

終りに臨み、本研究遂行にあたりご協力を下さった本社技術開発部長工博久田清明氏はじめ、以前本研究に従事していただいた室蘭製鉄所工博恵藤文二、同榎原経臣、また現在研究に従事していただいている相馬英明、木場崇一、奥野嘉雄の諸氏に謝意を表します。

## 文 献

- 1) J. H. STRASSBURGER, E. J. OSTROWSKI & J. R. DIETZ: AIME Blast Furnace, Coke Oven and Raw Material Conference, (1962) April.
- 2) J. D. DOHERTY & J. GRIFFEN: For Presentation Before the Spring 1964 Meeting of Iron-making Conference, AIME

- 3) J. R. DIETZ: J. Metals, (1963) July, p. 499
- 4) American Metal Market, (1962) 9 Oct.
- 5) E. M. SUMMERS et al.: Iron & Steel, (1963) 22 May, p. 278
- 6) Steel, (1962) 9 April.
- 7) W.C.R. PENTRY & J. GATLOW: "Blast Furnace Fuel Oil Injection Practice and Results at Ebbw Vale" ルクセンブルク会議資料, (1962) Oct.
- 8) R. C. WORSTER et al.: Inst. Mech. Eng. Proc., **32** (1955) 169, p. 563
- 9) A. E. СМОЛДЫРЕВ: "Трубопородный Трансл-орт" (1961)
- 10) 寺田: 選炭, **13** (1963) 66, p. 246

659.14-412: 621, 746.558: 620, 183/184: 662, 944  
スクレーブ法による鋼塊の凝固に関する実験\*

鹿野昭一\*\*・中川義隆\*\*\*・福本 勝\*\*\*\*

萩原 巖\*\*\*\*\*・高橋忠義\*\*\*\*\*

## Experiments on the Solidification of Steel Ingots by Scrape Method.

Shoichi SHIKANO, Yoshitaka NAKAGAWA, Masaru FUKUMOTO,

Iwao HAGIWARA and Tadayoshi TAKAHASHI

## Synopsis:

Many investigations have been made to get sound ingots by means of modifying the solidification process. Scrape method is one of them. This method was developed from the experiments worked on Al-4%Cu alloy ingots. It is to make molten metal solidify by stirring with a rod after pouring. This is, however, not simple hydrodynamic stirring. The surface of the zone of partial solidification is scraped with the rod, and this zone is destroyed.

Hence, the successive progress of this zone from the scraped region is stopped and the whole bulk liquid is brought into a creamy state. The ingots obtained are segregationless and remarkably fine-grained. The causes of these phenomena are considered to be the self-nucleation of crystals and the effect of turbulent flow by scraping.

We attempted to apply this method to two steel ingots; 800kg ingot poured into metal mold and 1600kg ingot poured into sand mold.

The results obtained are as follows;

- (1) Scrape method could be applied to 800kg steel ingot successfully.
- (2) Macro-structure of this ingot became remarkably fine by the application of Scrape method. But, originally, segregation is slight in this size of steel ingot poured into metal mold and because of inadequate experimental condition it was impossible to check the effect of Scrape method on V and  $\Lambda$  ghost.

(3) The results of the experiment on 1,600kg cast steel ingot in order to check the effect of this method on V and  $\Lambda$  ghost show that the branched columnar zone, so-called the hot-bed of  $\Lambda$  ghost was destroyed by scraping, thereby developing no  $\Lambda$  ghost and the exterior of ingot was clean. In addition, the growth of V ghost was prevented.

(Received 19 May 1965)

\* 昭和40年4月本会講演大会にて発表 昭和40年5月19日受付

\*\* 株式会社日本製鋼所室蘭製作所

\*\*\* 株式会社日本製鋼所室蘭製作所研究所 理博

\*\*\*\* 株式会社日本製鋼所室蘭製作所研究所

\*\*\*\*\* 北海道大学工学部 工博

1. 緒 言

鋼塊の凝固過程を人為的に変える方法については機械的あるいは超音波によつて振動を与えながら凝固させる方法、さらに電磁攪拌を行ないながら凝固させる方法など種々の試みがなされている。

ここでは鑄込終了後攪拌棒を用いて未凝固液体の回転攪拌を行なうスクレープ法<sup>1)</sup>を鋼塊に実施した結果について報告する。

スクレープ法は単に液体を攪拌するのではなく、攪拌棒を樹枝状的凝固界面に沿つて摺動させることにより樹枝状晶の一部を機械的に破壊し、その微結晶を攪拌棒の後流によつて内方に運び、これを分散させ、自己核生成による結晶の微細化、および偏析の軽減をはかろうとするものである。

