

氏 名	渡 部 忠 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年3月15日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭 和 4 9 年 3 月 東北大学大学院工学研究科金属工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	鋼の連続铸造広幅铸片における中心偏析 に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 新山 英輔 東北大学教授 井川 克也 東北大学教授 萬谷 志郎

論 文 内 容 要 旨

連続铸造広幅铸片（連铸スラブ）の軸心部に存在する中心偏析は、大入熱溶接用鋼の溶接継手部靱性低下や、サワーガス輸送用鋼管の水素誘起割れの原因となっている。このため、連铸スラブの中心偏析低減は、現状の連続铸造法における大きな課題である。

かかる背景から、本研究では、厚鋼板および大径鋼管として広範囲に用いられる炭素鋼と低合金鋼の連铸スラブを対象を絞り、組成、冷却、流動という3つの観点から中心偏析の生因を追求した。そして、偏析低減の方法を明らかにすることを目的とし、その結果を実用化技術に発展させることを意図した。全編5章より成っている。

第1章は、序論である。従来の偏析に関する研究を概括した後、本研究の目的と意義を明確にした。

第2章では、凝固組織と中心偏析におよぼす炭素濃度の影響を研究した。

湾曲部を有する4基の連铸機を用いて、炭素濃度0.03～0.63重量%の鋼を铸造し、得られたスラブの凝固組織を柱状晶、分岐柱状晶、等軸晶の3種類に分類して整理した。その結果、凝固組織は(%C)=0.07, 0.29, 0.45の3組成で遷移し、4つの組織領域に分類できることを見出した(第1図)。

この組織遷移現象を平衡状態図から推定することは困難であるが、デンドライト1次及び2次の成長挙動とは良い対応関係にあることを明らかにした。すなわち、デンドライト1次アーム間隔 λ_I は、炭素濃度の増加と共に増大するが、(%C)=0.45で不連続的に減少する。またデンドライト2次アーム間隔 λ_{II} は(%C)=0.30で小さな値に転ずる。(第2図)。このように、 λ_I と λ_{II} は、炭素濃度に対し異なった挙動を示し、この挙動差の組み合わせによって、前記4つの組織領域との対応を説明することができる。次に、組織領域II ((%C)=0.07~0.28)について、鑄片下面側の柱状晶—分岐柱状晶遷移現象を調べた。その結果、溶鋼過熱度と凝固界面冷却速度及び重力の3つの因子によって、遷移条件が規定できることを明らかにした。そして、この分岐柱状晶の起源は、鑄型内の凝固初期段階にあると推察した。

以上の凝固組織に関する知見を踏まえて、スラブの中心偏析におよぼす炭素濃度の影響を調べた。中心偏析は、目視可能なマクロ中心偏析と、大きさが数100 μ m程度の粒状偏析に弁別して整理した。

マクロ中心偏析は、炭素濃度の増大と共に悪化する。但し、等軸晶が生成しやすい組織領域III ((%C)=0.29~0.44)では、マクロ中心偏析が低減する特徴を示した。

一方、粒状偏析は、(%C) \geq 0.10の組成で、炭素濃度の増大と共に急激に悪化する(第3図)。この現象は、 δ 鉄および γ 鉄中溶質元素の平衡分配係数と拡散係数の差異によって説明できることを示した。また、粒状偏析中のMnとPの重複偏析は、平衡分配係数から予測される関係を満たしており、粒状偏析がマイクロ偏析溶鋼の流動、濃縮によって形成されるものであることが明らかとなった。

