

論 文

UDC 669.15, 24, 28-194 : 621.746, 583-982 : 621.746.019 : 620.184

大型鋼塊底部に現われる異常組織について*

鈴木 章**・新実 高保***・永田弘之***
田中 重明***・岩田 至弘****・別所 勇****

On the Unusual Columnar Zone near the Bottom of a Large Ingot

Akira SUZUKI, Takayasu NIMI, Hiroyuki NAGATA,
Shigeaki TANAKA, Yoshihiro IWATA, and Isamu BESHIO

Synopsis

Unusual zones with columnar structure were observed near the bottom of the 100 t ingot. Metallographic examination of the unusual zones has shown that the growth direction of one zone differs from those of other zones. This means that unusual zones originally solidify elsewhere and finally settle in the sedimental zone.

As it has previously been proposed that the top surface of the ingot is the place where the unusual zones originally solidify, the existence of the frozen top crust was checked at the hot top of a 120 t ingot. Some of the top crust could be picked up in the relatively early stage of solidification of the ingot and their structure was also columnar.

A small scale experiment using Al-0.2%Cu alloy proved that the top crust formed by putting a chill block on the top surface of the ingot sank to near the bottom of the ingot.

(Received Feb. 20, 1974)

1. 緒 言

鋼塊のマクロ組織はチル層、柱状晶帯および等軸晶帯の1つまたはそれ以上の領域で構成されている。最近の研究によつて、これらの領域の生成機構はほぼ解明されたが、実際の鋼塊には容易に説明できないような組織がしばしば観察される。鋼塊底部の異常組織もその1つで、大型鋼塊の介在物(砂きず)の起源との関係で注目され最近しばしば報告されている^{1)~6)}。ここでいう異常組織とは、鋼塊縦断面マクロ組織で底部付近の沈でん晶帯中に帯状に存在するもので、柱状晶帯とほぼ同様のデンドライト組織を呈するものである。本研究は100 t 鋼塊底部で観察された異常組織を調査してその生成機構を推定し、これを小型実験により実証しようとしたものである。

2. 調査方法および結果

2.1 100 t 鋼塊底部の調査

真空鑄造した Ni-Mo 鋼 100 t 鋼塊の底部約 5.3 t を鑄造のままの状態で切りとり、その中心縦断面について

組織を調査した。溶鋼は出鋼脱ガス後 1580°C で真空鑄造した。鑄造中の真空度は 3~7 mmHg であつた。鍋下試料の分析結果を Table 1 に示す。

鋼塊底部縦断面のサルファープリントを Photo. 1 に、そのマクロ組織を Photo. 2 に示す。Photo. 2 から明らかのように、底部のマクロ組織は鋼塊表面付近に柱状晶帯があり、内部は沈でん晶帯になつている。そして沈でん晶帯の中に柱状晶帯と同様の組織を示す異常層が観察される。異常層の厚さは調査断面で 30~60 mm である。

Table 1. Chemical composition of ingots (%) (ladle analysis).

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
100 t ingot	0.27	0.05	0.59	0.012	0.011	3.72	0.14	0.50
120 t ingot	0.36	0.27	0.81	0.010	0.016	0.10	0.11	0.03

* 昭和48年4月本会講演大会にて発表
昭和49年2月20日受付

** (株)神戸製鋼所高砂工場 工博

*** (株)神戸製鋼所高砂工場

**** (株)神戸製鋼所中央研究所

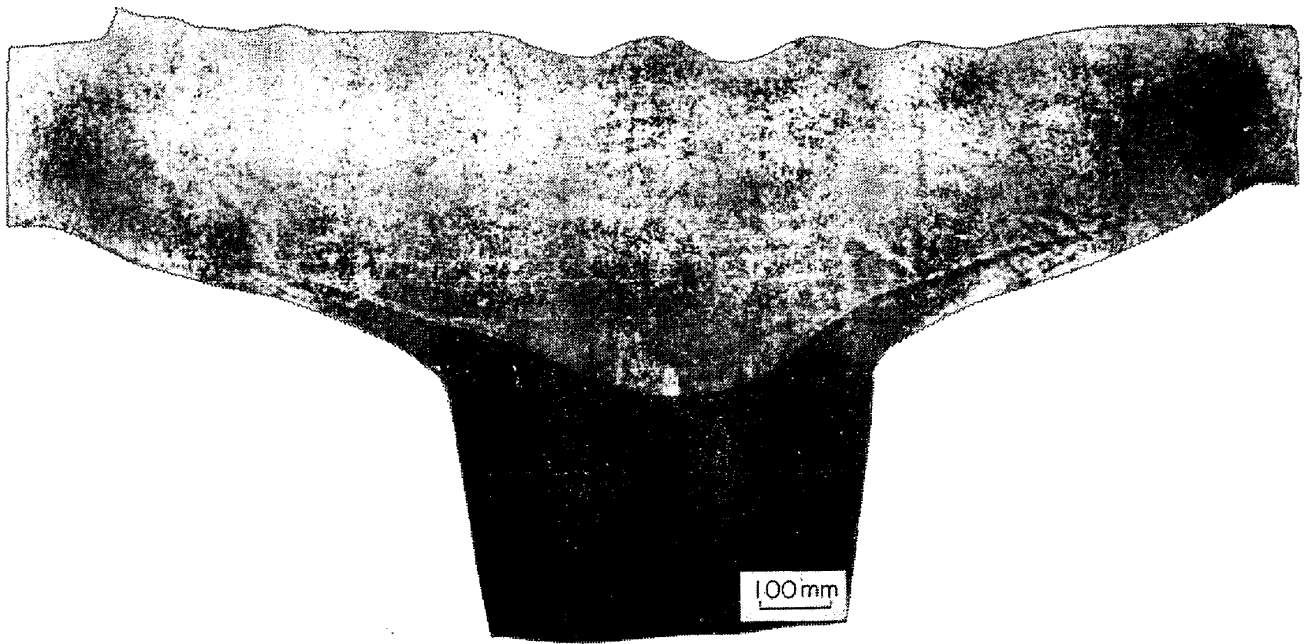


Photo. 1. Sulfer print of the bottom part of 100 t ingot.

