

|             |                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------|
| 氏 名         | 西 岡 智 也                                          |
| 国 籍 ・ 本 籍   | 奈良県                                              |
| 学 位 の 種 別   | 博士（工学）                                           |
| 学 位 の 番 号   | 甲第245号                                           |
| 学位授与の日付     | 平成27年 3 月19日                                     |
| 学位授与の要件     | 名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当                             |
| 学 位 論 文 題 目 | スモールパンチクリープ試験による低合金<br>鋼溶接継手のクリープ損傷評価法に関する<br>研究 |
| 論文審査委員      | 主 査 藤 山 一 成                                      |
|             | 副 査 來 海 博 央                                      |
|             | 副 査 清 水 憲 一                                      |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、緒論である第 1 章、本体部分である第 2 章から第 5 章、総括である第 6 章で構成される。

第 1 章でははじめに国内の火力発電設備の稼働状況と経年化状況をまとめ、低合金鋼溶接継手部のクリープ損傷形態について述べ、従来の余寿命評価手法とその問題点について述べた。さらに、本研究の主題であるスモールパンチクリープ(以下 **SPC** と称す)試験を実機に適用するための課題を抽出し、研究の目的および進め方を明確にした。

具体的な課題としては「**SPC** 試験法の標準試験条件が未確立」、「実際のプラント配管溶接継手部のクリープ損傷評価に **SPC** 試験法を適用するための最適試験片形状が未確定」、「**SPC** 試験法による余寿命評価手法が未確立」という点であり、本研究では本課題解決に向け検討を行うこととした。

第 2 章では **SPC** 試験法の標準試験条件の検討を行うために、**2.25Cr-1Mo** を供試材として、破断時間および変形挙動におよぼす影響因子の抽出を行い、既存研究では明らかでない因子について実験を行い、標準試験法の検討を行った。その結果、表面粗さについては **# 1200** 研磨紙仕上げ（表面粗さ： $0.118\mu\text{m}$ ）と鏡面仕上げ（表面粗さ： $0.048\mu\text{m}$ ）程度の表面粗さの差は **SPC** 変形および破断形態に影響をおよぼさないことを明らかにした。また、潤滑剤の影響については潤滑材塗布により、セラミックボールと試験片間の摩擦係数が低下してクリープ変形が促進される結果、短寿命破断となるが、試験時間の進行にともない潤滑効果が消失する結果、無潤滑材とのクリー

プ変形挙動差がなくなり、両者間の破断寿命差が認められなくなった。したがって、SPC 試験での潤滑剤の塗布は試験条件を変化させる要因となることが懸念されることから、潤滑剤は塗布しない方が望ましいことが判った。最後に、Ar ガス流量の影響については Ar ガス流量の増加にともない最表面に生成する酸化皮膜が潤滑効果の大きな Fe-rich 皮膜から潤滑効果の小さな Cr-rich 皮膜に変化するために破断時間が長寿命化することが判った。従って、破断時間のばらつきを少なくするためには、Ar ガス流量の高精度管理が必要であると判明した。以上の結果より、SPC 試験の標準試験条件は #1200 研磨仕上げ、潤滑剤塗布無し、Ar 流量は流量にかかわらず高精度に管理することが望ましいと提案した。

第3章では実際のプラント配管溶接継手部のクリープ損傷評価に SPC 試験法を適用するための最適試験片形状について検討を行った。具体的には溶接継手の不均質組織を含んだ外径 10mm、肉厚 0.5mm の SPC 試験片を用いて、2.25Cr-1Mo 鋼溶接継手の粗粒 HAZ 部損傷 (TypeⅢ損傷) と、細粒 HAZ 部損傷 (TypeⅣ損傷) のクリープ損傷を SPC 試験により評価するための最適試験片形状について実験的手法と FEM(Finite Element Method)解析から検討を試みた。その結果、TypeⅢ損傷評価用試験片の形状としては溶接境界を試験片中央から 1mm ずらした形状が、TypeⅣ損傷評価用試験片形状としては溶接境界を試験片から 2mm ずらした形状とすると、評価を目的とする組織が破壊出来ることが実験的に確認された。また、FEM 解析による応力解析においても破壊の起点が評価を目的とする組織となっていることを検証した。以上の結果より、溶接継手部に SPC 試験を適用するための最適試験片形状が提案できた。

