

## 核融合炉用タングステン-タンタル合金の開発

Development of Tungsten-Tantalum Alloys for Fusion Reactor Applications

\*野上修平<sup>1</sup>、大澤一輝<sup>1</sup>、近田拓未<sup>2</sup>、Marius Wirtz<sup>3</sup>、Hao Yu<sup>4</sup>、笠田竜太<sup>4</sup>、藪内聖皓<sup>5</sup>、  
宮澤健<sup>1</sup>、Philipp Lied<sup>6</sup>、長谷川 晃<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東北大・工、<sup>2</sup>静大、<sup>3</sup>ユーリッヒ研究センター、<sup>4</sup>東北大・金研、<sup>5</sup>京大・エネ研、  
<sup>6</sup>カールスルーエ工科大学

核融合炉ダイバータへの適用が期待されるタングステン (W) は、低温脆性、再結晶脆化、中性子照射脆化が課題である。本研究では、それらの克服を目的として開発されたタングステン-タンタル (W-Ta) 合金について、その再結晶挙動、強度と延性、耐照射性および熱衝撃挙動について評価した結果を報告する。

**キーワード：**タングステン合金、再結晶挙動、機械特性、耐照射性、熱衝撃挙動

### 1. 緒言

核融合炉ダイバータへの適用が期待されるタングステン (W) は、低温脆性、再結晶脆化、中性子照射脆化などが課題である。これらを改善する手法の一つとして、レニウム (Re) による合金化があるが、照射量の増加にともない生ずる照射誘起析出による脆化が懸念されている。これは、Re は固溶限以下の濃度であっても W 中で照射誘起の偏析や析出現象により金属間化合物の析出物が形成するためである。本研究では、W 中で全率固溶し、析出物の形成が報告されていない元素のうちタンタル (Ta) に着目し、粉末焼結により製作した W-Ta 合金について、その再結晶挙動、機械特性、耐照射性および熱衝撃挙動に及ぼす Ta の影響を明らかにすることを目的とした。さらに、Ta の水素吸蔵能力は W に比べ高く、機械特性への影響が懸念されることから、強度と延性および熱衝撃挙動に及ぼす水素の影響についても検討した。

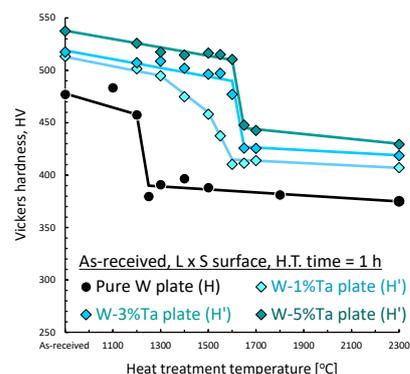
### 2. 実験方法

供試材は、粉末焼結と熱間圧延によって製造され、応力除去熱処理を施した純 W、W-1%Ta、W-3%Ta および W-5%Ta 合金である。これらの材料について、熱特性の評価のため、室温から 500°C の温度において熱拡散率を評価した。また、再結晶挙動の評価のため、900°C から 2300°C の温度範囲において真空中またはアルゴン中において 1 時間保持の熱処理をし、その後室温にてビッカース硬さを評価した。さらに、強度と延性の評価のため、室温から 1300°C の温度において引張試験を実施した。さらに、耐照射性の評価のため、プロトン照射材のビッカース硬さ測定を実施した。照射温度は 1200~1500°C、照射量は 0.5 dpa であった。

機械特性に及ぼす水素の影響を評価するため、600°C において、水素分圧 80 kPa で 24 時間、0.8 kPa で 6 時間の 2 条件で重水素 (D) チャージを施し、引張試験を行った。また、定常 D プラズマ照射下におけるレーザー熱衝撃試験を、ユーリッヒ研究センターの PSI-2 を用いて実施した。ベース温度は 700°C、D プラズマのフルエンスは  $7 \times 10^{24} \sim 4 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$ 、レーザーの入熱密度は  $0.38 \text{ GW/m}^2$ 、パルス数は  $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$  であった。

### 3. 結果

右図のように、W-1~5%Ta は Ta 添加量とともに再結晶温度が上昇し、純 W を上回った。W-1~5%Ta の強度は純 W を上回ったが、W-1~3%Ta で差異はなかったのに対し、W-5%Ta はそれをわずかに上回った。一方、伸びは、W-1~3%Ta は純 W と同等であるのに対し、W-5%Ta はそれをわずかに下回った。W-3%Ta において、D チャージによる強度と伸びの変化は見られなかった。D プラズマ照射下における熱衝撃試験では、W-3%Ta は純 W と比べ高い耐性を示した。



<sup>1</sup>Shuhei Nogami<sup>1</sup>, Itsuki Ozawa<sup>1</sup>, Takumi Chikada<sup>2</sup>, Marius Wirtz<sup>3</sup>, Hao Yu<sup>4</sup>, Ryuta Kasada<sup>4</sup>, Kiyohiro Yabuuchi<sup>5</sup>, Takeshi Miyazawa<sup>1</sup>, Philipp Lied<sup>6</sup>, Akira Hasegawa<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Graduate School of Eng., Tohoku Univ., <sup>2</sup>Shizuoka Univ., <sup>3</sup>Forschungszentrum Jülich GmbH, <sup>4</sup>IMR Tohoku Univ., <sup>5</sup>IAE Kyoto Univ., <sup>6</sup>Karlsruhe Institute of Technology