Al-4% Cu 合金の 3kg 鋼塊にたいする模型実験に基づいて導かれたこの凝固法が大型鋼塊、とくに複雑な偏析元素を含む鋼塊の凝固にたいしどの程度の効果を与えるかを明らかにすると同時にその実用性にたいしても検討することとした。このため、はじめに約 800kg 金型鋼塊についてこの方法の鋼塊への適応性を検討した。さらにこの実験において得られた結果を参考に、スクレープ法の効果、とくに A 状ゴーストにたいする効果を確めることを目的として約 1600kg 砂型鋼塊についての実験を行なつた。

2. 金型鋼塊実験

2.1 実験要領

この実験では凝固法の効果を十分に発揮することよりも実験遂行上の支障の有無を確認することに重点を置き併せてその効果の検討を行なうこととした。そのため押湯および鋼塊形状等については特別考慮せず、一般に用いられている押湯付丸型鋼塊について実験を行なうこととした。

Table 1. Chemical composition (ladle analysis) %.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo
0.35	0.24	0.54	0.015	0.013	0.14	0.06	0.23	0.04

Table 2. Pouring conditions of both ingots.

Ingot	Mold temp.	Pouring temp. (°C)	Pouring time, sec. (except header)	Pouring method
Non-scraped	Room temp.	1580	90	Direct
Scraped	Room temp.	1578	90	Direct

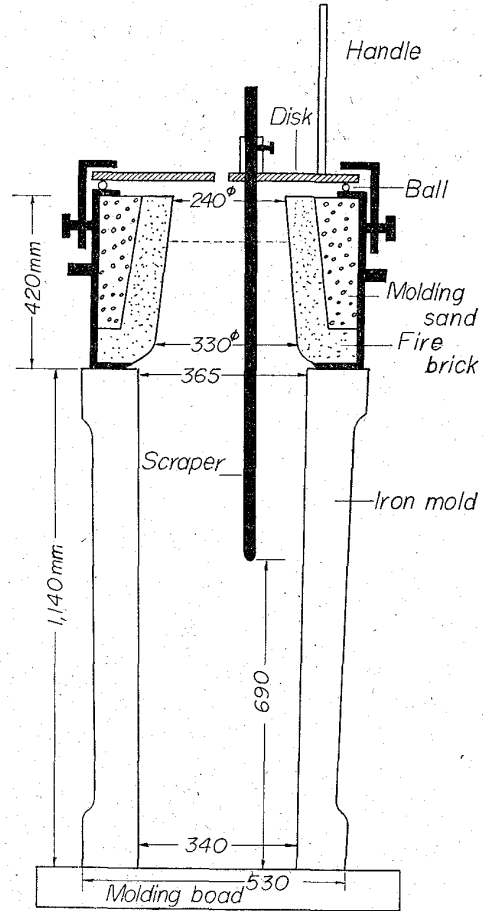


Fig. 1. Experimental apparatus.

実験装置は Fig. 1 に示すごとくで、鑄込後の溶鋼を手廻しハンドルに接続した攪拌棒 (scraper) にて攪拌するようになっている。攪拌棒は押湯棒上端の直径に制限されその先端と鑄型内壁との距離を約 60 mm 以下に近づけることはできなかつた。その深さも本体高さの約 40% 以下に止まつた。溶鋼は 6 t エルエ電気炉にて溶製したが、その化学成分を Table 1 に示す。また、その鑄込条件および攪拌作業の経過をそれぞれ Table 2, Table 3 に示す。なお、比較のためにスクレープ法を実施しない鋼塊も同時に鑄込んだ。

Table 3. Progress of iron mold test.

