

Title	ニッケル基600合金溶接部の高温高圧純粋中における応力腐食割れ特性と超音波探傷による割れ検出性の向上
Author(s)	西川, 聡
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57523">https://hdl.handle.net/11094/57523</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	にし 西	かわ 川	きとる 聡
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)		
学位記番号	第 24088 号		
学位授与年月日	平成22年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
学位論文名	ニッケル基600合金溶接部の高温高圧純水中における応力腐食割れ特性と超音波探傷による割れ検出性の向上		
論文審査委員	(主査)	教授 池内 建二	
	(副査)	教授 西本 和俊	教授 望月 正人 准教授 柴柳 敏哉

## 論文内容の要旨

本研究は、原子力発電プラントにおけるニッケル基600合金溶接部の健全性向上のため、応力腐食割れ (SCC) の低減、および発生した割れの超音波探傷試験 (UT) による検出性の向上について、主に金属組織学的な観点から支配要因を検討し、対策案を提示しようとするものである。このため、SCC感受性に影響を及ぼす主要合金成分である、C、Nb、PおよびCr濃度を変化させた600合金用被覆アーク溶接金属を製作し、隙間付き定ひずみ曲げ (CBB) 試験によって高温高圧純水中におけるSCC感受性を調査した。一部の試験片には、実溶接部の受ける応力除去焼鈍 (SR) と、使用環境を加速模擬した低温熱時効 (LTA) を施した。UTによる割れ検出性の向上に関しては、種々の溶接条件で継手を作製し、継手のSN比 (割れエコーとノイズとの比) により、割れ検出に優れた溶接金属組織の条件を明らかにした。

第1章では、緒論として本研究の背景と必要性を概観し、目的ならびに本論文の構成を述べた。

第2章ではSCCの発生位置および進展経路を調査し、合金組成や熱処理条件によらず、SCCのほとんどは大傾角粒界から発生するIGSCCであることを明らかにした。このため、第3章では柱状晶粒界に着目してCおよびNb濃度の影響を検討した。C濃度の増加は溶接のまま (AW) ではSCC感受性に大きな変化を生じないが、SR+LTA処理を受けた場合は柱状晶粒界にCr炭化物を析出させて粒界Cr欠乏層を形成し、耐粒界腐食性を低下させてSCC感受性を高めた。Nb濃度の増加は、AWではSCC感受性を僅かに上昇させたが、SR+LTA処理を受けた場合には、Nb (C, N) の形成量の増加により固溶C濃度を低下させ、粒界のCr炭化物の形成を抑えて耐粒界腐食性を高めた。しかし、Nb濃度が2.6mass%以上になると却ってSCC感受性が高くなった。これは、凝固偏析による高Nb濃度域が $\gamma'$ 相の析出によって硬化し、CBB試験時の負荷応力を増加させるためと考えられ、SR+LTA処理を受けた溶接金属のSCCの低減には最適なNb濃度が存在することが示唆された。第4章ではP濃度の影響を検討し、その増加はAWではSCC感受性を僅かに上昇させたが、SR+LTA処理を受けた高Nb濃度溶接金属の場合は、SCC感受性を低減させた。P濃度の増加は $\gamma'$ 相の析出領域を狭める効果があり、CBB試験時の負荷応力を低減させることが示唆された。第5章ではCr濃度の影響を検討し、Cr濃度の増加はAWではSCC感受性に大きな影響を及ぼさなかったが、SR+LTA処理を受けた場合には、18-22mass%まで増加するとSCC感受性を下げ、またAWと比べても低くした。このSCC感受性の低下は、Cr欠乏層中のCr濃度の上昇、およびSR+LTA処理中に析出するG相がPを取り込み、柱状晶粒界でのPの偏析濃度が低減されるためと考えられた。

第6章では、種々の溶接条件で600合金溶接部を作製してUTによる割れ検出を行い、溶接金属中の超音波通過距離が短いほど、また柱状晶の成長方向が揃った溶接金属であるほど割れ検出性が向上することを見出した。これは、柱状晶の成長方向が揃うほど溶接金属の通過中における超音波の音響インピーダンスの変化が少ないためと

