

超流動ヘリウム中における超伝導空洞用フランジ部のシール法

達本 衡輝^{1,A)}、斎藤 健治^{B)}、井上 均^{C)}、小林 芳治^{C)}

A) 日本原子力研究所 大強度陽子加速器施設開発センター

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

B) 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

C) 高エネルギー加速器研究機構 工作センター

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

概要

2K以下の超流動ヘリウム中で運転される超伝導加速空洞の真空シール方法として、我々は、これまでに純アルミニウムワイヤによる可能性について試験を行ってきた。^{[1][2]}今回は、フランジ材、ボルト材、シール材の組み合わせを種々に変化させて77Kの液体窒素、および、2K以下の超流動ヘリウム中におけるリーク試験を行い、従来用いられてきたインジウムシールとの結果を比較することによってアルミニウムシールの信頼性を評価した。

1. はじめに

超伝導加速空洞用のシール材として現在はインジウムが一般的に使用されている。インジウムは真空シールとしての高い信頼性をもつが、非常に軟らかく自律性がないために空洞の組立・取り外しの際に空洞内を汚染し、空洞性能劣化を引き起こす可能性がある。我々は、容易に取り付け、取り外し可能なアルミニウムワイヤを超伝導空洞用フランジのシール材として検討しているが、超流動ヘリウム中で運転される超伝導空洞においてはアルミニウムワイヤのスーパーリークに対する信頼性を確立することが必要である。そこで、本研究においては、まず、フランジ材、ボルト材、シール材を種々に組み合わせた場合について液体窒素温度(77K)でのリーク試験

を行った。そして、77Kにおいてリークタイトであった組み合わせのみ飽和超流動ヘリウム(2K以下)中でリーク試験を行った。

2. 77Kにおけるリーク試験

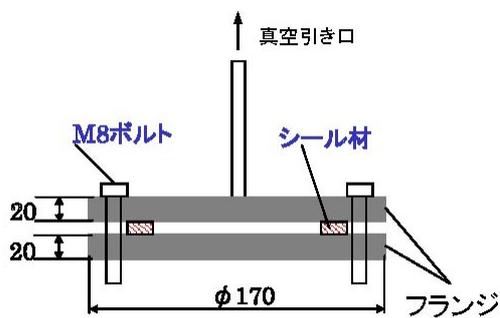
2.1 試験方法

表1に本リーク試験で用いたフランジ材、ボルト材、シール材の種類と形状を示す。シール材は、In、Al、Cuを用いた。Al(1050)、Cu(無酸素銅)においては、ワイヤーカットによって切り出した後、微量化学研磨を施すことによって表面の酸化膜層を除去した。ボルトは、SUSとAlのM8ボルトを用いた。フランジ材には、SUSとTiを用いた。図1に本試験で用いた2種類のフランジの概要図を示す。(a)はflat-flatフランジの場合(A~H)を(b)は割フランジの場合(I~K)を図示している。flat-flatフランジの場合においては上部フランジには、ねじ切りはなく、底部フランジのみねじ切りがある。この場合に用いたメタルシールの内径は、136mmであり、厚さは1mmである。しかし、フランジに溝きりがある場合(E~H)においては、厚さが1.2mmと1.5mmのシールを用いた。一方、割フランジの場合においては、図1(b)に示すようにフランジ部にはすべてねじ切りは

