بررسی اثر پارامترهای مختلف درکیفیت پوشش آندایز سخت آلومینیوم

عبدالله افشار
استادیار دانشکده متالورژی، دانشگاه صنعتی شریف

چکیـــده:
در فرآیند آندایزینگ سخت، پوششهای اکسید آندی سخت و ضخیمی بدست می‌آید که آنها را در کاربردهائی نظیر پیستونها، سیلندرها و چرخ دنده‌ها و... مناسب می‌سازد. بدون این پوششها، آلومینیوم نمی‌تواند در این کاربردها مورد استفاده قرار گیرد. عواملی نظیر دانسیتهٔ جریان، غلظت اسید سولفوریک، درجه حرارت و زمان آندایزینگ بر روی کیفیت پوششهای اکسید آندی سخت اثر می‌گذارند، که در این مقاله سعی شده است تغییرات آنها مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهند که افزایش دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ و کاهش درجه حرارت موجب افزایش ضخامت پوشش‌های آندی سخت می‌گردد. ازطرف دیگر افزایش بیش از حد دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ و درجه حرارت موجب کاهش مقاومت سایشی و سختی این پوششها می‌شود. با وجود این سختی و مقاومت سایشی، این پوششها بسیار بالاتر از پوششهای ایجاد شده در آندایزینگ معمولی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهند که ضخامت پوششها در غلظت اسید سولفوریک g/l ۲۰۰ کمترین و مقاومت سایشی و سختی در محدوده غلظت g/l ۲۵۰-۲۰۰ بالاترین مقدار را دارد.

The Effect of Various Parameters on Quality of Hard Anodized Aluminium

A. Afshar
Assistant Professor
Metalurgical Eng. Dept. Sharif Univ. of Tech.

ABSTRACT:

In hard anodizing process, thick and hard anodic oxide layer can be obtained, suitable for pistons, cylinders and gears, etc... . Aluminium does not suit for above uses, without anodizing.

Parameters such as current density, acid concentration, solution temperature and anodizing period affects the quqlity of anodic oxide. These are considered in this work.

The results reveal the increase in current density, anodizing time and temperature decrease, leads to an increase in the thickness of hard anodic film. On the other hand further increase of current density, anodizing time and temperature results in decreasing wear resistance and hardness of the coating.

However, Hardness and wear resistance of these coatings are better than the normal anodic films. Also from the results it is evident that the coating thickness in electrolyte cotaining 200g H2SO4 is minimum while the wear resistance and hardness in solution of 200-250g H2SO4 is maximum.

مقدمه

در فرآیند آندایزینگ سخت، فیلمهای سخت و فشرده‌ای ایجاد می‌شود. بدین ترتیب آلومینیوم را با وجود این پوششها می‌توان در کاربردهائی که نیاز به سختی و مقاومت سایشی بالا دارد مورد استفاده قرار داد. روشها و فرآیندهای مختلفی برای آندایزینگ سخت وجود دارد [۱]. برای ایجاد این پوششها می‌توان از جریان مستقیم یا همراه با جریان

متناوب و یا پالسی استفاده نمود [۳ و ۲]. مهمترین مشخصهٔ پوششهای آندی سخت، سختی و مقاومت سایشی بالای آنهاست به طوری که مقاومت سایشی آنها می‌تواند معادل یا بهتر از پوشش کرم سخت یا فولاد ابزار باشد. [۵ و ۴].

برای ایجادپوششهای‌آندی سخت‌می‌توان دانسیتهٔ جریان را افزایش و درجه حرارت راکاهش داد، همچنین‌غلظت اسید سولفوریک و زمان آندایزینگ را مناسب نمود. در این مقاله اثراین‌عوامل‌که‌درحقیقت‌درمحدوده شرایط‌آندایزینگ سخت هستند، بر روی کیفیت پوششهای آندی بررسی خواهد شد.

