

パツキング・メタルの漏洩測定

大原秀晴*

The Improvement of the Metal Packing for Refrigerators

By Hideharu Ōhara

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The article is devoted to the problem of improvement of metallic material for a packing of refrigerator aiming to protect the machine from the leakage trouble of refrigerants.

The writer considered the mechanical conditions of the packing and measured the tensile stress stored up in bolts which tighten the flanges and packing by the resistance strain meter. Also he measured the roughness of the flange surfaces, thus determining the stress-strain relation of the packing material.

This packing is subjected to the high temperature in service, so it is necessary to take account of the creep resisting property of the metals used as the packing material. For this reason, the writer used a lead-coated copper plate as the packing material, utilizing the plasticity of the lead on one hand, avoiding the creep of the lead by thinning the lead layer on the other.

When the thickness of the lead layer is reduced to less than 35μ , there is no appreciable creep.

If the lead layer becomes too thin, the air-tightness of the packing will decrease, so there must be the most fitted range of the thickness of the lead layer both for the air-tightness and the creep resisting property as a packing, and this thickness was decided by the several methods of the leakage measurement.

〔I〕 緒 言

電気冷蔵庫の冷媒圧縮機に部品として使用されるフランジ用メタル・パッキングに就いて研究した。このパッキングは約10数気圧の内圧を受け、 150°C 附近まで加熱される。従つて一方に於てはパッキングとしてフランジに馴染み易いことが必要であるにも拘わらず、高温に於ける匍匐に強いことも必要である。このように互に相反した要求に答えるためには単一の合金を以てすることは困難であつて、塑性に富んだ金属と弾性的に強い金属とを組合せて用いる方が有利である。このような場合に各金属層の厚さを如何ように決定したらよいか、又これ

を用いた場合従来のものに比してどの程度冷媒の漏洩を減少せしめ得るかを測定した。

〔II〕 パッキング使用状況の検討

(1) パッキングに働く圧縮応力

(A) 計 算 値

今第1図(次頁参照)のようなフランジをもつた容器にパッキングを取付けた場合に

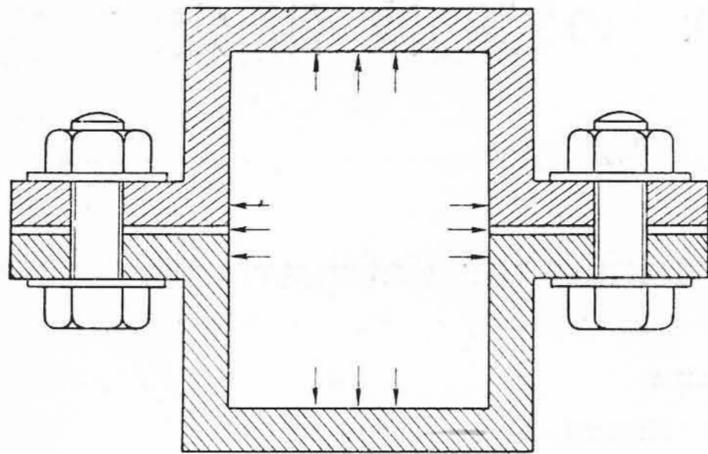
P = 容器の内圧 (kg/mm^2)

A = 容器の断面積 (mm^2)

B = パッキングの面積 (mm^2)

Q = 内圧のない場合1本の締付けボルトによりパッキングに与えられる力 (kg)

* 日立製作所中央研究所



第1図 パッキングの使用模型
Fig. 1. State of the Packing in Use

n = ボルトの本数

とすればパッキングの単位面積にかゝる圧力 q (kg/mm^2) は

$$q = \frac{nQ - PA}{B}$$

で与えられる。

所で Q なる力はボルト頭を長さ l cm のスパナーを用い、手の力 p_1 kg でボルトを締付けることによつて生ずる。今ボルトに関する諸量を次の如くに定めれば Q は次式で表わされる。(1)