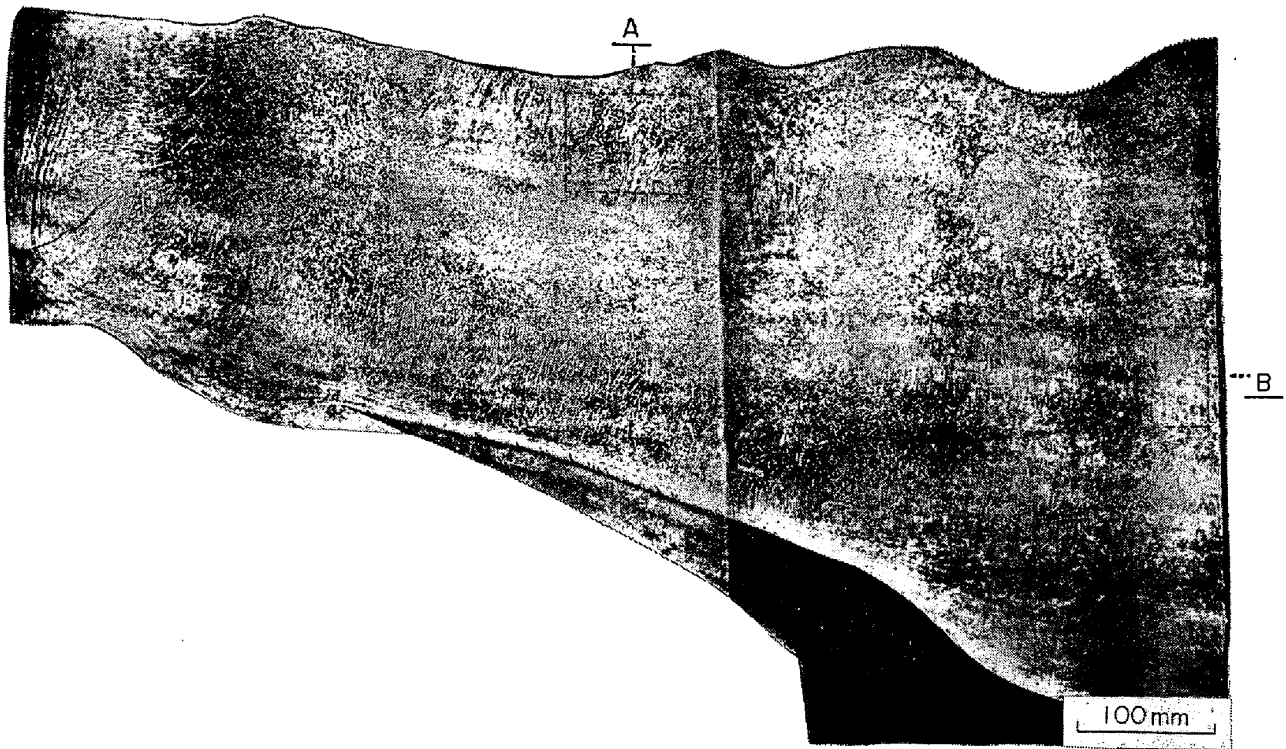


Photo. 2. Macro-structure of the bottom part of 100 t ingot.

異常層の組織をもう少し詳細に見るために、Photo. 2のA、B部を拡大して Photo. 3 に示す。Photo. 3 からAとBはその成長方向が反対のように思われるので、デンドライトの成長方向に直角な断面でこれを調べてみた。Photo. 4、Photo. 5にこれら断面の組織を示す。1次アームの間隔を測定するまでもなく、Photo. 4、Photo. 5からAは鋼塊の下方から上方へ、Bは上方から下方に

成長したものであることが明らかである。

以上の調査結果からつぎのことが考えられる。異常層は柱状晶帯と同様の組織であるから、ある温度勾配の下で凝固したと考えられる。等軸晶がほとんど沈降した後その上澄みが柱状晶として凝固することはしばしば観察されるが、異常層が Photo. 2 のように沈でん晶帯の中にあり、この場所で柱状晶として凝固するような条件は

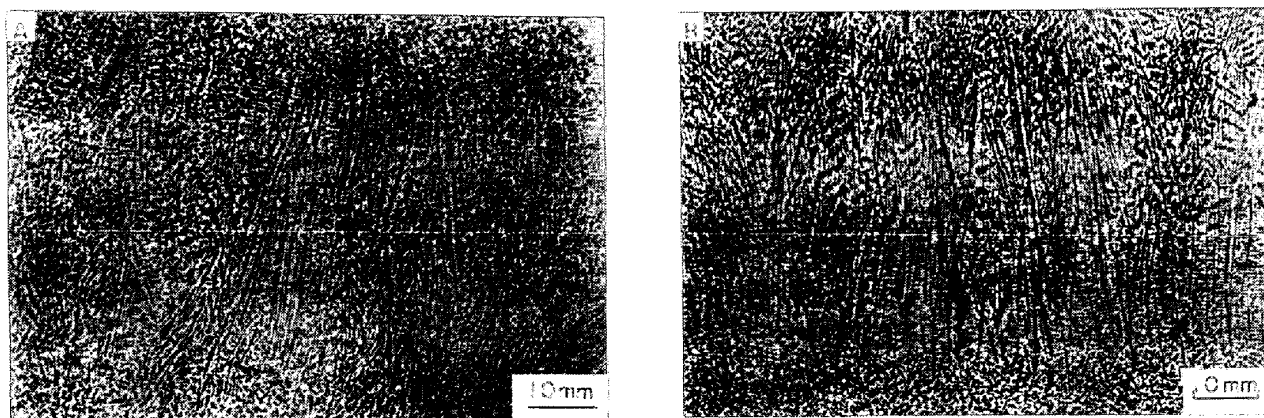


Photo. 3. Unusual "Columnar Zone" in sedimental zone of 100 t ingot, A and B correspond to A and B in Photo. 2 respectively.

