ポット用高速回転試験機について*

(昭和26年2月20日受理)

秋 山 健 二**

——摘 要——

研 究 目 的

ポットを高速回転させ、破壊するときの回転数を測定する試験機を考案試作し、その構造の概要を明かにしたものの。

研 究 結 果

(1) 構造は第3図に示すとおりである。

(2) ポットを真空中に下向きに吊し、約5万回転毎分を目標として試作したが、試験では気密不十分のため真空が予定通りならず、2万回転が最高であった。この点は改造により所期の目的を達しうの見込みである。

(3) $\frac{1}{2}$ サイズの模形ポットを作り、これによつて破壊試験を行い、応力計算と比較した。

(4) さらに破壊時の瞬間写真をとる成案をえたので、できれば実施したいと思つている。

1. 序 文

ポット用高速回転試験機とは、ポットを非常な高速で回転させポットが遠心力によつて破壊する時の回転数を測定して、それによつてポットの回転強度を直接試験することを目的としたものである。本機は試作を終つた所で未だ充分の実験が出来ていないか、このような方法で高速回転を行い得ることを確かめ得たので一応その構造概要を報告する。

現在生産されている個々のポットについてその強度が問題になつてゐるわけではないが、ポットの強度増大のための改造とか又は他の目的による構造改良の強度に対する影響を試験したい場合が多いのである。例えばピアノ線等の筋金を入れたら果してとれたけ強くなるか、又ポット上縁に補強リフをつけたら強くなるか、又肉厚は現在の値が最適だろうか等の問題を直接実物についてその破壊回転数を測ることによつて試験することが出来れば得る所多いものと思われるのである。それではこのような目的には一体どの位の回転数まで上げれば良いかと検討すると少くとも 30,000 r.p.m. 以上ということになる。然し各種の構造のものについて試験する関係上一に目標を 50,000 r.p.m. におくこととした。

さてこれだけの高速に駆動させる方法としては次のような方法が考えられる。

(1) 電動機を歯車又はベルト駆動により増速する。

(2) 空気タービン

(3) 高周波誘導電動機

(1) の方法は比較的簡単に実現出来そうにも思えるが、せいせい 2 万 r.p.m. 位まででありそれ以上はなかなか無理に思われる。尤も米国で最近 Spingo 社の超速心機⁽¹⁾で $1\frac{1}{2}$ 馬力の直捲電動機を歯車で $5\frac{1}{2}$: 1 の増速を行つて $7\frac{1}{4}$ 時のロータを 60,000~70,000 r.p.m. に回転させるのに成功しているが、これには矢張り相当高度の工作技術を必要としよう。(2) の方法は回転子に羽根を刻み込みこれに高速の空気を吹きつけて廻す方法であつて、従来から高速回転を得るのに良く用いられている良い方法である。然しこれは効率が余り良くないので、小径のロータを廻すのなら簡単で良いが、ポット程度の大きな直径、慣性性能率の回転体を廻すとなるとその動力側として 5 気圧 7 馬力程度の圧縮機が必要になり、又空気流量も大きいので配管等も太く且つ大仕掛のものが必要となる。

次に (3) は誘導電動機を高周波電源によつて直接廻そうとするものであつて、(2) と比べ効率も良く又動力の傳達も簡単である。装置の工作も (2) と比較べ特別精巧を要する所も少なくむしろ容易である。唯問題は発電機に特殊のものを必要とする点か問題である。そこで種々の方面について発電機を探した結果この目的に適當のものとして次の 2 つかみつた。

(イ) 富士電機製

発電機	3 相	300/1200V	100/440V
		0.9KVA	極数 40

* The high-speed Testing Machine for Spinning Pot.

** Kenji Akiyama, 松下電工株式会社

第 1 表 各種超遠心機要目表

設計者又は製作社	ローター 直径(mm)	回転数 (r.p.m.)	円周速度 (m/sec)	加速度 (g)	駆 動 動 力			
					種 類			
Svedberg	188	75,000	720	42万	油	全水頭 210m	30 l/分	15 HP
Bauer-Pickels	185	60,000	580	39万	空気	5'氣圧	1000 l/分	7 HP
Beams	150	91,200	720	71万	空気	3'氣圧	800 l/分	7 HP
Beams	150	60,000	470		電気	誘導電動機	1 KW	
Spinco	185	70,000	680		電気	直捲電動機	1½HP	(歯車増速)

直流電動機：220V 1.8A 2000/3600r.p.m.

