

## 厚鋼板の超音波欠陥におよぼす精錬・造塊条件の影響\*

(キルド鋼中大型介在物の生成機構について—I)

富士製鉄, 中央研究所

工博 小池 与作・満尾 利晴  
高見 敏彦・北村 征義

Effect of Refining and Casting Conditions on the Ultrasonic Defect of Heavy Steel Plates (On the mechanism of large inclusion formed in killed steel— I)

Dr. Yosaku KOIKE, Toshiharu MITSUO

Toshihiko TAKAMI and Masayoshi KITAMURA

### 1. 緒 言

キルド鋼のいわゆる沈殿晶部に発生する大型介在物の生成機構は, 古くからかなりの研究<sup>1)~5)</sup>がおこなわれてきているが, その機構はきわめて複雑でまだ定説を得るには到っていないのが現状である. 本報告は機構究明のための第一段階として, 5 t 電気炉を用い, 厚鋼板の超音波欠陥におよぼす精錬・造塊条件の影響を調査したものである.

### 2. 実験条件および方法

一般に Al キルド厚鋼板の超音波欠陥は鋼塊底部相当位置に発生するといわれ, その主要因は  $Al_2O_3$  系の大型介在物であるといわれている. これらの点を考慮し, 本実験では重点的に次の三条件の影響を調査した.

① 注入温度, 注入速度, 鋳型定盤温度その他により総合的にきまる鋳型内にたまった溶鋼の温度の影響 (特に注入温度の影響): 本実験では出鋼後の取鍋での鎮静はおこなっていないので注入温度のコントロールは出鋼温度によつておこなつた. 出鋼および注入温度の目標値は高温注入の場合がそれぞれ  $1650^{\circ}C$ ,  $1570^{\circ}C$  であり, 低温注入の場合は  $1580^{\circ}C$ ,  $1520^{\circ}C$  とした.

② 溶鋼中 Al 濃度の影響: Al を全く添加しないものから sol. Al 濃度で  $0.07\%$  まで変化させた.

③ Al 添加法の影響: 添加場所として炉内添加, または, 取鍋添加をおこなつた. 前者の場合は Al 添加後十分に溶鋼の攪拌をおこなつた後出鋼し, 後者の場合は出鋼終了後, できるだけストッパーに近くかつ垂直方向にインゴット Al を溶鋼中に突込んで添加した.

溶解数: 10 チャージ, 供試鋼種: 60 キロ級高張力鋼 (C 0.15, Si 0.30, Mn 1.30), 鋼塊単重: 6 t, 造塊法: 上注ぎ (一本注ぎ)

鋼塊寸法: 押湯下 488 mm (厚)  $\times$  1055 (巾)  $\times$  1417 (高さ)

底 部 448 mm  $\times$  1035

スラブ寸法: 195 mm (厚)  $\times$  1050 (巾)  $\times$  3260 (長さ)

鋼板寸法: (Heat 9, 10 以外) 30 mm (厚)  $\times$  4900 (巾)  $\times$  3600 (長さ)

なお, スラブの段階で試料として頭部より 12%, 底部より 3% 採片した. Heat 9, 10 はそれぞれ 21%, 12% 採片している. これらの実験条件を Table 1 に示す. Heat 1, 2 は sol. Al 0.030%, Heat 3~6 は  $0.020\%$  を目標にした. また, 結晶粒度調整用として Heat 7 は若干量の Ferro-V, Heat 8, 9 は Ferro-Nb を添加した. Heat 10 は低 Si, 高 Al 鋼で鍋下分析値は C 0.18%, Si 0.08, Mn 1.62, sol. Al 0.07 である. 注入温度は扁平の透明石英管 (扁平部の外径約 4 mm) を先端に取り付けたイメージジョン熱電対で注入流を測温した.

### 3. 実験結果

#### 3.1 鋼板の超音波探傷結果

鋼板はまづ全面, 超音波探傷をおこなつた. その結果の一例を Fig. 1 に示す. ここで黒でマークした部分は 25dB より大きな欠陥のある領域を示している.

探傷条件: 周波数 5MC, 振動子径 20 mm, 接触媒質: 水・マシン油・グリセリン, 感度: CRT 50% = 25dB

#### 3.1.1 注入温度の影響

低温注入の Heat 1, 3, 5, 7, 8, 10 はボトム片に相当多量の超音波欠陥が発生し一部トップ片にまでおよん

Table 1. Refining and casting conditions.

