

タングステン合金の引張特性に及ぼす注入ヘリウムの影響 Helium implantation effects on tensile properties of tungsten alloys

金丸凌大, 鈴木理功, 宮澤健, 野上修平, 長谷川晃
KANAMARU Ryota, SUZUKI Riku, MIYAZAWA Takeshi, NOGAMI Shuhei,
HASEGAWA Akira

東北大・工
Tohoku University

1. 緒言

核融合炉プラズマ対向材料としてタングステン(W)が期待されている。原型炉では、高エネルギー中性子との(n,α)反応により、5年間の運転でW中に数appmから20appm程度の核変換ヘリウム(He)が生成すると推定されている。Heは金属材料中では高温環境下において粒界にバブルとして析出することで粒界破壊を引き起こしたり、ポイドの核生成の促進や成長時の影響などが知られている。一方、Wでは延性脆性遷移温度以下、たとえば室温近傍での低温脆性や再結晶材における粒界脆性などが課題として知られている。W本来の低温での脆性的挙動への核変換Heの影響や、Wの再結晶化へのHeの影響についてはまだ十分明らかになっていない。これまで我々は高エネルギーHeイオン注入により純Wの応力除去処理材の高温における回復および再結晶の挙動が抑制されることを報告してきた[1]。

本研究では、我々が合金添加などで再結晶温度が純Wよりも高く、低温領域および高温領域での機械特性を改善すべく開発を進めてきた材料における高温環境下でのHeの組織安定性や引張挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

[1]Hasegawa et al., Phys.Scr.T171(2020)014016

2. 実験方法

粉末冶金と熱間圧延によって製造された純W, K-doped WとW-3%Reを用いた。供試材には900℃×20minの応力除去熱処理が施されており、これを受入れまま材とした。引張方向は圧延方向と直交する向きとし、厚さ0.23mmの微小引張試験片(SS-J型)を作製した。He注入実験には、東北大学のサイクロトロン加速器を用い、50MeVのHe²⁺をエネルギーディグレーダを使って試験片の厚さ方向に約20appm均一に注入した。引張試験は300℃と1300℃の2条件で実施した。300℃では、He注入まま材とHe注入後に1500℃×1hの熱処理を施した試料をひずみ速

度 $1.0 \times 10^{-3}/s$ の条件で引張試験を行った。1300℃ではHe注入まま材に対して、ひずみ速度 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-3}/s$ の条件で試験を実施した。

3. 結果および考察

1300℃の引張試験で得られた降伏応力と全伸びのひずみ速度依存性を図1に示す。純Wの受入れまま材は1300℃で再結晶が進行したため、45%を超える高い伸びを示す一方で降伏応力は100MPa以下と低い値を示した。Heを注入した純Wは1300℃においても受入れまま材の加工組織を保ち、強度を維持している。再結晶耐性が向上したW合金は、受入れまま材であっても加工組織を保ち高い強度と10%程度の伸びを示している。純Wの注入まま材では強度は保たれたものの、伸びは3%以下と低下した。W合金においてもHe注入により強度の増加と伸びの低下が見られるものの、K-doped Wでは伸びの低下は比較的抑えられた。破面に占める粒界破壊の割合はひずみ速度の低下に伴い増加した。これは転位にトラップされたHeが回復を遅らせることで結晶粒内のセル構造が保たれ、さらに粒内の転位のすべり運動が抑制されるために、高温での拡散がより顕著になる条件で粒界すべりの影響が表れたものと考えられる。

発表では、300℃試験の結果を含めて注入Heの影響を議論する。

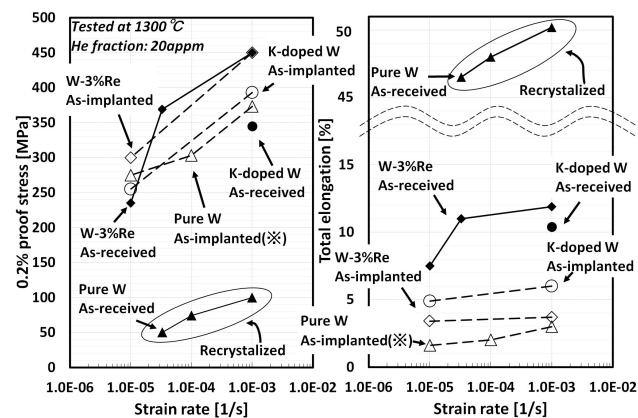


図1. 降伏応力と全伸びのひずみ速度依存性
(※佐藤祐輔, 第36回プラズマ・核融合学会年会 01P76)