



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	The Effects of Cr, Nb and Ti Additions on the Oxidation Behavior of Al ₂ O ₃ -Forming Ferritic Stainless Steels
Author(s)	李, 聰
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第17015号
Issue Date	2026-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k17015
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/100068
Type	doctoral thesis
File Information	Li_Cong_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 Li Cong

審査担当者 主 査 教 授 林 重 成
副 査 准教授 上 田 光 敏
副 査 教 授 坂 口 紀 史
副 査 准教授 岡 弘

学位論文題名

The Effects of Cr, Nb and Ti Additions on the Oxidation Behavior of Al_2O_3 -Forming Ferritic
Stainless Steels

(Al_2O_3 スケール形成フェライト系ステンレス鋼の酸化挙動に及ぼす Cr、Nb および Ti 添加の影響)

フェライト系ステンレス鋼は、室温から 1000 °C を超える幅広い温度範囲において優れた耐食性および耐酸化性を有することから、工業材料として広く使用されている。高温で使用されるフェライト系ステンレス鋼は、高温環境に対するバリアとしてクロミア皮膜あるいはアルミナ皮膜を形成する。これらの保護性皮膜のうち、クロミア皮膜は、より高温の環境あるいは水蒸気を含む環境下において、蒸気圧の高い三酸化クロムやオキシ水酸化クロムを形成して揮発するため保護性に劣る。一方、アルミナ皮膜を形成するステンレス鋼は、アルミナがより高い高温安定性を有することから、より高温において優れた耐高温腐食性および耐酸化性を示す。

フェライト系ステンレス鋼上にアルミナ皮膜を形成するための臨界アルミニウム濃度はおよそ 2wt% であるが、この臨界アルミニウム濃度は、合金中に添加されるクロムやシリコンなどの合金元素の影響を強く受けることが知られている。近年の報告では、ニオブが、臨界アルミニウム濃度をさらに低下させる元素として報告されている。一方で、これらの合金元素がアルミナの成長速度に及ぼす影響については十分に明らかにされていない。ステンレス鋼の長時間にわたる耐酸化性、特に寿命を予測するためには、アルミナ皮膜の成長速度に及ぼす合金元素の影響を理解する必要がある。

本論文は、アルミナ皮膜形成フェライト系ステンレス鋼の高温酸化に及ぼす添加元素の影響を明らかにすること、特にアルミナ皮膜の成長速度に及ぼすクロムおよびニオブ添加の影響を明らかにすることに加え、アルミナ皮膜の形成能を低下させる元素として知られるチタン添加の影響を検討したものであり、全 5 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、フェライト系ステンレス鋼の概要をまとめるとともに、アルミナ皮膜形成フェライト系ステンレス鋼の高温酸化挙動や合金添加に関する先行研究を整理し、本研究に取り組むに至った工学的・学術的背景および目的について述べている。

第 2 章「ニオブ添加フェライト系ステンレス鋼の高温酸化に及ぼすクロム添加の影響」では、クロム添加量の増加に伴い、二層から構成されるアルミナ皮膜の内層の成長速度が増加することを明らかにしている。また、その理由として、アルミナ皮膜の成長速度を低下させるラーベス相の割合が高クロム合金では低下するという機構を提案している。

第 3 章「アルミナ形成フェライト系ステンレス鋼のアルミナ皮膜成長に及ぼすニオブの影響」で

は、ニオブ添加量の増加に伴い酸化量が増加することを明らかにしている。また、このニオブの影響は低アルミニウム合金においてより顕著であり、5wt% 以上のアルミニウムを含む合金では認められないことを示している。さらに、酸化量の増加は主として内層アルミナの成長速度が増大するためであり、この内層アルミナの成長速度の増大は、ニオブの結晶粒界への偏析により酸素イオンの内方拡散フラックスが増大したためであると述べている。

第4章「ニオブ改良型アルミニウム含有フェライト系ステンレス鋼上に形成する酸化皮膜の成長に及ぼすチタン添加の影響」では、チタンの添加によりアルミナ皮膜の形成能が低下するとともに、アルミナ皮膜の成長速度が増加することを明らかにしている。このチタン添加の影響について、チタンがニオブとともに酸化され、アルミナ皮膜の形成に有効なクロムナイオベート層の形成を阻害するとともに、クロムナイオベート層中にも取り込まれることにより、同層の保護性が低下することを明らかにしている。さらに、アルミナ皮膜中にチタン酸化物の形成を認め、これがアルミナ皮膜の成長速度を増大させる要因であることを提案している。

第5章「総括」では、本研究で得られた成果および知見を総括している。これらを要するに、著者は、アルミナ皮膜形成フェライト系ステンレス鋼中に添加されるクロム、ニオブおよびチタンが、アルミナ皮膜の形成および成長に及ぼす影響を明らかにするとともに、それらの影響が生じる機構を提案しており、工学的ならびに学術的な進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。