

# پیام آبرکار

پوشش‌های  
سطحی

www.irancoat.ir ISSN 2228-6268

بهار ۱۳۹۴ - ضمیمه نشریه پوشش‌های سطحی  
ویژه صنعت آبرکاری و مهندسی سطح

■ افتتاح مرکز توسعه نانو پوشش

■ شکل صنعت آبرکاری سبز در چهاردهمین نمایشگاه محیط زیست

■ فرایند آبرکاری نقره بدون سیانور در وان تیوسولفات و آنالیز ساختمان میکروسکوپی پوشش نقره

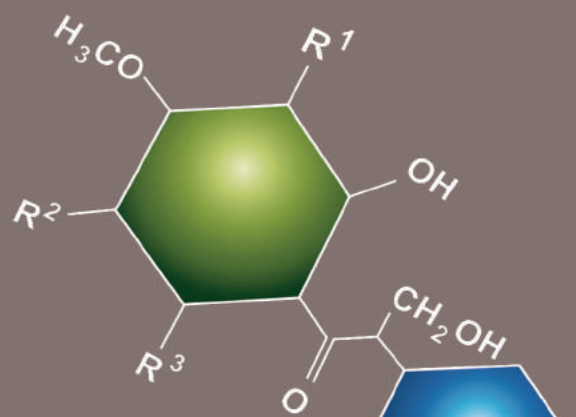
■ آبرکاری پوشش‌های کامپوزیتی به کمک امواج التراسونیک در حضور ذرات معلق

■ مطالعه خوردگی تنشی آلیاژ آلومینیم پوشش کروماته شده در صنایع هوایی

■ پوشش‌های کامپوزیت نیکل الکتروولس



## نیکاب شیمی



تولیدکننده مواد شیمیایی آبرکاری و چربیگیر و فسفات‌های صنعتی  
مشاوره و راه اندازی خطوط دستی، نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک آبرکاری  
مشاوره، طراحی و راه اندازی خطوط تصفیه پساب آبرکاری  
ارائه دوره های کوتاه مدت آموزش فنی و تخصصی آبرکاری

www.nikabchemie.com - info@nikabchemie.com

تلفن: ۶۶۸۲۹۵۵۹ - ۶۶۸۱۰۰۴۹

فهرست مطالب

۲ سخن سردبیر

گزارش

۳ نمایشگاه آبکاری ایران ۱۳۹۳

۷ دوره‌های آموزشی آبکاری دپارتمان رنگ و آبکاری جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

۸ افتتاح مرکز توسعه نانوپوشش

۱۰ شرکت نیکل گستر

۱۲ شکل صنعت آبکاری سبز در چهاردهمین نمایشگاه محیط زیست

۱۳ اخبار کوتاه داخلی و خارجی

مقالات تخصصی

۱۷ فرایند آبکاری نقره بدون سیانور در وان تیوسولفات و آنالیز ساختمان میکروسکوپی پوشش نقره

۲۲ آبکاری پوششهای کامپوزیتی به کمک امواج التراسونیک در حضور ذرات معلق (۱)

۳۱ مطالعه خوردگی تنشی آلیاژ آلومینیم پوشش کروماته شده در صنایع هوایی

۳۹ پوششهای کامپوزیت نیکل کترولس (۱)

۴۵ معرفی کتب تخصصی

۴۶ تقویم همایشها و نمایشگاه‌های داخلی و بین‌المللی

۴۸ فهرست انگلیسی

ضمیمه نشریه پوششهای سطحی

پیام آبکار

ویژه صنعت آبکاری و مهندسی سطح

بهار ۱۳۹۴

بنیانگذار:

واروژ آقاجانیان

مدیرمسئول و سردبیر:

سینا فضل‌اللهی

هیئت تحریریه:

جلال حسن

محمد شیرازی

محسن تقی‌پور

احسان هرمزی‌نژاد

علیرضا ریحان

حسین نویدی زاده

مریم درویش

کامپیوتر و اینترنت:

پویا پیرزاده

مدیر داخلی:

سودابه فیضی

مدیر اجرایی و ویراستار:

سمیه قویدل

طراح هنری:

فرزاد عبدالخالقی

تماس با ما:

تهران، میدان تجریش، خیابان فناخسرو، ساختمان

ملک، واحد ۸، صندوق پستی ۱۶۷۶۵-۴۹۱

تلفن: ۲۲۷۴۸۸۱۲ و ۲۲۸۵۳۳۸۰

نمابر: ۲۲۷۴۰۸۷۸ و ۲۲۸۵۳۳۸۱

www.irancoat.ir

info@irancoat.ir

لیتوگرافی و چاپ:

چاپ میران

تهران، خیابان سعدی، خیابان منوچهری

بعد از تقاطع لاله زار، کوچه ژاندارک، پلاک ۴

تاریخ انتشار: فروردین ۱۳۹۴

- از کلیه اساتید، صنعتگران و کارشناسان دعوت می‌شود، مقالات خود را در زمینه‌های آبکاری، مهندسی سطح و پوششهای صنعتی، به دفتر نشریه ارسال نمایند.
- حق ویرایش و اصلاح مطالب برای نشریه محفوظ است.
- نقل و اقتباس مطالب این نشریه با ذکر ماخذ، آزاد است.
- نشریه هیچ گونه مسئولیتی در رابطه با محتوای آگهی‌ها ندارد.

شرکت نیکاب شیمی

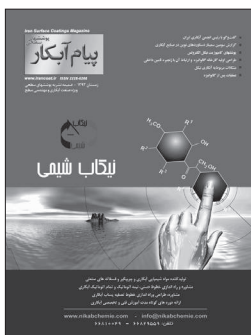
تولید و عرضه مواد شیمیایی آبکاری

مشاوره و راه اندازی خطوط دستی و اتوماتیک آبکاری

آنالیز و رفع عیوب محلولهای آبکاری

تلفن: ۶۶۸۱۰۰۴۹ - ۶۶۸۲۹۵۵۹

www.nikabchemie.com



## سخن سردبیر

نشریه پوششهای سطحی و پیام آبکار با همکاری مرکز آموزش عالی جهاد دانشگاهی صنعتی شریف، دپارتمان آموزشی رنگ، آبکاری و پوشش را در این مرکز به منظور ارائه آموزشهای تخصصی و کاربردی راه اندازی نموده اند. علاقمندان به همکاری با این دپارتمان می توانند با جهاد دانشگاهی و یا دفتر نشریه تماس حاصل نمایند.

در مهرماه امسال، دومین نمایشگاه مهندسی سطح و آبکاری همزمان با نمایشگاه رنگ در استانبول ترکیه برگزار می شود. نشریه پیام آبکار علاوه بر اخذ غرفه در این نمایشگاه، ویژه نامه ای را هم به منظور معرفی پتانسیلهای صنعت آبکاری ایران جهت توزیع در نمایشگاه به چاپ می رساند. شرکتهای علاقمند به حضور در این ویژه نامه می توانند از هم اکنون اقدام نمایند. پس از برگزاری دو گردهمایی فنی- تجاری موفق توسط شرکتهای فلزآب و ایران بورد الکترونیک در سال گذشته به منظور معرفی محصولات جدید و ارائه توانایی های شرکتهای مادر، امسال نیز این روند با برگزاری گردهمایی "ارتقاء مواد اولیه، تجهیزات و دانش صنعت آبکاری" توسط شرکت نیکل گستر و با حضور تعدادی از نمایندگان شرکتهای خارجی، در بهار ادامه می یابد. امسال نیز همچون سالهای گذشته، پوستر تقویم صنعت آبکاری با حمایت تعدادی از شرکتهای بزرگ این صنعت به چاپ رسید که همراه با این شماره از نشریه، خدمت مشترکین محترم تقدیم می گردد.

سینا فضل اللهی



## نمایشگاه آبکاری ایران ۱۳۹۳ IranPlating 2014

**آنودایزینگ آلومینیوم آروین**  
مدیرعامل: کورش صالحیان  
زمینه فعالیت: خدمات آنودیزر سخت و معمولی آلومینیوم  
تلفن: ۵۶۴۲۰۳۴۸

**آیسا هیتر**  
مدیرعامل: حمید طالقانی  
زمینه فعالیت: تولید تجهیزات آبکاری  
تلفن: ۳۳۹۷۰۹۷۳

**انجمن صنایع آبکاری ایران**  
مدیرعامل: نوروز خان  
تلفن: ۴۴۸۴۲۲۳۹-۴۰

**ایران بورد الکترونیک**  
مدیرعامل: رضا مهتر قره داغی  
زمینه فعالیت: ارائه کننده دانش فنی، مواد اولیه و تجهیزات آبکاری و سیستم‌های اتوماتیک خنثی سازی پساب  
تلفن: ۵۵۰۳۲۱۳۳

**پارس نیکل**  
مدیرعامل: کرامت اله حمیدی جهرمی  
زمینه فعالیت: تولید کننده مواد فسفات و آبکاری  
تلفن: ۲۲۸۴۱۰۲۵

**تکنوتیتان**  
مدیرعامل: محمدرضا اندامی  
تلفن: ۳۳۵۲۱۸۵۶

نمایشگاه آبکاری ایران ۱۳۹۳ با حضور ۲۸ شرکت و همزمان با چهاردهمین نمایشگاه بین المللی رنگ و پوشش در محل دائمی نمایشگاه های تهران و تمرکز در سالن ۴۱ از تاریخ ۲۶ الی ۲۹ آذرماه ۱۳۹۳ برگزار گردید. امسال برای اولین بار در چند سال اخیر، شرکت کنندگان ارزی نیز در این بخش، حضوری فعال داشتند.

