

244 溶射による W-Cu 傾斜機能型高熱負荷受熱機器の製作

(株)東芝 電力システム社 澁谷 純市、柳 寛、立川 信夫、澁井 正直
日本原子力研究所 那珂研究所 佐藤 和義、江里 幸一郎、谷口 正樹、秋場 真人

Development of functionally gradient W-Cu high heat flux component using LPPS

By Junichi Shibuya, Yutaka Yanagi, Nobuo Tachikawa, Masanao Shibui, Kazuyoshi Sato,
Koichiro Ezato, Masaki Taniguchi and Masato Akiba

1. 緒言

次期大型核融合実験炉である ITER (国際熱核融合実験炉) のダイバータは、プラズマからの高エネルギー粒子の負荷に耐えるため、損耗の少ない炭素繊維強化炭素複合材料やタングステンを表面材料として、熱シンク材料と冶金的に接合する構造となっている。タングステンと熱シンク材料との接合にはろう付や拡散接合あるいは CVD、などの方法が提案されているが、核融合実験炉への適用を考えた場合、生産性や運転中の消耗による補修の可能性などを考慮すると、溶射による施工法も有力な方法と考えられる。

そこで、本報では熱シンク材料 (SUS または Cu) に、減圧溶射装置を用いて Cu/W の混合溶射および W を溶射した試験体を製作し、傾斜機能型の高熱負荷受熱機器への適用を検討したので報告する。

2. 実験方法

溶射基材には Fig. 1 に示すように冷却孔を有する SUS304 および Cu の試験体 (A)、(B)、(C) を用いた。溶射範囲は (A) (B) が $70 \times 120(\text{mm})$ 、(C) が $30 \times 127(\text{mm})$ で、いずれも平面を溶射した。

SUS および Cu の基材に対して W を溶射する技術的な課題は、双方の材料の熱膨張差と弾性率の大きな違いによる割れなどの発生であるが、Cu-W の傾斜層を介することで回避した。この傾斜層を含む溶射皮膜の成膜設計を実施する上で、まず W および Cu の成膜速度調査を行った。その結果、1パス当たりの最適成膜厚として、100%W が $46 \mu\text{m}/\text{パス}$ 、100%Cu が $75 \mu\text{m}/\text{パス}$ を選定した。

傾斜機能材料 (FGM) 層内の混合比は連続的に変化させたいが、本施工では 1~2mm 厚の FGM 層内で 100% の Cu および W 層まで 10% ずつ皮膜の混合比率を変化させた。Fig. 2 に溶射皮膜中の Cu 占有率を示す。

核融合実験炉の炉壁のように繰り返し熱負荷を受ける場合、基材と溶射皮膜との密着力が要求される。そこで、基材の表面をブラストなどによるアンカー効果で密着力を高めるようにしているが、広い範囲を Cu のような低融点材料で溶射する場合、1パス目の溶射時には基材表面にヒュームが付着して剥離の原因になる場合がある。したがって、本実験では 1パス目の本溶射前にトーチ移動速度限界の $300\text{mm}/\text{sec}$ 、Cu 粉末最低供給量で溶射皮膜と基材とにボンディング層を成膜した。その後、連続して FGM 層および 100%W 層を成膜した。

100%W 層の成膜厚は試験体 (A) (B) が 3mm 超、(C) は 6mm 超を目標とし、溶射前の前処理として、#60 アルミナ ((C) では #220 ガラスビーズも使用) でブラストを行い、その後、トランスファードアーククリーニングおよびプラズマで予熱を行った。溶射は Table 1 に示すように電流 510A、電圧 59V、プラズマ入力 30.1kW、雰囲気圧力 0.02MPa、トーチ移動速度 $200\text{mm}/\text{sec}$ で行い、粒径はいずれも $50 \mu\text{m}$ 以下を用いた。溶射後、試験体の一部を切り取り、断面観察を行うと共に、溶射層の健全性を確認した。

3. 実験結果

Table 1 に示す溶射条件で成膜した厚みを測定した結果、試験体 (A) (B) は FGM 層 1.1mm、100%W 層 3.3mm 以上、(C) は FGM 層 2mm、100%W 層 6mm 以上であることを確認し、目標値を満足した。

Fig. 3 に溶射層の断面マクロ写真、Fig. 4 には基材と溶射部の界面組織写真をそれぞれに示すが、ポーホールや割れなどの欠陥は認められない。

溶射後、放電加工および最終層のみを研磨した試験体 (A) (C) の外観を Fig. 5 に示す。照射試験は、Fig. 5 に示す試験体 (C) に電子ビームを用いて $5\text{MW}/\text{m}^2$ 、1000 回の定常熱負荷を照射した。結果、W の剥離、溶射層の割れなどは認められず、溶射層の健全性が確認された。

4. まとめ

今回、溶射による傾斜機能型高熱負荷受熱機器の製作法を検討した結果、SUS 基材の上には 3mm 以上、Cu 基材の上には 6mm 以上の 100%W 層の成膜を有する試験体を製作することができ、核融合実験炉のプラズマ対向機器への適用の可能性が得られた。

