

討9

条 用 特 殊 鋼 の 連 鑄 技 術 と 品 質

神戸製鋼所 神戸製鉄所 大西稔泰 高木 弥

若杉 勇 鈴木康夫

中央研究所 成田貴一 森 隆資 綾田研三

1. 緒 言

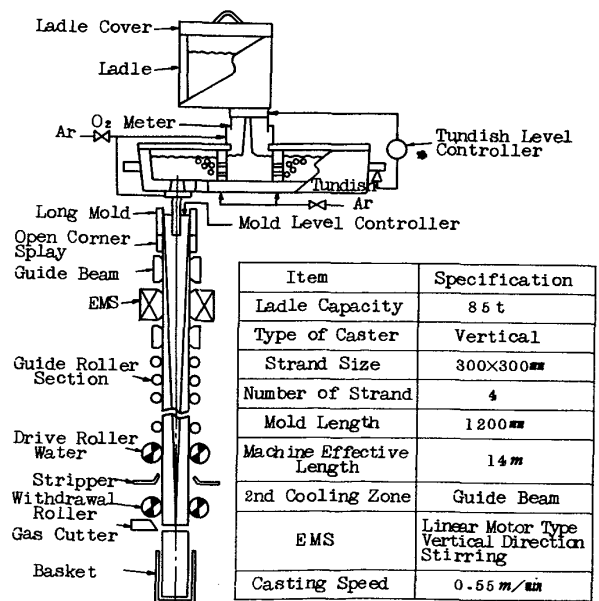
近年、連鑄技術ならびに溶鋼処理技術の目覚ましい展開により、連鑄工程による高級鋼の製造が可能となり急速にその適用を拡大しつつある。当社ではここ数年来、高級条鋼製品の連鑄化を積極的に推進し、品質の向上と適用分野の拡大を果して来た。本報告ではこれらの背景となった製造技術ならびに品質特性について述べる。とくに条用特殊鋼の連鑄化にあたっては、非金属介在物と鑄造組織に代表される鑄片内部性状の品質保証が、製造技術上最も肝要なポイントであり、取鍋溶鋼処理から一貫した技術の確立が必要である。当社で開発した溶鋼処理技術、電磁攪拌技術を活用することにより、条用特殊鋼の多岐にわたる高度の鋼材要求特性例えば引抜加工性冷間圧造性、および耐疲労性等の品質特性を十分に満足することが判った。

2. 条用特殊鋼製造上の要点

条用特殊鋼製品は自動車用部品に代表される如く加工方法、適用分野からみてその種類はきわめて多岐にわたっており、用途ごとに要求される品質特性もそれらの加工条件ならびに品質保証水準の高度化に伴い、一段と複雑且つ厳しいものになりつつある。一般に連鑄鋼はブルーム連鑄といえども鋼塊に比較しその断面は相対的に小さく、またかなり急速な凝固条件下にあって鑄造組織をはじめ非金属介在物、成分偏析の挙動は鋼塊のそれと様相を異にしており、とくに条用特殊鋼への適用にあたってはこの製造条件の違いに伴い派生する品質上の問題を完全に克服するための総合的な製造技術の確立が不可欠である。当所 $\#2$ CCの鋼材品質はそのマシンプロフィールの特徴から表面性状や内部割れ等において鋼塊に優る水準を得ている。しかし非金属介在物ならびに鑄造組織に伴う成分偏析については、高度化しつつある要求特性への対応を計るには最適な製造プロセスの適用が必要である。本稿では非金属介在物低減のための溶鋼清浄化と成分偏析低減のための技術に焦点をおき、これまでに得られた改善の成果をまとめて以下に報告する。

