アルミ合金成形ベローズの特性*

石丸 肇**・杉崎憲三郎***

(昭和57年1月18日 受理)

On the Characteristics of Hydraulic Forming Bellows
for Aluminium Alloy

Hajime ISHIMARU

(National Laboratory for High Energy Physics)

and Kenzaburō SUGISAKI

(Fuji Bellows Co., Ltd)

(Received Januray 18, 1982)

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所のトリスタン計画ではアルミニウム合金からなるビームダクトが使用されるが、超高真空系へのアルミ合金の適用は諸々の問題を解決する必要があり、ダクト関係の熱収縮用として使用されるベローズも検討課題の1つである。従来の真空配管系に限らず一般圧力配管系に使用されるベローズ材料は、高温配管系にはニッケル基合金ベローズの適用はあるものの主力はオーステナイト系ステンレス鋼ベローズであった。特に超高真空へのアルミ合金ベローズの適用は、アルミ合金の超高真空系への適用研究成果¹⁾の結果から検討されたものである。ここで報告するベローズは、素材として、アルミ合金板よりプレスによる深絞りと冷間圧延によって出来た薄肉シームレス素管を用い、液圧成形したベローズの特性である。

2. ベローズの製作

2.1 材料の検討

ベローズ材料は加工性の問題と共に接合性の問題、更には超高真空での放出ガスの問題等すべての要因を材料で検討されなければならない。これまでのアルミ合金ベローズの製作実績面での検討では JIS H 4000 に示さ

れる純アルミ系 (A 1050), Al-Mg 系 (A 5052), Al-Mg-Si 系 (A 6061) 等が適用候補として上げられる。成形ベローズの特性として A 1050, A 5052 の耐久性の検討結果等を報告する。トリスタン計画の中で電子・陽電子の蓄積リング用のベローズ材料は A 5052 の適用で進められているが、配管系材料が A 6063 であるところからベローズ材料も A 5052 に限らず、今後の検討として A 6061 等の適用検討も必要である。

2.2 ベローズ素管の製作方法

ベローズ用素管の製作方法には幾種かの方法があり特に薄肉ベローズ素管の製作として、その1つには長手方向溶接による素管であり、2つには前述の様に冷間圧延されたシームレスの素管、3つにはアルミチップを用いて衝撃押し出し方法による素管、その他厚肉パイプを用いての機械加工又は化学研磨により薄肉化する方法等がある。それぞれの方法の製作を試みた結果短所長所がある。通常のベローズ形状は Fig. 1 に示すような円形ベローズであるが、高エネルギー物理学研究所でのトリスタン計画の電子・陽電子蓄積リングの配管系には Fig. 2 に示すようなレーストラックベローズを使用する。このベローズの両端末は、配管系への接続を容易にするために配管肉厚と同一に仕上げられている。その他の形状として円形ベローズでも比較的ピッチを小さくして製作したベローズ Fig. 3 (断面波部形状が V 形状に近いところから“V”ベローズと称す) も検討した。

* 昭和56年11月7日 第22回真空に関する連合講演会で講演 (7Aa-1)

** 高エネルギー物理学研究所 (茨城県筑波郡大穂町)

*** 富士精工(株) (神奈川県大和市)

Fig. 1 Aluminium Seamless Bellows.

Fig. 2 Race Track Type Bellows.

Fig. 3 "V" Bellows.

3. 試験結果

3.1 ベローズの耐久性

真空中耐えかつベーキング等の熱履歴及び配管系の伸縮吸収を受けるベローズの耐久性の検討を行った。成形ベローズのうちシームレスベローズとして Fig. 1 及び Fig. 2 に示す形状品のものにおいては A5052 ベローズを耐久試験に供した耐久試験機は常温試験においては変速モータを用いた偏心カム方式で伸縮させ、温度 (150°C) 試験においては油圧シリンダを用いて伸縮させた。試験の条件は Table 1 に示した。

これらの試験の評価として、ベローズ製作方法等を EJMA²⁾ によりベローズ応力計算式に代入し、計算され

た膜応力及び曲げ応力の和と実測耐久データを対比させ Fig. 4 に示した。一方 Fig. 3 に示したピッチの小さい断面波部形状が "V" 形状の "V" ベローズにあっては、A1050 及び A5052 ベローズを用いて Table 2 に示す条件にて試験を行い、製作寸法等を J.B. Steren's の式³⁾ に代入し計算応力と実測耐久データとを対比させ Fig. 5 に示した。

3.2 ベローズの接合性

ベローズの両端をフランジ又はパイプ等に接合する方法としては通常溶接による方法で行われる。ベローズの大きさにもよるが肉厚は 0.5 mm 以下で製作される場合が多く、金具との接合も容易ではない。金具材質がベローズ材質と異なる場合には特に溶接接合部の形状に留意

Table 1 A5052 Bellow Life Test Conditions.

