

# 塩基性電弧炉および酸性平炉溶製の20t 铸塊ならびに真空铸造製 20t 铸塊の非金属介在物\*

(塩基性電弧炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材に関する比較検討ならびに真空造塊に関する研究—Ⅲ)

神戸製鋼所, 中央研究所

理博, 工博 成田 貴一・伊藤 孝道  
田中 隆義・松本 重喜

Nonmetallic Inclusions in 20t Heavy Steel Ingots Made by Basic Electric Arc Furnace and Acid Open Hearth Furnace as well as Those in 20t Steel Ingot Made by Vacuum Casting

(Study on specifications of heavy steel forgings made by basic electric arc furnace and acid open hearth furnace as well as investigation on vacuum casting—Ⅲ)

Dr. Kiichi NARITA, Takamichi ITO,  
Takayoshi TANAKA and Shigeki MATSUMOTO

## 1. 緒 言

塩基性電弧炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材に関する比較検討ならびに真空铸造法に関する研究の一環として、前報<sup>1)</sup>では塩基性電弧炉および酸性平炉で溶製の铸塊ならびに塩基性電弧炉で溶製して真空铸造を適用した铸塊の内部性状の比較検討結果について報告した。本報ではひきつづき各铸塊の非金属介在物についてその種類および分布傾向などについて比較検討した。以下かんたんにその実験結果について報告する。

## 2. 実験方法

供試材は 25 t 塩基性電弧炉ならびに 60 t 酸性平炉で溶製し大気中で铸造した 20 t 波型铸塊 2 本 (以下それぞれ BEAC 铸塊および AOAC 铸塊と略記する) および塩基性電弧炉で溶製し真空铸造を適用した 20 t 波型铸塊 1 本 (以下 BEVC 铸塊と略記する) の 3 種であり、これらの铸塊の中心軸に沿って厚さ 30 mm の板状試料を切出し、中心軸を含む面の各位置から介在物調査用の試料を採取した。供試材の一般化学成分組成および調査用試料の採取位置を示すとそれぞれ Table 1 および Fig. 1 のとおりである。

以上のようにして採取した試料について介在物を光学顕微鏡によつて観察し、その代表的なものについては E PMA により半定量分析をおこなつた。その結果によれば、

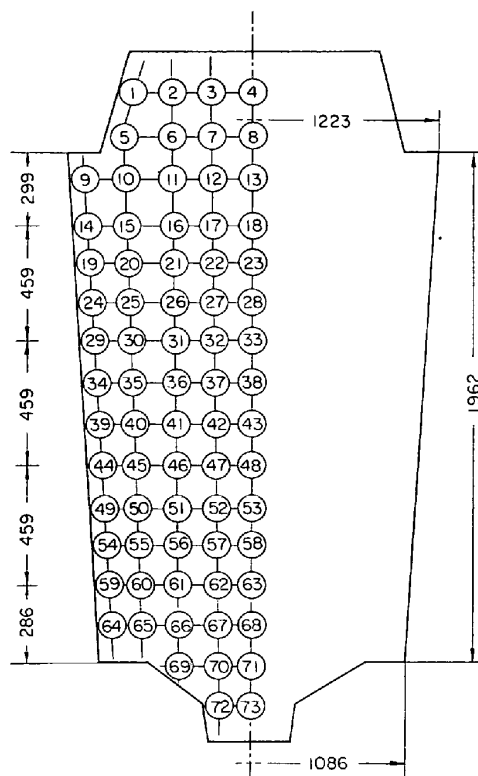


Fig. 1. Sampling position in the ingot.

ば、各铸塊の介在物は Photo. 1 に示したようにおおよそ 5 種類に分類できることがわかつた。Type I は微細な  $Al_2O_3$  である。Type II は大きな結晶状の  $Al_2O_3$  であり、ときには Ca や Mg も含まれており、またたいていは MnS をともなつている。Type III はまわりに MnS をとまない内部組織が共晶状もしくは結晶状を呈しているケイ酸塩である。Type IV は MnS を主体とし内部に  $Al_2O_3$  もしくは共晶状のケイ酸塩を含んでいる。Type V は単独の MnS である。以上の分類にしたがつて各铸塊の介在物を観察し、任意に選んだ 100 視野内のすべての介在物の大きさおよび数を種類別に調査した。検鏡視野面積の和は各試料につきそれぞれ  $6 \cdot 25 \text{ mm}^2$  である。