روش آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش از آلومینیوم ۱۱۰۰ که ترکیب شیمیائی آن دارای حداقل ۹۹ درصد آلومینیوم است انتخاب گردیده‌اند. ابعاد نمونه‌ها ۲×۵۰×۴۰ میلی‌متر می‌باشد. جهت برقراری اتصال الکتریکی، یک گوشه نمونه‌ها سوراخ شده و سپس مفتولهای آلومینیومی از آنها عبور داده و به نمونه‌ها متصل‌گردیده‌اند.جهت‌پولیش‌سطوح‌نمونه‌ها ازکاغذ سمباده شماره ۱۰۰ استفاده گردیده است. نمونه‌ها در محلول سود ۵ درصد در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۵ ثانیه چربی گیری و سپس در آب مقطر شستشو داده شده‌اند. مجموع تجهیزات آندایزینگ شامل: دستگاه سرد کننده، رکتیفایر، همزن‌مکانیکی‌و وان‌آبکاری‌فولادضدزنگ ۳۱۶ می‌باشد. جهت آندایزینگ‌سخت،ازمحلول اسید سولفوریک با غلظتهای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گرم بر لیتر در درجه حرارت‌های ۱۰-، ۰ و ۱۰ درجه سانتیگراد استفاده گردیده است. زمان آندایزینگ ۱۵،۳۰،۴۵، ۶۰ و ۸۰ دقیقه و دانسیته جریان ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵ و ۵ آمپربردسیمترمربع انتخاب گردیده است. پس ازانجام‌آندایزینگ‌سخت، نمونه‌ها با آب‌مقطرشستشوداده‌شده‌وسپس‌خشک‌گردیده‌اند.ضخامت پوششهای اکسید آندی توسط دستگاه پرماسکوپ و سختی آنها توسط میکروسختی سنج تحت‌نیروی ۱۰۰ گرم صورت گرفته است. مقاومت سایشی پوششهای ایجاد شده براساس سایش‌فلزبه‌فلزاندازه‌گیری‌شده‌است.برای‌هرنمونه‌سه آزمایش سایش انجام شده‌که متوسط آنها محاسبه گردیده است.

نتایج

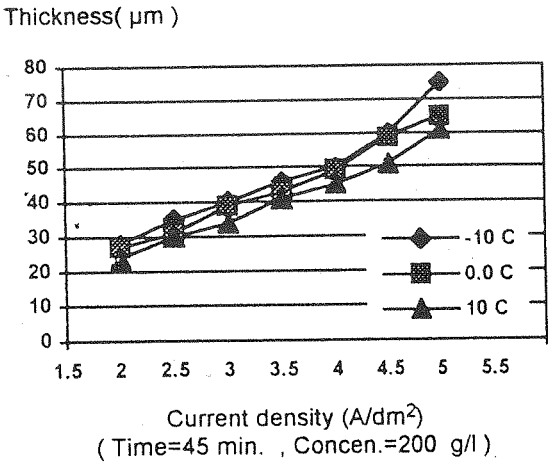
کیفیت پوششهای آندی سخت از نقطه نظر ضخامت، سختی و مقاومت سایشی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

الف ـ ضخامت

تغییرات ضخامت پوششهای اکسید آندی سخت با دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ به‌ترتیب درجداول (۱ و ۲) و شکلهای (۱ و ۲) نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، با افزایش دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ، ضخامت نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش درجه حرارت سبب کاهش ضخامت گردیده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، ضخامت پوشش در محلول اسید سولفوریک ۲۰۰ گرم بر لیتر کمتر از سایر غلظتها می‌باشد.

جدول (۱) اثر دانسیتهٔ جریان درضخامت پوششهای آندی سخت در درجه حرارتهای مختلف
(دقیقه t =۴۵ ، غلظت اسید سولفوریک ۲۰۰ g/l)

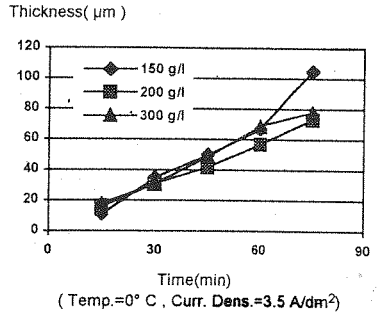
دانسیتهٔ جریان (A/dm2)	درجه حرارت (°C) / ضخامت (M)		
	-۱۰	۰	۱۰
۲	۲۸	۲۷	۲۴
۲/۵	۳۵	۳۱	۳۰
۳	۴۰	۳۹	۳۴
۳/۵	۴۶	۴۳	۴۱
۴	۵۰	۴۹	۴۵
۴/۵	۶۰	۵۹	۵۱
۵	۷۵	۶۵	۶۱



