TiC を被覆した JT-60 用第一壁材料の開発 (IV)*

—コーティングした第一壁の材料特性—

阿部哲也**・村上義夫**・田中三男**・伊藤 裕***

溝口忠憲***・梶原浦宗次***・佐川準基***

(昭和59年4月6日 受理)

Development of TiC Coated Wall Materials for JT-60 (IV)*

—Material Characteristics of the Coated Walls—

Tetsuya ABE**, Yoshio MURAKAMI**, Mitsuo TANAKA**,
Yutaka ITOU**, Tadanori MIZOGUCHI***, Sōji KAJIURA***
and Junki SAGAWA***

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

(***)Hitachi Ltd., Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo)

(Received April 6, 1984)

1. はじめに

第一壁素材である純モリブデン及びインコネル625が、プラズマ CVD 法 (TP-CVD) およびホローカソード法 (HCD-ARE) により TiC コーティングを施された際に受ける材料特性上の影響、特に、機械的強度特性、放射率測定について報告する。

2. 使用した素材

本開発に使用した素材は、すべて実機第一壁に準じたものとし、固定リミタはアマックス社製、ライナ I は東京タングスタン社製、また機械的強度特性試験体用素材は、実機の磁気リミタ板等に使われているプランゼー社製の純モリブデンである。これら素材の化学成分を Table 1 に、また粉末冶金法による製作フローを Fig. 1 に示す。実機では、板厚 20 mm の圧延材 (以下 20 T 材と呼ぶ) と、板厚 5 mm の強圧延材 (以下 5 T 材と呼ぶ) を並用しており、従って引張強度試験体も、プラン

ゼー社製の 20 T 材、5 T 材の二種類を使って製造した。一方、インコネル625に関しては、三菱金属社製のものを使用、材料規格は ASTM B443 に準拠した。

3. 材料特性

(1) TiC 被覆モリブデン引張試験結果

Fig. 2, 3 および 4 に、20 T 材の引張試験結果を示す。被覆方法の相異による被覆後の引張強度、0.2%耐力の差はほとんどみられないが、両方法とも、無処理材と比較して引張強度、0.2%耐力を約10%劣化させている。一方、伸びに関しては、室温において TiC 膜の硬さの影響が顕著に表われている。例えば、同じ温度履歴をもつ、熱処理材と TP-CVD による TiC 被覆材では2倍の伸びの差となっている。高温では TiC 膜の影響は小さくなる。

強圧延した 5 T 材の試験結果を Table 2 に示す。室温において、引張強度、0.2%耐力とも約30%以上落ち、伸びが約2.5倍になっている。これは、再結晶が進行し、軟化したためと思われる。

(2) TiC 被覆インコネル625引張試験結果

Table 3 に試験結果を示す。TiC 被覆材は無処理材に

* 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-8)

** 日本原子力研究所 (茨城県那珂郡那珂町)

*** (株)日立製作所 (東京都千代田区神田駿河台)

Table 1 Chemical composition of pure molybdenum

Composition	Mo	C	O ₂	N ₂	Fe	Ni	Si
Volume	99.96	29	19	10	16	5	22
Unit	%	$\mu\text{g/g}$

Fig. 1 Production procedure of pure molybdenum sheet.

比べて室温で、0.2%耐力が1.36倍、伸びが86%となり、多少硬化している。超合金であるインコネル625は750°Cをピークとして600°C付近から時効硬化するため、被覆法として、530°C以下約75分で20 μm のTiC膜を被覆できるHCD-ARE法を選択しているが、それでも多少時効の影響がでていると思われる。

(3) 金相写真

モリブデン20T材のTiC被覆前後における基材圧延方向の断面金相をFig. 5, Fig. 6に示す。TP-CVD法による900°C、8時間の被覆処理の結果、結晶粒が多少成長しているのがわかる。一方、5a材に関して、無処理材と900°C、8時間の温度履歴を与えた熱処理材との圧延方向の断面金相を、それぞれFig. 7, Fig. 8に示す。加工度

Fig. 2 Tensile strength of hot rolled pure molybdenum of 20 mm thickness

Fig. 3 0.2% yield point of hot rolled pure molybdenum of 20 mm thickness

Fig. 4 Elongation of hot rolled pure molybdenum of 20 mm thickness

Table 2 Mechanical properties of hot rolled pure molybdenum of 5 mm thickness

	T.S. (kg/mm ²)		0.2% Y.P. (kg/mm ²)		Elongation (%)	
	R.T.	550°C	R.T.	550°C	R.T.	550°C
Requirement	≥65	≥40	≥50	≥38	≥10	≥5
Pure Mo	87.1	58.2	84.1	53.8	12.3	4.4
Annealing (900°C, 8Hr)	59.9	31.2	51.5	20.2	30.3	24.0

が高く、内部ひずみ応力の蓄積した 5T 材は、20T 材より再結晶温度が低くなっているとみられ、熱処理により、再結晶核が形成され、再結晶が大きく進行している。これらの現象は、引張試験結果の説明とよく一致する。

インコネル625の TiC 被覆後の TiC 界面付近の金相を **Fig. 9** に示す。被覆前後の金相に全く変化はなく、金相上、時効硬化の影響はみられない。

(4) 放射率測定結果

HCD-ARE 法で被覆した TiC 膜表面の放射率は、モリブデン基材、インコネル625基材に関係なく、0.14である。一方 TP-CVD 法による TiC 膜の表面の放射率は 0.38と非常に大きい。

4. 考察及び結語

TP-CVD 法及び HCD-ARE法によるモリブデン20T 材への TiC 被覆は、基材の引張強度特性を多少劣化さ

Table 3 Mechanical properties of TiC coated Inconel 625

	T.S. (kg/mm ²)		0.2% Y.P. (kg/mm ²)		Elongation (%)	
	R.T.	550°C	R.T.	550°C	R.T.	550°C
Requirement	≥84.4	—	≥42.2	—	≥30.0	—
Inconel 625	101.6	88.7	49.8	36.0	49.6	43.3
TiC coated Inco. 625	101.6	85.2	67.8	38.3	42.7	41.9

Fig. 5 Microstructure of pure molybdenum of 20 mm thickness

Fig. 6 Microstructure of the pure molybdenum coating TiC

100 μm

Fig. 7 Microstructure of hot rolled pure molybdenum of 5 mm thickness

100 μm

Fig. 8 Microstructure of the hot rolled molybdenum after annealing

せるが実用上問題ないことを確認した。HCD-ARE法によるインコネル625への TiC 被覆も、基材に多少の影響

Table 4 Emissivity of TiC coated surface

Substrate	Molybdenum			Inconel 625	
	Electrolytic polishing	TiC (HCD-ARE)	TiC (TP-CVD)	Chemical etching	TiC (HCD-ARE)
Emissivity	0.075	0.141	0.378	0.175	0.142

100 μm

Fig. 9 Microstructure of TiC coated inconel 625

を与えるものの実用上問題はない。

金属の再結晶温度は加工度が増すほど低下する傾向があり、本確認試験で用いたモリブデン 5T 材は900℃、8時間の熱処理で再結晶が進行した。実機の強圧延材は、本 5T 材より加工度を低下させてあり、その結果、900℃10時間の熱処理でも再結晶核生成はみられないことを確認している。