Non-scraped ingot		Scraped ingot	
Time	Process	Time	Process
0'-00'' 1'-40''	Finish pouring (add lagging material) Measure temp. (1490°C)	0'-00'' 1'-50''	Finish pouring (add lagging material) Measure temp. (1490°C)
13'-20''	Measure temp. (1485°C)	2'-10'' 5'-10'' 7'-00'' 13'-00''	{Begin scraping (90rpm) {Stop scraping (exchange scraper) {Start scraping (72rpm) {Stop scraping (exchange scraper) Measure temp. (1480°C)
21'-50''	Measure temp. (1480°C) (add lagging material)	14'-30'' 21'-30''	{Start scraping (72rpm) {Finish scraping Measure temp. (1475°C) (add lagging material)

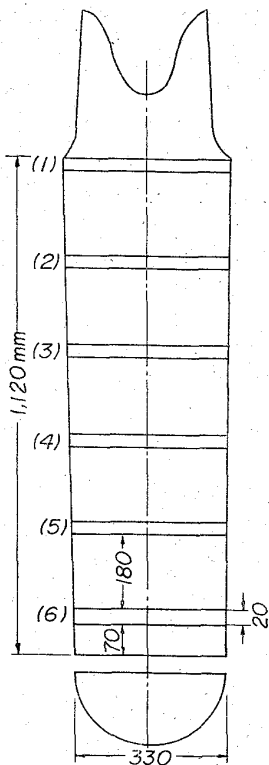


Fig. 2. Location of testpiece.

鋼塊にたいしてはサルファプリント、ダイチェック等の検査を実施した。さらに Fig. 2 に示す各位置から採取した厚さ 20 mm の半円盤試料にたいして Oberhoffer 法によるデンドライトの検出や、鋼塊の各位置における化学成分、サンド、介在物の分析および測定、ならびに逐次切削による疵見試験を実施した。

前後 3 回にわたる攪拌操作は支障なく行なうことができた。結晶粒の微細化については Fig. 2 に示す位置 (2) および (5) における縦断面のマクロ組織を調べたがその結果はつぎのごとくであつた。Photo. 1(b)

は凝固面が攪拌棒によつて撓動を受けた位置に属するが、鋼塊表面から、約 60 mm 離れた内部においては (a) に比較してきわめて微細な結晶組織になつている。この結晶の微細化の始まる時期は凝固層の厚さと時間の既知曲線から第 3 回目の回転を行なつた時期と推定される。したがつて 2 回目までの回転は単なる流体力学的攪拌である。この場合にも、この流体力学的攪拌が結晶の微細化になんら寄与せず、凝固が攪拌棒の位置まで進行して、はじめてデンドライト状表面が機械的に破壊されるという Al-Cu 小鑄塊より得られた結論が成立する。

Photo. 2 は底部から 250 mm の位置 (5) におけるマクロ組織であるが、攪拌棒の先端から 440 mm も下方であるにもかかわらず、(b) ではやはり鋼塊表面から約 60

mm 以上離れた内部では微細な結晶組織になつた。この現象は Al-Cu 小鑄塊においても認められたとおりであつて、攪拌棒の後流における乱れが下方に向つても生じ、それによつて結晶核の分散が深くまで及ぶためである。乱流は同時にデンドライト状凝固面の清浄化作用 (Washing action) を伴い、その結果 Photo. 3 および Photo 4 に示すごとく、サルファプリントにおいて白線が現われている。この白線はスクレープが行なわれていない部分、すなわち鋼塊の下方にも、また押湯の部分にもおよんでいて特に押湯においては凝固層が薄いため外方に近

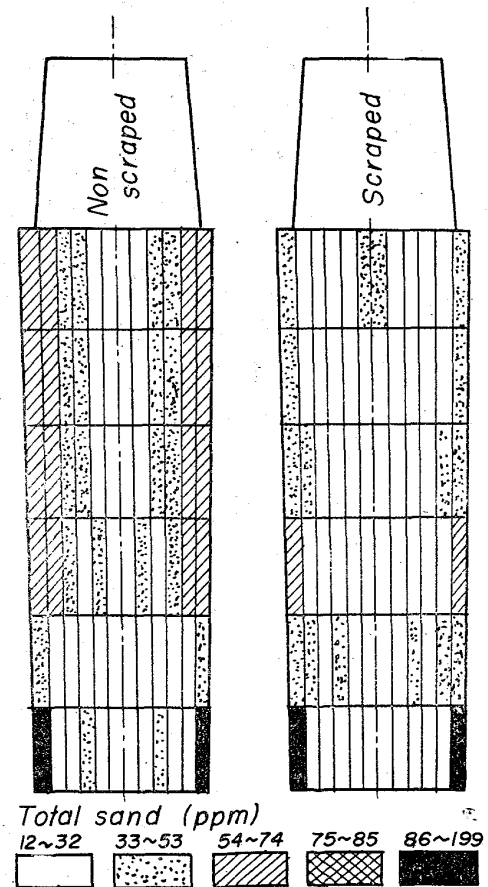


Fig. 3. Distribution of total sand.

