

- 2) Report on Hetero of Steel Ingot, 7th Report. J. Iron & Steel Inst. (London) (1937), p. 12
- 3) J. A. BURTON, R. C. PRIM, W. P. SLICHTER: J. Chem. Phys., 21 (1953), p. 1987
- 4) 中川, 百瀬: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 29
- 5) 中川, 百瀬, 谷口: 学振資料 19 委 7938 (1965)

(82) 3 t 砂型鋼塊の凝固過程における測温結果について

(大型鋼塊負偏析部の生成機構と酸化物系介在物の成因との関係に関する研究—Ⅲ)

日本製鋼所, 室蘭製作所研究所

理博 中川 義隆・○百瀬 昭次

On Results of Temperature Measurement in 3-ton Sand Steel Ingot during Solidification Process.

(Studies on relations between mechanism of formation of inverse segregation and formation of oxide inclusions in large steel ingots—Ⅲ)

Dr. Yoshitaka NAKAGAWA and Akitsugu MOMOSE.

1. 緒 言

負偏析部の生成機構ならびにこの部分に発生する酸化物系介在物の生因を究明するためには, 鋼塊の凝固過程における溶質原子の挙動を調べると同時に, 凝固機構を解明することが必要である. この中前者についてはすでに第Ⅱ報で報告した. そこでこれに引続き後者に対する1つの試みとして第Ⅰ報, 第Ⅱ報における同一形状の3 t 砂型鋼塊について, 凝固過程中的鋼塊内部の連続測温を行ない, その結果に基づいて負偏析部の生成機構ならびに酸化物系介在物の成因を考察した. 以下その結果をとりまとめて報告する.

2. 実験方法

第Ⅰ報, 第Ⅱ報における同一形状の砂型を用い, あらかじめ Fig. 1 に示した位置に 0.5 mm φ の Pt-Pt-Rh 熱電対をセットした. 熱電対の保護要領としては各種試験結果から最適なものを検討し, Fig. 2 に示した方法を採用した. ついでこれに 6 t エル—式塩基性電気炉で溶製した第ⅠおよびⅡ報におけるものと同一組成の中炭素鋼 (化学成分: C 0.25, Si 0.38, Mn 0.69, P 0.018, S 0.014) を 1535°C (測温は immersion pyrometer による) で下注法により鑄込み保温剤および薬で押湯を保温した. 以後凝固終了まで連続測温を行なった.

3. 実験結果ならびに考察

Fig. 1 中 C₂ の位置の測温は, 鑄込時に保護管が破損したため不能となったが, 他の位置での測温はいずれも凝固終了まで行なうことができた. 測温結果は Fig. 3 のとおりである. つぎにこれに基づき 2, 3 の考察を行なつてみる.

3.1 負偏析部における凝固の遅滞

図中 No. 4 は負偏析部の中心部における温度曲線に相当している. これによれ

ば負偏析部の中心部での温度は鑄込終了後約 1 hr で 1500°C まで降下し, 以後約 2 hr にわたつて一定に保持されている. この長時間にわたる温度の保持は, この部分における凝固直前の溶鋼中の炭素量が, 第Ⅱ報における試料採取結果から 0.30% 前後と推定されることから, 包晶凝固(鉄-炭素二元系では炭素量が 0.07~0.36% の範囲で行なわれ, 包晶線の温度は 1486°C である)によるものと考えられる. このような考えに立脚すると, この部分では少なくとも鑄込終了後約 1 hr ですでに凝固を開始していたことになり, 負偏析中心部での凝固開始時期はかなりはやいことが推定される. 一定に保持された後, 温度は徐々に降下し, 保持終了から約 50 min 後に 1450°C 近くに達して凝固を終了している. この間凝固開始から終了まで約 3 hr とかなり長時間にわたつている. これは柱状晶部の凝固が鑄込終了後約 30 min で終了している(第Ⅰ報参照)のに較べはるかに長く, 第ⅠおよびⅡ報で指摘した負偏析部における凝固の遅

