真空ポンプ用セラミックロータの試作*

阿部 哲也**・村上 義夫**・高澤 国夫***・森井 茂樹***

(昭和62年2月9日 受理)

Development of Ceramic Rotor for Vacuum pump

Tetsuya ABE**, Yoshio MURAKAMI**,
Kunio TAKAZAWA*** and Shigeki MORII***

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

*** (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Kan-on-shinmachi, Hiroshima)

(Received February 9, 1987)

1. はじめに

現在、稼動中の磁場閉じ込め核融合装置の真空排気系は、主としてターボ分子ポンプのような回転体を有するポンプで構成され、その回転体は金属製であり、回転軸受には潤滑油を使用するのが一般的である。

一方、核融合装置の本体部周辺には強い漏洩磁場が存在する。そのため排気効率の向上を目的として真空ポンプを本体部に近接させると、この漏洩磁場と導電性回転体・モータ等との間で相互作用が起き、その結果、渦電流を生じて回転体の発熱、回転数低下等が惹起され、ポンプの排気性能を低下させる懸念がある^{1,2,3)}。さらに将来、トリチウム (T) を使用した場合、これによる潤滑油の劣化等も考えられる。以上から耐磁場・耐放射線性等を有する回転ポンプの開発を目的としてターボ分子ポンプを具体例に設計・試作を行った。試作開発の第一段階として、回転体をセラミックス製、軸受をガスベアリング、シールは非接触ネジシール、回転駆動源としてガスタービンを使用した試験機を試作し、耐磁場性等の原理実証試験を行った。

2. 設計仕様

ポンプの排気速度が $0.08 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1} (\text{N}_2)$ 程度のターボ

分子ポンプを当面の開発目標に設定し、この開発目標の基で試験機を設計・試作した。

今回試作した試験機の設計・試作上の主目的は、耐磁場性試験、セラミックス構造材の回転強度試験、ガスベアリング構造の最適化試験など主として機械工学的試験を行うことである。

目標とする完成機と試作した試験機との設計仕様を相互比較して、Table 1 に示す。Table 中の矢印は両者の数値が等しいことを意味している。

両者の仕様で異なっている個所は、回転翼数と回転翼角 (傾角)、および静翼数のみである。したがって、試作した試験機は排気能力を有していないのでポンプ性能の評価をすることはできないが、それ以外の機械工学的試験に関しては完成機に直接適用できる資料を提供することができる。Fig. 1 に、試作した試験機の構造図を示す。

動翼は窒化珪素 (Si_3N_4) で製作し、傾角は代表的なものの一種類 (40°) で構成されている。回転体は動翼付セラミックスデスク (Si_3N_4) を5段重ね合わせて構成されている。使用した窒化珪素材のワイブル係数は15である。この回転体はガスベアリングで支持され、ガスタービン (動作ガスは圧縮空気) で高速回転駆動される。ガスベアリングおよびガスタービンが付置される高圧側と低圧側は非接触ネジシールにより高差圧でシールされている。ハウジング材はアルミニウム合金製である。

Fig. 2 に試験機の外観形状を示す (静翼およびハウジングは取り付けしていない)。

*昭和61年11月13日 第27回真空に関する連合講演会で一部講演 (12Ap-5)

** 日本原子力研究所 那珂研究所 (茨城県那珂郡那珂町大字向山)

*** 三菱重工業㈱ (広島県広島市西区観音新町4-6-22)

Table 1 Design specifications

Item		Prototype ceramic Turbomolecular pump	Test machine
Rotation speed (rpm)		30,000	→
Pumping performance	Pumping speed (N_2) (m^3/s)	0.08	—
	Compression ratio (N_2)	9×10^7	—
Rotor assembly	Length (mm)	323	→
	Material	Si_3N_4	→
Rotor blades	Outer diameter (mm)	120	→
	Number of blades	26	→
	Blade angle (deg.)	15, 40	40
	Number of stages	10	5
	Method of bonding	Special bonding	→
Stator blades	Number of stages	10	5
Spiral-groove seal	Seal gap (μm)	50	→
	Rotor diameter (mm)	50	→
Bearing	Upper radial	Gas bearing	→
	Lower radial	Gas bearing	→
	Thrust	Gas bearing	→
Gas turbine	Type	Impulse turbine	→

Fig. 1 Cross-sectional view of the test machine.