## 3. 実験結果

### 3.1 各種介在物の占有面積の変化

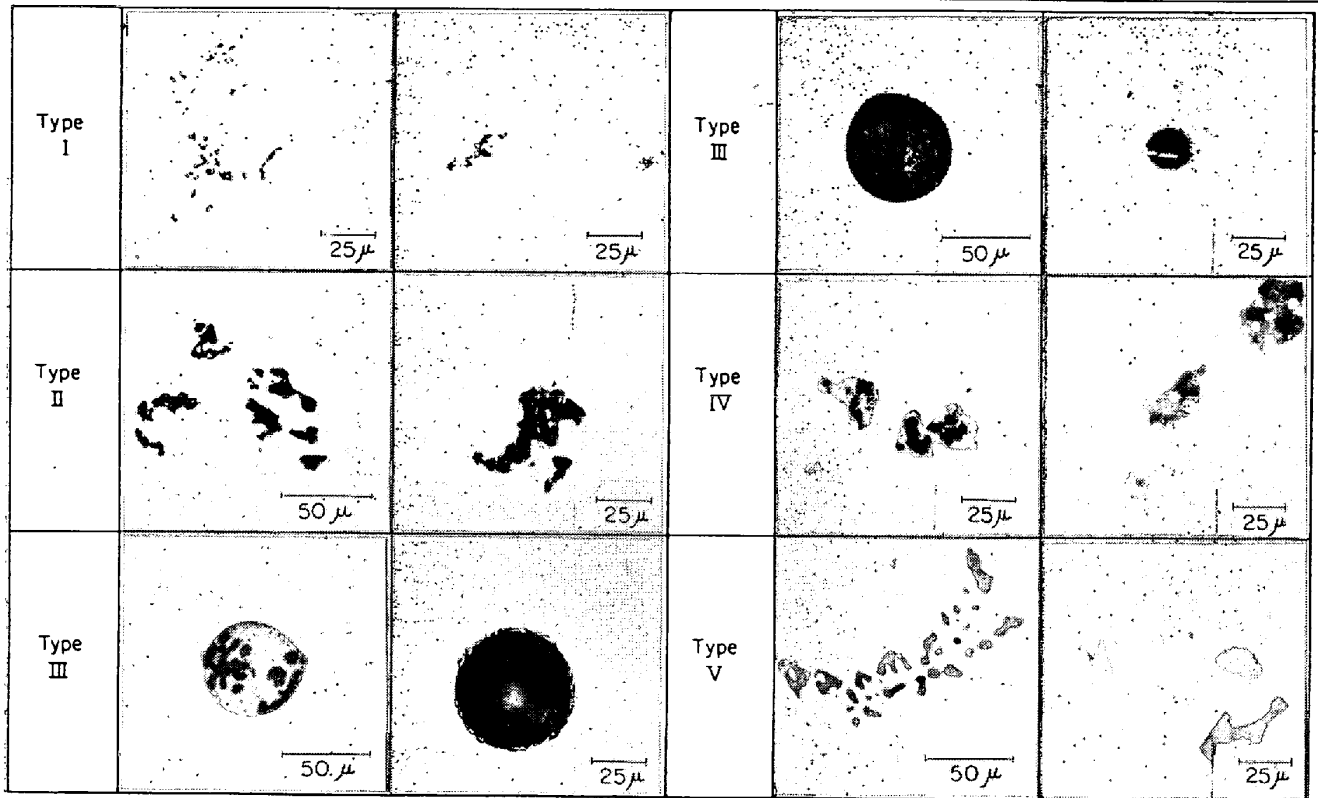
以上に述べた方法にしたがつて介在物を調べた結果によれば、介在物の占有面積率および種類ごとの構成比は各铸塊および铸塊内の部位によつてかなり変化する。すなわち各铸塊とも铸塊表層部における介在物の占有面積率は頭部側、中部および底部側でほとんど変わらず、BEAC, BEVC および AOAC 铸塊についてそれぞれ

Table 1. Chemical composition of the steel ingots tested. (%)

Ingot	Kind of steel	C	Mn	Si	P	S	O	N
BEAC	S45C	0.47	0.62	0.27	0.048	0.021	0.0067	0.0076
BEVC	S45C	0.42	0.58	0.29	0.021	0.012	0.0030	0.0060
AOAC	S45C	0.43	0.62	0.26	0.022	0.019	0.0089	0.0054

Note: BEAC; melted by basic electric arc furnace and casted in open air, BEVC; melted by basic electric arc furnace and casted in vacuum, AOAC; melted by acid open hearth furnace and casted in open air.

