

VPS-W被覆プラズマ対向材料の開発と界面接合性の評価

Evaluation of Interface Layer and Development of VPS-W Coatings on Plasma-facing Component

徳永知倫¹, 渡辺英雄², 吉田直亮², 長坂琢也³, 李泳柱⁴, 木村晃彦⁴, 時谷政行³,
笠田竜太⁴, 光原昌寿¹, 檜木達也⁴, 中島英治¹, 増崎貴³, 高島剛⁵, 黒木信義⁵,
江里幸一郎⁶, 鈴木哲⁶, 秋場真人⁶

¹九大総理工, ²九大応力研, ³核融合研, ⁴京大エネ研, ⁵トーカロ(株), ⁶原子力機構

Tomonori TOKUNAGA¹, Hideo WATANABE², Naoaki YOSHIDA², Takuya NAGASAKA³, Young-Ju Lee⁴ et al.

¹IGSES Kyushu Univ., ²RIAM Kyushu Univ., ³NIFS, ⁴IAE Kyoto Univ., ⁵TOCALO Co., Ltd., ⁶JAEA.

1. 緒言

核融合炉の第一壁は高い熱負荷や粒子負荷に曝される。そのため、プラズマ対向面をタングステン(W)で被覆する技術の開発が求められている。しかし F82H を基材として用いた場合、約 1040 K 以上の温度で組織変化を生じてしまう。またカーボンの場合、基材温度を高くすると界面は硬くて脆い WC 層を形成する。その為、VPS 法で W 被覆を行うためには、まず低い基材温度で高品質な皮膜を作製する技術開発が重要となる。

これまでの研究から、VPS で作製した W 皮膜は、十分溶融した W 粒を積層させることで積層方向に伸びた柱状粒組織を形成し、この組織が W 皮膜の高品質化に最も重要であることが明らかになった。この柱状粒組織の割合を高めるためには溶融度が不十分な W 粉末の積層を抑制する必要がある。本研究では、溶融が不十分な粒が多く積層する位置に遮蔽板を設置し、成膜した W 皮膜の組織を評価した。また、黒鉛に W を溶射した試料を作製し、界面を評価することで、界面合金層形成を抑制しつつ、高品質な皮膜を作製する方法を検討した。

2. 実験

トーカロ株式会社にて、SUS430 とカーボンの基材に、W 粉末(平均粒径 37 μm)を VPS 法で成膜した。SUS430 への溶射では、溶融が不十分な粒が多い範囲(溶射ガンから 20 mm 以上の範囲)に遮蔽板を設置し、基材温度 894 K で成膜した。カーボンへの溶射では遮蔽板を用いず、1444 K 以上の基材温度で成膜した。断面組織観察は SEM に加えて方位像顕微鏡 (EBSD)を用いることで、各組織の面積比を解析し、各成膜条件の比較を行った。

3. 結果・考察

図 1 に遮蔽板を設置せずに成膜した VPS-W/F82H と、遮蔽板を設置して成膜した VPS-W/SUS430 の断面組織を比較した結果を示す。Inverse Pore Figure より、VPS-W/F82H の皮膜では溶融が不十分な球状粒が 18.5 %混入しており、膜質が不均質であることがわかる。SEM 画像より、W 皮膜は扁平した W 粒が積層していることが確認できるが、微小なポアや乖離が生じていた。一方、VPS-W/SUS430 の W 皮膜は球状粒の割合が面積比で 0.9 %と少なく、より均質な組織となっていた。また SEM 像より細かな乖離や微小なポアが大変少ないことから、溶融して積層した W 粒同士がよく密着していることがわかる。このことから、遮蔽によって溶融した W 粉末のみを積層させる方法は、球状粒積層の大幅な抑制効果だけではなく、溶融粒のみが積層・密着することによりポアの少ない均質な組織になることが明らかとなった。

黒鉛基材温度を 1440 K 以上で成膜した結果、溶融した W は黒鉛表面の凹部に良く入り込んで凝固していた。界面では約 10 μm の WC 層を形成しており、ビッカース硬さで約 2500 Hv の非常に硬い組織となっていた。この結果より、黒鉛への溶射は、基材の表面の凹凸を利用し、いわゆる投錨効果によって接合強度を保つ方法が最も有効であることが分かった。

現在 LHD で実際に使われている等方性黒鉛ダイバータ板 (IG430U) 上に W 溶射し、試作材を作製した。表面の粗さを変えた板を約 1173~1273 K の温度に保持して成膜を行った。成膜後の断面を観察した結果、界面での炭化層は形成されておらず、この温度域では C の拡散速度は十分遅いことがわかった。また更に、あらかじめ基材表面への粗い凹凸処理とエッジの面取り加工を行うことで、サイズの大きなカーボン基材へ良質な W 皮膜を成膜可能であることが明らかとなった。

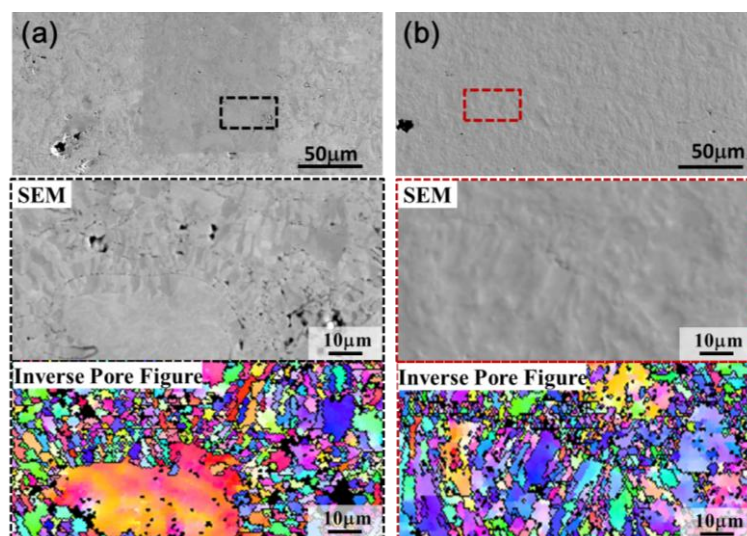


図 1: SEM/EBSD による VPS-W 断面組織比較
(a)粗粒通常成膜条件, (b)再凝固粒遮蔽条件