

明 細 書

発明の名称： 真空ポンプ、および真空ポンプに備わる回転円筒体

技術分野

[0001] 本発明は、真空ポンプ、および真空ポンプに備わる回転円筒体に関する。

詳しくは、回転円筒体に加わる応力を低減する真空ポンプ、および真空ポンプに備わる回転円筒体に関する。

背景技術

[0002] 配設される真空室内の真空排気処理を行うための真空ポンプには、回転体とねじ溝排気要素（ねじ溝型排気機構／ねじ溝ポンプ部）を備えているものがある。当該ねじ溝排気要素を備えた真空ポンプは、回転体における回転翼が配設された下側に、回転翼のない回転円筒体（ロータ円筒部）を設け、ねじ溝排気要素内のガスを圧縮する構成になっている。

このようなロータ円筒部が設けられる真空ポンプを含め、一般的に真空ポンプでは、遠心力によりロータ円筒部の内径側に対して応力が生じ、その応力が設計基準値を超える虞があった。

図9は、従来のターボ分子ポンプ100を説明するための図である。

図9に示したように、従来のターボ分子ポンプ100には、ネジ付スペーサ131と隙間（クリアランス）を介して軸方向に対向して円筒部102dが配設される。この円筒部102dに応力が生じると、高温下での長期運動によって円筒部102dが徐々に変形・膨張するクリープ現象が生じる。

このクリープ現象によりネジ付スペーサ131と円筒部102dとのクリアランスの規定値量が小さくなるまでの期間であるクリープ寿命は、メンテナンスコストの観点から可能な限り長い方がよい。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平10-246197号

[0004] 特許文献1には、高速で回転しても回転翼やそれを支持する箇所において

局所的な応力や温度上昇を生じさせないことを目的として、回転翼の外径を排気口側と吸気口側とで異ならせる技術について記載されている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] また、上述した特許文献1のような構成の他に、回転体（回転翼／回転円筒体）の回転数を下げることによって応力を低減するようにしていた。

しかしながら、回転体の回転数を下げれば排気性能は低下してしまっていた。

[0006] 本発明は、回転円筒体（回転体）の回転数を下げることなく応力を低減させることが可能で、かつ排気性能を向上させる真空ポンプ、および真空ポンプに備わる回転円筒体を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 請求項1記載の本願発明では、吸気口と排気口が形成された外装体と、前記外装体に固定され、ねじ溝を有するねじ溝型排気機構と、前記外装体に内包され、回転自在に支持された回転軸と、前記回転軸に配設され、前記ねじ溝型排気機構と隙間を介して対向する対向部および前記ねじ溝型排気機構よりも下流側に延伸した延伸部を有し、当該延伸部において前記対向部の外径よりも小さい外径を有する縮径部と、応力集中を低減する緩縮径構造を備える回転円筒体と、を具備することを特徴とする真空ポンプを提供する。

請求項2記載の本願発明では、前記緩縮径構造は、テーパ構造であることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプを提供する。

請求項3記載の本願発明では、前記緩縮径構造は、曲面形状であることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプを提供する。

請求項4記載の本願発明では、前記緩縮径構造は、前記縮径部に含まれることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の真空ポンプを提供する。

請求項5記載の本願発明では、吸気口と排気口が形成された外装体と、前記外装体に固定され、ねじ溝を有するねじ溝型排気機構と、前記外装体に内

包され、回転自在に支持された回転軸とを備えた真空ポンプの回転円筒体であって、前記回転軸に配設され、前記ねじ溝型排気機構と隙間を介して対向する対向部および前記ねじ溝型排気機構よりも下流側に延伸した延伸部を有し、当該延伸部において前記対向部の外径よりも小さい外径を有する縮径部と、応力集中を低減する緩縮径構造を備えることを特徴とする回転円筒体を提供する。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、回転円筒体におけるクリープ寿命に起因する部分の応力を、回転数を下げずに低減することができるので、回転数を下げる設計にして応力を低減させる構成に比べて、排気性能を維持または向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施形態に係るターボ分子ポンプの概略構成例を示した図である。

[図2]本発明の実施形態で用いるアンプ回路の回路図を示した図である。

[図3]本発明の実施形態における電流指令値が検出値より大きい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図4]本発明の実施形態における電流指令値が検出値より小さい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図5]本発明の第1の実施形態に係るターボ分子ポンプの概略構成例を示した図である。

