

氏名(本籍)	中西 恭二(千葉県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工 第 9 0 号
学位授与年月日	昭和44年11月5日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	昭和37年3月 東京工業大学物理科卒業
学位論文題目	鋼の造塊過程に関する研究

(主査)

審査委員	教授 齋藤 恒三	教授 大平 五郎
	教授 不破 祐	教授 大谷 正康
	教授 大谷 茂盛	

論文内容要旨

序

工業的規模で生産される鋼塊内には成分偏析、非金属介在物、パイプ等の諸欠陥が発生するが、造塊時の現象が複雑なため、これらに関する研究は乏しく、今後の研究にまたねばならない問題が数多く残されている。

本論文は、これらの欠陥を含みぬ品質の優れた鋼塊を製造するための技術的基礎を確立する事を目的として、基礎的研究から応用的研究までの一連の研究を行なった結果をまとめたものである。

即ち、まず始めに上述の諸欠陥と密接に関連する鑄型内容鋼の凝固速度の信頼しうる計算方法を確立し、これから鋼塊凝固所要時間におよぼす鑄型諸元の影響を明らかにした。続いて鋼塊凝固に

際してもっとも大きな熱抵抗となる鑄型—鋼塊間の空隙生成機構を解明した。

これらの基礎的知見をもとに偏析防止策としてのスクレイプ法の効果の検討を行なって後、実用鋼塊の偏析生成機構に関する新しいモデルを提案した。さらに、著者の考察による鑄型—鋼塊間空隙の強制冷却造塊法を実施して本法の成分偏析防止効果を解析した。

続いて非金属介在物の除去法を取上げ、溶鋼中に分散する脱炭生成物を耐火物塗面上で吸着させる事により清浄な鋼が得られる可能性を実験的に明らかにした。

最後に著者は鋼塊頭部のパイプについて考察し、押湯部溶鋼の熱バランスを考慮した理論式を導き、適正押湯比の推定を可能にしている。

上述のような諸研究を記載した本論文は全六章からなるが、次に各章別にその概要を記述する。

第一章 緒 論

本研究の意義、目的、方法等について述べている。

第二章 溶鋼の凝固速度

鋼塊単重が6 ton～25 ton にわたる各種下広偏平鑄型内溶鋼の凝固完了時間をBar Testにより実測した。測定に供した鋼種はC, Si, Mn がそれぞれ0.1～0.6%, 0.2～0.5%, 0.5～1.2%の範囲にあるキルド鋼で、注入温度は鑄型内で1500°～1520℃の範囲にある。得られた結果は、鑄型、鋼塊横断面における2次元非定常熱伝導方程式から差分計算により求めた完全凝固完了時間と非常によく一致した。本計算においては、鑄型、鋼塊間の熱的性質の差は無視して、温度のみの関数とした。又、注入直後から鑄型—鋼塊間には空隙が生成するものとした。本計算法の信頼性が上述のごとく確認されたので、鋼塊の凝固速度におよぼす鑄型肉厚の影響について同様な計算を試みた。その結果8 ton 鋼塊の凝固完了時間は鑄型肉厚が160 mm厚から320 mm厚と倍になっても150分から135分程度にしか短縮されなかった。続いて鑄型外表面に取りつけられたラジエータの熱的效果についても同様な計算を行なった。得られた結果は、ラジエータ設置により鑄型外表面面積がラジエータがない場合の1.5倍増しであるにも拘わらず8 ton 鋼塊の凝固完了時間の短縮は事実上無視される程度でしかなかった。これらの計算結果は鑄型の熱容量および大気中への放熱量の大小が実用鋼塊の凝固完了時間にほとんど影響を及ぼさない事を示しており、これは鑄型内溶鋼の凝固に際して鑄型—鋼塊間の空隙が最も大きな熱抵抗となっているためと考えられる。そこで従来定量的知見の得られていない空隙生成時刻を8 ton及び19 ton 鋼塊用鑄型に対して実測した。また空隙生成機構に対する検討及び空隙生成時刻の推定を行なった。

