The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Crystallographic Analysis on Initiation of Intergranular Stress Corrosion Cracking of Alloy 600 in Simulated PWR Primary Water Environment
Author(s)	鄭, 起宅
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91788
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　鄭　起宅　）	
論文題名	Crystallographic Analysis on Initiation of Intergranular Stress Corrosion Cracking of Alloy 600 in Simulated PWR Primary Water Environment (模擬PWR 1次冷却水環境におけるAlloy600の粒界応力腐食割れ発生の結晶学的検討)

論文内容の要旨

加圧水型原子炉(Pressurized water reactor, PWR) 1次冷却水模擬環境におけるAlloy 600の粒界応力腐食割れ(Intergranular stress corrosion cracking、IGSCC)き裂発生の結晶組織学的特性を検討した。本論文は全5章からなり、得られた成果を以下に示す。

第1章では、Ni合金に発生するIGSCCの概要とその発生・進展機構について金属組織学の観点から述べるとともに、粒界特性がIGSCC及ぼす影響の統計的解析の重要性について述べた。

第2章では、電子線後方散乱回折法(Electron backscatter diffraction, EBSD)を用いてIGSCCのき裂発生を結晶学的に解析する方法を提案した。本研究ではコロイダルシリカ懸濁液で機械化学的研磨を施したAlloy 600の平板引張試験片に対して模擬PWR 1次冷却水環境下での短時間の低ひずみ速度試験(Slow strain rate test, SSRT) によりIGSCCき裂発生を初め再現した。さらに高温高圧水中で生成した厚い酸化皮膜を、Ar+イオンスパッタリングを用いて除去した後にEBSDによる観察を行った。Alloy 600の表面を1 μmずつ研磨して圧痕を基準に同一の場所で連続的にEBSDを測定することにより、き裂発生に対する3次元結晶学的特性の解析を行った。その結果、粒界面と応力軸のなす角40 °付近で高いき裂感受性を示し、せん断応力によるき裂発生の可能性が示唆された。

第3章では、模擬PWR 1次冷却水環境下で10 %, 20 %冷間加工したAlloy 600のSSRT後に数百以上の結晶粒に対してEBSD解析を行い、統計的に解析した。模擬1次冷却水環境での溶存水素濃度は、それぞれ0.5 ppmと2.75 ppmに調節して、溶存水素濃度がAlloy 600のき裂発生に及ぼす影響を検討した。溶存水素濃度2.75 ppmではAlloy 600にき裂が多く発生した。一方、0.5 ppmの低い溶存水素濃度環境下では、き裂がほとんど発生しなかった。EBSD分析から、対応(Coincidence site lattice、CSL)粒界よりもランダム粒界で高いき裂発生確率を示した。10 %冷間加工したAlloy 600では、結晶方位差30 °で高いき裂発生確率を示し、き裂発生に対する方位依存性が現れた。一方、20 %冷間加工したAlloy 600のき裂発生確率は、結晶方位差20 °から50 °まではほぼ一定であった。さらに、粒界に加わる応力がき裂発生に及ぼす影響を検討した。粒界にて接する二つの結晶粒に発生する主すべりベクトルを試料表面に投影し、試料表面の粒界に作用する引張、圧縮、ならびにせん断応力をベクトル分解し、統計的に分析した。その結果、引張応力とせん断応力下でき裂が発生した。一方、粒界に強い圧縮応力が作用するときはき裂を発生しなかった。さらに、粒界に隣接する二つの結晶粒の応力ベクトルのみならず周辺の結晶粒に作用する応力ベクトルの作用によるIGSCC発生もありうることが明らかとなった。

第4章では、模擬PWR 1次冷却水環境下593 Kと633 Kにて、10 %と20 %冷間加工したAlloy 600に発生するIGSCCの3次元結晶学的特性を検討し、粒界面のねじれ角とIGSCCのき裂発生の関係を解析した。粒界面のねじれ角は、表面と断面の同一箇所でEBSDを測定し、得られた結晶学的データに基づいて、粒界面の結晶学的3次元マトリックスを決定することによって計算した。その結果、結晶方位差と粒界面のねじれ角40 °付近でIGSCCのき裂感受性が最大となることが明らかとなった。さらに、粒界面と応力軸と割れ感受性との相関を検討したところ、IGSCCのき裂は、引張のみならずせん断にともなう粒界すべりも起点となりうることが示唆された。

