

審査の結果の要旨

氏名 平岡 照祥

鉄鋼業において高生産性の実現のために連続焼鈍プロセスが普及したこと、自動車にさらに高度の防食性が要求され、車体用薄鋼板に安価で高耐食性の溶融亜鉛メッキ鋼板が大量に使用されるようになったことなどによって、従来は特殊な仕様であった極低炭素濃度が要求される I F 鋼 (Interstitial Free Steel) の需要が急激に増大している。さらに、炭素排出規制問題から高燃費、省資源のハイブリッドカーが急速に普及し始めており、そのモーターに使用される珪素鋼板は軽量高性能という要求から、極低炭素・極低硫黄・極低窒素が要求される。

こうした国際的な市場の要求に応えるために、鉄鋼精錬における二次精錬の主流である二足連続循環真空脱ガス法 (RH 法) の生産性向上、性能向上など機能改善が強く望まれている。

本研究は、この要請にこたえるために、上記 RH 法の飛躍的性能向上を図るため、全く新しい加熱用バーナーを開発し、それを活用して実機における機能改善の実現を目的としたものであり、7章よりなる。

第1章は、序論である。これまでの RH 法を含む真空脱ガス法における機能改善の研究の現状を概観し、本研究の目的と論文の構成について述べている。

第2章は、上述したバーナーに使用するために新たに考案した、ラバール型ノズルの末広部に副孔を有する新型ノズルの特性を明らかにした結果を示した。副孔の存在そのものはガス流れに影響を及ぼさないこと、適正なスロート断面積比の条件であれば出口圧が大気圧の場合、単純円筒管からのガス流れとして扱うことができ、かつ副孔から吹込んだガスは主孔からのガスと極めて均一に混合されること、さらに通常のラバールノズルにおける過膨張領域では、出口圧と入り口圧の比が適正膨張条件から乖離するほどノズル周辺部に単純円筒管のガス流れの特徴が現れるが、ノズル出口の流速分布において中心部では超音速が得られること、および副孔からのガス量の増加と共にノズル出口のマッハ数が増加することを明らかにした。

第3章は、上述したバーナーにおいて、火炎の安定性を得るための条件を考察した。主孔から純酸素ガスを、副孔からLNGを吹込むこととし、この混合ガスが形成する火炎の安定性を明らかにした。LNG-純酸素混合ガスの混合比として層流燃焼速度が最大になる点を見だし、層流燃焼速度は温度の2乗、圧力の0.5乗に比例することを明らかにした。さらに既存の研究成果を応用し、層流燃焼速度から乱流燃焼速度を計算し、大気圧下において安定した火炎を形成する条件、つまり逆火せず、吹き消えしない条件を明らかにした。

第4章は、上記の研究で解析したノズル特性をもとに、実プロセス装置用バーナー(RH-MFB; RH-multi-function-burner)を設計し、100トン/バッチの実RH設備を使って加熱操作を試みた結果を解析している。従来は、RH処理待機中に真空槽内耐火物温度が低下するため、溶鋼温度の低下、真空槽内に溶鋼粒滴が凝固堆積することに起因するRH法の生産性低下、鋼材品質劣化、などの課題があった。RH-MFBによって真空槽内耐火物温度を常時1400℃以上に保持することにより、真空槽内における溶鋼粒滴の凝固堆積が完全に防止できること、耐火物のスポーリングが防止され寿命も2倍以上に延長すること、投入熱量の約70%が耐火物加熱に使用されることを明らかにした。さらに、RH処理中にRH-MFBによって溶鋼加熱を実施しても、溶鋼中の化学成分に変化は無く、投入熱量の約50%が溶鋼加熱に使用され、その結果15分加熱で溶鋼温度を20℃上昇させることが可能であることを示している。これらの効果により一次精錬終了時の温度を約30℃低下できることを明らかにした。

第5章は、RH-MFBの導入による真空脱炭反応速度の改善をはかった結果を報告している。従来は、炭素含有量10ppm台の鋼材を得るためには、一次精錬終了時の溶鋼中炭素を300ppm程度まで低下させる必要があり、このためスラグ中の酸化鉄濃度が増加し、一次精錬費用の増加、鋼材品質の劣化などの課題が生じていた。しかし、一次精錬終了時の溶鋼中炭素が500~900ppmまで増加しても、真空処理初期にRH-MFBから純酸素を2~3分間吹き付ける操作を行うことによって、溶鋼中酸素濃度が300~400ppmに上がり、以降は酸素供給を止めても脱炭反応は順調に進行し従来と同じ時間で同程度の低炭素鋼が得られることを明らかにした。また、溶鋼中酸素濃度が300ppm以上に確保された後にRH-MFBのガスをLNG-酸素混合ガスに変えて形成される火炎で溶鋼加熱を行った場合、真空脱炭処理中に溶鋼加熱を行っても脱炭速度に変化は見られず、通常どおりの極低炭素鋼が得られること、LNG流量を200Nm³/hとすることで0.5℃/minの加熱速度が得られること、さらにこの場合の熱効率が約50%であることを明らかにした。

第6章は、RH-MFBによる溶鋼脱硫処理の改善結果である。高合金鋼は脱ガス処理を必要とする場合が多く、粗溶鋼に対して多量の合金添加が行われるため合金からの硫黄

の増加を防げないため、高合金・極低硫黄鋼を製造する場合は合金添加後に溶鋼脱硫を行う必要がある。従来、溶鋼中へ CaO と CaF₂ の混合粉体（以後、脱硫用フラックスと称する。）を添加する方法が採られているが、脱硫用フラックス 5kg/t-steel の添加で溶鋼温度が 10℃ 低下する課題と、脱硫用フラックスの融点を下げて反応効率を上げる目的で、CaF₂ を 40% 添加しており、CaF₂ による耐火物損傷が大きいと言う課題があった。脱硫用フラックスを RH - MFB で形成される火炎中を通過させて加熱添加することにより、脱硫反応効率が 2~3 倍程度改善されること、さらに CaF₂ 添加比率を 40% から 20% に下げることにより耐火物損傷を軽減できること、脱硫用フラックス添加による溶鋼温度の低下を防止できることを明らかにした。この理由として火炎によって加熱される脱硫用フラックスが固液共存の粒滴状態で溶鋼中へ添加されるためであることを明らかにしている。

第 7 章は、本研究の総括である。既に、国内外で 19 基の実機設備が稼働していることを付記している。

以上を要するに、本研究はこれまで困難であった真空反応槽内の溶鉄の温度制御および製錬速度を制御するため、その基本技術である真空用多目的超音速噴流バーナーを開発したものである。この装置の応用による成果は、世界的に需要が急拡大している自動車用鋼板やその他の高級鋼材の製造を著しく容易かつ生産性を向上する成果があり、広く工業の発展に寄与している。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。