

Table 4. Conditions of ingot making.

Mold No.	Teeming temp. (°C)	Rate of teeming (mn/t)	Time to dumping after teeming end (mn-s)	Teeming time (mn-s)
(1)	1530	0.67	5.52	2.28
(2)	1520	0.52	5.45	2.20
(3)	1545	0.62	6.28	1.02

においても鋼塊の凝固速度は鋼塊の表面より内部に進むにつれて変化し、同一関係式で表現することは困難であることがわかった。

#### (2) 鋼塊の隅角部と面における凝固

前項に述べた3種類の鑄型につき実験した造塊条件は Table 4 のとおりである。鋼塊の隅角部と面の凝固スキンの状況を調査した結果、鑄型(1)では鋼塊の全長にわたって隅角部の厚さが面に比して5~10mm少ない。鑄型(2)では鋼塊底部は隅角部の厚さが面よりやや大であるが中央以上では少なくなっている。また鑄型(3)では溶鋼量が少なかったため他の鑄型との比較はやや困難であるが隅角部が面に比してやや厚いようである。この実験によりコルゲート鑄型以外の鑄型では鋼塊の凝固は(i)面よりも隅角部の方が遅れる傾向があり、とくに(ii)隅角半径の大きい場合にその傾向は顕著である。

(i)については隅角部の凝固壁は溶鋼静圧にたえて空隙を早期に形成するが面部では溶鋼静圧により凝固壁が鑄型内壁に押しつけられ空隙の形成がおくれるためと考えられる。コルゲート鑄型では面部も隅角部に類似の形状であるため両部分の凝固厚さの差がない。(ii)については隅角半径の大きいものは小さいものに比して空隙が大きく、そのため凝固の遅れが起ると考えられる。

#### IV. 結 言

この実験の結果によれば鋼塊の凝固速度は単一の拋物線などで表わされるものでなく凝固の初期、中期、末期で異なる。鋼塊凝固の初期では凝固スキンの厚さは普通の鑄型では面よりも隅角部が薄い。この傾向を軽減する

には隅角半径、鑄型肉厚などの適正なことが必要である。

### (88) 鋼塊の凝固条件が内部性状におよぼす影響について

特殊製鋼

平野 昇・〇鈴木紀政・石川英次郎

#### Influence of Freezing Conditions on Internal Structure of Ingots.

Noboru HIRANO, Michimasa SUZUKI  
and Eijiro ISHIKAWA

#### I. 緒 言

品質の良い鋼材を得るための一大要因は健全な鋼塊をつくることである。このため真空中で溶解・造塊を行なうことが戦後急速に工業的規模にまで発達し盛んに行なわれていることは周知のとおりである。そこで筆者らはもつとも基本的な場合として、大気中で高周波炉により13% Cr ステンレス鋼を溶解後いろいろの凝固条件の下にて角20kg 鋼塊を鑄造し、これらの条件が鋼塊の内部性状におよぼす影響を研究した。つぎに消耗電極式真空アーク炉により製造した同鋼種の100および200kg 鋼塊とそれらを鍛圧した鋼材を調査した。本報告はこれらの鋼塊を縦断したものと上記鋼材とを調査した結果について報告する。

#### II. 試 験 要 領

##### 1. 大気中製造供試材

333 kVA 酸性高周波誘導電気炉にて13% Cr ステンレス鋼を溶製し、その取鍋試料分析値は Table 1 に示すとおりである。この溶鋼を形状および寸法の異なるいろいろの鑄型に注入し角20kg 鋼塊を鑄造した。これら鋼塊の内には鑄型を振動して鑄造したものと、高周波磁場内に鑄型を設置して注入・凝固したものが各1本含まれている。これらの鋼塊を平面切削盤にて切削し、軸心をとる縦断面をヘール仕上げ後、1:1 塩酸にて強腐食しマクロ組織を調査した。

Table 1. Chemical composition of test ingots.

