コンフラットシール

コンフラットフランジとホイラーフランジ

内 山 正 裕*・花 房 孝*

(昭和45年3月17日受理)

ConFlat** Seal

ConFlat flanges and Wheeler flanges

Masahiao UCHIYAMA and Takashi HANABUSA

(Nippon Electric Varian Co. Ltd., Yotsuya, Fuchu-shi, Tokyo)

(Received Mar. 17, 1970)

1. まえがき

メタルシールはおもに超高真空用として、多くの方法がこころみられ実用化されてきた¹⁾²⁾³⁾⁶⁾。その代表的なものは、ステップシール、ワイヤシール、コインシール、コンフラットシール等がある。これらは系統的にあるいは実用と云う立場から比較検討され、現在ではコンフラットシールが最も信頼性が高いとされている。最近ではこれを国際的に共通規格化し、真空用部品の互換性をはかるとうとする動きがでていくくらいである。ここではコンフラットシールの代表的なものである、コンフラットフランジ、ホイラーフランジ、およびコンフラットシールを用いた若干の真空部品について解説する。

2. コンフラットシール

図1に示すように円錐面 C_n (Conical)でかこまれた部分に平らな (Flat) ガasket (FI) を閉じ込めて (Capturing) 信頼性の高いシールを作るのがこのシールの特徴とするところである。

以下 Wheelerら³⁾⁴⁾が行ったコンフラットシールの評価試験結果および我々が行った評価結果より信頼性をまとめて報告する。

2.1 シール機構

シールの機構を説明すると、図1で円錐形をしたシールエッジがガasketを押しつぶし材料内にコールドフローを生ぜしめる(A)。このコールドフローによりガasket外面がフランジの垂直面に押し付けられて応力(B)が生ずる。そのためシール用の高い面圧(C)が得られる。す

図1 シールの機構

なわちガasketはフランジのシール面と垂直面との間に閉じ込められる。この高い圧力のためシール面やガasket表面の傷が補われ、機械的損傷に強いシールをつくることができる。また高温にて使用中ガasketの軟化が進んでも閉じ込めにより高い圧力が保持され、苛酷なヒートサイクルにも耐えられる。

閉じ込め効果をもつコンフラットシールの特長として

- (1) $-196^{\circ}\text{C} \sim +450^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でリークフリーである。
- (2) 10^{-12} Torr以下の圧力に使用できる。
- (3) 雄、雌なしの完全対称形である。
- (4) ボルトの締め付けトルクは小さい。
- (5) ガasketやフランジに若干の傷があってもリークしない。

等があげられる。

コンフラットシールの材料として通常フランジがsus-27で、ガasketに銅が用いられ、ガス放出は極めて小さい。

2.2 コンフラットシールのシール面圧

面圧の測定⁴⁾は、シールエッジを横切る方向に幅の狭い溝を切り、ガasketを締め付けたとき、ガasket材料が溝の中へくい込む突起の高さより求められた。銅

* 日電バリアン株式会社 (東京都府中市四谷)

** Varian社の商品名

図 2 突起の高さ

のペレットをダイスにはさみ、圧力を加える方の面に溝を切って硬度、加圧力に対する突起の高さを計ることができる。その時の突起の高さを図 2 に示す。図 2 より突起の高さの対数は、加圧力に比例していることがわかる。

次にフランジのシール部に幅 0.25mm 深さ 0.75mm の溝を切り、ガスケットに力を加えるとガスケットが溝に食い込み、突起の高さ状態がわかる。突起の高さおよび状態を図 3 に示す。なお突起の高さをコンフラットシールと比較するため、ステップシール、コインシール、及びワイヤーシールの突起の高さを図 3 に示した。これ

表 1 各種シールと面圧の実測値⁴⁾

	ガスケット硬 度(ブリネル)	突起の高さ (mm)	面 圧 (kg/cm ²)
ステップシール	44	0.11	6900
	58	0.12	7900
	54	0.10	8500
コインシール	48	0.15	9700
コンフラットシ ール	44	0.17	8400
	78	0.15	12800
ワイヤーシール	54	0.13	8700

図 3 シールのガスケット断面(クロスハッチ部は突起の高さ、状態を示す。)

図 4 各種シール法

らのシールの構造を図 4 に示す。

ガスケット材料の硬度および突起の高さから、図 2 を基礎にした各シールの面圧を表 1 に示す。図 3 および表 1

より閉じ込めの効果があるほど突起は高く、高い面圧が生じている。シールエッジのコーンの角度が閉じ込めの効果の増加に寄与していることがわかる。

2.3 面圧減少

銅のような延性のあるガスケット材料が弾性限界を越えて歪む場合には、一種の高粘性体とみなすことができる。即ち、時間の経過とともにガスケットがシール面の凹凸や他の方向にも移動し、そのため面圧力の損失となって初期面圧が減少するものと考えられる。3分間での面圧減少は、もとの面圧に対してワイヤーシールで9.6%、ステップシールで5.8%、コンフラットシールでは3.1%であり、ガスケットが閉じ込められているときには、面圧の損失は著しく小さい。