3. $\#2$ CC の設備概要

$\#2$ CC のプロフィールと設備諸元を第1図に示す。この連鑄機の特徴を、とくに品質保証の優位性の観点からまとめるとつぎのようになる。(1) 大断面、垂直型：矯正にともなう表面および内部われの発生がなく、介在物の浮上性に優れ、また介在物の偏在がない。(2) ロングモールド・オープンコーナースプレー：均一強固なシェル形成によるブレークアウトの絶滅および熱応力歪による内部われが発生しにくい。(3) 四角ガイドビーム：大断面ブルームにおけるバルジングの発生が防止される。(4) ソフトクーリング：幅広い等軸晶帯の生成により、偏析帯の少ない緻密な軸心部組織を得る。したがって、炭素鋼はもとより、われ感受性の高い低合金鋼、快削鋼への適用拡大が容易であるとともに安定した品質を確保することができる。



第1図 $\#2$ ブルーム連鑄機のプロフィール

4. 連続およびその周辺における製造技術

4.1. 製造工程の概要

図2に連続による条用特殊鋼の製造工程概要を示す。高度化しつつある製品品質要求に対応するには要求特性に応じた製造工程の設計が必要である。

4.2. 溶鋼処理技術

4.2.a. 取鍋スラグコントロール

取鍋スラグ中の低級酸化物の量が多くなると、鋼中全酸素が高くなる。したがって低級酸化物の取鍋への流入は完全に防止すべきであり、又造滓剤によるスラグ量、組成の調整も肝要である。

4.2.b. 取鍋煉瓦材質の影響

LD-DH-2cc工程における取鍋材質の地疵、清浄度に及ぼす影響を図3、図4に示す。取鍋煉瓦材質影響はかなり強く、スラグコントロールと合わせ、重視すべき要因の一つである。

4.2.c. 処理プロセスの比較

図5、図6に工程の違いと清浄度、成品内部疵の関係を示す。C、D工程はそれなりの効果をあげているが、より高度な品質保証をするにはA、B工程が必要である。

4.3. TD内溶鋼清浄化技術

4.3.a. Ar シール 鑄造

再酸化による溶鋼汚染防止には徹底したAr シールが必須である。

4.3.b. TD内溶鋼レベル

タンディッシュレベルコントロールは清浄鋼を得る為の重要な管理ポイントである。図7に溶鋼レベルとUS欠陥、地疵の関係を示す。

4.3.c. 溶鋼過熱度とUS欠陥の関係

タンディッシュ内溶鋼レベルが500%以上であり溶鋼過熱度が40℃以上であれば、US欠陥は低位安定する。

4.3.d. TD耐火材質の影響

TD耐火材質の溶鋼汚染指標として、取鍋~TD間のAl降下量をとると、MgO コーティング使用の場合、口ー石煉瓦使用時に比べAl降下量は少なく、清浄鋼を製造する上でTD内張り材質も無視できないポイントである。

