ナイロン焼結体の真空チャックへの応用*

(第1報, 吸引保持性能の検討)

谷 泰 弘^{*1}, 池 野 順 一^{*1}
佐 藤 壽 芳^{*1}, 冷 水 真^{*2}

Application of Sintered Nylon to a Vacuum Chuck

(1st Report, Evaluation of the Retention by Suction)

Yasuhiro TANI, Jun'ichi IKENO,
Hisayoshi SATO, and Makoto HIYAMIZU

As magnetic memory density increases, increased flatness of an Aluminium disk is required. To improve the flatness obtained by diamond turning, a porous sintered nylon was applied to a vacuum chuck. Then the retention ability of the sintered nylon was investigated and the following points were clarified. First, it was found that the static friction factor between the chuck and an Aluminium plate was smaller than that of conventional chucks, but that the retention by suction was strong enough to bear the cutting force in turning. Secondly, a desirable surface hardness of the chuck was attained when the pore rate was from 40 % to 52 %. Thirdly a strong retention was obtained after the surface of the chuck was cut.

Key Words: Manufacturing Technology, Vacuum Chuck, Diamond Turning, Sintered Nylon, Retention, Friction Factor, Pore Rate

1. は じ め に

磁気ディスクにおける記録の高密度化に伴い, その基板として多用されているアルミニウムディスクの, ダイヤモンド切削時に要求される形状精度 (特に平面度) も, さらに厳しくなっている。これに伴い, 加工時にアルミニウム基板を保持する真空チャックの吸引力により加工面に生じる微小なうねりも, 無視できないものとなってきた⁽¹⁾。

磁気ディスク基板のような平板状工作物に対して現在使用されている真空チャックは, 硬質ポリウレタン樹脂 (あるいはウレタンゴム) やテフロン樹脂のようなプラスチック基板に, 吸引のための幾何学的形状の溝を設けた構造となっている⁽¹⁾⁽²⁾。こうした構造のチャックにおいては, 溝の有無により工作物の支持剛性が大きく変化することとなる。すなわち, 溝のある部分では, 加工時に材料が逃げ, その結果真空チャックの溝形状に対応した微小なうねりが仕上げ面に生じることになる。こうした現象は, 研磨加工において真空

チャックを適用した際にも観察されている⁽³⁾。

この真空チャックに伴ううねりの問題を解決するために, 支持剛性の不均一性が緩和されると期待される多孔質体を, 真空チャックに利用する方法が従来からとられている⁽⁴⁾。多孔質体としては, セラミックス焼結体や焼結金属などが挙げられるが, これらはアルミニウム基板のチャックとしてはいずれも問題点を持っている。第1には基板よりも硬度が高いため, 基板のチャックへの取付け・取外し時に基板に傷をつけやすいことであり, 第2には基板の平面度管理のために行うチャックのセルフカッティングが容易でないことである。

そこで, 本研究においてはこれらの点が改善されると期待される, ナイロン焼結体⁽⁵⁾の真空チャックへの適用について検討することとした。本報においては, 基本的な適用の可能性を探るために, 構造や寸法を変化させたナイロン焼結体の吸引保持性能, 表面硬度, 吸湿による寸法変化, 切削性等についてまず検討を行った。

2. 吸引保持性能の検討

2・1 試験方法

吸引保持性能を検討するために, 真空吸着時のアルミニウム板とナイロン焼結体の間に

* 昭和62年10月29日 第946回講演会において講演, 原稿受付 昭和62年4月21日。

^{*1} 正員, 東京大学生産技術研究所 (〒106 東京都港区六本木7-22-1)。

^{*2} 日興リカ(株) (〒101 東京都千代田区神田須田町1-26)。

作用する最大摩擦力を計測することとした。この最大摩擦力が加工時にダイヤモンドバイトに作用する切削主分力よりも大きければ、アルミニウム板は横にずれることなく保持されるものと考えられる。そこで、図1(a)のように従来の真空チャックの面板と同様の吸引溝を有したジュラルミン製のチャックの上に、同図(b)のナイロン焼結体を周縁にて接着することにより、真空チャックを製作した。なお、図(c)は、比較のための3.5インチのアルミニウムディスクである。これらから構成される真空チャックの構造は、図2に示されるとおりである。本実験では、この真空チャックにより、ナイロン焼結体と同一外径($\phi 110$ mm)のアルミニウム板およびガラス板(青板)を真空吸着した。ここで、ガラス板はその吸着状態を観察するために使用した。実験は試料を吸引した状態において、この試料をナイロン焼結体に対して横方向に強制的にしゅう動させることにより行った。そして、この時ひずみゲージを使用した1方向ロードセルにより測定された最

