トリスタン電子陽電子衝突リング用 アルミニウム合金管の冷却水に対する耐食性

加藤 豊*・磯山 永三*
久保 富夫**・百瀬 丘**・石丸 肇**

(昭和61年4月11日 受理)

Corrosion Resistance to Cooling Water of Aluminum Alloys
for TRISTAN e^+e^- Colliding Beam Ring

Yutaka KATO*, Eizo ISOYAMA*, Tomio KUBO**
Takashi MOMOSE** and Hajime ISHIMARU**

*(Showa Aluminum Corporation, Sakai, Osaka)

** (Nasional Laboratory for High Energy Physics, Tukuba, Ibaraki)

(Received April 11, 1986)

1. はじめに

トリスタン電子陽電子蓄積およびリングの真空系はすべてアルミニウム合金製である¹⁾。それは基本的には良好な熱伝導性をアルミニウムが持つことによるものである。すなわち本真空系のチャンバ壁には1 kW/m程度のシンクロトロン放射光のパワーが照射され²⁾、しかもそれは数 mm 以内の巾をもって局所的に照射されるのであるが、アルミニウム合金はその良好な熱伝導性のゆえに耐熱性も優れているのである。勿論チャンバはこの様なパワーを除去するため水冷機標を具備することが不可欠である。ところでアルミニウム合金はその種類によって耐食性にかなりの差があることが知られており、その選択には注意が必要である³⁾。トリスタン真空系のチャンバ材としては6063合金押出中空形材が採用されている。6063合金の耐食性は一般的に良好であると示されているが、実際に使用する加速器用脱イオン水に対しての特性や、長時間（加速器としては通常10年以上）に対しての特性等明らかにすべき点が多い。そこで我々は、6063合金の冷却水による耐食性を、チャンバの長さ、水

冷管の径、流量、圧力等実際の運転状態に近く配列して試験した。また実際のパワー入射による水温の上昇を考慮して、ヒーターを設置したものとししないものを作った。さらに耐食性向上を目的として表面処理（ペーマイド処理⁴⁾）を施したチャンバ材についても検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材

実験に供したアルミニウム合金は、6063合金押出中空形材（T6）である。その化学組成をTable 1に示す。またその断面形状をFig. 1に示す。水冷管がチャンバと一体構造になっている。チャンバは1 mに切断して試験に供した。

なお表面処理の効果を検討するため、ペーマイド処理を施した材料も試験した。ペーマイド処理は、前処理としてカセイ洗浄、硝酸デスマットを行った後、0.3%トリエタノールアミンを添加した煮沸脱イオン水中に1時間浸漬することにより行った。この時の皮膜重量は15 mg/dm²（0.6 μm 厚さ）であった。

2.2 耐食性試験

耐食性試験はFig. 2に示す配置で行った。ヒーターなしの場合、試験期間2年2カ月間（脱イオン水を循環

* 昭和アルミニウム株式会社（大阪府堺市海山町）

** 高エネルギー物理学研究所（茨城県筑波郡大穂町）

Table 1 Chemical composition of sample (unit: wt.%)

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6063	Bal.	0.42	0.20	0.02	0.02	0.57	0.01	0.01	0.02

Fig. 1 Cross section of test chamber. **Fig. 2** Schematic diagram of deionized water cycle test.

させていた時間は9,972時間), 流量 13.6 l/min, 入口水圧 4.0 kg/cm², 出口水圧 2.0 kg/cm² であり, チャンバ温度は 20~22°C であった. またヒーター付の場合は, 試験期間 2 年 2 カ月間 (脱イオン水を循環させていた時間は9,425時間), 流量 1.5 l/min., 入口水圧 2.1 kg/cm², 出口水圧 1.9 kg/cm² であり, チャンバ温度は 35~49°C の範囲であった. ただし, ヒーターの取り付け位置および測温点は, Fig. 1 に示す点である.

循環用冷却水としては, KKK-PS (高エネルギー物理学研究所の陽子シンクロトロン) の加速器用脱イオン水を用い, その糸に Fig. 2 の(a), (b) の配管を並列に接続させた. また循環させた脱イオン水の分析結果を

Table 2 に示す. これより用いた脱イオン水中には特異な元素は混入していなかった.

2.3 耐食性評価

冷却水循環試験を行ったチャンバの内面を切り出し, 外観観察および SEM 観察することにより, 腐食の状況を調べた. そして腐食生成物 (水和酸化皮膜)*をリン酸-クロム酸はく離液にてはく離後 SEM 観察することにより, アルミニウム素地の腐食状況も調べた. また試験後の水和酸化皮膜厚さを調べるためミスロームにて試料の断面切片を作成し, これを SEM で観察した.

Table 2 Chemical composition of deionized water for KEK-PS (unit: ppm)

	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Na	Ca	Cl ⁻	So ₄ ²⁻
Deionized water	<1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<2	<40

Fig. 3 Optical observations of aluminum alloy surfaces after test.

Fig. 4 SEM observations of aluminum alloys after test.

3. 実験結果および考察

3.1 試験後の表面観察

試験後のチャンバを切り出し、その水冷管の内面を外

* アルミニウムを脱イオン水中に浸漬すると、水和酸化皮膜が生成する。従って本報では、腐食生成物を水和酸化皮膜と呼ぶこととする。

Fig. 5 Cross section of aluminum alloy oxide films after test.