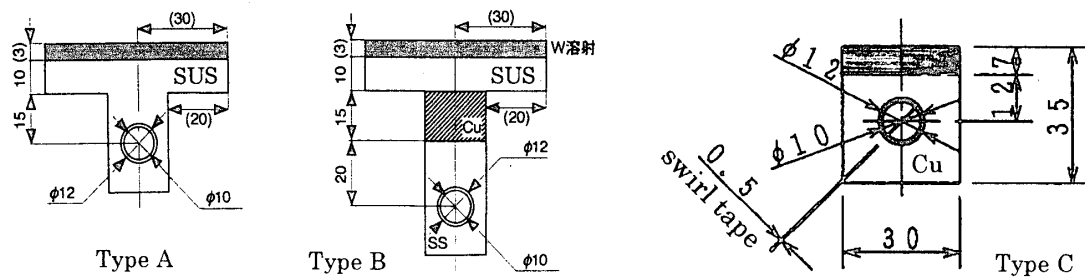


Fig. 1 Shape and size of specimen

Table 1 Spray conditions

Current (A)	510
Voltage (V)	59
Heat input (kW)	30.1
Pressure (MPa)	0.02

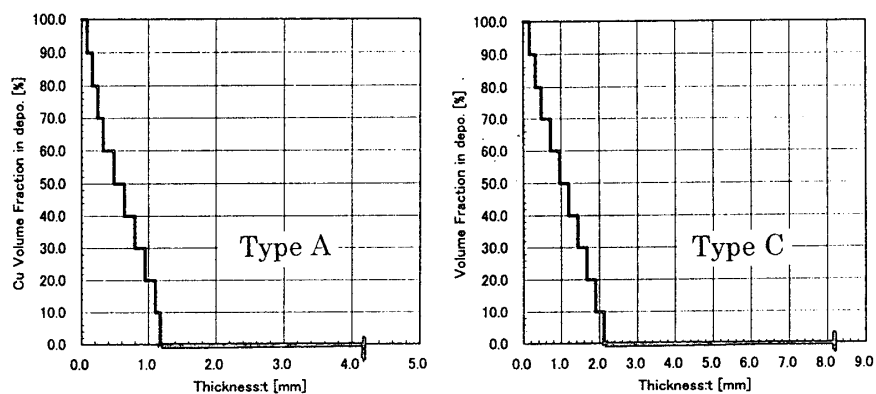


Fig. 2 Cu volume fraction in deposition (Type A, C)

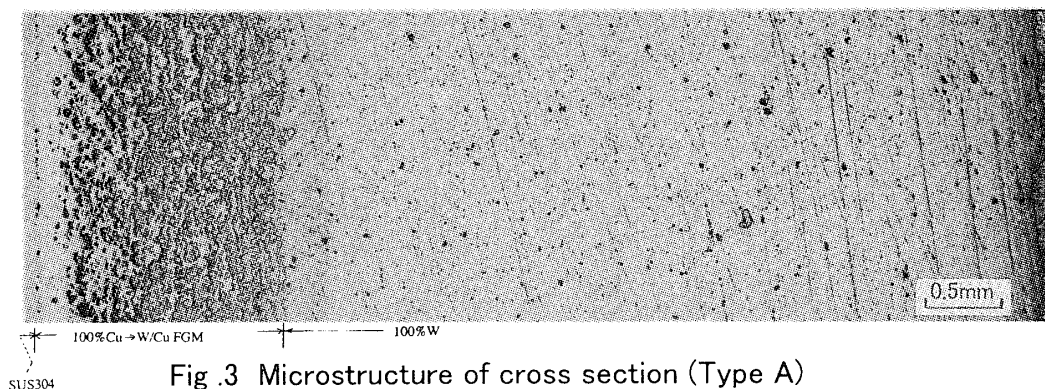


Fig. 3 Microstructure of cross section (Type A)

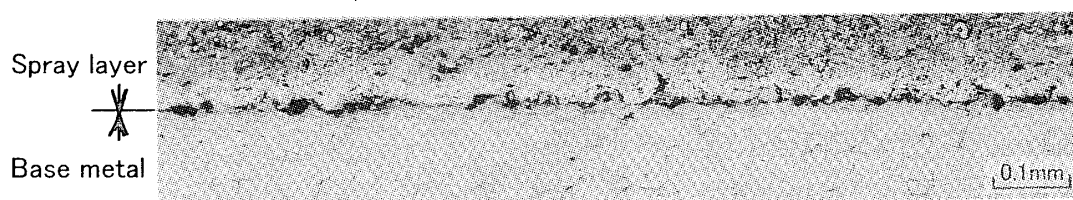


Fig. 4 Microstructure of cross section (Type A)

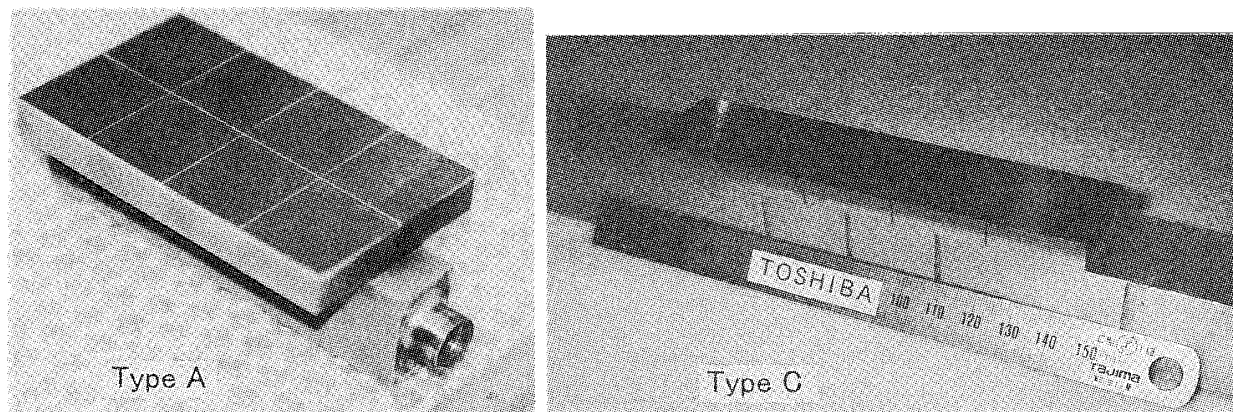


Fig. 5 View of after spray coating and polishing