第4章では第3章にて提案を行った試験片形状にてクリープ損傷が検出可能か否かについて検討を行うために、実験的にクリープ損傷付与材を作製し、作製した損傷の異なる損傷付与材から SPC 試験片を採取して SPC 試験を実施した。その結果、粗粒 HAZ および細粒 HAZ 部にクリープ損傷を付与した損傷付与材より採取した SPC 試験片の挙動は損傷比の増加に伴い、破断時間が減少する傾向が得られた。また、最小変位速度については損傷比の増加に伴い、増加する傾向が認められた。さらに、破断時間と最小変位速度の変化はクリープ損傷比に対して良い相関関係があることが確認され、SPC 試験にて溶接継手部の損傷評価が可能であることを明らかにした。

第5章では SPC 試験法による余寿命評価手法の確立を目標に従来研究の主流であった試験荷重と応力の換算を用いない SPC 試験による新しいクリープ余寿命評価の手法について検討を行った。具体的には SPC 試験により得られる変化値を値正規化し、損傷評価線図の作成が可能か否かについて検討を行った。検討の結果、SPC 試験を実施して得られた SPC 破断時間を新材の SPC 破断時間で除して正規化した値を SPC 破断時間パラメータ値 (SPC rupture time ratio) と定義し、同様に SPC 試験を実施して得られた SPC 最小変位速度を新材の SPC 最小変位速度で除して正規化した値を SPC 変位速度パラメータ値 (SPC minimum deflection rate ratio) と定義し、クリープ損傷比との関係で整理すると SPC 破断時間パラメータ値および SPC 最小変位速度はクリープ損傷比と良い相関関係が得られ、本関係図を損傷評価線図として用いることにより SPC 試験により溶接継手部のクリープ余寿命評価が可能であることを明らかにした。

第6章では本研究で得られた結果を総括した。本研究において、老朽火力発電用ボイラの保守管理技術を向上させるため、溶接継手部へのスモールパンチクリープ試験法が有力な評価手段となりうることを示したが、ボイラに使用される材料は多種多様であり、今後適用鋼種を増やし、データベースを拡充することが極めて重要な課題といえる。

## 論文審査の結果の要旨

本申請論文は、原子力発電の停止に伴い我国の電力供給を担う火力発電設備の安定運用を確保するため、プラント構造上の重要部位であるにもかかわらず寿命評価の困難な溶接継手部の損傷・寿命を直接的かつ高精度に評価する技術を提案している。対象部位は、溶接入熱により母材側に形成される熱影響部である。溶接熱影響部(HAZ: Heat Affected Zone)には、狭い幅の領域に結晶粒径の大きい粗粒 HAZ 部と結晶粒径の小さい細粒 HAZ 部が存在し、負荷や温度の組合せによりいずれかがクリープ破壊の優先部位になりうることから、それぞれの部位についてクリープ寿命を明らかにする必要があるが、従来の引張り負荷による試験では継手全体に力が伝わり、分離して評価することは不可能であった。

そこで申請者は、新しい試験・評価法として、板厚 0.5mm、直径 10mm の小型円板試験片にセラミック球を押込むスモールパンチ試験を改良し、熱影響部各位置に対する試験が高温で行えるように微小なセラミックボールを一定荷重で押込んでクリープ特性を調べる方法を提案している。高温下での試験では、大気中酸化の影響により、試験片と試験治具の表面の摩擦係数が増加するため試験条件に大きな影響を与える。この影響を防ぐため、アルゴンガス雰囲気での加熱炉中で試験を行った。さらに、本試験において熱影響部の中での押込み位置の設定が重要となるため、有限要素法クリープ解析結果と実験結果との対比により、所望の部位を破壊させるための押込み条件を詳細な検討の上解明した。この解析を行うに当たっては、母材(2.25Cr-1Mo 鋼 STPA24 配管材)、粗粒 HAZ 部、細粒 HAZ 部、溶接金属部のそれぞれ単独のバルク素材試験を行い、解析に必要な材料構成式を明らかにした。その結果、溶接熱影響各部のクリープ特性を個別に明らかにすることができるようになった。さらに実機模擬溶接配管の内圧クリープ損傷付与材を作成し、その継手部から円板試験片を採取し試験した結果、本手法が損傷を受けた部材の余寿命を的確に予測しうることを検証した。

本審査委員会は、上記の研究成果および学術誌、国際会議への掲載実績を確認し、本申請論文が博士(工学)の学位論文として十分な学位論文としての条件を備えていると評価した。従って、学位を授与することを妥当なものと判断する。