Heat No.	Amount of Al added	Method of Al addition	Tapping temperature	Teeming temperature	Mold temperature before teeming	Inner dia. of nozzle	Teeming rate
1 2	1.0 kg/t	In furnace	1582°C 1660	1512°C 1567	Room temp. 120°C	40 mm "	484 mm/min 625
3 4	0.47	In ladle	1572 1670	1512 1577	Room temp. 110	" "	492 600
5 6	0.62	In furnace	1581 1637	1535 1578	Room temp. 120	" "	446 587
7	None		1580	1539	Room temp.	"	527
8 9	None		1570 1631	— 1560	Room temp. 110	" "	497 576
10	1.25	In furnace	1569	—	Room temp.	"	534

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 103 昭和42年5月12日受付

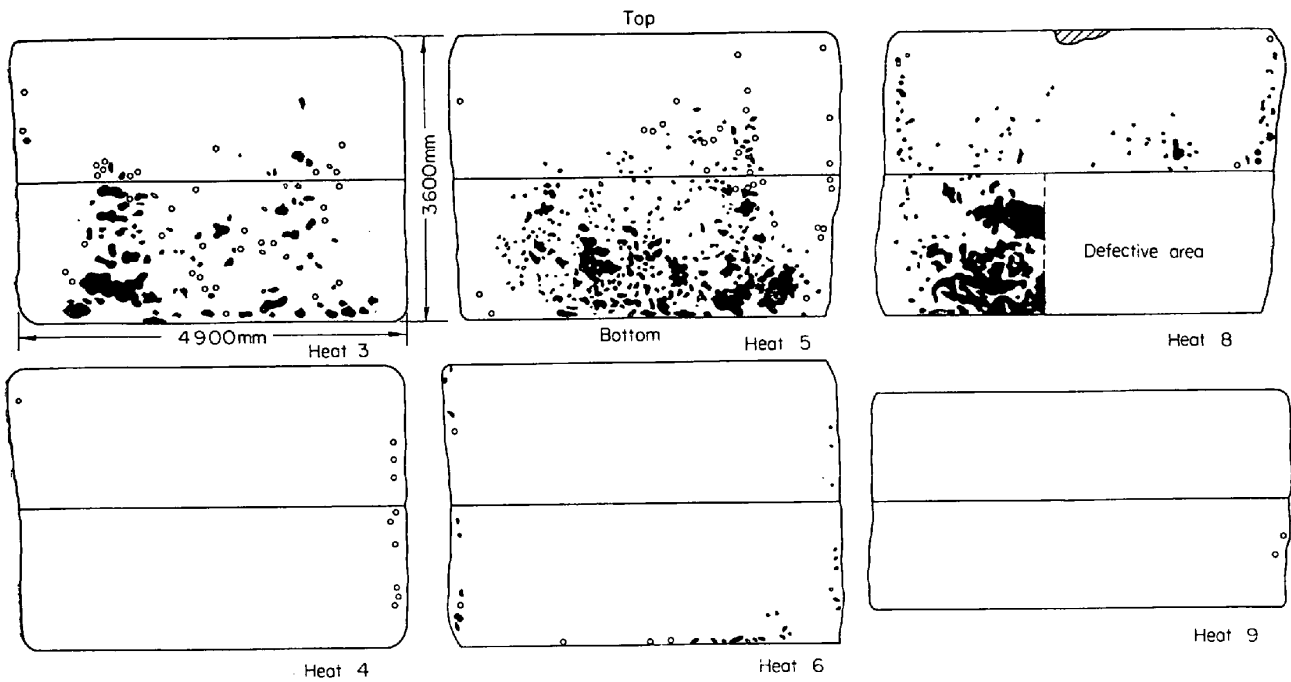


Fig. 1. Distribution patterns of defects in plates detected by ultrasonic testing.

