

## 学位論文及び審査結果の要旨

氏 名 平岡 泰

学 位 の 種 類 博士(工学)

学 位 記 番 号 工府博甲第488号

学位授与年月日 平成28年3月24日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学 府 ・ 専 攻 名 工学府 システム統合工学 専攻

学 位 論 文 題 目 ガス窒化した低合金鋼の表面相構造と拡散層硬さ分布の予測技術に関する研究  
(Study on practical model to predict phase structure and nitrogen-diffusion layer's hardness in gas nitrided low alloy steels)

主査 横浜国立大学 梅澤 修  
横浜国立大学 川井 謙一  
横浜国立大学 福富 洋志  
横浜国立大学 廣澤 渉一  
横浜国立大学 長谷川 誠

## 論文及び審査結果の要旨

本論文は、鋼に対する表面硬化処理のひとつであるガス窒化処理において、窒化特性予測技術を実用化するため、拡散層の硬さ分布予測技術と表面相構造予測技術の確立を行い、一連の研究成果をまとめたものである。

低合金鋼への **Lehrer** 図適用手法を確立するために、主要合金元素である C、Si、Mn、Ni、Cr、Mo、V、Al が  $\gamma'$  相や  $\epsilon$  相の相安定性に及ぼす影響について、CALPHAD 法を用いた合金鋼 **Lehrer** 図計算によって評価した。 $\epsilon$  相の安定性に影響が大きい C について、母材 C 量の異なる低合金鋼を用いた系統的なガス窒化処理実験を行い、ガス窒化処理中の脱炭現象にともない、いずれの鋼種も低 C 側の **Lehrer** 図によって精度良く近似予測できることを示した。

次に、低合金鋼における拡散層硬さと窒素濃度の関係を明らかにした。Cr 含有低合金鋼 SCM435 鋼と DIN-31CrMoV9 鋼、Cr と Al が複合添加された窒化鋼 SACM645 鋼に対してガス窒化処理を行い、窒化処理温度毎に拡散層の硬さは、析出物の平均粒子径サイズと総体積率が一定条件下で窒素濃度と線形の関係にあることを示し、硬さと窒素濃度の関係をアレ

ニウス型の実験式として導出した。

さらに、合金窒化物 ( $\text{CrN}$ ,  $\text{AlN}$ ) の体積のみ求めることが可能な核生成-成長型の計算モデルを構築し、窒素濃度と硬さの関係式を利用する硬さ分布の計算手法を確立した。

以上の知見から、化合物層厚さや拡散層深さを短時間で厚膜化するプロセス技術の開発について示した。 $\gamma$ 単相化合物層の厚膜化、化合物層レスのいずれのプロセスにおいても、リードタイム短縮効果が大きく、世界初となる窒化シミュレーションを搭載した雰囲気制御型ガス窒化炉の製品化に成功した。

本論文は、実際の雰囲気制御型ガス窒化处理した低合金鋼において、鋼種や形状にあわせた窒化条件を実現するための窒化特性予測技術、すなわち、表面相構造と拡散層硬さ分布の予測技術を確立した点で工学的価値が高い。また、実処理における窒化处理中の脱炭現象と計算結果との関係を明らかにし、計算 **Lehrer** 図を低合金鋼に適用する指針を示したことや、拡散層の硬さ分布予測手法を、合金窒化物の体積率を精度良く計算できる核生成-成長型の計算モデルと硬さと窒素濃度の実験式提案など独創的で学術的に優れる。さらに、開発プロセスの製品化を行うなど、本論文の内容は工学的に貢献するところが大きく、博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認める。