

氏 名	枝 村 瑞 郎 えだ むら みず お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1366 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	機 械 構 造 用 鋼 の イ オン 軟 窒 化 処 理 に 関 す る 研 究

論文調査委員 (主 査) 教 授 田 村 今 男 教 授 足 立 正 雄 教 授 村 上 陽 太 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、従来の鋼のイオン窒化法に種々な改良を加え、雰囲気として N_2 と H_2 に C_2H_6 および NH_3 を添加してイオン軟窒化を施す方法を確立し、鋼表面に生成する化合物層の組成と生成速度および拡散層について検討すると同時に、それらに及ぼす雰囲気ガス組成、処理条件の影響について詳細に研究し、さらにこの方法を機械構造用鋼（クランクシャフト、スクリューなど）に応用した実績についての研究をまとめたもので、9章よりなっている。

第1章は序論で、鋼の窒化に関する過去の研究を概観し、本研究の目的、必要性、重要性および従来の研究との関連について述べている。

第2章は本研究に用いたイオン窒化処理装置と処理方法の特徴について述べたもので、この窒化装置の陽極に加熱ヒーターを組込み、熱陽極とし、グロー放電による発熱とヒーターによる加熱によって均一な温度分布を得ると同時に、特に昇温時の過大なグロー放電出力による不安定性を排除し、急速加熱を可能にしている。また、安定した全ガス圧を維持するために、ピラニー真空計を排気側電磁バルブと連動させて、真空ポンプによる排気量を制御することなどの特徴を付与している。

第3章では、代表的な処理鋼種である低炭素鋼 (S15C)、中炭素鋼 (S48C)、Cr-Mo 鋼 (SCM435)、窒化用鋼 (SACM645) の窒化層の特性に及ぼすイオン軟窒化処理条件の影響について述べている。すなわち、添加 C_2H_6 濃度、全ガス圧、グロー放電電圧、グロー電流密度を一定として N_2 ガス濃度を変化させると、約50% N_2 で化合物層は最も厚くなる。また、低い全ガス圧で、電流密度を上げるとグロー放電電圧が高くなり、化合物層は厚くなり、グロー電圧が大きな因子であることを示し、さらに、拡散層の厚さはもっぱら窒化の温度と時間に依存し、グロー放電の諸条件とは無関係であることを示している。

第4章では、化合物層の構成相に及ぼす雰囲気ガス組成及び軟窒化温度の影響について述べている。すなわち、化合物層を構成している2種類の鉄窒化物相 (γ' - Fe_4N と ϵ - $Fe_{2-3}N$) の構成分率をX線分析によって定量的に把握し、Al, Cr を含有する SACM 645 が最も ϵ を多く生成し、雰囲気ガスに C_2H_6 を添加するとすべての鋼で ϵ を多量に生成するようになる。窒化温度を高くしても ϵ が多くなり、 ϵ 量が増す

ほど化合物層の硬さは増加することを明確に示している。

第5章では、低炭素鋼における化合物層及び拡散層の生成速度について詳細に述べている。すなわち、化合物層及び拡散層の生成速度と時間と温度の関係を詳細に研究し、また、化合物層と拡散層との境界における濃度を、平衡を仮定して推定し、これらの結果から、任意の処理条件における化合物層及び拡散層の成長の速度式を導出している。

第6章では、第5章において導出した速度式を用いて、化合物層の生成速度に及ぼすグロー放電電圧及び電流密度の影響をさらに詳細に広範囲に検討した結果を述べている。すなわち、化合物層の生成速度には、窒化初期に表面反応支配（1次則）の段階があり、その後拡散支配（放物線則）に従うことを明確にし、表面反応支配段階では生成速度はグロー放電電圧に大きく影響されるが、拡散支配段階ではあまり大きな影響を受けず温度と時間に依存することを示し、また、これらから任意の処理条件での化合物層の厚さを求める一般式を提案している。