第三章 実用鋼塊の偏析低減策

ここでは前章の結果を基礎とした成分偏析低減策について述べている。

まず第一に偏析低減効果が顕著であると報告されているスクレイプ法の実用鋼塊への適用性に関して実験を行なった。

実験は S S 4 1 規格の 2 t 鋼塊について軟鋼製スクレイプ棒(60φ)を用いて行われた。得られた結果によれば、スクレイプ実施中は、固液界面液側の溶質成分濃度が強制拡散により著しく減少するため、凝固層中の溶質成分濃度も著しく低下するが、その見返りとして最終凝固部の成分濃度を著しく高める事になる。不純物成分に関しては一次元凝固に近い状況で本法を適用し、押湯量を十分に確保して、その部位に不純物濃縮層を移動凝固させれば、偏析防止上有効であるが、合金元素についても同一効果が働くので、合金成分の目標値を所定値とするためには、あらかじめ余量の成分調整が必要となる。これらの理由からスクレイプ法が実際的に偏析防止上有効な手段とはなり得ない事を確認した。

又、偏析生成機構の観点からスクレイプ実施鋼塊の S 偏析について考察したところ、偏析に関する Burton の式では、実験結果を矛盾なく説明する事が出来なかった。一方、溶質成分濃縮層が凝固層に捕捉されて凝固が進行するものとして Burton の式を補正したところ、実験結果を無理なく説明する事が出来た。

上述の結果より成分偏析低減のために鋼塊を強制冷却するのが最も有効と考えられるが前述のごとく、鑄型-鋼塊間の空隙を直接冷却しなければ鋼塊の凝固速度を著しく増加させる事は望めない。そこで鑄型-鋼塊間空隙に直接空気、水等の冷却剤を送入する事により、鋼塊の強制冷却を実施した。その結果、8 ton 鋼塊について著しい冷却効果が確認され、したがって成分偏析も大幅に減少した。即ち、空気 1500 Nm³/hr に水 1.5 m³/hr を霧化混合して 8 ton 鋼塊を冷却した際の平均熱放散速度は通常の 150 分の凝固完了所要時間は 90 分に短縮された。また鋼塊の成分偏析については空気 1500 Nm³/hr の冷却により取鍋分析値 C : 0.03% , Si : 1.35% , Mn : 0.1% の 8 ton 鋼塊における鋼塊縦方向の C , Si , P , S 等の偏析は比較鋼塊に比べて相対的に減少した。特に本鋼塊において高成分濃度として偏析が問題となる Si については著しく偏析が減少した。又、空気吹込位置での鋼塊横断面内の偏析は、事実上消滅した。これらの結果より鑄型-鋼塊間空隙の強制冷却は鋼塊の成分偏析を防止する上で有力な造塊法となり得る。

第四章 溶鋼の事前清浄化について

ここでは取鍋内溶鋼から非金属介在物を除去するために有効な新しい処理法の可能性を示唆する

実験室的脱酸実験について述べている。

実験は高周波溶解炉により5.5 Kgの純鉄をAr 囲気下で溶解昇温して1600℃に保持した。脱酸剤添加前の酸素含有量を300 ppmに調節して0.3 wt% 相当の酸酸剤AlをFeAl₂合金で添加し、以後のAl及びO含有量の変化を追跡した。用いたルツボは純アルミナ、純シリカおよびアルミナ・ルツボの内周の1/2, 1/4をそれぞれシリカで張り付けたアルミナ-シリカ複合ルツボの計4種類である。その結果、純アルミナ・ルツボを使用した場合に比べて純シリカ・ルツボを使用した際の浴中の到達酸素は著しく低く、又、複合ルツボを用いた場合の到達酸素量はシリカの占有面積の増加につれて減少する事が知られた。純アルミナ・ルツボの際の脱酸速度係数は、アルミナ粒子が脱酸剤添加後1分を経過してからは、凝集生長しないものとして計算されたストークス則による浮上分離機構によりよく説明された。一方、複合ルツボの場合の脱酸速度は、高周波加熱による浴流とアルミナ粒子のブラウン運動によりルツボ壁に衝突するアルミナ粒子が吸着分離される機構と浮上分離機構を同時に考慮する事により、かなりよく説明された。この場合、前者即ち吸着分離の脱酸速度係数への寄与は、浮上分離のそれを1として5.7という大きな値であった。

上述の実験結果と吸着分離機構の定量的な一致は、取鍋耐火物あるいは、合成スラグの選択により著しく大きな脱酸速度を現場的にも実現可能である事を示すものである。この観点から現場操業に対するいくつかの示唆が与えられた。