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号76 昭和42年5月25日受付



Type I, Type II : Aluminum oxide, Type III : Silicate, Type IV : Aluminum oxide or silicate + Sulphide, Type V : Sulphide  
 Photo. 1. Typical inclusions found in the ingots tested.

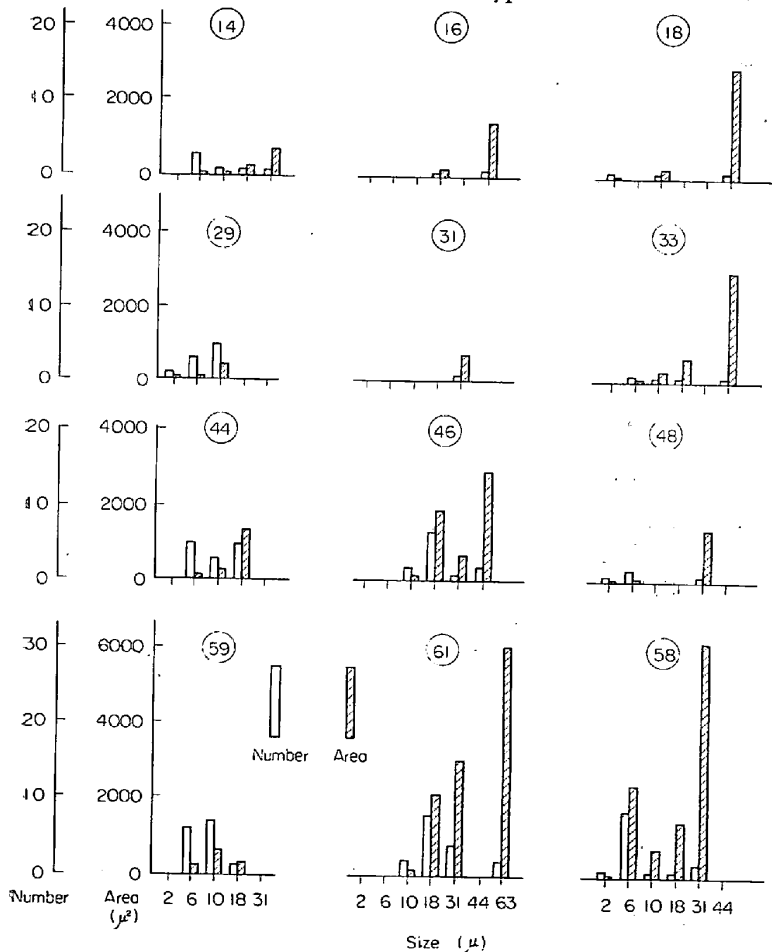


Fig. 2. Distribution of Type III inclusions in the BEAC steel ingot. (no. corresponds to the sampling position.)

れ約 0.14%, 約 0.08% および約 0.16% である。また表層部の各種介在物の構成比については、BEAC 鑄塊においては硫化物が主体の Type IV および Type V が全介在物の 3/5 程度をしめ、残りが酸化物を主体とする Type I, Type II および Type III である。BEVC 鑄塊においては硫化物を主体とする介在物の割合が増し、全体の 3/4 程度であり、残り約 1/4 が Type II を主体とする酸化物である。AOAC 鑄塊においては硫化物系および酸化物系介在物の占有面積率はほぼ等しくなっている。鑄塊中心部の中部においては表層部に比べて介在物の占有面積率はあまり変わらないが、構成比については酸化物の割合が 5~10% 程度増加している。中心部の底部側と頭部側においては介在物の占有面積率は表層部に比べて著しく増加しており、この増加の原因は底部側においてはおもに酸化物系介在物に、頭部側においてはおもに硫化物系介在物によるものである。中心部の底部側における介在物の占有面積率は表層部に比べて BEAC, BEVC および AOAC 鑄塊についてそれぞれ約 2 倍、約 2.5 倍および約 3 倍となっている。また中心部では介在物の占有面積率は頭部側が底部側にくらべて多少大きい。そうして中心部の底部側における介在物の構成比は BEAC 鑄塊では全体の約 3/5 が Type III であり、約 1/4 が Type V であり、残りが Type IV と Type II であつて Type I はごく少ない。BEVC 鑄塊においては構成比が非常に異なり、Type II が全体の約 4/5 をしめ約 1/7 が Type V であり、残りが Type I であつて

