イオンプレーティングされた アルミニウム皮膜の性能

町 田 清 二*

Performance of Aluminum Ion Plating

Seiji MACHIDA*

技術の新しい次元を提示するアルミニウム・イオンプレーティング装置（アイヴァダイザー）について、装置の開発経緯・原理の説明ののち、その皮膜性能について解説する。

1. はじめに

アルミニウムの大型イオンプレーティング装置が、アメリカの航空機メーカーであるマクドネル・ダグラス社で開発され、既に実用に供されている。

この装置は、“アイヴァダイザー (IVADIZER)”と呼ばれるもので(写真1)、金属表面処理専門家にとっても技術の新しい次元を提示する装置と言えるものであり、この装置の開発経緯、原理を紹

介の上、そのプレーティング皮膜性能について解説する。

2. 開発経緯

航空機に使用される鋼鉄製部品の防食には、長年にわたり電気カドミウムめっきが用いられてきた。しかしカドミウムは、亜硫酸ガスなどが存在する作業環境下、あるいは、酸性環境下においては、十分な性能を発揮し得ないことがあきらかとなった。また、航空機生産の際に高強度アルミニウム合金や鉄合金が使用されるに至って、カドミウムの使用に対する新たな問題点が生じた。

即ち、高強度アルミニウム合金部材にカドミウムめっきを施したファスナーをつけることにより、皿取り部のはく離腐食が促進される。また、高張力鋼にカドミウムを電気めっきしている最中にも、しばしば水素ぜい化が起こることがわかった。

更に近年になって、カドミウムによるチタニウムのぜい化 (Solid Metal Embrittlement) が明らかとなり、その上、有害性や毒性による公害問題も手伝って、ますます使わ

写真1 マクドネル・ダグラス社製
“アイヴァダイザー”

* 日商岩井エアロスペース㈱
〒107 東京都港区赤坂2-5-3
☎ 03-588-4792

*Nissho Iwai Aerospace Co., Ltd.
5-3, Akasaka 2-chome, Minato-ku, Tokyo 107

れなくなった。日本においても、公害問題からカドミウムめっきは、宇宙航空機業界等の極く限られた分野でしか使用されなくなった。

1960年代の後半に至り、米政府の資金による防食改良研究が行われ、実用に供されている軍用機にいろいろなコーティングを施して使用してみた結果がまとめられている。この試験結果によると、アルミニウムのプレーティングのみが優秀な防食効果をあげている。アルミニウム合金の部品からはおよそ考えられないような、理想的な順応性がアルミニウム・プレーティングの場合にはみられる。

アルミニウム・プレーティングを行う方法としては、イオンプレーティングのほかに、スプレー、電気めっき、クラディング、高温浸せきなどがあるが、これらの手法はすべて、厚みのコントロール、密着性、プレーティング可能な部品の大きさや形状、及び母材の諸特性に対する悪影響などの点で問題があることがわかった。

1974年に至り、工業生産規模のシステム一式が製造され、米海軍に納入されるに及んで、アルミニウム・プレーティング・プロセス（図1）が真に価値あるものであることが実証された。その後、

ミル・スペックが発行され、米空軍やファスナーメーカー、あるいは大型部品メーカーにもこのプレーティング・システムが納入された。

無公害で、非常に防食度の高いプレーディングが得られるこのプロセスは、いまや、航空機・一般産業界はもとより、数種の宇宙開発関係の製造プログラムにも採用されている。

3. プレーティング・プロセス

プレーティング・プロセスとしては、まずプレーティングする部品を前処理（予備洗浄）し、ラックに装てんした後、真空槽を約 10^{-4} トールまで排気し、不活性ガスを約10ミクロンまで充てんし、プレーティングされる部品に数100Vの負の電圧を印加し、アルミニウム蒸発用のつぼとの間にグロー放電を起こさせる。

放電によって、不活性ガスの一部はイオン化され、イオン化されたこの不活性ガスは、負に帯電した部品の表面にたたきつけられる。これによって、汚染された部品の表面が除去され（スパッタクリーニング）、蒸着膜の付着性が改善される。グロー放電による表面処理後、続けて放電中で