نمایشگاه آبکاری با توجه به دایره وسیع مصرف کنندگان که صنایع مختلف را دربر می گیرد، مورد توجه و بازدید گسترده صنعتگران قرار گرفت به طوریکه یکی از موفق ترین دوره های حضور خود را رقم زد. چهار دوره حضور مستمر صنعت آبکاری در این نمایشگاه همواره با رشد در تعداد و فضای تخصیصی به آنها مواجه بوده است به طوریکه از ۱۴ شرکت در سال ۱۳۹۰ به ۲۸ شرکت در سال ۱۳۹۳ ارتقاء یافته است.

انتظار مشارکت کنندگان آنست که کلمه آبکاری در عنوان اصلی نمایشگاه درج گردد که با توجه به پیگیریهای برگزار کننده (شرکت بانیان امید) و انجمن صنایع آبکاری، امیدواریم این مسئله در سال جاری محقق گردد.

در ادامه، لیست شرکت کنندگان در نمایشگاه همراه با مشخصات آنها آمده است:

### آبتین صنعت

مدیرعامل: سیروس نوری خانقاه  
زمینه فعالیت: پمپ، فیلتر محفظه‌های، فیلتر پرس، قطعات و تجهیزات ضد خوردگی  
تلفن: ۶۶۸۱۱۶۵۵

### آذین فلز پوشش

مدیرعامل: محسن شایان منش  
تلفن: ۵۵۲۵۹۰۹۲



### نیکل فرایند

مدیرعامل: احمد جعفریان

زمینه فعالیت: کلیه افزودنی های مربوط به آبکاری و پوشش

دهی فلزات، مواد شیمیایی آماده سازی سطح

تلفن: ۶۶۸۱۷۰۱۱

### ردوکس شیمی

مدیرعامل: علیرضا ریحان

زمینه فعالیت:

مواد شیمیایی سیاه کاری و آنتیک کاری فلزات

تلفن: ۸۸۷۹۴۸۶۱

### رنگین پوشش

مدیرعامل: ایمان بقال زاده

زمینه فعالیت: خدمات آبکاری، تولید مواد شیمیایی، طراحی

و ساخت سیستمهای تصفیه پساب آبکاری

تلفن: ۶۵۴۶۶۰۵۸

### سیلیکون تبدیل توان بین الملل

زمینه فعالیت: انواع رکتیفایرهای نسل جدید و منابع تغذیه

سوئیچینگ

تلفن: ۷۷۲۲۹۵۶۷

### سیماب گران پارسیان

مدیرعامل: ابراهیم اوسطی

زمینه فعالیت: خدمات آبکاری و الکتروپولیش و فروش چرخ

سمباده جهت پرداختکاری

تلفن: ۵۵۳۹۵۷۶۶

### شرکت پوشش فلز زرین

مدیرعامل: سید جواد گرامی

زمینه فعالیت: انواع تجهیزات آبکاری

تلفن: ۰۲۳-۳۴۵۷۲۲۵۵





### فلزاب

مدیرعامل: محمد محمدی ایزد  
 زمینه فعالیت: مواد اولیه و دانش فنی و مشاوره پوششهای  
 صنعتی آبکاری و رنگ  
 تلفن: ۸۸۸۹۵۰۱۳

### شیمیایی مجید

مدیرعامل: مهدی رضا قلی گل  
 زمینه فعالیت: مواد شیمیایی  
 تلفن: ۶۶۷۸۳۰۸۲



### شیمیایی جهانتاب

مدیرعامل: هوشنگ رفیعی طاری  
 زمینه فعالیت: تولید کننده مواد شیمیایی مرتبط با صنعت  
 آبکاری مشاوه و راه اندازی کارگاه های آبکاری، آنالیز مواد  
 تلفن: ۶۶۴۱۴۵۱۹-۲۰

### فرانیکل سپاهان

مدیرعامل: مهرداد باقری  
 زمینه فعالیت: مشاوره، طراحی، ساخت و راه اندازی کلیه خطوط  
 آبکاری، فسفاتد و چربیگیر و تصفیه فاضلاب  
 تلفن: ۰۳۱-۳۶۶۱۹۵۷۰



### کارخانه آبکاری عارفی و حمید

مدیرعامل: محسن عارفی  
 زمینه فعالیت: آبکاری نیکل الکتروس، گالوانیزه، قلع، طلا  
 الکتروس، فروش کلیه ملزومات آبکاری  
 تلفن: ۷۷۳۳۹۰۵۵

### کیمیا تهران اسید

مدیرعامل: محمود رضا یوسفی  
 زمینه فعالیت:  
 تولید و پخش مواد شیمیایی، اسیدها، آب مقطر، رسوب زدا،



آبکاری، مواد شیمیایی تخصصی، پودری در گرید صنعتی  
تلفن: ۳۳۷۰۳۷۱۰

### گروه بازرگانی آروکو

مدیرعامل: محمد ابراهیم مسعودی  
زمینه فعالیت: ارائه دانش فنی، مواد اولیه و تجهیزات سیستمهای  
آبکاری الکتروفور تیک  
تلفن: ۰۲۶-۳۴۵۰۴۹۸۰

### گل کار سپاهان

مدیرعامل: ناصر گلکار  
زمینه فعالیت: آندهای مس فسفدار، آندهای مسی خالص  
تلفن: ۰۳۱-۴۲۴۴۱۱۴۵

### مهندسی زیست پاک کیمیا

مدیرعامل: امید جلالی فر  
تلفن: ۸۸۷۹۴۸۶۱

### مینا سطح آرا

مدیرعامل: علی کفایی  
زمینه فعالیت: آبکاریهای صنعتی و تخصصی (کرم سخت،  
نیکل سخت، کرم مشکی) تولید رنگهای پودری دکورال، انواع  
کاغذهای دکورال  
تلفن: ۷۷۸۸۹۲۹۲

### نشریه پوشش های سطحی

مدیرعامل: سینا فضل اللهی  
زمینه فعالیت: ناشر نشریات تخصصی پوششهای سطحی، پیام  
آبکار، صنعت ساختمان و رنگ  
تلفن: ۲۲۸۵۳۶۸۰

### نیکل پارسیان

مدیرعامل: مهران زینعلی  
زمینه فعالیت: فروش مواد اولیه صنعت آبکاری  
تلفن: ۲۲۸۷۲۶۲۳

### نیکل گستر

مدیرعامل: یاسر قدردان  
زمینه فعالیت: ارائه کننده مواد اولیه، تجهیزات و دانش آبکاری  
و پرداختکاری (واردات، تولید، توزیع)  
تلفن: ۷۷۸۰۷۳۰۲





## برگزاری دوره آموزشی آبکاری عمومی

مدرس این دوره جناب آقای مهندس علیرضا ریحان، به صورت فشرده ضمن یادآوری دانش پایه آبکاری، اصطلاحات و تجهیزات آبکاری را معرفی نموده و به تشریح فرایندهای الکترولیتی پرداختند.

اسامی شرکت کنندگان این دوره عبارتند از:

- بهرننگ ایزدخواه، شرکت چاپ طلای ارومیه
- محمد قربانی، شخصی
- علی رنجبر، شخصی
- کاظم کفاشیان، پتروشیمی سازند
- محمود اسدی عراقی، شرکت گیجین
- شیما عطایی کچویی، شرکت شاهین مفصل
- محمدعلی کیانی، بانک مرکزی
- بهزاد خرسند، بانک مرکزی
- علی شعرافزاده، شرکت حایر پلاست
- امیر سمیعی سنجانی، شرکت آلومرول نوین
- علی اصغر اسماعیلی، شخصی

علاقمندان جهت ثبت نام و کسب اطلاعات بیشتر برای دوره های آینده دپارتمان می توانند با شماره تلفن ۲۲۷۴۸۸۱۲ تماس حاصل نمایند.



پیشرفتهای آبکاری طی سالهای گذشته، خصوصا با ورود فارغ التحصیلان دانشگاهی در رشته های مواد و شیمی، کاملا مشهود است ولی همچنان، جای خالی آموزشهای کاربردی احساس می شود.

اخیرا بدین منظور، دپارتمان رنگ و آبکاری در مرکز آموزش عالی علمی و کاربردی جهاد دانشگاهی صنعتی شریف و به همت نشریه پوششهای سطحی تاسیس گردیده است. در این دپارتمان، دوره های آموزشی مختلف در زمینه آبکاری عمومی و تخصصی برگزار می گردد. در ادامه گزارش مربوط به برگزاری دوره آبکاری عمومی آمده است:

دوره آموزشی تخصصی - کاربردی آبکاری عمومی در تاریخ ۱۵ بهمن ماه ۱۳۹۳ در مرکز آموزش عالی علمی و کاربردی جهاد دانشگاهی صنعتی شریف توسط دپارتمان رنگ، آبکاری و پوشش جهاد دانشگاهی و با همکاری نشریه پوششهای سطحی برگزار گردید.

