

高熱負荷によって熔融したタングステンの表面特性 Properties of Tungsten surface melted by high heat flux

浜地 志憲¹, 時谷 政行¹, 増崎 貴¹, 坂本 隆一¹, 大宅 諒²,
Heun Tae Lee², 上田 良夫², 相良 明男¹

Y. Hamaji¹, M. Tokitani¹, S. Masuzaki¹, R. Sakamoto¹, M. Oya², H.T. Lee², Y.Ueda², A. Sagara¹

¹核融合研 ²阪大院工
¹NIFS ²Osaka Univ.

1. 緒言

タングステン材料は、中性子照射による放射化の度合いが小さく、加えて優れた熱的特性を持つため、DEMOやそれ以降の核融合炉のダイバータのアーマー材としての利用が計画されている。しかしタングステンは金属材料であり、off-normalな事象、つまりディスラプションVDE、非接触プラズマの維持失敗による接触プラズマ化などによって材料の表面が熔融し、表面に熔融層が形成したり、コンポーネントの変形が起きることが考えられる。大型装置においてはコンポーネントの交換は容易ではなく、表面などの一部に熔融層が形成された場合でも運転を継続することが予想される。熔融層の形成が材料の諸特性に与える影響の評価が上記の観点から必要である。本研究では、熱負荷試験装置を用いてタングステン材料を熔融させ、その表面形状の変化を調べた。

2. 実験

タングステン熔融実験は、超高熱負荷試験装置ACT2 (Active Cooling Teststand 2) を用いて行った。試料加熱には入射電子エネルギー40 keVの電子ビームを用い、照射電流を変化させて熱負荷を20 ~ 60 MW/m²範囲で変化させた。ビーム照射は電磁偏向レンズを用いて制御し、試料上とビームダンプ上を高速で移動させることで短いパルスを実現させている。照射する電子ビームのスポットはガウシアン様の強度分布を持っており、スポット径はFWHMで約9 mmである。ビームの照射時間は数 msから1 s程度まで変化させた。試料には10 x 10 mm x t1 mmのタングステン小片試料を用い、グラフィイト製の試料ホルダに設置して照射を行う。

ビーム照射中のタングステン試料の放射や表面から放出されるドロップレットは高速カメラを用いて撮影し、ドロップレットの放出速度を計算した。

3. 結果

図1に示したのは、約60 MW/m²、0.1sの熱負荷によって形成された熔融資料写真である。試料の表面に熱負荷によって同心円状の熔融痕が形成されていることが分かる。これは熱負荷による表面温度上昇によって上昇した蒸気圧の反作用によるものであると考えられる。また、照射中の高速カメラの測定からドロップレットの表面からの放出が見られた。これは熔融層の一部で沸騰現象が起こっており、タングステン蒸気の泡が表面に到達して破裂する際に放出が起きていることを示唆している。高速カメラの測定から見積もられたドロップレットの速度は数 m/sのオーダーであり、この速度はプラズマ照射による先行研究でも観測された速度であった[1]。ドロップレットの放出はプラズマ中へのタングステイオンの混入の原因となり、加えて材料の損耗を速めて寿命を減少させてしまうため、熱負荷のピーク値がELM等と比較して小さい場合でもoff-normalな自称において上記のような損耗が懸念される。

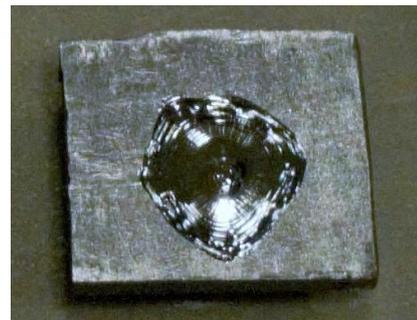


図 1 約 80 MW/m², 0.1 s の照射を受けたタングステン材料の熔融痕

- [1] G. De Temmerman, J. Daniels, K. Bystrov, M. a. van den Berg, J.J. Zielinski, Nucl. Fusion 53 (2013) 023008.