2.4 面圧と高温加熱

シール部を400~500°Cに加熱すると、ガスケットの鈍化あるいは各部分の内部歪による変形のため、面圧が減少する。しかし高温加熱を行ない冷却後、シール部にリークが発生するのは面圧がかなり低下しているだけとは云えない。コンフラットシールの場合、ブリネル硬度80,46のガスケットでもとの面圧に比して75%も面圧をさげなければリークは生じないのに反して、ステップシールの場合には、ブリネル硬度65で60%、48~41で47%の面圧を下げるとリークが生じる。これからもコンフラットシールは高温加熱に十分耐え得ることがわかる。

2.5 シール回数

同一コンフラットシールを繰り返し何回使用しても問題はないように思われる。5~6回のシールでフランジに若干の変形が見られるがシール能力は失なわれることはない。60~80回の使用ではシール能力の減少はなにも見られない⁴⁾。仕上り寸法が完全に部品が清浄に保持されていると、小さい圧力で十分シールすることができる。同一ガスケットを用いて引続き何回も使用してシールする時には前回の圧力よりその度にわずかに増加させるとよい。コンフラットシールのガスケットは上述のように使用すると、22回程度シールすることが可能であるが、ベークアウト等を考え実用的には3回位で止めた方が安全である。

2.6 コンフラットシールの締め付け圧力(トルク)

コンフラットシールの締め付け圧力をガスケットの単位長さ当りの値に換算して表2にまとめ、この値と比較のためにステップシールの値を示す。70・コンフラットシールの締め付け圧力は締め付けボルトに減磨剤(例えば、二硫化モリブデンペースト剤)を使用すれば80kg-cmである。この程度でシールするのに必要な面圧が十分に得られ、高温でのシールに対して信頼性は極めて高い。

表2 締め付けトルク

シールの種類	標準圧力 (kg/cm ²)	最小圧力 (kg/cm ²)	最大圧力 (kg/cm ²)	着脱回数
コンフラット	360	168	500	22
ステップ	375	188	375	5~7

図5 ヒートサイクル

図6 コンフラットフランジの接続法の1例

2.7 コンフラットシールの連続加熱

超高真空と高温加熱は不可分であるから、そこに使われるフランジシールは加熱、冷却に対する性能、信頼性が十分評価されていなければならない。評価としては、ヒートサイクルおよび連続加熱があり、図5はヒートサイクルのパターンで、同一ガスケットを用い、かつ追い締めをしないで400°Cにて30分間保持したあと100°Cに温度を下げる。それから400°Cに温度を上げるという過程を60回以上くり返した。ヒートサイクルの結果、リーク量は 2×10^{-14} Torr・l/sec以下であることを確認している。ここで用いたフランジは、外径70mmのもので(30組)締め付けトルクは80~150kg-cmである。

同様に外径70mmコンフラットシール30組を用い450°Cにて連続150時間加熱を行なった結果、リークは $2 \times$

表 3 コンフラットフランジ規格

フランジ名称	A	B	C	E	G	n	H
70φ コンフラットフランジ	70	0~41	11	58.7	35	6	6.7
114φ " "	114	0~60	17.5	92.2	63	8	8.4
152φ " "	152	0~120	20	130.3	101	16	8.4
203φ " "	203	0~160	22	181.1	152	20	8.4
253φ " "	253	0~203	25	231.9	212	24	8.4

単位: mm

図 7 各種コンフラットフランジ

図 8 溶接方法

10⁻¹¹Torr・l/sec 以下である。このときの締め付けトルクは 80~120kg-cmである。

3. コンフラットフランジ

3.1 コンフラットフランジの構造と種類

現在、フランジ外径が 70mm~253mm の 5 種類が市販されており、フランジに合わせて最大 203mm のパイプが接続できる。また固定型と回転型とがあり、これらを適当に組み合わせることにより装置の組立が容易になる。図 6 にコンフラットフランジの接続の状態を示し、各部の寸法を表 3* に示す。外観を図 7 に示した。

3.2 コンフラットフランジの溶接について

コンフラットフランジでは、接続管を溶接することにより生ずる歪の影響は、シール能力に何ら作用しない。したがって、溶接後の二次加工の必要がなく、装置組立

また各種機構へのフランジ溶接が容易であるばかりでなく工数の低減に寄与し生産性がよい。コンフラットフランジへの溶接方法は図 8 に示した構造がよい。また矢印 E は望ましい溶接電極の向きを示す。

3.2 用途

これらのコンフラットフランジは多方面に応用されている。たとえば、電子管排気装置、質量分析装置、蒸着装置、スパッタ装置、冶金装置、宇宙環境装置や物理実験装置がある。

