

審査の結果の要旨

氏名 鈴木 善継

高強度鋼板を車両等に適用して軽量化をはかり、燃費を向上させることが地球環境向上のための喫緊の課題である。このような高強度鋼板の実用には、耐食性を付与するための熔融亜鉛めっきによる高強度鋼板の防錆処理が重要な技術課題となっている。高強度鋼板は添加する **Si**, **Mn** 等の易酸化性元素が再結晶焼鈍時に選択外部酸化して酸化皮膜を形成し、熔融亜鉛との濡れ性を劣化させるために、亜鉛が被覆せずに鋼板が露出する「不めっき欠陥」等の問題を起こすことが知られている。これまでにいくつかの熔融亜鉛めっき濡れ性改善手法が提案されてきたが、何れのプロセスも工程数の増加や新たな設備投資などの問題があり、実用化に至っていない。

本論文は、高強度化に必要な **Si**, **Mn** を含む高強度鋼板表面に、選択酸化を利用して熔融めっき処理が可能な表面改質層を形成する手法を提案し、反応機構の解析に基づいて安定に工業生産する技術を開発したものであり、その内容は 8 章から構成されている。

第 1 章では、高強度合金化熔融亜鉛めっき鋼板の必要性、現行の熔融亜鉛めっき処理技術の問題点と課題について総括した。次に、高強度鋼板の熔融亜鉛めっき処理を工業的に可能とする冶金学的方法について検討し、内部酸化を利用して鋼板の表面に純鉄層をあらかじめ形成することにより、再結晶焼鈍時の選択外部酸化を抑制して熔融亜鉛めっきの濡れ性と合金化処理特性を改善する方法を提案した。

第 2 章では、**Si**, **Mn**, **B** を含む鋼板について不めっき欠陥部の詳細な分析を行い、焼鈍時に生成する選択酸化物が熔融亜鉛濡れ性を劣化させるために不めっき欠陥部が発生することを明らかにした。また、不めっき欠陥部近傍では主として **Al** が選択外部酸化物の還元により消費されるために **Fe-Al** 金属間化合物生成が抑制されること、選択外部酸化物が還元されずに残存する場合には **Fe-Zn** 初期合金相が欠落することを示した。同様な現象は熔融亜鉛浴の表面に生成する亜鉛を主体とする浴面酸化物によっても引き起こされ、めっき層と鋼板表面に存在する酸化物が不めっき欠陥等の表面欠陥発生の主な要因であることを明らかにして、不めっき欠陥をなくすためには再結晶焼鈍時における選択外部酸化の抑制が必要と結論した。

第 3 章では、二次加工脆性を改善するために添加される **B** 添加の影響に着目し、**B** 添加が選択外部酸化挙動及び熔融亜鉛めっき濡れ性に及ぼす影響を調査した。極低炭素

系 Mn 鋼に B が添加されると熔融亜鉛めっき濡れ性の劣化や選択外部酸化挙動が変化すること、Si, Mn 添加鋼に B を複合添加すると、Si, Mn, B 複合酸化物の融点が低下して液相が発生すること、その結果下地の鉄表面が露出して鋼板への酸素の供給が増加し、Si, Mn 選択酸化が促進することを明らかにした。以上より、熔融亜鉛めっき処理を行う上では高張力鋼中の B 添加量を適切に制御することが必要と結論した。

第4章では、Si, Mn 添加量および焼鈍雰囲気中における露点を変化させたときの選択外部酸化および内部酸化挙動に関する実験的解明の結果をまとめている。1mass%Si 添加鋼においては、Mn 添加量が 1mass%以下の場合には生成する選択酸化物の保護皮膜特性が選択酸化挙動を支配すること、Mn 添加量が 1mass%を越える場合は焼鈍雰囲気中の露点が内部酸化挙動に影響を与えることを示した。

第5章では、前章までの結果をもとにして、鋼板表層の選択酸化反応の制御により内部酸化反応が支配的になる条件を実現して、種々の化学組成の高強度鋼板のめっき特性を改善する2種類の方法について提案・検討した。第1の方法は熱延鋼板表面のミルスケールを酸素の供給源として鋼板表面付近を内部酸化するものであり、この内部酸化層を冷間圧延後に鋼板表層に残留させて選択外部酸化を抑制することにより、0.3mass%Si-1mass%Mn 添加鋼板のめっき密着性の改善を実現した。第2の方法として焼鈍雰囲気を高い露点に制御する方法を検討した。この場合も、鋼板表面に内部酸化層を導入することにより選択外部酸化の抑制が可能であり、高合金組成である 1.4mass%Si-1.5mass%Mn 添加鋼に対しても熔融亜鉛めっき処理を実現した。

第6章では、前述の選択酸化挙動に関する計算状態図的方法によるシミュレーションを試みている。ここでは、鋼板表層における局所平衡状態を仮定したモデルによる熱力学的解析を行い、合金初期組成と熱処理雰囲気中の酸素分圧が反応経路や選択酸化挙動に与える影響をシミュレートすることに成功し、Si, Mn 添加高強度鋼板の選択酸化挙動を予測する方法を確立した。

第7章では、本研究の成果の工業プロセスへの応用を示すと共に、本研究結果が高強度鋼板表面処理プロセス技術に与えたインパクトとその技術的意義、今後の展望についてまとめた。

第8章では、本研究の全体を総括した。

以上のように本研究は、選択酸化プロセスの制御によって鋼板表面に純鉄層を導入する表面改質技術を用い、工業的スケールでの高強度鋼板の熔融亜鉛めっき処理を実現したものであり、表面処理技術、高温酸化ならびに材料化学分野への貢献は大きい。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。