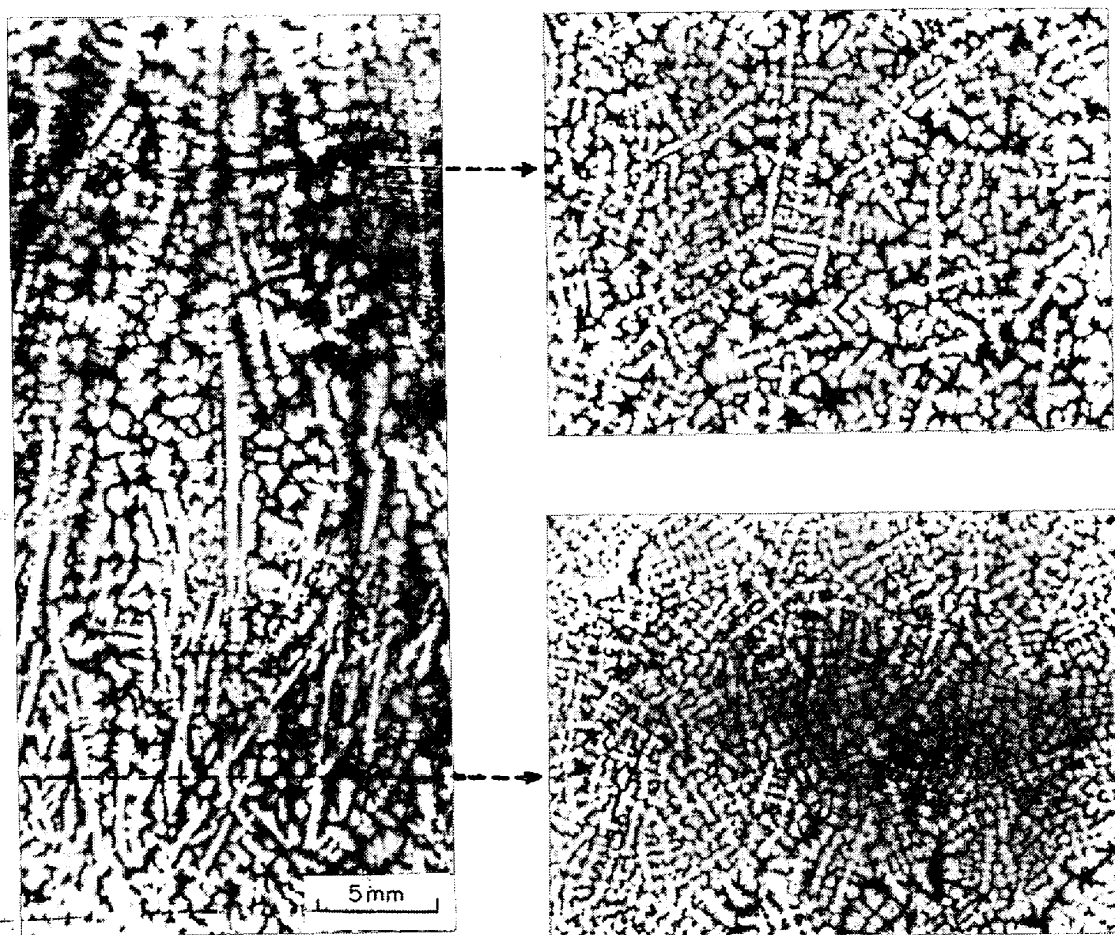


Photo. 4. Morphology of dendrites in unusual "Columnar Zone" A.

きわめて考えがたい。たとえ沈でん晶帯中で異常層が凝固したとしても、温度勾配は鋼塊表面から内部へ向つているので、底部付近では下方より上方へ成長するのが当然であると考えられる。しかし Photo. 5 の結果は上方より下方へ成長したものがあることを示した。このことは異常層が鋼塊底部沈でん晶帯内で凝固したものではな

いこと、したがって鋼塊内のどこかで生成した後鋼塊底部に運ばれてきたことを意味するものである。また異常層の2次アームの間隔を測定した結果 $400\sim 700\mu$ で、鋼塊表面付近の柱状晶帯の $200\sim 400\mu$ と比べて明らかに大きく、これは柱状晶帯よりも固液共存状態に長時間存在したことを示しており、Photo. 4 の粗大化が相当進