در این دوره آموزشی یک روزه، شرکت کنندگان با اصول آبکاری فلزات آشنا شده و مهارت اولیه برای انجام فرآیند آماده سازی قطعات و اصول آماده سازی وان آبکاری را آموختند و مهارت لازم برای آموزشهای تخصصی را کسب نمودند.



## افتتاح مرکز توسعه نانو پوشش



ارتباط صنایع با دانشگاه و اساتید را تسهیل کرده و پروژه‌های صنعتی را به اساتید معرفی کند.

کلینیک صنعت که عنوان خدمت دیگری از این مرکز محسوب می‌شود موظف است چالش‌های صنایع را مطرح کند تا توسط شرکت‌های دانش‌بنیان این مشکلات حل شود.

گفتنی است در دهه‌های اخیر استفاده از نانو پوشش‌ها به عنوان مواد روکش بر روی ابزارها، قطعات و قالب‌های صنعتی کاربردهای گسترده‌ای یافته است، به گونه‌ای که اکثر شرکت‌های بزرگ صنعتی دنیا، بحث پوشش‌دهی را جزء فرآیند نهایی و غیرقابل اجتناب در ساخت قطعه یا ابزارها قرار داده‌اند. صنعتگران کشورمان نیز در تلاشند تا با استفاده از این پوشش‌ها کیفیت و عمر کاری قطعات و ابزارها را افزایش داده و در نتیجه هزینه‌های کلی واحدهای صنعتی را کاهش دهند.

شایان ذکر است مرکز توسعه نانو پوشش یکی از زیرمجموعه‌های کارگروه صنعت و بازار ستاد ویژه توسعه فناوری نانو است. این مرکز یک مدل بومی توانمندسازی فناوری، با هدف توسعه و تقویت فناوری نانو پوشش در کشور و نیز کمک به ایجاد سکوی فناوری مناسب جهت تبادل فناورانه بین صنعتگران و فناوران ایرانی است.

در حال حاضر مرکز توسعه نانو پوشش در گام اول با ارائه خدماتی همچون مشاوره و عارضه‌یابی، مهندسی، تحقیق و توسعه، و آموزش تخصصی و حمایت‌های مالی ویژه در صدد بهره‌مندی صنایع و شرکت‌های متقاضی در حیطه این فناوری است. همچنین این مرکز تصمیم دارد در آینده نه چندان دور به عنوان یکی از برترین مراکز در حیطه فناوری نانو در آسیا خود را معرفی کند تا از این رو به صادرات این فناوری دست یابد.

[www.nanocoating.ir](http://www.nanocoating.ir)

مرکز توسعه نانو پوشش ۲۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۳، با برپایی نشست تخصصی در ستاد توسعه فناوری نانو آغاز به کار کرد.

در ابتدای این نشست دکتر اسدی‌فرد ضمن معرفی برنامه‌های حمایتی ستاد نانو طرح‌های موفق ستاد در زمینه صنعتی‌سازی فناوری را برشمرد. همچنین مراحل کاری مرکز و حمایت‌های ستاد از صنایع و پایان‌نامه‌های صنعتی و پروژه‌های صنعتی مرتبط با نانو پوشش‌ها توسط دکتر اسدی‌فرد و مهندس موسوی‌زاده معرفی شد. در همین راستا ۲۵ عنوان پایان‌نامه صنعتی به اساتید حاضر در نشست معرفی شد. همچنین در حدود ۱۳ چالش صنعتی برای یافتن راه‌حل در قالب پروپوزال و پایان‌نامه‌های دانشجویی برای اساتید تشریح شد. گفتنی است این پایان‌نامه‌ها تا سقف ۴ تا ۵ میلیون تومان از سوی ستاد نانو مورد حمایت قرار خواهند گرفت.

در ادامه این نشست تخصصی، سمیناری با عنوان «معرفی فرصت‌های صنعتی و تجاری نانو پوشش‌ها در ایران توسط دکتر حسن علم‌خواه ارایه شد.

شایان ذکر است، در این نشست ۱۲ نفر از اساتید برتر کشور در حوزه نانو پوشش از دانشگاه‌های تربیت مدرس، صنعتی اصفهان، صنعتی امیرکبیر، تهران، صنعتی شریف، خواجه نصیر، پژوهشگاه مواد و انرژی و سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی و همچنین مدیران و کارشناسان فنی ۲۵ شرکت صنعتی از جمله ایران خودرو، سایپا، تراکتورسازی، سازمان صنایع هوایی، نیرومحرکه، الماسه‌ساز، رینگ خودرو پارس، چرخشگر، ایدم، مگاماتور، پرتو، اوتک، توریو تک و ... که در صنایع خود از فناوری نانو پوشش‌ها استفاده می‌کنند؛ حضور داشتند.

در انتهای این جلسه هم‌اندیشی با حضور صاحبان صنایع، اساتید و شرکت‌های دانش‌بنیان و کارشناسان کارگروه صنعت و بازار برگزار شد و چالش‌های صنایع و صنعتی‌سازی نانو پوشش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در جلسه پرسش و پاسخ، کمرنگ بودن نحوه حمایت از صنایع و کند بودن مکانیزم جواب‌دهی به درخواست‌ها از سوی صنایع مطرح شد. همچنین اساتید دانشگاهی نیز از کم‌صبری صنایع و کسب کمک از کشورهای خارجی برای حل مشکلات‌شان ابراز گلایه کردند.

### از علم نانو پوشش تا صنعتی‌سازی

به گفته مدیر مرکز نانو پوشش در این نشست که مورد استقبال صاحبان صنایع قرار گرفت مشخص شد این مرکز می‌تواند حلقه مفقوده ارتباط بین صنایع و دانشگاه‌ها باشد.

موسوی‌زاده افزود این مرکز علاوه بر برگزاری نشست، خدمات متنوع زیادی ارایه می‌کند که از آن جمله می‌توان به پلتفرم فناوری نانو پوشش اشاره کرد که تمام ذی‌نفعان این فناوری را در خود جمع کرده و بحث



### عناوین پایان نامه های پیشنهادی

بررسی تاثیر فشار گاز آرگون بر خواص پوشش TiN در فرایند پوشش دهی به روش قوس کاتدی (چسبندگی، سختی، تراکم، تنش پسماند و غیره)
ارزیابی پارامترهای تاثیر گذار روی خواص پوشش نانو ساختار CrN ایجاد شده به روش PACVD روی فولاد سرد کار
بررسی و مقایسه تاثیر ولتاژ بایاس پالسی و مستقیم (DC) بر خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش TiAIN ایجاد شده به روش قوس کاتدی.
ایجاد و ارزیابی پوشش چند لایه خودروانکار، DLC.Si.N به روش قوس کاتدی با تبخیر تارگت Si و گرافیک برای کاربرد هوافضا
ایجاد و ارزیابی پوشش نانو کامپوزیت، DLC.Si.N به روش قوس کاتدی یا تبخیر همزمان تارگت Si و گرافیت برای کاربرد هوافضا
بررسی تاثیر ترکیب پلاسمای گازی و درصد چرخه اول بر خواص مکانیکی و سایشی پوشش نانو ساختار TiCN
بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر افزایش انحلال کربن در ساختار FCC TiN به منظور دستیابی به پوشش TiCN با حداکثر انحلال کربن بدون تشکیل فاز TiC
ایجاد و بررسی خواص مکانیکی پوشش نانو ساختار چند لایه CrN/CrTiN روی فولاد سرد کار به روش PACVD
ایجاد پوشش نانو ساختار TiAIN به روش هیبریدی قوس کاتدی / کندوپاش مغناطیسی و مقایسه خواص آن با پوشش ایجاد شده به روش قوس کاتدی
بررسی اثرات بمباران یونی و اچ پلاسمایی (Metal Plasma Etching) بر بهبود خواص چسبندگی پوشش نانو ساختار پایه نیتريدی و مطالعه پارامترهای موثر بر آن
بررسی تاثیر درصد کربن و سیلیسیوم بر خواص مکانیکی و تریبولوژیکی پوشش نانو کامپوزیت TiSiCN به روش PACVD شناسایی کاربردهای آن در صنعت شکل دهی فلزات و قالب سازی
پارامترهای موثر بر ایجاد پوشش DLC به روش قوس کاتدی با استفاده از تبخیر تارگت گرافیت
ارزیابی خواص پوشش های نانو کامپوزیتی TiSiN و TiSiCN به روش Arc.PVD و شناسایی کاربردهای آن ها در صنعت شکل دهی فلزات و قالب سازی
دستیابی به پوشش نانو کامپوزیت TiAISiN با روش PACVD و بررسی اثر Si بر خواص مکانیکی و تریبولوژیکی آن و مطالعه مکانیزم رشد آن
تاثیر پارامترهای پوشش دهی از قبیل فشار گاز ازت بر ایجاد ساختار نانو کامپوزیت برای پوشش TiAIN به روش قوس کاتدی
بررسی عوامل موثر بر کاهش ضریب اصطکاک پوشش نانو ساختار CrN ایجاد شده به روش PACVD

## شرکت نیکل گستر تامین الف تایی در صنعت آبکاری



به دریافت نمایندگی انحصاری شرکت HSO آلمان در ایران در زمینه واردات افزودنی های انواع پروسه های آبکاری و فعالیت به عنوان نمایندگی انحصاری و تنها دفتر شرکت Galvano Mondo ترکیه در ایران در زمینه واردات افزودنی های انواع پروسه های آبکاری، لاک های الکتروفور تیک و همچنین طراحی و ساخت خطوط آبکاری، الکتروفور تیک، چربی گیری، شستشو و انواع ماشین آلات مرتبط با صنایع آبکاری به صورت دستی تا تمام اتوماتیک اشاره نمود. همچنین نمایندگی انحصاری شرکت Sessler آلمان در ایران در زمینه طراحی و ساخت خطوط آبکاری نیمه و تمام اتوماتیک و نمایندگی انحصاری شرکت Artimax آلمان در ایران در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات آبکاری و به صورت کاملاً تخصصی فیکسچرها

شرکت نیکل گستر با مدیریت مهندس یاسر قدردان در زمینه واردات، تولید و توزیع دانش فنی، مواد اولیه و تجهیزات آبکاری و پرداختکاری و با شعار "تامین الف تایی در صنعت آبکاری" فعالیت خود را آغاز نمود.

