF INGOTS (I)

(Sampling method of molten steel near the solidus in the large ingot during solidification process)

Shizuya Maekawa and Yoshitaka Nakagawa

## Synopsis:

The defects that appear in an ingot such as flakes, ghost streaks and sand marks are produced the moment the steel solidifies from liquid into solid by the difference of physical and chemical properties between molten and solid steel. But even if physical and chemical properties both in liquid and solid steel were known completely, yet it would be very difficult to grasp the actual situations of what were going on during each of the various processes which manifold kinds of molten steel must go through in actual casting operation until they became solidified.

Then the author wished to investigate the variation of chemical element and gases content of molten steel near the solidus in the large ingot during solidification process. For the purpose of this investigation the author established a method of sampling of molten steel near the solidus.

A sampler as shown in Fig. 2 and Photo. 4 was immersed into molten steel in a mold and let it approach nearly to solidus, then was kept for a certain period of time in that position.

The copper plate would soon melt away to fill the molten steel into the quartz tube which was then withdrawn.

The author collected the molten steel from the position without failure by dipping the sampler in the molten steel for between 35 and 75 seconds under the conditions of the temperature at 1480~1510°C at the sinkhead part of an ingot of 9~20 tons below surface of the molten steel 1~2.5m.

The molten steel in the tube was water-cooled and used for analytical samples of chemical components including hydrogen, oxygen, nitrogen and various oxides.

## I. 緒 言

従来鋼塊に現出する「ゴースト」「ザグ疵」「砂疵」あるいは「非金属介在物」等各種の欠陥に関する生成原因や軽減方法の調査あるいは研究が多数発表せられているがその内容の大分は鑄込前の熔鋼とすでに凝固完了せる鋼塊に関するものである。

最近熔鋼の各種成分および不純物の分析法、温度測定方法ならびに鋼塊の諸欠陥に対する観察および調査方法等が相当発達して鑄込直前における熔鋼の諸性質や状態ならびに鋼塊に現出した欠陥に対する実態をかなり明確に把握し得るようになったにもかかわらず実際作業においてはこれらの諸欠陥に対して必ずしも適切合理的な対策を確立しえない現状である。

その主要原因の一つとして液態の熔鋼が凝固を開始し

て完全に固態に達するまでの過程についての調査研究が不十分なことがあげられる。特に上述の諸欠陥の最も基本的な原因は熔鋼が液態より將に凝固せんとする過程における熔鋼と固鋼との物理的あるいは化学的性質の相異によつて発生するものであるが凝固温度附近のこれら諸性質についてはまだ確実に知られていない。またたとえ固液両態の物理的あるいは化学的性質が完全に解明せられたとしても多種類の熔鋼が鑄込まれる実際作業においてはそれぞれに多種多様の過程を経て凝固が進行し、その個々の実態を明確にすることはきわめて困難である。

筆者等は大型鋼塊の凝固過程における諸現象について

\* 昭和 31 年本会秋季講演大会にて発表

\*\* K. K. 日本製鋼所, 室蘭製作所, 研究部理博

\*\*\* " " 研究部

調査研究を行つているがこゝでは凝固にともなつて生ずる鑄型内熔鋼中の各種ガス、酸化物および一般化学成分の変化、特に固液境界附近の現象を明らかにするため、まずこの附近における熔鋼試料の採取方法を確立しこれによつて大型鋼塊の凝固過程における固液境界附近より試料を採取して諸元素の変化と各種欠陥との関連性について実験研究を行つた。

本報においてはこの内凝固過程中の大型鋼塊内の固液両相境界附近の將に凝固せんとする熔鋼を的確に採取する方法確立の経過について報告する。

## II. 熔鋼試料採取方法の検討

凝固過程中的鋼塊内固液両相境界では各種成分、各種ガス類の液相への濃縮作用その他酸化物や硫化物等の析出によつてこの附近における熔鋼は凝固の進行にともない、その性状は鑄込直前とはかなり異り不純物に富んだものとなつてゐることが予想される。この現象が「ザク」「ゴースト疵」あるいは「砂疵」等の欠陥と密接な関連性を有しているわけであるがその実態を明らかにするためには凝固過程における鑄型内熔鋼特に固液境界線附近の熔鋼の状態を調査する必要がある。しかし実際の場合固液境界附近における熔鋼を採取することは至難であるが筆者等はまずその方法を確立するため試料採取器の考案とこれが使用方法について検討を行つた。

