



Available in:
Journal.isrc.ac.ir

Journal of
Space Science, Technology
& Applications (Persian)

Vol. 2, No. 1, pp.: 51-63
2022

DOI:

10.22034/JSSTA.2022.327543.1059

Article Info

Received: 2022-2-1

Accepted: 2022-3-13

Keywords

Anodizing, Adhesion,
Sandblasting, Primer, Forest
products laboratory

How to Cite this article

Mohamad Reza
Nasresfahani, Mohamad
Nasresfahani, Hossein
Nazemi Ashani, Mojtaba
Forghani, Hadi Gorabi,
Techniques for Controlling
the Adhesion Quality of
Anodized Coatings after
Heating, *Journal of Space
Science, Technology and
Applications*, vol 2 (1), p.:
51-63, 2022.

Techniques for Controlling the Adhesion Quality of Anodized Coatings after Heating

Mohamad Reza Nasresfahani^{*1}, Mohamad Nasresfahani²,
Hossein Nazemi Ashani³, Mojtaba Forghani⁴, Hadi Gorabi⁵

- 1,*. Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran, mr_nasr2001@alumni.iut.ac.ir, Corresponding author
2. Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran, nasr2000chem@yahoo.com
3. Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran, h.nazemi@isrc.ac.ir
4. Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran, forghani.mojtaba@gmail.com
5. Institute of Materials and Energy, Iranian Space Research Center, Isfahan, Iran, h.gurabi@isrc.ac.ir

Abstract

One of the most common methods to increase the adhesion of aluminum surfaces is the use of anodized coatings. However, if we heat the manufactured products before adhering due to the hydration of the anodized coating, cracking and morphological changes, the adhesive capacity will be severely reduced. As part of the research presented in this study, methods such as non-sealing of the anodize, primer application before heating the coating, sandblasting before and after the anodizing coating, and use of FPL (Forest Products Laboratory) replacement coating have been used to investigate the adhesive behavior of the coating. According to the results, not sealing the anodized coating and priming it before heating will increase the adhesiveness of the coating in all cases. Sandblasting after coating had no significant effect on adhesion. Sandblasting before anodizing improves adhesion by altering the texture of roughness and morphology. FPL can also be used to replace anodized coatings. They were less sensitive to heating and storage.



تکنیک‌هایی برای کنترل کیفیت چسب‌پذیری پوشش‌های آندایز بعد از حرارت‌دهی

محمد رضا نصرافهانی^{۱*}، محمد نصرافهانی^۲، حسین ناظمی اشنی^۳
مجتبی فرقانی^۴، هادی گورابی^۵

۱. * پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، mr_nasr2001@alumni.iut.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، nasr2000chem@yahoo.com
۳. پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، h.nazemi@isrc.ac.ir
۴. پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، forghani.mojtaba@gmail.com
۵. پژوهشکده مواد و انرژی، پژوهشگاه فضایی ایران، h.gurabi@isrc.ac.ir

دسترس‌پذیر در نشانی:
Journal.isrc.ac.ir

دو فصلنامه
علوم، فناوری و
کاربردهای فضایی

سال دوم، شماره ۱، صفحه ۶۳-۵۱
بهار و تابستان ۱۴۰۱

DOI:
10.22034/JSSTA.2022.327543.1059

چکیده

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای افزایش چسب‌پذیری سطوح آلومینیمی، استفاده از پوشش‌های آندایز است. اما چنانچه به دلیل شرایط خاص، محصولات تولیدی مجبور به حرارت‌دهی قبل از چسب‌زنی باشیم به دلیل هیدراته شدن پوشش آندایز، ترک خوردن و تغییر مورفولوژی، قابلیت چسب‌پذیری به شدت افت می‌کند. در این مقاله، با استفاده از ترفندهایی مانند عدم سیل کردن آندایز، اعمال پرایمر قبل از حرارت‌دهی پوشش، اعمال سندبلاست قبل و بعد از پوشش آندایز و استفاده از پوشش جایگزین FPL رفتار چسب‌پذیری پوشش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داد، در تمامی موارد عدم سیل کردن پوشش آندایز و همچنین پرایمرزنی پوشش قبل از حرارت‌دهی، در افزایش چسب‌پذیری موثر خواهد بود. اعمال سندبلاست بعد از پوشش‌دهی، تاثیر قابل توجهی بر چسب‌پذیری نداشت. سندبلاست قبل از آندایز با تغییر مورفولوژی و نوع زبری‌ها، چسب‌پذیری را تا حد قابل قبولی ارتقا می‌دهد. همچنین اعمال پوشش FPL می‌تواند یک گزینه مناسب برای جایگزینی آندایز باشد. این پوشش‌ها، حساسیت کمتری نسبت به حرارت‌دهی و انبارداری از خود نشان دادند.

