

学 位 論 文 題 名

Effect of Hydrogen on Mechanical Properties,
Microstructure and Fracture of V-Cr-Ti Alloys

(V-Cr-Ti 合金の機械的性質、微細組織および破壊に及ぼす水素の効果)。

学位論文内容の要旨

最近急速な研究開発が行われているバナジウム基合金は、卓越した高温強度特性のほかに、優れた耐照射性が期待されるために、核融合炉などの先進エネルギーシステムの構造材料の候補となっている。しかしながら、バナジウム合金は侵入型元素との親和力が強く、特に固溶量と移動度の大きい水素が機械的性質と微細構造変化及ぼす効果の研究が望まれている。また、水素脆化のメカニズムには諸説があり、微細構造観察の結果に基づく実証的研究が必要である。さらに、実用上重要である中性子照射を受けた場合の格子欠陥と水素の相互作用についての研究は全く行われていない。本研究では、水素による損傷構造と機械的性質の変化から高水素濃度でのマイクロクラックの形成と伝播の過程を評価し、またガス放出挙動から水素と格子欠陥の相互作用を明らかにし、バナジウム合金における水素挙動の主要因子を明らかにするものである。

第1章では、核融合炉や原子炉などの構成材料に関する研究の背景とその材料開発の課題などをまとめ、バナジウム合金の重要性を述べ、これらをもとに研究の目的を明らかにしている。

第2章では、現在までの研究で提唱されている水素脆化のメカニズムの諸説を概説し、さらに応力誘起水素化物形成と脆化の過程とクラック伝播過程の研究の重要性を指摘した。

第3章では、水素をチャージしたバナジウム合金の機械的性質と微細構造について述べた。水素のマクロ的な固溶限は約 1at%レベルで他の侵入型元素よりも大きく、それ以上で水素化物が析出する。この固溶限はTi やCr の添加により見かけ上は拡大する傾向を示す。引っ張り変形によると、降伏強度は水素化物が形成する高濃度側では大きくなり、伸びは減少する典型的な脆化挙動を示す。この程度は化学的親和力の大きいTi 系と化学的親和力の小さいCr 系では大きく異なり、前者で顕著である。降伏強度におけるこの差は、歪み効果を含んだ水素化物形成により、V-Cr と V-Ti 合金のすべり面の活性が異なるためであり、

脆性は転位の移動が難しくなるために生じると推定した。

第4章では、超高压電子顕微鏡でのその場引っ張り実験と走査電子顕微鏡の破面観察から、脆化をクラック伝播の直接観察から説明した。応力の印加によってマイクロクラックの形成と伝播の2つの段階が現れる。固溶水素と水素化物はともに両段階に影響し、また応力は拡散と水素化物形成を促進する。

第5章では、中性子照射したバナジウム合金の照射欠陥と水素の相互作用についてガス放出実験と組織観察から明らかにした。水素はバナジウム合金中に固溶し、また水素化物を形成するほかに、転位、ボイドなどが存在した場合にはそれらに集積することが推測される。中性子照射したバナジウム合金を水素チャージした場合の水素の熱的放出挙動では、固溶水素と転位捕獲のほかに、より高温で複数のサブピークが得られた。この結果は組織観察による転位やボイドの存在と一致するため、欠陥のタイプに応じて水素との結合エネルギーが異なるものと推定した。これらの結果は初めての明確にされたものである。

第6章は総括であり、バナジウム合金の機械的性質と微細組織変化に対する水素の効果の主要因子は水素濃度、合金元素、応力、格子欠陥の種類であり、それらの相互関係を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 貫 惣 明

副 査 教 授 高 橋 平七郎

副 査 教 授 工 藤 昌 行

副 査 助教授 渡 辺 精 一

学 位 論 文 題 名

Effect of Hydrogen on Mechanical Properties, Microstructure and Fracture of V-Cr-Ti Alloys

(V-Cr-Ti 合金の機械的性質、微細組織および破壊に及ぼす水素の効果)

最近急速な研究開発が行われているバナジウム基合金は、卓越した高温強度特性のほか、優れた耐照射性が期待されるために、核融合炉などの先進エネルギーシステムの構造材料の候補となっている。しかしながら、バナジウム合金は侵入型元素との親和力が強く、特に固溶量と移動度の大きい水素が機械的性質と微細構造変化に及ぼす効果の研究が望まれている。また、水素脆化のメカニズムには諸説があり、微細構造観察の結果に基づく実証的研究が必要である。さらに、実用上重要である中性子照射を受けた場合の格子欠陥と水素の相互作用についての研究は全く行われていない。本論文では、このような現状にあるバナジウム合金の水素挙動の研究に対して、水素添加の内部組織と機械的性質への影響、また、ガス放出挙動からの水素と格子欠陥の相互作用を検討し、水素挙動の主要因子を明らかにしたものである。その主要な成果は次の点に纏められる。

- ① BCC 合金材料の水素挙動について現在までに提唱されている水素脆化のメカニズムの諸説を精査し、脆化過程には合金元素と応力誘起水素化物形成の重要性を指摘した。
- ②水素添加した各種バナジウム合金の微細構造の検討から、水素のマクロ的な固溶限は約 1at%レベルで他の侵入型元素よりも大きく、それ以上で水素化物が析出することを明らかにした。また、この固溶限は Ti や Cr の添加により拡大することを見いだした。
- ③水素添加した各種バナジウム合金の機械的性質の検討から、降伏強度は水素化物の形成する高濃度側では大きくなり、伸びは減少する典型的な脆化挙動が現れることを示した。この程度は化学的親和力の大きい Ti 系と化学的親和力の小さい Cr 系では異なり、前者で特に顕著である。降伏強度における差は、転位近傍の歪みに依存する水素化物形成が転位の移動の難易に影響するためであり、脆化もこれに依存すると推定した。

④ 超高圧電子顕微鏡内その場引っ張り実験と走査電子顕微鏡の破面観察の結果から、この合金の脆化をマイクロクラック伝播の難易と関連づけ、応力印加によるマイクロクラックの形成と伝播の2つの過程を実証した。固溶水素と水素化物はともに両過程に影響し、また応力は水素の拡散と水素化物形成を促進することを推定した。

⑤ 中性子照射したバナジウム合金の照射欠陥と水素の相互作用についてガス放出実験と組織観察を行い、バナジウム合金中の水素は固溶と水素化物形成のほかに、転位、ボイドなどに捕獲されることを明らかにした。すなわち、中性子照射したバナジウム合金を水素添加した場合の熱的放出挙動では、固溶水素と転位捕獲のほかに、より高温で複数のサブピークが得られ、組織観察による転位やボイドの存在と関連づけて、欠陥のタイプに応じて水素との結合エネルギーが異なるものと推定した。これらの結果は初めて明確にされたものである。

第6章は総括であり、バナジウム合金の機械的性質と微細組織変化に対する水素の効果の主要因子は水素濃度、合金元素、応力、格子欠陥の種類であり、それらの相互関係を明らかにした。

これを要するに、著者は、バナジウム合金中の水素の挙動について種々の実験的検討と考察を行い、この材料の水素挙動の主要因子は応力、格子欠陥、水素濃度、合金元素などであることを明らかにしたもので有り、材料工学およびエネルギー工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。