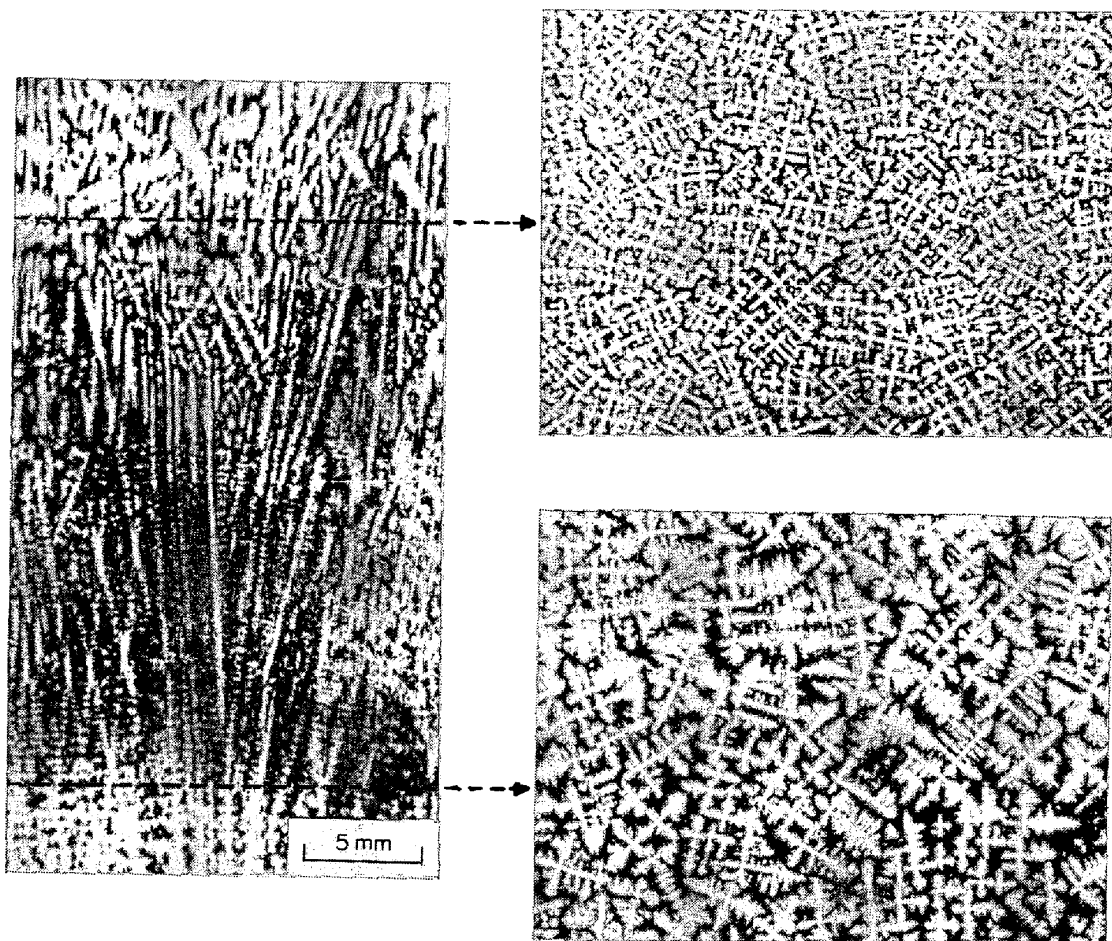


Photo. 5. Morphology of dendrites in unusual "Columnar Zone" B.

行している dendライトの状況も以上のことを裏付けるものであろう。このような異常層の生成場所としては COMON and BASTIEN³⁾ が提案しているように鋼塊押湯表面で生成したもので、これが沈降して鋼塊底部に堆積したと考えるのが最も妥当であり、沈降途中に上下反転することも大いにありうるものと思われる。

また、異常層の存在位置から、 $D = k\sqrt{t}$ を用いてその沈積時期を推定することができる。Dは凝固層の厚さ、tは凝固時間そしてkは凝固定数である。しかし Photo. 1 からわかるように、鋼塊底部にシェーが溶着している状況からみて、凝固開始の時期を推定するのが困難である。これは溶鋼によつてシェーが一部溶融し、再び凝固するからであり、異常層が底部表面から比較的近いところにあるためにとくに問題になると思われる。Photo. 1 の異常層Bは鋼塊とシェーの溶着面から約 120 mm の所にあるからkを $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ とすれば、凝固時間は 36 min となる。この鋼塊の鑄込時間は 33 min であつたので鑄込終了後ではあるが、なお沈積時期としてははやすぎると考えられる。これは鑄込開始時を凝固開始時としたためであり、その不都合さは上述の説明によつて理

解されるであらう。

2.2 120 t 鋼塊押湯表面凝固層の調査

つぎに押湯表面凝固層の生成を確認するために、前述の 100 t 鋼塊とまったく同様の鑄造方法によつて炭素鋼 120 t 鋼塊を鑄造し、その押湯表面から凝固層を採取し調査した。溶鋼は出鋼脱ガス後 1585°C で真空鑄造し、鑄造終了後真空を破つてから約 25 min 後に凝固層を採取した。鍋下試料の化学分析結果を Table 1 に示す。

採取した凝固層は厚さ約 20~25 mm で、その縦断面の組織は Photo. 6 に示すように柱状晶であり、2次アームの間隔は $150\sim 200 \mu$ である。またこの凝固層は押湯表面から下方の鋼塊内部に向つて凝固したことは明らかであるので、表面に近いところおよび遠い部分の横断面 (dendライトの成長方向に対して) の組織を調べた。Photo. 6 では予期されるように表面に近い断面の方が1次アームの間隔が小さくなつている。

以上の結果は表面凝固層が押湯保温材などによつて一部が再溶解し、鋼塊内を沈降し底部凝固殻の上に定着することによつて、鋼塊底部の異常層が生成する可能性がきわめて大きいことを示している。