[図6]本発明の第1の実施形態に係るターボ分子ポンプの円筒部及び延伸部を説明するための図である。

[図7]図6に示した円筒部及び延伸部の拡大図である。

[図8]延伸部の形状を説明するための図である。

[図9]従来のターボ分子ポンプの概略構成例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0010] (i) 実施形態の概要

本発明の実施形態に係るターボ分子ポンプ（真空ポンプ）では、ターボ分子ポンプに備わる円筒部（回転円筒体）の排気口側下部において、ねじ溝排気要素の固定側部品よりも下流側に延伸した、延伸部が設けられる。そして、延伸部には縮径部が設けられる。

より詳しくは、円筒部の下端部（排気口側端部）をねじ溝排気要素より長く設計して延伸部を設ける。そして、そのロータ円筒部の延伸部に、ロータ円筒部の吸気口側であり且つねじ溝排気要素と対向する部分（対向部）よりも外径の大きさが小さい縮径部を設ける。さらに、延伸部に、緩縮径構造が採用されている。この緩縮径構造とは、緩やかに縮径している構造を意味する。

[0011] 延伸部においては、回転時に内径側に発生する応力は外径が小さいほど小さくなるので、上述した縮径部及び緩縮径構造を有する構成により、回転体（円筒部など）の回転数を下げずとも、円筒部の内径側に発生する応力を低減させることができる。

[0012] (i i) 実施形態の詳細

以下、本発明の好適な実施形態について、図1から図8を参照して詳細に説明する。

このターボ分子ポンプ100の縦断面図を図1に示す。図1において、ターボ分子ポンプ100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンブレードである複数の回転翼102（102a、102b、102c・・・）を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

[0013] 上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸とに対をなして配置されている。この上側径方向電磁石104の近接に、かつ上側径方向電磁石104のそれぞれに対応されて4個の上側径方向センサ107が備えられ

ている。上側径方向センサ１０７は、例えば伝導巻線を有するインダクタンスセンサや渦電流センサなどが用いられ、ロータ軸１１３の位置に応じて変化するこの伝導巻線のインダクタンスの変化に基づいてロータ軸１１３の位置を検出する。この上側径方向センサ１０７はロータ軸１１３、すなわちそれに固定された回転体１０３の径方向変位を検出し、制御装置２００に送るように構成されている。

[0014] この制御装置２００においては、例えばＰＩＤ調節機能を有する補償回路が、上側径方向センサ１０７によって検出された位置信号に基づいて、上側径方向電磁石１０４の励磁制御指令信号を生成し、図２に示すアンプ回路１５０（後述する）が、この励磁制御指令信号に基づいて、上側径方向電磁石１０４を励磁制御することで、ロータ軸１１３の上側の径方向位置が調整される。

[0015] そして、このロータ軸１１３は、高透磁率材（鉄、ステンレスなど）などにより形成され、上側径方向電磁石１０４の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、Ｘ軸方向とＹ軸方向とにそれぞれ独立して行われる。また、下側径方向電磁石１０５及び下側径方向センサ１０８が、上側径方向電磁石１０４及び上側径方向センサ１０７と同様に配置され、ロータ軸１１３の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している。

[0016] さらに、軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂが、ロータ軸１１３の下部に備えた円板状の金属ディスク１１１を上下に挟んで配置されている。金属ディスク１１１は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸１１３の軸方向変位を検出するために軸方向センサ１０９が備えられ、その軸方向位置信号が制御装置２００に送られるように構成されている。

[0017] そして、制御装置２００において、例えばＰＩＤ調節機能を有する補償回路が、軸方向センサ１０９によって検出された軸方向位置信号に基づいて、軸方向電磁石１０６Ａと軸方向電磁石１０６Ｂのそれぞれの励磁制御指令信号を生成し、アンプ回路１５０が、これらの励磁制御指令信号に基づいて、軸方向電磁石１０６Ａと軸方向電磁石１０６Ｂをそれぞれ励磁制御すること

で、軸方向電磁石 106A が磁力により金属ディスク 111 を上方に吸引し、軸方向電磁石 106B が金属ディスク 111 を下方に吸引し、ロータ軸 113 の軸方向位置が調整される。

[0018] このように、制御装置 200 は、この軸方向電磁石 106A、106B が金属ディスク 111 に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸 113 を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。なお、これら上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106A、106B を励磁制御するアンプ回路 150 については、後述する。