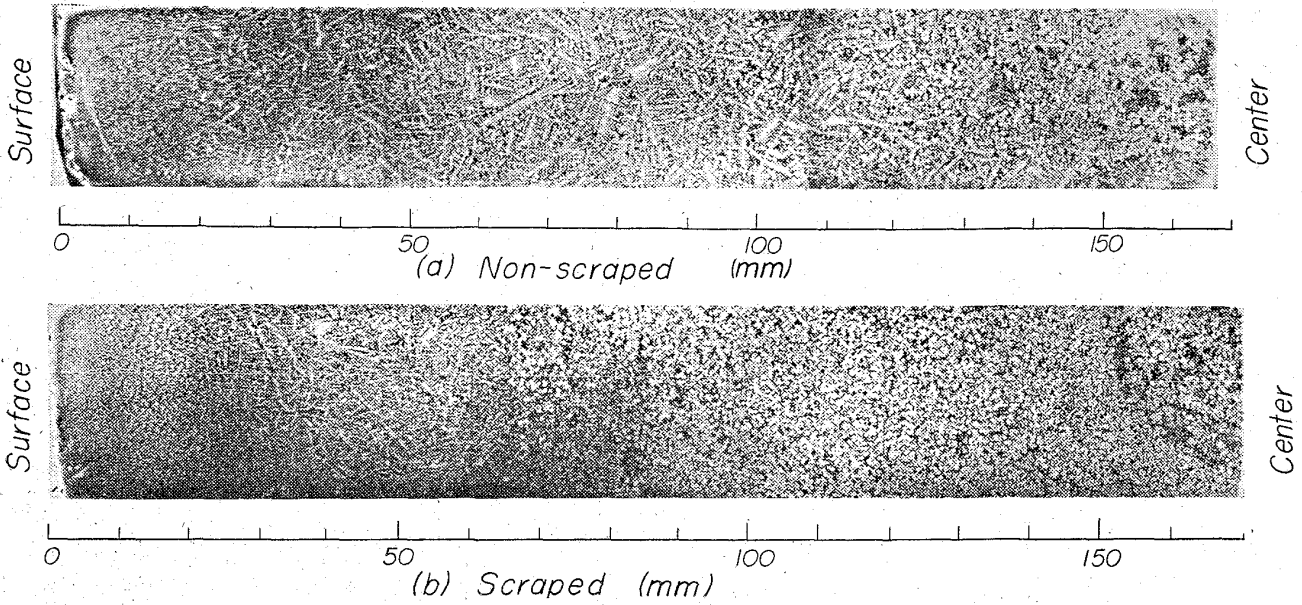


Photo. 1. Macro-structure (220mm from the top)