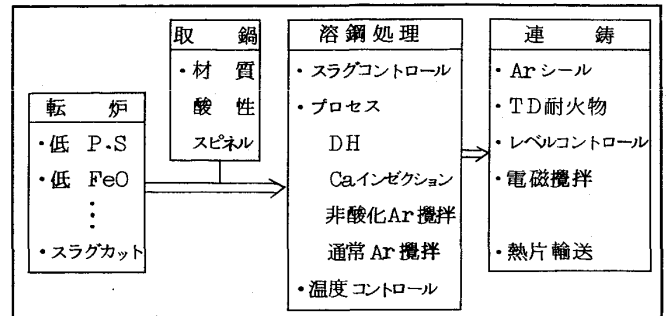


図2 連続による条用特殊鋼の製造工程

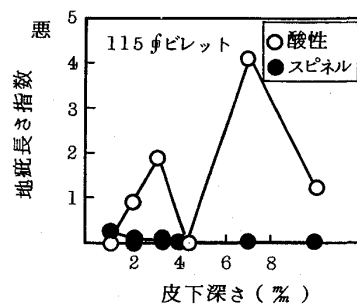


図3 CR20における取鍋煉瓦材質と地疵の関係

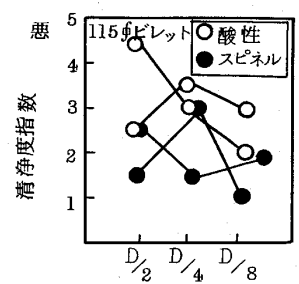


図4 SMn3Hにおける取鍋煉瓦材質と清浄度の関係

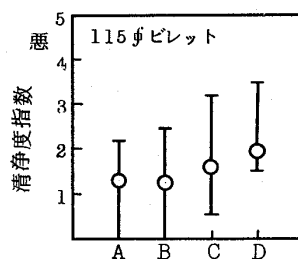


図5 SC鋼における溶鋼処理プロセスと清浄度の関係

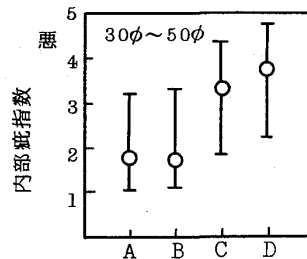


図6 溶鋼プロセスと成品内部疵との関係

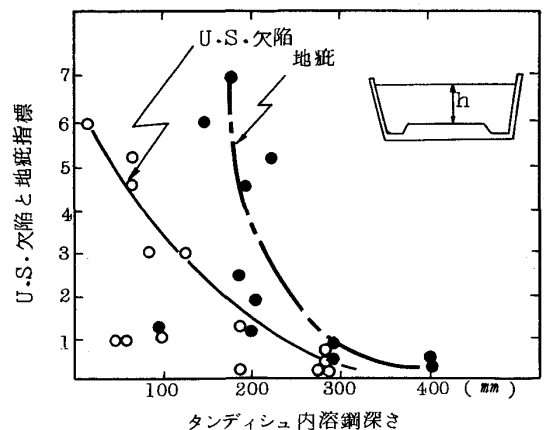


図7 タンディッシュ内溶鋼レベルとU.S.欠陥および地疵成績との関係

5. 電磁攪拌による中心偏析の改善

ブルーム連铸タ片内の偏析を改善する方法として、中心部凝固界面におけるブリッジの形成を防ぐ為铸片内の等軸晶を増加させることが必要となる。この方法の一つとして電磁攪拌コイルによる未凝固溶鋼の攪拌により等軸晶帯を増加させる方法が適用され始めている。当社ではこの電磁攪拌による中心偏析減少効果を、まず小鋼塊の電磁攪拌実験より確認し、得られた実験結果をもとにして垂直型110%φビレット連铸機に電磁攪拌コイルを取り付け、中心偏析の改善効果を調査し、さらにその結果にもとづいて300φの大断面ブルーム連铸機に電磁攪拌コイルを取付け、品質の確認を行った。

5.1. 小鋼塊の電磁攪拌実験、小断面ビレット連铸の電磁攪拌

110φ×700%φ・70kgの鋼塊の凝固途中に回転磁界型の電磁攪拌コイルにより、攪拌開始時間、攪拌時間、攪拌強度等の実験条件を変化させて中心偏析におよぼす効果を調査した。この結果、連铸機に電磁攪拌を取付け攪拌を行うためのいくつかの指針が得られた。例えば、攪拌強度の増加と共に中心偏析は減少するが、その減少の仕方は一様でなく、ある一定の強度の所から急に減少し、それ以後は攪拌強度の増加と共にあまり減少しなくなる。これに対しホワイトバンド部の負偏析は攪拌強度と共に増加してゆく為、ホワイトバンド部の負偏析を少なく抑え、中心偏析を減少できる最適攪拌強度が存在すること等である。これらの結果を基にして300φブルーム連铸機に電磁コイルを取付けた。