第五章 実用鋼塊の押湯比

鋼塊のパイプ及び濃厚偏析帯に関連して最適押湯比の推定を試みた。押湯部と鋼塊本体の熱収支を考へて組立てられた従来の押湯量推定式には溶質元素の濃厚偏析帯の鋼塊本体内残留防止に関して何ら考慮されてないが、本研究では偏析に対する考慮も払って押湯推定式を提出した。従って新設鋳型に対する適正押湯比を本式から信頼できる値として決定する事が可能となった。

第六章 結 論

本章は、第二章から第五章までの研究結果を総括したものである。要約すると次の通りである。

1. 鋳型肉厚、鋳型外表面のラジエータなどが鋳型内容鋼の凝固速度におよぼす影響について信頼できる詳細な計算を試みた。
2. 鋳型-鋼塊間に生成する空隙の生成時刻の測定および任意諸元の鋳型に対する空隙生成時刻の推定を可能にした。
3. 実用鋼塊におけるスクレイプ法の限界について考察した。

4. 実用鋼塊の偏析生成機構に対して溶質成分濃縮溶鋼の捕捉効果を考慮して凝固偏析に関する理論式を導出した。
5. 鋳型-鋼塊間の空隙が熱抵抗の最大原因である事に注目し、ここに直接冷却剤を送入し偏析の少ない鋼塊を得る事が出来た。
6. 脱酸生成物のルツボ壁への吸着分離機構を提案し、これを定量的に実証した。
7. 押湯比の推定式として現行値との対応で信頼度の高い式を導出した。

以上の如く著者は鋼の造塊過程に関して基礎的及び応用的研究を行ない、鋼塊内の主欠陥即ち成分偏析、非金属介在物、パイプなどの低減に寄与したものとする。

審査結果の要旨

鋼塊内には成分偏析，非金属介在物，パイプ等の諸欠陥が発生するが，これらが発生する造塊時の現象が複雑なため，造塊過程に関する研究は不十分で今後の研究にまたねばならない問題が数多く残されている。

本論文はこれら欠陥の少ない品質の優れた鋼塊を製造するための技術的基礎を確立することを目的として，造塊過程に関する基礎的研究から応用的研究までの一連の研究を行なった結果をまとめたもので6章よりなっている。

第1章は緒論で，本研究の目的についてのべたものである。

第2章は鑄型中溶鋼の凝固に関して実験理論両面から検討を加えたもので，鋼塊の凝固速度におよぼす鑄型肉厚の影響，鑄型表面ラジエータの冷却効果などを定量的に明らかにしている。

第3章では実用鋼塊の偏析生成機構および偏析低減策について述べている。すなわち従来の偏析生成に関する理論を補足して実用鋼塊に適用可能な偏析生成機構を提案し，これにより鋼塊の偏析実験結果を矛盾なく説明することができた。さらに上記凝固速度に関する研究から得られた知見をもとにして偏析低減のため，鑄型－鋼塊間に発生する空隙に冷却剤を送入し，強制冷却する実験を行ない偏析を低減出来ることを確認している。

第4章では取鍋内溶鋼中における非金属介在物の挙動およびその除去方法について研究した結果をのべている。すなわち実験的にA1による脱酸実験を実施し，その結果から溶鋼中に分散している脱酸生成物はルツボ壁耐火材との衝突により吸着されて鋼浴中から分離除去されることを認めた。すなわち耐火材による吸着分離が耐火材材質如何により異なり，これが脱酸速度へ寄与する程度が異なることを明らかにしたが，このことは鑄型注入前の溶鋼を適当な条件下で処理すれば極めて清浄な鋼がえられることを示したものである。

第5章では鋼塊に発生するパイプおよび濃厚偏析帯に関して研究を行ない，各種鑄型に対する最適押湯比の算定を可能にしている。

第6章は第2章から第5章までの研究を総括したものである。

以上要するに本論文は鋼塊内の主欠陥すなわち成分偏析，非金属介在物，パイプなどの低減を目的として，鋼の造塊過程に関して基礎的および応用的研究を行ない，優良鋼塊の製造技術に貢献したもので，これらの成果は金属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。