

討10

機械構造用棒鋼の連鋳化について

新日鐵室蘭製鐵所 小野修二郎 前出弘文 重住忠義
○鈴木功夫 吉井良昌 菅原 健

1. 緒 言： 当所のブルーム連鋳機は、S46年10月の稼動開始より、各種の品質対策を実施し、適用鋼種の拡大を計ってきており、現在では約35,000T/Mの高級棒線材用ブルームの生産を行なっている。これ等のブルームは、247mm×300mmのサイズに0.8~1.0M/分の速度で鋳造され、ブレイク・ダウン工程を経て120中、150中ピレットとして、棒鋼圧延に供される。

これらの棒線材の中でも、特に品質要求レベルのきびしい自工会向けの機械構造用棒鋼材については、種々の品質対策と工程内での適切な品質チェックとを組み合わせることにより、安定した製造を可能としている。ここでは、機械構造用棒鋼材の連鋳化に際しての、中心偏析、介在物、表面疵などの品質向上対策と、これらの方法によって製造された棒鋼材の品質上の特性について報告する。

2. 中心偏析の改善： 機械構造用棒鋼材の中心偏析は、各種機械的性質に影響すると共に、後述する多段前方押出しなどの、厳しい冷間加工での割れ発生に影響する⁽¹⁾。

中心偏析改善の基本的な考え方は、凝固組織を等軸晶化することであり、このために当所では電磁攪拌法を開発導入した。棒鋼材への適用に際しては、攪拌流動によるホワイトバンドの生成を防止し、かつ等軸晶化を促進させる攪拌技術の開発がポイントである。この点を中心に、各種の調査を実施した結果、以下のことが明らかとなった。⁽²⁾⁽³⁾

①等軸晶帯は、比較的小さな攪拌力で形成され、強攪拌しても比例的には増加せず、飽和する傾向にある。②ホワイトバンド部の最大負偏析度は、攪拌力の増加と共に増大する⁽⁴⁾。これらの結果から適正な攪拌条件の範囲が存在する。③攪拌位置、すなわち連鋳機への電磁攪拌装置（以下DKBと略す。）の取付位置は、等軸晶帯およびホワイトバンドの形成に対して影響をおよぼす。④DKBを複数個配置した攪拌条件の時、等軸晶帯は増大し、中心偏析、センターポロシティの改善効果大きい。

図1にDKB攪拌力と等軸晶率、ホワイトバンド評点の関係を示す。この結果から、機械構造用棒鋼材に適用できる攪拌力の範囲は非常に狭く、攪拌位置と共に厳密に選定しなければならない。

図2に攪拌位置DKB個数（1段、多段）、鋳造速度と等軸晶率の関係を示す。攪拌位置Ⅰと攪拌位置Ⅱを比較すると攪拌位置Ⅱの方が等軸晶化が比較的困難であり、特に鋳造速度の速い場合には顕著である。また、DKBを多段に配置し未凝固溶鋼の有効攪拌時間を長くした場合、凝固界面におけるデンドライトの分断が促進され、

等軸晶が増大する。

以上の結果に基づき、作業性、設備のメンテナンス性を考慮して、多段攪拌を採用した結果、ホワイトバンドの生成を抑制して高い等軸晶率を確保することができた。図3にDKBあり、なしによる