مدیران، پرسنل فنی و بازرگانی این شرکت علاوه بر دارا بودن تحصیلات آکادمیک در رشته های مرتبط با صنایع آبکاری من جمله مهندسی مواد و متالورژی و شیمی، تماماً آموزش دیده و مجرب در صنایع آبکاری می باشند.

دریافت چندین نمایندگی از معتبرترین برندهای دنیا در زمینه های مورد فعالیت شرکت از افتخارات شرکت نیکل گستر در زمان اندک پس از تاسیس می باشد که از جمله این نمایندگی ها می توان

و جیگ های آبکاری از دیگر فعالیت های این شرکت بوده است. این شرکت علاوه بر نمایندگی مذکور با شرکت های WET آلمان و Schimt & Farber سوئیس جهت تامین مواد اولیه، طراحی و ساخت خطوط تصفیه پساب قرارداد بسته و به عنوان نمایندگان این دو شرکت در ایران در حال ارائه مواد و خدمات به همکاران فعال در زمینه تصفیه پساب می باشد.

از دیگر فعالیت های شرکت نیکل گستر واردات مستقیم طیف وسیعی از نمکها و آندهای آبکاری در مرغوب ترین انواع موجود در بازارهای جهانی می باشد که هدف واردات محصولات اصلی و ثبات و کنترل قیمت برای مشتریان شرکت بوده است.

تولید انواع افزودنی های آبکاری، نمک های آماده مصرف، چربی گیر، فسفات و فروکلین تحت برند نیکل گستر با بالاترین کیفیت و مناسبترین قیمت ها از سایر فعالیتهای شرکت نیکل گستر می باشد که از بدو تاسیس در سرلوحه اهداف شرکت قرار گرفت که با حضور تیم فنی کاملاً مجرب و متخصص به بهترین صورت از عهده این مهم برآمدیم. همواره تحقیق و توسعه در این فاز با بالاترین سرعت و کیفیت در شرکت نیکل گستر در حال پیگیری و ارتقا بوده و خواهد بود. بهره گیری از بالاترین دانش و استانداردهای جهانی در کنار مواد اولیه مرغوب، بهترین کیفیت و قیمت را برای آن دسته از مشتریانی که تمایل به مصرف تولیدات داخلی دارند فراهم آورده است.

شرکت نیکل گستر دارای چندین زیرمجموعه داخلی می باشد که شامل واحدهای تولید، انبار مرکزی، صنایع پوششی زرابان، صنایع پوششی دلتاگالوان و گروه صنعتی پیرامید می باشد که تماماً غیر متمرکز بوده و به ترتیب شامل واحد های تولید افزودنی ها، انبارش انواع اقلام تولیدی و وارداتی، واحد آبکاری نیکل - کروم و پیلوت خطوط آبکاری نیکل - کروم شرکت نیکل گستر، واحد آبکاری گالوانیزه و پیلوت خطوط گالوانیزه شرکت نیکل گستر، واحد تولید تجهیزات آبکاری و قطعات و پوشش کاری الکتروفور تیک شرکت نیکل گستر می باشند.

همچنین شرکت نیکل گستر با داشتن کادر آزمایشگاهی مجرب و آزمایشگاه مجهز به طور دائمی در حال خدمت رسانی به مشتریان و همکاران گرامی بوده و ارائه خدمات فنی - مهندسی و آزمایشگاهی از جمله آنالیز و رفع اشکال انواع محلول و پوشش و ارائه جزوات و دوره های آموزشی با همکاری زیر مجموعه های داخلی (به صورت آموزش عملی - کاربردی در خطوط آبکاری پیلوت شرکت نیکل گستر) و همکاران خارجی من جمله شرکتهای HSO, Holder و Wet آلمان و Galvano Mondo ترکیه (به صورت آموزش تئوری

و عملی - کاربردی خارج از کشور) از خدماتی است که در مجموعه نیکل گستر ارائه می گردد.

شرکت نیکل گستر در حال ارتقا و بهینه سازی فعالیتهای خود در تمام حوزه های مرتبط با صنایع آبکاری می باشد که در این میان فعالیت در زمینه تصفیه پسابهای صنعتی و حفظ محیط زیست از اهداف شاخص و برنامه ریزی شده این مجموعه می باشد. با وجود دیدگاه عمومی منفی نسبت به صنعت آبکاری به عنوان صنعتی آلاینده، محدودیت های موجود در این صنعت برای صنعتگران فعال در این حوزه، روند رو به رشد فعالیت های زیر زمینی کارگاه ها و تشکیل واحدهای کوچک و کوچک تر آبکاری که منجر به مبدل شدن این صنعت به صنعتی سیار گشته، شناسایی، کنترل و اقدامات کارشناسانه جهت این صنعت دشوار گشته است.

از سوی دیگر افزایش فعالیتهای صنعتی در حوزه آبکاری باعث تشدید آلودگی های زیست محیطی گردیده که می بایست تدبیری در جهت کاهش اثرات منفی این آلودگی ها اندیشید که رسیدن به این مهم بدون تعامل همه جانبه صنعتگران با مراکز علمی و دانشگاهی جهت بکارگیری تکنولوژی های به روز و کارآمد محقق نخواهد شد. با توجه به مشکلات مذکور و وظیفه خطیر نسل حاضر جهت حفظ محیط زیست برای نسلهای آتی و با نگاهی به فعالیت در صنعتی که هم اکنون از صنایع آلاینده محیط زیست می باشد ولی فواید چشمگیر آن در تمام زمینه های صنعت آشکار است، برنامه ریزی جهت حفظ محیط زیست باید از درون صنعت آغاز گردد تا شاهد محیط زیست و صنعتی پاک در کنار آن و نه در مقابل آن باشیم و این جز با فعالیت صنعتگران این حوزه و از درون صنعت آبکاری محقق نخواهد شد. راه اندازی سیستمهای تصفیه پساب یکی از راه هایی است که با محیط زیست خود مهربان تر و مسولانه تر رفتار نماییم.

شرکت نیکل گستر نیز در راستای انجام وظیفه خود جهت حفظ محیط زیست، زمینه این مهم را با همکاری شرکتهای WET آلمان و Farber & Schmit سوئیس ایجاد نموده است. امیدواریم به زودی تمام واحدهای آبکاری در راستای استقرار سیستم تصفیه پساب و استاندارد سازی آن جدی تر و مسولانه تر عمل نمایند.

شرکت نیکل گستر دست تمامی صنعتگران و همکاران فعال در صنعت آبکاری، پرداختکاری و تصفیه پساب را به گرمی فشرده و با ارائه طیف وسیعی از محصولات، خدمات و دانش سعی بر این دارد تا درهای جدیدی را به روی صنعتگران و همکاران باز نماید تا در فضایی علمی و دوستانه و با همکاری کلیه عزیزان شکل تازه ای از این صنعت را ترسیم نماید.



## تشکل صنعت آبکاری سبز در چهاردهمین نمایشگاه محیط زیست



تهیه و تنظیم:  
دیپرخانه انجمن صنایع آبکاری  
[www.iranplating.ir](http://www.iranplating.ir)

چهاردهمین نمایشگاه محیط زیست در تاریخ ۲ الی ۵ اسفندماه در سالن ۴۰ نمایشگاه بین المللی تهران با حضور تشکل صنعت آبکاری سبز (شامل: انجمن صنایع آبکاری، اتحادیه آبکاران تهران و شرکت تعاونی صنایع آبکاری) برگزار شد.

این تشکل از فرصت پیش آمده در نمایشگاه برای گسترش ارتباطات خود با مسئولان سازمان محیط زیست در جهت رفع مشکلات صنعت آبکاری استفاده نمود که از آن جمله می توان به حضور سرکار خانم دکتر ابتکار (رئیس محترم سازمان محیط زیست)، دکتر حیدرزاده (مدیرکل حفاظت محیط زیست استان تهران)، مهندس گلعلی زاده (معاون فنی اداره محیط زیست استان تهران)، مهندس رستمی (از مشاوران عالی محیط زیست) اشاره نمود که گزارش بازدید ایشان از غرفه صنعت آبکاری در ادامه خواهد آمد.