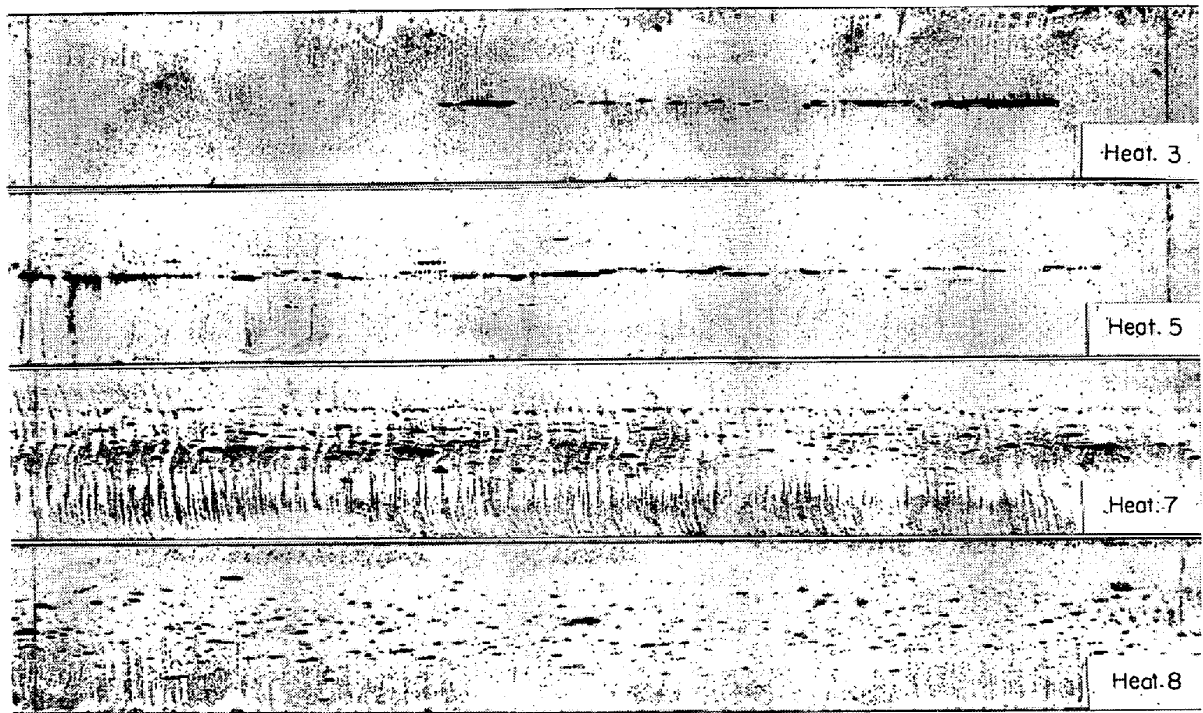


Photo. 1. Typical magnetic particle patterns of defects in plates detected by ultrasonic testing.  $\times 2/3$

ているものがある。一方、高温注入を行なった Heat 2, 4, 6, 9 では欠陥がかなり軽減している。

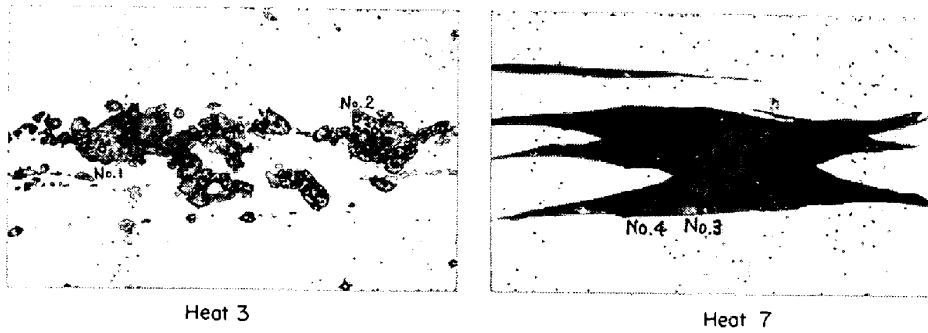
### 3.1.2 Al 添加量, 添加法の影響

Al 添加量としては全く添加しないものから、最高溶鋼 t 当り 1.25 kg と変化させた。これは溶鋼中 Al 濃度を変化させることにより、介在物組成の変化つまり介在物の浮上性の改善、また、溶鋼の表面活性剤である酸素濃度をコントロールすることにより溶鋼の表面張力の変化にもとづく介在物の浮上性の改善を期待しておこなったものである。しかし低温注入の場合に発生した底部の