5.2. ブルーム連铸機の電磁攪拌

ブルーム連铸機に採用した電磁攪拌コイルはメニスカス下2mのフェイスガイド部に取付けられた上下方向に溶鋼を駆動させるリニアモーター型の攪拌コイルである。これは回転磁界型コイルでは流れが衝突するコーナー部にホワイトバンドが顕著に現われやすく、ホワイトバンドの形成が特に問題となるブルーム連铸の電磁攪拌には、このような流れの衝突が生じない上下方向の攪拌の方が適していると考えられるからである。当所のブルーム連铸では、引抜速度が比較的遅い為、ホワイトバンドが巾広く現われやすく、ホワイトバンド減少の為に攪拌方法に改良を加え、中心偏析改善の効果をほとんど減らさずにホワイトバンド部の負の偏析帯を減少することができた。0.6% C鋼と0.4% C鋼でおこなったホワイトバンド部負偏析改善の結果の1例を図8に示す。図に示すように改良法ではホワイトバンド部の負偏析度の低下は従来法に比較して減少しており、この差は0.4% C鋼において顕著に現われている。図9には改良法で攪拌を行った場合の0.4% C鋼のビレットでの中心偏析度の変化を示す。攪拌によって中心偏析度の平均値が低下し、バラツキも少くなっている。さらに高C鋼の中心偏析度を一層低下させ、ホワイトバンドの問題も解決する方法として、攪拌の回数を増加させる方法が考えられる。そこで300mm×400mmサイズのブルームで多回数の攪拌を行なった結果を写真-1に示す。回数増により組織が大巾に改善されることが判かる。

6. 製品品質特性

条用特殊鋼の最終製品は加工の方法および適用分野がきわめて多岐にわたり、用途ごとに要求品質特性が異なっている。鋼材が種々の加工

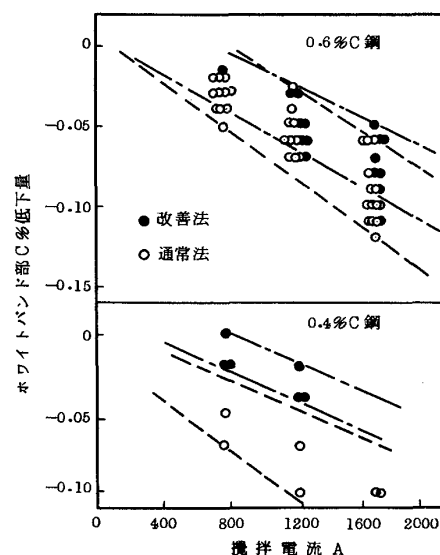


図8 電磁攪拌条件の改良による300mmφブルーム铸片中のホワイトバンド部の負偏析の変化

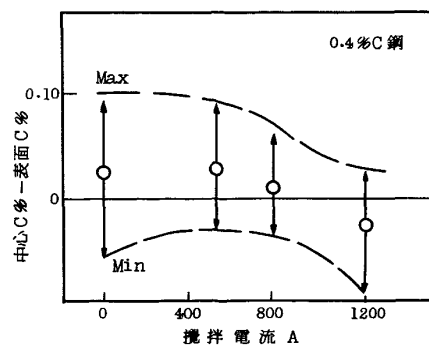


図9 電磁攪拌による115mmφビレットの中心偏析の変化

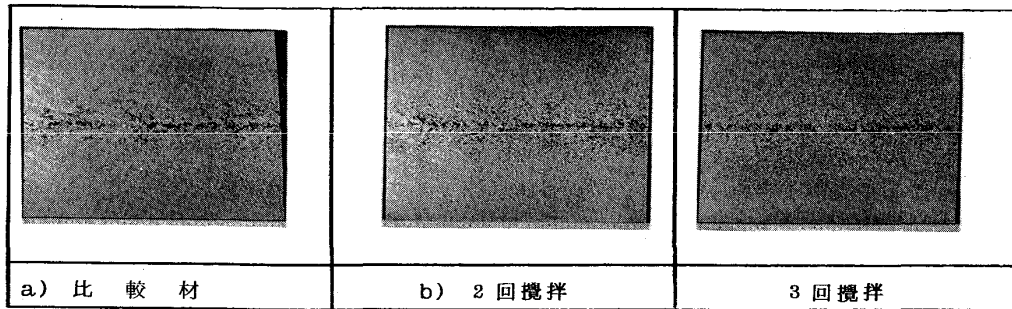


Photo 1. 多重攪拌による300×400ブルーム铸片縦断面マクロ組織の変化

(鋼種: SUP6 パネ鋼)