### (1) 試料採取器の試作

Fig. 1 および Photo. 1 A, B, C に試作せる試料採取器をそれぞれ示した。

試作Aは図に示すごとく鋼管を2重とし外管および内管にそれぞれ10mmの小孔を底部より約70mmの位置に明け両者の小孔が重ならぬような状態で鑄型内熔鋼中に浸漬する。ただしこの際その内面は充分酸化鉄を除去

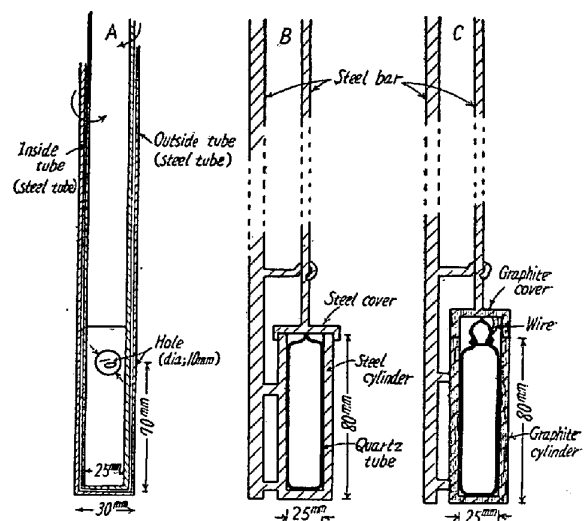


Fig. 1. Diagram of various experimental samplers.

し研磨して置く、また浸漬時その尖端附近に重油を少量塗布して浮滓の附着を防止した。採取器の尖端が所望位置に達すれば図中の矢印のごとく外管および内管を回転して両者の小孔を一致せしめて熔鋼を管内に採取するとき構造とした。この採取器の試験を75 t以上の大型鋼塊の押湯部分の熔鋼深さ1m~1.8mの位置において行つた。その結果比較的高温度の位置における採取は可能な場合もあつたが固相附近の低温度の位置では熔鋼が採取器に凝着して外管、内管の回転操作が不可能であつた。また高温度の位置の場合でも好条件の時以外は外管および内管の間隙に熔鋼が侵入凝固し所定位置における両者の回転が困難である。さらに採取器製作上の困難すなわち費用の高価、内管内面の仕上困難、外内管の間隙の除去等の問題により実用的には多くの欠陥を有しているので的確簡易な採取法としては不適當であつた。

試作BおよびCは真空にした内径25mmの不透明石英管を鉄製または黒鉛製の保護用円筒に納め同質の蓋を

附したものでB型は石英管の上部を肉薄として蓋を上げるとともに液圧によつて破断し内部に熔鋼が侵入するごとくしたものでありC型は図のごとく石英管上部に細管部を作りこれを蓋に結着せる鉄線によつて結び蓋を引き上げると同時に細管部より折損するごとくした。この2種の採取器を試作しAの場合と同様に大型鋼塊の押湯部にて試験したが採取器を浸漬すべき所望位置に達する以前に熔鋼が凝着し蓋を引き上げる操

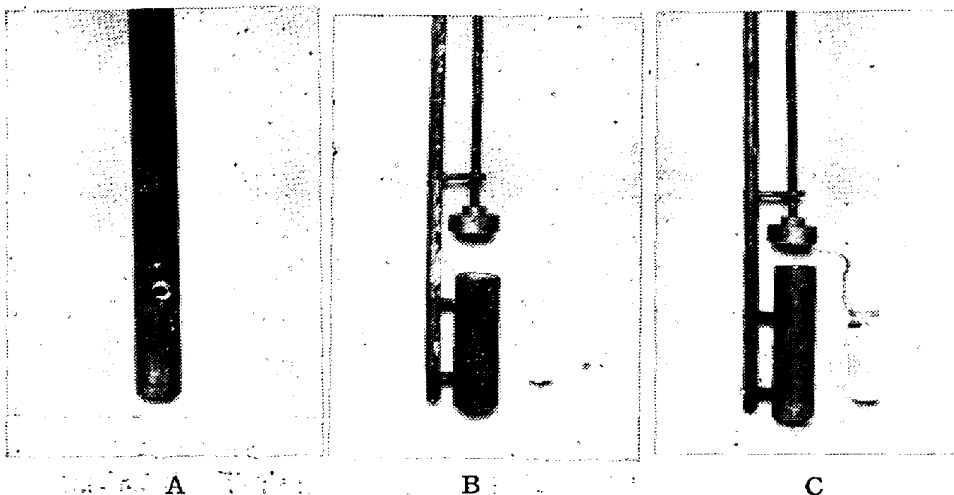


Photo. 1. Photograph of various experimental samplers.