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

واژه‌های کلیدی

آندایز، چسب‌پذیری، سندبلاست،
پرایمر، FPL

نحوه استناد به این مقاله

محمد رضا نصرافهانی، محمد نصرافهانی، حسین ناظمی اشنی، مجتبی فرقانی، هادی گورابی. "تکنیک‌هایی برای کنترل کیفیت چسب‌پذیری پوشش‌های آندایز بعد از حرارت‌دهی"، دو فصلنامه علوم، فناوری و کاربردهای فضایی، جلد دوم، شماره اول، صفحات ۵۱-۶۳، ۱۴۰۱.

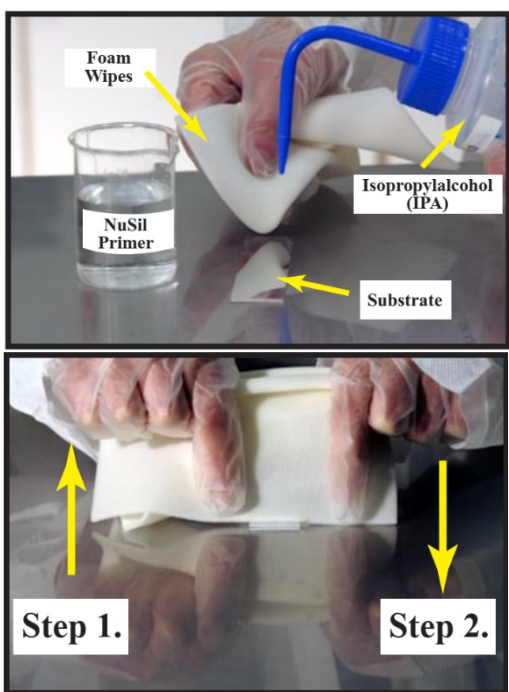
بودن کروم، استفاده از این نوع محلول را بسیار محدود کرده و محلول‌های جایگزینی مانند محلول اچ P2 (۳۷۰ گرم اسید سولفوریک غلیظ و ۱۵۰ گرم سولفات فریک ۷۵٪ و باقی‌مانده تا یک لیتر آب مقطر) با حداقل سمیت معرفی شده‌اند [۶، ۷]. به دلیل سمیت محلول‌های کرمیکی، گزینه‌های جایگزین شامل آندایزینگ در اسید سولفوریک (SAA)، اسید فسفریک (PAA) و مخلوط اسیدهای سولفوریک فسفر (PSA) رونق بیشتری گرفته‌اند. با این وجود، پیش‌فرایند استاندارد که در صنعت هوافضای اروپا پذیرفته شده است، بر اساس اچ CSA و آندایزینگ اسید کرومیک (CAA) است که اکسید فشرده‌تری نسبت به PAA (آندایز تولیدی با اسید فسفریک) تولید می‌کند و مقاومت در برابر خوردگی مناسب‌تری دارد [۶]. بدون توجه به نوع آندایز و محلول مورد استفاده، تقریباً در تمامی موارد آندایز شده، چنانچه شرایط و اصول استاندارد چسب‌زنی رعایت شود چسبندگی قابل قبولی حاصل می‌شود. اما مشکل اصلی در تغییر خواص چسب‌پذیری پوشش‌های آندایز شده پس از حرارت‌دهی است که خواص آن به شدت تغییر می‌کند و تقریباً چسب‌پذیری آن شبیه حالت بدون پوشش است. پوشش‌های آندایز، به دلیل جذب رطوبت محیط در طی فرایند حرارت‌دهی و همچنین ایجاد ترک‌هایی در سطح آن دچار تغییر رفتار ترشوندگی و مورفولوژی می‌شوند و این موضوع خواص چسب‌پذیری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته مشخص شده است که به دلیل اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین آلومینا و زیرلایه، در دماهای بیشتر از ۸۵ درجه، ترک‌هایی در پوشش ایجاد می‌شود و این ترک‌ها باعث کنده شدن و جدایش پوشش می‌شود. این موضوع به شدت می‌تواند بر خواص چسب‌پذیری تاثیر داشته باشد. البته راه‌حلی برای کاهش این تاثیر وجود دارد که از آن جمله، اجتناب از پوشش‌های ضخیم است [۸]. مجموعه این عوامل سبب شده است تا در مواردی مانند ساخت ساندویچ پنل‌ها که لازم است از دو نوع چسب مختلف در فرایند ساخت استفاده شود و به نوعی دو مرحله پخت انجام گیرد، بعد از مرحله اول، پخت چسبندگی پوشش آندایز از بین برود.