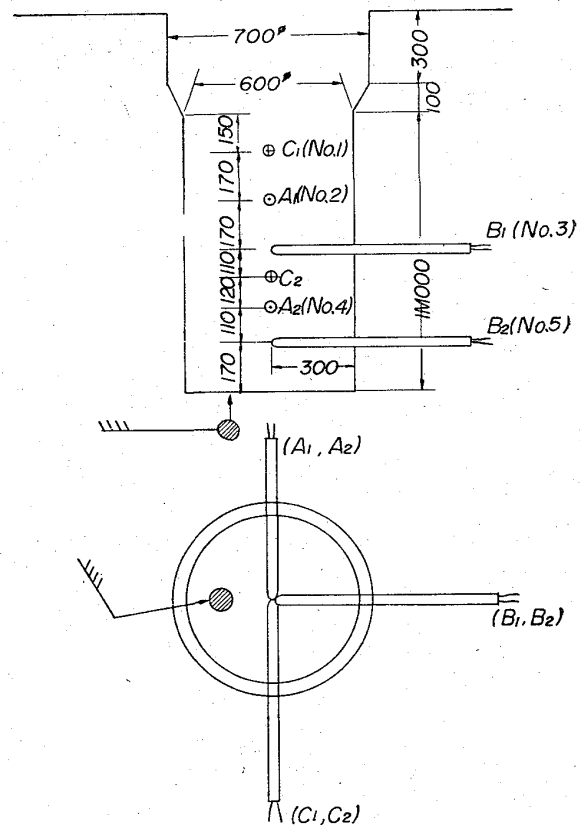


Fig. 1. Form of sand mould and measuring positions.

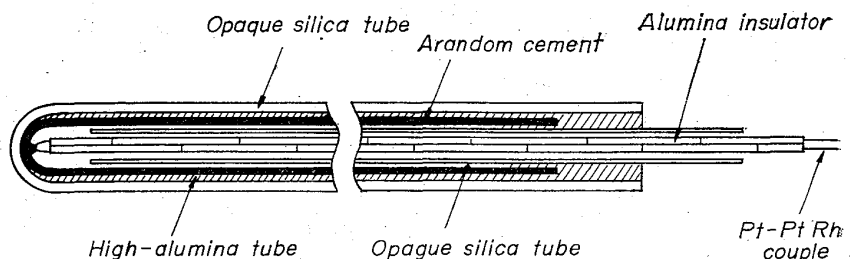


Fig. 2. Protecting tube of thermo-couple.

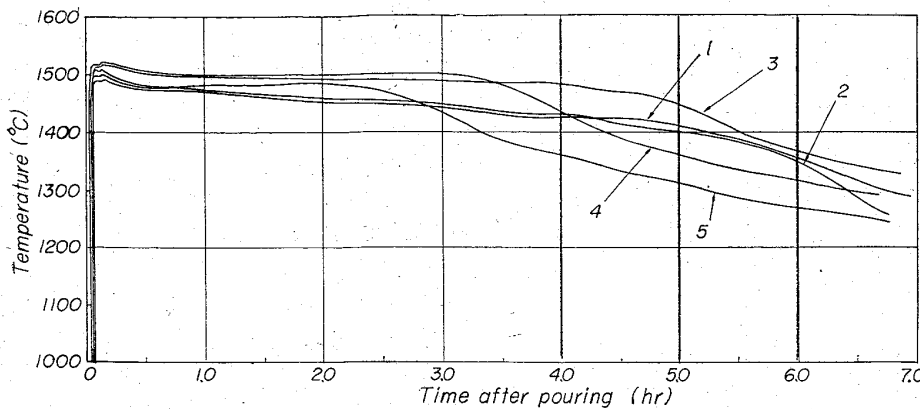


Fig. 3. Result of measuring temperature in 3t sand steel ingot during solidifying process.