Test No.	Chemical composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Sol. Al	Insol. Al	Total Al
A-1	0.13	0.31	0.27	0.017	0.012	0.20	12.92	0.76	0.009	0.002	0.011
A-2	0.13	0.26	0.33	0.019	0.026	0.40	13.65	0.17	0.007	0.002	0.009
A-3	0.17	0.30	0.24	0.012	0.016	0.51	13.40	0.17	0.008	0.002	0.010
A-4	0.14	0.36	0.34	0.014	0.015	0.20	12.43	0.13	0.006	0.002	0.008

## 2. 真空中製造供試材

1t 真空アーク炉にて SUS 22 の 100 および 200kg 鋼塊を製造した。鋼塊は 2 部分に縦断し、一方は軸心をとる縦断面のヘール仕上後塩酸法によりマクロ腐食し肉眼検査を行なった。また各所より分析試料を採取し偏析を調査した。他方の部分は角 50mm 鋼片に鍛伸し超音波探傷、非金属介在物、マクロ組織、電解研磨および海水試験などを調査した。

### III. 試験結果および考察

#### 1. 大気中製造鋼塊マクロ腐食組織について

(1) 鋼塊のテーパーの影響 テーパーが 10・5, 20・0, 27・6 および 40・0% と大きくなるにつれて鋼塊の内部性状は良好となり、20% を超えると loose structure を発生していない。

(2) 鋼塊の高巾比の影響 テーパーがほぼ等しく高巾比が 1・7 と 2・6 の場合には、鋼塊中心部に発生している不良部分の長さや鋼塊本体の長さの比は前者は 34%、後者は 60% である。すなわち高巾比の小さいほど内部性状は良好となることは周知のとおりである。

(3) 鑄型の肉厚の影響 鑄型の肉厚を 70 および 10mm とした。いわゆる片肉の厚い鑄型を用いた鋼塊のマクロ腐食組織は鋼塊中心部のユルミが鋼塊軸心より肉厚の薄い側によつていいる。これは溶鋼が最後に凝固した部分が薄肉側によつていいることを示している。また鑄型の中央部の肉厚を厚くした鑄型を使用した場合鋼塊のマクロ組織は粒状晶が多くなるが中心部の欠陥はほとんど減少していない。

(4) 鑄型および鑄型台の材質の影響 鑄型の材質として熱伝導度の異なる砂、鑄鉄または銅を使用した場合、また鑄型台を煉瓦、鑄鉄または水冷銅製のものを使用した場合の鋼塊のマクロ組織を比較すると、砂型または水冷式銅製鑄型台を用いた場合の鋼塊には中心部のユルミをほとんど発生していない。

(5) 凝固時における振動の影響 エアープイプレーターを鑄型の頭部に取り付け注入の開始より振動を与え注入終了後なお 15 分間振動を継続した場合に鋼塊のマクロ組織は中心部のユルミが減少していない。文献に

よれば振動の効果のあることが述べられているから、さらに大きい振動エネルギーを与えて試験する必要があると思われる。

(6) 高周波磁場内における凝固の影響 1000 cycles 333 kVA 高周波炉内に鑄型を設置して通電し、高周波磁場内にて溶鋼を鑄型に注入し、注入後もなお 15 分間通電を継続した。切電後鋼塊はそのまま炉中冷却した。この鋼塊のマクロ組織は良好にして中心部のユルミは見受けられない。この良好の原因が溶鋼に高周波振動を与えて凝固させたという単に電氣的な影響ばかりでなく、鋼塊がきわめて徐冷されたこともいふん含まれているかどうかをさらに検討するつもりである。以上の結果と従来の研究論文とを総合して熱学および金属の凝固理論などに基いて考察した結果はつぎのごとくである。(a) 鑄型内の溶鋼の冷却速度 ( $\partial\theta/\partial t$ )、または温度勾配 ( $\partial\theta/\partial x$ ) を非常に大にすれば内部性状を良好にできる。すなわち鋼塊全体を急冷するか、またはきわめて徐冷するのである。(b) 鑄型内の溶鋼が凝固する際垂直方向の冷却速度を水平方向のそれより大にすると内部性状は向上する。(c) 鑄型を高周波磁場内に置いて溶鋼を注入、凝固させると内部性状を良好にするのにいちじるしい効果がある。以上の結論から真空アーク炉製造法は合理的であり、つぎに述べる調査結果においても優秀な鋼塊および鋼材を得ている。