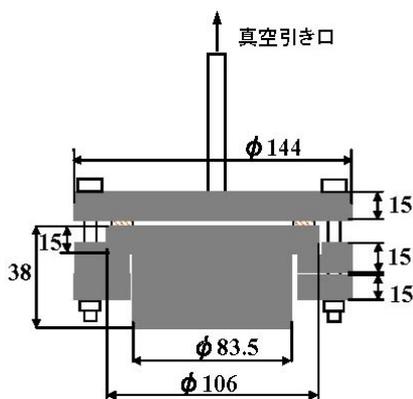
表1リーク試験でもちいたフランジ材、ボルト材、シール材の組み合わせ

	フランジ			Bolt 材質	Seal			備考
	材質	表面	アニール		材質	アニール	厚さ	
A	SUS	フラット	○	SUS	In	×	----	
B	SUS	フラット	○	SUS	Al	×	1 mm	
C	SUS	フラット	○	Al	In	×	1 mm	
D	SUS	フラット	○	Al	Al	×	1 mm	
E	SUS	0.6mm 溝きり	○	Al	Al	○	1.5 mm	シールのアニールは真空中500°C1時間
F	SUS	0.6mm 溝きり	○	SUS	Cu	○	1.2 mm	シールのアニールは真空中500°C1時間
G	SUS	0.6mm 溝きり	○	Al	Cu	○	1.2 mm	シールのアニールは真空中500°C1時間
H	Ti	0.6mm 溝きり	○	Al	Al	○	1.2 mm	シールのアニールは真空中500°C1時間
I	Ti, SUS	フラット	○	Al	Al	×	1 mm	Top、割フランジはSUS,その他はTi
J	Ti, SUS	フラット	○	SUS	Al	×	1 mm	Top、割フランジはSUS,その他はTi
K	Ti	フラット	○	Al	Al	×	1 mm	

¹ E-mail: tatumoto@cens.tokai.jaeri.go.jp



(a)フラット - フラットフランジ



(b)割フランジ

図1 フランジの概要図

なく、ボルトはナットで締め付ける構造になっている。この場合に用いたメタルシールの内径は、85mmであり、厚さは1mmである。全ての場合においてボルトはトルクレンチの表示値150 kgf cmで締め付けた。Aの組み合わせは、従来低温におけるシール方法として一般的に用いられているInシール、SUSボルトの組み合わせを表している。

77K-400K間の熱サイクル下におけるリーク試験を表1に示す組み合わせで行った。リーク試験は、常温で測定したのち、120 でベーキング(一時間保持)を行い、常温まで空冷したのち、液体窒素によって77Kまで冷却した。その後、120 雰囲気

乾燥機内に放置することによって常温まで昇温した。リーク試験は、393K, 300K, 77Kの状態ではヘリウムリークディテクターを用いて行った。これを1サイクルとし、最大5サイクルまでヒートサイクルを繰り返してリーク試験を行った。

2.2 試験結果

表2に77Kにおける試験結果を示す。従来使用されているボルト材(SUS)とシール材(In)の場合(A)、および、Alボルトを用いた場合(C)では、リークタイトであった。ボルトとシールの材質が異なる場合(B,E,H)では、77Kにおいてリークが発生した。Alをシール材として使用した場合、ボルトも同じ材料のAlを用いるとリークタイトであった(D,E,H,J,K)。通常Cuガスケットの締め付けには、SUSボルトが使用されている(F)。この場合、3サイクル目で77Kに冷却したときにリークが発生した。各材料の熱膨張係数(T)の種々の温度範囲における積分値を表3に示す。SUS(ボルト材)とCu(シール材)の熱膨張係数は、常温から400Kの範囲においては非常に似通っているが、常温から液体窒素温度領域においては、Cuの方がSUSに比べて熱膨張係数が大きいので、シールとフランジ間に僅かな隙間が生じたと考えられる。しかし、SUSボルトの代わりに、シール材(Cu)より、熱膨張係数の大きいAlボルトを使った場合(G)では、リークタイトであった。低温部においては、この組み合わせにおいては締め付ける方向に力が働くためであると思われる。常温から400Kの範囲においてAlの熱膨張係数はCuのそれと比べて約1.4倍大きい。フランジ自体の自重によってボルトの伸びは制約されるので400Kのベーキング後もリークタイトであったと思われる。

Tiは、一般に表面の酸化膜が問題とされているが、今回の結果においては、アニールのみを行っただけで特別な表面処理を行って表面酸化膜層を管理してはいないが、Alシール、Alボルトの組み合わせにおいては溝きりフランジでも割フランジの場合においてもリークタイトであった。Tiの表面酸化膜層の影響はこの実験結果からはほとんど影響がないように

表2 リーク試験結果(77K-400K間のヒートサイクル)

Type	フランジ	ボルト	シール	フランジ表面	1st	2nd	3rd	4th	5th	備考
A	SUS	SUS	In	フラット	○	○	○	○	○	
B	SUS	SUS	Al	フラット	○	○	○	×		77 Kでリーク
C	SUS	Al	In	フラット	○	○	○	○	○	
D	SUS	Al	Al	フラット	○	○	○	○	○	
E	SUS	Al	Al	0.6mm 溝きり	○	○	○	○	○	
F	SUS	SUS	Cu	0.6mm 溝きり	○	○	×			77 Kでリーク
G	SUS	Al	Cu	0.6mm 溝きり	○	○	○	○	○	
H	Ti	Al	Al	0.6mm 溝きり	○	○	○	○	○	
I	Ti, SUS	SUS	Al	フラット	○	○	○	×		77 Kでリーク
J	Ti, SUS	Al	Al	フラット	○	○	○	○	○	
K	Ti	Al	Al	フラット	○	○	○	○	○	