در این گزارش، با بررسی روش‌ها و ترفندهای مختلف سعی شده است شرایطی فراهم شود تا کمترین افت خواص چسبندگی

آلیاژهای آلومینیم کاربردهای وسیعی در صنایع هوایی و فضایی پیدا کرده‌اند ولی مقاومت در برابر خوردگی این آلیاژها در شرایط کاری مورد نظر مبحث مهمی است. معمولاً قطعات آلومینیمی در معرض اتصال چسبی با یک قطعه دیگر قرار می‌گیرند به همین دلیل نیاز به یک پوشش چسب‌پذیر مقاوم به خوردگی، همیشه مورد آزمایش و بررسی بوده است. آندایز کردن سطح آلومینیم به دلیل ساختار متخلخل و مورفولوژی سلولی با منافذی در میان آنها، تاحدودی می‌تواند هر دو نیاز را به طور هم‌زمان فراهم کند. معمولاً چسبندگی بین دو جسم در دو مقیاس ماکروسکوپی و میکروسکوپی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سطح میکروسکوپی، چسبندگی فقط در صورت تماس مولکولی چسب (یا پرایمر) با زیرلایه حاصل می‌شود و جذب فیزیکی^۱، یک الزام در این نوع اتصال است و خیس شدن مناسب سطح (تماس کامل چسب با سطح) که معمولاً با چربی‌زدایی ساده حاصل می‌شود، اهمیت زیادی دارد. البته این موضوع به تنهایی یک اتصال چسبی مناسب را تضمین نمی‌کند و دوام چسبندگی به تشکیل پیوندهای فیزیکی و شیمیایی بین زیرلایه و چسب نیز بستگی دارد [۱، ۲]. در مقیاس ماکروسکوپی، نیروهای مکانیکی ناشی از سخت شدن چسب داخل زبری‌ها و منافذ سطحی باعث افزایش چسبندگی می‌شوند که معمولاً به نام قفل‌های مکانیکی^۲ شناخته می‌شوند [۳]. با تغییر عواملی مانند غلظت و نوع الکترولیت، دما و پتانسیل/ جریان اعمال شده در حین فرایند آندایز می‌توان نوع و شکل حفره‌ها و همچنین نوع پیوندهای شیمیایی را تغییر داد و خواص چسب‌پذیری متفاوتی به‌دست آورد.

یکی از موارد بسیار تاثیرگذار در بهبود چسبندگی، استفاده از پروموترها (بهبود دهنده‌های چسبندگی) است که قادر به ایجاد پیوندهای کووالانسی پایدار، هم با بستر اکسید فلزی و هم با رزین پلیمری پوشش هستند [۴]. برای یک چسبندگی خوب و با دوام، باید ترکیب شیمیایی سطح، ویژگی اسیدی و بازی آن، مورفولوژی اکسید و زبری سطح در نظر گرفته شود [۵]. اچ با اسید سولفوریک-کرومیک (FPL^۳)، یکی از متداول‌ترین فرایندهای آندایزینگ برای اتصالات چسبی در صنایع هوایی است. اما سعی

استحکام چسبندگی داشته باشد. بنابراین، در تمامی نمونه‌ها، پرایمرزنی یکسانی اعمال شد.



شکل ۱. اعمال پرایمر مطابق با دستورالعمل سازنده [۱۲]

پس از خشک شدن پرایمر، یک لایه کپتون به منظور ارزیابی چسبندگی و انجام تست‌های چشمی و مکانیکی روی نمونه‌های پرایمردار چسبانده شد. این عمل با استفاده از چسب‌های جدول ۱ انجام شد و سپس نمونه‌ها در دمای ۱۵۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه عمل‌آوری شد. آماده‌سازی چسب بر اساس دستورالعمل و مخلوط کردن دو فاز به نسبت ۱:۱ انجام شد.