Type II は非常に少ない。AOAC 鋳塊においては Type II の割合が非常に多く全体の約9/10をしめ、残りの大部分が Type V である。中心部の底部側においては各鋳塊ともに硫化物の中に酸化物相の含まれた形の Type IV の介在物は非常に少ない。鋳塊中心部の頭部側における各種介在物の構成比は BEAC 鋳塊においては Type V が全介在物の約 2/5 をしめ、あとは Type I, Type III および Type IV がそれぞれ約 1/5 をしめている。BEVC 鋳塊においては Type V が約 4/5 をしめ、あとは Type I, Type II および Type IV がそれぞれ約 1/15 をしめている。AOAC 鋳塊においては試料採取位置がたまたま Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系酸化物の偏析部におよんだため、Type II が約 1/2 をしめ、約 1/3 が Type V であり、残りが Type III である。AOAC 鋳塊ではほかの 2 鋳塊にくらべて中心部の頭部側における Type V の割合が小さいが、占有面積率でいえば表層部の約 4 倍となっており、かなり増加していることがわかる。

3.2 酸化物系介在物の分布傾向

各鋳塊中心部の底部側にみとめられるおもな酸化物系介在物は前項に述べたように BEAC および AOAC 鋳塊においては Type II であり、BEVC 鋳塊においては Type I である。そこで各鋳塊についてこれらの酸化物の大きさおよび個数を測定し、大きさ別に面積の和を求め、各鋳塊別に分布傾向を調べた。まず BEAC 鋳塊における Type III のケイ酸塩の分布傾向を示すと Fig. 2 のとおりであり、鋳塊表層部においては中心部にくらべて個数は多いがほとんどが小さなものであり、ケイ酸塩がしめる面積はかなり小さいことがわかる。鋳塊の中心部では小さなケイ酸塩は少なくなり、大型のものが増えている。とくに鋳塊の底部側においては大型のものが多く、ケイ酸塩の量が多くなっている。鋳塊の上半部ではケイ酸塩は量的に少ない傾向はあるが、かなり大型のものである。鋳塊の中間部については中心部とほぼ同様の傾向を示している。BEVC 鋳塊の Type II の介在物の分布傾向を示すと Fig. 3 のとおりであり、BEAC 鋳塊の Type III のケイ酸塩の分布傾向とほぼ同じである。すなわち鋳塊表層部では個数は多いが小さいものが多いため全体としては量が少なく、鋳塊の中心部では個数は少ないが、大型のものが増えて量は多くなっている。BEVC 鋳塊においては Table 1 に示したように、BEAC 鋳塊にくらべて O 量が少なく、これに対応して全体としては酸化物量も少ないが、負偏析部に相当する No. 63 の位置では大型の Type II の介在物の個数はかなり多く、酸化物の多いことがわかる。これは酸化物の量が全体としては少なくとも、場所によっては偏析する可能性のあることを示しているものと考えられ、今後の検討を要する問題であろう。AOAC 鋳塊における Type III の介在物の分布傾向を示すと Fig. 4 のとおりであり、大きさおよび個数の分布傾向はほかの 2 鋳塊とほぼ同様である。ただし AOAC 鋳塊では負偏析部相当の位置において、比較的に大型のケイ酸塩が多量に存在する。