第5章では本研究の成果を総括した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（鄭　起宅）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	藤本　愼司
	副 査	教授	宇都宮　裕
	副 査	教授	安田　弘行
	副 査	准教授	土谷　博昭

論文審査の結果の要旨

本論文は、加圧水型原子炉(PWR) 1 次冷却水模擬環境におけるNi基合金Alloy 600の粒界応力腐食割れ(IGSCC)き裂発生の結晶組織学的特性に関する研究成果を取り纏めており、以下の５章から構成されている。

第１章では、Ni基合金に発生するIGSCCの概要とその発生・進展機構について金属組織学の観点から説明するとともに、粒界特性がIGSCCに及ぼす影響に関しての統計的解析の重要性について述べている。

第２章では、電子線後方散乱回折法(EBSD)を用いて、IGSCCき裂発生の３次元結晶学的解析を提案している。コロイダルシリカ懸濁液で機械化学的研磨したAlloy 600引張試験片に対し、模擬PWR 1 次冷却水環境での短時間の低ひずみ速度試験(SSRT)を実施することによってIGSCCき裂が多数発生することを初めて明らかにしている。さらに、試料表面を深さ 1 μm ずつ研磨して同一の箇所でのEBSDを連続的に実施することによって、結晶方位と結晶方位面と応力との関係を 3 次元的に解析し、粒界面と応力軸のなす角が40 °付近で高いき裂感受性を示すことを明らかにしている。

第３章では、冷間加工を加えたAlloy 600を模擬PWR 1 次冷却水環境でSSRTを行い、試料表面の数百以上の結晶粒に対してEBSD解析を行い、統計的に解析している。EBSD分析から、対応(CSL)粒界よりもランダム粒界にて高いき裂発生確率を示すことを明らかにしている。10% 冷間加工したAlloy 600では、結晶方位差約 30 ° で高いき裂発生確率を示し、き裂発生に対する方位依存性が現れるが、20% 冷間加工したAlloy 600のき裂発生確率が、結晶方位差20 °から50 °まではほぼ一定であることを見出している。さらに、粒界に加わる応力がき裂発生に及ぼす影響を検討するために、粒界にて接する２つの結晶粒に発生する主すべりベクトルを試料表面に投影し、試料表面の粒界に作用する引張、圧縮、ならびにせん断応力をベクトル分解し、統計的に分析している。すなわち、引張応力とせん断応力下でき裂が発生し、粒界に圧縮応力が作用するときはき裂を発生しないことを確認している。さらに、結晶粒界でのひずみの蓄積によってもIGSCCが発生することを明らかにしている。

第４章では、模擬PWR 1 次冷却水環境で 593 K と 633 K にて、10% と 20% 冷間加工したAlloy 600に発生するIGSCCに関して結晶学的特性を検討し、隣接する結晶粒の粒界面におけるねじれ角とIGSCCき裂発生との関係を解析している。粒界面のねじれ角は、同一箇所での表面および垂直断面のEBSD測定を行い、得られた結晶学的データに基づいて、粒界面の結晶学的３次元マトリックスを決定することによって算出している。その結果、結晶方位差と粒界面のねじれ角とがいずれも 40 ° 付近で IGSCC のき裂感受性が最大となることを明らかにしている。さらに、粒界面と応力軸と割れ感受性との相関を検討し、IGSCCき裂は、引張応力のみならずせん断応力にともなう粒界すべりも起点となりうることを示唆している。

第５章では、本研究の成果を総括している。

以上のように本論文は、Ni 基合金の粒界応力腐食割れのき裂発生最初期過程を、粒界の結晶学的構造と粒界に生じる応力とに注目して解明しており、これらは Ni 基合金の応力腐食割れの理解を深める成果で、材料学の発展に寄与するものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。