$$Q = \frac{\pi}{4} d_1^2 f_k = \text{ボルトにかゝる力}$$

f_k = ボルトの単位断面積に於く引張応力

d_1 = ボルトの谷径

μ_1 = ボルト頭と座面との摩擦係数

r = 座面の摩擦の集中点とボルト中心との距離

φ = ボルトの螺旋角度 = $\tan^{-1}(p/\pi d_2)$

p = ピッチ

d_2 = 平均或は有効径

$\rho' = \tan^{-1}\left(\frac{\mu}{\cos \frac{\theta}{2}}\right)$ 但し φ が小さいものとする

θ = ネジ山角

μ = ネジ山接触面間の摩擦係数

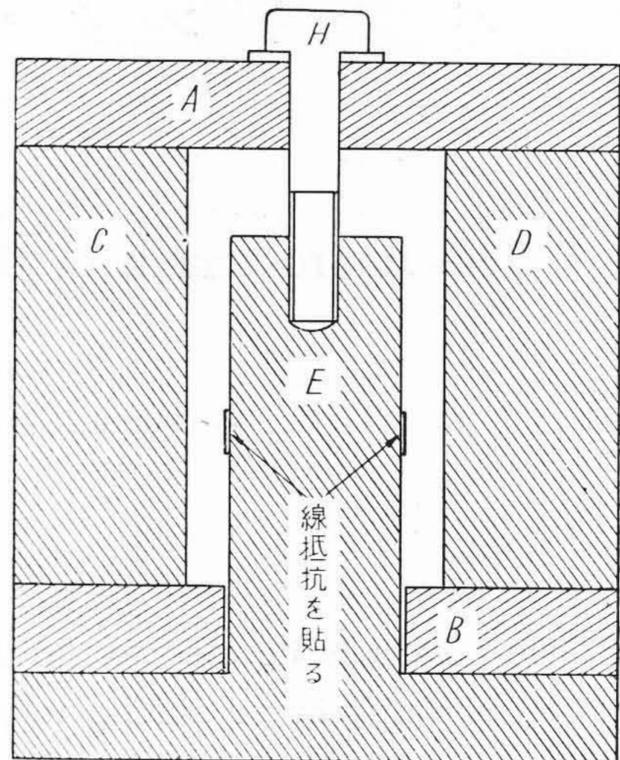
$$p_1 l = Q \left\{ \mu_1 r + \frac{d_2}{2} \tan(\rho' + \varphi) \right\}$$

8mm のボルトを使用するとして上記の諸量に数値を与えると $p_1 = 20$ kg, $l = 20$ cm の場合、 $f_k = 60.5$ kg/mm^2 , $Q = 1,860$ kg となる。これより $q = 1.93$ kg/mm^2 となる。

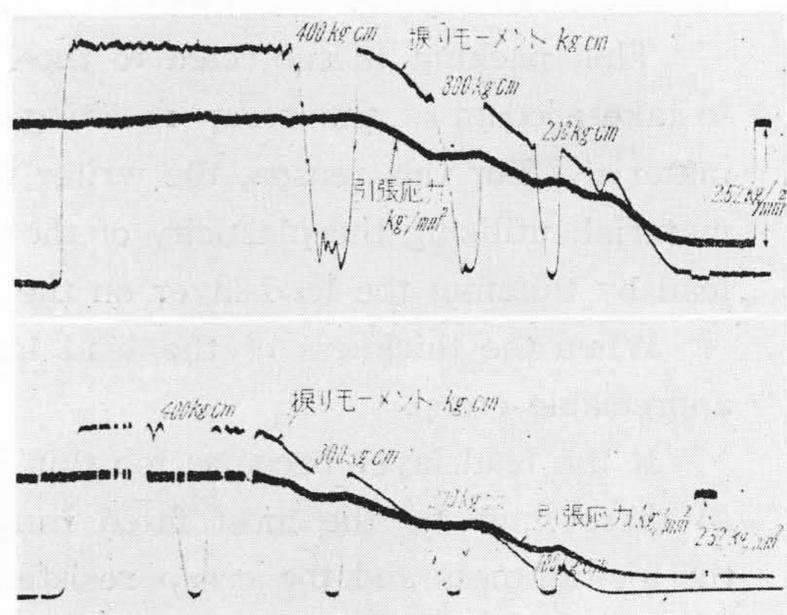
しかるに上の計算では $\mu_1 = \mu = 0.15$ と仮定したが、 μ_1 及び μ の値は実際には不明であり、このため上記の Q の値も推定の域を出ないこととなる。

