JT-60 その場コーティング技術の検討(IV)*

—チタン蒸発源の試作—

稲川幸之助***・阿部哲也**・広木成治**

小原建治郎**・中村和幸**・村上義夫**

(昭和58年12月9日 受理)

Studies on in-situ Coating Techniques for JT-60 (IV)*

—Fabrication and Testing of Ti Evaporation Source—

Kōnosuke INAGAWA***, Tetsuya ABE**, Seiji HIROKI**,

Kenjiro OBARA**, Kazuyuki NAKAMURA**

and Yoshio MURAKAMI**

(**Japan Atomic Energy Research Institute, Naka, Ibaraki)

(***)On leave from Institute for Super Materials, ULVAC Corp.,

Toyosato, Tsukuba, Ibaraki)

(Received December 9, 1983)

1. はじめに

JT-60 第一壁を低Z (原子番号) 化するために, 真空容器内に組込む前に厚さ 20 μm の炭化チタン膜が「プレコーティング」される。「その場コーティング」は, プレコーティングされた被膜がプラズマとの相互作用により受けた損耗を補修するために, 真空容器にチタン蒸発源を設置して行われる。これまでに, その場コーティングについての概念設計¹⁾ および被膜生成のための予備実験²⁾ を行ってきた。その結果, 膜作製法としてはチタン-アセチレンガス系による反応性蒸着が最も適しており, 実機に適用するためには, (1)大量チタン蒸発源の開発, (2)高温下でのチタン蒸発源駆動機構の開発が必要であることがわかった。その後(1)について, チタン蒸発線を試作して実験を行い検討した結果, 実機に使用可能であることがわかったので報告する。

2. 実験方法

その場コーティングは全方位蒸着を主目的にしているので, 線状チタン蒸発源を試作した。Fig. 1 はその例である。芯線タングステンおよびチタン線の本数を変えたり, 添え巻きモリブデン線および外周に巻くタングステンガード線の有無について16種類の蒸発線(長さ150 mm)を製作した。そのうち蒸発実験に供したものをTable 1 に示す。なお比較のために, 市販のチタンサブリメーションポンプ用チタンフィラメントについても実験を行った。

蒸発実験は, 反応性蒸着を想定して $6.5 \sim 13 \times 10^{-3}$ Paのアセチレンガス圧力下で行った。蒸発前後の重量測定から蒸発チタン量を推定し, また蒸発後の線材の脆さの程度を調べ, 健全性の目安とした。

3. 実験結果

電流, 電力-電圧特性の例をFig. 2 に示す。3.2 g のチタンのうち80%が蒸発し, 線材の溶断は生じなかった。各試作品のチタン溶融開始電力および溶断電力を,

* 昭和58年11月1日 第24回真空に関する連合講演会で講演(1Ba-4)

** 日本原子力研究所(茨城県那珂郡那珂町)

*** 日本原子力研究所外来研究員, 日本真空技術(株), 超材料研究所筑波研究所(茨城県筑波郡豊里町東光台)

用いた各線材についての重量比 $(W+Mo)/Ti$ に対して整理したのが Fig. 3, 4 である。投入電力 0.5~1 kW でチタンが溶融し始め、さらに連続して蒸発させるために時間とともに電力を増加させていくと、2~2.5 kW で蒸発がほぼ完了する。重量比が 3 近傍の蒸発線の多くは溶断しなかった。

重量比と蒸発チタン量との関係が Fig. 5 である。重量比が 2 付近で急激に増大し、 $(W+Mo)/Ti \geq 2.3$ ではほぼ一定の蒸発率 70~80% を示しており、そのときのチタン重量は 2 g 以上である。この領域にある蒸発線の実験後の様子を Fig. 6 に示す。チタンが線材に一樣によくぬれて蒸発したため、残り少ないのがわかる。また蒸発

後の線材の健全性も保たれていた。重量比が小さい領域では溶融開始後 30 sec 以内に溶断が生じ、5% 以下の蒸発率であった (Fig. 7)。なお市販のチタンフィラメントの蒸発率は約 20% (0.2 g) で、蒸発後の線材の脆弱化が激しかった。

Fig. 1 の添え巻き線および外周ガード線は、チタンを線材のまわりに一樣にぬらすため局所的な過剰加熱が起らず、蒸発後の線材の健全性を保つのに非常に有効であることがわかった。

4. JT-60 への適用可能性

水素イオンによる化学スパッタリングを受けた 20 μm の炭化チタン膜の寿命は、 1×10^{18} ions/cm²·sec のフラックスで、1 ショット 10 sec としておよそ 2000 ショットであると見積られている⁹⁾。平均的な運転モードによれば 1000 ショット/年と推定されるので、被膜は 2 年間のプラズマ実験で消耗してしまう。したがって月 1 回程度その場コーティングを行うとすれば、約 8300 Å の損耗分を補給しなければならない。この厚さの炭化チタン膜を形成するためには、蒸発チタンがすべて JT-60 真空容器内のコーティングされる表面積約 136 m²¹⁾ にわたって均一な厚さで蒸着されるとすれば、約 440 g のチタンが必要である。

多数の蒸発線からなるその場コーティング用蒸発源の概念図を Fig. 8 に示す。2 m の腕に 1 列に 10 本の蒸発

Fig. 1 Sketch of a typical titanium wire fabricated for evaporation experiment.

