

環境に優しい航空機部品用めっきの開発

－亜鉛・ニッケル合金めっきを航空機降着装置へ－

安井治之* 鷹合滋樹* 上村彰宏** 浅下秀昭*** 日野実****

近年欧州のRoHS指令やREACH規制を初めとする有害物質規制では、カドミウム、シアンおよび六価クロムの使用が禁止されているが、航空機降着装置に使用される超高抗張力鋼の耐食めっきには、適当な代替技術がないことからカドミウムめっきあるいはチタニウム・カドミウム合金めっきが使用されている。

そこで本研究では、航空機降着装置にこれまで適用されている耐食めっきと同等以上の耐食性を持ち、めっき処理において環境有害物質を使用しない環境対応型の代替カドミウムめっき技術として低水素脆性型亜鉛・ニッケル合金めっきの成膜技術を確立した。さらに、実用化に不可欠である非破壊膜厚測定技術およびめっき剥離技術についても併せて開発した。

キーワード：航空機降着装置，亜鉛・ニッケル合金めっき，水素脆性，非破壊膜厚測定，めっき剥離技術

Development of Eco-friendly Electroplating for Aircraft Parts - Zinc-nickel Alloy Electroplating for Aircraft Landing Gear -

Haruyuki YASUI, Shigeki TAKAGO, Akihiro UEMURA, Hideaki ASASHITA and Makoto HINO

In recent years, the use of cadmium, cyanide and hexavalent chromium has been prohibited by toxic substance regulations including the European Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directive and REACH Regulation. However, as no adequate substitute technology exists for the corrosion resistant plating of super high tensile strength steel used in aircraft landing gear, cadmium and titanium-cadmium alloy plating are used. In this study, we established low hydrogen embrittlement zinc-nickel alloy electroplating film deposition technology, as an eco-friendly substitute cadmium plating technique. It possesses corrosion resistance equal to or higher than that of conventional aircraft landing gear plating, and does not use environmentally hazardous materials in the plating process. In addition, we developed a stripping technique and nondestructive film thickness measurement technology: indispensable for practical application.

Keywords: aircraft landing gear, zinc-nickel alloy electroplating, hydrogen embrittlement, non destructive film thickness measurement, stripping technique

1. 緒 言

航空機の降着装置(図1参照)は、離着陸時に使用機体重量を直接支えることから重要な保安部品に指定されている。特に着陸時には、着陸の衝撃も加わるため、超高抗張力鋼(300M鋼：Ni-Cr-Mo系の低炭素鋼)が使用されている。また、防食目的での表面処理には、生産性やコストの観点よりめっきが採用されるが、めっき時に発生する水素ガスによる脆化が懸念される。一般に鉄鋼材料の水素脆性感受性は、強度上昇とともに敏感になり、特に引張強さが1200MPa以上の鉄鋼材料で

は、材料中の僅かな水素によっても水素脆性を起こすとともに、応力腐食割れに対しても敏感な材料である。そのため、従来航空機の降着装置には、水素脆性感受性が低いカドミウムめっきあるいはチタニウム・カドミウム合金めっきが施されている。

しかし、RoHS指令やREACH規制をはじめとす



図1 航空機降着装置例

*機械金属部 **化学食品部 ***浅下鍍金(株)

****広島工業大学

る環境規制により、カドミウム、シアンおよび六価クロムの使用が禁止されていることから、航空宇宙産業でも環境有害物質であるカドミウム、六価クロム、水銀、鉛を全廃する目標をかかげ、欧州はエアバス社、米国はボーイング社が中心となって航空機降着装置の超高抗張力鋼に適用されるカドミウムめっきに代わる代替カドミウムめっきの実用化研究を進めているが、現在まで実用化に至っていない。

一方、自動車産業では、環境規制に対応した耐食性に優れた酸性の亜鉛・ニッケル合金めっきが開発されているものの、自動車産業に適用される鉄鋼材料の多くは比較的強度の低い炭素鋼であり、水素脆性については問題視されていない。

そこで本研究開発では、航空機降着装置の耐食めっき技術に使用できる環境有害物質を含まない新しいめっき手法を開発し、事業化に繋げることにした。

2. 環境に優しいめっきの開発

2.1 亜鉛・ニッケル合金めっきの成膜

低水素脆性型の亜鉛・ニッケル合金めっきの実用化のため、亜鉛・ニッケル合金めっき液の選定と、そのめっき液を使用可能なめっき装置の導入のための基礎データを取得した。

市販の亜鉛・ニッケル合金めっき液には、酸性とアルカリ性の2種類が存在する。自動車産業では密着性に優れた酸性浴が使用されているが、本研究開発では、超高抗張力鋼300Mでも水素脆性を起こしにくいアルカリ浴を選択した。