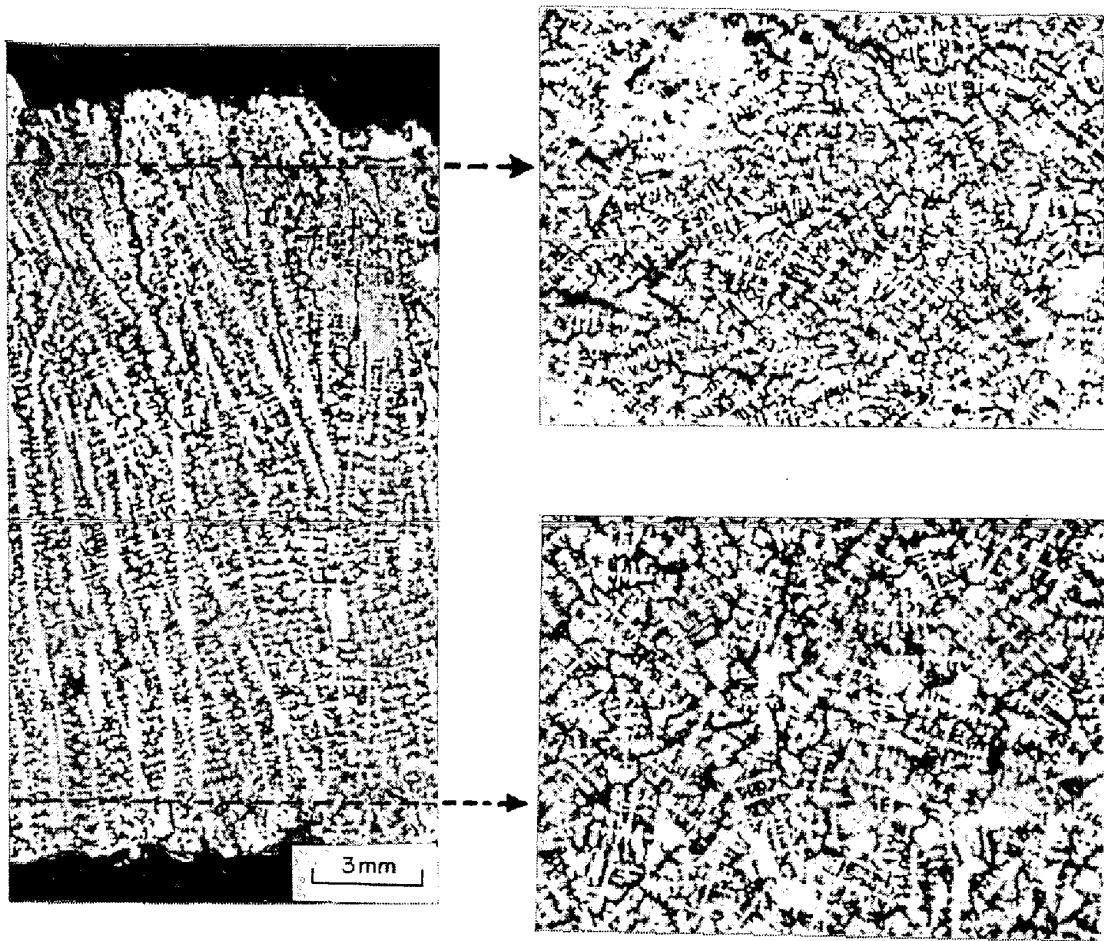


Photo. 6. Dendritic structure of "Top Crust" solidified at the top surface of 120 t ingot.

3. 小鑄塊による異常層の生成実験

以上のような現象が容易におこりうるかどうかを調べるために、Al 合金の小鑄塊を用いて実験を行なった。使用した鋼製鑄型の形状寸法を Fig. 1 に示す。供試材としては 99.99%Al および Al-50%Cu 母合金を用いて成分調整を行なった Al-0.2%Cu 合金を用いた。溶解はエレマ炉でアルミナるつぼ内で行なった。一溶解 3.5 kg とし、融解後フラックスにより脱ガスを行ない、150°C に予熱した鑄型に 720°C で注入した。720°C の注入温度は、Photo. 7 にその結果を示すように注入温度を変えた実験で、マクロ組織が 100% 柱状晶となるような注入温度として選ばれた。注入後直ちに鑄塊上表面に 70 mm φ×50 mm の鋼製チルブロックを静かにのせた。凝固冷却後鑄塊を縦断し組織を調査した。Photo. 8 にマクロ組織および鑄塊中央底部と鑄塊上表面付近のミクロ組織を示す。写真から明らかなように、鑄塊の大部分がセル状のサブ組織を示しているのとは異なり、粗大なデンドライト組織が鑄塊底部に認められた (Photo. 8 (b))。こ

のような組織が観察された場所で生成したということは組織の粗さからみて考えがたく、チルブロックと接触して鑄塊上表面で生成したデンドライト層が沈降したものであると考えられ、鑄塊上表面付近にはデンドライト層の残存しているのが Photo. 8 (c) に明らかに認められる。

さらにこのようなデンドライト層の沈降現象を確認するために、鑄型の底から約 35 mm の高さのところに 40 mesh のステンレス鋼金網を水平に挿入し、同様の実験を行なった。鑄塊断面のマクロ組織を Photo. 9 に、鑄塊中央部金網上方のミクロ組織を Photo. 10 に示す。これらの写真から、金網の上方に前と同様のデンドライト層が観察され、上表面凝固層が沈降することが確認できた。すなわち鑄塊底部にみられたデンドライト組織の起源は、鑄塊の上表面デンドライト層であり、その一部が分離沈降して生成したものである。