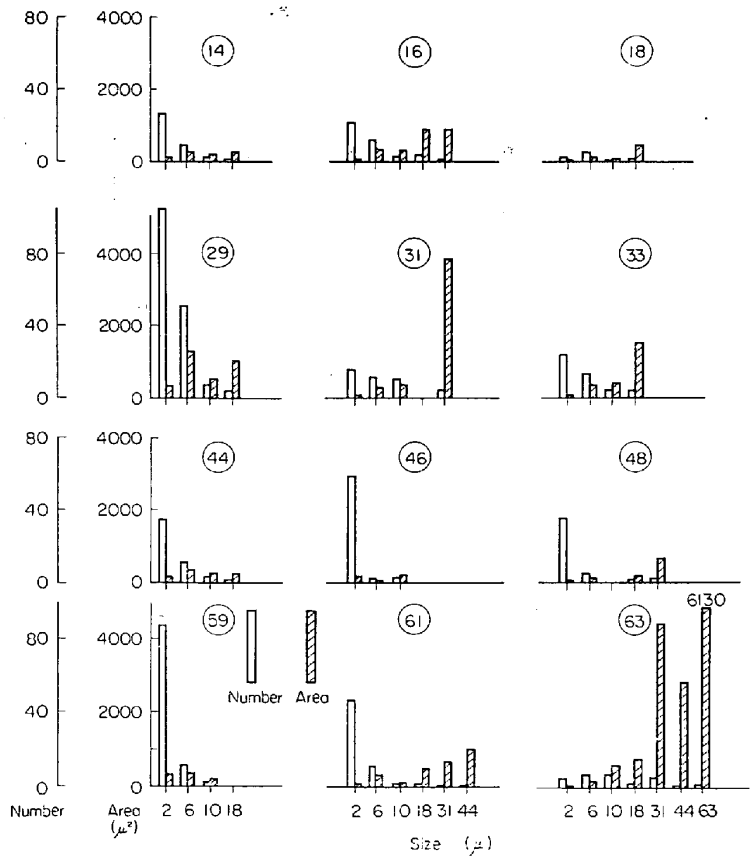


Fig. 3. Distribution of Type II inclusions in the BEVC steel ingot. (no. corresponds to the sampling position.)

No. 57 および No. 58 にはとくにケイ酸塩が多く、100~200μ 以上程度のケイ酸塩が局部的に群落をなして存在した。

3.3 硫化物系介在物の分布傾向

硫化物についても表層部は各鋳塊とも酸化物の場合と同様に小さなものが多く、中間部より内部では形が大きくなり、個数がへつている。表層部では鋳塊の頭部側、中部および底部側について各鋳塊ともに分布傾向にあまり差がない。しかしながら鋳塊の内部では上下で分布傾向がことなり、頭部側では大型の硫化物の個数が多く、中部および底部側では数がかなり少ない。また各鋳塊とも負偏析部相当の位置では、ほかの部分にくらべて硫化物の量が少なくなっている。これは S の絶対量が少なくなっていることおよび S のかなりの量が大型の酸化物のまわりに硫化物として析出しているためであると考えられる。BEVC 鋳塊においては頭部側の中心部の Type V の量がほかの位置にくらべてかなり多かつた。これは注入温度が Table 2 に示したように高く、また押湯電弧加熱をおこなっているため S の偏析率が大きくなっているためと考えられる。

4. 考察

以上に述べたように各種介在物の分布傾向は各鋳塊および各位置についてかなりことなっている。鋳塊表層部では酸化物も硫化物も比較的に細かく分散して数多く存在するが、内部に入るにしたがつて小さなものがへり、大きなものが点在するようになる。これは凝固速度がしだいに遅くなることに対応しているものと考えられる。

Table 2. Teeming conditions.

Ingot	Teeming atmosphere	Tapping tmp.(°C)	Killing time	Teeming time	Teeming temp. (°C)
BEAC	Open air	1605	4'55"	15'15"	1524~1515
BEVC*	Vacuum	1642	7'10"	7'07"	1561~1555
AOAC	Open air	1580	30'51"	15'12"	1502~1490

\* Hot topping was aided by electric arc heating.