まず、小型めっき実験装置((株)山本鍍金試験器・10Lめっき試験装置、図2参照)を用いて、めっき液の基本特性を評価した。

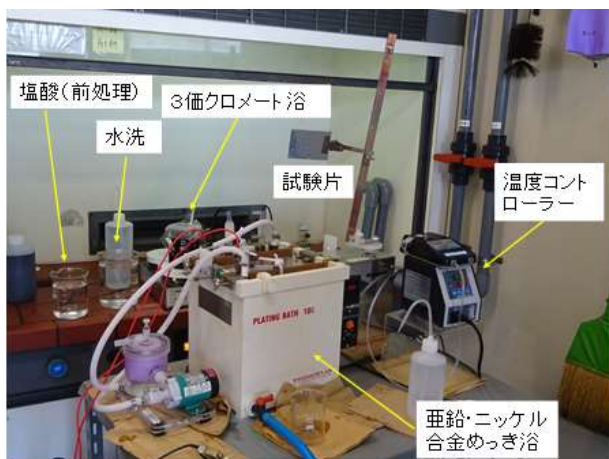


図2 Zn-Ni合金めっき液選択用小型めっき設備

試料にハルセル板((株)山本鍍金試験器・100×67mm)および4130鋼(24.5×101.6mm, 300M鋼と同種の航空機降着装置用合金鋼)を用い、有機溶剤脱脂、水洗、酸活性後、めっきを施した。めっき中は、カソードロッカーおよび液循環(濾過)による攪拌を行った。なお、エア攪拌では炭酸ナトリウムが生成されることから使用しなかった。

めっきの試作工程では図3に示すようにめっき後に水洗してからクロメート処理を行った。その後、水洗し、エアブローおよび乾燥を行った。作製した試料は、ほぼ均一に青みがかった色調となった。

2.2 亜鉛・ニッケル合金めっきの評価

2.2.1 耐食性試験

めっきの耐食性評価では、塩水噴霧試験を行った。航空機機体メーカーの要求仕様では、めっきの耐食性として、500時間の塩水噴霧試験で赤サビが発生しないことが指針で示されている。500時間の段階で白サビを生じたものの赤サビは発生せず、最終的に4000時間継続しても赤サビの発生は見られなかったことから、耐食性に優れためっきであることが確認された。

2.2.2 水素脆性試験

航空機部品にとって最も問題となる水素脆性の評価では、低歪速度3点曲げ試験(SSRT: Slow Strain Rate Test)を用いた水素脆化感受性の定量的測定を検討したり。

この試験は、オートグラフの3点曲げ試験機治具を用いて、試験片サイズ4×70×t0.5mm、ひずみ速度0.01mm/minで試験を行った。

その結果、亜鉛・ニッケル合金めっきだけの試料の破断応力と変位量は、一般的な亜鉛めっきのそれらよりも低い値を示し、水素脆性感受性が高まった。これ



図3 めっき試作工程

に対して、亜鉛・ニッケル合金めっき後にベーキング処理を施した試料では破断応力および変位量が大幅に向上し、めっき前の試験片とほぼ同じ値であった¹⁾。このことから、本事業で開発したアルカリ浴の亜鉛・ニッケル合金めっきは、ベーキング処理を行うと水素脆性を生じず、航空機降着装置へ適用しても問題無いことが確認された。

3. めっきの非破壊膜厚測定技術の開発

実生産においては、航空機機体メーカーの膜厚に関する要求仕様を満たしているかを全数検査する必要がある。そこで、開発しためっきの膜厚を非破壊で測定可能な評価方法を開発した。

航空機降着装置部品は大型であり、通常の膜厚評価装置(蛍光X線膜厚計等)の試料台に置くことができない。また、切断して断面から観察する手法では、製品を破壊する必要があるため、品質検査に使用できない。そのため、非破壊で大型部品にも適用可能な、プローブを押し当てて測定するポータブル型膜厚計を用いた膜厚管理技術について検討した。開発しためっきは亜鉛素地にニッケルが析出した合金めっきであるため、単元素測定のように簡単には測定できない。そのため、電磁式、渦電流式などを比較しながら、蛍光X線膜厚計や破壊式である断面膜厚観察結果に対して検量線を引く等の複合的な評価手法を検討した。

ニッケル共析率が12~18%まで2%ずつ異なる4試料を作製し、蛍光X線膜厚計とポータブル膜厚計にてそれぞれのめっき厚を測定した。なお、いずれの膜厚計もめっきの基板であるハルセル陰極板を校正の素地として使用した。作製しためっきの組成分析には、蛍光X線分析機((株)堀場製作所・XGT-5000WR)を使用し

