

低放射化バナジウム合金の機械特性に及ぼす不純物窒素と合金組成の影響

Effect of nitrogen impurity and alloy composition on mechanical properties of low-activation vanadium alloy

*齋藤千貴¹, 長坂琢也^{1,2}, 小林真^{1,2}, 申晶潔², 山崎樂¹,

チザールバレンチン³, 室賀健夫^{1,2}

¹総研大, ²核融合研, ³カールスルーエ工科大

低放射化バナジウム合金は液体リチウム増殖ブランケット構造材料の候補である。合金元素チタンは窒素などの不純物と反応して析出し固溶硬化とそれに伴う脆化を抑制するが、放射化の観点からは添加量を最小限にする必要がある。そこで本研究では、チタンによる不純物窒素のスキャベンジング効果を定量的に評価し、添加量を最小限化するため、窒素の拡散・チタンとの析出挙動と機械特性の相関、さらにそのメカニズムを明らかにした。

キーワード：核融合炉ブランケット構造材料, バナジウム合金, スキャベンジング効果, 機械特性

低放射化バナジウム合金は核融合炉における液体リチウム増殖ブランケット構造材料の候補である。合金元素チタンは液体リチウムから侵入してくる不純物窒素と反応し析出することで母相格子から窒素を取り除き、不純物による固溶硬化及び脆化を抑制する。一方で、チタンは核融合炉環境下で長半減期の放射性核種を生成するため、添加量を最小限にする必要がある。本研究では、チタン添加量を最小限化するため、不純物窒素の拡散を窒素ガス曝露実験で模擬し、窒素の拡散・チタンとの析出挙動と機械特性の相関、さらにそのメカニズムを明らかにすることで、チタンによる不純物窒素のスキャベンジング効果を定量的に評価した。

クロム濃度 4~8 mass%、チタン濃度 0~4 mass%の低放射化バナジウム合金を使用した。表面の電解研磨を行った後に、窒素ガス曝露実験を 650°C、25 時間行った。その後、ビッカース硬さ試験及び引張試験にて機械特性の評価を行った。また、走査型電子顕微鏡観察及び GD-OES 等による分析を行った。

表面のビッカース硬さ試験の結果から、窒素ガス曝露前後の硬さの変化量はチタン濃度 2 mass%までは増加し、その後減少した。また、700~800 VHN と非常に大きく、スキャベンジング効果による効果抑制は発現しなかった。これは、チタン析出は起こったものの微細高密度なために、析出硬化が大きくなったためと考えられる。一方断面のビッカース硬さ試験の結果から、例えば深さ 50 μm のところでは 0.1mass%Ti、1mass%Ti 合金の硬さは他の高チタン合金よりも約 100 VHN 硬くなっており、チタン濃度が低いほど比較的深い領域でも硬化を示すことが明らかとなった(図1)。引張試験では、高チタン濃度の合金では低チタン濃度の合金に比べて延性を維持していた。以上のことから、合金の表面付近は窒素濃度が高くなるためにスキャベンジング効果よりも析出硬化が優勢となるが、深部のバルク領域では表面によるスキャベンジング効果で窒素の侵入量が小さくなる、あるいは侵入してもスキャベンジング効果が優勢となり硬化が抑制されていると考えられる。

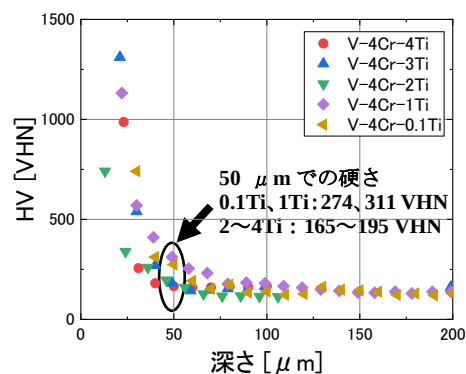


図1 窒素ガス曝露実験後のバナジウム合金のビッカース硬さの深さ分布

*Kazuki Saito¹, Takuya Nagasaka^{1,2}, Makoto Kobayashi^{1,2}, Jingjie Shen², Gaku Yamazaki¹, Valentyn Tsisar^{2,3}, Takeo Muroga^{1,2}

¹SOKENDAI, ²NIFS, ³KIT