(ロ) 三菱電機製

発 電 機：3相 400/800V 100/200V

2 KVA 極数 34

直流電動機：100V 2馬力

三菱電機社の好意によってやつと(ロ)を借用使用することが出来ることとなつたので、この誘導電動機式で設計試作を進めることとした。

2. 超 遠 心 機

装置の設計に際して類似した高速回転機械として超遠心機(Ultracentrifuge)⁽²⁾ というがあるのでこれを参考とした。それでこれについて若干記述する。これは高速の遠心機で且つ沈降を定量的に測定出来るようになったもので、沈降速度、分子量の測定及び分離、濃縮に用いられている。1927年頃から1940年頃にかけて米国において発展して種々の型のものが作られているが、直径150乃至185mm位のロータを60,000r.p.m.位の高速で回転させている。そこでこれ等の構造を文献によつて調べこれを試験機設計の基準とした。その代表的ものの要目を第1表に示す。

(1) 空気駆動式真空型超遠心機

1935年に Pickels⁽³⁾ と Beams⁽⁴⁾ はそれぞれ別個に大型のロータを真空中で回して、駆動部の小径のタービンだけを空気中に出して、この間を細い撓軸で連結し、タービンに高速の空気を吹きつけて駆動する形式のものを試みて成功した。その構造概要を第1図の原理図に示す。この図でTはタービン、Rがロータで、Rは3mm程度の細いピアノ線可撓軸PによつてTと連結され吊り下げられている。タービンTに周囲にあるノズルから高速の空気を吹きつけて駆動させる外、タービンの下面にBの所から圧力空気を作用させて、これで全回転体の重量を支えている。即ちいわゆる空気軸受を使っている。Vは真空容器であつて同時に破壊に対する防禦をかねてい

第 1 図 超 遠 心 機 原 理 図

第 2 図 空 気 駆 動 超 遠 心 機

る。Beams のものの実際の構造を第2図に示す。この図でTがタービン、Aが可撓軸、Bが空気軸受、Cがロータ、Vが真空容器、G₁が気密軸受である。性能は第1表第3列に示す通りである。

(2) 電気駆動式真空型超遠心機

1937年及び1940年に Beams⁽⁵⁾ が上記の空気式のタービンの部分をモータに改良したものを作つた。これは空気式と比べてその運転の制震が容易になつたこと、動力

源が便利になったことを特長としてあげている。これは上記の空気のものと同構造は類似して、唯タービンの所が2相の誘導電動機のロータとなつている。回転体は直径 160mm 重量 $7\frac{3}{8}$ lb で矢張り真空容器の中で回すようになっていてこの回転体と電動機ロータの間は細い可撓軸で連結されている。軸受は空気軸受の代りに電磁懸吊を用いている。これは電動機固定子巻線の上部にこれと同心に電磁石の界磁コイルがあり、回転部の上部に軟鉄製アーマチュアがついている。電磁石の界磁コイルを励磁するとこのアーマチュアを引張りこれによって回転部全体の重量を支持する。

誘導電動機用の高周波電源はオッシレータとパワー増巾器から成つていて、これで 1188cps 約 1.6KW の出力が得られる。電動機の界磁巻線には直列コンデンサーがつながれていてこれによって位相を分けると同時にパワー増巾器に負荷をマッチさせている。これで直径 $6\frac{1}{4}$ 時のロータを 60,000RPM まで加速するのに約20分を必要とする。

3. 試験機の構造

上記の電気式の超遠心機を参考として出来るだけこれに準じて第3図のような構造とした。試験機としては回転の安定なものと即ち振動の出来るだけ生じないこと及びボットが破壊した場合試験機本体に何等の異状を与えないことが要求される。このために上記の細い可撓軸で吊り下げる構造はなかなか望ましいのである。即ち可撓軸による自動調心的作用によつて、回転部分の平衡が充分完全でないときも振動がそれ程生じないばかりでなく、又ボットの一部分が破壊して回転部に非常に大きな振動が生じてても細い軸の部分が切断されて駆動部の方に故障を生じないですむのである。

ボットは通常上向きにして回転しているわけであるが強度試験だけの目的であれば逆に駆動部を上にしてボットを下向きにして回転させても良いであろう。こうする

第 3 図
ボット高速回転試験機構造図

と上記の超遠心機と殆ど同様な構造を取ることが出来る。第3図において、Tが空気タービンに相当する駆動用の電動機ロータで直径 44mm で通常の籠型ロータである。Fがこれに対する電動機ステータであり、Pがボットである。電動機ロータとボットの間は細い可撓軸Aで連結している。Aには直径 2.4mm のピアノ線を用いた。そしてこの軸Aはボット破壊の度に切断し且つ回るので、簡単に取替え出来るようにAとロータ及びAとボットのカップリングとの連結部はコレット・チャックになつている。Vは真空容器であつてボットの回転する部分の空気を真空ポンプで減圧すると同時に破壊の際の防振を兼ねている。G1は気密軸受であつて文献に出てくる Beams のものと同一構造を取つた。Aの軸がしつくり嵌合する軸受がありこの部に油を送り込んで気密を保たせる。然し試作したものは多少工作の不良もあつてまだ気密が充分でない。電磁懸吊の部分は図の最上部にあつてLがフィールド・コイルがこれに対する極軟鉄製アーマチュアである。フィールドを直流 100V で励磁するとアーマチュアを引きつけそれによって回転部分の重量を支える但し図に示した構造は第1回試作の時のものでその後若干の改造をした。なおTのすぐ下には予備のボールベアリングがついており、電磁懸吊が働かない場合これで重量を支持する。E型のボールベアリングを用いているので内輪は容易に上に分れる。