#### 2. 真空アーク炉製鋼塊および鋼材の試験結果

(1) 縦断鋼塊 (a) マクロ組織は Photo. 1 に示すごとく 100 および 200kg 鋼塊とも一部分にわずかのピットと周辺のスキンホールがあるのみで他には欠陥がなく優秀である。磁場内冷却を行なった 100kg 鋼塊 (SL-406) はその影響のため柱状組織に流れが認められる。(b) 成分偏析は Table 2 に示すごとく C は頭部で、Mn, Si は全般にやや変動しているが他元素はほとんど変動していない。なお Mn は電極母材分析値と比較すると減少している。O および total sand は Table 3 に示すごとく一般大気材に比較しいちじるしく減少している。

(2) 角 50mm 鋼片 超音波探傷、マクロ組織は

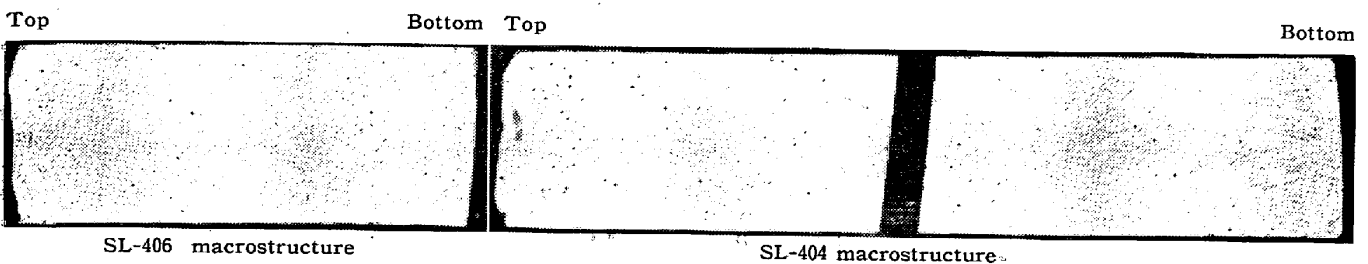


Photo. 1. Macro-etch structure of ingots melted by a vacuum arc furnace.

Table 2. Distribution of chemical composition.

Sample No.	Chemical composition (%)						Remarks
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
SL 404— 1	0.13	0.65	0.32	0.013	0.013	13.60	Top
— 2	0.13	0.68	0.39	0.014	0.013	13.60	
— 3	0.10	0.66	0.37	0.013	0.012	13.63	Upper middle
— 4	0.10	0.64	0.34	0.012	0.011	13.63	
— 5	0.10	0.66	0.32	0.013	0.010	13.63	
— 6	0.10	0.66	0.34	0.013	0.009	13.65	Middle
— 7	0.11	0.65	0.32	0.013	0.010	13.65	
— 8	0.11	0.66	0.33	0.013	0.012	13.60	
— 9	0.10	0.66	0.33	0.013	0.010	13.63	Lower middle
— 10	0.10	0.63	0.33	0.013	0.010	13.65	
— 11	0.10	0.64	0.33	0.013	0.010	13.60	
— 12	0.10	0.64	0.33	0.013	0.011	13.63	Bottom
— 13	0.11	0.65	0.35	0.013	0.011	13.63	
— 14	0.11	0.64	0.32	0.013	0.011	13.57	
— 15	0.12	0.66	0.34	0.013	0.012	13.57	
$\bar{x}$	0.108	0.652	0.337	0.013	0.0106	13.622	
s	0.0142	0.0122	0.0191	0.0004	0.00136	0.0213	