4. 考 察

以上の調査ならびに小規模実験によつて、大型鋼塊底

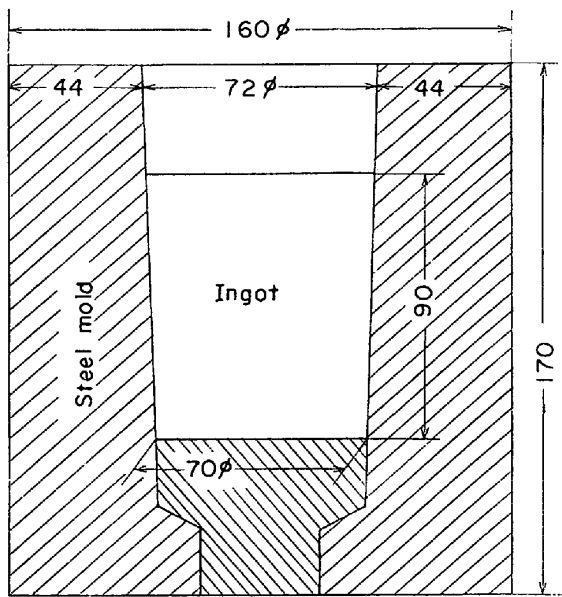


Fig. 1. Mold assembly.

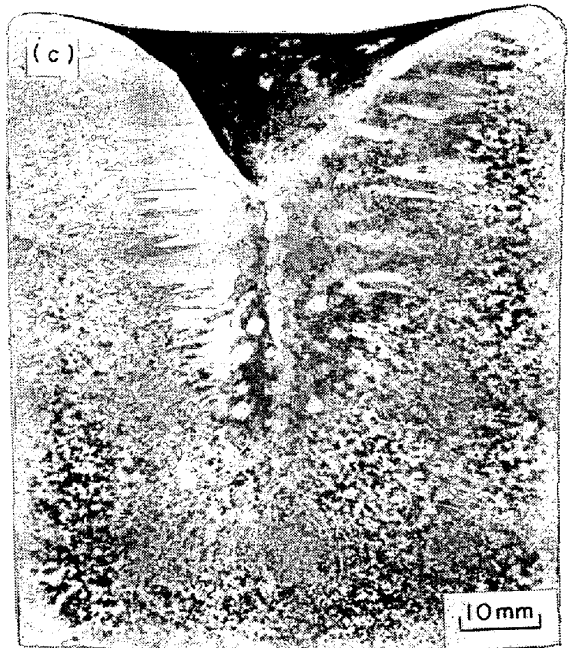
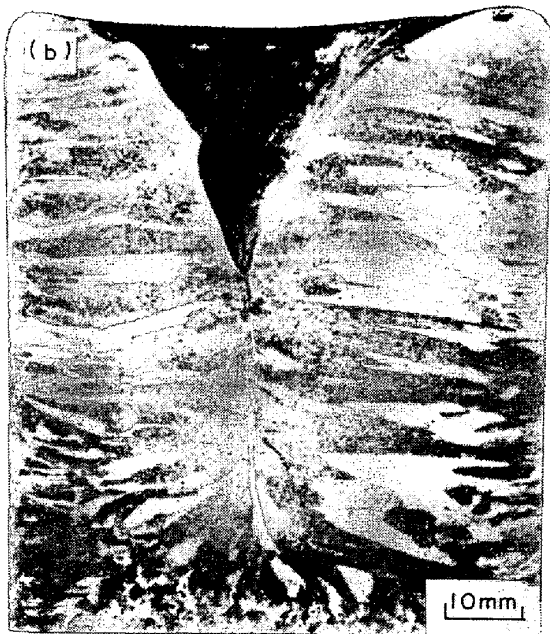
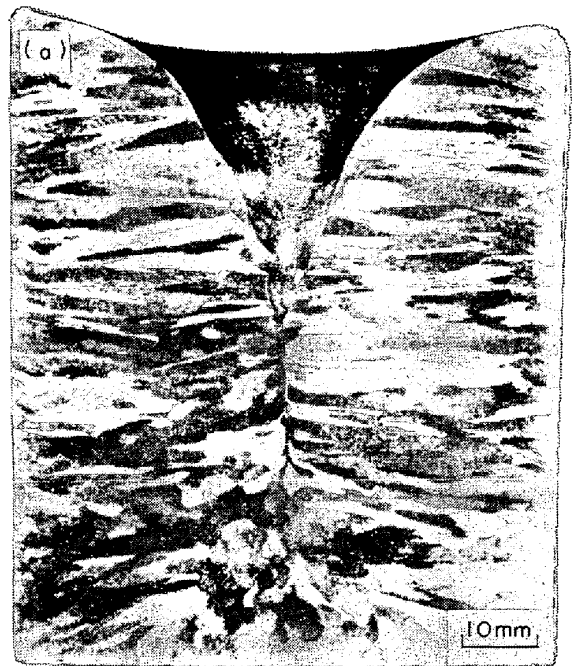


Photo. 7. Macro-structures of Al-0.2%Cu alloy ingots poured at (a) 720°C, (b) 680°C, (c) 670°C.

部の異常組織の生成機構を解明することができたが、なお2, 3の問題について検討してみよう。

第一の問題は押湯表面凝固層がどうして形成されるかということである。BOGDANOVA and MASLOVA¹⁾は表面凝固層についてはふれていないが、鋼塊底部の異常組織が押湯保温材の種類によつて出現したりしなかつたりすることを報告し、根本ら²⁾は発熱パウダーによつて鋼塊頭部表面に凝固層が発達するとのべている。本研究で調査した大型鋼塊の場合もほぼ同様と思われるが、鑄造後

真空を破ると直ちに生ずる酸化膜から凝固層が発達することが考えられる。

このようにして生じた押湯表面凝固層の沈降のきつかけは何かというのが第二の問題である。Al合金鋼塊の実験からも推測できるように、パイプの生成により鋼塊上表面が平らでなく中央ほどへこむために、表面凝固層が機械的に破壊されることが考えられる。また、大型鋼塊の場合には、ややおくれて効果をあらわす押湯保温材が表面凝固層の一部を再溶解し、表面凝固層がいくつか