(B) 実測値

前項に記したように、パッキングにかゝる力を明確にするためには、一定の締付けモーメントでボルトを締付



第2図 ボルトの張力測定装置
Fig. 2. Apparatus Used for the Measurement of the Tensile Stress Stored in a Bolt



第3図 ボルトにかゝる、締付けモーメントとこれによつて生じたボルト内の引張応力との関係

Fig. 3. Relations between the Twisting Moment Applied to the Bolt and the Tensile Stress Caused by that Moment in the Bolt

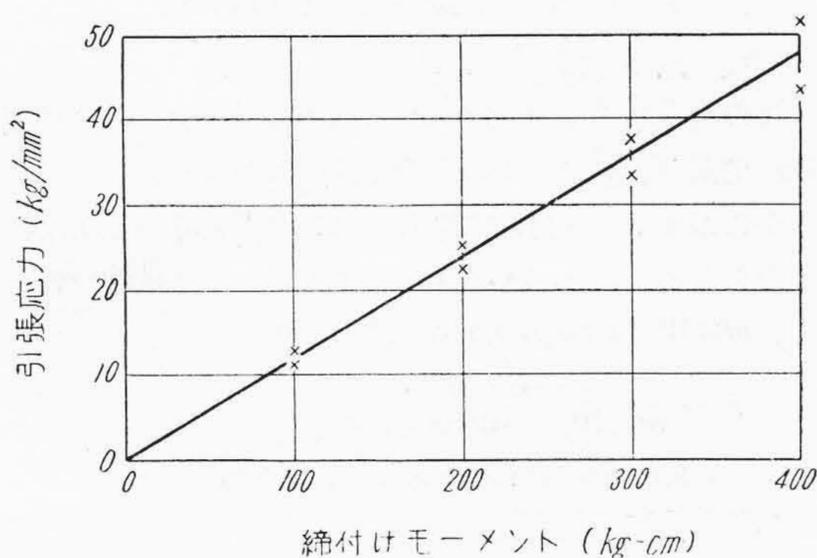
けたときにボルトに生ずる引張応力を実測することが必要である。そこで第2図の如き装置を用いて、締付けモーメントとこれによつてボルトに生ずる張力との関係を3要素の線型抵抗歪計を使つてオシログラフに記録した。第2図のボルト頭Hにトルク・レンチで既知のモーメントを与え、このトルク・レンチに貼られた線抵抗により、モーメントの変化を、又E部に貼られた線抵抗でボルトの張力を記録したものが第3図である。

第3図に於て、太い線はボルトに生じた引張応力を、

細い線はボルトに与えた締付けモーメントを示す。モーメントの曲線には 100 kg-cm 毎に谷を入れてある。写真の右端に 2.52 kg/mm² と記してあるのは 2.52 kg/mm² の引張応力が第 2 図の E 部に生じたときに引張応力曲線の水平線からの高さを示す規準である。従つて締付けモーメント 100, 200, 300, 400 kg-cm の山に対応する引張応力曲線の高さを読み、これと 2.52 kg/mm² に相当する高さとを比較することにより、締付けモーメントに対して生じたボルトの引張応力を知ることができる。これを図に示せば第 4 図の如くであつて、これより締付けモーメント 400 kg-cm のときのボルトに生じた応力は 47 kg/mm² であり、(A) 項の計算値より遙かに低いこと、従つて摩擦係数は推定値 0.15 よりも大きいことがわかる。