[0019] 一方、モータ 121 は、ロータ軸 113 を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸 113 との間に作用する電磁力を介してロータ軸 113 を回転駆動するように、制御装置 200 によって制御されている。また、モータ 121 には図示しない例えばホール素子、レゾルバ、エンコーダなどの回転速度センサが組み込まれており、この回転速度センサの検出信号によりロータ軸 113 の回転速度が検出されるようになっている。

[0020] さらに、例えば下側径方向センサ 108 近傍に、図示しない位相センサが取り付けられてあり、ロータ軸 113 の回転の位相を検出するようになっている。制御装置 200 では、この位相センサと回転速度センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出するようになっている。

[0021] 回転翼 102 (102a、102b、102c...) とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼 123 (123a、123b、123c...) が配設されている。回転翼 102 (102a、102b、102c...) は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。

[0022] また、固定翼 123 も、同様にロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒 127 の内方に向けて回転翼 102 の段と互い違いに配設されている。そして、固定翼 123 の外周端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ 125 (125a、125b、125c...

・ ・) の間に嵌挿された状態で支持されている。

[0023] 固定翼スペーサ 1 2 5 はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。固定翼スペーサ 1 2 5 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 1 2 7 が固定されている。外筒 1 2 7 の底部にはベース部 1 2 9 が配設されている。ベース部 1 2 9 には排気口 1 3 3 が形成され、外部に連通されている。チャンバ側から吸気口 1 0 1 に入ってベース部 1 2 9 に移送されてきた排気ガスは、排気口 1 3 3 へと送られる。

[0024] さらに、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の用途によって、固定翼スペーサ 1 2 5 の下部とベース部 1 2 9 の間には、ネジ付スペーサ 1 3 1 が配設される。ネジ付スペーサ 1 3 1 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝 1 3 1 a が複数条刻設されている。ネジ溝 1 3 1 a の螺旋の方向は、回転体 1 0 3 の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口 1 3 3 の方へ移送される方向である。回転体 1 0 3 の回転翼 1 0 2 (1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c ・ ・ ・) に続く最下部には円筒部 1 0 2 d が垂下されている。この円筒部 1 0 2 d の外周面は、円筒状で、かつネジ付スペーサ 1 3 1 の内周面に向かって張り出されており、このネジ付スペーサ 1 3 1 の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。回転翼 1 0 2 および固定翼 1 2 3 によってネジ溝 1 3 1 a に移送されてきた排気ガスは、ネジ溝 1 3 1 a に案内されつつベース部 1 2 9 へと送られる。

[0025] ベース部 1 2 9 は、ターボ分子ポンプ 1 0 0 の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部 1 2 9 はターボ分子ポンプ 1 0 0 を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

[0026] かかる構成において、回転翼 1 0 2 がロータ軸 1 1 3 と共にモータ 1 2 1 により回転駆動されると、回転翼 1 0 2 と固定翼 1 2 3 の作用により、吸気

口１０１を通じてチャンバから排気ガスが吸引される。吸引口１０１から吸引された排気ガスは、回転翼１０２と固定翼１２３の間を通り、ベース部１２９へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼１０２に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ１２１で発生した熱の伝導などにより、回転翼１０２の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼１２３側に伝達される。

[0027] 固定翼スペーサ１２５は、外周部で互いに接合しており、固定翼１２３が回転翼１０２から受け取った熱や排気ガスが固定翼１２３に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

[0028] なお、上記では、ネジ付スペーサ１３１は回転体１０３の円筒部１０２ｄの外周に配設し、ネジ付スペーサ１３１の内周面にネジ溝１３１ａが刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に円筒部１０２ｄの外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

[0029] また、ターボ分子ポンプ１００の用途によっては、吸引口１０１から吸引されたガスが上側径方向電磁石１０４、上側径方向センサ１０７、モータ１２１、下側径方向電磁石１０５、下側径方向センサ１０８、軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂ、軸方向センサ１０９などで構成される電装部に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム１２２で覆われ、このステータコラム１２２内はパージガスにて所定圧に保たれる場合もある。

[0030] この場合には、ベース部１２９には図示しない配管が配設され、この配管を通じてパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング１２０とロータ軸１１３間、モータ１２１のロータとステータ間、ステータコラム１２２と回転翼１０２の内周側円筒部の間の隙間を通じて排気口１３３へ送出される。

