

氏 名	影 近 博
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 6 年 3 月 16 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 47 年 3 月 東北大学工学部応用化学科卒業
学 位 論 文 題 目	アークプラズマイオンプレーティングによる表面処理 鋼板製造法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 内田 勇 東北大学教授 板谷 謹悟 東北大学教授 杉本 克久

論 文 内 容 要 旨

表面処理鋼板は我が国鉄鋼総生産量の20%を占める主要な製品のひとつである。ここ数十年旺盛な需要に支えられ、鉄鋼メーカーでは表面処理設備の増強に努める一方で、より客先ニーズに合致した新製品供給のための技術開発に注力している。

従来の表面処理鋼板の製造法は、大別して電気めっき法と熔融めっき法に分けられるが、いずれも関連する設備技術の著しい発達により、大量生産に適した大型・広幅・連続処理プロセスとして確立している。

しかしながら近年のニーズの多様化・高度化の波は、表面処理鋼板に対しても影響を及ぼし、従来技術の範疇では、皮膜特性およびバリエーションにおいて満足な対処が難しくなっている。

こうした状況を踏まえ、本研究において第三の表面処理鋼板製造プロセスの開発に取り組み、エレクトロニクス分野を中心に高機能薄膜製造技術として注目されていた物理蒸着法（ドライプロセス）を大量生産技術として再構築すべく大型化、広幅化、連続化、高能率化を飛躍的に達成した。

本論文では、物理蒸着法の中で最も目的にあったイオンプレーティング法を軸に、その優れた皮膜特性を確保しつつ、大型化、高速化するための大出力電子ビームの利用法や大容量アークプラズマの生成・維持・制御法の確立、さらに真空系で連続して処理できる前処理方式の開発と、コイルリング可能な大型処理装置の制作などプロセス技術の革新に向けた基礎的な検討から応用・開発研究までを集約すると共に、開発に成功した新しいプロセスから創出されたいくつかの新製品の特性と応用を例示した

第1章 序 論

本章では、統計資料を引用して表面処理鋼板分野の需要動向を示した。ユーザの関心は、如何に自前の工程を簡略化しコストダウンするかにあり、その手段として鋼板のプレコート化が進んでいる。これに伴い表面処理鋼板の多品種・多機能化が助長され、従来の表面処理法での対応に限界が見えてきた。次世代を担う新しい表面処理プロセスは、溶融めっきや電気めっきを補完するものであり、これらの技術では不可能な新しい皮膜を提供しうるものでなければならない。こうした観点でドライプロセスを選択した。中でも、イオンプレーティング法は鋼板への処理に適しており、かつ皮膜特性が格段に優れていることから、この方法を軸に連続プロセスの構築を狙うことが最良と考えた。解決すべき技術課題として、成膜速度の飛躍的向上と連続処理設備を完成するための真空技術、プラズマ制御技術、連続化技術などを提示した。

第2章 イオンプレーティングによる高速成膜の可能性検討

成膜速度を従来の表面処理プロセスと同等以上に向上させる場合の問題点を理論的な面から整理した。高速成膜の前提となる蒸着速度について、工業的に利用可能な大容量エネルギー源として電子ビームを選択し到達可能な蒸発速度を算出した。また、高速蒸発下での蒸発粒子の飛行過程を分子流として扱い、蒸発源/基板間距離の上限を示し、設備化の課題を明らかにした。イオンプレーティングの前提となるイオン化反応の高効率化については、プラズマ中で起こるイオン化反応が電子と蒸発粒子の衝突によるという仮定に基づき検討した。高速蒸発の条件下では蒸発面近傍では高い粒子密度となり原子同士の衝突確率は高く、プラズマの電子密度がイオン化反応を律速すると考えられる。こうした検討を踏まえ、イオン化反応促進のためにはアークプラズマの導入が有効であることを明らかにした。

第3章 アークプラズマイオンプレーティングによる高速成膜プロセスと開発

前章で述べた基本概念を実験的に実証するため、アークプラズマと電子ビームを組み合わせた独自方式のイオンプレーティング小型装置を制作し実験した。

10^{-5} Torr レベルの高真空中で、大出力電子ビームによりCrを蒸発させた実験では、蒸発粒子が媒体となって大電流の直流放電を発生させることに成功した。プラズマは安定して維持され、放電特性のデータからこの放電がアークであることを確認した。この方式により、大出力電子ビームと大電流プラズマの共存条件が見出されイオンプレーティングによる高速成膜の実現性を実証することができた。

本方式アークプラズマイオンプレーティングから得られた皮膜の特性を調べた結果、密着性、被覆性、加工性が成膜条件の影響を強く受け、特に基板に与えるバイアス電圧、即ちイオンの運動エネルギーの効果によって皮膜特性が大きく変化することが分かった。イオンの効果は、皮膜/基板面のメソスコピックな観察結果から、界面での混合層の形成促進よりむしろ基板の結晶構造に整合した疑似的構造層の形成によるエピタキシャル成長の促進にあると考えられた。密着性、加工性等が優れた皮膜は十分なイオンの生成とバイアス電圧の最適制御によって得られることが確認できた。

第4章 前処理技術の確立

本章では前処理技術の確立について述べた。湿式めっき同様、ドライプロセスにおいても前処理工程は皮膜特性を向上させるうえで重要である。真空中で成膜する場合、前処理も真空中で行なうことが望ましく、一般には真空加熱やイオンボンバード処理が使われる。アークプラズマイオンプレーティングに際して前処理が皮膜特性に対しどのような影響を及ぼすかを検討した結果、加熱とイオンボンバード処理の併用が不可欠であり、かつイオンボンバード条件として電圧1 kV、イオン電流密度1 mA/cm²程度の条件が必要であることを導きだした。さらに、走行している鋼板を連続に処理するためイオンプレーティングの速度に相当する生産性の高い前処理システムとして独自に陽極マグネトロン方式のイオンボンバードシステムを開発した。