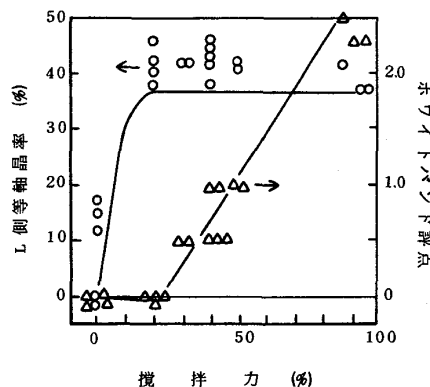


図1. DKB攪拌力と等軸晶率
およびホワイトバンド評点

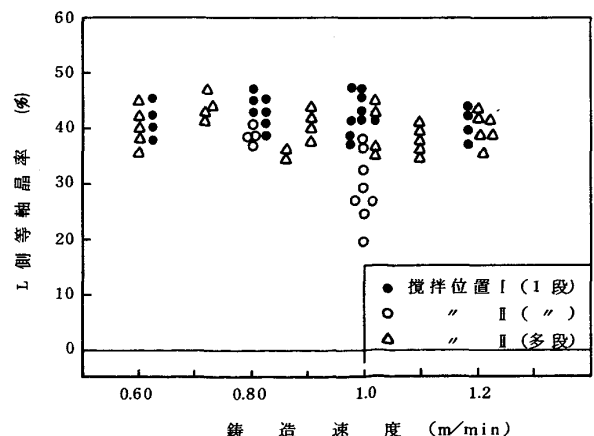


図2. 攪拌位置、2段攪拌の効果

鋳片の等軸晶率と中心偏析評点の関係を、図4.に鋼塊材と比較して棒鋼成品の中心偏析評点を示す。このように、成品での中心偏析は大幅に改善され、鋼塊材以上の均質な成品が安定して得られるようになった。

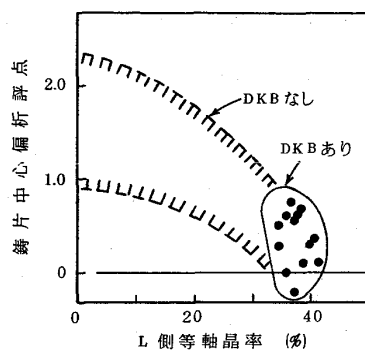


図3. 鋳片の等軸晶率と中心偏析評点

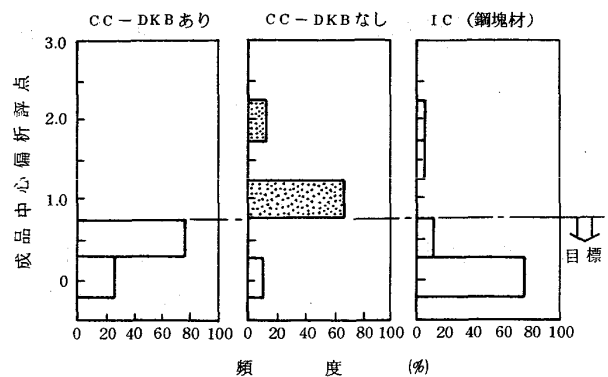


図4. 棒鋼成品の中心偏析評点

以上のように、電磁攪拌法の開発、導入と適正な攪拌条件の確立により、品質要求レベルの最も厳しいユーザーの要望に応じて安定した生産を行なっている。

3. 介在物の低減：高級棒線材用ブルーム連鋳材について、一般的に問題となる介在物には、①大型皮下介在物、②地疵源となる比較的小さな介在物、とがある。これら各々の介在物防止対策として、溶鋼の清浄化、二次酸化の防止、耐火物特に浸漬ノズルの溶損防止が有効である。

当所で適用している溶鋼清浄化のための取鍋精錬法は以下の方法である。⁽⁵⁾⁽⁶⁾

- ① 簡易取鍋精錬：出鋼時スラグカットし、合成フラックスを添加し上吹Ar攪拌により精錬する。
- ② RH処理：通常のRH脱ガス精錬法。
- ③ RH-SCS：RH処理中に、槽内へ合成フラックスを添加して精錬する。

ブルーム連鋳材について当初から適用してきたAr攪拌では効果に限界があり、簡易取鍋精錬法を開発し適用してきた。さらに介在物レベルの厳しい材料や、取鍋精錬前の清浄度の低い低炭素鋼に対しては、RH処理およびRH超清浄化処理（RH-SCS）を適用しており、特にRH-SCS法は優れた清浄化効果を発揮している。この方法では、RH槽内へ添加した合成フラックスが激しく環流する溶鋼と接触して介在物を吸着分離すると共に、環流する溶鋼に巻込まれて取鍋へ入り溶鋼表面へ浮上する。したがってRH-SCS法では、溶鋼と大気との接触による再酸化がないとともに、溶鋼表面上のスラグによる再酸化も防止されており、取鍋耐火物材質の高級化と組合せて優れた効果を示している。