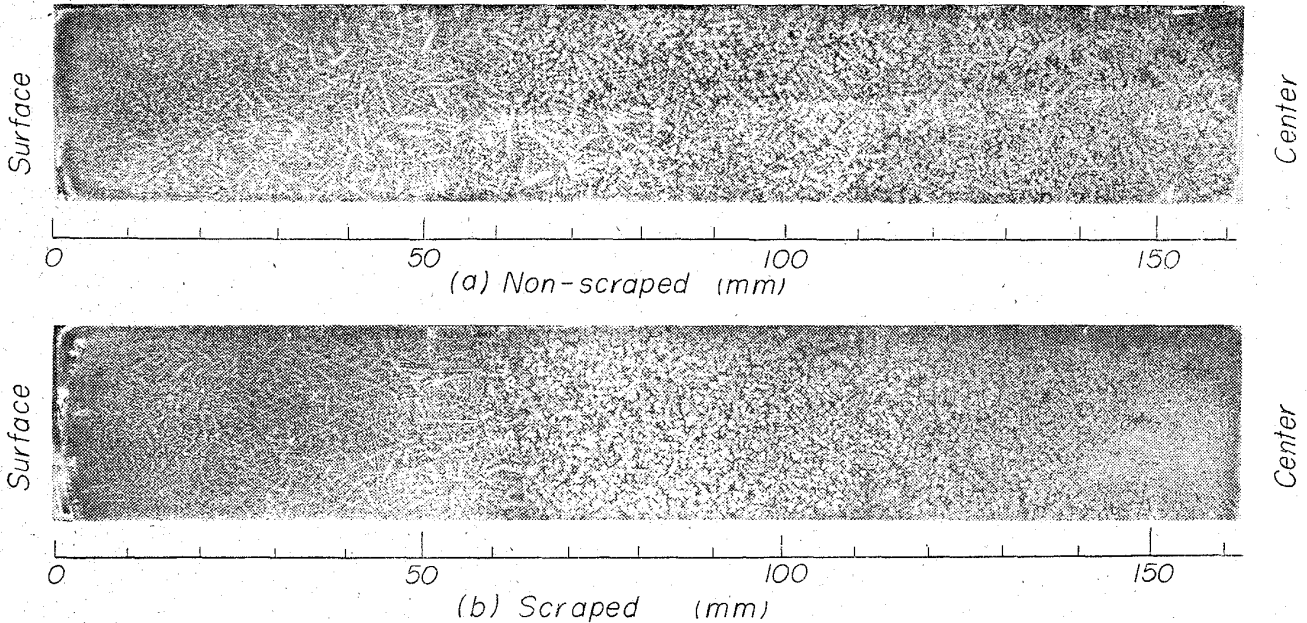


Photo. 2. Macro-structure (250mm from the bottom)

づいている。白線より以内で結晶粒が微細化している事実は攪拌棒の破壊作用で生じた結晶核が鋼塊底部や押湯内のように単なる流体力学的乱流状態にある未凝固溶湯まで急速に分散するためであることの立証であると考えられる。

このようにスクレープによつて結晶核が上下および中心方向に急速に分散する結果、遊離した微結晶と溶鋼との懸濁状態化が進行し、これが乱流による清浄化作用によつて排出された溶質の混合拡散 (mixing diffusion) を妨げる。したがつて清浄化作用によつて生じた白線の内側にはP, S等の偏析元素が濃縮した薄い層の発生が認められる。また鋼塊の上半部には押湯から垂れ下つた境界の明りような濃い偏析柱が認められ、その先端には2

次パイプが生じている。その偏析柱の形状や押湯上面の収縮状態から考えると、これは凝固の終期に押湯から補給された濃厚な溶鋼によるものであつて、普通の鋼塊における内部偏析とは異なるものである。上述のごとくスクレープを施した鋼塊における偏析状況は複雑で、この実験に関する限りでは偏析柱の発生のためC, Si, Mnなどの分布も概して中心の上部に多かつた(表示を略す)。ただ興味あることには、サンドがその絶対量において低値を示し、またその分布状況は Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5に示すごとく、表面近くにおいて非攪拌鋼塊よりかなり良好である。このことは表面から逐次切削による疵見試験によつても確認された。

以上が金型鋼塊にたいする実験結果であるが、スクレ

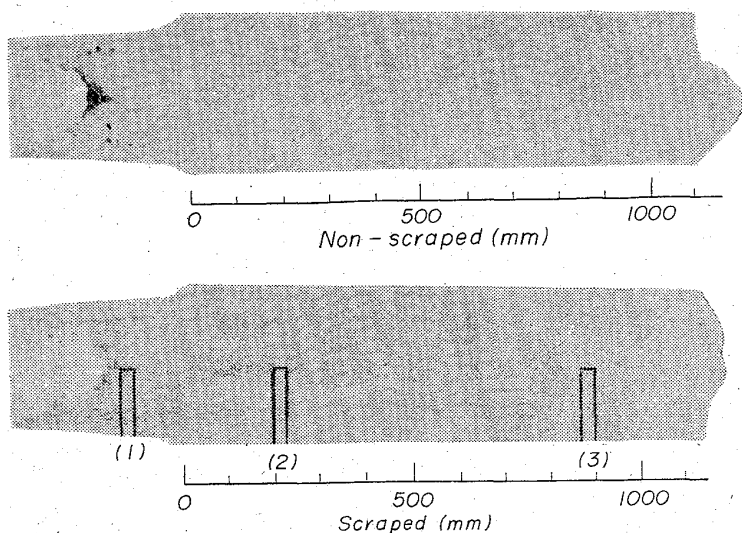


Photo. 3. Sulphur print of longitudinal section of ingots.