観観察した結果を Fig. 3 に示す。ヒーター付の場合無処理材およびペーマイト処理材ともその表面は灰白色化しており、ヒーターなしの場合の無処理材は茶かっ色していた。しかしいずれの場合もピット等は観察されず、比較的均一な表面になっているといえる。

腐食状況をさらに詳細に調べるため SEM にて観察した。その結果を Fig. 4 に示す。ペーマイト処理材のみならず無処理材も押出時のキズ等が観察されないことか

ら、無処理材に冷却水を循環させることにより、水和酸化皮膜が形成されたものと思われる。一般にアルミニウムを 70°C 以下の低温領域で脱イオン水に浸漬するとバイヤライトと呼ばれる水和酸化皮膜が生成するといわれており⁵⁾、今回も無処理材の表面に形成された水和酸化皮膜はバイヤライトであると思われる。

一方ペーマイト処理材の表面は粒状となっていた。ペーマイト処理後の形態は針状である⁶⁾ことから、比較的

Fig. 6 SEM observations of aluminum alloys after removing their oxide films formed by cycle test.

低温（35～49℃）の脱イオン水を循環させたことが、ペーマイト皮膜の形状変化あるいは新たな水和酸化皮膜の形成を引き起こしたものと思われる。

3.2 水和酸化皮膜厚さ

試験後の水和酸化皮膜厚さを調べるため水和酸化皮膜の断面切片を作成しSEM観察した。その結果をFig. 5に示す。皮膜の厚さは、無処理材（ヒーターなし）で約8 μm，無処理材（ヒーター付）で約5 μm，ペーマイト処理材で約5 μmであった。無処理材の場合、ヒーターなしの方が水和酸化皮膜が厚くなっていた。一般に脱イオン水浸漬により生成する水和酸化皮膜は、低温ほど厚く生長するものであり⁶⁾，今回の結果はそれとよく対応している。またペーマイト処理材の試験前の皮膜厚さは、0.6 μm程度であることから、脱イオン水を循環させることによりペーマイト皮膜表面にさらに水和酸化皮膜が形成されたものと思われる。

3.3 アルミニウム素地の観察

アルミニウムを脱イオン水中に浸漬するとその表面には水和酸化皮膜が生成し、その皮膜は腐食抑制作用を有している。しかし生成する皮膜の質によっては、アルミニウム素地一皮膜界面で腐食が進行する恐れがある。そこで生成した水和酸化皮膜をリン酸－クロム酸にてはく

離し、アルミニウム素地の腐食状況を観察した。その結果をFig. 6に示す。ペーマイト処理材は前処理としてのカセイエッチング特有のディンプル形状がそのまま保持されており、アルミニウム素地は全く腐食していなかった。また無処理材の場合には、アルミニウム素地は粗面化しており、粒界腐食を起こしていた。以上のことからペーマイト処理を施すことにより、加速器を想定した脱イオン水循環に対しても著しく耐食性が向上するといえる。

無処理材の粒界腐食の程度は、ヒーター付の場合に比べ、ヒーターなしの方がより進行していた。しかし粒界腐食の深さはヒーターなしの場合でも、Fig. 5およびFig. 6からミクロンのオーダーである。なおヒーターなしの場合の方が粒界腐食がより進行していた理由は、生成する水和酸化皮膜の質が原因しているのではないかとと思われるが、脱イオン水の流量が両者で異っていたこともあり、その詳細は明らかではない。いずれにしても、2年2カ月間の運転で粒界腐食の深さがミクロンのオーダーであり、加速器の有効使用年数が10年であることを考えると、特に表面処理を施さなくても脱イオン水中の重金属イオンに注意を払えば、アルミニウム合金は十分に耐えると考えられる。

4. ま と め

トリスタン電子陽電子衝突リングの冷却系としてのアルミニウム合金の耐食性について検討し、次の結果が得られた。

- ① ミンクロトン放射光のパワー入射による水温の上昇を考慮してヒーターを設置して試験した。2年2カ月後、無処理材（押出したままの状態）の表面には比較的均一な水和酸化皮膜が形成されていたが、水和酸化皮膜を除去したアルミニウム素地はわずかに粒界腐食を起こしていた。ベーマイト処理材は均一な皮膜が保持され、アルミニウム素地は全く腐食していなかった。
- ② ヒーターなしについても無処理材で試験した。2年2カ月後、表面には比較的均一な水和酸化皮膜が形成されていたが、アルミニウム素地はヒーター付

に比べ、粒界腐食がより進行していた。しかし粒界腐食の深さはミクロンのオーダーであった。

以上の結果から、アルミニウム合金は加速器（その有効使用年数は約10年）の冷却管として十分使用できる。ただし循環させる脱イオン水中の銅等重金属イオンには十分注意を払う必要がある。なお我々はさらに試験を継続していくつもりである。

〔文 献〕

- 1) H. Ishimaru: Journal of Vacuum Science & Technol. A2(2) April-June, (1984) 1170.
- 2) 百瀬 丘: TN-82z022, KEK (1983).
- 3) 中川弘昭: アルトピア, 10, No. 4 (1980) 9.
- 4) D. G. Altenpohl: Corrosion, 18 (1962) 143.
- 5) R. S. Alwitt: Journal of Electrochem. Soc. 121 (1974) 1322.
- 6) 内山利光, 礒山永三, 竹中博一, 加藤 豊: 軽金属, 35 (1985) 29.