第7章では、イオン軟窒化処理をさらに短時間に均一に達成することを目的として、 NH_3 添加雰囲気中での軟窒化挙動および窒化層の特性について述べている。特に、グロー放電による NH_3 の解離現象を明確に示し、 NH_3 の添加量の増加とともにグロー電圧は高くなり化合物層も厚くなり、また窒化鉄の量が多くなって硬さも増すことを示している。

第8章では、本研究によって開発されたイオン軟窒化処理法を大型オートバイ用クランクシャフトの大量生産に応用した実例について述べている。すなわち、大量生産用軟窒化設備、処理条件、化合物層及び拡散層の組成、生成速度、実際操業条件などを詳細に示し、満足すべき処理が可能であることを述べている。また、スクリーなどの他の部品への適用についても2、3の例を示している。

第9章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

鉄鋼の軟窒化法は鋼部品表面にNと同時に少量のCを拡散浸透させる表面硬化法で、各種鋼部品の摺動特性、耐摩耗性および疲労強度の向上のために利用され、大きな効果をあげている。本論文は、従来のイオン窒化法に種々な改良を加え、雰囲気として N_2 と H_2 に C_2H_2 および NH_3 を添加して鋼表面にイオン軟窒化を施す方法を確立し、鋼表面に生成する化合物層の組成、生成速度及び拡散層について検討すると同時に、それらに及ぼす雰囲気ガス組成、処理条件の影響について詳細に研究し、さらにこの方法を機械構造用鋼部品に応用した実績についての研究をまとめたもので、得られた主な成果を要約すると次のとおりである。

(1) 処理装置について、従来にない種々な考案を施し優れた設備を完成した。たとえば、陽極にヒーターを組込み、熱陽極とすることによりグロー放電による加熱と相俟って昇温速度を速くし、精密な温度制御と均一な温度分布を得ると同時に、昇温時のグロー放電の安定性を確保することに成功した。

(2) 雰囲気的全ガス圧、ガス組成及びグロー放電処理条件と処理後の化合物層及び拡散層の組成、厚さ、硬さとの関係を詳細に検討し、処理条件を確立した。たとえば、 N_2 濃度50%で化合物層が最も厚くなり、また、全ガス圧を低くし電流密度を上げるとグロー放電電圧は上り、それによって化合物層は厚くなる。

雰囲気ガス (N_2+H_2) に C_3H_8 を添加すると化合物層中の ϵ 相の分率が多くなり、硬さが上昇する。さらに NH_3 を添加すると、一部の NH_3 は解離するが、残存した NH_3 はグロー放電電圧を高めるので、化合物層は厚く、 ϵ 相が多くなり、短時間窒化が可能になることを示した。また、Al や Cr を含有する鋼では同一条件で窒化しても、炭素鋼に比し化合物層は薄い、 ϵ 相の量が多くなり硬くなる。また、拡散関してはその厚さはほとんどこれらの処理条件には関係せず、温度と時間によって決まることを示した。

(3) 化合物層及び拡散層の生成速度と時間と温度の関係を詳細に研究し、また、化合物層と拡散層との境界における濃度を平衡を仮定して合理的に推定し、任意の処理条件における化合物層及び拡散層の成長の速度式を導出した。

(4) 化合物層の生成速度には、窒化初期の表面反応支配の段階と、その後の拡散支配の段階があることを明確に示し、表面反応支配段階では生成速度はグロー放電電圧に大きく影響され、窒化速度を決定する重要な段階であり、拡散支配段階での化合物層の生成速度は主として温度と時間に依存することを示した。

(5) これらの研究成果をもとに、大量生産用軟窒化設備を完成し、その処理条件、操業条件を確立し、実際の生産に役立つ技術を開発した。

以上要するに、この論文は無公害省エネルギーでかつ合理的処理法として注目されるイオン軟窒化法をさらに改良し、多くの基礎的研究を積み重ね、さらに、大量生産設備とその操業法を確立したもので、得られた基礎的並びに応用的な多くの成果は、単にイオン軟窒化についてのみならず他の表面処理法に共通する幾多の新しい知見を与えたもので、工業技術上はもちろん、工学上にも寄与する所が少なくない。

よって、この論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。