در روز نخست نمایشگاه، مهندس گلعلی زاده (معاون فنی اداره محیط زیست استان تهران)، جناب آقای دکتر حیدرزاده (مدیرکل حفاظت محیط زیست تهران) را برای بازدید به غرفه تشکل صنعت آبکاری سبز هدایت نمودند که طی آن، جناب نوروزخان در خصوص مشکلات صنعت آبکاری گفتگویی با ایشان داشتند. دکتر حیدرزاده نیز ابراز نمودند که با مشکلات صنعت آبکاری آشنایی دارند.

علاوه بر افراد فوق الذکر، سرکار خانم دکتر ابتکار ریاست محترم محیط زیست و جمعی از معاونین ایشان، جناب دکتر حیدرزاده و مهندس گلعلی زاده نیز از غرفه تشکل صنعت سبز آبکاری بازدید نمودند که جناب آقای نوروزخان در خصوص مشکلات و چالش های صنعت و بسته پیشنهادی و فرآیندسازی های ۱۵ ساله صنعت آبکاری مسایلی را عنوان نمودند. نکته قابل توجه در این میان، آگاهی و اطلاع سرکار خانم دکتر ابتکار و هیات همراهشان در خصوص مسایل مطرح شده بود که در انتها خانم دکتر ابتکار به معاونین خود دستور رسیدگی به مسائل مربوطه در اسرع وقت را دادند. جناب گلعلی زاده نیز بعد از صحبت های جناب نوروزخان با خانم دکتر ابتکار خاطر نشان کردند که صنعت آبکاری در خصوص مشکلات و مسایل موجود، تمام تلاشهای خود را به منظور برطرف کردن عارضه های صنعت آبکاری نموده اند؛ ولی سازمانهای مربوطه همکاری لازم را با آنها نداشته اند.

در دومین روز نمایشگاه آقایان مهندس رفیعی، حمید سیفی، مصطفی عارفی، مهدی نوروزخان و حمیدرضا مهربان جلسه ای برای

هماهنگی در خصوص نشست تخصصی عارضه یابی صنعت آبکاری در غرفه تشکل صنعت آبکاری سبز داشتند که گزارش آن به شرح ذیل است:

نشست تخصصی عارضه یابی صنعت آبکاری در دومین روز از چهاردهمین نمایشگاه بین المللی محیط زیست به همت و تلاش سرکار خانم مهندس خلیلی در غرفه اداره کل حفاظت محیط زیست استان تهران برگزار شد.

به گزارش سایت اطلاع رسانی محیط زیست استان تهران (سامات)، در این نشست که توسط معاونت نظارت و پایش اداره کل و با حضور جمعی از مسئولان تشکل صنعت آبکاری سبز و جمعی از مسئولان سازمان حفاظت محیط زیست و اساتید دانشگاه برگزار گردید، چالشهای مدیریت و نظارت راهبردی واحدهای آبکاری بررسی و راه کارهای اجرایی و مدیریتی مربوطه ارائه شد.

این گزارش می افزاید: نبود آگاهی و اطلاعات لازم نسبت به ارزش واقعی صنعت آبکاری و نقش آن در توسعه صنعتی و اقتصادی، فقدان مرجعی متمرکز با اختیارات لازم، از بین رفتن سرمایه های ملی و مواد اولیه پرارزش و همچنین فراهم نبودن شرایط لازم برای تاسیس واحدهای آبکاری دانش محور و با تجهیزات مدرن از جمله چالشهای موجود این حوزه در این نشست عنوان شد.

گفتنی است تشکیل کارگروه ویژه در سازمان حفاظت محیط زیست و تدوین برنامه ملی کنترل و کاهش آلاینده های صنعت آبکاری و همچنین تعریف نقش نظارتی دستگاه های اجرایی از جمله مواردی بود که در این نشست مطرح و بر آن تاکید شد.

در روز سوم نیز اعضای هیات مدیره انجمن صنایع آبکاری (آقایان مهدی زاده، شکوهی، جعفریان، بقال زاده، خلج زاده) برای بازدید به غرفه تشکل صنعت آبکاری سبز تشریف آوردند.



# اخبار کوتاه داخلی و خارجی

## راه اندازی واحد تولید وانهای آبکاری پلی پروپیلین برای اولین بار در ایران

استفاده از وانهای آبکاری مناسب، چه به لحاظ طراحی و شکل هندسی، چه به لحاظ نوع مواد اولیه و ساختمان فیزیکی و تناسب آن با شرایط آبکاری، شکل قطعات آبکاری شونده و نوع پوشش از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

با توجه به تقاضای فراوان صاحبان صنایع آبکاری و نیاز این صنعت به وان های مطابق با آنچه که اکنون در کشورهای پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرد، شرکت ایران بورد الکترونیک با پشتیبانی فنی از سوی شرکت اشلوتر آلمان برای اولین بار در ایران اقدام به راه اندازی واحد تولید وانها و مخازن پلی پروپیلین (PP) با استفاده از مواد اولیه مرغوب، تجهیزات مدرن و تکنولوژی Extrusion welding، تحت استاندارد DVS 2212 نموده است.



پایداری شیمیایی:

این وان ها و مخازن در مقابل اسید، قلیا، نمک و الکلها، حتی در دماهای بالا، مقاوم می باشند. همچنین در مقابل روغن، گریس و واکس نیز مقاوم هستند (البته در نتیجه تماس مداوم با این مواد کمی متورم خواهند شد که تاثیری در کاربری آنها نخواهد داشت).

باید توجه داشت این وانها و مخازن در مقابل عوامل اکسید کننده قوی مثل اسید کرومیک، اسید نیتریک و هالوژنها مقاومت نخواهد داشت. لذا در این گونه کاربردها استفاده از وانهای PVC توصیه می شود. محدوده مناسب دما:

دمای کاربرد دائم ورقهای پلی پروپیلین در محدوده ۷۰ - ۰ درجه سانتیگراد است ولی در نوع PP-DWU (ورقهای مورد استفاده در ساخت وانهای آبکاری این شرکت) این محدوده ۹۵ - ۰ است. دمای ذوب کریستالی ورقهای پلی پروپیلین ۱۶۰ درجه سانتی گراد است.

## فراخوان پنجمین کنفرانس مواد فوق ریزدانه و نانو ساختار

قطب علمی مواد با کارایی بالا از دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران، با همکاری دانشگاه ترنتو ایتالیا، پنجمین کنفرانس بین المللی مواد فوق ریزدانه و نانو ساختار را، ۲۰ و ۲۱ آبان ماه سال ۱۳۹۴ برگزار می کند.



در این کنفرانس، روش های نوین تولید مواد فوق ریزدانه و نانو ساختار و خواص آنها، تولید نانوذرات، کنترل ساختار نانو، مواد نانوکامپوزیت، پوشش های نانو و لایه های نازک، شناسایی مواد فوق ریزدانه و نانو ساختار، شبیه سازی و مدل سازی و آموزش فناوری نانو، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

همچنین اساتید مدعو خارجی از دانشگاه های معتبر در این کنفرانس حضور خواهند داشت. همزمان با برگزاری این کنفرانس، کارگاه آموزشی و نمایشگاه جنبی، با حضور دانشگاه ها، شرکت ها و مراکز فعال در این حوزه، برگزار خواهد شد. علاقمندان می توانند برای کسب اطلاعات بیشتر و ارسال چکیده مقاله خود، به پایگاه اینترنتی کنفرانس مراجعه نمایند.

<http://ufgns15.ut.ac.ir>

## انتشار پوستر تقویم صنعت آبکاری و مهندسی سطح

نشریه پیام آبکار، جهت اطلاع رسانی تخصصی، نسبت به چاپ پوستر تقویم صنعت آبکاری و مهندسی سطح اقدام نمود. در این تقویم، تاریخ کلیه همایشها و نمایشگاه های داخلی و خارجی مرتبط با صنعت آبکاری در سال ۱۳۹۳ مشخص گردیده است. انتشار این تقویم با حمایت شرکتهای زیر محقق گردید که جا دارد از حسن نظر مسئولین آنها، نهایت تشکر و قدردانی را بنماییم: نیکل گستر، نیکاب شیمی، صنایع آبکاری مهرکار، کوبابو، جلاپردازان پرشیا، گروه صنعتی عایق فلز، گروه بازرگانی آروکو، آدین شیمی، مهرگان شیمی، پوشش فلز زرین، آبکاری پلاستیک اولین نور، ردوکس شیمی، پارس نیکل و انجمن صنایع آبکاری ایران.

## تولید ارزان قیمت لایه الکترو لومینسانس روی سطوح انحناءدار

محققان آلمانی با استفاده از نانوذرات سولفید روی موفق به ساخت لایه نشردهنده نور شدند. این لایه نشر دهنده می تواند روی سطوح انحناءدار ایجاد شود. یکی از مزیت های این روش، هزینه پایین فرآیند تولید است. پژوهشگران مؤسسه مواد لاینیتز روش جدیدی برای ایجاد الکترو لومینسانس روی سطوح صاف و انحناءدار ارائه کردند. در این روش، لایه نشر دهنده نور و قطعات آن با استفاده از روش شیمی تر ایجاد می شود.