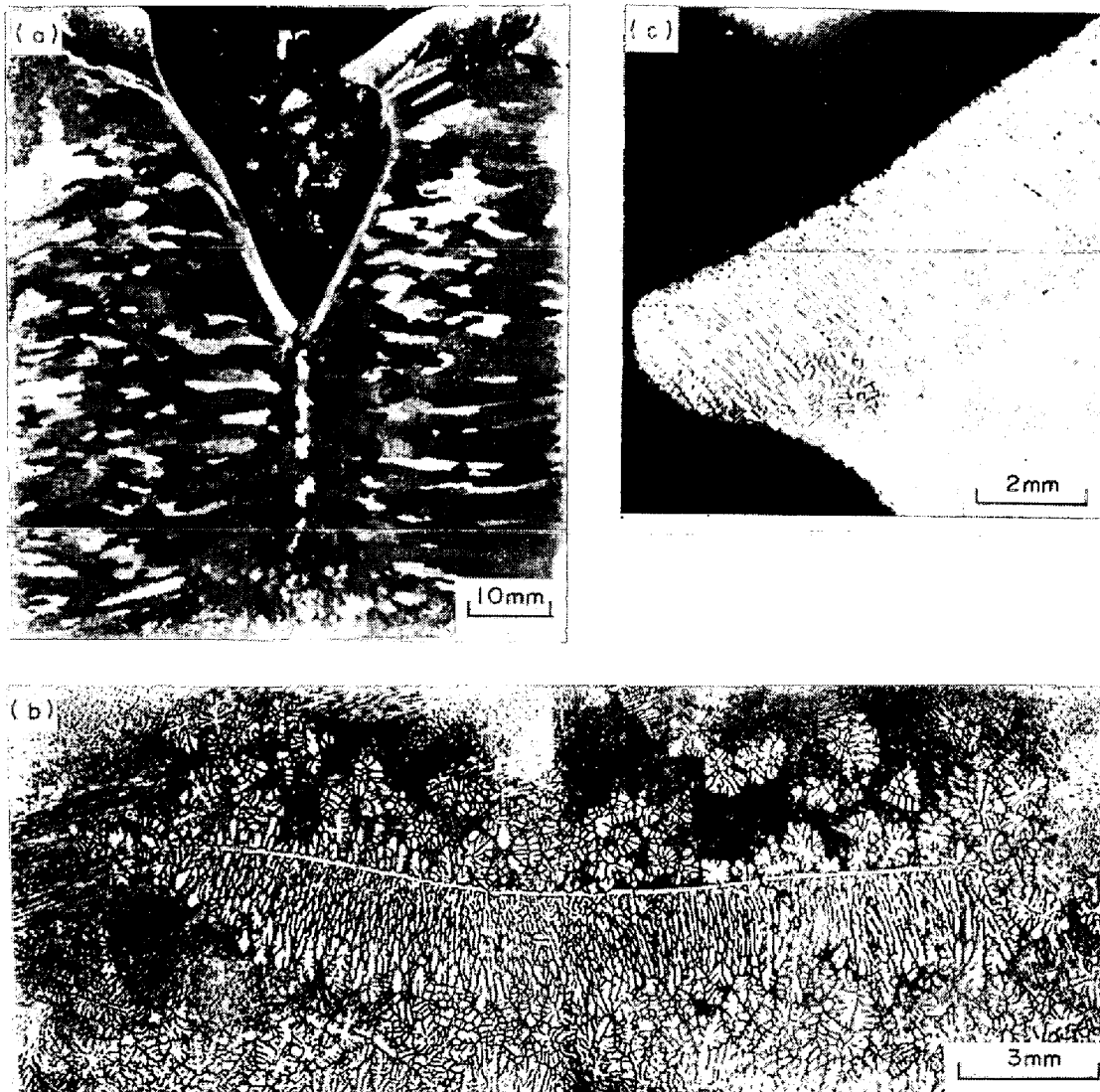


Photo. 8. Macro-structure of Al-0.2%Cu ingot chilled the top surface by the steel block, (a), micro-structure of the bottom part of ingot showing unusual "Columnar Zone" (b), and micro-structure of "Top Crust" (c).



Photo. 9. Macro-structure of Al-0.2%Cu ingot cast with a stainless gauze inserted in the mold.
(上部を1/3割愛いたしました)