۲-۲- آماده‌سازی سطح آندایز

با توجه به مطالعات انجام گرفته به منظور آماده‌سازی ورق‌ها از آندایز CAA در محدوده دمایی ۵۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد مطابق با شرایط استاندارد پیشنهادی برای چسب‌پذیری استفاده شد [۴]. تمامی نمونه‌ها از جنس ورق آلومینیم ۷۰۷۵ با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۵ میلی‌متر تهیه شد. تمامی عملیات برش و منقطع کردن قبل از عملیات آندایز انجام شد تا

بعد از حرارت‌دهی در آندایز ایجاد شود. تمرکز اصلی این تحقیق بر چسبندگی دو نوع چسب CV-2289 و CV-2568 است که با روش‌هایی مانند پرایمرزنی پیش از پخت و سندبلاست قبل و بعد از آندایز و روش‌های جایگزین مانند FPL، چسبندگی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- طمواد و روش تحقیق

۱-۲- پرایمرزنی چسب‌زنی

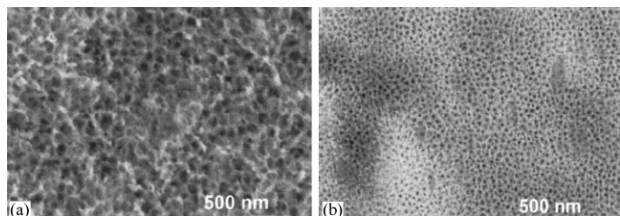
به منظور بررسی رفتار چسب‌پذیری ورق‌های آندایز شده از دو نوع چسب با گازدهی پایین و کشسانی بالا استفاده شد. چسب اول با کد اختصاصی CV-2289-1، به رنگ سفید و چسب دوم با کد اختصاصی CV10-2568 قرمز قابل شناسایی است و خواص مکانیکی هر یک، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات چسب‌های مورد استفاده [۹، ۱۰]

Adhesive	Tensile Strength (MPa)	Elongation %	Lap Shear	Viscosity (cP)	Dielectric Strength	Appearance
2289	4.8	350	2.8	Part A(60000) Part B(40000)	955	White
2568	1.6	170	1.2	Part A(125000) Part B(80000)	860	Red

پرایمر مورد استفاده بر اساس توصیه سازنده از نوع CF1-13 [۱۱] انتخاب شد و به روش مالش روی سطوح با استفاده از یک دستمال و مطابق با دستورالعمل سازنده مشابه شکل ۱، اعمال شد. پس از اعمال پرایمر، نمونه‌های آندایز شده به مدت یک ساعت در دما و رطوبت محیط قرار گرفت. لازم به ذکر است، نحوه اعمال پرایمر و غلظت آن نیز به عنوان یک متغیر مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که این پارامتر نمی‌تواند نقش قابل توجهی در

طبق استاندارد، محلول اسیدی به نسبت ۱ جزء دیکرومات سدیم، ۱۰ جزء اسید سولفوریک غلیظ و ۳۰ جزء آب مقطر ساخته شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت با حل‌سازی یک تکه آلومینیم تعدیل شد و سرانجام عملیات اچ در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه انجام گرفت.



شکل ۳- مقایسه ساختارهای به‌دست آمده ناشی از (a)، عملیات FPL و (b)، عملیات آندایز [۱۴]

۲-۵- اندازه‌گیری زاویه تماس

به منظور ارزیابی خاصیت ترشوندگی نمونه‌ها و پیش‌بینی چسب‌پذیری، اندازه‌گیری زاویه تماس به صورت استاتیک با استفاده از آب مقطر و قطره‌ای به حجم ۵ میکرولیتر و بر اساس استاندارد ASTM D7334 [۱۵] با استفاده از دستگاه زاویه‌سنج نیمه خودکار مدل CAG-10 انجام شد (شکل ۴).