دیویدهای نشر نور، ادوات جدیدی هستند که از یک لامپ برای تولید نور استفاده می کنند. این در حالی است که در نشردهنده های نور نیمه هادی آلی از لایه های نازک برای این کار استفاده می شود. تولید این لایه ها بسیار پرهزینه بوده و کارایی و طول عمر کمی دارند.

الکترو لومینسانس یکی از ادوات پیشرفته تولید نور است. در این روش نانوذراتی موسوم به فسفر در یک میدان الکتریکی برانگیخته شده و نور تولید می شود. محققان آلمانی مؤسسه لاینیتز موفق به ارائه روشی شدند که می توان با هزینه کم این لایه های نازک نشر دهنده نور را روی سطوح انحناءدار بزرگ ایجاد کرد.

پیتر ویلیام اولیوریا، از مدیران این پروژه می گوید: «برای تولید این لایه ها، دمای زیر ۲۰۰ درجه سانتیگراد لازم است، این بدان معناست که زیر لایه های انعطاف پذیر مختلفی را می توان در این فرآیند به کار برد. با این روش جدید می توان سطوح لومینسانس را با قیمت پایین و در ابعاد بزرگ تولید کرد.»

واحد لومینوس از دو لایه رسانای الکتریکی تشکیل شده که میان ذرات نشر دهنده نور قرار گرفته است. این دولایه در اطراف یک لایه دی الکتریک به صورت ساندویچی قرار داده شده است. حداقل یکی از لایه ها باید شفاف باشد. به دلیل وجود یک لایه عایق، انرژی جذب شده با کارایی بالایی به نور تبدیل شده و به میزان قابل توجهی از گرمای تولید شده کاسته می شود. در این پروژه محققان از نانوذرات سولفید روی عامل دار به عنوان فسفر استفاده کردند. از مس و منگنز نیز برای تقویت فسفرها استفاده شده است.

نور الکترو لومینسانس از ولتاژ ۲۳۰ ولت بدست می آید؛ بنابراین نیاز به ترانس، خازن یا سوئیچ خاصی برای تغییر ولتاژ نیست. این گروه تحقیقاتی در حال حاضر روی عامل دار کردن بیشتر فسفرها کار می کنند تا با افزودن عوامل تقویت کننده دیگر بتوانند تابش را در این لایه ها بهبود دهند.

## رونمایی از دستگاه لایه نشانی اتمی با امکان تعیین مشخصات

شرکت آلمانی اولتراتک (Ultratech) که در شهر درسدن قرار دارد، اخیراً دستگاه لایه نشانی جدیدی به بازار عرضه کرده که می تواند علاوه بر لایه نشانی اتمی، به طور همزمان لایه های تشکیل شده را مشخصه یابی کند. اولتراتک (Ultratech) یکی از شرکت پیشرو در زمینه تولید دستگاه های لایه نشانی و لیتوگرافی است. این شرکت اخیراً دستگاه لایه نشانی اتمی (ALD) موسوم به Sawana G2 را رونمایی کرده است. اولین نسخه های دستگاه Sawana در سال ۲۰۰۴ به بازار عرضه شد که از آن زمان به عنوان یکی از تجهیزات لایه نشانی تجاری در بخش تحقیق و توسعه شرکتها به کار گرفته می شود. نسل جدید این دستگاه، G2، بهینه سازی شده و گزینه های جدیدی به خدمات آن افزوده شده است. برای مثال امکان تعیین مشخصات نمونه های لایه نازک به صورت زنده (real time) با این دستگاه وجود دارد.



در میان قابلیت‌های این دستگاه، سیستم رهاسازی پیش‌ماده با فشار کم وجود دارد که می‌توان با استفاده از آن فیلم‌های تک جزئی یا چند جزئی را از عناصر خاک‌های نادر تولید کرد. همچنین وجود ادوات جانبی نظیر بیضی‌سنجی، میکروبالانس بلور کوارتز (QCM) و طیف‌سنجی جرمی موجب می‌شود تا امکان رشد خودبه‌خودی و تعیین مشخصات لایه رشد یافته به صورت زنده امکان‌پذیر شود. گانش‌ساندارام از مدیران این شرکت می‌گوید: «مدل ALD ۴۰۰ در بیش از ۸۰۰ مقاله مختلف چاپ شده در جهان مورد استفاده قرار گرفته است، بنابراین می‌توان گفت شرکت‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز دولتی مختلفی از این دستگاه برای پیشبرد تحقیقات خود استفاده کرده‌اند.» اولترا تک در سال ۱۹۷۹ تأسیس شده و در حوزه‌های نیمه‌هادی و فناوری نانو اقدام به تولید تجهیزات مختلف کرده است. این شرکت یکی از مراکز پیشرو در تولید ادوات لیتوگرافی بوده و دستگاه‌های مختلفی برای صنایع نیمه‌هادی تولید کرده است.

### استفاده از نانوپوشش‌ها جهت افزایش مقاومت به خوردگی فلز مس

پژوهشگران دانشگاه ارومیه در مطالعات خود موفق به ساخت نوعی نانوپوشش شده‌اند که مقاومت به خوردگی فلز مس را افزایش می‌دهد. این نانوپوشش با استفاده از مواد دوستدار محیط زیست و طی روشی ساده و کم هزینه قابل ساخت است.

مس به طور گسترده در صنایع مختلفی نظیر صنایع انتقال آب، دیگ‌های بخار در کارخانجات و صنایع الکترونیک استفاده می‌شود. این عنصر با وجود ویژگی‌های مطلوبی همچون هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، می‌تواند در محیط‌های گازی اسیدی به خصوص در حضور یون سولفید یا ترکیب‌های آن، مانند آمونیاک یا آمین‌ها تحت تأثیر خوردگی شدید قرار گیرد. در این پژوهش محققان تلاش نموده‌اند تا



با استفاده از نانو پوشش‌ها، به حفاظتی در برابر پدیده‌ی خوردگی فلز مس به ویژه در محیط‌های آبی دست یابند. نانو پوشش‌های پیشنهادی با صرف کمترین زمان، انرژی و هزینه‌ی ممکن قابل سنتز است. از طرفی در ساخت آن مواد اولیه‌ی سالم و کم خطر برای محیط زیست استفاده شده که اهمیت کاربرد آن را دوچندان می‌کند.

زاهد قلیچ خواه، معتقد است از نتایج این طرح می‌توان در اصلاح الکتروده‌های کاربردی در اندازه‌گیری مواد به روش الکتروشیمی استفاده کرد. همچنین با توجه به نتایج آزمون‌های حرارتی، که حاکی از مقاومت حرارتی بالای پوشش بوده است، استفاده از این دستاورد در صنایع الکترونیک نیز امکان‌پذیر است. به گفته این محقق در ساخت این پوشش لایه‌ای از نانوذرات آل-سیستین به طور شیمیایی روی سطح الکتروده مس لایه‌نشانی شده است. لازم به ذکر است که پوشش‌های پلیمری بسته به ویژگی‌های پوشش و روش تشکیل آن، تا حدی در برابر آب، گاز و یون، نفوذپذیر هستند. در نتیجه گونه‌های یونی و آب ممکن است به فلز بستر رسیده و با وقوع خوردگی در فصل مشترک فلز / پوشش صدمه بیشتری به بستر فلزی وارد کند.

برای برطرف کردن این نقص، در این کار پوشش مد نظر با دوپامین اصلاح شده است.

قلیچ خواه نحوه‌ی ساخت و اصلاح پوشش را اینگونه توضیح داد: «ابتدا سطح ورقه‌های مس خالص، تمیز و صیقلی شده و به مدت زمان مشخصی در محلول آبی آل-سیستین غوطه‌ور شد تا آل-سیستین به صورت نانوذرات و نانو صفحات روی سطح مس لایه‌نشانی شود. پس از آن الکتروده مس لایه‌نشانی شده با آل-سیستین در محلول قلیایی دوپامین قرار گرفت تا دوپامین به طور خود به خودی روی آل-سیستین پلیمریزه شود.»

مقاومت به خوردگی مس لایه‌نشانی شده با پوشش پیشنهادی با استفاده از روش‌های الکتروشیمیایی خوردگی مانند امپدانس الکتروشیمیایی و پلاریزاسیون پتانسودینامیک بررسی شده است.

به طور کلی نتایج نشان دهنده افزایش مقاومت در برابر خوردگی مس لایه‌نشانی شده با نانوپوشش‌ها بوده است. از دستاوردهای این کار می‌توان به سنتز نانو ذرات و نانو صفحات به روشی آسان، کم هزینه، سریع و با تکرارپذیری بالا اشاره کرد که یکی از کاربردهای آن استفاده جهت کنترل خوردگی فلز مس است.

