

氏名（本籍）	秋田正之（岐阜県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	乙第 57 号
学位授与日付	平成 19 年 12 月 12 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	フェライト系ステンレス鋼溶接継手の疲労特性に関する実験的研究 (Experimental Studies on Fatigue Properties of Welded Joints in Ferritic Stainless Steel)
学位論文審査委員	(主査) 教授 戸梶 恵 郎 (副査) 教授 岡村 政 明 教授 長谷川 典 彦 准教授 植松 美 彦

論文内容の要旨

高純度フェライト系ステンレス鋼が構造部材に広範囲に用いられるようになっており、それに伴って溶接継手の疲労特性の評価の必要性が高まっている。しかし、それ自体の疲労特性はもとより、溶接継手の疲労特性はほとんど知られていない。こうした背景から、本論文では、高純度フェライト系ステンレス鋼の溶接継手について、大気中および3%NaCl水溶液（以下、塩水）中で、軸荷重疲労試験やき裂進展（FCP）試験を行い、疲労特性および破壊機構について検討している。

緒論では、本研究の背景、動機、目的や論文の構成などについて述べている。

第I編「フェライト系ステンレス鋼の疲労特性と破壊機構」では、第II編における溶接継手の母材となる高純度フェライト系ステンレス鋼 SUS444 の基本的な疲労特性および破壊機構について検討している。

第1章では、疲労挙動や FCP 挙動に及ぼす方位および環境の影響について検討している。塩水中では大気中よりも疲労寿命は減少するが、疲労限度に両環境中で差異は認められないこと、疲労強度に方位の影響は認められないこと、FCP 挙動には方位依存性が認められるが、き裂開閉口挙動を考慮すると消失すること、また純粋な環境効果によるき裂進展の加速が見られることなどを明らかにしている。

第2章では、溶接部の材質変化を模擬した熱処理を施した材料を用いて、疲労挙動に及ぼす結晶粒径や冷却速度の影響について検討している。大気中における疲労限度は熱処理温度の上昇、すなわち結晶粒径の増加に伴って低くなり、Hall-Petch の関係によって表されることを認めている。また、水冷材の疲労限度は同一温度の炉冷材より低下することを確認している。塩水中における各熱処理材の疲労強度は、大気中と比べて有限寿命領域では相違が見られないが、大気中の疲労限度以下の応力でも破壊を生じること、水冷材の疲労限度は炉冷材より低下することを明らかにしている。両環境中における水冷材の疲労強度の低下は、結晶粒の粗大化に加え、結晶粒界への Cr 炭・窒化物の析出の結果、粒界近傍に強度の低い Cr 欠乏層が生じたことに起因することを指摘している。

第II編「フェライト系ステンレス鋼溶接継手の疲労特性」では、第I編の結果を基礎として、溶

接継手の疲労特性と破壊機構について評価、検討している。

第3章では、溶接継手 CT 試験片を用いて、大気中ならびに塩水中における FCP 挙動について、残留応力やき裂開閉口挙動の測定結果および破面解析結果などに基づいて検討している。大気中の場合、き裂が溶接線と垂直に進展するとき、熱影響部 (HAZ) に達すると FCP 速度は一時的に大きく低下した後、単調に上昇するのに対して、溶接線と平行に HAZ 内をき裂が進展する場合および溶接部内をき裂が進展する場合、両者の FCP 挙動はほぼ一致し、母材よりも低い速度を示すことを認めている。こうした溶接継手試験片の FCP 挙動はき裂開閉口挙動に起因することを明らかにしている。塩水中の場合、すべての溶接試験片の FCP 速度は大気中よりも加速し、応力拡大係数 ΔK の増加に伴って顕著になることを認め、この加速はき裂開閉口挙動を考慮しても依然として見られることから、純粋な環境の影響によるものであることを確認している。実際、その領域の破面に広範な粒界割れやぜい性的な様相を認めている。