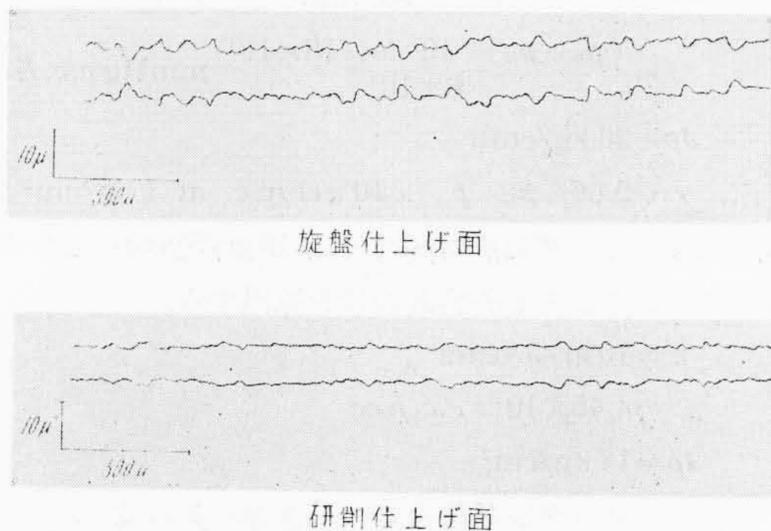
(2) パッキングの変形量

パッキングはボルトに締付けられることによつてフランジ面の凹凸に喰込み、以てガスの漏洩を防止するわけでフランジ面の凹凸の谷より山までの高さがパッキング



第 4 図 ボルトの締付けモーメントとそれによつて生じたボルト内の引張応力との関係

Fig. 4. Diagram between the Twisting Moment Applied to the Bolt and the Stress Caused by that Moment in the Bolt



第 5 図 フランジ面の粗さ

Fig. 5. Roughness of the Flange Surfaces

の変形すべき量である。今実際のフランジ面の粗さを粗さメータによつて測定してみると第 5 図に示すようであつて、一面は研削仕上げで粗さを凹凸の谷より山までの高さを以て示せば 2μ であり、他の一面は旋盤仕上げでその粗さは 5.2μ である。

従つてパッキングの変形すべき大きさは約 7μ であつて、その機械的性質としては(1)節と考え併せて応力約 50 kg/mm² で 7μ 以上の変形をすることが必要である。又これから材料のかゝる性質に応じてパッキングの厚さを決定する規準が得られる。