次に回転数の測定は発電機式であつて回転軸が上方につき出ているこれに直径 30mm の小型の2極の永久磁石を取りつけてあつて(図には書いていない)これの外側に固定の発電子巻線がある永久磁石が軸と一緒に回転すると発電子に交流電圧を誘起する。この電圧は回転数に正しく比例するので、その電圧を整流型の電圧計で測つて回転数を測定する。

4. 運 轉 成 績

装置の試作組立完了後調整並に若干の部分的改造に時間とり、その中借用使用していた発電機を返却せねばならない事情が生じて実際の実験は極く短期間しか行えず未だ充分の成績は得られていない。前項記載の気密軸受の部分の気密が充分でないため真空容器内の真空が余り上らずそのため実物のボットでは破壊するまで加速するに到らなかつた。前述のように発電機の借用期限の迫つた関係でその後 $\frac{1}{2}$ サイズの模型ボットを作つてこれで実験を行つた。 $\frac{1}{2}$ サイズであると風損が遙かに少なくなるため空気中のままで破壊まで加速することが出来る。使用した模型ボットの寸法は第4図に示す。なおこれは布入りでなくてパウダだけで作つてある。破壊の実験成績は第2表に示す。

次に一応の試験としてボットを全然つけず電動機のロータだけで最高回転まで上げたところ 70,000r.p.m. ま

(第 4 図)
1/2 サイズ 模型 ボット

第 2 表 実 験 成 績

実験回数	ボット寸法	破壊回転数 (RPM)
第 1 回	・ 1/2 サイズ・ボット	測定出来ず
第 2 回	1/2 サイズ・ボット	測定出来ず
第 3 回	実物ボット (但し肉厚 5 mm)	約 12,000
第 4 回	1/2 サイズ・ボット	12,000
第 5 回	1/2 サイズ・ボット	12,000
第 6 回	1/2 サイズ・ボット	10,000

でヒリ何等の異状を生じなかつた。尤も 70,000r.p.m. に保つたのは 2~3 分間に過ぎない。

なおこの回転数の決定の回転計は上記のものであるか約 20,000r.p.m. までストロホと比較校正した。そしてそれまでの成績が殆ど直線的であるのでそれ以上の回転数に対してはこの成績を延長して使用した。

5. 結 言

- (1) スピニング・ボットの回転強度を試験する目的で 50,000r.p.m. 程度を目標として高速回転試験機を計画し電気駆動式の超遠心機を参考としてそれと類似の構造で試作した。
- (2) ボットを真空容器中で下向きに吊るす型式としてこれは細い可撓軸によつて駆動部のロータから吊り下げられる。駆動は誘導電動機により、電源には 400V 至 800サイクル 2 KVA の高周波発電機を使用した。
- (3) ボットをつけずロータのみでは最高 70,000r.p.m.

まで回転を上昇させ何等の異状を生じなかつた。然し気密軸受部の気密不充分のため真空が充分上らず実物ボットをつけた場合は 20,000r.p.m. までしか上らずこれまでは破壊に到らなかつた。そこで 1/2 サイズ模型ボットを作りこれによつて実験を行い、5 回破壊させその平均は 12,000r.p.m. であつた。

- (4) この成績をボットを咄筒と考えて底板を無視して計算した計算式と比較すると非常に低い回転数で破壊していることになる。従つてボットの強度計算に際しては単に円筒と考えて行つたのでは實際的でないといえる。然しこれに関しては未だ試験回数が非常に少ないので正確には言い得ない。
- (5) これを要するに本試験機は未だ若干の不具合の点あり、完全のものとなつていなく実物のボットでは破壊出来るに到つていないが、然しなお所要の改造を行へはこのような方法で破壊試験を行い得ることを確かめ得たので此所に一応報告する次第です。
- (6) これだけの破壊試験を行うのであれば更に一步を進めて破壊時の瞬間写真を撮り、破壊の瞬間の状態を見ることか出来れば甚だ得ることか多いものと思われる。これを行うにはシャッタを如何にして破壊の瞬間に同期させるかか問題であるが、その方法については一応の成案が得られたので事情が許せば行いたいと思つてゐる。
- (7) 本実験には阪大教授太田博士並に東京工大教授谷口博士の御指導を得て、種々有益な御助言を頂いた。又発電機を貸与して実験に使わせて下さつた三菱電機社の御好意も併せて此所に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) E. G. Pickels, Machine Design, Vol 22 No. 9 (1950)
- (2) 谷口修、化学機械、12.139 (昭23-3,4)
谷口修、科 学、19.298 (昭24-7)
- (3) Beams and Pickels, Rev. Sci. Inst. 6.299(1935)
Beams, Lin ke and Sommer, Rev. Sci. Inst. 9, 248 (1938)
- (4) Baner and Pickels, J. Exp. 64. 503 (1936)
65. 565 (1937)
Pickels, Rev. Sci. Inst. 9.358 (1938)
- (5) Beams and Sheppard, Rev. Sci. Inst. 10.59(1939)
Skarstrom and Beams, Rev. Sci. Inst. 11,398 (1940)