	300K-77K	300K-400K	300K-2K
Al	4.10	2.40	4.31
SUS	2.72	1.53	3.54
Cu	3.09	1.71	3.31
Ti	1.49	0.90	1.56

思われる。

低温で使用する場合、フランジ材の種類には関係なく、ボルト材は、シール材と同種のものか、シール材よりも線膨張係数が大きい材質のものを使用しなければならないことがわかる。

3. 超流動ヘリウム環境下でのリーク試験

3.1 試験方法

77K-400K間のヒートサイクルにおいて5サイクルリークタイトであった組み合わせ(C,D,E,H,K)について超流動ヘリウムによるスーパーリークの影響を調べた。クライオスタットにフランジを取り付けたのち、常温のヘリウム雰囲気中でリーク試験を行った。液体ヘリウムを供給しながら、4.2Kまで冷却し、真空ポンプで液体ヘリウムを真空排気することによって、温度(2.17K)以下の超流動ヘリウム(He II)温度まで冷却した。約2時間He IIの中で封じ切りで放置したのち、77Kまで昇温した後リークテストを行った。

3.2 試験結果

図2にHe IIで2時間放置後の77Kにおけるリーク試験結果の1例を示す。これらのリークディテクターからのリーク量を時間積分し、それらの値を実際にHe IIに保持した時間で除することによって超流動ヘリウム中の単位時間あたりのリーク量(atm cc/s)を算出した。その結果を図3に示す。シール材、ボルト材は同材料のAlを使用した場合は、従来、用いられてきたSUSボルトInシールの組み合わせの

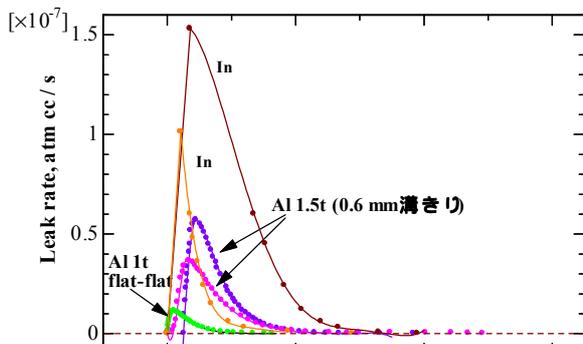


図2 リーク試験結果

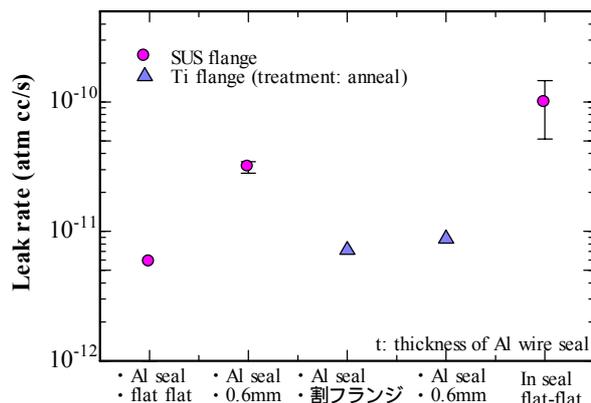


図3 HeII中における単位時間あたりのリーク量

場合よりもリーク量は低くなっている。また、超流動中においてもフランジ材による影響は殆どない。本研究において、Alシールのスーパーリークに対する信頼性を明らかにすることができた。

4. まとめ

本研究ではメタルシールのスーパーリークに対する信頼性を明らかにするために、フランジ材、ボルト材、および、シール材を種々に組み合わせて超流動ヘリウム中でリーク試験を行った。低温リークはフランジ材の種類には殆ど無関係であり、シール材とボルト材の熱膨張率の差が大きく影響することがわかった。Alシールの超流動ヘリウム環境下におけるスーパーリークに対する信頼性を明らかにすることができた。

参考文献

- [1] K.Abe, et al., "Vacuum Sealing Aluminium Wire for Superconducting RF cavities" Proceedings of the 25th Linear Accelerator Meeting in Japan, Himeji, Jul. 12-14, 2000
- [2] H.Ao, et al., "超流動ヘリウム環境でのNb/SUS異材接合およびシール法", Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001