Table 1 Weight and its ratio, cross-sectional area and its ratio of $(W+Mo)$ and Ti for Ti evaporation wire used in the experiment.

Classification of sample	Weight of $(W+Mo)$ (g)	Area* of $(W+Mo)$ (mm ²)	Weight of Ti (g)	Area* of Ti (mm ²)	Weight ratio $(W+Mo)/Ti$	Area* ratio $(W+Mo)/Ti$
C.a. sample**	2.3	0.63	1.0	1.01	2.3	0.63
U-1	2.4	0.95	2.7	3.39	0.89	0.28
U-2	1.55	0.56	3.65	4.52	0.42	0.12
U-3A	3.2	1.02	2.70	3.39	1.19	0.30
U-3B	4.55	1.08	2.75	3.39	1.65	0.32
U-5	4.8	1.02	2.95	3.39	1.63	0.30
U-7	8.9	2.74	3.2	2.13	2.78	1.28
U-7A	9.75	2.81	3.2	2.13	3.05	1.32
U-7B	10.45	2.87	3.2	2.13	3.27	1.35
U-8	5.55	1.77	3.0	2.13	1.85	0.83
U-8A	6.25	1.84	3.0	2.13	2.08	0.86
U-8B	6.85	1.89	2.9	2.13	2.36	0.88
U-9	9.25	2.48	4.05	2.83	2.28	0.88
U-10	6.5	1.26	3.8	2.83	1.71	0.44

* Cross-sectional area

** Commercially available sample

Fig. 2 Current and power as a function of applied voltage in the evaporation experiment using a fabricated titanium evaporation wire (U-7B).

Fig. 4 Power at fusing as a function of the ratio of total weight of (W+Mo) to that of Ti of the titanium evaporation wires used in the experiment.

Fig. 3 Beginning power for titanium melting as a function of the ratio of total weight of (W+Mo) to that of Ti of the titanium evaporation wires used in the experiment.

Fig. 5 Evaporation percentage of titanium as a function of the ratio of total weight of (W+Mo) to that of Ti of the evaporation wires used in the experiment.

Fig. 6 Appearance of a fabricated titanium evaporation wires after the experiment. The evaporation percentage is 70~80%.

Fig. 7 Appearance of a fabricated titanium evaporation wires after the experiment. The evaporation percentage is 1~2%.

線が固定され、それが6列ある構造をしている。これをJT-60の4つの U_4 ポート¹⁾にそれぞれ設置し、まず1列ずつ3列蒸発させ、それから左右方向を変えて残りの3列を蒸発させる。このとき蒸発線として、Fig. 5の70~80%蒸発率領域のそれを使用すれば480gのチタンが蒸発し、被膜の損耗を十分補修することができる。

また析出速度については、蒸発速度が今回の実験での0.1~0.2 g/minより少ない0.06 g/minのときに、 6.5×10^{-3} Paのアセチレンガス圧力下で化学量論組成の炭化チタン膜が得られる条件 $1.5 \text{ Å/sec}^2)$ になる。これらの工程によりその場コーティングが行われるとすれば、蒸着のみに要する時間は200 minとなり、真空容器の加熱冷却のそれに比べて非常に短時間な作業であることがわかる。

以上述べたように、試作した蒸発線は蒸発量、析出速

Schematic view of arm for Ti evaporation source

Fig. 8 Sketch of an arm for evaporation source with many titanium evaporation wires in in-situ coating equipment for JT-60.

度、蒸着時間および蒸発後の線材の健全性からもJT-60に適用可能であると結論づけられる。

5. ま と め

JT-60 第一壁への炭化チタン膜 その場 コーティングを行うためのチタン蒸発線の開発を行った。芯線およびチタン線の本数を変えたり、添え巻き線および外周ガード線の有無のいろいろな蒸発線を試作した。それらを用いて反応性蒸着を想定した蒸発実験を行い、JT-60 実機への適用可能性を検討した。その結果、重量比が $(W+Mo)/Ti \geq 2.3$ でかつ添え巻き線 および外周ガード線を備えてあるものは、実機に使用可能であることがわかった。

終りは、チタン蒸発線の試作に便宜をはかっていただいた、ウイザップタングステン工業㈱岡田三千世氏ならびに㈱偕揚社 遠藤明喜男氏に深く感謝する。

〔文 献〕

- 1) 阿部哲也, 稲川幸之助, 小原建治郎, 広木成治, 村上義夫: 真空 **26** (1983) 488.
- 2) 稲川幸之助, 阿部哲也, 小原建治郎, 広木成治, 村上義夫: 真空 **26** (1983) 494.
- 3) Y. Murakami, T. Abe and H. Nakamura: J. Nucl. Mater. **111/112** (1982) 861.