図5.に各取鍋精錬でのモールド内T〔O〕と〔C〕の関係を示す。RHおよびRH-SCS処理では、〔O〕レベルが低位に安定している。図6.に棒鋼成品の地疵成績を精錬方法別に示す。〔O〕レベルと同様に、RH-SCS法の効果が顕著である。

以上の結果に基づき、処理コストの点を含め、鋼種、用途に応じて適切な処理方法を適用している。

取鍋内溶鋼の清浄化と共に、介在物の減少には、注入時の溶鋼の再酸化防止、タンディッシュ（以下TDと略す）耐火物の溶損防止、TDスラグのモールドへの流入防止、パウダーの巻込み防止などが重要である。これら各要因の鋳片皮下の大型介在物生成におよぼす寄与率を明確にするため、トレーサーを用いた追跡調査を実施した。

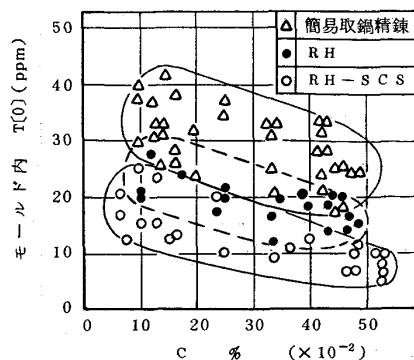


図5. 取鍋精錬法とモールド内T〔O〕

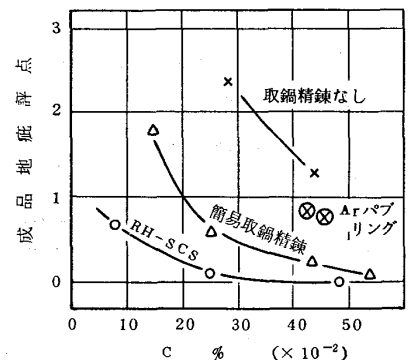


図6. 取鍋精錬法と成品地疵評点

トレーサーとして、TD内スラグへBaO、モールドパウダーへSrO、溶損性の大きい熔融シリカ質浸漬ノズルへZrO₂を添加した。高炭素SC材を1TDで3ヒート鑄造し、浸漬ノズルへの付着物、パウダー、鑄片介在物などを分析し各々の寄与率を求めた。表2.にこれらの成分を示す。この結果を用いた介在物の起源の内訳を図7.に示す。介在物の主要な発生起源

は、浸漬ノズルの溶損物をバインダーとしたノズル部での反応生成物とTD内スラグのモールドへの流入である。一方、取鍋、TD、モールドでの溶鋼のsol. AL, Nの挙動から、取鍋ロングノズル接合部、TD浸漬ノズル接合部での空気の巻き込みなどの、溶鋼の再酸化への寄与率を求めた。図8.にこの結果を示すが、取鍋ロングノズル接合部からのエアーの巻き込みとTDへの注入初期のスプラッシュによる空気酸化が主因であることが判明した。

これらの結果から、鑄片皮下介在物対策として、①取鍋ロングノズル接合部、TD浸漬ノズル接合部のシールの強化、②注入初期スプラッシュ防止対策の強化、③浸漬ノズル材質のAG化などを行ない、これらの介在物の発生を完全に防止している。

以上のように、機械構造用棒鋼材については、

各対策のとりうるベストな条件で製造しており、厳しい地疵基準などを十分満足する成績を得ている。

4. 表面疵の低減：ブルーム連鑄において、現在まで問題となり対策を実施してきた表面疵として、ヒビ割れ、横割れ、ピンホール、湯じわなどをあげることができる。これらの内ヒビ割れについてはNiメッキモールドの適用により、オッシレーションマーク（以下OSMと略す）に沿う横割れは、パウダーの粘性と矯正温度の適正化などにより、問題点を解決している。