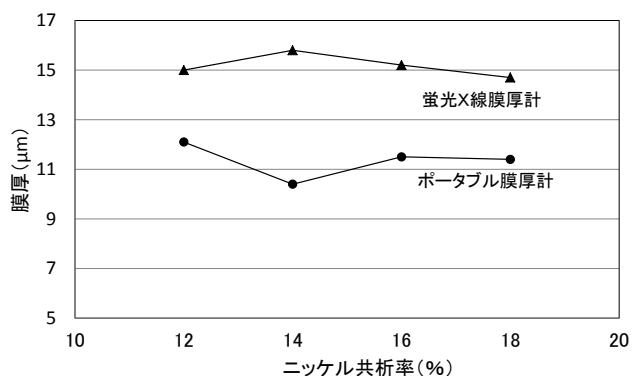


図4 蛍光X線膜厚計およびポータブル膜厚計による膜厚測定結果

た。

成膜した試料の膜厚を、蛍光X線膜厚計とポータブル膜厚計で測定した結果を図4に示す。縦軸に測定した膜厚、横軸にニッケル共析率を示す。ポータブル膜厚計では、いずれの試料においても、蛍光X線膜厚計より3μm程度小さく測定された。このためポータブル膜厚計で測定した結果に3μm程度加算して検量線を引くことにより、製品の膜厚測定に使用できることがわかった。

4. めっきの剥離液の開発

本研究開発の事業化の一つとして「メンテナンス事業」への進出を考えている。航空機のメンテナンスでは、定期的に降着部品を航空機本体から一旦外し、めっきを剥離して表面き裂有無を検査後に、再度めっきを施している。そのため、鉄素地を傷めないめっきの剥離技術が重要であり、本研究開発で剥離手法を検討した。

現状で最も剥離速度の高いと考えられているシアン化ナトリウムと同等以上の剥離速度の達成を目標とし、水酸化ナトリウム、硝酸アンモニウムを主剤とした非シアン系剥離液を、添加する薬品を変化させながら実験し、剥離液を開発した。

開発しためっき試料について、めっき剥離前後の質量差を測定してめっきの剥離量を評価した結果、シアン化ナトリウムの場合で、約7分で剥離が完了した。これに対して本研究で開発した剥離液では、シアン化ナトリウムと同等以上の剥離速度(約5分)を有し、鉄素地へのダメージがないことから、十分実用性のある剥離液であると考えられる。

5. 実製品への適用

開発した亜鉛・ニッケル合金めっきを実物の航空機降着装置部品のピン(材質:300M鋼,サイズ:Φ30~60mm×L450mm)に成膜した一例を図5に示す。暗色部分がめっきを成膜した部分であり、その他の部分はマスキングを行ってめっきを付けていない。図5からわかるとおり、めっきは均一に付着しており、穴の内部にも成膜されていることがわかる。

6. 結 言

以上、県内めっき企業と共同で航空機降着部品用の



図5 航空機降着装置部品(ピン)への成膜

有害物質フリーの環境負荷の少ない「亜鉛・ニッケル合金めっき」を開発し、以下の結果を得た。

- (1)航空機機体メーカーの要求仕様を満たしたアルカリ性の亜鉛・ニッケル合金めっき技術を開発した。
開発めっきは、現行カドミウムめっきと同等以上の耐食性を示し、さらに耐水素脆性に関しても問題ないことから、実用性が高いと考えられる。
- (2)ポータブル膜厚計と検量線法を併せることで、大型部品に対応した非破壊の膜厚測定技術を開発した。
亜鉛にニッケルが析出した二元系合金でも非破壊で

精度良く膜厚が測定できることを確認した。

- (3)機体のメンテナンス時に必要な環境負荷の少ないめっき剥離技術を開発した。本研究で開発しためっきは、亜鉛とニッケルの二元系であるが、鉄素地を傷めずに両元素を剥離可能である水酸化ナトリウムと硝酸アンモニウムを主剤とした剥離液を開発した。そして、従来めっきの剥離速度と同等以上の性能を有していることを確認した。
- (4)実際に用いられている航空機降着装置部品のピンにめっきしたところ、外周および穴の内部ともに均一に成膜できた。

今後、本研究で開発したアルカリ性亜鉛・ニッケル合金めっきが航空機機体メーカーでの採用を目指していきたい。

謝 辞

本研究は経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業「環境対応型航空機降着装置用亜鉛・ニッケル合金めっきの実用化技術の研究開発」(H26～28)における成果の一部であり、関係者の皆様に感謝します。

また、剥離液開発においてご指導、ご助言をいただいた矢部技術士事務所の矢部先生に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日野実, 浅下秀昭, 安井治之, 鷹合滋樹, 平松実, 金谷輝人. 三点曲げ試験による高強度鋼の水素脆性評価と亜鉛めっきへの適用. 日本金属学会誌, 2016, 第80巻, 第12号, p.731-735.