

## 審査の結果の要旨

氏名 浜田 幾久

本論文は、沸騰水型原子力発電プラント（BWR）の低合金鋼製原子炉圧力容器（RPV）の内面に防食用として肉盛溶接されるステンレス鋼溶接金属について、クロムを含む炭化物が粒界に生じることによる耐食性の低下すなわち鋭敏化に起因する高温純水中での粒界型応力腐食割れ（IGSCC）感受性の評価と、材料的な面からの鋭敏化抑制技術の確立を目指したものである。この種の溶接金属は溶接高温割れ防止のため、フェライト（ $\alpha$ ）相が10～20%生じるように成分調整されており、さらにRPVの製作過程において600℃近辺での溶接残留応力除去熱処理（PWHT）を受けるため、配管材等のオーステナイト（ $\gamma$ ）単相ステンレス鋼の鋭敏化とは異なった評価が必要である。そのため、実際に即した条件下において耐IGSCC性に優れた材料条件を見出すとともに、肉盛溶接金属の鋭敏化およびその回復現象の解明の一助とするための新規な解析モデルを構築し、実験結果を合理的に説明できるシミュレーション手法を開発した。その結果をまとめたものが本論文である。論文は7章からなる。

第1章では、RPVにおける研究対象部位とRPV製作工程を述べた後、 $\alpha$ - $\gamma$ 二相ステンレス鋼肉盛溶接金属の鋭敏化および高温純水中でのIGSCC感受性に関する従来の研究の調査結果をもとに、肉盛溶接金属特有の材料特性を評価する上での問題点を指摘し、本研究の目的を示している。

第2章では、RPVに接続される給水配管や主蒸気配管等のノズル溶接部（低合金鋼と $\gamma$ 系ステンレス鋼の異種金属溶接継手）の材料選定についての検討結果を述べている。はじめに溶接金属特有の材質的不均質性の影響を考慮して、定量的粒界腐食（IGC）試験法を確立するとともに、高温純水中でのIGSCC感受性をスクリーニングするための限界的なIGC速度を設定している。次いで候補材料の一つの316鋼溶接金属は、炭素量と $\alpha$ 量を所定の範囲に制限すると、耐IGSCC性及び脆化の点で極めて優れた特性を示すことを明らかにしている。電子顕微鏡観察により、本鋼ではPWHT時に $\alpha$ 相内部に多量のモリブデン炭化物が析出することを見出し、これが母地中の炭素を消費して鋭敏化を抑制するとしている。

第3章では、50～75mm巾の帯状電極を用いて二層肉盛溶接された308鋼溶接金属のIGC及びIGSCC感受性を詳しく評価している。そのなかで $\alpha$ 相の分布状態を定量化した金属組織パラメータ（ $\alpha$ - $\gamma$ 相界面の数または面積）に注目し、各試験材の挙動と金属組織パラメータとの関連性を検討しているが、先行研究で明らかにされていた鋭敏化／非鋭敏化の限界線が必ずしも適用できないデータがあることを見出している。また、この原因が帯状電極による肉盛溶接金属に特有の金属組織（ $\alpha$ 相の分布状態）と関係があることを突き止め、 $\alpha$ 相の分布状態の局部的特徴を反映したパラメータを用いると、IGC挙動と金属組織とがより明確に関連付けられることを示している。

第4章では、150mm巾の帯状電極による新規な一層肉盛用溶接金属の開発

の結果について述べている。一層肉盛溶接法では RPV 母材の希釈による炭素量の上昇が不可避であることから、本論文ではニオブによる炭素の固定に着目し、溶接性の優れた 308 鋼を出発材料として最適な量のニオブを添加した 308NbL 鋼を成分設計し、溶解してその特性を検討している。電子顕微鏡観察の結果、308NbL 鋼の耐 IGC 性は、溶接後の冷却過程において NbC が  $\alpha - \gamma$  相界面に優先的に析出することと関係があることを示している。この 308NbL 鋼の高温純水中での IGSCC 感受性については、従来の 308 鋼溶接金属に比べ 36 倍以上の高い SCC 発生寿命裕度を持つと推定される。

第 5 章では、 $\alpha - \gamma$  二相鋼溶接金属特有の鋭敏化・回復現象の機構を解明するため、従来の手法とは視点をかえて、クロム炭化物析出に伴うクロムと炭素の原子数収支、クロム炭化物の溶解度曲線、金属組織パラメータを考慮した解析モデルを構築し、鋭敏化からその回復までを一貫して解析できる新しいシミュレーション手法を提案している。解析モデルを実際の鋭敏化・回復現象の説明に適用するにあたっては、材料中の固溶炭素が所定の分配率で  $\alpha$  相と  $\gamma$  相に存在するという考え方を導入し、計算上はその分配率を 1 : 99 に設定したときに、シミュレーション結果と実験結果がほぼ一致することを明らかにしている。

第 6 章では、本論文の目的であるステンレス鋼肉盛溶接金属の耐 IGSCC 性向上に関する材料上の課題がどのように解決されたかを、RPV 底部内面用の高 Ni 系肉盛溶接金属の鋭敏化抑制も含めてまとめて述べたのち、高経年化への対応と今後の課題について論じている。

第 7 章は本論文の総括である。

以上を要約すると、本論文は RPV の内面に施工されるステンレス鋼肉盛溶接金属の高温純水中での耐 IGSCC 性に関する材料的な面からの検討結果をまとめたものであり、BWR プラントで特に高い信頼性が要求される RPV で使われる材料の選定、特性評価、信頼性評価に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。