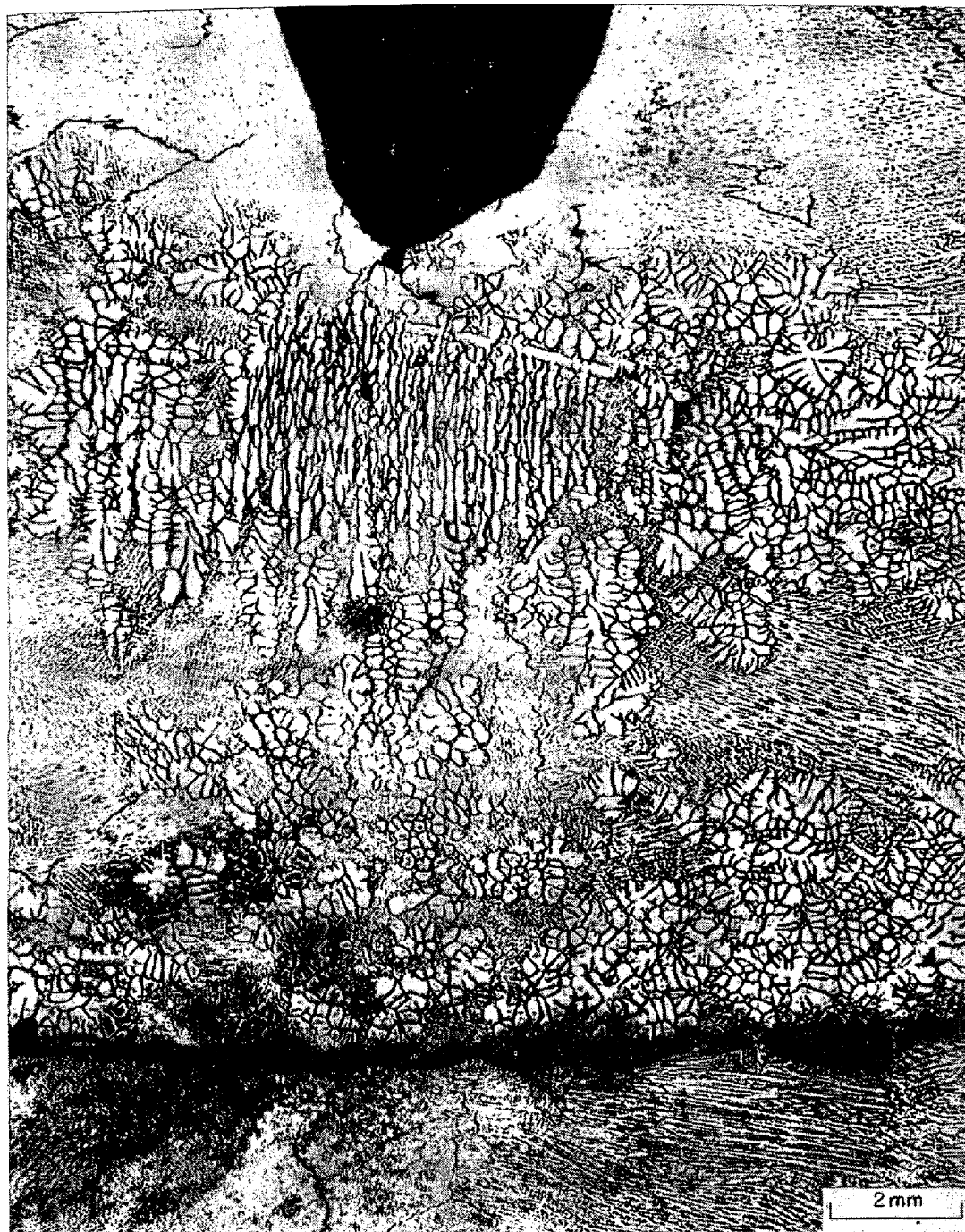


Photo. 10. Micro-structure of a part over the gauze in ingot.

の破片に分かれることが考えられる。

第三の問題はこのようにしてできた凝固層の破片が鋼塊中を沈降する間に、なぜ溶解してしまわないのかということである。その理由の一つは鑄造後比較的短時間の間に溶鋼の過熱が失なわれて液相線温度になつてしまうからである。また鋼塊底部の異常組織は沈でん晶帯の中にあり、異常層が沈降してきたときには溶鋼中に多くの沈でん晶が存在していたことを示している。沈でん晶のような結晶片でも再溶解するには大きな過熱が必要であ

ることが報告されているので、相当大的な異常層は当然未溶解のまま残るものと思われる。しかし異常層のデンドライト間の部分は沈でん晶の粒間の部分と同様に凝固するので、異常層デンドライトは Photo. 5 にみられるような粗大化が進行したと考えられる。

5. 結 論

鋼塊底部に発生する異常組織についてその生成機構を明らかにするため、100 t 鋼塊底部の異常組織を調査し、

その結果推定された生成機構を、小型実験によつて確認することができた。えられた結果はつぎのとおりである。

1) 100 t 鋼塊底部の異常組織は沈でん晶帯中にあり、柱状晶帯と同様の組織を示す。

2) この柱状デンドライトの断面形態からその成長方向を推定したところ、異常組織によつて成長方向がまったく反対のものが認められた。またデンドライトの2次アームの間隔は鋼塊表面の柱状晶帯よりも大きい。

3) 以上のことから、異常組織は押湯表面凝固層が起源で、これが沈降したものであることを推定し、120 t 鋼塊の押湯表面から凝固層を採取して、その存在とそれが柱状デンドライト組織であることを確認した。

4) Al-0.2%Cu 合金の小鑄塊を用いて、表面凝固層の沈降により鑄塊底部にデンドライト層が生成することを実験によつて証明することができた。

以上の結果、100 t 鋼塊の底部に認められた異常組織は、真空鑄造後押湯表面に生成した凝固層が押湯保温材

などにより部分的に再溶解し、凝固層の破片が比較的大きいまま沈降することによつて生成したものであることを明らかにすることができた。

おわりに、Al 合金鑄塊の実験を行なつて下さつた(株)神戸製鋼所高砂工場中村実人氏および中央研究所坂本敏正氏に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) N. G. BOGDANOVA and V. N. MASLOVA: *Stal in English*, (1963), p. 646
- 2) 成田, 谷口, 久治米, 山田: 鉄と鋼, 53(1967), p. 1231
- 3) J. COMON and P. BASTIEN: *Rev. Met.*, 65 (1968), p. 13, BISI Translation 6732
- 4) 鈴木, 福本, 谷口: 鉄と鋼, 58(1972), p. 60
- 5) 根本, 宮下, 北川, 阪本, 小谷野, 安齊: 鉄と鋼, 58(1972) 4, S-78
- 6) R. B. SNOW: 6th Int. Forgemasters Meeting (1972)
- 7) T. E. STRANGMAN and T. Z. KATTAMIS: *Met. Trans.*, 4(1973), p. 2219