3. 結果および考察

3.1 ネジシール性能評価試験

ネジシールの性能を評価するためにシール間隔 $25\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ の2種類のネジシール機構を試作し、種々の回転数ごとに各シール機構のガス漏洩量（リーク量）を測定し、性能を評価した。

Fig. 3 にシール性能測定装置の概略図を示す。

種々の回転数の基で、図中(1)のネジシールを境として、下部(2)側の圧力 P （高圧部）を変化させ上部ケーシング内（低圧部）へ漏洩して行くガス漏洩量をオリフィス(3)で計測してシール性能を評価した。

Fig. 4 にシール性能の測定結果を示す。

回転数の上昇に伴いシール効果が増大し、更に同一の回転数ではシール間隔が小さいほどシール性能が増大する。この結果からシール間隔 $50\mu\text{m}$ 、回転数 $3 \times 10^4 \text{ rpm}$ で完成機が必要とする性能が得られることがわかる。

3.2 耐磁性評価試験

Fig. 5 に磁場発生装置を用いた耐磁性試験の概略図を示す。

定常磁場発生には4個の円形空芯コイル（A）を使用し、試験機の設置場所で得られる最大発生磁束密度は図中に示したように 0.046 T （テスラ）である。パルス磁場発生には、円形空芯コイル（B）を使用し、これ得られる最大磁束密度時間変化率は 0.02 Tmsec^{-1} である。回転体への磁場の影響評価は渦電流損によって回転体に発生する発熱の有無と、回転数変化を測定することにより行った。すなわち、発熱の有無に関しては、回転を一

定時間継続する毎に回転を中止して動翼に塗布した 130°C で変色する熱感変色性塗料の色調変化を観測し、合わせて接触型温度計で回転部の温度を実測した。また回転数変化は光式回転計で試験実施中も連続して計測した。

Fig. 2 Test machine being assembled.

Fig. 3 Experiment apparatus for spiral-groove seal performance.

Fig. 4 Leak rate of spiral-groove seal.

Fig. 5 Schematic of testing apparatus and magnetic field at around the test machine.

Fig. 6 に定常およびパルス磁場中で行った回転試験の結果を示す。

図に示すように定常磁場試験では、試験機を回転数

Fig. 6 Typical results of rotational test in stationary and pulsed magnetic field.

3×10^4 rpm まで昇速し、その回転数を維持した状態で最大発生磁束密度である0.046 Tの定常磁場を1時間印加し回転数の変化を測定した。その結果、回転数には全く変化が現れず、したがって回転数に対する磁場の影響は全く認められなかった。また同時に計測した熱感変色性塗料の変色も無く、さらに接触型温度計の示度も室温であったので回転中の発熱もほとんど無いことが確認された。

同様に、パルス磁場試験においても、同図に示すように回転数 3×10^4 rpm まで昇速し、その回転数を維持した状態で最大磁束密度時間変化率 0.02 Tmsec^{-1} を10分間に60パルス印加し回転数変化、発熱等を測定したが、定常磁場試験の結果と同じく、回転数変化、発熱現象とも全く認められなかった。ちなみに、これと同程度の強さの定常あるいはパルス磁場を金属製回転体から構成される通常のターボ分子ポンプに印加すると回転数は急激に低下しポンプとしての動作を継続させることが著しく困

難となることが知られている^{1,2,3)}。以上の結果から、試作した試験機は、今回印加した程度の磁束密度ではほとんど磁場からの影響を受けないということが確認された。

今回使用した窒化珪素セラミック材の回転強度に関して、正確な評価を与えることは難しいが、現在までのところ窒化珪素材の機械強度に係わる技術的問題はおきていない。

〔文 献〕

- 1) W. Bieger, K. H. Dippel, F. Richter and E. Usselman: *Proc. 7th Symp. on Engineering Problems of Fusion Research* (IEEE, 1977) p. 976.
- 2) W. Becker and J. Henning: *J. Vac. Sci. Technol.* **15**, No. 2 (1978) 768.
- 3) A. Nishide, O. Yamashita, et al.: *Journal of the Vacuum Society of Japan* **27**, No. 5 (1984) 95 (in Japanese).