4. ホイラーフランジ

ここでは、ワイヤーシールを用い、閉じ込め機構を採用したホイラーフランジについてシール機構、特長、特性について説明する。

4.1 シール機構

雌雄フランジの 20°に傾斜した面と雄フランジの垂直面との間にワイヤーガasket が囲まれ、シールはこの傾斜面で行なわれる。図 9 に示すように、ホイラーフランジは構造からみると非対称であるが、シール部に注目するとコンフラットフランジと同様対称形でありクランプ(コンフラットフランジのボルトに相当する)によりフランジを締め付けると、銅ワイヤーガasket はフランジの傾斜面により半径方向に沿って内側に閉じ込められる。フランジの垂直面を強く押し付けるので、コンフラットフランジと同様にガasket の弾性応力がシール面に常に保持される。高温使用において、ガasket が軟化しても、閉じ込め機構によりシール能力が保持される。このホイラーフランジの特長として次の点があげられる。

図 9 ホイラーフランジのシール

* ICF (国際規格化フランジ) である

表 4 500φ ホイラーフランジの加熱試験

No.	クランプ数	温 度	keep 時間
1	20	500°C	60分
2	20	500°C	120分
3	20	500°C	120分
4	20	250°C	300分

図 10 ホイラーフランジのシール

- (1) 10^{-11} Torrまで使用できる。
- (2) -196°C と $+450^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でリークフリーである。
- (3) クランプの使用によりコンフラットフランジの回転型と同じ働きがある。

4.4.1 締め付けトルク

シールに要する締め付けトルクはクランプにより直接与えられるが、正常状態において約 450kg-cm のトルクで締めればリークは発生しない。勿論、ワイヤーガスケットの接合部に凹凸がなく一様であることが必要で、フランジのシール面は清浄に保持されなければならない。また、ガスケット（銅ワイヤー）のシール回数は1回であり、 150°C 以上に加熱しない場合には銅ワイヤーの代りに角溝に所定のバイトンガスケット（角リング）を使用するとよい。

4.1.2 加熱

500mmのホイラーフランジを、締め付けトルク500kg-cmで 500°C 、 250°C で加熱したとき、リークの有無を調べたがリークは発生しなかった。クランプ数、保持時間を表4に示す。なおクランプに減磨剤を塗布することが肝要である。

4.2 構造と種類

ホイラーフランジは、雄型、雌型フランジ、ワイヤーガスケットおよびクランプより構成され、その構造を図10に示す。また寸法規格を表5に示す。

表 5 ホイラーフランジ規格

ホイラーフランジ				ガスケット		
A	B	C	クランプ数	種類	内 径	線 径
300	350	390	18	無酸素銅	343.2	2.3φ
300	350	390		バイトン	296	6□
400	450	490	24	無酸素銅	443.2	2.3φ
400	450	490		バイトン	396	6□

単位：mm

図11 応 用 例

図12 ミニコンフラットフランジ

4.3 溶接

ホイラーフランジは、大口径の配管の接続に使われ、最大径 1600mmまで可能である。普通ホイラーフランジに短管を溶接しておき、この短管に所定のパイプを熔接する。このため溶接によるシール部への影響がなくなる。

4.4 用途

ホイラーフランジの用途は、大型のペーカブル装置、スペースチェンバー、メタルベルジャー製装置、真空冶金装置、荷電粒子加速器がある。また、ホイラーフランジの使い方として、内部構造あるいは機能を予備実験するには角リングガスケットを用いて、簡単にシールすることもできる（図10の角リングガスケット溝を利用する）。

5. その他の応用

今まで述べてきたコンフラットフランジのシール機構すなわち閉じ込め機構は、その応用が広く、超高真空用部品に利用されている。たとえばペーカブルメタルバルブ⁴⁾、コンプレッションポート⁴⁾、E型電子銃用水導入機等のシールが挙げられる。それらの構造を図11に示す。またコンフラットフランジを小形にしたミニコンフラットフランジ（図12）もその一例である。この外径は34mmであるから70mmのコンフラットフランジポート（内径35~38mm）を貫通できるので、超高真空内外部の液化ガスや冷却水配管あるいは小型装置あるいはガス導入系に用いられる。

6. むすび

現在、コンフラットシールを利用したコンフラットフランジ⁵⁾とホイラーフランジがあり、従来、コンフラットフランジ*の規格はmmサイズを採用していたため、国際性に乏しかったが、まえがきに述べたごとく、コンフラットフランジが国際的に共通規格化されつつある現状に鑑み、米国と同一規格に統一されようとしている。これにより米国超高真空機器、部品との互換性が確実にとなり、国際性が増すものと信ずる。

〔文献〕

- (1) Lange and Alpert, Rev. Sci. Instr. 28 726(1957)
- (2) D.J. Goertz Jr., Trans. 7th Nat. Vac. Symp 1960, p. 16
- (3) W.R. Wheeler and M. Carlson, Trans. 8th Nat. Vac. Symp. 1961, p. 1309
- (4) W.R. Wheeler, Trans. 10th Nat. Vac. Symp 1963, p. 159
- (5) 日本特許 第43357号

* 日電バリアン（株）が特許実施権を有している