SL 406— 1	0.13	0.66	0.40	0.013	0.013	13.57	Top
— 2	0.14	0.65	0.43	0.014	0.013	13.65	
— 3	0.12	0.37	0.37	0.013	0.011	13.63	Upper middle
— 4	0.11	0.62	0.36	0.013	0.011	13.65	
— 5	0.12	0.64	0.41	0.013	0.015	13.54	
— 6	0.12	0.64	0.37	0.013	0.011	13.60	Middle
— 7	0.11	0.60	0.35	0.012	0.011	13.60	
— 8	0.10	0.64	0.35	0.012	0.011	13.60	
— 9	0.12	0.63	0.35	0.013	0.011	13.54	Lower middle
— 10	0.10	0.61	0.35	0.013	0.011	13.60	
— 11	0.11	0.61	0.34	0.012	0.011	13.57	
— 12	0.10	0.62	0.35	0.013	0.011	13.63	Bottom
— 13	0.11	0.56	0.33	0.013	0.011	13.57	
— 14	0.10	0.60	0.31	0.013	0.011	13.60	
— 15	0.11	0.58	0.33	0.013	0.011	13.60	
$\bar{x}$	0.113	0.617	0.359	0.0128	0.0115	13.61	
s	0.0113	0.0262	0.0311	0.0016	0.00115	0.0269	

Table 3. Distribution of nonmetallic inclusions and gas content.

No. of ingot	Locations	Nonmetallic incl.		O	N	Total Al	Total sand
		dA	dB+C				
SL 404	Top	0.013	0.021	0.0024	0.013	0.045	0.0057
	Upper middle	—	—	0.0020	0.014	0.035	0.0034
	Middle	0.013	0.013	0.0018	0.014	0.040	0.0080
	Lower middle	—	—	0.0019	0.013	0.038	0.0061
	Bottom	0.017	0.013	0.0020	0.012	0.037	0.0067
SL 406	Top	0.017	0.021	0.0028	0.014	0.036	0.0040
	Middle	0.017	0.025	0.0045	0.011	0.041	0.0063
	Bottom	0.017	0.021	0.0043	0.011	0.039	0.0065

欠陥なく介在物は大気材の 1/3 以下に減少しガス、サンドの減少とともに清浄度、電解研磨、海水試験結果などいちじるしく改善されている。

IV. 結 言

鋼塊のV偏析にともなつて cavity, loose structure など内部欠陥の発生しやすい 13% Cr ステンレス鋼を大気中溶解しいろいろの凝固条件で鋼塊を鑄造し、その

内部性状と凝固条件との関係を研究した。つぎに優秀な内部性状をえられると推察する真空アーク炉製 SUS 22 の鋼塊と鋼材を調査した。以上の結果つぎの結論をえた。

- (1) 鋼塊の形状は鍛圧加工上支障のない限りテーパは大、高巾比は小とすれば内部性状は良くなる。
- (2) 鑄型の肉厚が内部性状におよぼす影響はあまり

大きくない。

(3) 鋼塊の凝固条件としては鋼塊全体が一様に急冷されるか、逆にきわめて徐冷されるのが理想的であり、内部性状の改善要因である。

(4) 高周波磁場内での凝固は内部性状の向上に効果的である。

(5) 真空アーク溶解した鋼塊の内部性状、ガス、サンド、清浄度などは大気材と比較していちじるしく改善される。なお高速度鋼その他 2, 3 の鋼種についてもさらに調査を進めているので後日報告するつもりである。

## (89) ベータトロンによる鋼塊収縮孔形状と造塊条件に関する研究

日本鋼管技術研究所

坂本 幸夫・耳野 亨

○宮内 皓一郎・山口 哲夫

東京都立アイソトープ総合研究所

小林 昌敏・原 宏

Study on the Relation between Types of Shrinkage Pipe by Means of Betatron and Casting Conditions.