شکل (۱) اثر دانسیتهٔ جریان درضخامت پوشش‌های آندی سخت در درجه حرارتهای مختلف

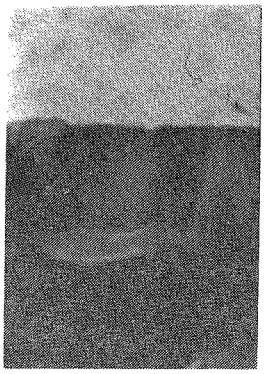
جدول (۲) اثر زمان آندایزینگ در ضخامت پوششهای آندی سخت در غلظتهای مختلف اسید سولفوریک
(I = ۳/۵ A/dm2 ، T=۵°C)

زمان آندایزینگ (min)	غلظت اسیدسولفوریک (g/l) / ضخامت (μ) (میکرون) ۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰
۱۵	۱۱	۱۶	۱۸
۳۰	۳۵	۳۱	۳۱
۴۵	۵۰	۴۲	۴۹
۶۰	۶۷	۵۷	۶۹
۸۰	۱۰۵	۷۳	۷۸



شکل (۲) اثر زمان آندایزینگ درضخامت پوششهای آندی سخت در غلظتهای مختلف

شکل (۳) مقطع میکروسکوپی پوشش آندی سخت بدست آمده در شرایط: دانسیتهٔ جریان ۳/۵ آمپر بر دسیمتر مربع، غلظت اسید سولفوریک، ۲۰۰ g/l، دما صفر درجه سانتیگراد و زمان ۱۵ دقیقه را نشان می‌دهد.



شکل (۳) مقطع میکروسکوپی پوشش آندی سخت

ب ـ سختی

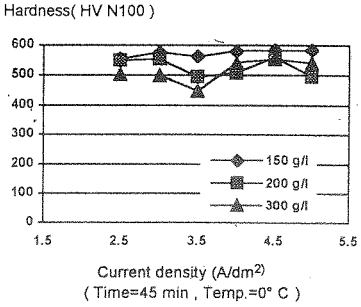
تغییرات سختی پوششهای اکسید آندی بدست آمده در دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ مختلف در جداول (۳ و ۴) و شکلهای (۴ و ۵) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، سختی با افزایش دانسیتهٔ جریان، افزایش می‌یابد. درحالی که افزایش غلظت اسید سولفوریک و درجه حرارت سبب کاهش نسبتاً کم سختی می‌گردد.

ج ـ سایش

جداول (۵ و ۶) تغییرات حجم سایش پوششهای آندی سخت را با غلظت و دانسیتهٔ جریان نشان می‌دهد. منحنیهای این تغییرات به ترتیب در شکلهای (۶ و ۷) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود افزایش درجه حرارت و زمان آندایزینگ، موجب افزایش میزان سایش گردیده است. افزایش بیش از حد دانسیتهٔ جریان، سبب کاهش مقاومت سایشی می‌گردد. بهترین مقاومت سایشی در غلظتهای اسید سولفوریک g/l ۲۵۰ـ۲۰۰ است.

جدول (۳) اثر دانسیتهٔ جریان در سختی پوششهای آندی سخت در غلظتهای مختلف اسید سولفوریک.
(T = 0°C ، t = ۴۵ دقیقه)

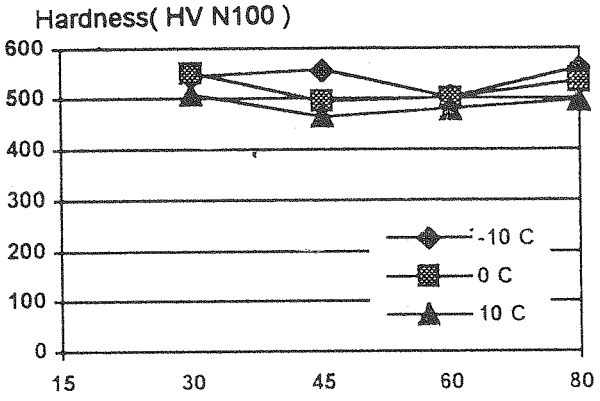
دانسیتهٔ جریان (A/dm2)	غلظت اسیدسولفوریک (g/l) / سختی (VHN) ۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰
۲/۵	۵۵۴	۵۴۹	۵۰۲
۳	۵۷۶/۶	۵۵۴	۵۰۰/۵
۳/۵	۵۶۱/۲	۴۹۴/۵	۴۸۸
۴	۵۸۱/۷	۵۰۹/۴	۵۴۲
۴/۵	۵۲/۳	۵۶۰	۵۵۴
۵	۵۸۳	۴۹۵/۵	۵۴۰