Bellows Dimension [mm]					Working pressure [kg/cm ²]	Deflect. [mm]	Temp. [°C]	Speed [C/min]	Total stress [Kg/mm ²]
O.D.	I.D.	T	C	L					
150	130	0.45	7	55	(Outer) 0.8	10 (3, -7)	R.T	30	49
"	"	"	"	"	"	10 (5, -5)	"	"	"
"	"	"	"	"	"	19 (9.5, -9.5)	"	"	92
"	"	"	"	"	"	8 (4, -4)	"	"	39
"	"	"	"	"	"	4 (2, -2)	"	"	20
150	130	0.45	7	55	(Outer) 0.8	6 (3, -3)	R.T	30	30
106×90	64×48	0.4	10	48	(Inner) -0.8	9.6 (4.8, -4.8)	R.T	30	32
"	"	"	"	"	"	"	150	"	33
"	"	"	"	61	"	12.2 (6.1, -6.1)	R.T	"	41
106×90	64×48	0.4	10	61	(Inner) -0.8	10.8 (5.4, -5.4)	80	30	36

Bellows Dimension: O.D.=Outer Diameter, I.D.=Inner Diameter, T=Wall Thickness C=Corrugation, L=Effective Length.

Deflection: L±Deflection

Temp.: Bellows Temperature

Speed=Deflection Speed [Cycle/minute]

Table 2 A1050, A5052 "V" Bellows Life Test Conditions.

Bellows Dimension [mm]					Working pressure [kg/cm ²]	Deflect. [mm]	Temp. [°C]	Speed [C/min]	Total stress [Kg/mm ²]
O.D.	I.D.	T	C	L					
(A1050)									
40	31	0.23	16	19.5	(Inner) 1.0	20	R.T	95	151
"	"	"	"	14	"	"	"	"	"
"	"	"	"	19.5	"	15	"	"	114
"	"	"	"	14	"	"	"	"	"
"	"	"	"	19.5	"	10	"	"	77
"	"	"	"	14	"	"	"	"	"
"	"	"	"	19.5	"	7	"	"	54
"	"	"	"	14	"	"	"	"	"
"	"	"	"	19.5	"	5	"	"	39
40	31	0.23	16	14	(Inner) 1.0	5	R.T	95	39
(A5052)									
55.5	43.5	0.2	16	36	(Inner) 1.0	20	R.T	95	79
"	"	"	"	"	"	15	"	"	61
"	"	"	"	"	"	10	"	"	42
55.5	43.5	0.2	16	36	(Inner) 1.0	25	R.T	95	98

Fig. 4 A5052 Bellows Fatigue Curve.

Fig. 5 A1050, A5052 "V" Bellows Fatigue Curve.

Fig. 6 Bellows End-Fitting.

Fig. 7 Bellows End-Fitting.

する必要がある。ステンレス鋼ベローズのタングステン・イナートガス・アーク溶接 (TIG 溶接) に用いる溶接接合部形状 (Fig. 6) と同様の薄肉アルミベローズの TIG 溶接においては、溶接溶込み不足となりやすく、そのための対策として Fig. 7 に示すようなベローズの両端末を厚肉化して製作したベローズを用いることで溶接性も良化される。ベローズ等の薄肉アルミ溶接の検討は、溶接接合部形状の検討と共に素材成分の検討、更には溶接前の表面処理方法により左右される。電子ビーム溶接による実験結果においても薄肉アルミの接合は上述の内容を充分検討したものでなければ信頼性に欠けることがわかった。

3.3 その他の特性

ベローズよりの真空への放出ガスについては高エネルギー物理学研究所で測定した結果特に問題ないことが確認された。アルミ合金の超高真空への適用に当ってはステンレスと鋼同様に清浄度の確保が必要である。ベローズは配管系に接合されたときに配管との形状的相異により電気的特性も変化するところからインピーダンス特性が問題となるが、ベローズの波部形状を検討することである程度対応することが出来る。これまでの測定では多少問題を残す事が考えられるものの、実際的に問題を残

すか否かはビームを通してみる必要がある。

4. 今後の検討課題

アルミ合金ベローズの超高真空系への適用は新しい分野への適用であるだけに早期に信頼性確立のための幾多の研究と検討を必要としている。特に超高真空材料の検討と素材製作方法、放出ガス、表面処理、接合性等それぞれの項目は現段階では各々のメーカーでノウハウとされている面も多いだけに、アルミ素材メーカーとの一体となった協力のもとで、部品メーカーの加工技術を加えた研究成果に期待したい。

〔文 献〕

- 1) 石丸 肇, 今野 収: 核理研研究報告 **14-1** (1981) 113.
石丸 肇: 日本金属学会会報 **18-12** (1979) 837.
石丸 肇, 成島勝也, 中西 弘, 堀越源一: トリスタン真空系についての検討 1981. KEK 81-2 p. 70.
- 2) EJMA: Standard of The Expansion Manufacturers Association, Inc.
- 3) J. B. Steven's: Machine Design-The Seal Book. January **19** (1961) p. 44.