滞を十分に立証するものとする。この凝固の遅滞は dendritic に成長する個々の等軸晶が成長する際に放出する凝固潜熱に起因し、その逃散速度も当然凝固開始から終了までの時間の長さに応じて遅くなる。その結果第 I 報で述べたように負偏析部での実効分配係数は、凝固速度の速い表層部に比べ低値となり、この部分の成分濃度が表層部以下の値を示すことも十分予想される。また凝固が遅滞すると脱酸生成物の生成、成長の機会も大となる。

3.2 負偏析部における広範囲の凝固

つきに負偏析部の中でも比較的負偏析の度合いの低い位置における凝固に着目してみる。図中 No. 5 は負偏析中心部の下部の位置における温度曲線を示している。これからわかるように、この部分では casting 終了後約 30 min で 1480°C に降下した後、これより若干高目の温度を 1 hr 45 min にわたって保持し、以後ふたたび降下を開始し、30 min 後に 1450°C 付近で凝固を終了している。

一方負偏析中心部の上部の位置での温度曲線を示す図中の No. 3 に着目すると、この部分では casting 終了後 1 hr 45 min で 1490°C 付近まで降下した後、約 2 hr 15 min にわたってこの温度を保ち、以後ふたたび降下を開始し 1 hr 10 min 後に 1430°C 付近で凝固を終了している。

この両位置での結果と前述した中心部での結果との 3 者を比較すると、凝固開始時期は下部から上方に向うに伴い遅くなり、また終了時期も同様に遅くなっている。このような現象は各位置における凝固潜熱の逃散速度の点から当然予想されることであつて、3カ所で同時に凝固が行われている時期が存在する。このことは負偏析部での凝固が比較的広範囲にわたって行われていることを示すものであり、粘性大なる領域を広範囲に形成するため、この部分で生成された脱酸生成物や、すでにこの部分に存在していた脱酸生成物の一部の浮揚は著しく遅滞され、凝固の進行とともに捕捉される機会も大となる。その結果負偏析部には多量の脱酸生成物が発生するものとする。

3.3 軸心正偏析部での凝固

負偏析上部の正偏析部に相当する位置における凝固に着目すると、図中 No. 1, No. 2 に示されるように両位置ではほぼ同様の温度曲線を示している。すなわち casting

終了後 2.0 hr で凝固を開始し、以後負偏析部におけるような温度の保持を行わず（包晶凝固を行わず）徐々に降下を継続し、凝固開始から約 4 hr 30 min 後に No. 1 は 1320°C, No. 2 は 1300°C で凝固を終了している。

この部分では包晶凝固が行われていないことから、bulk はかなり濃化していることが推定され、第 II 報で示した試料採取結果とよい一致を示した。

またこの部分の温度は負偏析部の凝固過程で終始負偏析部よりも低くなっている。このような現象

は従来本実験に類した鋼塊の凝固過程での連続測温が行なわれなかつたため、未だ確認されてなかつたことあり、鋼塊内部では常に上部が下部よりも高温であるという通念を覆すものとして注目すべき現象といえよう。この原因としては今後の研究にまつべき点が多く、未だ詳細を論ずる段階ではないが、一応つぎの 2 点に基くと考えるのが妥当であろう。

- i) 負偏析部では正偏析部に比べ凝固開始時期が速い。
- ii) 負偏析部では正偏析部に比べ凝固開始時の bulk の成分濃度が低い。

すなわち正偏析部では濃化溶鋼の浮揚により bulk の成分濃度は逐次増加し、それに伴いこの部分での凝固点も低下するため、熱逃散のみが終始行なわれ、温度は降下の一方をたどる。他方この間に負偏析部では正偏析部に先んじて、しかも正偏析部に比べ成分濃度の低い状態で凝固を開始するため、開始温度も高くまた凝固潜熱の放出も行なわれる。その結果負偏析部では正偏析部より高温の状態を保持するものとする。しかし一たん負偏析部の凝固が終了した後は、この部分では熱逃散のみが行なわれ、他方正偏析部では依然凝固が継続されているため、逆に正偏析部の方が負偏析部より高温になる。このことは本結果からも明らかである。

またこのように下部の方が上部よりも高温の状態が存在し、しかも本結果によれば、その温度差が最高 40°C 前後とかなり大であることを考えると熱的対流が発生する可能性も十分ありうると考えるのが妥当であろう。

4. 結 言

3 t 砂型鋼塊の軸心部の各点につき、凝固過程で連続測温を行なつた。その結果を総括すると、

- i) 負偏析部では凝固が遅滞することが確認された。
- ii) 負偏析部では凝固が比較的広範囲に行なわれることが示された。
- iii) 凝固過程中、鋼塊の下部の方が上部よりも高温になるような現象が認められた。またこのことから凝固過程で溶鋼内に熱的な対流が起りうることが予想された。