شکل (۴) اثر دانسیتهٔ جریان در سختی پوششهای آندی سخت در غلظتهای مختلف اسید سولفوریک.

جدول (۴) اثر زمان آندایزینگ در سختی پوششهای آندی در درجه حرارتهای مختلف غلظت اسید سولفوریک:
(I =۳/۵ A/dm2 ،۲۰۰ g/l

زمان آندایزینگ (min)	سختی (VHN) / درجه حرارت (°C)		
	-۱۰	۰	۱۰
۳۰	۵۴۴	۵۴۹/۵	۵۰۸
۴۵	۵۵۶	۴۹۴/۵	۴۶۴
۶۰	۵۰۲	۵۰۱	۴۸۰
۸۰	۵۶۰	۵۳۵	۴۹۶/۵

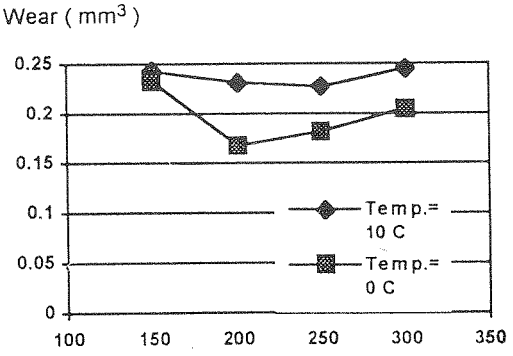


(Conc.=200 g/l , Curr.Dens.=3.5 A/dm^2)

شکل (۵) اثر زمان آندایزینگ بر سختی پوششهای آندی سخت در درجه حرارتهای مختلف

جدول (۵) اثر غلظت اسید سولفوریک در میزان سایش پوششهای آندی در درجه حرارتهای مختلف
(دقیقه t=۴۵ ، I = ۳/۵ A/dm2)

غلظت اسید سولفوریک (g/l)	حجم سایش (mm^3) / درجه حرارت (°C)	
	۰	۱۰
۱۵۰	۰/۲۳۳۱	۰/۲۴۲۷
۲۰۰	۰/۱۶۷۴	۰/۲۳۱۱
۲۵۰	۰/۱۸۱۹	۰/۲۲۷۲
۲۰۰	۰/۲۰۵۰	۰/۲۴۵۰

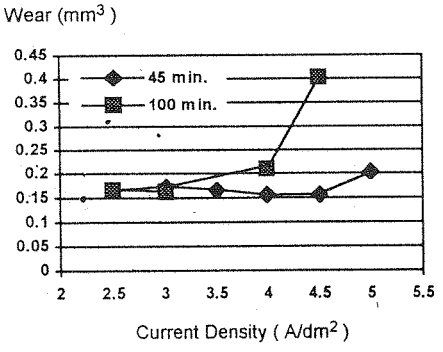


(Curr.Dens.=3.5 A/dm^2 , Time=45 min)

شکل (۶) تغییرات مقاومت سایشی پوششهای آندی سخت با غلظت اسید سولفوریک در درجه حرارتهای مختلف

جدول (۶) اثر دانسیتهٔ جریان در مقاومت سایشی پوششهای آندی سخت در زمانهای مختلف
(T=0°C ، غلظت اسید سولفوریک: ۲۰۰ g/l)

دانسیتهٔ جریان (A/dm2)	حجم سایش (mm^3) / زمان آندایزینگ (min)	
	۴۵	۱۰۰
۲/۵	۰/۱۶۶۳	۰/۱۶۷۰
۳	۰/۱۷۳۴	۰/۱۶۲۷
۳/۵	۰/۱۶۷۴	—
۴	۰/۱۵۵۱	۰/۲۱۱۷
۴/۵	۰/۱۵۷۲	۰/۴۰۱۷
۵	۰/۲۰۲۴	—



شکل (۷) تغییرات مقاومت سایشی پوششهای آندی سخت با دانسیتهٔ جریان در زمانهای آندایزینگ مختلف.