第3章では、中心偏析におよぼす鑄片冷却条件の影響を研究した。

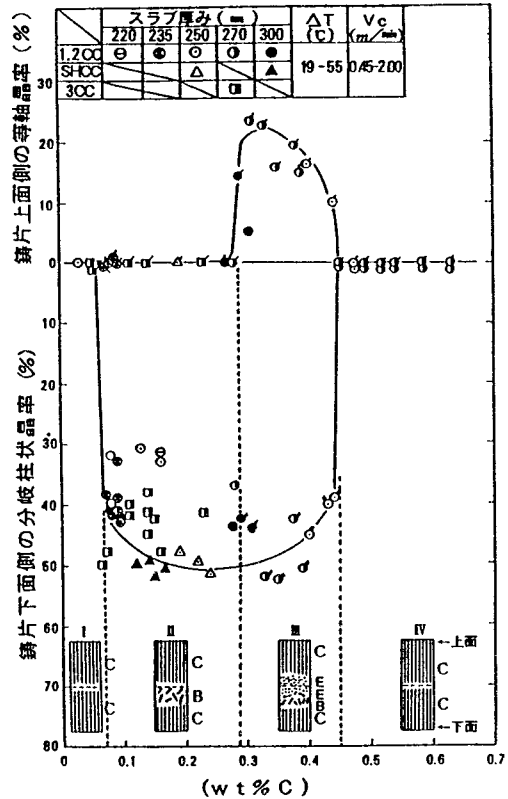


図1 連鑄スラブの凝固組織におよぼす炭素濃度の影響

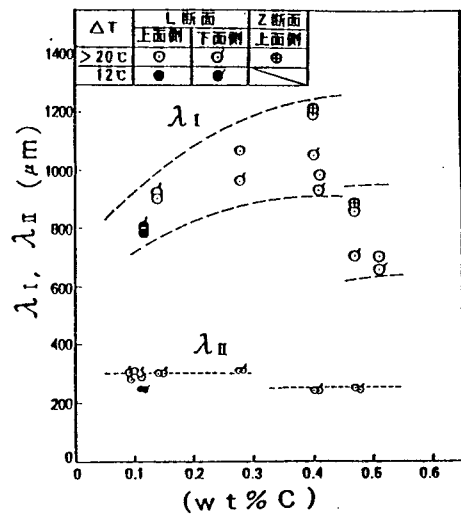


図2 デンドライトアーム間隔におよぼす炭素濃度の影響 (鑄片表層下60mm位置を測定)

マクロ中心偏析は、スプレー冷却（2次冷却）強度の増大と共に低減した。これは、冷却強度の増大と共に凝固殻剛性が増大した結果、鋳片のロール間バルジングが減少し、デンドライト樹間残溶鋼のマクロ的移動が抑制されたためであると推察した。このことは、偏析低減に対する「強冷却鋳造法」の優位性を意味した。

マクロ中心偏析は、2次冷却の均一性にも強く依存し、冷却不均一性が増すほど悪化した。これは、冷却が不均一化すると、スラブの最終凝固位置（クレータエンド）形状が平坦度を失なって、鋳片幅方向で局部的に深くなり、濃化溶鋼のマクロ的移動が起こるためであると結論した。

第4章では、凝固組織と中心偏析におよぼす溶鋼流動の影響を研究した。

まず、鋳型内に上昇攪拌流動（M-E M S, 移動磁場方式）を与えた結果、攪拌流速38cm/sec程度では、マクロ中心偏析の改善効果は得られなかった。但し、凝固組織は一部変化し、鋳片下面側に分岐柱状晶域の増加が認められた。

これに対し、2次冷却帯内電磁攪拌（S-E M S, 移動磁場方式）流動を、凝固中期と末期に与えた場合、攪拌流動は等軸晶を生成せしめ、等軸晶比率20%以内では、その比率の増大と共に、マクロ中心偏析は低減する傾向を示した（第4図）。

但し、低減の程度は大きくばらついており、その原因として、2つの要因を指摘した。第1は、凝固組織の「ゆらぎ現象」であり、第2は、凝固末期の溶鋼流動現象である。このゆらぎ現象は、S-E M S印加によって等軸晶が生成するときのみ起こる。これは、攪拌流動と等軸晶生成量のバランスの崩れに起因するものと推定した。

続いて、鋳片収縮に伴う溶鋼流動を抑制する目的で、収縮量を物理的に補償する「テーパアライメント法」を実験した。その結果、マクロ中心偏析とセンターマイクロポロシティーが共に低減することは確認したものの、その低減の程度に限界を有することが明らかとなった。このことは、凝固末期溶鋼の流動は、体積収縮以外に、鋳片のロール間バルジングが大きく関与することを示唆した。

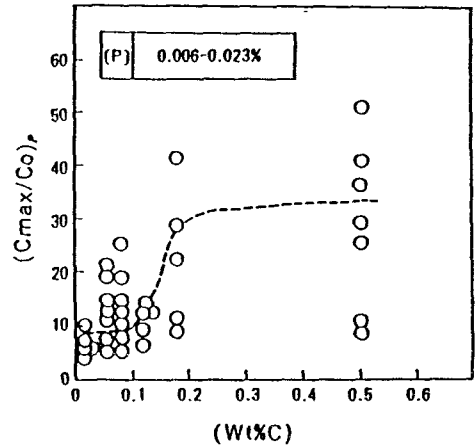


図3 粒状偏析の最大リン偏析度におよぼす炭素濃度の影響

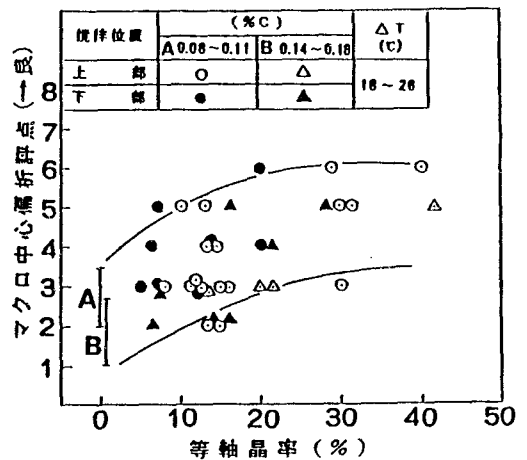


図4 一方向流攪拌鋳片の等軸晶率とマクロ中心偏析の関係（サイズ250 × 1400~2100mm）

そこで、ロール間バルジングを抑制する目的で、大きな溶鋼静圧にも耐え得る「短縮ピッチ分割ロールセグメント」を開発した。そして、このセグメントと、前述の強冷却法、テーパラインメント法の3つの方法を組み合わせた「ITS法」を考案した。

