

爆着によるクラッド材の重水素吸蔵放出に係る特性 評価

島袋, 瞬
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/4060757>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 2, pp.13-16, 2020-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

爆着によるクラッド材の重水素吸蔵放出に係る特性評価

島袋 瞬

要 旨

QUEST 真空容器内高温壁には、プラズマ大気スプレータングステン（以下、APS-W）被覆ステンレス板を用いている。APS-W は幅広い温度で水素を放出する性質があり、装置の将来的な運転温度においてプラズマの粒子バランスが崩れるという懸念がある。そのため、高温壁の新たな候補材料として爆着によるクラッド材（5mm 厚 SUS316L と 0.127mm 厚 W）が挙げられ、重水素吸蔵放出に係る特性評価を行った。

キーワード

爆着 クラッド材 タングステン 重水素吸蔵放出 TDS SEM TEM

1. はじめに

応用力学研究所では、QUEST装置を使った球状トカマクプラズマの長時間維持に関する基礎研究を行っている。QUEST真空容器内壁にはAPS-W被覆ステンレス板を用いており、壁の温度を制御してプラズマの粒子バランス維持を目指しているが、APS-Wは幅広い温度領域で水素を放出する性質がある。これにより、高温壁の将来における運転温度（773K）で粒子バランスが崩れるという懸念がある。そのため、プラズマの長時間維持に適した表面被覆材料の開発を行うことになった。

その候補材料として、5mm厚SUS316Lに0.127mm厚タングステン（以下、W）を爆着によって接合したクラッド材が挙げられた。接合前の0.127mm厚Wは、装置の運転温度領域で重水素の吸蔵放出がほとんどないことが知られており、接合後もその特性を保持しているか評価した。また、SUS316LとW界面の接合状態をSEMおよびTEMを用いて観察した。

2. 爆着の接合工程および試作したクラッド材について

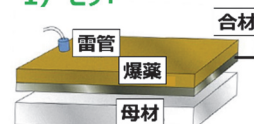
2-1. 爆着の接合工程

爆着とは、二種類の金属を爆発力によって高速で衝突させ、金属同士を結合させる加工法である。以下が接合工程¹⁾の概要である（図1）。

1) セット

母材の上に合材を重ね、合材の上に粉末の爆薬をセットする。

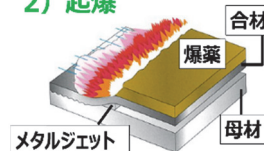
1) セット



2) 起爆

爆薬を一端から起爆させると、爆発のエネルギーによって、合材は母材面に高速駆動され、衝突面からメタルジェットが発生する。

2) 起爆



3) 圧着

活性化された面は高圧で押さえつけられ、両金属の原子間力によって引き寄せられた所で圧着される。

3) 圧着

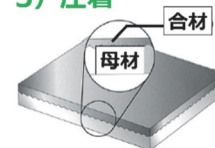


図1 爆着の接合工程

2-2. 試作材料の作製

爆着は溶接などとは異なり、熱による影響がほとんどない状態で異種金属を強固に接合できるという特徴がある。この手法によって、5mm厚 SUS316L（母材）と 0.127mm 厚 W（合材）を接合したクラッド材を作製した（図2）。なお、クラッド材のサイズは 200mm × 200mm である。

試作したクラッド材において、Wの接合方向に対して波打つようなしわが見られた。また、板全体に反りが発生した。

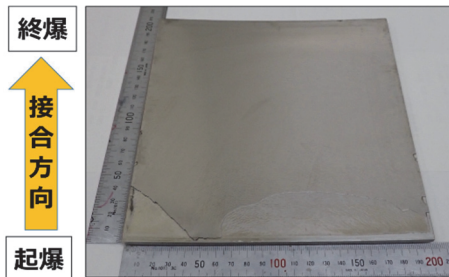


図2 試作したクラッド材

2-3. クラッド材の爆着前後における表面 (W) の変化

爆着前後における W 表面の SEM 観察を行った (図3、図4)。爆着後の SEM 像から、爆着で生じたと思われるクラックや剥離が全体的に発生していることが分かった。この表面状態の変化がクラッド材の重水素吸蔵放出特性に与えた影響について、3-1 項で示す。

