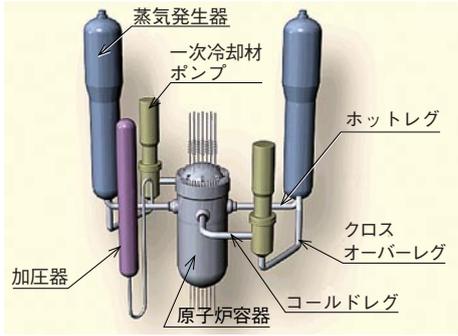


特 集 論 文

PWR 原子炉容器出口管台内面 クラディングの実機適用

Field Application of the Cladding of PWR Reactor Vessel Outlet Nozzle



中村 康夫*¹ 段 林 勝 治*² 阪 本 浩 之*³
 Yasuo Nakamura Katsuji Dambayashi Hiroyuki Sakamoto
 藤 谷 泰 之*⁴ 塚 本 義 正*⁵
 Yasuyuki Fujiya Yoshimasa Tsukamoto

1. は じ め に

PWR 一次冷却系統に用いられている 600 合金溶接部は、経年的に高応力付加状態では一次系水による応力腐食割れ (PWSCC) が発生する懸念があることは既に知られており、600 合金溶接部の検査実施が義務付けられている。

米国の発電所では、原子炉容器 (図 1) と一次冷却材管との 600 合金溶接部内面に発生した PWSCC による亀裂が進展・貫通し、一次冷却材の漏えいに至るといった損傷事例があり、製作時の当該部の大がかりな補修溶接による残留応力が影響していると考えられている。

PWSCC の発生は、“材料”、“応力”、“環境”の 3 つの要因からなることから、どれか 1 つの要因を取り除くことで予防保全対策を実施できる。

内面クラディング工法は、耐 PWSCC 性に優れた 690 合金を接液部となる管台とセーフエンドの異材継手部 (600 合金溶接部) の内面にクラディングし、“材料”による PWSCC 発生要因を排除する工法であり、実プラントでは溶接後熱処理が困難なことから、テンパービード溶接方法を確立して、実機適用を可能とした。

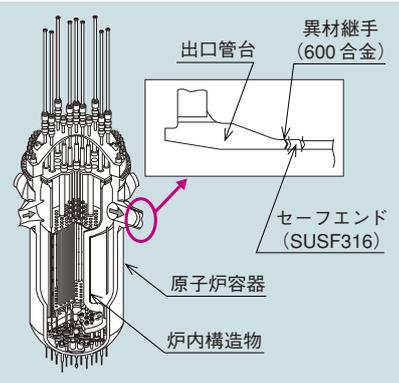


図 1 原子炉容器出口管台部

2. 工 事 計 画

原子炉容器出口管台への内面クラディング工法の適用においては、一次冷却材の流路確保及び施工部位の検査性確保のため、管台内側にクラッド部が突き出さない構造とした (図 2)。

溶接施工に当たっては、管台母材は溶接後熱処理が必要な低合金鋼であるが、当該部に溶接後熱処理を行うと、オーステナイト系ステンレス鋼を使用しているセーフエンドが鋭敏化する可能性があるため、溶接後熱処理の不要な 3 層テンパービード溶接方法を確立し、実機への適用を図った。

また、高放射線量率環境の原子炉容器内作業となるため板厚 150 mm 遮蔽用作業架台の適用を図った (図 3)。

3. 検 証 試 験

3. 1 テンパービード溶接方法の確立
 テンパービード溶接方法は、溶接時の入熱で焼入れされた低合金鋼溶接熱影響部の硬化領域を、後続パスにより焼き戻し、じん性、延性を回復させる溶接方法である。溶接部の健全性及び性能は、破壊試験による機械試験 (引張、曲げ、衝撃)、断面マクロ組織観察及び硬さ試験 (図 4) にて確認している。特に硬さについては、遅れ割れ防止の観点から Hv 350 以下に焼戻しされていることを確認している。