〔III〕 パッキングの厚さ決定の二因子

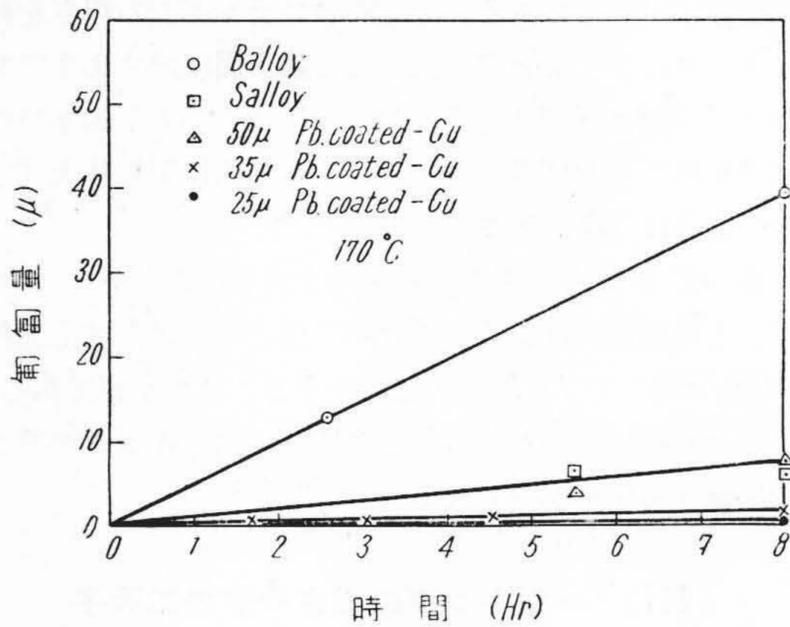
(1) 匍匐抵抗

従来用いられていたメタル・パッキングは鉛-アンチモニー系又は鉛-錫系の単一合金であり、その厚さは約 0.6mm である。これらの合金は前章に記したような機械的性質を有しているにも拘わらず、早いものは約 1 年で使用に耐えなくなる。これはこのパッキングが約 150°C の高温で使用されるためであり、従つて鉛系合金を以てしては到底長期間の使用に耐えるものは得られるべくもない。そこで機械的性質としては極めて弱い純鉛を用い、これによつて十分フランジ面の凹凸に馴染ませてガスの漏洩を防ぎ、しかも鉛が匍匐を起してフランジ面からはみ出さないように、フランジ面の凹凸を埋めるに足るだけの極く薄いものとすればガスの漏洩も防ぎ、且は匍匐も起らないパッキングが得られる。一方内圧の変化に対してパッキングが追従して厚さを変化するためには弾性も必要であつて、このためには前記の鉛の薄層を銅板上に被覆すればよい。そうすれば銅の弾性が内圧の変化に対してフランジ部の気密性を補償する。

ガスの漏洩を防ぐ点からは鉛層の厚さは厚い程よく、一方匍匐の点からは薄い程よい。そこで先づどの程度の厚さでどれだけ匍匐するかを次のようにして実験した。

フランジ面としては匍匐を起しやすいように擦合せ面を採用し、この間にパッキングを挿んで単位面積当り約 2.4 kg になるようにボルトで締付け、170°C に保持せる油槽に 8 時間浸漬し、その間のフランジを含めた全体の厚みの変化から匍匐量を求めた。その結果を第 6 図(次頁参照)に示す。尙試料はいつでも厚さ 0.2mm の銅板に電鍍により鉛を被覆したものであり、比較のために従来用いていた鉛合金 B と試作した耐匍匐用鉛合金 S の実験値も示した。

これにより鉛被覆を施した銅板をパッキングとして使用した場合には他の鉛合金の単層のパッキングに比して、耐匍匐性が極めてよく、35μ 以下では匍匐量は従来ものの 1/10 以下となることがわかる。



第 6 図 各種のパッキングの匍匐曲線
Fig. 6. Creep Curves of Several Kinds of Packings

第 1 表 漏 洩 測 定 法
Table 1. Several Methods of Leakage Measurement

試験方法	様 式	圧 力	
		内 圧	外 圧
(a) 水中空圧試験		20 kg/cm ²	1 kg/cm ²
(b) 真空流量計法		4 kg/cm ²	10 ⁻⁴ mmHg
(c) 高圧-真空法		20 kg/cm ²	10 ⁻⁴ mmHg

[備考] 図中 □ は耐圧容器、— はパッキング、I は締付ボルト、矢印は漏洩の方向

(2) 耐 圧 性

前節に述べたよう耐匍匐性のためには鉛層の厚さは 35μ を上限とし、それ以下ならば薄い程よいが、鉛層が薄くなるに従い、耐圧性が低下することが考えられる。そこで鉛被覆を施した銅板をパッキングとして用いた場合の鉛層の厚さと耐圧性の関係を調べた。

(A) 漏 洩 試 験 法

ガスの漏洩試験には第 1 表に掲げる 3 種の方法を採用した。同表に示したようにこれら 3 種の方法はどれも条件が異なるが、これを同一規準の上に立つて比較するために、漏洩通路の固有抵抗 r なる量を仮定してこれを比較することとした。

今、耐圧容器の内外圧の差を Δp kg/cm²、単位時間に漏洩するガスの体積を v c.c./sec とすると

$$\Delta p = rv$$

なる関係が成立するものとする。ここに r はその通路固有の抵抗で [sec]/[c.c.] at 1 kg/cm² なる単位をもつ。この場合漏洩量 v は極めて小さく、従つて Δp は漏洩測定の前後に於て不変で、流れは層流であり、膨脹による温度変化は無視できるものとする。又 v は漏洩通路中の位置如何によつて変化するから 1 kg/cm² の圧力の許に於ける体積とする。