図1 アルミニウム・イオンプレーティング装置
— ラックタイプコーター及びバレルタイプコーター —

写真2 アルミニウム皮膜の付き回り、及び皮膜厚の均一性

アルミニウムを蒸発させる。アルミニウムは部分的にイオン化され、負に帯電した部品にひきつけられ、大きなエネルギーを持って蒸着される。

表1 耐食要求性能

クラス	プレーティング皮膜厚	5%濃度塩水噴霧による耐食要求時間
1	25 ミクロン	672 時間
2	13 ミクロン	504 時間
3	8 ミクロン	336 時間

(参) 米国MIL 規格番号 MIL-C-83488(2)

写真3 アルミニウム・イオンプレーティング皮膜走査電顕像

その結果、付着性のよい高密度のアルミニウム層が得られ、また不活性ガスの散乱効果によって、可視線限界だけではなく、複雑な形の表面にも比較的均一なプレーティングが可能である。

アルミニウム・プレーティングをした場合、いかに均一性の高い皮膜が得られるかは、プレーティングしたファスナーの断面を撮った拡大写真があるので参照されたい(写真2)。その均一性は、電気めっきと比較しても遜色のないものである。むしろ、電気めっきの場合にありがちな凸部での“つき過ぎ”や凹部での“つき不足”があまり見られないという利点がある。

4. プレーティング皮膜の性質

イオンプレーティングされたアルミニウムの皮膜は、純粋で延性に富んだアルミニウムの膜である。表1にある通り、航空業界においては、必要な防食度に応じて米国 MIL 規格で規定されている3種類の皮膜厚を使い分けている。

クラス1は、高温にさらされる部分や、強度の腐食性環境にさらされる部分に使用される。クラス2は、あまり強度の腐食性環境にさらされない部分に使用され、また、クラス3は、ねじ山のついたファスナーのように精度が要求される部品に使用される。

また、同規格ではアルミニウム・プレーティングしただけの状態をタイプⅠとし、アルミニウム皮膜の上に更にクロメート処理を施したものをタイプⅡと規定している。この追加処理により防食度が高まるだけでなく、塗料のつきがよくなるという利点があり、一般的にはこのタイプⅡが使用されている。

写真3は、アルミニウム・プレーティングの走査電顕像である。見てわかる通り、プレーティング層は緻密な結晶構造をしている。めっき作業中に真空度、負荷電圧等をうまくコントロールすることが、よいプレーティングをする秘訣である。プレーティ

図2 スチール合金ボルト (NAS 1954-12) による引張り寿命試験

ングの基質に対する付着力は抜群であり、曲げ破壊テストに合格する。

4-1 耐食性

アルミニウム・イオンプレーティング皮膜の腐食性については、種々のテストが行われている。これらのテストの結果には、腐食テストにありが

ちなバラツキが見られるが、いずれの場合にもその性能の優秀性は、はっきりとあらわれており、その一部をここに結論的に紹介する。

- (1) イオンプレーティングしたアルミニウムは、母材の物理的な物性には何らの悪影響も及ぼさない。
- (2) 水素ぜい化の危険が全くない。

イオンプレーティング・プロセスが水素ぜい化を起こすことも考えられたので、米国 MIL 規格、MIL-STD-1312 の要領で、応力耐久度テストを行った。即ち、H-11 合金鋼にアルミニウム・プレーティングしたものに極限強さの 90% の応力を加えて、11 日間にわたりテストを行っが、異状は認められなかった。

- (3) アルミニウム・プレーティングした H-11 合金鋼のボルトを使って摂氏 426 度の温度での応力破壊テストを行った。ボルトの極限引張り強度の 75% に当たる負荷を 200 時間にわたって加えたが、破損は起こらなかった (図 2)。