۲-۶- اندازه‌گیری براقیت

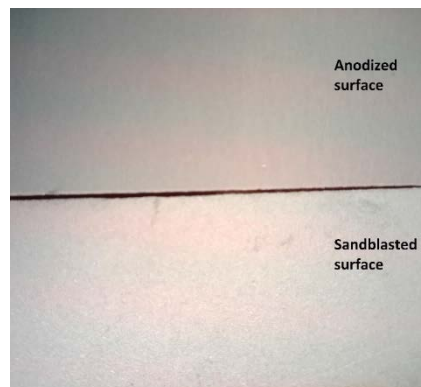
با اندازه‌گیری میزان ماتی یا روشنی پوشش‌های آندایز می‌توان، یکنواختی ضخامت پوشش در نقاط مختلف را تشخیص داد و در یک نوع پوشش ثابت میزان زبری آن سطح را نیز ارزیابی کرد [۲۲]. به همین منظور، برای ارزیابی پوشش‌های ایجاد شده و همچنین تغییر خواص آن‌ها بعد از حرارت‌دهی، از گلاس‌متر یا براقیت‌سنج مدل WG68 استفاده شد. تصویری از براقیت‌سنج استفاده شده، در شکل ۵ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری بر اساس استاندارد BS EN ISO 7668 و متناسب با سطوح آندایز شده در سه زاویه ۲۰، ۶۰ و ۸۵ درجه انجام گرفت [۱۶].

آسیبی به لایه ترد اکسیدی بعد از آندایز وارد نشود. بر اساس تحقیقات انجام گرفته، تمامی ورق‌های آندایز شده بدون عملیات آب‌بندی^۱ مورد پرایمرزنی قرار گرفت [۴، ۱۳]. نمونه‌های آندایز شده در حداقل زمان ممکن (حداکثر ۲۴ ساعت)، پس از آندایز شدن تحت شرایط چسب‌زنی و پرایمرزنی قرار گرفت.

۲-۳- سندبلاست

تعدادی از نمونه‌ها بر اساس طراحی آزمایش تحت سندبلاست نوع Sa2 قرار گرفت. در این نوع سندبلاست، تمام آلودگی‌ها و آثار اکسید و زنگ‌زدگی از سطح خارجی فلز حذف شد و محل مورد نظر با هوای فشرده پاکسازی شد. در این حالت، یک سطح خاکستری از سطح فلز پاکسازی شده دیده می‌شود. این عملیات در فشار ۵۰ Psi و با استفاده از ذرات ساینده اکسید آلومینیم انجام شد.



شکل ۲- مقایسه دو سطح سندبلاست شده و آندایز شده

۲-۴-۱- FPL

بر اساس طراحی آزمایش، تعدادی از نمونه‌ها تحت عملیات اچ FPL قرار گرفت. در این فرایند، اکسیداسیون سطح بدون استفاده از جریان الکتریکی و در محلول اسیدی انجام می‌گیرد و ساختاری متفاوت از روش آندایز به‌دست می‌آید که از نظر اندازه حفره نامنظم‌تر و بزرگ‌تر است (شکل ۳) [۴].

- [10] N. Technology, CV10-2568: Controlled volatility RTV ablative silicone, in: N. Technology, 2019
- [11] N. Technology, CF1-135: High technology silicone primer, in: N. Technology, 2014.
- [12] N.T. LLC, Application and Storage Recommendations for NuSil[®] Primers, 2015.
- [13] E.R.a.S. Division, Black-anodizing of metals with inorganic dyes (ECSS-Q-ST-70-03C), ESA Requirements and Standards Division, 2008.
- [14] A. Bjørgum, F. Lapique, J. Walmsley, K. Redford, Anodising as pre-treatment for structural bonding, International Journal of Adhesion and Adhesives, vol. 23, pp. 401-412, 2003.
- [15] A. International, ASTM D7334-08: Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement, ASTM International West Conshohocken, 2013.
- [16] STI/33, BS EN ISO 7668: Anodizing of aluminium and its alloys. Measurement of specular reflectance and specular gloss of anodic oxidation coatings at angles of 20°, 45°, 60° or 85° BSI, 2021.
- [17] J. Ye, Q. Yin, Y. Zhou, Superhydrophilicity of anodic aluminum oxide films: From honeycomb to bird's nest, Thin Solid Films, vol. 517, pp. 6012-6015, 2009.
- [18] R.F. Wegman, J.V. Twisk, Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding, Elsevier Inc, 2013.
- [19] J.D. Minford, Handbook of Aluminum Bonding Technology and Data, Marcel Dekker, New York, 1993.
- [20] E.W. Thrall, R.W. Shannon, Adhesive Bonding of Aluminum Alloys, Boca Raton, 1985.



COPYRIGHTS

ش 2022 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)