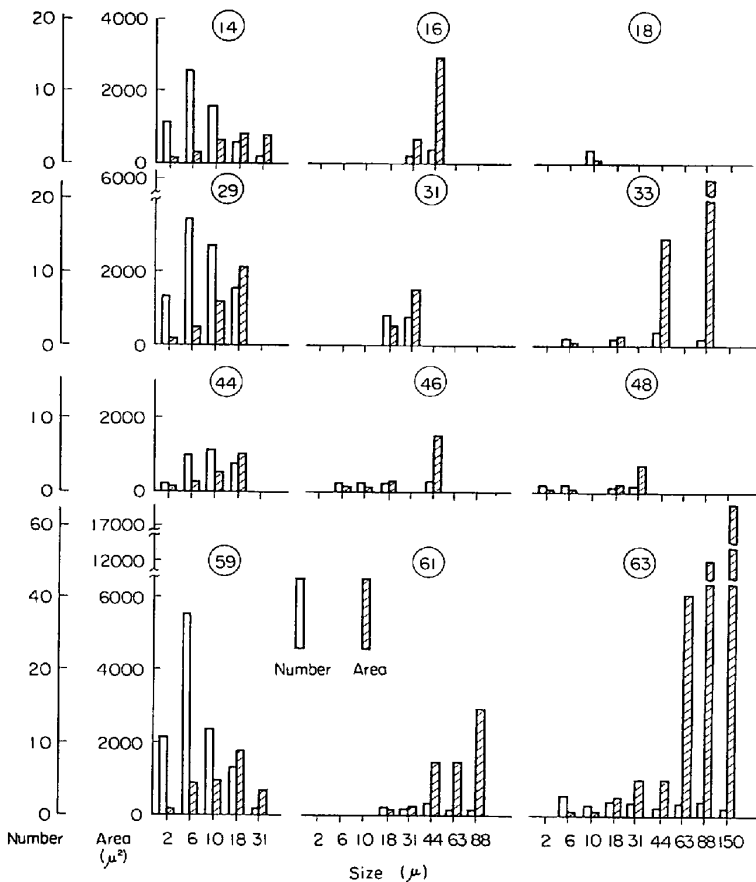


Fig. 4. Distribution of Type III inclusions in the AOAC steel ingot. (no. corresponds to the sampling position.)

また酸化物は BEAC および AOAC 鑄塊においては Type III が多く、BEVC 鑄塊では Type II が多い。これは酸化物相中の MnO 成分の量のちがいによるものと考えられる。すなわち温硝酸法による酸化物の定量結果において、BEVC 鑄塊では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成分が 93% 以上をしめ、残りが SiO<sub>2</sub> 成分であるのに対して、ほかの 2 鑄塊においては Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成分が非常に少なく 7~8% であり、MnO 成分が 20~30% も含まれており、残りがおもに SiO<sub>2</sub> 成分である。また EPMA による個々の酸化物の分析結果においても大気鑄造の 2 鑄塊では MnO 成分が多い。AOAC 鑄塊においてはほかの鑄塊にくらべて負偏析部の大型酸化物が多かった。これは Table 2 に示したように注入温度が比較的に低かったことに起因するものと考えられる。また AOAC 鑄塊の大型酸化物は比較的に低融点のものである。これが溶製鑄塊条件とどのように関連しているかをあきらかにするのは今後に残された問題であろう。

本実験におけるような観察を継続して結果を集積し、

大型鑄塊内における介在物の分布状態を握把し、鋼の組成および凝固条件を適宜選択することにより、介在物の分布状態をある程度統御しうるようになるものと考えられる。

5. 結 言

- 1) 溶製方法および造塊条件のちがいによって各種介在物の分布傾向にはかなり差が認められる。負偏析部の酸化物の量におよぼす注入温度の影響はかなり大きいようである。
- 2) 真空鑄造を適用することにより酸化物の量はかなり減少し、その形も結晶状のものが多くなる。
- 3) 硫化物の分布傾向も造塊条件によつてかなりの影響をうける。

文 献

1) 菅野, 成田, 他: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1770

20t 炭素鋼鑄塊の凝固速度と鑄塊内部組織に関する 2,3 の所見\*  
(塩基性電弧炉および酸性平炉溶製の大型鍛鋼材に関する比較検討ならびに真空鑄造に関する研究—IV)

神戸製鋼所中央研究所

理博, 工博 成田 貴一・宮本 醇  
小山 伸二・石井 輝雄  
機械事業部 齋藤 千弓

Some Views of Freezing Rate and Internal Structure of 20t Carbon Steel Ingot  
(Study on specifications of heavy steel forgings made by basic electric arc furnace and acid open hearth furnace as well as investigations on vacuum casting—IV)

Dr. Kiichi NARITA, Jun MIYAMOTO

Shinji KOYAMA, Teruo ISHII and Chiyumi SAITO

1. 結 言

鑄塊の凝固速度あるいは凝固過程における鑄塊内部の温度変化を知ることは、内部組織の健全な鑄塊を造るための製造技術的な立場あるいは生産能率を上げるための生産工程管理の立場から考えても重要なことである。そのためには従来から種々の実測方法あるいは伝熱方程式

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号77 昭和42年5月25日受付