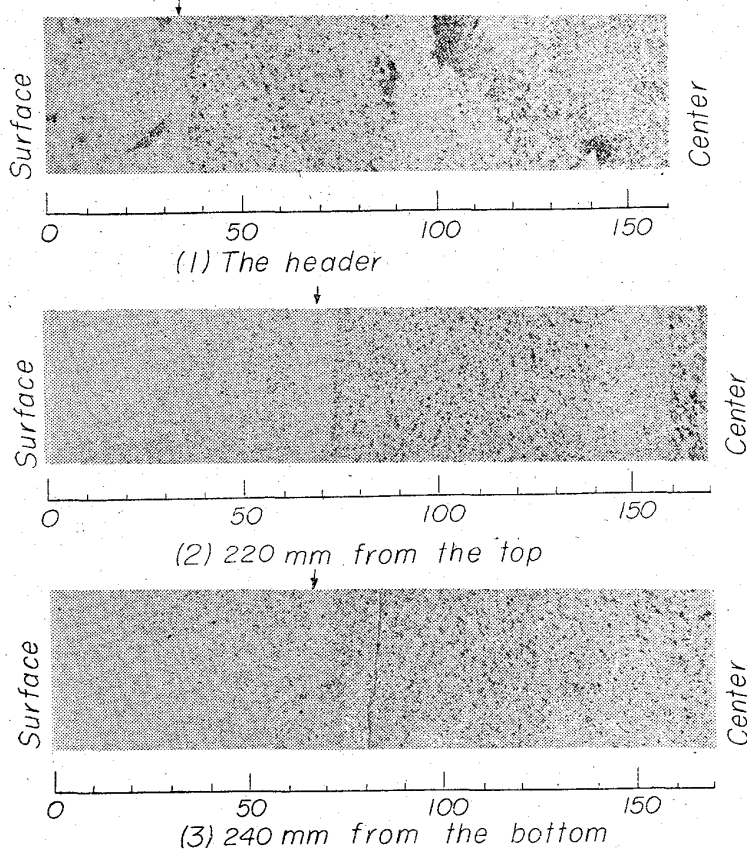


Photo. 4. Sulphur print of each part. Arrows indicate white lines.

ープ法の鋼塊への適用は操作的に十分可能であることが知られた。また Al-Cu 小鑄塊において明らかにされたスクレープによる結晶微細化の効果はこの実験においても確認された。しかし一方において鋼塊におけるV状ゴーストおよびΛ状ゴーストにたいする効果は確めることができなかつた。これは元来この程度の大きさの鋼塊、とりわけ金型鋼塊においては偏析が軽微であるためであ

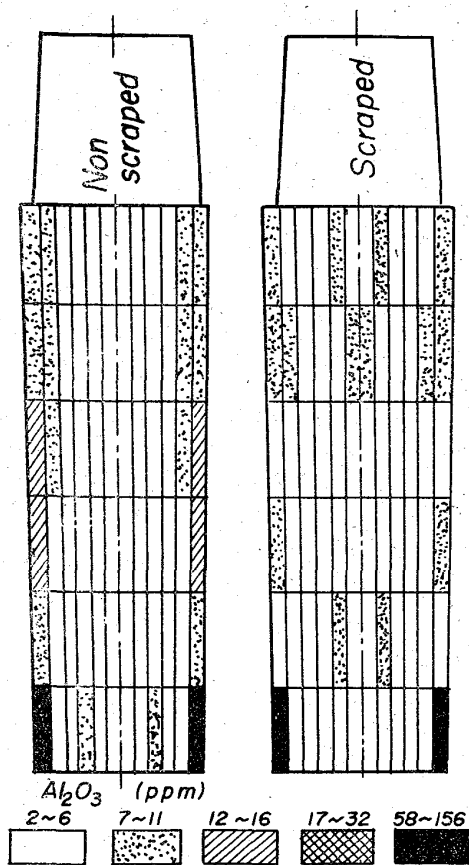


Fig. 4. Distribution of  $Al_2O_3$ .

