

繰返し熱負荷を受けたダイバータの構造健全性評価

Structural Integrity Evaluation of Divertor after Cyclic Heat Loading

*豊田 倫敏¹, 坂田 敦生¹, 管 文海¹, 野上 修平¹, 福田 誠¹, 長谷川 晃¹

¹東北大学

繰返し熱負荷を受けたタングステン製モノブロックダイバータについて、熱負荷による損傷の状態解析および損傷形成過程の予測、マクロき裂導入後の構造健全性の検討を実施した。

キーワード: タングステン, ダイバータ, 繰返し熱負荷, 構造健全性評価

1. 緒言

核融合炉ダイバータは、熱負荷の繰返しによって損傷が発生し、寿命が決まると考えられる。タングステン (W) 製のモノブロックダイバータでは、熱負荷面近傍における再結晶化や熱伝導経路方向のマクロき裂形成を現状では許容せざるを得ない見込みである。よって、ダイバータの長期の構造健全性維持のためには、マクロき裂以外の損傷の影響や、その形成による残存強度や残存熱伝導率などの評価が必要である。本研究では、熱負荷試験によりマクロき裂が導入された W モノブロックダイバータについて、熱負荷による損傷の状態解析を行って損傷形成過程の予測とマクロき裂導入後の構造健全性を検討することを目的とした。

2. 実験方法

本研究では、原子力機構の電子ビーム照射施設 JEBIS を用いて、熱負荷試験を実施した純 W 製モノブロックダイバータを用いた(*)。熱負荷は、 $10 \text{ MW/m}^2 \times 75 \text{ cycle}$ に引続き、 $20 \text{ MW/m}^2 \times 300 \text{ cycle}$ であり、負荷時間はどちらも 10 sec、冷却時間は 20 sec であった。 10 MW/m^2 熱負荷後に可視損傷は見られず、 20 MW/m^2 熱負荷によりマクロき裂の導入が確認された。この熱負荷試験体に対し、外表面および内部断面のき裂形成などの損傷状態の解析、マクロき裂破面の解析、内部断面の硬さおよび粒径の測定、各部分から切り出した微小試験片の引張特性の評価を実施した。

3. 結果

内部断面の金相組織は、異なる二つの領域 (領域 I および II) が観察された。熱負荷の影響の小さい領域 (領域 II) の結晶粒は、熱伝導経路方向に長軸を有する伸びた形状をしていた。一方、熱負荷面側の領域 (領域 I) では、熱負荷面に向かうに連れて結晶粒の幅が大きくなり、最表面ではアスペクト比が約 1 になった。硬さは、領域 II では一定の値を示したが、領域 I では熱負荷面側に近づくにつれ値が小さくなった。FEM 解析による温度分布予測結果を考慮すると、熱負荷面側では、場所によって最高到達温度が異なり、そのため組織の回復と再結晶化の程度が異なり、最表面では完全に再結晶化していることが示唆された。

ダイバータの熱伝導経路方向と垂直な方向を引張軸とした試験片を製作し、 700°C の試験温度において引張試験を行った結果を図 1 に示す。縦軸に最大引張強さ、横軸は解析による予測又は実際の加熱履歴の温度を示す。青色●のプロットは熱負荷ままの試験片であり、温度は解析による予測値である。赤色▲のプロットは、熱履歴の影響のほとんどない領域 (解析による予測値は $160^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$) から製作した試験片に対し、真空中 1 時間の熱処理を施したものであり、温度はその熱処理温度としている。熱負荷まま試験片では、予測加熱温度 1400°C 以上において再結晶化によるとみられる強度低下が見られた。領域 I から製作した一部の熱負荷まま試験片では、組織変化ではない要因による急峻な応力低下などが見られたが、再現性はなく、ダイバータ内にランダムにごくわずかに存在するミクロき裂などの影響が示唆された。熱処理試験片の強度は、予測加熱温度の熱履歴を受けた熱負荷まま試験片と同程度であった。以上より、熱負荷後の残存強度に対しては、熱履歴に応じた回復や再結晶化などの組織変化の影響が支配的であり、ミクロき裂などの損傷は、ダイバータ内に非常に低い密度でランダムに存在している可能性があることが示唆された。

***謝辞:** 本研究で使用した熱負荷試験体は、日本原子力研究開発機構・鈴木哲博士および大阪大学・上田良夫博士から提供を受けた。ここに感謝の意を表する。

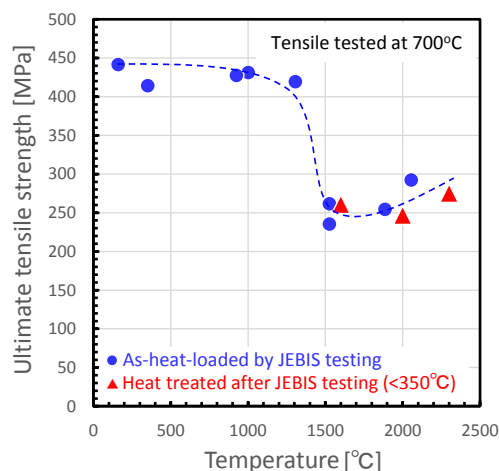


図 1 引張試験結果の熱処理温度依存性

*Michitoshi Toyota¹, Atsuo Sakata¹, Wenhai Guan¹, Shuhei Nogami¹, Makoto Fukuda¹, Akira Hasegawa¹

¹Tohoku University