一方、ピンホール、湯じわに関しては湯面変動の影響が大きいことを定量的に明らかにしている⁽⁷⁾。湯面変動は、①OSMの乱れ、②溶鋼流量増加による凝固の遅滞、③パウダーの不均一流れ込みによる不均一冷却、④カミコミの発生、など鑄片表面性状を悪化させる原因である。このため、OSM間隔の測定とr線湯面計を用い、ピンホールと湯じわにおよぼす湯面変動の影響を調査した。

図9.にOSM間隔の実測値から求めた計算湯面変動量と鑄片のOSM性状の対応を、図10.にOSMの正常部と異常部でのピンホール発生分布を示す。湯面上昇時にOSMが乱れ異常部が発生し、この部分にピンホールが多発す

表1. パウダー、浸漬ノズル、介在物などの組成

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	BaO	SrO	ZrO ₂
TD添加パウダー	32.2	3.8	—	19.7	—	22.8	0.3	—
モールドパウダー	41.5	4.8	—	26.4	—	0.1	2.7	—
浸漬ノズル	95.0	—	—	—	—	—	—	5.0
TD内スラグ	40.3~42.9	6.1~12.8	3.7~5.8	11.5~16.3	2.7~7.5	8.4~11.3	—	—
モールドスラグ	40.7~43.6	8.9~16.2	4.2~5.5	19.3~24.0	0.8~1.4	0.1~1.3	3.2~3.4	0~1.4
浸漬ノズル付着物	21.9	49.2	12.6	2.0	0.9	1.2	tr	1.5
介在物	29.0~49.1	17.0~22.6	6.5~16.4	5.2~5.6	tr~0.3	tr	0.6~0.9	0.6~1.1

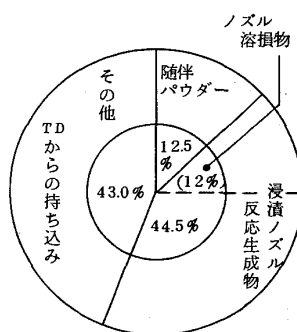


図7. トレーサーによる介在物起源調査結果

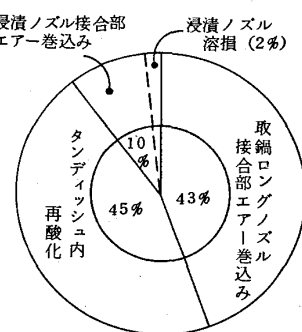


図8. 溶鋼再酸化への各要因の寄与率

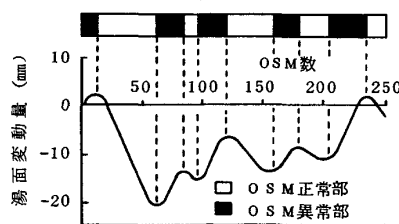


図9. 鑄片OSM状況と計算湯面変動量との対比

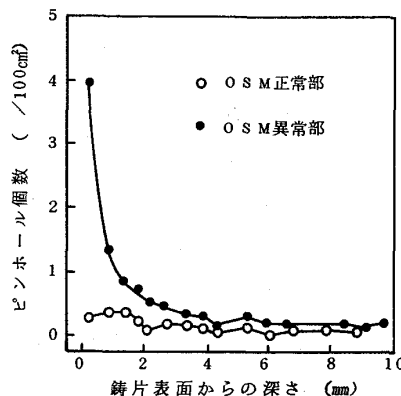


図10. ピンホールの発生分布

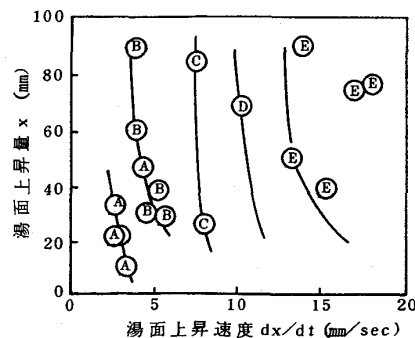


図11. 湯面変動と湯じわとの関係

ることが明らかである。図11に湯面変動と鋳片湯じわの発生程度の関係を示す。湯じわは非常に小さな湯面変動でも発生し、また湯じわの大きさは湯面上昇量よりも湯面上昇速度に強く影響されることが示されている。