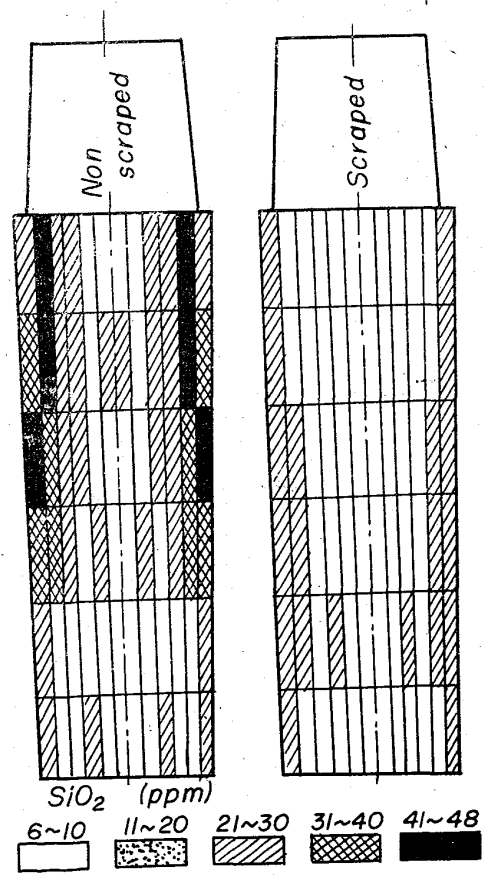


Fig. . Distribution of  $SiO_2$ .

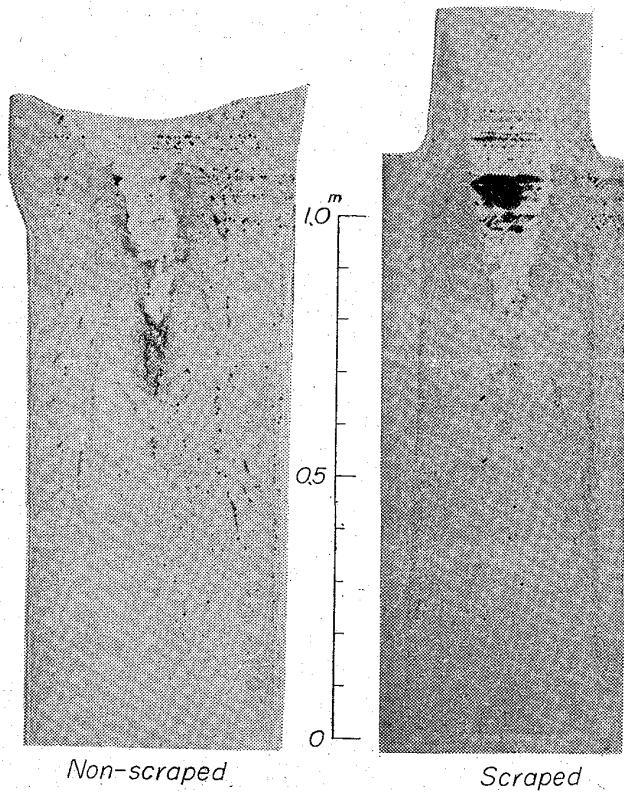


Photo. 5. Sulphur print of longitudinal section of ingots.

る。

なお、サルファープリントに現われた鋼塊外周部の白

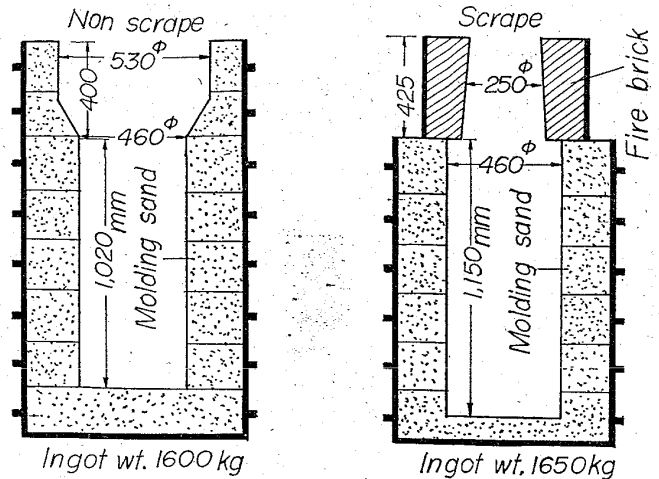


Fig. 6. Sand molds.

線ならびにそれに隣接した薄い偏析層および中心部上方に生じた偏析柱は実験条件の改善により著しく軽減する性質のものであるが、これについては別の機会に報告したい。

### 3. 砂型鋼塊実験

#### 3.1 実験要領

前述の金型鋼塊では果せなかつたV状ゴーストおよび△状ゴーストにたいするスクレープの効果を確めることを目的とし、約 1600kg のかなり大きな砂型鋼塊についての実験を行なつた。実験にあつては攪拌棒による清

Table 4. Chemical composition % (ladle analysis)

Ingot	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo
Non-scraped	0.34	0.39	0.68	0.016	0.016	0.17	0.06	0.20	0.03
Scraped	0.25	0.37	0.66	0.017	0.016	0.15	0.11	0.24	0.05

Table 5. Pouring conditions of both ingots.