[0031] ここに、ターボ分子ポンプ１００は、機種の特定制と、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ１００は、

その本体内に電子回路部 141 を備えている。電子回路部 141 は、EEPROM等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、それらの実装用の基板 143 等から構成される。この電子回路部 141 は、ターボ分子ポンプ 100 の下部を構成するベース部 129 の例えば中央付近の図示しない回転速度センサの下部に收容され、気密性の底蓋 145 によって閉じられている。

[0032] ところで、半導体の製造工程では、チャンバに導入されるプロセスガスの中には、その圧力が所定値よりも高くなり、或いは、その温度が所定値よりも低くなると、固体となる性質を有するものがある。ターボ分子ポンプ 100 内部では、排気ガスの圧力は、吸気口 101 で最も低く排気口 133 で最も高い。プロセスガスが吸気口 101 から排気口 133 へ移送される途中で、その圧力が所定値よりも高くなったり、その温度が所定値よりも低くなったりすると、プロセスガスは、固体状となり、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着して堆積する。

[0033] 例えば、Al エッチング装置にプロセスガスとして SiCl_4 が使用された場合、低真空 ($760 [\text{torr}] \sim 10^{-2} [\text{torr}]$) かつ、低温 (約 $20 [^\circ\text{C}]$) のとき、固体生成物 (例えば AlCl_3) が析出し、ターボ分子ポンプ 100 内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ 100 内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ 100 の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は、排気口 133 付近やネジ付スペーサ 131 付近の圧力が高い部分で凝固、付着し易い状況にあった。

[0034] そのため、この問題を解決するために、従来はベース部 129 等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管 149 を巻着させ、かつ例えばベース部 129 に図示しない温度センサ (例えばサーミスタ) を埋め込み、この温度センサの信号に基づいてベース部 129 の温度を一定の高い温度 (設定温度) に保つようにヒータの加熱や水冷管 149 による冷却の制御 (以下 TMS という。TMS ; Temperature Management Syst

e m)が行われている。

[0035] 次に、このように構成されるターボ分子ポンプ100に関して、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁制御するアンプ回路150について説明する。このアンプ回路150の回路図を図2に示す。

[0036] 図2において、上側径方向電磁石104等を構成する電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して電源171の正極171aに接続されており、また、その他端が電流検出回路181及びトランジスタ162を介して電源171の負極171bに接続されている。そして、トランジスタ161、162は、いわゆるパワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。

[0037] このとき、トランジスタ161は、そのダイオードのカソード端子161aが正極171aに接続されるとともに、アノード端子161bが電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。また、トランジスタ162は、そのダイオードのカソード端子162aが電流検出回路181に接続されるとともに、アノード端子162bが負極171bと接続されるようになっている。

[0038] 一方、電流回生用のダイオード165は、そのカソード端子165aが電磁石巻線151の一端に接続されるとともに、そのアノード端子165bが負極171bに接続されるようになっている。また、これと同様に、電流回生用のダイオード166は、そのカソード端子166aが正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子166bが電流検出回路181を介して電磁石巻線151の他端に接続されるようになっている。そして、電流検出回路181は、例えばホールセンサ式電流センサや電気抵抗素子で構成されている。

[0039] 以上のように構成されるアンプ回路150は、一つの電磁石に対応されるものである。そのため、磁気軸受が5軸制御で、電磁石104、105、106A、106Bが合計10個ある場合には、電磁石のそれぞれについて同

様のアンプ回路150が構成され、電源171に対して10個のアンプ回路150が並列に接続されるようになっている。

[0040] さらに、アンプ制御回路191は、例えば、制御装置200の図示しないデジタル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP部という）によって構成され、このアンプ制御回路191は、トランジスタ161、162のon/offを切り替えるようになっている。

[0041] アンプ制御回路191は、電流検出回路181が検出した電流値（この電流値を反映した信号を電流検出信号191cという）と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} ）を決めるようになっている。その結果、このパルス幅を有するゲート駆動信号191a、191bを、アンプ制御回路191からトランジスタ161、162のゲート端子に出力するようになっている。

[0042] なお、回転体103の回転速度の加速運転中に共振点を通過する際や定速運転中に外乱が発生した際等に、高速かつ強い力での回転体103の位置制御をする必要がある。そのため、電磁石巻線151に流れる電流の急激な増加（或いは減少）ができるように、電源171としては、例えば50V程度の高電圧が使用されるようになっている。また、電源171の正極171aと負極171bとの間には、電源171の安定化のために、通常コンデンサが接続されている（図示略）。

