

高熱負荷によりタングステン材に発生する材料損傷と 熱応力のシミュレーション計算

Modification on tungsten materials by high heat loading and simulated calculation of thermal stress

浮田天志¹, 徳永和俊², 荒木邦明², 藤原 正², 宮本好雄², 長谷川 真², 中村一男², 栗下裕明³

Takashi UKITA¹, Kazutoshi TOKUNAGA², Kuniaki ARAKI², Tadashi FUJIWARA²,
Yoshio MIYAMOTO², Makoto HASEGAWA², Kazuo NAKAMURA², Hiroaki KURISHITA³
九州大学大学院総合理工学府¹, 九州大学応用力学研究所², 東北大学金属材料研究所³
IGSES, Kyushu Univ.¹, RIAM, Kyushu Univ.², IMR, Tohoku Univ.³

目 的

核融合炉において熱・粒子制御を行うダイバータ板のアーマ材はスパッタリングによる損耗が少なく、融点が高いタングステン材が使用される計画である。アーマ材の表面には、プラズマからの定常的な熱負荷に加え、プラズマディスラプション時のパルス高熱負荷やELM時の繰り返し熱負荷を受け、これらにより発生する熱応力によりクラックや剥離等の損傷が発生することが予想される。そこで本研究では、タングステン材の高熱負荷特性を評価することを目的として、タングステン材に対し、電子ビームを用いた高熱負荷実験を行い、その損傷過程を観察すると共に、定量的に評価するため有限要素法を用いた熱応力解析を行った。

方 法

実験に用いた試料は、アライドマテリアル製のITERグレードの粉末焼結純W材で、サイズは10mm×10mm×1mmである。熱負荷実験には、熱源として電子ビームを使用した。試料は強制水冷却された銅製の試料台に押さえ板を用いて機械的に固定した。ビーム照射時間を2秒、非照射時間を7.5秒とし、繰り返し熱負荷実験を行った。また、電子ビーム照射による表面形状を走査型電子顕微鏡(SEM)を用い損傷の進行過程を観察すると共に、質量変化を電子天秤により測定した。

解析には有限要素法を使用した構造解析用の汎用コードANSYSを使用し、弾塑性解析を行った。試料の対称性を利用して、1/4モデルである5mm×5mm×1mmのモデルを作成した。真空中の実験であるため対流熱伝達は無視し、また、試料が小さいため輻射の影響は小さく計算に入っていない。さらに、熱伝導率、線膨張率、比熱、密度及び試料台における固体から冷却水への熱伝達係数には温度依存性を考慮したものを定義した。真応力-真歪み曲線には直線近似を用いて定義している。試料と試料台の間には接触熱抵抗を定義した。加熱条件は、実験条件を模擬し、ビー

ムサイズが直径3mm、熱流束は40MW/m²の矩形波を2秒照射し、非照射を7.5秒とする。また、試料の中心が電子ビームの中心となるようにした。

結 果

図1には、ビーム照射開始2秒後の温度及び応力分布の熱解析結果を示した。温度は中心部表面で最も高く、電子ビーム熱負荷実験による最高到達温度とほぼ同じ温度である約1500Kとなっており、また、中心から遠ざかるにつれて小さくなっていき、その勾配も緩やかになっている。この温度分布により熱応力が発生し、中心部の表面では約400MPaが負荷されている。さらに、この熱応力により歪が発生し、中心部で最も大きい。また、熱負荷中の試料中心部分付近には圧縮方向に応力が働き、降伏応力を越え塑性変形が発生している。これは、熱負荷実験でも中心部付近の試料表面にすべり線が形成されており、実験結果と一致している。

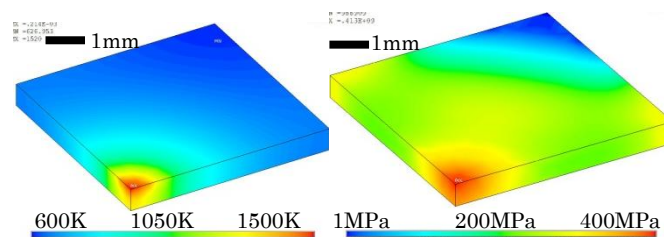


図1. ビーム照射中の温度(左)と応力分布(右) (1/4モデル)

さらに、熱解析ではビームを止めた後の冷却中には試料中心部付近には引張応力が生じている。熱負荷実験においても試料中心部付近には、粒界等にミクロな亀裂が観察されており、この冷却中に発生する引張応力によって形成されたものと考えられる。今後、さらに、解析に使用する真応力-真歪み曲線の精度を高め、熱解析の確度を高めると共に、繰り返し効果についても実験を行い、W材の熱負荷特性について定量的な評価を進める予定である。