上記の規準に立つて、各試験法で検出し得る最大の r を求めると次の通りになる。

(a) 水中空圧試験

この場合、空気の水への溶解或は容器への吸着等を見捨て直径 2 mm の気泡が毎分 n 箇出るとし、内圧を 20 kg/cm²、外圧を約 1 kg/cm² とすれば

$$v = n \times \frac{4}{3} \pi a^3 / \text{min at } 2 \text{ kg/cm}^2$$

(但し a は気泡の半径)

$$= 0.7 n \times 10^{-4} \text{ c.c./sec at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta p = 19 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore r = 2.7/n \times 10^5 \text{ sec/c.c. at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

(b) 真空流量計法

この場合は外圧 4 kg/cm² とすれば内圧は 10⁻⁴ mm Hg であり、他の二つの場合とは圧のかゝり方で逆であるからボルトの締付けに際してはこの点を考慮しなければならない。 $\Delta p = 4 \text{ kg/cm}^2$ であり、 v は流量計の読みで、 $m \times 10^{-5} \text{ mmHg l/sec}$ であるから

$$r = \frac{4 \text{ kg/cm}^2}{m \times 10^{-5} \text{ mmHg l/sec}}$$

$$= 3.0/m \times 10^6 \text{ sec/c.c. at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

(c) 高圧-真空法

これは真空容器内の圧力が $p_a \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ になつたときに真空容器に収めてある容器に 20 kg/cm² をかけ、定時間 (100 min) 後の真空圧 $p_b \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ を測定して漏洩量を求める方法である。

$$v = \frac{(p_b - p_a) \times 10^{-3} \times (\text{真空容器の容積})}{100 \text{ min}}$$

$$= \frac{(p_b - p_a) \times 10^{-3} \times (18 \times 10^3)}{6 \times 10^3} \text{ mmHg c.c./sec}$$

$$\Delta p = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\therefore r = 5.06 / (p_b - p_a) \times 10^6 \text{ sec/c.c. at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

所でパッキングの許容漏洩量は 10 gr/5 years である。ガスはフロンとし許容漏洩量を算出すると

$$v = 10 \text{ gr/5 years}$$

$$= 4.45 \times 10^{-6} \text{ c.c./sec}$$

$$\Delta p = 14 \text{ kg/cm}^2$$

これよりパッキング部のもつべき固有抵抗は

$$r > 3.15 \times 10^6 \text{ sec/c.c. at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

第 2 表 漏 洩 に 関 す る 実 験 値
Table 2. Data of Leakage Measurement

耐 圧 容 器 内 の 圧 力 メ ッ キ の 厚 さ	真 空 圧 の 変 化 10 ⁻³ mmHg/100 min.	
	1 kg/cm ²	20 kg/cm ²
34 μ	0.45	0.33
	0.47	0.57
	0.28	0.56
	0.57	0.23
7 μ	0.66	1.33
	0.23	0.30
	0.03	0.47
	0.01	0.50

第 3 表 有 意 差 の 検 定
Table 3. Test of Significant Difference

変 動	有 意 差
S _T	—
S _P	**
S _{P×T}	**

備考 ** は 1% の 危 険 率 で 有 意 差 が あ る 場 合

これを上記3種の方法で検出するためには水中空圧試験では約12分に1箇の泡が出ればよいことになり、流量計法では計器の目盛が約0.2動けばよいことになるが、これは目測によらねばならない。所が高圧—真空法によれば、圧力差(p_b-p_a)が1.6×10⁻³mmHg/100minになれば所要の抵抗値を検出したことになるが、本法では0.2×10⁻³mmHgの変化まで読みとることができるからこの方法が感度が最も高く、10⁷sec/c.c. at 1kg/cm²の抵抗まで検出し得ることになる。事実数10回の水中空圧試験は勿論、3回の流量計法によつても全く発見されなかつた漏洩が高圧—真空法によつて発見されたので、この方法を採用した。