説明した。

第7章では、前章までの結果を整理・検討し、ニッケル基600合金溶接部の健全性向上のための施策について、SCC感受性の低減に有効な主要合金組成の選定指針を提示した。また、UTによる欠陥検出性向上に望ましい溶接施工条件および方法を明らかにした。

第8章では、本論文で得られた結果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、原子力発電プラントにおけるニッケル基600合金溶接部の健全性向上のため、応力腐食割れ (SCC) の低減、および発生した割れの超音波探傷試験 (UT) による検出性の改善について、主に金属組織学的な観点から支配要因を検討し、対策案を提示しようとするものである。このため、SCC感受性に影響を及ぼす主要合金成分であるC、Nb、PおよびCr濃度を変化させた被覆アーク溶接金属を製作し、隙間付き定ひずみ曲げ (CBB) 試験によって高温高圧純水中におけるSCC感受性を調べている。一部の試験片には、実溶接部が受ける応力除去焼鈍 (SR) および使用環境における低温熱時効 (LTA) の影響を調べるため、これらを模擬した溶接後熱処理 (SR+LTA) を施している。

まず、SCCの発生位置および進展経路を調査することにより、合金組成や熱処理条件によらず、SCCのほとんどは大傾角の柱状晶粒界で発生・進展することを明らかにし、この結果に基づき柱状晶粒界に着目して主要合金元素の影響を調べている。その結果、C濃度の増加は溶接のまま (AW) ではSCC感受性に大きな変化を生じないが、SR+LTA処理を受けた場合は柱状晶粒界にCr炭化物 $Cr_7C_3$ を析出させて粒界Cr欠乏層を形成し、耐粒界腐食性を低下させてSCC感受性を高めることを示している。このSR+LTA処理中の粒界における $Cr_7C_3$ の析出は、Nb濃度の増加と共にNb (C, N) の形成による固溶C濃度の低下によって抑制され耐粒界腐食性が高められるが、2.6mass%以上ではNb濃度の増加によって却ってSCC感受性が高くなる現象を見出している。電子顕微鏡による詳細な組織観察に基づき、これは、凝固偏析による高Nb濃度域においてSR+LTA処理中に $\gamma'$ 相が析出し硬化することにより、CBB試験時の負荷応力を増加させるためであることを明らかにし、SR+LTA処理を受けた溶接金属のSCCの低減には最適なNb濃度域が存在することを示している。P濃度については、AWではその増加と共にSCC感受性が僅かに上昇するが、SR+LTA処理を受けた高Nb濃度溶接金属の場合はSCC感受性が低下し、これは凝固偏析に伴う $\gamma'$ 相の析出領域がP濃度の増加と共に狭められることにより、CBB試験時の負荷応力が低減するためであることを示唆している。Cr濃度もAWではSCC感受性に大きな影響を及ぼさないが、SR+LTA処理を受けた場合には、18-22mass%まで増加するとSCC感受性を下げることが示し、このSCC感受性の低下は、粒界に析出するCr炭化物が $Cr_{23}C_6$ に変化することによりCr欠乏層中のCr濃度が上昇することによるものであることを示している。

さらに600合金溶接金属部に発生したSCCのUTによる検出性を調べ、溶接金属中の超音波通過距離が短いほど、また柱状晶の成長方向が揃っているほど検出性が向上することを見だし、その理由について説明を与えている。

以上のように、本論文はニッケル基600合金溶接金属部におけるSCC感受性に対する主要合金元素の影響を明らかにし、その原因について考察することにより、SCC感受性の低減のための主要合金組成の選定指針にいくつかの新しい視点を提示している。またUTによる欠陥検出性向上に望ましい溶接施工条件および方法も提示し、原子炉炉水環境における600合金溶接部の健全性の向上に多大な貢献をしており、基礎および応用の両面にわたってその工学的意義は大きいと考えられる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。