欠陥を改善することができず、また、添加法による明確な差異も出ていない。それよりはむしろ注入温度の因子による影響が著しい。

### 3.2 鋼板欠陥部の磁粉探傷結果

Heat 3, 5, 7, 8 のボトム片超音波欠陥部より試片をガス切断し、切断面の磁粉探傷をおこなった。その代表的な結果を Photo. 1 に示す。探傷条件：全波整流 通電々流 1500~2000Amp. 連続湿式法 蛍光性磁粉使用 Al 添加、低温注入の Heat 3, 5 は大型のインディケーションが認められるが、Al を使用していない Heat 7,



EPM-analysis

Position	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Position	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CoO	FeO
No. 1	93%	No. 3	40%	32%	13%	4%	5%	7%
No. 2	96	No. 4	41	35	10	4	5	5

Photo. 2. Large inclusions detected by ultrasonic testing. ×400 (3/5)

8は板厚方向で広い範囲にわたり長さ数mm程度のインディケーションが多数存在している。つまり同じ超音波欠陥でも Al 添加のものとそうでないものではインディケーションの出方が異なっている。

3.3 介在物検鏡結果

代表的鋼板として Heat 3, 6, 7, 8 から各種試料を採取し調査した。試料採取位置は、所定位置 20 個所と欠陥部である。Heat 3 の欠陥部より切り出した試料は、既に肉眼でラミネーションが認められ、その個所には Photo. 2 に示すように圧延方向に連続的に大型の高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物が存在している。温硝酸法により抽出した介在物の X線回折の結果、大部分は α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と同定された。なお、一部には Ca が若干検出される部分もあつた。一方、頭部には大型介在物はほとんどなく、小型の硫化物、単独の小型 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> およびこれらの二相介在物である。Heat 6 は頭部、中部、底部とも 10μ 以下の小型 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が大部分で大型介在物はほとんど観察されなかつた。Al を添加していない Heat 7 の欠陥部介在物は Photo. 2 に示すように圧延方向によく伸びた大型

の MnO-SiO<sub>2</sub> 系介在物である。なお、最終凝固位置である押湯下も磁粉探傷、検鏡をおこなつたが底部に存在するような大型介在物は認められなかつた。つまり超音波欠陥の発生しない個所には大型介在物は存在しない。

3.4 酸素分析結果

真空溶融法による酸素分析結果を Fig. 2 に示す。Heat 6 は全体的に 30~40 ppm で位置による差はほとんどなく、若干縁部がその内側より高い程度である。一方これに対し同じく Al を添加し欠陥の発生した Heat 3 は頭部では 20~50 ppm と低いが底部にいくにしたがつて高くなり、特に底部の中央部や欠陥部では 90~200 ppm と非常に高い値を示している。Heat 7, 8 も同様に頭部の健全部では 40~90 ppm であるが、底部にいくにしたがつて増加し底部では 100~200 ppm の値を示している。

4. 考 察

低温出鋼・注入をおこなうと再現性よく超音波欠陥を発生させることができ、その出方は鋼塊底部相当位置を中心とした山型の広がりをもっている。そして、その広がり沈殿帯よりなお広い領域にわたっている。また凝固時の溶質原子の濃化が最も起る頭部側は比較的大型介在物が少なくなっている。一方、高温出鋼・注入をおこなうと欠陥がかなり軽減する。そしてこのことは、Al 脱酸に比し温度降下にもとづく二次脱酸量の多い Si 脱酸においても同様である。これらの結果より大型介在物の生成機構に関し次のように考える。すなわち、高温注入の場合、鑄型に注がれた溶鋼中に既に存在した介在物は凝固が進行してくる以前に浮上除去される。一方、低温注入の場合、鑄型に注がれた溶鋼中に既に存在し成長しつつあつた介在物が、底部の溶鋼の粘性の増大に