(B) 高圧—真空法による漏洩の測定

装置は第1表に示した原理によるものである。パッキングの厚さ0.2mmの銅板に種々の厚さの鉛電鍍を施したものをを用い、これを実際と同じ仕上げを行つたフランジ面をもつ耐圧容器に挿み、径8mmのボルト4本を用いて、400kg-cmの締付けモーメントで締付けて容器内に20kg/cm²の圧力を加え、周囲を真空にして100min. 放置し、その間の真空度の変化を測定した。その前に耐圧容器内の圧力を1kg/cm²にしたときの100min. 間に於ける真空度の変化を測定し、これをブラン

ク・テストとした。これらの実験値を示せば第2表の通りである。

今、耐圧容器にかゝる圧力を要因P、鉛層の厚さを要因Tとして二元配置の繰返しのある場合としてP、Tの水準を変化させた場合の有意差を検定すれば、第3表の通りになる。

又鉛層の厚さが34μの場合にはPの2水準の平均値には有意差が認められず、7μの場合には漏洩が存在する。しからば7μの場合どの位漏洩しているかをPの2水準の間の差から求めると、1%の危険率で0.28~0.53×10⁻³mmHg/100minの範囲であることが知られる。これより漏洩通路の固有抵抗を求めると

$$r = 0.96 \sim 1.8 \times 10^7 \text{ sec/c.c. at } 1 \text{ kg/cm}^2$$

となる。これと所要値とを比較すれば要求値の3~6倍の桁となり、耐圧性は7μの厚さのものでも十分であることがわかる。従つて耐久性の点から云えば実際に必要とされる5箇年に対して10数箇年となる。

[IV] 結 言

以上の実験によつて得た結論を要約すれば次の通りである。

(1) フランジ・パッキングの機械的性質は締付けボルトによる圧力とフランジ面の仕上げ度によつて規制せられ、本研究のパッキングに於ては、締付け圧力は約2kg/mm²、フランジ面の凸凹は2~5μである。

(2) 締付けボルトに生ずる引張応力を実測するとこれは計算値より少々低く、従つてボルトに関係する摩擦係数は一般に使用されている値0.15よりも大きい。

(3) 高熱部に用いられるパッキングでは匍匐に就いて考慮することが肝要であり、このため本研究では鉛被覆銅板をパッキングとして選んだ。

(4) 鉛被覆銅板の鉛層の厚さは耐匍匐性からは35μ以下がよく、耐圧性からは7μ以上であることが必要である。従つて鉛層の厚さは7~35μに選ぶべきである。

(5) パッキング部の漏洩を測定する方法としては高圧—真空法が最も鋭敏である。

(6) 上記のパッキングを用いた場合の漏洩に対する抵抗は所要の漏洩抵抗値より3~6倍高く、従つて10年以上の保証が得られる。

このようにして得られたパッキングに就いて実験計画法に基いて実用試験を行つたところ、200時間の運転の後従来の鉛—錫乃至鉛—アンチモニー合金はボルトを約30度増し締めする必要があつたのに対して、この鉛被覆銅板のパッキングを用いた場合には全くボルトは緩まなかつた。又製品に使用した結果も現在まで無事故である。

以上の報告を終えるに当り、終始御指導を賜った鳥山前所長、湯本、南波両主任研究員、御援助下さった栃木工場吉田課長、松清、市川係長、実験に種々御助力を頂いた所内の高田主任研究員、井上、光石、島田、前田、

近藤、西谷の諸氏に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 大曾根武文： 機械工学講座「ねぢ」65 (1942)