این تحقیقات حاصل تلاش زاهد قلیچ خواه، کارشناس ارشد شیمی فیزیک دانشگاه ارومیه، پروفسور خلیل فرهادی، دکتر سپیده بانی سعید، اعضای هیأت علمی دانشگاه ارومیه، و همکارانشان، پروفسور دیگی مک دونالد، عضو هیأت علمی دانشگاه یوسی برکلی آمریکا، و دکتر سمین شریفی اصل، دانشجوی فوق دکترا ی مهندسی خوردگی دانشگاه یوسی برکلی آمریکا است.

<http://www.researchgate.net/publication/268391221>



## تشریح سیر زمانی توسعه صنعت نانو پوشش ها در نمایشگاه پیشرفت فناوری نانو

نمایشگاه پیشرفت جمهوری اسلامی ایران در فناوری نانو، در بهمن ۱۳۹۳ در محل حسینیه امام خمینی (ره) برگزار شد. یکی از بخش های این نمایشگاه، به معرفی دستاوردهای کشور در صنعت پوشش دهی نانومتری اختصاص داشت. در این بخش، سیر زمانی شکل گیری و توسعه صنعت نانو پوشش ها در ایران معرفی شد.

۲۵۵ پایان نامه کارشناسی ارشد و دکترا  
 ۳۴ نفر هیئت علمی در حوزه نانو پوشش  
 تجهیز بیش از ۵۰ مرکز دانشگاهی و پژوهشی  
 ۸ شرکت سازنده تجهیزات پوشش دهی  
 ۳ شرکت ارائه دهنده خدمات نانو پوشش  
 بیش از ۱۰۰ شرکت صنعتی استفاده کننده از نانو پوشش ها

آنچه در این بخش از نمایشگاه ارائه شد، نمونه هایی از تجهیزات صنعتی و پوشش دهی نانومتری و قطعات صنعتی با پوشش های نانومتری بود. همچنین سیر زمانی توسعه فناوری نانو پوشش ها در ایران از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳، شامل پنج گام اصلی زیر، در این نمایشگاه به تصویر کشیده شده بود:

سال ۱۳۸۷: ساخت تجهیزات آزمایشگاهی تولید نانو مواد  
 سال ۱۳۹۰: ساخت تجهیزات صنعتی تولید نانو پوشش  
 سال ۱۳۹۱: تولید صنعتی نانو پوشش های یک جزئی، دوجزئی و سه جزئی  
 سال ۱۳۹۲: توسعه صنعتی نانو پوشش های چند جزئی، نانو کامپوزیتی و کربن شبه الماس  
 سال ۱۳۹۳: راه اندازی مرکز توسعه کاربردهای نانو پوشش

### فرآخوان نمایشگاه تکنولوژی سطح ترکیه

دومین نمایشگاه تکنولوژی سطح ترکیه در تاریخ ۲۳ تا ۲۵ مهر در استانبول برگزار می گردد. در دوره گذشته نمایشگاه در سال ۲۰۱۳، ۲۰۰ غرفه گذار از ۱۶ کشور جهان حضور داشتند که مورد بازدید بیش از ۳ هزار نفر از ۴۹ کشور جهان قرار گرفت.



علاقمندان به کسب اطلاعات بیشتر می توانند به آدرس زیر مراجعه نمایند:

[www.stteurasia.com](http://www.stteurasia.com)

### همایش ارتقا مواد اولیه، تجهیزات و دانش در صنعت آبکاری و تصفیه پساب

شرکت نیکل گستر، اولین همایش ارتقا مواد اولیه، تجهیزات و دانش در صنعت آبکاری و تصفیه پساب را برگزار می نماید. محورهای این همایش عبارتند از:

- جدیدترین افزودنی های آبکاری توسط شرکت HSO آلمان
- جدیدترین خطوط آبکاری توسط شرکت Sessler آلمان
- جدیدترین خطوط تصفیه پساب آبکاری توسط شرکت Wet آلمان
- جدیدترین مواد تصفیه پساب آبکاری توسط شرکت Farber&Schmid سوئیس
- جدیدترین تجهیزات و فیکسچرهای آبکاری توسط شرکت Artimay آلمان
- آموزش کاربردی توسط شرکت Holder آلمان

علاقمندان می توانند جهت کسب اطلاعات بیشتر در خصوص زمان و محل همایش با شماره تلفن ۷۷۲۴۰۶۲۳ و ۷۷۲۴۷۶۹۰ تماس حاصل نمایند.



## فرایند آبرکاری نقره بدون سیانور در وان تیوسولفات و آنالیز ساختمان میکروسکوپی پوشش نقره

تهیه و تنظیم:  
زیبا شعبان پور  
مهرداد باقری  
شرکت فراینکل

آبرکاری نقره بدون سیانور وان تیوسولفات به ترتیب حاوی نمکهای اصلی نیترات نقره و باریم نقره می باشد. اثر نمکهای اصلی و چگالی جریان در کیفیت سطح سرعت رسوب و درجه سختی پوشش نقره بررسی شده است.

قدرت چسبندگی پوشش نقره در لایه مس ارزیابی شده و اندازه ذرات پوشش نقره تحت پارامترهای آبرکاری بهینه شده اندازه گیری شده است.

بهینه سازی مقدار نیترات نقره، ۴۰ گرم در لیتر با چگالی جریان ۰/۲۵ آمپر بر دسیمتر مربع می باشد. رسوب براق نرم و چسبندگی خوب دانه های نانوکریستالی پوشش نقره با اندازه متوسط ۳۵ نانومتر ایجاد می شود.

حجم بهینه باریم نقره ۳۰ گرم در لیتر با چگالی جریان ۰/۲ آمپر بر دسیمتر مربع می باشد.

نتیجه پوشش نقره دارای نانو کریستالهای به اندازه ۵۵ نانومتر است که با درجه سختی بیشتر و اندازه ذرات کوچکتر پوشش نقره هم خوانی دارد.

Nobel و همکاران در سال ۱۹۹۴ یک محلول آبرکاری حاوی فلز تک ظرفیتی، یون سولفات و ترکیبات سولفینات آلی تثبیت کننده را پیشنهاد دادند اما مقاومت در برابر تغییر رنگ این پوشش ضعیف بود. Jayakrishnan و همکاران در سال ۱۹۹۶ اطلاعاتی را در مورد محلول آبرکاری نقره براساس مجموعه سوکسینامید ارائه دادند اما رسوب ایجاد شده براق نبوده و اطلاعاتی در مورد قدرت چسبندگی گزارش نشده است.

Su و همکاران در سال ۲۰۰۵ فرایندهای آبرکاری مثبت نقره بدون سیانور را با اینکه عملکرد ضد لک پیچیده نبود بهینه سازی کردند. در سال ۲۰۰۸، Sequeira, Anastassakis تیوسولفات را به عنوان جایگزین مناسب برای وان آبرکاری سیانید معرفی کردند.

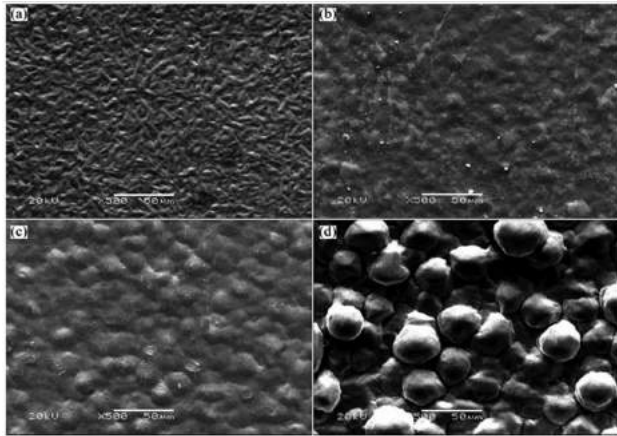
ABBOTT و همکاران نشان دادند که پوشش گالوانیک پایدار نقره می تواند در لایه مس از محلول حاوی یون نقره در یک محلول یونی بر اساس Eutectic کلرید کلرین رسوب پیدا کند.

XIE و همکاران در سال ۲۰۰۹ محلول آبرکاری نقره بدون سیانور حاوی یوراسیل را پیشنهاد دادند اما وان آبرکاری نقره نسبتا پیچیده بود. Fischeison و همکاران در سال ۲۰۱۱ لایه نازک نقره از محلول غیر سیانیدی نزدیک به خنثی را تهیه کردند. کیفیت آینه ای براق

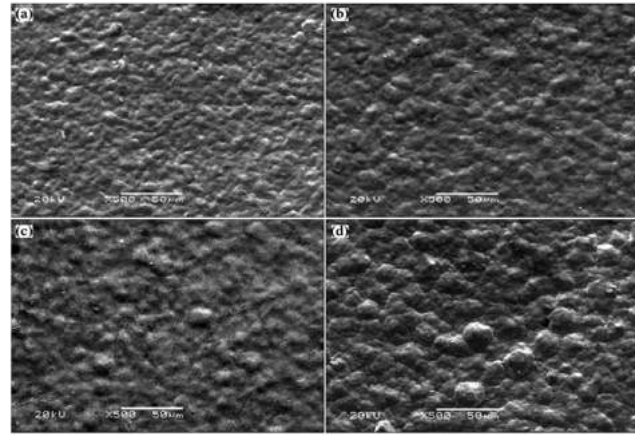
محلول آبرکاری نقره با پایه سیانیدی به طور عمده در صنعت آبرکاری استفاده می شود زیرا سازگارترین کیفیت رسوب را با کمترین هزینه ارائه می دهد. با توجه به نگرانی های محیط زیست، فرایندهای با پایه بدون سیانیدی باید با محلول آبرکاری نقره با پایه سیانیدی جایگزین شوند. مطالعات متعددی در مورد فرایندهای آبرکاری نقره با پایه بدون سیانید انجام شده که بهترین نتایج با استفاده از ید و تیوسولفات به عنوان لیگاند به دست آمده است. اما تنها وان تیوسولفات با توجه به پایداری و ثبات محدودی که دارد به مقدار جزئی و ناچیز در رسیدن به اهمیت تکنیکی موفق شده است.

