

先進タングステン合金を適用した核融合炉ダイバータの構造強度評価 Structural Strength Evaluation of Fusion Reactor Divertor using Advanced Tungsten Alloys

豊田倫敏, 野上修平, 管文海, 福田誠, 長谷川晃

TOYOTA Michitoshi, NOGAMI Shuhei, GUAN Wenhai, FUKUDA Makoto, HASEGAWA Akira

東北大学
Tohoku Univ.

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形成し、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、マクロき裂などの損傷の形成機構を解明し、寿命を管理するとともに、耐損傷性に優れた材料の適用などが望まれる。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、実験により損傷状態の評価を実施するとともに、数値計算により熱負荷試験中のダイバータへの負荷を詳細に評価することにより、マクロき裂を含む損傷の形成機構について検討した。また、それらの結果を踏まえ、モノブロックダイバータの純タングステン部に、我々が開発した各種タングステン合金を適用した場合のダイバータの構造強度を評価した。

実験方法

本研究では、原子力機構（現、量研機構）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ブランゼー製純Wモノブロックダイバータを用いた。熱負荷は、10 MW/m²において75 cycleまで実施した後、20 MW/m²において300 cycleまで実施した。負荷時間は10 s、冷却時間は20 sであった。10 MW/m²熱負荷後において可視損傷は見られず、20 MW/m²熱負荷後においては熱負荷面から配管に至るマクロき裂が形成した。この熱負荷試験体に対し、マクロき裂とその周辺を中心とする組織観察および粒径と硬さの評価、有限要素解析 (FEM) による温度および応力・ひずみの評価を実施した。

結果

熱負荷面から数ミリメートルの領域では、結晶粒が

圧延に起因する伸びた形状から等軸粒に変化しており、硬さも低下していた。FEMにより求めた温度分布評価結果によると、当該領域は熱負荷中において1300℃から1400℃を超える温度にまで達しており、当該領域では純Wが再結晶化したと考えられる。

図に、FEMに用いたモデル（ダイバータの1/4モデル）と、マクロき裂発生起点と想定される熱負荷面中心部の温度とY方向の応力・ひずみの時刻歴を示す。まず、き裂発生に影響があると考えられるY方向の引張応力は、冷却時に発生していた。上述のように熱負荷面近傍では再結晶化していたことから、再結晶脆化した当該領域に、比較的低い温度において高い引張応力が負荷されたことにより、マクロき裂が形成したというシナリオが第一に考えられる。次に、再結晶脆化によるき裂形成ではない場合、ダイバータには、図に示すような応力とひずみの負荷が繰り返されることになる。これにより、1度の負荷ではき裂は形成しないものの、熱疲労により疲労損傷が蓄積し、その結果マクロき裂が形成したというシナリオが第二に考えられる。さらに、図に示すとおり、Y方向のひずみは繰り返しとともに増長しているため、この累積塑性ひずみがマクロき裂形成を助長した可能性も考えられる。講演では本評価結果をもとに、Kバブル分散やRe添加を施した先進タングステン合金を適用した場合における構造強度の変化について報告する。

***謝辞:** 本研究で使用した熱負荷試験体は、原子力機構（現、量研機構）の鈴木哲博士および大阪大学の上田良夫博士から提供を受けた。ここに感謝の意を表す。

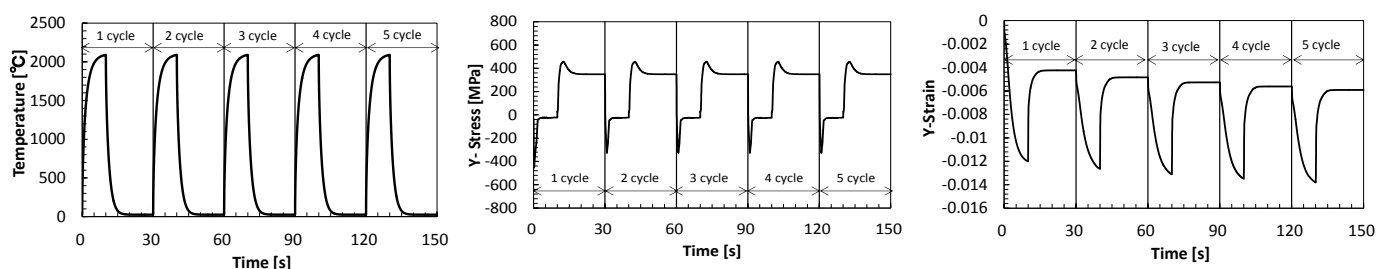
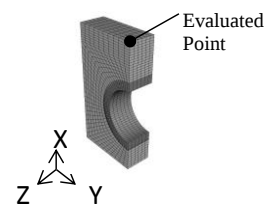


図. FEM モデルと熱負荷面中心部の温度と応力・ひずみの時刻歴