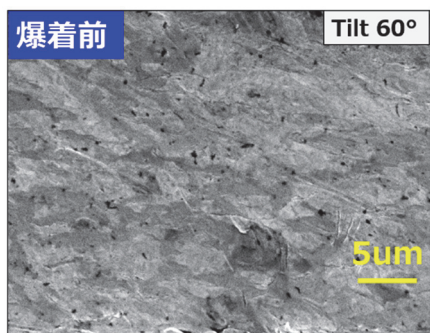


図3 爆着前の W 表面 SEM 像

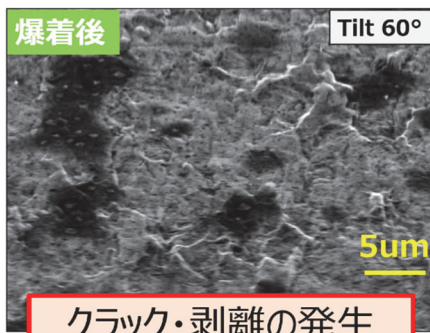


図4 爆着後の W 表面 SEM 像

2-4. クラッド材接合部の健全性

クラッド材接合部の健全性を確かめるため、

界面を SEM および TEM で観察した。なお、TEM 試料は FIB によって作製した。観察の結果、爆着の特徴である界面の造波が確認でき、接合状態は良好であった (図5)。TEM 像からも接合不良は見られなかった (図6)。

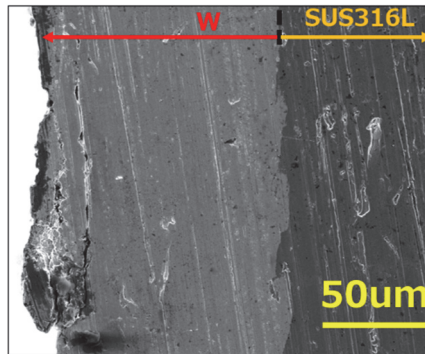


図5 接合界面の SEM 像

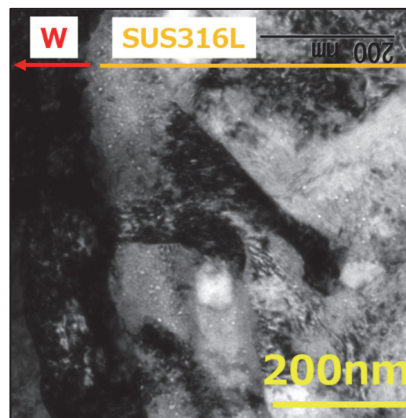


図6 接合界面の TEM 像

3. クラッド材の重水素吸蔵放出に関する諸特性の評価

3-1. 表面未処理のクラッド材における重水素吸蔵放出特性

爆着後から表面処理を施していないクラッド材 (As received) の重水素吸蔵放出特性を調べる実験として、まずクラッド材を $5 \times 10 \times 1\text{mm}$ に切り出し、イオン照射装置によって D_2^+ イオンを室温下・加速電圧 3kV・フルエンス量 $1 \times 10^{21}\text{m}^{-2}$ の条件で W 表面に照射した。その後、昇温脱離装置 (以下、TDS) で試料を室温から 1073K まで昇温させたときの脱離ガスを計測した。

以下に、クラッド材および爆着前の 0.127mm 厚 W、現高温壁である APS-W の重水素吸蔵放出特性を示す (図7)。クラッド材は APS-W ほ

ど高温領域における重水素吸蔵放出は見られなかった。しかし、高温壁の運転温度付近で重水素吸蔵放出が見られ、0.127mm厚 W の特性を保持していないことが分かった。つまり、爆着による表面状態の変化が重水素の吸蔵放出に影響したと考えられる。

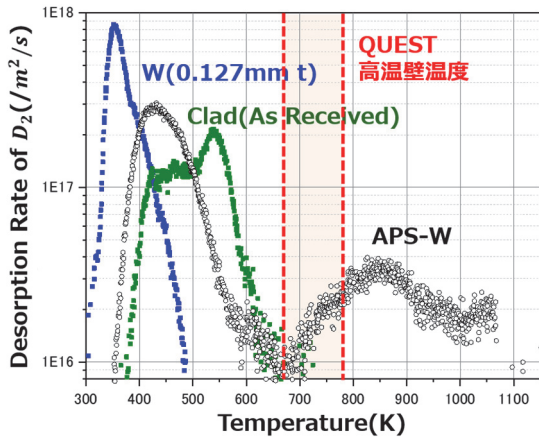


図 7 クラッド材 (As Received) の重水素吸蔵放出特性

3-2. 後処理を施したクラッド材の重水素吸蔵放出特性

クラッド材は、高温壁の運転温度付近において重水素吸蔵放出が見られるため、このままでは新材料として採用することは難しい。そのため、転位等の除去を目的とした表面処理、内部組織回復を目的とした熱処理をそれぞれ行うことによって、0.127mm厚 W の特性へ回復しないか評価した。

表面処理として、エメリー紙研磨 (#1000) および電解研磨 (NaOH 水溶液、13V) をそれぞれ行った。また、熱処理は W の歪み取りの条件 (1273K 30min) および高温壁の運転温度 (773K 2h) で行った。