大摩擦力から、ナイロン焼結体と試料間の静摩擦係数を算出した。

5インチのナイロン焼結体をエアスピンドルの先端に固定し、3.5インチのアルミニウム板を真空吸着した際の写真を、図3に示す。このナイロン焼結体の表面は、図4のようになっており、この写真に見られる気孔のうち連続して存在しているものが、吸着に寄与しているわけである。このナイロン焼結体は、図5に示される平均粒径 $5\mu\text{m}$ の66ナイロンの球状粒子⁽⁶⁾を焼結したものである。なお、ここで真空吸着したアルミニウム板としては、粗切削のみを行った $0.9\mu\text{m}R_z$ の粗面状態のものと、仕上げ切削まで行った $0.06\mu\text{m}R_z$ の鏡面状態のものの2種類を使用した。また、使用したガラス板の表面粗さは、 $0.03\mu\text{m}R_z$ であった。

2.2 一層構造での結果 ナイロン焼結体の基本的な吸引保持性能を検討するために、まず全体にわた

(a) チャック本体 (b) ナイロン焼結体 (c) アルミニウムディスク (3.5インチ)

図1 真空チャックの構成要素

図2 真空チャックの構造

図3 ナイロン焼結体による吸着の様子

図4 ナイロン焼結体の吸着面の拡大写真

ってほぼ均一な気孔率を示すナイロン焼結体を用いて実験を行った。その一層構造のナイロン焼結体の性状および寸法は、表1のとおりである。このナイロン焼結体と試料間で測定された最大摩擦力を吸引圧力と吸着面積の積で除して得た静摩擦係数を、気孔率に対して示したのが、図6である。ここで、試料の全面積にナイロン焼結体の気孔率を乗じたものを、真実の吸着面積として計算に使用した。100 Nの静荷重を作用させた時に計測される静摩擦係数を、比較のため同図に示した。また、従来のウレタンゴムの真空チャックで計測される、吸引時と非吸引時の静摩擦係数も合わせて示した。

これによれば、素材の性質上ナイロン焼結体の摩擦係数はウレタンゴムに比較して小さな値を示しているが、いずれの場合も吸引時には非吸引時よりも大きな摩擦係数となっている。これは、吸引時には静荷重を作用させた時よりも吸引部で試料が大きく変形し、これがしゅう動抵抗を大きくしているためと考えられる。また、この結果によれば、静摩擦係数は気孔率によってほとんど変化していない。気孔率が大きくなるほど真空の吸着面積は増加し吸引力は増大するため、このことは気孔率の増加に伴って摩擦力も大きくなることを意味している。

2.3 二層構造での結果 2.1節の結果を受けて、その吸引力を向上させるために、気孔率の高い層と低

い層を組合わせた二層構造のナイロン焼結体を製作し、一層構造の場合と同様にその吸引保持性能について検討した。ここで使用した二層構造のナイロン焼結体の性状および寸法を、表2に示す。支持剛性の均一性を保ったうえで吸引力の向上を目的としているため、密なA層をアルミニウム板側にして吸着することが好ましいが、実験としては疎のB層をアルミニウム板側にして吸着することも試みた。その結果が、図7である。

この結果によれば、二層構造にし、その気孔率を増大したことにより、吸引時に得られる静摩擦係数は高くなっており、0.5を越える値が得られている。また、一層構造の場合より明確に試料の面粗さによって静摩擦係数に差が生じている。これは気孔率を高めたことにより、しゅう動時の吸着面のひっかかりの程度の差が大きく出たものと推察される。また、図7の結果から新しく得られた情報としては、一つにはA層(密)をアルミニウム板につけたほうが、B層(疎)につけた場合より静摩擦係数は大きくなっていることである。これは、B層をアルミニウム板に付けた場合には、吸引力により吸引側のA層が目つぶれを起こし気孔率を減少させたためと考えられる。また、この場合にはナイロン焼結体の厚みが小さいほうが高い静摩擦係数が得られている。これは、ナイロン焼結体の厚みが大きいほど、焼結体内での圧力損失による吸着力の減少が大きいためと考えられる。