工程や熱処理工程を経て、長終製品で所期の特性を発揮しうるかどうかは、単に静的な代用特性の調査のみでなく、できるだけ実加工状態に準拠した方法で調査することも重要である。以下に冷間圧造性、引抜加工性、焼入性について述べる。

6.1. 冷間圧造性

第10はJISSWRCH12Aでの、連铸材と造塊材の冷間圧造限界の比較結果であるが、いずれも高い冷間圧造性を示している。

6.2. 引抜加工性

JIS S48Cの引抜加工試験結果を第11図に示す。連铸材および造塊材ともに内部われ発生の限界加工率は高い水準にあり、両者に差はなかった。

6.3. 焼入性

JISSCM22のSAC焼入性調査結果を第12図に示したが、連铸材はトップ部からボトム部まで中心部の成分変動が少なく造塊材より有利である。

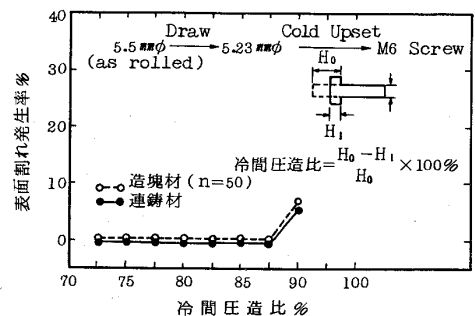
7. 結 言

条用特殊鋼の連铸化にあたっては、铸造技術の改善はもとより、その前後工程を含めた一貫した製造技術の改善による体系化が必要である。とくにそれら製品の要求特性として非金属介在物と偏析の改善は特に注意すべき点と考えられる。これらは耐火物及び最適プロセスの選定を含めた溶鋼処理技術、また電磁攪拌等の連铸技術により解決することができ、条用特殊鋼の製品用途に応じた多岐にわたる加工特性を十分に満足させることが判った。

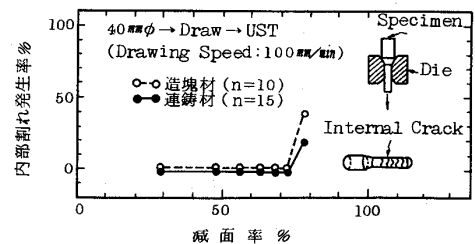
今後ますます高度化、繊細化する製品要求特性に対し、相応する製造技術の改善を進めていくが、適正なプロセスの選定も又重要である。

8. 文 献

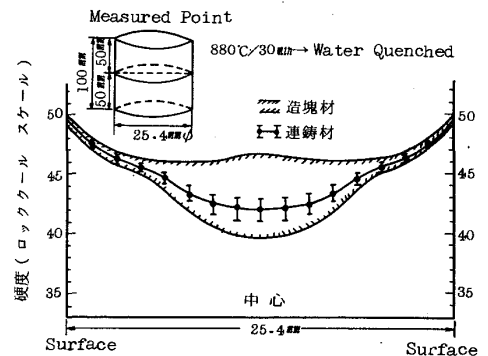
- (1) 大西等 ; 神戸製鋼技報 / vol. 29 №3, (1979.7)
- (2) 森, 綾田 ; 同 上



第10図 JIS SWRCH12Aの冷間圧造試験結果



第11図 JIS S48Cの引抜加工試験結果



第12図 JIS SCM22のSAC焼入性試験結果