作が不能となり採取操作は不可能であった

## (2) 試料採取時の諸条件

以上の結果より実際の試料採取に際してつぎのごとき諸条件とそれにとりあう種々の困難があることが判つた。

a) 鑄型内熔鋼の温度は一般に低く特に固液両相の境界付近はわずかな条件の変化によつて急激に凝固が進行する。このため試料採取器の構造によつては所望位置に採取器が達しない前に採取器に熔鋼の凝固せるものが附着しいわゆる錆ぐるみの状態となりその後の操作が困難になる。

b) 一般に大型鋼塊を対象としたため熔鋼試料採取の所望位置が熔鋼液面下 80cm~250cm の範囲でありかなりの湯圧の下で操作するため採取器の微細なる操作が困難である。

c) 採取器を挿入することにより所望位置附近の熔鋼が、たとえば温度降下により平衡が変化したり、機械的に大きく移動するなどの現象が生ずるおそれがある。

これらの点を考慮すると試料採取に際しては試料採取器を所望の固液境界附近に達せしめる場合そのときの採取器の温度は充分高かつ熱伝導率および熱容量が小さく採取器を入れることによつて附近の熔鋼に大なる物理的、化学的变化をあたえないこと、また適当な強度を有する上に操作の簡単なることが必要である。

## III. 試料採取法

前述の各種採取器の試作ならびに試用結果に基いて次のごとき試料採取器を製作し試用した。

### i) 試料採取器

試料採取器の本体はこれを熔鋼に浸漬する際附近の熔鋼が急激な温度変化をうけないように軽量の石英管で製作することとしこれを所望位置に正確に導くため径 10 mm の鉄棒に結着した。その細部は Fig. 2 ならびに Photo. 2 に示すごとくであるが、石英管は一端を封じた内径 18 mm、長さ 140 mm のものでこの中央よりやや上部に経約 7 mm の小孔を明けこの小孔に内部より厚さ 0.2 mm の銅板の蓋によつて塞いだ。この石英管を径 10 mm の鉄棒 (C < 0.15%) に図に示すごとく結着し鉄製部分はすべて 4~5 mm の厚さに石綿糸を固く捲き付けこれにアランダムセメントを塗布した。石英管内容積は約 30cc であり、採取可能熔鋼重量は約 210 g である。

### ii) 試料採取操作

試料採取器を完全に乾燥したる後押湯上部でさらに採

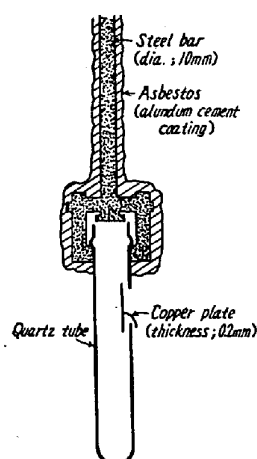


Fig. 2. Schematic diagram of the sampler.

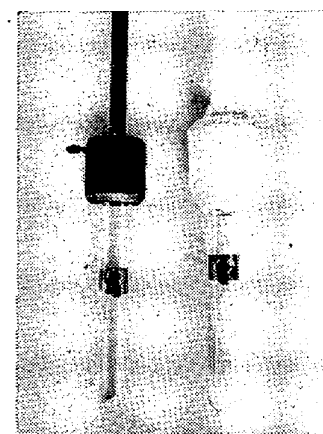


Photo. 2. Photograph of the sampler.

取器を充分予熱し鑄型内の熔鋼中に浸漬する。この際採取器をただちに固液境界附近に達せしめず一たんその 1~1.5m 上部で 10 秒程度保持し器内の空気の逸出が終つてから静かに境界に達せしめさらにわずかに力を加えて 5~10cm 程度採取器を押し込み所定時間保持し熔鋼を採取後迅速に引き上げ採取器ともに水冷する。

### iii) 採取器の熔鋼内保持時間の決定

鑄型内熔鋼を所望の位置より正確に採取器に採取するためには採取器の小孔の銅蓋が所望位置に達する前に熔離したり、また所望位置に一定時間保持しても銅板が熔融せず採取器を引き上げる途中に熔融するような場合は所望位置の熔鋼を採取することが不可能である。したがつて採取器の銅蓋の厚さが問題となるが予備試験の結果前述のごとき厚さでは押湯部における予熱、浸漬後熔鋼内の中間位置における保持次いで固液境界への到達の間では銅蓋が熔融することがなかつた。さらに所望位置における保持時間は炭素鋼により種々の場合について試験しその結果は Table 1 のごとくである。

表によつて明らかのごとくこの程度の鋼塊においては押湯部の温度 1480°C~1510°C で熔鋼表面下 1~2.5m の場合は 35~75 秒間熔鋼中に浸漬すれば確実にその位置における熔鋼を採取し得る。しかし実際の試験においてはその都度予備試験を実施し浸漬時間を決定した。なお予備試験においては石英管内にタングステンの細線を 2 本懸吊し石英管内に熔鋼が入ることにより両者が電気的に接続するごとくして採取時期を明らかにする方法も採用した。さらにまた長時間の浸漬により採取器の鋼棒が熔断するおそれも生じたので鋼種によつては銅蓋の厚さを適宜変更した。

Table 1. Experimental results of samplings.