以上のように、湯面変動量と変動速度を減少させることにより、表面疵レベルを低位に安定させることが可能である。

5. 連続鋳造による機械構造用棒鋼材の品質： 各種の品質対策を実施して製造した棒鋼材の品質について、以下に2～3の知見を示す。

5-1. 冷間縦圧試験結果

S45Cの冷間縦圧試験結果では、連続鋳造材、普通造塊材とともに加工率80%で割れは発生せず、良好な成績である。

5-2. 冷間多段前方押出し試験

S45Cの多段前方押出し試験結果を図12に示す。普通造塊材はトップ、ボトムでばらつきがみられるのに対して、連続鋳造材は高位に安定している。実部品のリヤアクスルシャフトへの加工に際しても、連続鋳造材については内部クラックは全く認められず、安定して使用されている。これはDKBによる中心偏析改善の顕著な効果の一例である。

5-3. 焼入性

図13にSCM3の連続鋳造材と普通造塊材のジョミニー曲線を示す。普通造塊材と比較して連続鋳造材はチャージ内のばらつきが小さく優れている。一方RH脱ガス装置を用いた成分のワンポイントコントロール技術の確立により、チャージ間の成分差も非常に小さくすることが可能となっており、⁽⁸⁾ 焼入性の面でのRH-連続鋳造材の優位性が確立してきている。

6. 結 言： 以上に述べたように、多くの品質向上対策により、機械構造用棒鋼材の連鋳化が可能となり、その品質特性は鋼塊材以上の均質性、安定性を示している。

現在、最も品質要求レベルの厳しい自工会向棒鋼材を含めて、連続鋳造材の適用拡大を、積極的に推進しているところである。

< 参考文献 >

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1) 第56回特殊鋼部会 | S53. 12新日鉄室蘭 |
| 2) 第73回製鋼部会 | S54. 7新日鉄室蘭 |
| 3) 長谷川, 前出, 鈴木他 | 鉄と鋼 65(1979) S235 |
| 4) 田代, 伊藤, 前出, 高尾 | 鉄と鋼 63(1977) S126 |
| 5) 第58回特殊鋼部会 | S53. 11新日鉄室蘭 |
| 6) 菅原, 吉井, 奥山 | 鉄と鋼 65(1979) S187 |
| 7) 長谷川, 重住, 鈴木他 | 鉄と鋼 65(1979) S715 |
| 8) 第60回特殊鋼部会 | S54. 11新日鉄室蘭 |

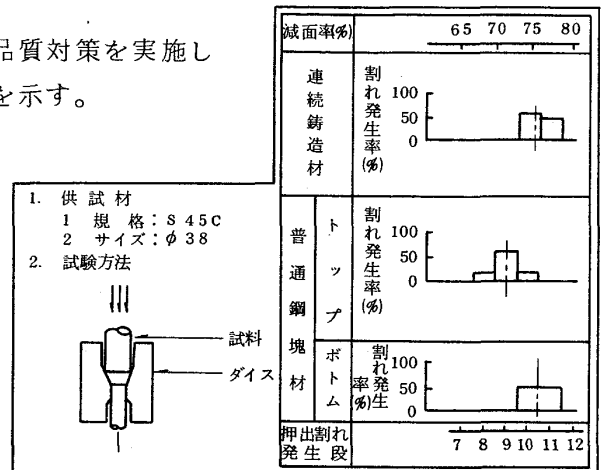


図12. 多段前方押出し試験結果

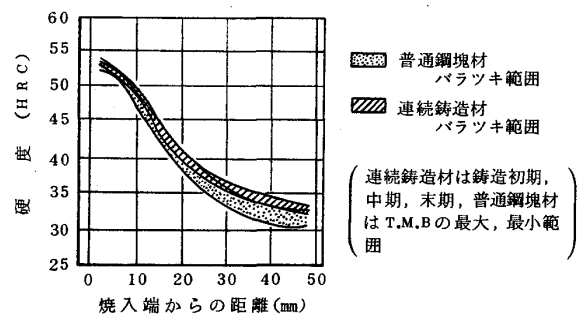


図13. SCM3のジョミニー曲線