

タングステンドイバータ板の定常熱負荷時の熱・応力解析 Thermal stress analyses on tungsten divertor plate exposed to steady state thermal load

尾崎浩詔¹, 浮田天志¹, 徳永和俊², 荒木邦明², 藤原正², 長谷川真², 中村一男², 栗下裕明³
Hiroaki OSAKI¹, Takashi UKITA¹, Kazutoshi TOKUNAGA², Kuniaki ARAKI²,
Tadashi FUJIWARA³, Makoto HASEGAWA², Kazuo NAKAMURA², Hiroaki KURISHITA³

九大総理工¹, 九大応力研², 東北大金研³
IGSES, Kyushu Univ.¹, RIAM, Kyushu Univ.², IMR, Tohoku Univ.³

目的

核融合炉のダイバータ板は、プラズマからの高熱・粒子負荷を受けるため、熱及びスパッタリング特性に優れたタングステン(W)がアーマ材として使用される予定である。特に、定常熱負荷時には、温度分布や冷却管、緩衝層との熱膨張率差により熱応力が負荷され、これにより損傷が発生することが懸念される。本研究では、ITER用に設計されているダイバータ板について、定常状態における熱・構造特性を明らかにすることを目的として、熱応力解析を行った。また、Wアーマ材として使用されるITER Grade Wについて室温から高温までの引張試験を行い、強度特性を調べると共に、その結果を熱応力解析に使用した。

方法

引張試験に用いたWは、アライドマテリアル製のITER Grade Wで、試験温度はRT、200℃、400℃、650℃、800℃、1000℃、1300℃、1600℃である。加熱は温度RT~650℃では赤外線、800~1600℃では高周波誘導で行い、ひずみ速度は $2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とした。熱応力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を用いた。図1に使用したモデルを示す。このモデルはITER用に設計されているダイバータ板を想定し、形状は27.8mm×28mm×12mmで、冷却管(CuCrZr)は内径12φ、厚みが1mmで、熱負荷を受けるW表面から16.5mmが円管の中心となるよう設計されている。また、冷却管とWの間には厚さ1mm緩衝層(無酸素銅)が設けられている。熱流束は 10 MW/m^2 とし、冷却条件は強制水冷却で温度25℃、圧力3MPa、流速10m/sとした。応力解析では引張試験によって得られた応力-ひずみ曲線を二直線近似したものを用いた。

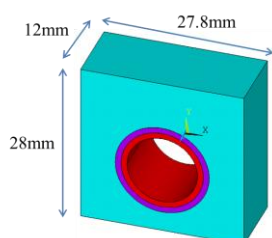


図1. ダイバータ板のモデル

- ・ 青色：タングステン
- ・ 紫色：緩衝層(無酸素銅)
- ・ 赤色：冷却管(CuCrZr)

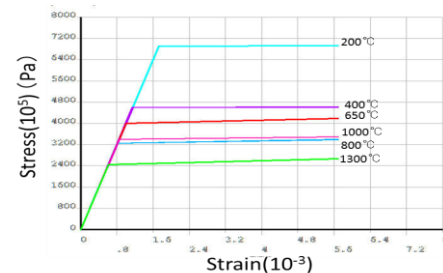


図2. 応力-ひずみ曲線の温度依存性

結果

図2に二直線近似した応力-ひずみ曲線の温度依存性を示す。温度が高くなるにつれて降伏応力が小さくなっており、高温ほど塑性変形しやすいことがわかる。図3に熱応力解析の結果を示す。表面温度は1400℃に達しており、冷却管に近づくにつれて温度が低くなっていることがわかる。応力解析の結果より、W表面では0.4GPaの相当応力が負荷されており、また緩衝層付近のWにおいても大きな応力が負荷されている。そのため、W表面及び緩衝層付近のWでは応力による亀裂・剥離等が発生することが懸念される。また、熱負荷面の中心部は塑性域に達していることがわかった。今後、ELMやディスラプション時の非定常熱負荷時のダイバータ板の熱・構造特性についても解析を行う予定である。

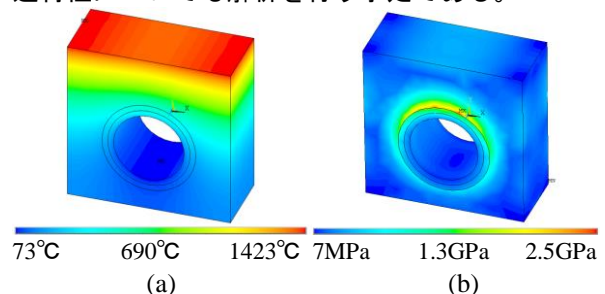


図3. 熱応力解析結果
(a)温度分布、(b)応力分布