نتیجه گیری

افزایش دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ موجب افزایش سریع ضخامت پوششهای آندی سخت می‌شود و اگر دانسیتهٔ جریان و زمان آندایزینگ هر دو به طور همزمان عمل کنند، پوششهای آندی بسیار ضخیمی بدست می‌آید و چون درجه حرارت آندایزینگ در آندایزینگ سخت پائین است؛ عمل انحلال اکسید توسط اسید سولفوریک رخ می‌دهد و در نتیجه در زمانهای طولانی، کسب پوششهای ضخیم میسر می‌گردد.

کاهش درجه حرارت موجب کاهش انحلال اکسید، توسط اسید سولفوریک می‌گردد که در نهایت سبب افزایش پوششهای آندی سخت می‌شود.

در غلظت ۲۰۰ گرم بر لیتر، ضخامت پوششهای آندی نسبت به سایر غلظتهای آزمایش شده کمتر گردیده که علت آن احتمالاً به خاطر سرعت بالای حل شدن اکسید توسط اسید سولفوریک در این غلظت است [۱].

کاهش درجه حرارت، موجب افزایش مقاومت سایشی پوششهای آندی سخت گشته است. افزایش دانسیتهٔ جریان بر روی مقاومت سایشی در ابتدا از قانون خاصی پیروی نمی‌کند؛ اما در دانسیتهٔ جریان بیش از A/dm2 ۴ مقاومت سایشی پوششهای آندی سخت بطور سریع کاهش پیدا کرده است. این پدیده می‌تواند به دلیل سوختن سطح این پوششها در دانسیتهٔ جریانهای بالا و در نتیجه نرم شدن آنها باشد [۱]. به همین دلیل عموماً دانسیتهٔ جریان در الکترولیت اسید سولفوریک A/dm2 ۴ ـ ۲/۵ در نظر گرفته می‌شود [۶].

بهترین مقاومت سایشی پوششهای آندی، در غلظت اسید سولفوریک g/l ۲۵۰ـ۲۰۰ بدست آمده که مطابق با نتایج آزمایشات روسها و همچنین فرآیند «GS» در آلمان با غلظت اسمی اسید سولفوریک g/l ۲۳۰ می‌باشد [۷].

بطور کلی افزایش دانسیتهٔ جریان، موجب افزایش سختی پوششهای آندی گشته است. در درجه حرارت بالا به دلیل حل شدن سریع اکسید توسط الکترولیت، پوششهای متخلخل‌تری بدست می‌آید که از سختی کمتری برخوردار هستند و دیده می‌شود که افزاش درجه حرارت، موجب کاهش سختی پوششهای آندی گشته است.

بیشترین سختی در غلظت اسید سولفوریک g/l ۱۵۰ بدست آمده که با افزایش غلظت اسید سولفوریک سختی پوششهای آندی نیز کاهش پیدا کرده است. در بیشتر تحقیقات انجام گرفته نیز بهترین نتایج از نظر سختی در غلظت g/l ۲۰۰ـ۱۵۰ بدست آمده است [۷].

منابع

[1] S. Wernick, R. Pinner and P.G. Sheasby, "The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and its Alloys" Finishing Publication Ltd, Teddington, Middesex, England 1971.

[2] I.C. Colombini, Elca, "Anodizing with pulse current Finishing", 1991.

[3] V.L. Narashimhan, S. Vincent and D. Kanagarag, "The Influence of Super emposing varying of pulse current over Direct current on the Hard Anodizing of Aluminium, B. Electrochem. 5(7) July 1989.

[4] J.G. Hecker, "Aluminium Hard Coats", products Finishing, Dec. 1988.

[5] F. Hoyduck and C. Durey "The case for Hard Anodizing", products Finishing, July 1988.

[6] J. Pernick, "Problems in Hard coat Anodizing" Plating and surface Finishing, June 1988.

[7] A.W. Brace and P.C. Sheasby "The Technology of Anodizing Aluminium", Technicopy Ltd, Stonehouse, Cloustershire, England, 1979.