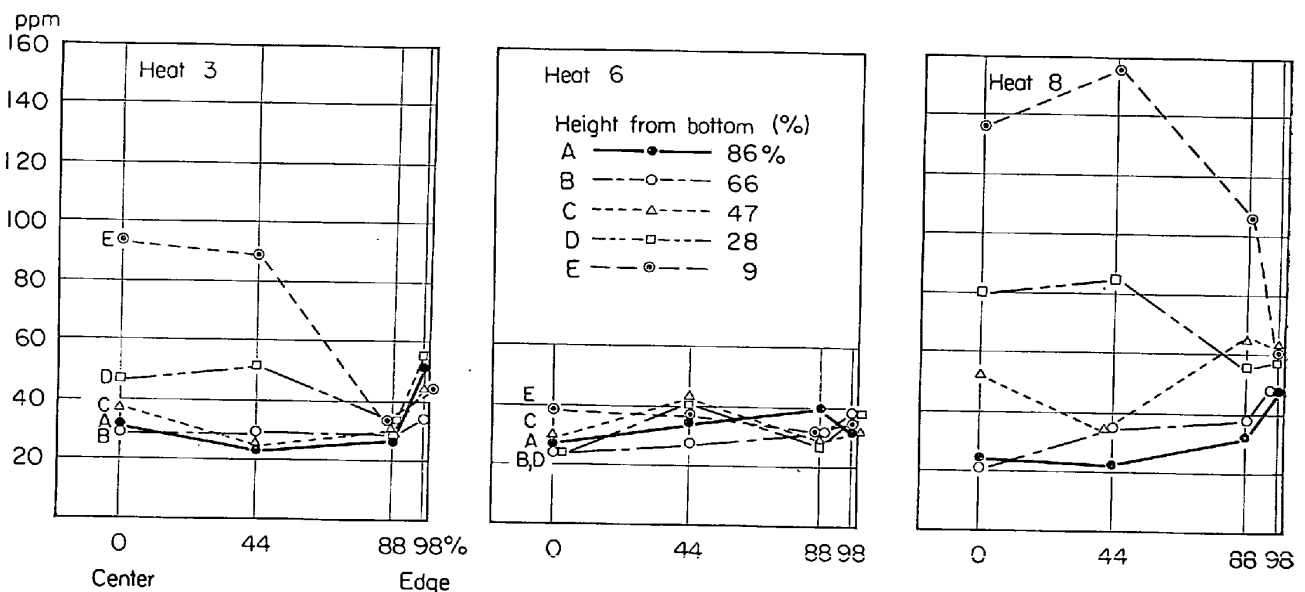


Fig. 2. Distribution of oxygen in the plates.

より浮上分離できず鋼塊底部に捕捉される。ただ、本機構は一要因のみで律せられるものでなく総合的な見地からの究明が必要で、今後さらに検討を加えていく予定である。

### 5. 結 言

大型介在物生成機構究明のための第一段階として、6 t 電気炉により、厚鋼板の超音波欠陥におよぼす精練・造塊条件の影響を調査した。その結果、注入温度は大型介在物生成の重要な因子であることがわかった。

### 文 献

- 1) J. H. S. DICKENSON: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 113 (1926), p. 177
- 2) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 428
- 3) 田尻: 学振19委資料 7520 (昭和39年4月11日)
- 4) 森, 他: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 419
- 5) 小池, 他: 鉄と鋼, 43 (1957), p. 122

## 下注ぎキルド鋼塊の底部における組織的不均一性について\*

神戸製鋼所, 中央研究所

理博, 工博 成田 貴一・谷口 政行

神戸製鋼所, 神戸工場

久次米 章・山田 史郎

On the Structural Non-uniformity in the Lower Portion of Killed Steel Ingot Made by Bottom Pouring

Dr. Kiichi NARITA, Masayuki TANIGUCHI  
Akira KIJIME and Shirō YAMADA

### 1. 結 言

一般に下注ぎキルド鋼塊の造塊に際して、溶鋼の注入温度が低い場合、あるいは鑄型内における溶鋼の保温が不十分な場合には、その鋼塊の底部に相当する圧延鋼片の断面に、“湯模様”欠陥とよばれている巨視的な不均一組織を生ずることがある。しかしこの湯模様の性状と発生機構はまだあきらかにされていない。そこで本報では、この湯模様の性状、発生機構ならびにその防止対策について2, 3の検討をおこなった結果を報告する。