表1 一層構造のナイロン焼結体の性状および寸法

Test-piece No.	Density (g/cm ³)	Pore rate (%)	Deflection strength (g/mm ²)	Weight (g)	Thickness (mm)	Diameter (mm)
1-1	0.700	39.7	1.20	16.87	2.46	111.00
1-2	0.733	35.6	1.52	19.79	2.85	111.08
1-3	0.794	32.1	1.87	23.24	3.08	110.96

図5 ナイロン粒子

3. 表面硬度の検討

一般に真空チャックにおいては、その素材が硬すぎ

図6 一層構造のナイロン焼結体の吸引保持性能

表 2 二層構造のナイロン焼結体の性状および寸法

Test-piece No.	The whole		Layer A			Layer B		
	Density (g/cm ³)	Pore rate (%)	Density (g/cm ³)	Pore rate (%)	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Pore rate (%)	Thickness (mm)
2-1	0.722	37.9	0.817	30.5	1.70	0.667	42.6	4.10
2-2	0.645	44.3	0.783	33.1	1.70	0.584	47.7	4.02
2-3	0.600	47.9	0.745	38.0	1.80	0.502	54.8	3.88
2-4	0.682	41.4	0.764	33.1	1.20	0.636	45.7	2.46
2-5	0.644	45.0	0.735	36.6	1.00	0.571	50.5	2.60
2-6	0.563	50.3	0.766	33.2	1.20	0.487	55.0	2.39

図 7 二層構造のナイロン焼結体の吸引保持性能

図 8 ナイロン焼結体の気孔率と表面硬度

ると加工時のびびり振動の発生につながり、また逆に軟らかすぎると平面度の劣化につながると言われている。そこで、本実験で使用したナイロン焼結体と従来のウレタンゴムの真空チャックについて、その表面硬度を調べてみた。その結果が、図8である。ナイロン焼結体の表面硬度は、気孔率が高くなるにつれて小さくなっている。従来使用されているウレタンゴムの真空チャックの表面硬度とほぼ同等の値を示すものは、この種のナイロン粒子を使用した場合には、気孔率40～52%に相当している。したがって、表1に示した一層構造のナイロン焼結体の場合は、気孔率が32～40%であるから、従来の真空チャックより多少硬いことになる。

4. 吸湿による寸法変化

最近吸湿性の非常に少ないナイロン樹脂も開発されているが、ここで使用したナイロン焼結体の素材は、飽和水分含有率が6～7%の吸湿性を示す。したがって、ナイロン焼結体を機械要素として使用する際には、

図 9 ナイロン焼結体の吸湿による寸法変化

その吸湿による寸法変化が問題となる。そこで、表1に示された一層構造のナイロン焼結体に関して、真空チャックとして問題となる吸湿による厚みの変化を計測することとした。まず絶乾時の質量と寸法を計測し

図 10 切削後のナイロン焼結体の吸着面の拡大写真

た後、丸一日水中に完全に浸漬して十分に吸水した焼結体の水分を徐々に蒸発させ、その時の質量と寸法を測定し、吸湿による寸法変化を算出した。その結果が、図 9 である。

この結果では、厚みの変化がなくなるのは、水分含有率が 15 % 以上の場合となっている。この値は、上述したナイロン素材の飽和水分含有率よりはるかに大きいものである。これは、本実験では水分がナイロン素材に吸収されるのみでなく、気孔にも保有されていたためと考えられる。本実験では気孔率によらず飽和時に約 2 % の寸法変化を示しているが、各計測時のナイロン焼結体の中心部と周縁部の吸湿による寸法差は、0.1 % 以下であったことから、真空チャックとして問題はないものと判断された。なお、飽和時の吸湿による表面硬度の低下は、ショア硬度で 8 程度であった。

5. 切削性の検討

吸引保持性能を有していることが確認されたナイロン焼結体をダイヤモンド切削し、その切削性と切削による吸引保持性能への影響について検討を行った。加工物回転数 2000 rpm、切込み量 0.2 mm、送り速度 0.1 mm/rev で、ダイヤモンドバイトにより正面切削した後の表面の拡大写真を図 10 に示す。この図と図 4 を比較すれば、切削により表面に流動が生じているものの、吸着のための気孔は残存していることがわかる。試料 1-1 に対して、0.2 mm ずつ切削により表面の除去を行った際の、2 章と同様にして求めた静摩擦係数の変化を図 11 に示す。これによれば、切削時の目つぶれによる吸引保持性能の低下は観察されず、かえ