第4章では、大気中における溶接継手の疲労挙動と破壊機構について検討している。溶接継手試験片の疲労強度は母材試験片よりも大きく低下し、破壊箇所は例外なく溶接止端部であることを認めている。焼鈍した継手試験片や余盛部を除去した試験片の疲労試験結果および有限要素法解析結果などから、溶接継手試験片の疲労強度の低下は止端部の応力集中に起因していることを明らかにしている。

第5章では、溶接継手の疲労挙動に及ぼす腐食環境の影響について検討している。塩水中における溶接継手試験片の疲労強度は大気中に比べて低下することを認めている。塩水中においても破壊箇所は溶接止端部であるが、き裂発生に続く領域の破面がぜい性的であることから、疲労強度の低下は主に初期微小き裂成長の加速に起因することを推測している。また、溶接部の材質変化の影響を把握するために、余盛部除去試験片を用いて疲労試験を行った結果、塩水中において疲労強度は大きく低下し、高い腐食環境感受性を示すことを確認している。これは塩水中における腐食ピットの発生、成長によって助長されたき裂発生と微小き裂成長の加速に起因するものであることを明らかにしている。

結論では、第1章から第5章の結果を総括するとともに、本研究で得られた成果の工学的有用性について述べている。

論文審査結果の要旨

本論文は、高純度フェライト系ステンレス鋼の溶接継手について、大気中および 3%NaCl 水溶液 (以下、塩水) 中において軸荷重疲労試験や疲労き裂進展 (FCP) 試験を行い、疲労特性および破壊機構について検討したものである。これまで高純度フェライト系ステンレス鋼についてはそれ自体の疲労特性はもとより、機械・構造物の製造に不可欠な溶接継手の疲労特性は全く知られていなかった。最近、高純度フェライト系ステンレス鋼が構造部材に用いられつつある状況下で、本論文で得られた多くの貴重な知見は、構造材料としての当該材料の広範な応用に対してのみならず、溶接構造物の設計および安全性・信頼性の維持に多大な貢献を為すものと認め、学位論文として十分な価値を有すると判断される。

以下に論文の概要を簡潔に記す。

論文は、緒論および結論を除く主要部分は II 編、5 章で構成されている。

第I編は2章で構成されており、高純度フェライト系ステンレス鋼 SUS444 の基本的な疲労特性と破壊機構について述べている。最初に FCP 挙動や疲労挙動に及ぼす方位や環境の影響について検討し、続いて疲労挙動に及ぼす結晶粒径や冷却速度の影響を明らかにしている。本編の目的は第II編における溶接継手の疲労特性の基礎資料として資することにあるが、単にそれだけにとどまらず、得られた結果は高純度フェライト系ステンレス鋼を構造材料として応用する場合、耐疲労設計資料としてきわめて有用である。

第II編は3章で構成されており、第I編の結果を基礎として、溶接継手の疲労特性と破壊機構について記述している。まず、大気中および塩水中における溶接継手の FCP 挙動を明らかにし、次に大気中における溶接継手の疲労挙動と破壊機構について検討し、最後に溶接継手の疲労挙動に及ぼす腐食環境の影響について述べている。疲労が問題となる溶接継手の疲労特性について、疲労強度、き裂発生、微小き裂成長、FCP 挙動および環境効果などの種々の面から検討しており、得られた多くの知見は学術的価値のみならず、工学的有用性、すなわち溶接構造物の設計、保守・管理に多大な貢献を為し得るものである。

最終試験結果の要旨

審査委員会は、申請者に対して学位論文の内容およびその周辺の問題について口頭試問を行い、申請者が学位授与にふさわしい専門知識を有することを確認した。また、申請者が国際的なジャーナルに論文を投稿し掲載されていること、および国際会議における本人自身による幾つかの発表論文があることなどを踏まえ、語学力も十分であると判断した。

以上により、最終試験に合格と判定した。