

# ITER-grade タングステンにおける疲労予き裂導入と破壊靱性評価

## Fatigue pre-cracking and fracture toughness in ITER-grade tungsten

\*徳永和俊<sup>1</sup>, 松尾 悟<sup>1</sup>, 栗下裕明<sup>2</sup>, 外山 健<sup>3</sup>, 長谷川 真<sup>1</sup>, 中村一男<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九大応力研, <sup>2</sup>高エネ研, <sup>3</sup>東北大金研

ITER grade W の板材から切り出した片側切欠き付き微小試験片に対して、一軸圧縮疲労と 3 点曲げ疲労の併用により疲労予き裂を導入し、その後、平面ひずみ破壊靱性試験を行って室温の破壊靱性を測定した。

**キーワード：**タングステン、破壊靱性、疲労予き裂、粒界配向

### 1. 緒言

ITER や原型炉のダイバータ板の表面材料として熱特性とスパッタリング特性に優れ、トリチウムリテンションが小さいタングステン (W) が使用される計画である。しかし、W は低温脆化、照射脆化、再結晶脆化の問題があるため、W の使用に際しては破壊靱性の評価が必要である。破壊靱性測定のためには疲労予き裂を導入した試験片が用いられるが、延性に乏しい W に通常の引張疲労を負荷すると、切欠き底から発生したき裂は急速に成長して瞬時に試験片破断をもたらすので、疲労予き裂の導入が極めて難しく、そのため信頼性の高い破壊靱性の測定例は極めて限られている。著者等は、最近、一軸圧縮疲労と 3 点曲げ疲労の併用により疲労予き裂を導入する技術を開発するとともに、市販の純 W の破壊靱性を評価した[1]。本研究では、その手法を適用することにより ITER grade W の板材の破壊靱性を初めて測定・評価した。

### 2. 方法

ITER grade W の圧延材（寸法：50mm×50mm×12.3mm）から、幅 5mm、厚さ 3mm、長さ 25mm の片側切欠き付き微小試験片（切欠きの幅 0.15mm、深さ 2mm）を、圧延方向に対して L-T、T-L、L-S、T-S（ASTM 規格による表記）の各方位に切り出し、表面を機械研磨した。これらの試験片に対して、まず、長手方向に一軸圧縮疲労を負荷して切欠き底から予き裂を導入した後、引き続き 3 点曲げ疲労（スパン長さ：20 mm）により予き裂を進展（成長）させた。この 3 点曲げ疲労による小さな応力拡大係数範囲  $\Delta K$  での予き裂成長は、比較的大きな  $\Delta K$  の必要な圧縮疲労により切欠き底前方に生じた残留応力場からき裂先端位置を遠ざけるとともに、小規模降伏条件を確保するためのものである。最後に、3 点曲げによる平面ひずみ破壊靱性試験を行い、破壊靱性を評価した。また、疲労予き裂長さは、破壊靱性試験前の試験片の側面観察、および試験後の破面観察（光学顕微鏡(OM)、及び走査型顕微鏡(SEM)）により求めた。

### 3. 結果

図 1 に圧縮疲労により切欠き底から発生・安定成長したき裂の観察例 (TL 方位の試験片、表面でのき裂長さ：0.16mm) を示す。負荷条件は、 $\Delta K$ ：44.5 MPa $\sqrt{m}$ 、 $K_{min}/K_{max}$ ：40 (最大・最小圧縮荷重：4,000 N/100 N)、周波数：2~5 Hz で 10,000 サイクルである。このき裂は、引き続き 3 点曲げ疲労の負荷 ( $K_{max}$ ：6.5 MPa $\sqrt{m}$ 、最大・最小曲げ荷重：160 N/10 N、周波数：10~20 Hz、60,000 サイクル) により 0.27 mm まで成長した。さらに、この疲労予き裂入り試験片に対して平面ひずみ破壊靱性試験を行った結果、破壊靱性値は 7.1 MPa $\sqrt{m}$  であった。今回は、ITER grade W 圧延材について、3 点曲げ疲労によるき裂成長後の疲労予き裂長さを変えた試験片を用意して破壊靱性を測定することを試みた。圧縮疲労時の  $\Delta K$  から想定される残留応力場のサイズと疲労予き裂長さとの関係から、測定された破壊靱性値の正当性を検討した。

### 参考文献

[1] K. Taguchi, K. Nakadate, S. Matsuo, K. Tokunaga, H. Kurishita, J. Nucl. Mater. 498(2018)445-457

\*Kazutoshi Tokunaga<sup>1</sup>, Satoru Matsuo<sup>1</sup>, Hiroaki Kurishita<sup>2</sup>, Takeshi Toyama<sup>3</sup>, Makoto Hasegawa<sup>1</sup> and Kazuo Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>KEK, <sup>3</sup>Tohoku Univ.

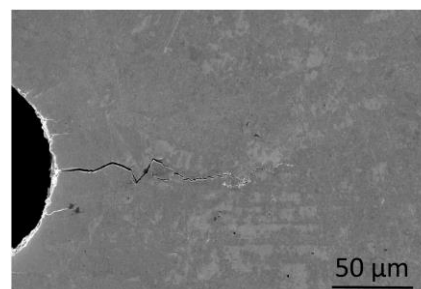


図 1 圧縮疲労により切欠き底から発生・安定成長したき裂 (圧延方向：左右、圧縮負荷方向：上下)