現在では、摂氏 496 度までぜい化が起きないこ

図3 引張り強度テスト及びせん断強度テスト

図4 アルミニウム合金の疲労寿命改善

とが確認されており、高温での使用が可能である。

(4) 米国MIL規格, MIL-STD-1312のテストNa11にある手順に従い、ファスナーを使つての引張り疲労テストも行った。テストは、負荷率+0.1で行った。図2に見られるように、結果的にはイオンプレーティングのアルミニウムが、カドミウムにやや優っている。図3には、母材やプレーティングをいろいろ変えてみた時の引張り、及びせん断テストの結果が出ている。

4-2 高疲労強度アルミニウム部材への適用

航空機では、各所に高疲労強度アルミニウム部材を使用しており、通常、機械加工後、防食効果を得るため、陽極酸化処理をしている。ところが図4に示すように、機械加工後、陽極酸化処理をすると防食効果は得られるものの、疲労寿命が陽極酸化処理前のものと比較すると1/4以下に下ってしまう。

そこで陽極酸化処理の代わりに、アルミニウム・イオンプレーティングを行い、クロメート処理を施すと、機械加工後のままのものとはほぼ同じ寿命が得られる(図4)。

つまり、アルミニウム・イオンプレーティングを適用した場合、アルミニウム構造部材に対して設計許容応力を高くとることが出来、重量の軽減がはかれることになる。

航空機の場合、1グラムでも重量軽減することが機体の性能向上につながるわけであり、このア

ルミニウム・イオンプレーティングの性能から得られる効果は、重要な意味をもっている。

以上、アルミニウム・イオンプレーティングの特長をまとめると次のようになる。

- 1) 母材の物理的な性質には、何ら影響を及ぼさない。
- 2) 水素ぜい化を起こさないで、あらゆる強度のスチールの防食に使用できる。
- 3) 摂氏496度まで使用可能である。
- 4) 実用テストにおいては、カドミウムやその他のコーティングに優る。
- 5) カドミウムめっきでみられるようなチタニウムのぜい化を起こさない。
- 6) アルミニウム合金に対して、陽極酸化保護膜同様の効果を与え、疲労劣化を起こさない。
- 7) プロセスも、コーティング物質自体も毒性がなく、従って廃棄物処理や公害の問題もない。

このような長所を備えたアルミニウムイオンプレーティング・プロセスは、防食技術の先端を行くものとして注目されている。

5. 生産に対する適用

ここで紹介したアルミニウム・イオンプレーティング法は、既に実用化されており、その特長を生かし、真空蒸着カドミウムプレーティング、塗装、陽極酸化処理、亜鉛めっき等、従来の金属表面処理方法の代わりに使用されている。

また、従来は適当なプレーティングの方法がなかったために、プレーティングなしで使われていた部分にも用途が拡大していく方向にあり、様々な業務にこのアルミニウム・イオンプレーティング・プロセスが浸透しつつある。

引用文献

E.R. Fannin, D.E. Muehlbenger; "Ivadizer Applied Aluminum Coating Improves Corrosion Protection of Aircraft". マクドネル・ダグラス社,

次号予告

今月のことば 今後の溶射の動向

……………工藤 唯輔〔第一メテコ㈱〕

解説 カラー鉄板の塗膜密着性に及ぼす諸問題

……………岡野 啓二〔川鉄鋼板㈱〕

めっき排水のCOD処理

……………堀内 朝夫〔環境エンジニアリング㈱〕

シリーズ アルミニウム酸化皮膜の反射率測定法

……………早坂 公郎〔加美電子工業㈱〕

フォトサロン 樹枝状電析亜鉛の形成

……………細川 邦典〔九州工業大学〕ほか

随想 私の体験と現場の知恵

……………加藤 喜好〔防食塗装エンジニアリング㈱〕

叩 * 4,000台突破 *

めっき厚の品質管理に!!

金めっきまで測れます。

**● 電解式めっき
厚さ測定器**

株式会社 **中央製作所**

本社・工場
営業所

NEW MODEL

(カタログ送呈)

名古屋市瑞穂区内浜町2丁目75番地
〒467 ☎ <052> 821-6111(大代表)
東京 <03> 432-1571
大阪 <06> 762-1901
福岡 <092> 522-1785
新潟 <02563> 4-8394