Ingot	Mold temp.	Pouring temp. °C	Pouring time, sec. (except header)	Pouring method
Non-seraped	Room temp.	1550	130	Direct
Scraped	Room temp.	1590	135	Direct

Table 6. Progress of sand mold test.

Time	Process	Time	Process
0'-00''	Finish pouring (add lagging material)	14'-30''	{Start scraping (114rpm)
1'-55''	{Begin scraping (90rpm)	19'-15''	{Stop scraping (exchange scraper)
6'-55''	{Stop scrapig) (exchange scraper)	20'-05''	{Start scraping (96rpm)
7'-45''	{Start scraping (102rpm)	25'-05''	{Stop scraping (exchange scraper)
12'-45''	{Stop scraping (exchange seraper)	26'-15''	{Start scraping (120rpm)
		33'-15''	{Finish scraping

浄化作用をも利用して外周部の偏析の軽減をはかるようにした。実験に用いた砂型の形状ならびにサイズを Fig 6 に示す。比較の非攪拌鋼塊とは頂部の型において異なり、また同一溶解のものでもなかつたが、本体の寸法がほぼ同一なので比較にはさしつかえないものと考えた。

溶解炉は 20 t エルギー電気炉であり、溶鋼の化学成分は Table 4 に示すごとくであつた。また鑄込条件および攪拌作業の経過はそれぞれ Table 5, Table 6 に示す通りであつた。

なお回転攪拌装置は金型鋼塊実験に用いたものと同様であり、攪拌棒の先端の位置は底部より 750 mm, 砂型内壁より約 70 mm とした。

### 3.2 実験結果

Photo. 5 に両鋼塊縦断面のサルファープリントを示す。これによればスクレープを実施したものの外周部 70 mm までは清浄化が行なわれサルファープリントは薄くなつており、また V 状および  $\Delta$  状ゴーストの生成が阻止されている。しかし清浄化された外周部と内部との境には濃縮層が認められる。スクレープを行なつた鋼塊では外周部は柱状晶で、内部は微細な自由晶である。一方、非攪拌鋼塊では頂部になるほど分岐柱状晶 (Branched columnar zone) が厚くなり、その中に紐状ゴーストが生じ、さらに自由晶帯との境に  $\Delta$  状ゴーストを生成しているのがサルファープリントからも認められる。

逐次切削による疵見試験の結果では、スクレープを行なつた鋼塊の外周部における砂疵は非攪拌鋼塊に比べて少なかつた。分岐柱状晶帯はすでに知られているように  $\Delta$  状ゴーストの温床であり、この中に紐状ゴーストがよ

く生成される。その生成機構についてはここでは触れないが、この分岐柱状晶帯を破壊消滅せしめることによつて  $\Delta$  状ゴーストの発生をある程度防止しうることが今回の実験で明らかとなつた。

## 4. 結 言

1) 約 800 kg の押湯付金型鋼塊にたいして、このスクレープ法の実施作業は支障なく行なうことができた。

2) 金型鋼塊にたいするスクレープ法の実施により内部のマクロ結晶組織は著しく微細化した。しかしこの程度の大きさの金型鋼塊では元来偏析が軽微であり、さらに実験条件の不完全なことからこの方法の V 状および  $\Delta$  状ゴーストにたいする効果を確めることはできなかつた。

3) V 状および  $\Delta$  状ゴーストにたいするこの方法の効果を確めるべく、1600 kg の大型砂型鋼塊について実験を行なつた結果、 $\Delta$  状ゴーストの温床ともいふべき分岐柱状晶帯はスクレープによつて破壊され、 $\Delta$  状ゴーストの発生は認められなかつた。同時に V 状ゴーストの発生も阻止し、外周の柱状晶部を清浄化する効果が認められた。

最後に、本実験の遂行にあたり終始御指導、御支援を賜つた株式会社日本製鋼所常務取締役伊佐治勝利氏、ならびに同社室蘭製作所長、取締役鍵和田暢雄氏に深く感謝する。

## 文 献

- 1) 萩原, 高橋: 1963年日本金属学会名古屋大会にて発表—日本金属学会誌に投稿中