[0043] かかる構成において、トランジスタ161、162の両方をonにすると、電磁石巻線151に流れる電流（以下、電磁石電流 i_L という）が増加し、両方をoffにすると、電磁石電流 i_L が減少する。

[0044] また、トランジスタ161、162の一方をonにし他方をoffにすると、いわゆるフライホイール電流が保持される。そして、このようにアンプ回路150にフライホイール電流を流すことで、アンプ回路150におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることが

できる。また、このようにトランジスタ161、162を制御することにより、ターボ分子ポンプ100に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。さらに、このフライホイール電流を電流検出回路181で測定することで電磁石巻線151を流れる電磁石電流 i_L が検出可能となる。

[0045] すなわち、検出した電流値が電流指令値より小さい場合には、図3に示すように制御サイクル T_s （例えば $100\mu s$ ）中で1回だけ、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ161、162の両方をonにする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、正極171aから負極171bへ、トランジスタ161、162を介して流し得る電流値 i_{Lmax} （図示せず）に向かって増加する。

[0046] 一方、検出した電流値が電流指令値より大きい場合には、図4に示すように制御サイクル T_s 中で1回だけパルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけトランジスタ161、162の両方をoffにする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、負極171bから正極171aへ、ダイオード165、166を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} （図示せず）に向かって減少する。

[0047] そして、いずれの場合にも、パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} の経過後は、トランジスタ161、162のどちらか1個をonにする。そのため、この期間中は、アンプ回路150にフライホイール電流が保持される。

[0048] 図5は、第1の実施形態に係るターボ分子ポンプ100の概略を説明するための図である。

図6は、図5に示したターボ分子ポンプ100の円筒部102dにおける対向部10t、延伸部11（緩縮径構造11a及び縮径部50）を説明するための図である。

図7は、円筒部102dにおける対向部10t、延伸部11、緩縮径構造11a及び縮径部50の拡大図である。

図5から図7に示したように、円筒部102dは、ネジ付スペーサ131と所定の隙間を隔てて軸線方向に対向する対向部10t、ネジ付スペーサ1

31よりも排気口133側に延伸した延伸部11、緩縮径構造11aならびに縮径部50を有する。そして、縮径部50の形状は、円筒部102dと同様に円筒形である。

この図6から明らかなように、延伸部11は、緩縮径構造11aと縮径部50とから構成されている。

[0049] また、本実施形態では、円筒部102dにおける対向部10tの内径を r 、外径を R_t として説明する。

そして、図7で示したように、緩縮径構造11aの下端部（排気口133側）および縮径部50の外径を R_s 、緩縮径構造11aの漸化外径を m として説明する。なお、本実施形態では、「少しずつ変化する外径」という意味で「漸化外径」を用いる。

本実施形態に係るターボ分子ポンプ100に備わる円筒部102dは、ネジ付スペーサ131よりも排気口133側に延伸した延伸部11において、延伸部11ではない部分の円筒部102d（対向部10t）の外径 R_t よりも小さい漸化外径 m を有する緩縮径構造11aが形成される。この漸化外径 m は、図5から図7で示す実施形態では、吸気口側から排気口側にかけて値が徐々に小さくなっている（すなわち、外径が少しずつ変化している）。

[0050] 言い換えると、本実施形態に係る円筒部102dは、延伸部11の外径側において、所定の角度 θ の勾配を有する部分（緩縮径構造11a）を有する。この勾配は、例えば、延伸部11の外径側にテーパ形状を施すなどして構成することができる。

[0051] また、本実施形態では、延伸部11の起点（始点）と緩縮径構造11aの起点が一致する構成にしたが、これに限ることはない。つまり、対向部10tよりも延伸させた延伸部11の吸気口101側の一部を対向部10tと同じ大きさの外径 R_t とし、続けて、縮径していく漸化外径 m を有する緩縮径構造11aを設ける構成にしてもよい。すなわち、緩縮径構造11aは、延伸部11の少なくとも一部に形成される構成にすればよい。