Yukio SAKAMOTO, Tōru MIMINO,

Kōichiro MIYAUCHI, Tetsuo YAMAGUCHI,

Masatoshi KOBAYASHI and Hiroshi HARA

### I. 緒 言

当社では丸鋼塊からマンネスマンピルガー方式により 6in~14in の継目無鋼管を製造しているが、この鋼塊における収縮孔の形状は脱酸が完全に行なわれていても、セミキルド鋼のような状態を呈することもあり、(本報告では花形収縮孔と呼ぶ) また同一定盤内でも収縮孔形状が相当に変化しているようであることが経験上知られていた。しかしこれまでは非破壊状態で鋼塊収縮孔形状を知る方法がなく、明確な結論をうることができなかつた。しかるに数年前より、ベータトロン透過撮影装置が工業化され直径 350mm 程度の鋼塊の透過撮影が可能となり、非破壊にて収縮孔形状の調査ができるようになったので、その装置を利用して収縮孔形状変化の状況と造塊条件との関連性を調査した。

なお本調査に使用した装置は、東芝製 15 MEV ベータトロン撮影装置 (東京都立アイソトープ総合研究所所有) で線量率は放射孔において約 10 r/mm 直径約 300 mm の鋼塊で 3mm 程度の欠陥判別能を有するもので

ある。

## II. 試験方法

### 1. 試験鋼塊

試験に供した鋼塊は 60 t 平炉で溶製した。鑄型は頭部内径 308, 底部内径 320, 高さ 1250mm の丸形鑄型である。造塊は水張押湯法で 1 溶解は 18 本立 (1 定盤) 5 定盤に注尺 1150mm (鋼塊単重 650kg) を目標として下注ぎをした。鋼種はキルドガス管材である。

### 2. 造塊条件

試験はそれぞれの目的に応じて 3 回に分けて行なつた。第 1 回の溶解は同一定盤内の収縮孔形状のバラツキを見るため、とくに条件を変えることなく造塊し、その内 1 定盤 12 本を選定し試験鋼塊とした。第 2 回は収縮孔形状に変化をおよぼす原因となるような条件、すなわち溶鋼温度・水掛け量・定盤配置・押湯量を、同一鋼管内で定盤ごとに変えて造塊し、4 定盤 21 本について調査した。第 3 回の溶解については、さきの結果より見てとくに重要と思われた押湯量および水掛け量を変えて造塊し、2 定盤 15 本を試験鋼塊とした。型抜後、試験鋼塊は押湯の効き方を調査する目的で鋼塊高さを測定し、ついでベータトロンによる透過撮影を行ない収縮孔の形状および寸法を造塊条件について解析した。

## III. 試験結果

### 1. 造塊状況

それぞれの試験におけるレードル分析値、出鋼温度を Table 1 に示す。これより出鋼温度が第 1 回の試験において若干低目のほかは特に異常はない。また湯上り速度も変りなかつた。

鋼塊注尺については第 1 回分は測定しなかつたが、第 2 回目においては押湯した定盤は注入管に近い方が高く、注放しの定盤は注入管に近い方が低くなつた。押湯の効き方は同一湯道の鋼塊の湯のバランスを考えると、注尺の高い鋼塊は早期に湯引けを生じ、押湯はあまり効かず、高さの低い鋼塊がもつとも押湯が効いたものと思われる。

第 3 回の場合は押湯したものは注尺が揃い、いずれも均等に押湯が効き、注放しにしたものは高さが不揃いで

Table 1. Testing conditions.

Groups	Ladle analysis (%)						Tapping temperature (°C)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
1 st	0.16	0.30	0.54	0.015	0.013	0.12	1640
2 nd	0.12	0.25	0.54	0.015	0.016	0.10	1670
3 rd	0.16	0.29	0.46	0.016	0.013	0.08	1672