図 11 切削による吸引保持性能の変化

って厚みの減少により連続気孔が増加したためと考えられる吸引保持性能の向上が認められた。

6. おわりに

本報においては、支持剛性の均一化を目的として、アルミニウムディスクの旋削時における真空チャックとしてナイロン焼結体を適用する際に問題となる、吸引保持性能、表面硬度、切削性について検討した。その結果、

- (1) アルミニウム板との静摩擦係数は、従来の面板より小さいが、ダイヤモンド切削に対して十分な保持性能があることが判明した。
- (2) 素材、気孔率を選べば、従来の面板と同等の表面硬度が得られることが判明した。
- (3) ナイロン焼結体の切削性は優れており、切削により吸引保持性能は低下しないことが判明した。

本研究に対し、古河電気工業(株)、(株)不二越にご協力をいただいた。関係各位に深謝する。

文 献

- (1) 和田、精密機械、48-11 (昭 57)、1421。
- (2) 新野・三井、機論、51-471, C (昭 60)、3125。
- (3) 河田・ほか 2 名、精機講論、1 (昭 61-10)、73。
- (4) 小池、光学技術コンタクト、24-2 (昭 51)、128。
- (5) 中谷、金属、43-5 (昭 48)、68。
- (6) 中谷・杉山、金属、40-9 (昭 45)、79。

討 論

〔質問〕 吉田 嘉太郎〔千葉大学工学部〕

(1) 切削による気孔率の変化はないか。

(2) 気孔率のばらつきはいかがか。ばらつきが大きいときは、寸法精度が低下すると思われるが。

〔回答〕 (1) 切削によって気孔率が極端に低下するとすれば、加工物とチャック間の摩擦力の低下を招き、加工物の保持性能に悪影響を及ぼすものと考えられる。本研究では、図10に示す切削後のナイロン焼結体吸着面の状態から、ナイロンの流動がみられるものの、吸着機能をはたす気孔は残存していることがわかった。保持性能を調べた結果、図11に示すように摩擦力は切削後も変わらず、摩擦係数もほぼ一定になっていることを確認した。これより、加工物の保持に支障を来たすほどには、気孔率の変化は生じていないものと考えている。

(2) 「気孔率のばらつき」は支持剛性の不均一化を招き、加工精度に悪影響を及ぼす意味で重要な問題と考えている。そこで、本研究では、ナイロン粒子をできるだけ均一に分布させるため、エアロジルを微量添加してナイロン粒子の流動性を高めて焼結を行った。SEM観察の結果、図4に示すナイロン焼結体の吸着面のようすは、中心部も周辺部も変わりなく一様であった。これより、加工精度に悪影響をおよぼすほどのマクロ的なばらつきはないものと考えている。

〔質問〕 川 村 次 男〔日立精機(株)〕

ナイロン焼結体と本体との接着方法はどのようなも

のか。

〔回答〕 加工物を吸着させたとき、ナイロン焼結体はチャック本体になじんで密着し、焼結時の反りが無視されるであろうという考えから、周縁部のみで接着する方法をとった。しかし、本報でとった方法はあくまでも基礎実験の段階におけるものであり、実際に加工する段階における最適な接着方法については、今後も検討していく予定である。

〔質問〕 前 田 幸 男〔日立製作所(株)生研〕

(1) ナイロンチャックのセルフ切削後の半径方向真直度、面粗さはどの程度か。

(2) ナイロン粒子の脱落による悪影響は考えられるか。

〔回答〕 (1) チャックの半径方向真直度、面粗さは、加工物の加工精度に直接影響する因子であり、加工時には必ず把握しておかなければならないものと考えている。しかし、本研究は実際の加工の前段階として把握すべき基礎的な事項、特に吸引保持性能について検討したものであり、チャックのセルフ切削後の面精度の測定については、今回は行わなかった。これについては、アルミニウムディスクの加工を行う次の段階で、詳細に検討することを予定している。

(2) セルフ切削面を観察した結果としては、ナイロン粒子($\phi 5 \mu\text{m}$)の脱落は、明確には認められなかった。ナイロン焼結体の切削条件を選ぶことにより、粒子の脱落は、十分防ぐことができると考えている。