実用新案 第 392268 号

緑 川 勝 弥

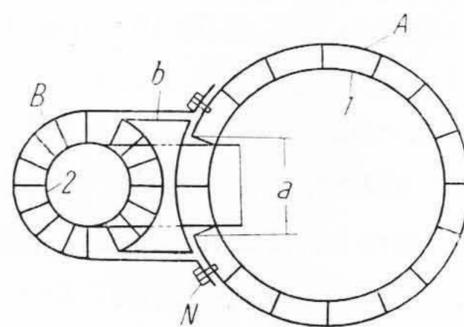
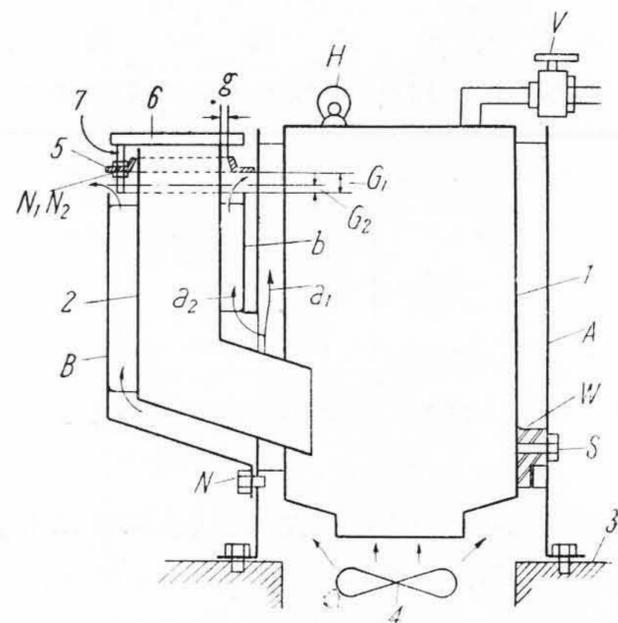
風 冷 式 単 極 整 流 器

単極整流器はこれを風冷式となすことによつてその効用は一層拡充されるものである。本案は単極整流器でも図のように陽極腕 2 が凝縮筒 1 の外側方に突き出した形式のものに対する改良構造であつて、凝縮筒 1 と陽極腕 2 とを一箇の冷却扇 4 により冷却するに当り両者の冷却の割合を任意に調節し得るとともに、風洞 A と B から 1 と 2 の一体を容易に引き抜き又挿入組立てるに極めて便利な効果のあるものである。図に見るように風洞 A は基台 3 上に立ちこれに対して風洞 B をネジ N によつて固定するが A には腕 2 の付け根部分を自由に通過さすに足る縦溝 a を設ける。塞板 b は A と同心円の周面及び同心と B 円の周面を有し 2 の冷却ヒレに固定され、その A と同心円の周面によつて通常時は A に設けた縦溝 a を塞いでいる。

筒 1 と洞 A とは締付座 W 及び締付ボルト S によつて結着される。V は排気弁、H は吊りボルトを示す。

この構造（この構造に就いては別に実用新案第 392269 号がある）によれば、通常運転中冷却部扇 4 から吹き上げる風は一応筒 1 の外周に沿つて流れ腕 2 の付け根部分では塞板 b の存在により風は矢印 a_1 及び a_2 の如く分岐し a_1 は筒 1 に沿い又 a_2 は腕 2 に沿つて上昇し、それぞれ風冷作用を営むもので、点検その他の必要に応じて 1 と 2 の一体を風洞 A, B から分離せんとするときはボルト S を外して H により筒 1 を引き上げるだけで 2 は何物の妨害を受けずに 1 とともに簡単に引き抜くことができ、従つて又風洞 A, B 内に納める場合にも極めて容易である。

本案に於てはこれに更に風洞 B の出口に可調整蓋板 5 を設けたもので、それは即ち陽極頭部金具 6 の下に向けてスタッドボルト 7 を樹てナット N_1, N_2 によつて板 5 の上下位置を調整し且定保するようにしたものである。この附加構造により冷却空気の出口たる空隙 G_1, G_2 は



簡単に変え得るし又環状空隙 g も G_1, G_2 に対して任意に選び得るから冷却風 a_1 に対する a_2 の割合を広範且細密に調節でき、これによつて四季周囲温度の変化、又は整流器運転状態に応じて冷却作用を適正ならしめ得る実益がある。

尙、本号考案構造の基礎となつたものに、実用新案第 392267 号があり、又風洞 B 自身の一部挿脱可分離構造として陽極腕の冷却効果を加減するもの（実用新案第 392270 号）及び風洞 B 自身の一部を開閉扉式構造とし必要に応じて開閉度を変えられるようにしたもの（実用新案第 392271 号）等がある。 (宮崎)