結果、どの処理条件においても 0.127mm 厚 W と同等の特性とはならなかった (図 8)。エメリー紙研磨では僅かな改善が見られたが、電解研磨では変化がなかった。エメリー紙研磨では、重水素のトラップ層を一部取り除くことができるが、電解研磨では取り除けないと思われる。また、熱処理を行うと 700K 以上で新たな放出ピークが出現した。

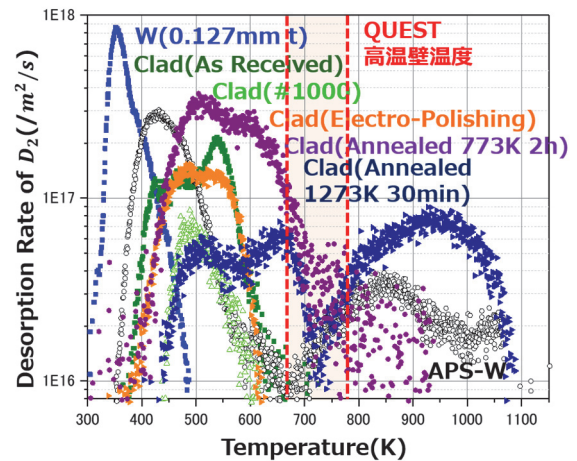


図 8 後処理後におけるクラッド材の重水素吸蔵放出特性

3-3. 爆着による塑性変形について

図 6 の接合界面の TEM 像から、界面近傍で爆着時に受けたダメージと考えられる多数の空孔や組織の変形が見られた。また、W 表面近傍の TEM 像からも空孔が観察された (図 9)。金属の塑性変形は転位を介して行われるが、クラッド材の表面および界面では転位よりも空孔が支配的である。爆着は起爆後、3000m/s といった非常に速い速度で圧着されるので、転位によらない超高速変形¹⁴⁾と呼ばれる変形の可能性がある。

3-2 項では、クラッド材を W 歪み取りの条件 (1273K 30min) で熱処理すると、700K 以上で新たな放出ピークが出現すると述べた。この温度領域による放出は、ボイドにトラップされた原子であると一般的に言われている。そのため、クラッド材においては、超高速変形で生じた多数の空孔が熱処理によって移動・集まることでボイドへと成長し、それが重水素のトラッピングサイトになったと考えられる。

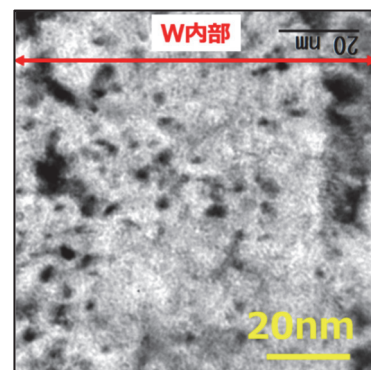


図 9 W 表面近傍の TEM 像

4. まとめ

本評価を通じて、爆着によるクラッド材の重水素吸蔵放出に係る諸特性を明らかにした。

当初は、クラッド材が爆着前の0.127mm厚Wと同等の重水素吸蔵放出特性を保持することを期待したが、実験結果からQUEST高温壁の運転温度領域において重水素吸蔵放出が見られた。また、研磨や熱処理による後処理をクラッド材に施しても特性は回復しなかった。その原因は、爆着による塑性変形が影響していると考えられる。

したがって、現時点ではこのクラッド材をQUEST高温壁の新材料として採用することは難しいため、今後改良が必要である。

5. 今後の課題

今後は、モリブデンとSUS316Lの爆着接合材およびWとSUS316Lの間に銅を挿入した爆着接合材を評価する予定である。モリブデンの重水素吸蔵放出特性はWとあまり差がないことに加え、0.5mm厚の冷間加工が可能であるため、爆着

による塑性変形の影響が小さい可能性がある。

また、WとSUS316Lの間に柔らかい金属である銅を挿入することで、爆着による衝撃を和らげ、Wの塑性変形を低減できることが期待できる。

その他、WとSUS316Lのろう付け接合材の評価も行う予定である。

参考文献

- [1] 旭化成 B/A クラッド材パンフレット
- [2] M.Kiritani, K.Yasunaga, Y.Matsukawa and M.Komatsu: Rad.Eff.Def.Sol, 157(2002), 3-24

謝辞

吉田直亮名誉教授には、本評価を遂行する上で熱心なご指導を賜りました。また、高温プラズマ理工学研究センターの花田和明教授、出射浩教授、池添竜也准教授、恩地拓己助教には有益なご助言を頂きました。この場をお借りして皆様に御礼申し上げます。