第5章 ドライプロセスパイロットラインの構築

前述した各要素技術に関する研究結果を踏まえ、一貫した連続処理設備を構築するための検討を行なった。真空排気システムの設計にあたってはライン全体を真空容器に収めるin-line方式を採用し、差圧シール機構により各処理室の真空度を個別に最適化できる新しいシステムを開発した。また、基板となる鋼板へのバイアス電圧印加についてはイオンボンバード処理とイオンプレーティングでは必要な異なるので、双方独立に制御できる新しい電源接続方式を開発し実験により確認した。これらの結果を総合して、板幅500mm、板厚1mm、最大コイル重量500kgの鋼板を処理できるパイロットラインを設計、建設した。そして、パイロットラインの運転を通じて最適成膜条件を確認しイオンプレーティングの優れた皮膜特性を大面積の鋼板表面に再現することに成功した。また、従来の表面処理プロセスに匹敵する成膜速度および均一性、操業性を実証し工業化レベルの連続イオンプレーティング技術を確立した。

第6章 ドライプロセスによる次世代表面処理鋼板の開発

本章では、ドライプロセスによってもたらされる新しい表面処理鋼板について述べた。ドライプロセスの特徴を示す典型的な応用例としてTiめっきを取り上げ、Ti皮膜の優れた耐食性・耐熱性を活かしA1めっき鋼板の特性を大幅に改善できることを明らかにし、Ti層を中間層としたA1/Ti二層めっき鋼板を開発した。この材料は従来のA1めっき鋼板に比べ格段に優れた耐熱耐食材料として自動車部材等に応用が図られている。また、A1-Snのような特有の2相構造を有する合金皮膜の形成により、潤滑性、電気特性等にユニークな特徴を持つめっき材料が得られることを示した。この材料はA1の高耐食性、高輝性もあり、深絞り成型に耐えうることから容器用材料として注目されている。

鋼板の表面に薄く均一にセラミックスをコーティングできることもドライプロセスの特徴である。セラミックスコーティングの例としてTiN皮膜を示した。この皮膜は光沢のある金色を呈し、表面が硬く傷つきにくい性質を有することから、TiN被覆ステンレス鋼板は内装建材用に幅広く用いられている。

第7章 総 括

以上述べた本研究の全体をこの章にまとめた。

本論文の主題である大量生産に適合した新しいドライプロセスの開発は、アークプラズマイオンプレーティング方式と高能率の前処理技術の組み合わせによって成功した。飛躍的に向上した成膜速度と皮膜特性は、本技術の工業的利用価値を高めドライプロセスの実用化を促進するものである。ドライプロセスの魅力は幅広い皮膜材料にあり、多様な製品を提供することによって表面処理鋼板の用途をさらに拡大することができる。ドライプロセスは、従来の電気めっき法，熔融めっき法に次ぐ鉄鋼業における第3の表面処理プロセスとして実用段階に入った。

審 査 結 果 の 要 旨

表面処理鋼板は、今日の鉄鋼業に於いて重要な商品の一つである。需要拡大に呼応して多品種少量生産技術が求められる中で、本論文は真空中でめっき処理を行う高生産性のイオンプレーティングプロセスを開発し、高速成膜及び前処理の最適条件を明らかにし、さらにプロセスの特徴を生かした高品質の表面処理鋼板を創出するなど、独自の方法によるアークプラズマイオンプレーティング技術の工業化を目的として行った研究成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、イオンプレーティングの原理に基づき、その高速化の可能性を理論的に検討し、大容量電子ビーム蒸発法と大電流アークプラズマの共存によるアークプラズマイオンプレーティングを新たに提案している。

第3章では、200kwの電子銃を備えた小型実験設備を用いて、前章の方式の実証試験を行い、金属クロムの蒸発条件下で大電流アークプラズマの発生・制御に成功している。電子銃出力と成膜度の関係、プラズマ電流とイオン化反応率の関係などを実験的に明らかにし、アークプラズマイオンプレーティングの基本動作を確認している。

第4章では、真空中での前処理に関して、皮膜特性に及ぼす効果を皮膜／基板界面のマイクロ構造解析から詳細に検討し、加熱とイオンボンバードの併用による最適条件を明らかにしている。また、連続処理へ適用するために必要な高効率前処理技術確立のため独自に陽極マグネロン方式を考案し、その実用性を確かめている。

第5章では、以上の要素技術を組合せ、連続製造システム構築のための検討を行っている。前処理及びイオンプレーティングに求められる真空度が異なるため、差圧シール機構で連結したインライン方式の真空排気システムを完成し、また、一連の移動する鋼板に二つの異なったバイアス電圧を同時に印加して、独立に電圧制御する方法も確立している。これらの研究成果により、板幅500mm、最大コイル重量500kgの鋼板にイオンプレーティングできるパイロットラインを設計、建設した。運転データから高速の成膜速度、高効率のイオン化、前処理効果などを確認し、工業化レベルに達したことを実証している。

第6章では、アークプラズマイオンプレーティングからもたらされる新しい表面鋼板の実例を示している。Tiめっき、Al/Ti二層めっき、セラミックスめっきなどは、従来法では不可能であった表面処理皮膜であり、これらを鋼板上にコーティングすることによって耐食性・耐熱性・意匠性など新しい機能が付与できることを明らかにし、表面処理鋼板の多品種化に有効であることを示している。

以上、要するに本論文は、独自に考察したアークプラズマイオンプレーティングにより、工業化レベルに達する新しい表面処理鋼板製造プロセスを確立したものであり、表面処理工学及び応用化学の発展に寄与することが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。