Size of ingot (t)	Sinkhead temperature (°C)	Depth of Collection (Distance from the surface of sinkhead) (cm)	Immersion time (sec)	Possibility of collection	Size of ingot (t)	Sinkhead temperature (°C)	Depth of collection (distance from the surface of sinkhead) (cm)	Immersion time (sec)	Possibility of collection
20	1520	140	20	no	15	1501	245	35	no
	1498	140	35	no		1500	233	45~47	yes
	1498	140	40	yes		1499	191	45	no
	1493	145	45	no		1496	145	52	yes
	1487	110	50	no		1491	117	55~58	no
	1483	80	53	no		1486	85	58~60	no
	1478	80	60	no		1481	78	63	no
	1478	80	70	no		1476	78	85	no
9	1510	180	35	yes	9	1497	191	40	yes
	1502	145	45	no		1490	140	45	no
	1497	120	50	yes		1490	115	50	no
	1493	90	60	no		1488	76	65	yes
	1490	79	65	no		1487	60	70	no
	1488	79	70	no		1485	60	75	no
	1488	79	70	no		1485	60	80	yes
	1488	79	70	no		1485	60	80	yes

## iv) 採取試料の状況.

採取せる試料の数列を Photo. 1 に示した.

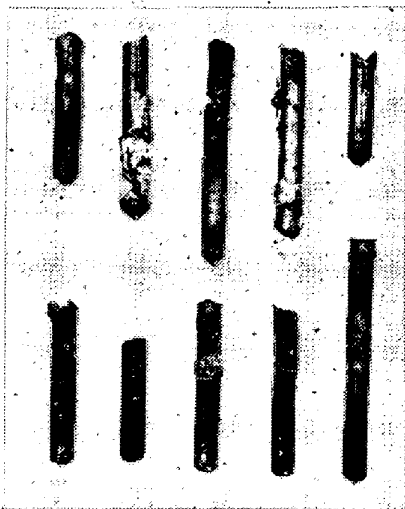


Photo. 3. Photograph of collected samples.

写真中白色部分は石英管の破片で参考のために完全に除去せず示したものである。

## v) 採取器内空気の影響

採取器内は真空とせず常圧のままでありしたがつてその中の酸素、窒素が熔鋼試料中の酸素、窒素あるいはその他の成分の分析結果に影響するおそれがある。しかもこの点について真空にした場合との比較を実験的に行つたが酸素、窒素量とも分析誤差程度の差異を生じたのみで実験には支障なかつた。これは浸漬時間が比較的長いため器内の空気の大部分が膨脹逸出してしまうため

器内に採取される熔鋼に作用するこれらガス類の量が少ないこと（窒素の場合はかなり多いが熔鋼との反応速度がおそい）によるものと考えられる。

## IV. 結 言

鋼塊に現出する各種欠陥の根本的原因を探究するために従来全然行われたことのなかつた凝固過程における鑄型内の熔鋼特に固液境界附近の熔鋼の状態を明らかにする目的でまずその附近の熔鋼を的確に採取する方法についての検討を行つたが非常に多くの困難に遭遇ししばしば失敗を重ね大要上述のごとき経過を経て大体初期の目的を達し得る採取方法を確立した。

本法はさらに多くの改良すべき点を含んでいるので現在も簡便的確な方法について検討中であるがこの種研究が従来ほとんど行われていないのであえて発表し大方の御批判と御意見を伺いたいと考える次第である。

なお本研究の発表を許可せられたる株式会社日本製鋼所室蘭製作所取締役所長皆川孝光氏、種々御指導を賜つた同所次長近藤八三氏、また試験実施にあつて有益な御助言と御協力下された同所製鋼部長松本茂樹氏同熔鋼工場長守川平四郎氏その他熔鋼工場の各位に厚く御礼申し上げる。さらに本採取法の確立にあつては採取器の考案改良ならびに採取操作の工夫に関しては研究部員曾我政雄、竹林朝雄、ならびに須藤実の各氏の努力に負う所大でありその努力に対し敬意を表する次第である。

(31年11月寄稿)