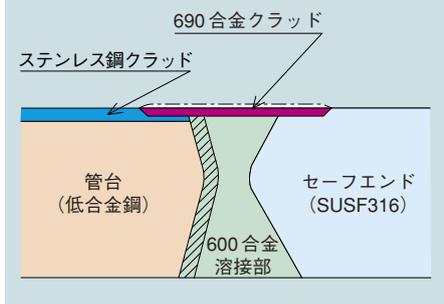


図 2 クラッド溶接部の形状

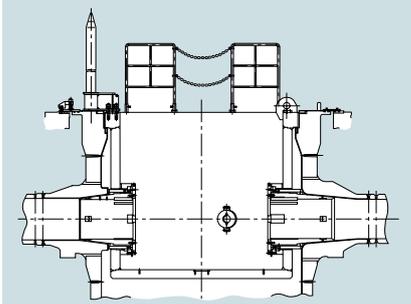


図 3 遮蔽用作業架台の取付け図

*¹ 神戸造船所原子力保全技術部技術課主席
 *² 神戸造船所造機工作部原子力機器工作課主席
 *³ 神戸造船所原子力機器設計部機器設計課

*⁴ 高砂研究所製造技術開発センター
 *⁵ 原子力サービスエンジニアリング(株)技術開発部次長

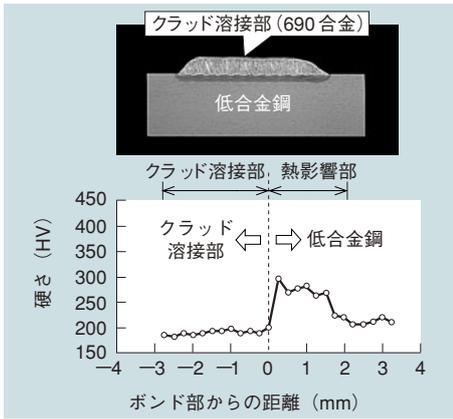


図4 テンパービード溶接部
断面マクロ組織と硬さデータ例.

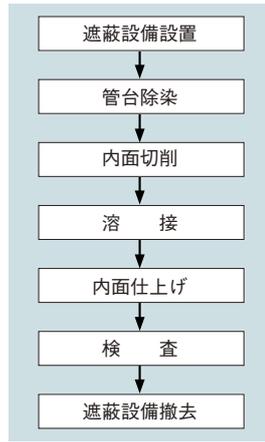


図5 工事手順

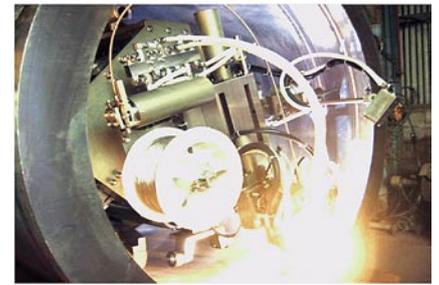


図6 管台内面自動 TIG 溶接試験状況



図7 管台内面除染装置試験状況

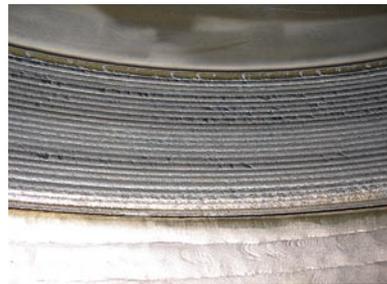


図9 実機溶接部外観表面 (仕上げ前)

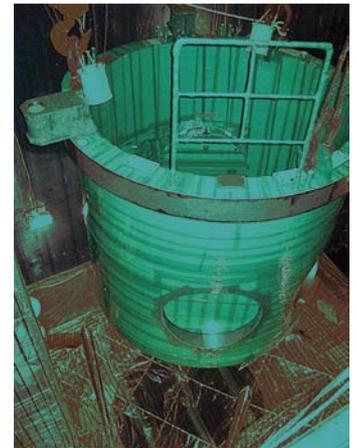


図8 遮へい用作業架台設置状況

また、溶接においては、溶接欠陥を防止するため、溶接材料中の不純物成分の低減、適正な溶接条件の選定を図り、高品質な溶接を実現している。

3.2 装置検証

工事の手順を図5に示す。除染・切削・溶接・検査の遠隔装置の開発・導入を図り、実規模大の管台モックアップで事前検証を実施した。図6に管台内面自動TIG溶接試験の状況を示す。実機では作業性確保のため、アクセス用遮蔽作業架台のほかに、管台内面は物理除染を計画した。物理除染は、装置ヘッドが管内面周方向に沿って回転するバキュームブラスト方式を適用して、ブラスト材の高回収率(99%以上)を達成した(図7)。また、ブラスト材も、従来のアルミナ材からプラント水質環境に影響のないステンレス材グリットを採用し、同等の除染効果を確保した。

4. 実機への適用

原子炉容器出口管台への内面クラディングは、平成16年11月四国電力(株)伊方発電所1号機において初めて適用した。同1号機では、同時期に炉内構造物の取替工事があり、原子炉容器内が気中環境となる状況を利用して、工事を実施した(図8)。

工事は、2管台を並行で実施し、工事期間は約25日(内炉内の占有は22日間)を要した。

除染効率は、DF(Decontamination Factor) 20～

30を達成し、管台内作業環境は、 ~ 2 mSv/hまで低減できた。

溶接施工後の検査では、外観検査・浸透探傷試験・超音波探傷試験とも無欠陥で合格し、耐圧漏洩試験を完了した。参考に図9に実機での溶接施工外観を示す。

工事の総被ばく線量実績は、0.3人・Svであり、計画の1/3程度で完遂した。

5. おわりに

今後、原子力プラントの高経年化に対応し、プラントの安全運転を継続していくため、今回のようなクラディング技術や、残留応力改善/機器取替技術の開発・適用を積極的に推進していく。



中村康夫



段林勝治



阪本浩之



藤谷泰之



塚本義正