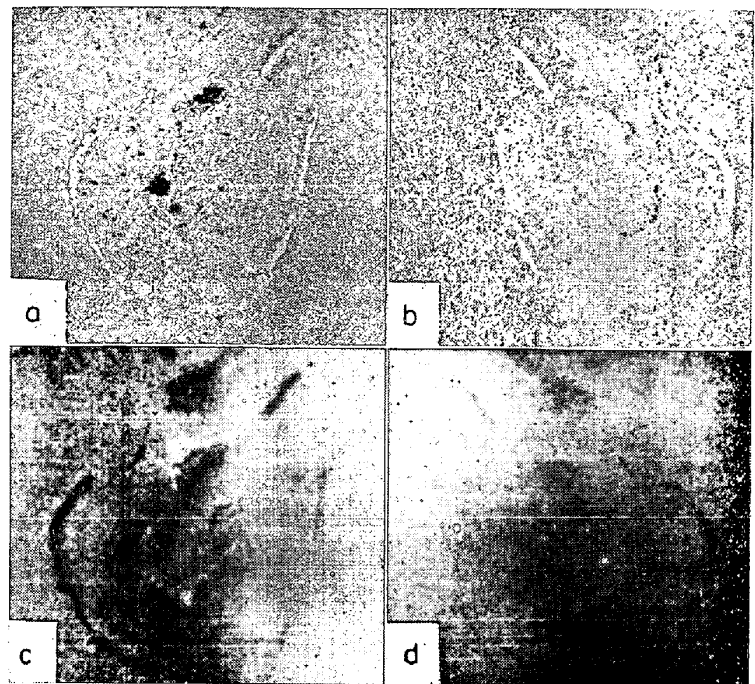
### 2. 鋼片による予備実験およびその結果

湯模様は鋼片の断面で観察される組織的な不均一性にもとづく欠陥であり、溶鋼の凝固過程中に形成されるものと考えられる。したがってその発生機構を知るためには凝固鋼塊そのものを調べる必要があるが、そのまえにまず湯模様の概略の性状を知っておくために、湯模様の発生している鋼片を用いて2, 3の予備実験をおこなった。すなわち鋼片の湯模様発生部の横断面より板状試料を採取し、そのマクロ組織、サルファー・プリント組織およびオートラジオグラフ組織を観察した。その結果の1例をPhoto. 1に示す。Photo. 1のc)とd)のオートラジオグラフは後放射化法すなわち試料を原子炉で放射化する方法によつて撮

影したものであり、c)は試料中の $^{56}\text{Mn}$ の濃度分布をd)はおもに $^{64}\text{Cu}$ の濃度分布を示している。これらはMnとCuの放射化断面積が他の元素にくらべてきわめて大きく、しかも生成される $^{56}\text{Mn}$ と $^{64}\text{Cu}$ の半減期にかなりの差があることを利用して同一試料について撮影したものである。白く写っている部分がMnとCuの正偏析部に相当し、d)にみられる点状の正偏析はMnを含んだ比較的大型の介在物によるものである。これらの結果より、湯模様は鋼片の断面では、その中間部から中心部にかけて発生する成分偏析および比較的大型の介在物をともなつた環状の巨視的な不均一組織であることがわかる。

### 3. 試験鋼塊の溶製および実験方法

50 t 塩基性平炉で溶製した溶鋼(S40C)を上広角鑄型に下注ぎ法によつて注入し、4 t 下注ぎ鋼塊をつつた。このとき湯模様を人為的に発生させるため、過去の経験にもとづいて注入速度を普通よりおそくし(注入時間約11 min)、フラ灰などの保温剤は使用しなかつた。また湯模様の発生には注入過程あるいは注入終了後の鑄型内における溶鋼の流れが関係していると予想されるので注入の初期と末期の溶鋼にそれぞれAuおよびTaをトレーサーとして加えた。Auは注入初期の1 min間、Taは注入末期の2 min間に加え、しかもその間に注入される溶鋼中のAuとTaの濃度が一定(Au:0.02%, Ta:0.06%)になるように分割投入した。つぎにこの試験鋼塊の底部縦断面および横断面より板状試料を採取しこれに放射化オートラジオグラフ法を適用して、鋼塊における湯模様の発生位置、形状ならびに湯模様部の凝固組織、成分偏析などを調べた。一方注入の初期と末期に加えたAuとTaの鋼塊内における分布状態を観察し、その結果より鑄型内における溶鋼の流れの状況を調べ、



a : Macrostructure  
c : Autoradiograph,  $^{56}\text{Mn}$   
b : Sulphur print  
d : Autoradiograph,  $^{64}\text{Cu}$

Photo. 1. Structural non-uniformity found in the cross section of billet.  $\times 1(4/5)$

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号I12 昭和42年5月18日受付