[0052] また、本実施形態では、延伸部11の下端部（排気口133側）の外径 R

sと、緩縮径構造11aの最下端部（排気口133側）における漸化外径mの値が一致する構成にしたが、これに限られることはない。つまり、緩縮径構造11aの最下端部における漸化外径mの値と対向部10tの内径rの値とが一致する構成にしてもよい。

[0053] 上記延伸部11により、円筒部102dの下端に発生する応力が低減する働きがあるが、応力低減の観点から、この縮径部50と緩縮径構造11aを設けることで、より応力低減の効果がある。

よって、寸法上の制約の範囲内で、縮径部50と緩縮径構造11aによる延伸部11を設けている。

[0054] 図8は、この縮径部50の緩縮径構造11aとの接続形態を示した図である。

緩縮径構造11aと縮径部50との接続箇所は、応力が集中し易いので、ここを応力集中が発生しにくい構造とすることが好ましい。

図8(a)では、緩縮径構造11aにテーパ構造Xを採用している。また、図8(b)では、緩縮径構造11aに隅R形状Yを採用している。

図8(a)、(b)に示した以外の構造でも、応力集中を軽減できる構造であれば、本実施形態に用いることができる。

[0055] なお、本実施形態では、緩縮径構造11aの勾配を断面において直線状で形成する構成としたが、これに限られることはない。例えば、図示しないが、緩縮径構造11aの勾配を断面において曲線状で形成する構成にしてもよい。

[0056] 上述した構成により、本実施形態では、円筒部102dを含む回転体の回転数を下げずに、円筒部102dにおけるクリープ寿命に起因する部分である緩縮径構造11aの内径側にかかる応力を低減することができる。

また、回転数を下げずともクリープ現象を防止することができるので、回転数を下げることによるターボ分子ポンプ100の排気性能の低下を防止することができる。

或いは、この構成により円筒部102dを含むロータ部の回転数を上げる

ことができ得るので、ターボ分子ポンプ100の排気性能を向上させることができる。

縮径部50は、縮径部50の外径を R_s で一定として説明しているが、それに限らず、さらに下端に向かって縮径していく構造であってもよい。

また、縮径部50と緩縮径構造11aを分けて説明したが、両者が一体となった構造、あるいは、それぞれが下端まで緩やかな外径変化をする緩縮径構造となった構造であってもよい。

[0057] なお、本発明の実施形態および各変形例は、必要に応じて各々を組み合わせる構成にしてもよい。

[0058] また、本発明は、本発明の精神を逸脱しない限り種々の改変をなすことができる。そして、本発明が当該改変されたものに及ぶことは当然である。

符号の説明

- [0059] 10 t 対向部
11 延伸部
11 a 緩縮径構造
50 縮径部
100 ターボ分子ポンプ
101 吸気口
102 回転翼
102 d 円筒部
103 回転体
113 ロータ軸
123 固定翼
125 固定翼スペーサ
127 外筒
129 ベース部
131 ネジ付スペーサ
131 a ネジ溝

1 3 3 排気口

2 0 0 制御装置

請求の範囲

- [請求項1] 吸気口と排気口が形成された外装体と、
前記外装体に固定され、ねじ溝を有するねじ溝型排気機構と、
前記外装体に内包され、回転自在に支持された回転軸と、
前記回転軸に配設され、前記ねじ溝型排気機構と隙間を介して対向する対向部および前記ねじ溝型排気機構よりも下流側に延伸した延伸部を有し、当該延伸部において前記対向部の外径よりも小さい外径を有する縮径部と、応力集中を低減する緩縮径構造を備える回転円筒体と、
を具備することを特徴とする真空ポンプ。
- [請求項2] 前記緩縮径構造は、テーパ構造であることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。
- [請求項3] 前記緩縮径構造は、曲面形状であることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。
- [請求項4] 前記緩縮径構造は、前記縮径部に含まれることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の真空ポンプ。
- [請求項5] 吸気口と排気口が形成された外装体と、
前記外装体に固定され、ねじ溝を有するねじ溝型排気機構と、
前記外装体に内包され、回転自在に支持された回転軸とを備えた真空ポンプの回転円筒体であって、
前記回転軸に配設され、前記ねじ溝型排気機構と隙間を介して対向する対向部および前記ねじ溝型排気機構よりも下流側に延伸した延伸部を有し、当該延伸部において前記対向部の外径よりも小さい外径を有する縮径部と、応力集中を低減する緩縮径構造を備えることを特徴とする回転円筒体。