

## 437 核融合炉用低放射化バナジウム合金の YAG レーザー溶接技術の開発

総研大 ○許 男鎮、核融合研 長坂 琢也、室賀 健夫、西村 新  
 廣大工学部 篠崎 賢二、竹下 徳之、九大応力研 渡辺 英雄

**Development of YAG Laser Welding Technology for Vanadium and its Alloy**  
 by Heo Nam-Jin, Nagasaka Takuya, Muroga Takeo, Nishimura Arata,  
 Shinozaki Kenji, Takeshita Noriyuki and Watanabe Hideo

キーワード：低放射化，バナジウム，YAG レーザー， Keywords: low activation, YAG laser, vanadium

### 1. 緒言

バナジウム合金は高い高温強度、低放射化、Li との共存性などの優れた特性を持っていることから、核融合炉用第一壁/ブランケットの構造材料として有望であると考えられている。バナジウム合金を核融合炉へ適用する上での課題の一つとして、溶接技術の確立があげられる。バナジウムは酸素・窒素などの不純物濃度が増加することによって機械的特性が劣化することがよく知られている。そのためバナジウム合金の製造過程で不純物濃度の増加を抑えることが必要であるが、溶接においても不純物の侵入を極力抑える必要がある。YAG レーザーは光ファイバーで搬送可能であり、これを用いた溶接法は、核融合炉で要求される遠隔溶接・補修において有望である。本研究では YAG レーザーを用いて V-4Cr-4Ti 合金の溶接材（ビードオンプレート）を作製し、その衝撃特性を明らかにした。

### 2. 実験方法

本研究では、2 kW の YAG レーザーを用いた。不純物混入を抑える雰囲気制御ボックスを設計・製作した。ボックス内では高純度アルゴンガスをノズルにより吹き付けるとともに、置換用アルゴンガスを導入して雰囲気を制御した。ボックスの中で厚さ 4 mm の純バナジウムと V-4Cr-4Ti 合金 (NIFS-HEAT-2) 板上にビードオンプレート溶接を行い、化学分析、硬さ測定と組織観察及び 1/3 サイズ V-ノッチシャルピー試験を行った。また、溶接後熱処理 (PWHT) が溶接部の硬さ分布及び衝撃特性に及ぼす影響を調べた。

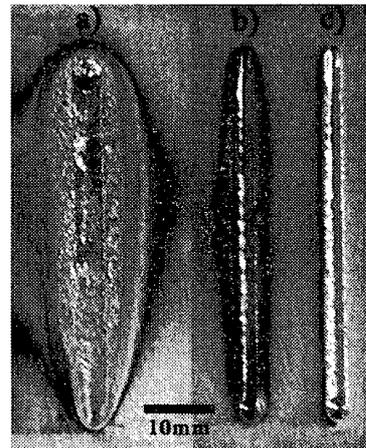


Fig. 1 The outward appearance of the beads for three cases of the welding environment.

### 3. 結果および考察

Fig. 1 は溶接雰囲気変化による溶接部の外見を示した図である。a) 空気中と b) ノズル(100

L/min)のみアルゴンガスを流したときは、不純物混入により溶接部が着色し、汚染が明瞭に確認されたが、c)ノズル(100 L/min)と置換用ガス(300 L/min)を流すことによって表面の光沢が改善された。Fig. 2は溶接後熱処理(PWHT)による硬さの変化を示している。873 Kで硬さのピークが現れ、1223 Kで最も低くかった。1273 K以上の熱処理によって硬さは再び増加した。アーク溶接の研究結果から、溶接部の硬化は不純物の固溶に起因し、873 Kの硬さピークはそれらが微細に析出したことによるものであり、さらにそれ以上の温度では析出物の成長とともに軟化しているものと考えられる。1273 K以上の熱処理による硬さの増加は、析出物の再固溶によって母相中に不純物が放出されて起こったと考えられる。Fig. 3はV-ノッチシャルピー試験結果を示した図である。母材と比較して溶接まま材の衝撃特性は同程度であった。しかし、1223 KでPWHTをした試料の吸収エネルギーは母材及び溶接まま材のそれと比べ低かった。Fig. 4は77 Kでシャルピー試験を行った1223 KのPWHT材の破面観察結果を示している。溶接まま材では塑性変形領域と粒内へき開破壊が観察された。しかし、1223 KでPWHTをした試料では塑性変形領域がほとんどなく、粒内へき開破壊の他に、図のように粒界破壊も観察された。粒界破壊は、母材で鍛造・圧延時に形成したTi-rich析出物が溶接中再固溶し、1223 K熱処理過程で粗大化した凝固粒の粒界に析出したために起こったと考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、雰囲気制御下でYAGレーザー溶接を行った。溶接によるC, N, Oなどの混入及び硬さの上昇はほとんど認められず、溶融部は母材同様の衝撃特性を示した。今後の課題は最適な溶接条件と溶接後熱処理条件を求めると溶接部での不純物の挙動を明らかにすることである。

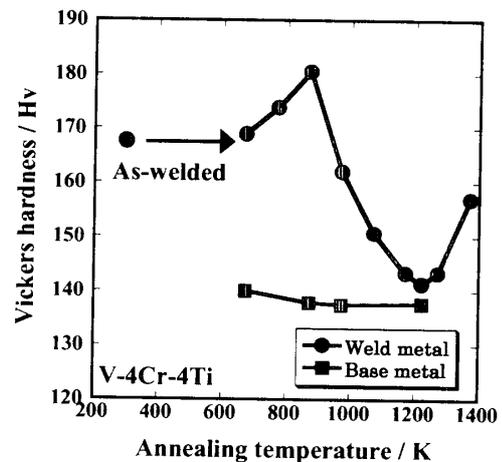


Fig. 2 Relationship between hardness and PWHT

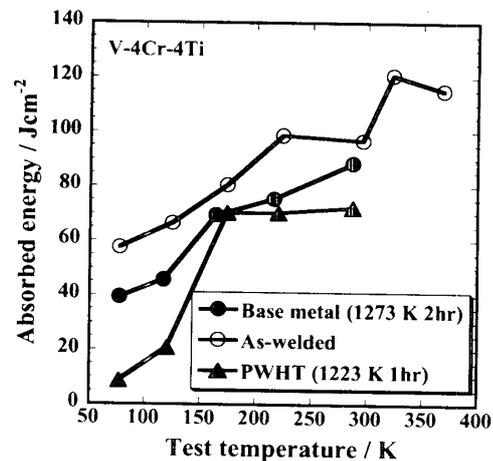


Fig. 3 Impact properties of base metal and laser weld of V-4Cr-4Ti alloy

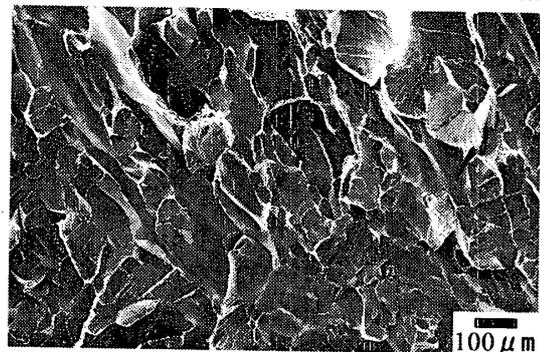


Fig. 4 Fractography of the specimen underwent PWHT at 1223 K for an hour.