

イオン照射した低チタン添加バナジウム合金の照射硬化挙動

Irradiation hardening behavior of low-titanium added vanadium alloy irradiated with He ion

*利根 薫¹, 福元 謙一¹, 鬼塚 貴志¹, 東郷 広一¹, 石神 龍也²

¹福井大学, ²若狭湾エネルギー研究センター

核融合炉構造材候補として期待される低放射化バナジウム合金においてスエリングと照射脆化の最適化下バナジウム合金組成を模索するため、低チタンバナジウム合金を製作してイオン照射を行い、ナノインデント硬度試験と TEM 観察により検討した。チタン添加量の増加に伴う照射硬化増加と、チタン添加量の現象によるボイド組織の発達が見られた。

キーワード：核融合炉，バナジウム合金，スエリング，照射硬化挙動，マイクロ組織

1. 緒言

バナジウム合金である V-4Cr-4Ti は低放射化特性および優れた高温強度により、核融合炉ブランケット構造材の候補材として期待されている。製造過程において溶接による V-4Cr-4Ti 中の格子間不純物である O, C, N 等のガス原子が、中性子照射によって形成された転位ループやチタン析出物を形成して周囲に固着することにより、照射硬化が促進して脆性挙動を引き起こす。チタン析出物形成を抑制するためチタンの添加量を減らすと、固溶チタン原子の空孔トラップ効果が小さくなりスエリングを起こしやすくする。本研究では、チタン添加量を抑えつつ耐スエリング特性に優れたバナジウム合金設計指針の開発を目的として、4%Ti 濃度以下の組成でチタン添加量の異なったバナジウム合金を作製して He イオン照射した後、ナノインデントを用いて照射材と非照射材の硬さ及び照射特性を評価し、バナジウム合金の照射組織発達過程に及ぼすチタン添加量の影響及び、Ti 濃度 4%以下で耐スエリング性を担保できるかを検討した。

2. 実験方法

3 種類のバナジウム合金(V-4Cr-1Ti, V-4Cr-0.3Ti, V-4Cr-0.1Ti)を 2.5mm×11.5mm×0.2mm の寸法にカットし、横型焼鈍炉を用いて 1000°Cで 2 時間焼鈍を行った。その後、硫酸メタノール(硫酸：メタノール=1：5)を用い、テヌポールで 15V, 60sec の条件で試料表面の研磨を行った。若狭湾エネルギー研究センターで、タンデム加速器を用いて、500°Cで 2MeVHe イオン照射を損傷量 1dpa にて行った。照射後 EBSD を用いて結晶粒の大きさを調べ、ナノインデントを用いて押し込み深さ 50nm で超微小硬度試験を行った。超微小硬度試験後、FIB を用いて試料を 0.2μm まで薄膜化し、TEM を用いてマイクロ組織観察を行った。超微小硬度試験では、すべり方向<111>に最大せん断応力がかかるようにシュミット因子が最大となる結晶粒を EBSD を用いて決定し、照射材と非照射材の硬さ評価を行った。

3. 結論

超微小硬度試験より、照射前後で硬さの変化が見られた。Ti 添加量の増加に伴い、照射後の試料では硬さの増加が見られた(図参照)。EBSD を用いて結晶を観察したところ、Ti 添加量を抑えた合金では、結晶粒の粗大化が起きていた。TEM 観察では、V-4Cr-1Ti において Ti バルクの形成と、その他の合金においてボイドの形成が見られた。Ti 添加量を抑えると、V 合金の結晶粒が粗大化した。一方 Ti を 1%以上添加すると、非照射材において 1μm を越える Ti バルク析出物が形成されていたが、マトリックス中に多くの照射欠陥が形成され、照射硬化が促進されると考えられる。V-4Cr-0.1Ti では照射によりボイド形成が認められ、損傷ピーク位置でボイド組織が発達した。V-4Cr-1Ti ではボイド形成は認められないため耐スエリング性は良好であることが示されたが微細照射欠陥集合体の形成による照射硬化寄与が大きい事が示された。本研究のデータとともに、核融合研提供の高純度 V-4Cr-4Ti および高クロム濃度含有した V-Cr-Ti 合金との比較を行った。詳細は当日述べる。

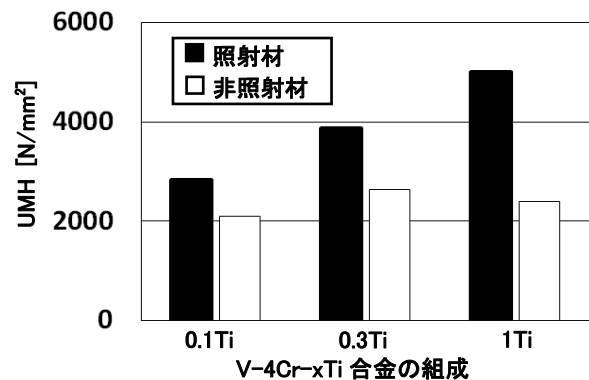


図. 照射した V 合金のナノインデント試験

参考文献

- [1] Jin Gao, Lijuan Cui, Farong Wan, , Materials Characterization111(2016)1-7, ELSEVIER
 [2] 若井 栄一, 室賀 健夫, 長谷川 晃, J.PlasmaFusion Res. Vol84. No9(2008)571-582

*Kaoru Tone¹, Ken-ichi Fukumoto¹, Takashi Onitsuka¹, Kouichi Tougou¹, and Ryouya Ishigami²

¹Fukui Univ., ²THE WAKASA WAN ENERGY RESEARCH CENTER.