マクロ中心偏析に関しては、ITS法にS-EMSを印加することによって、より一層の低減が可能であった(第5図)。一方、粒状偏析は、S-EMSによって、等軸晶存在厚みを55mm以上にすると、むしろ悪化する傾向を示した。これは、過剰等軸晶組織では、V状に粒状偏析群が形成されるためであることを確認した。このように、マクロ中心偏析と粒状偏析を共に低減せしめるためには、適正等軸晶量をいかに安定して生成せしめるかが重要となる。この場合、ITS法は前提であり、そうした意味で、本方法は、偏析低減のための基本鑄造法と位置づけることができる。

最後の第5章は総括であり、本研究で得られた結果をとりまとめた。本研究により、大入熱溶接用鋼で問題とされるマクロ中心偏析やサワーガス輸送用鋼管で問題とされる粒状偏析が顕著に低減し、ITS法は、工業的に高い信頼性を得るに至った。

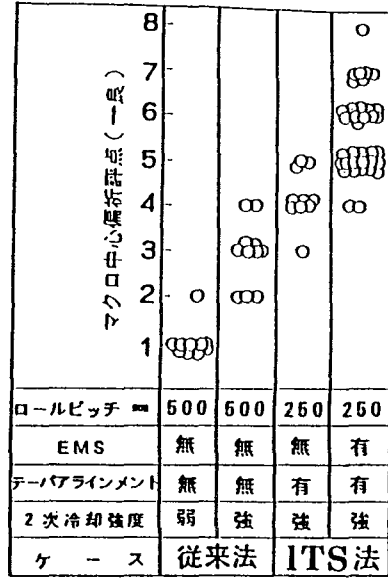


図5 鑄片のマクロ中心偏析評点におよぼす鑄造条件影響 ((%C) = 0.08~0.16)

審査結果の要旨

連続鋳造法は鋼の製造法として勝れた経済性を有するため、最近ますます多くの鋼種に適用されるようになってきているが、この中で耐サワーガス用ラインパイプ等を目的とした厚板高級鋼では肉厚中心部の成分偏析が特性を低下させ、適用拡大を妨げていた。本論文は連続鋳造広幅鋳片、いわゆる連鋳スラブにおける炭素、磷等のマクロ的成分偏析の原因と対策に関する研究成果をとりまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章の序論では、本研究の背景と狙いについて述べている。

第2章では、鋳片のマクロ的凝固組織及び中心偏析に及ぼす炭素濃度の影響について述べている。すなわち、炭素濃度の増加に伴い凝固組織は柱状晶、分岐柱状晶、等軸晶、柱状晶という変化をたどり、これはマイクロ組織上のデンドライト形態の変化にも対応し、さらには偏析にも対応している。この現象は溶鋼の初期温度、冷却速度及び重力の方向によって規定されることが明らかにされている。

第3章では、偏析に及ぼす鋳片の冷却条件の影響について述べている。すなわち凝固しつつ鋳型から引きだされた鋳片に対して水スプレーによる冷却が不均一であると偏析が生じやすいが、これは凝固の進度の異なる部位の間で溶鋼の移動が生じるためである。また冷却が不十分のときにも偏析が生じるがこれは凝固殻の強度が不足して変形を生じ、溶鋼の移動が起こるためである。いずれも冷却条件が溶鋼の流動現象を介して偏析に影響することが明らかにされている。

第4章では、偏析に対する溶鋼の流動の影響について主として電磁攪拌の効果及びロールによる凝固殻の変形制御という2つの側面から述べている。すなわちまず鋳型内、つまり凝固初期に人為的に与えた溶鋼の電磁攪拌は凝固組織に多少の影響を与えるだけで偏析改善効果は見られないが、2次冷却帯、つまり凝固後半の電磁攪拌は等軸晶を増加させ、偏析を低減させる。攪拌強度を増加させることにより等軸晶はさらに増加するが、ある限度以上では却って偏析が生じる。一方、凝固の末期には溶鋼圧増大による鋳片の厚さ増加が生じ、この時の溶鋼移動が原因となりうることを見出し、鋳片引き出し用ロールの配置を精密に調整することによりこれを抑制できることを確認している。これは有用な知見である。結局上述の結果に基き、成分、熱、変形、流動の諸要因に着目して操業条件を最適に組合わせることにより目的の高級鋼の製造に成功している。

第5章は総括であり、本論文の成果をとりまとめている。

以上要するに本論文は、広幅厚肉連続鋳造鋼の凝固過程と偏析の関係を解明し有効な対策を明らかにしたもので材料工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。