Karusth, Leahy در سال ۱۹۷۶ وان تیوسولفات دارای قدرت پرتاب تقریبا مشابه حمام سیانید را توسعه دادند که یک پوشش نقره براق با خاصیت ضد لک خوب در حمام بهبود یافته ایجاد شد. Sriveeeraraghava و همکاران در سال ۱۹۸۹ بافر هیدروسولفیت، سولفات و دیگر افزودنی ها را در وان تیوسولفات اضافه کردند و وان با ثبات بیشتری را ایجاد کردند.

وان تیوسولفات با چندماه ثبات و قدرت چسبندگی بالای پوشش نقره آبرکاری شده در لایه مس گزارش شده است اما در این منابع به ظاهر پوشش توجهی نشده است.



شکل ۲- مورفولوژی سطح پوشش نقره در محلول باریم نقره



شکل ۱- مورفولوژی سطح پوشش نقره در محلول نیترات نقره

### ■ آماده سازی و نگهداری حمام - محتویات محلول نیترات نقره

هیپوسولفیت سدیم حل شده در آب مقطر در یک سوم حجم وان، نیترات نقره و متابی سولفیت پتاسیم حل شده در یک چهارم حجم وان. تیوسولفات پتاسیم را در محلول نیترات نقره ریخته، محلول برای تشکیل محلول کدر پتاسیم ( $Ag_2S_2O_3$ ) هم زده می شود. محلول کدر به آرامی به محلول هیپوسولفیت سدیم اضافه شده تا مایع زرد شفاف ایجاد شود. مقدار مناسب استات آمونیم به محلول اضافه شده و می گذاریم مدت زمان کوتاهی بگذرد.

پس از آن آمونیم تیو اوره به طور کامل در محلول حل می شود. در نهایت آب مقطر به وان اضافه می شود.

ترکیب حمام با توجه به زمان آبکاری طولانی مدت و ناخالصی هایی که توسط کاتد وارد حمام می شود، تغییر می کند. بنابراین لازم است که ترکیبات حمام تنظیم شوند و ناخالصی ها باید از محلول حذف شوند.

در این آزمون هنگامی که زمان آبکاری ۲۰ ساعت طول کشید بررسی ترکیب و تنظیم صورت گرفت. این برای نگهداشتن توده هیپوسولفیت سدیم: متابی سولفیت پتاسیم: نیترات نقره حدود ۵:۱:۱ مناسب می باشد.

باید نیترات نقره و متابی سولفیت پتاسیم همزمان و به نسبت ۱:۱ اضافه شوند. نباید نیترات نقره به صورت مستقیم به محلول اضافه شود. مقدار pH محلول با اضافه کردن اسید استیک ۵/۸ خواهد بود.

### - سیستم محلول باریم نقره

هیپوسولفیت سدیم ( $Na_2S_2O_3$ ) در آب مقطر حل شده بر ۲/۳ حجم وان سولفیت سدیم ( $Na_2SO_3$ ) استات آمونیم ( $CH_3COONH_4$ ) باریم نقره ( $AgBr$ ) و آمونیم تیواوره ( $CH_3N_3S$ ) به طور مداوم در

با پوشش نقره سفید از وان آبکاری نقره اختصاصی به دست آمد اما اشاره ای به قدرت چسبندگی پوشش نمی کند.

متاسفانه رسوب نقره حاصل با استفاده از این الکترولیت غیر سیانیدی با کیفیت کمتر نسبت به الکترولیت سیانید مرسوم به دست آورد. با توجه اطلاعات فرایند آبکاری نقره غیر سیانیدی به طور تجاری که در ارتباط با تمام مشکلات و نیازهای مواجه شده در مورد محلول و کیفیت رسوب نقره باشد وجود ندارد. بنابراین آبکاری نقره بدون سیانور به مطالعات بیشتر و توسعه دادن برای استفاده های صنعتی گسترده تر نیاز دارد.

برای بررسی بیشتر آبکاری نقره بدون سیانید و بهینه سازی محلول آبکاری نقره در شرایط فعلی، آبکاری نقره بدون سیانید در وان تیوسولفات حاوی نمک اصلی نقره انجام شد.

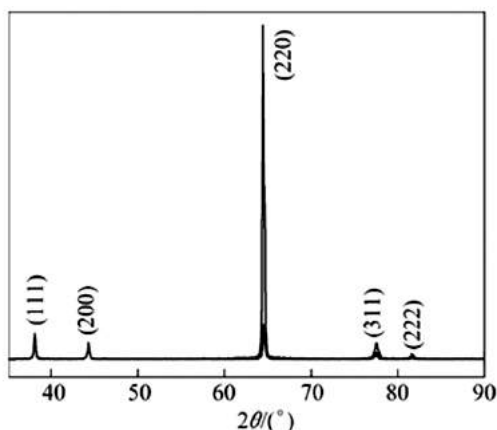
اثرات نمک اصلی چگالی جریان در کیفیت سطح، سرعت رسوب و درجه سختی پوششی نقره بررسی شد. پارامترهای آبکاری بهینه سازی شد. قدرت چسبندگی پوشش نقره در لایه مس مورد بررسی قرار گرفت و اندازه ذرات پوشش نقره تحت شرایط فرایند بهینه اندازه گیری شد.

### آزمون تجربی

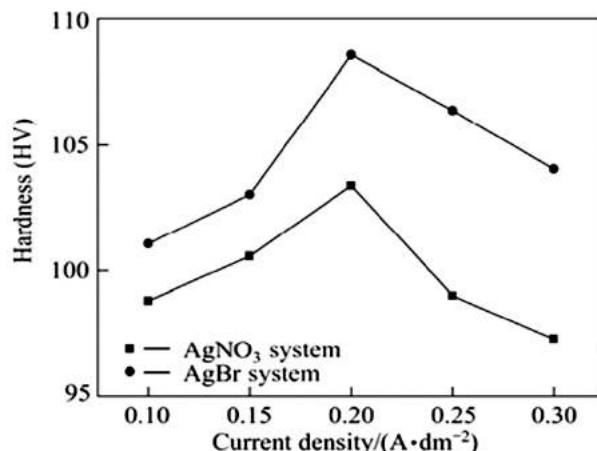
#### ■ زیر لایه کاتدی

ورقه های مس با خلوص ۹۹/۹۹ درصد و اندازه  $۳۵*۲۵*۱/۵$  میلیمتر به عنوان لایه های کاتدی استفاده شد. لایه ها به صورت مکانیکی جلا داده شد.

چربی آنها با استن و مایع قلیایی داغ شسته شد و در محلول هیدروکلریک اسید برای مدت زمان ۱۰-۸ ثانیه برای فعال سازی سطح قرار داده شد. پس از آن نمونه در حمام گالوانیک برای آبکاری قرار داده شد.



شکل ۴- الگوهای XRD پوشش نقره آماده برای سیستم نیترات نقره



شکل ۳- ارتباط بین چگالی جریان و سختی پوشش نقره

پوشش نقره توسط میکروسکوپ الکترونی اسکینینگ صورت می گیرد. سرعت رسوب به ضخامت پوشش و زمان رسوب گذاری بستگی دارد. از آنجا که سرعت و میزان رسوب گذاری در لبه های ورق بیشتر از مرکز آن بود بنابراین مشاهدات مورفولوژی سطحی و اندازه گیری میزان رسوب گذاری در بین این نقاط انجام شده است.

همان محلول حل شده در نهایت آب مقطر از بالای وان به محلول اضافه شده و مقدار pH محلول با اضافه کردن اسید استیک حدود ۶/۵ تنظیم می شود. حمام باید به صورت دوره ای به منظور حذف ناخالصی وارد شده توسط کاتد فیلتر شود ( زمان آبکاری ۲۰ ساعت محاسبه شود ).

#### – اندازه گیری سختی

سختی پوشش با استفاده از تستر درجه سختی اندازه گیری می شود. بار الکتریکی و زمان بندی به ترتیب ۰/۴۹ نیوتن و ۱۵ ثانیه می باشد. مقدار متوسط سختی اندازه گیری شده از ۷ ناحیه کوچک هر بخش انجام شد. تجزیه و تحلیل مقدار معینی از عنصر نشان داد که حجم سختی برای لایه های فلزی نازک به وسیله لایه هنگامی که عمق دندان کوچکتر از یک دهم ضخامت لایه است تحت تاثیر قرار نمی گیرد.

برای به دست آوردن سختی، پوشش نباید توسط لایه تحت تاثیر قرار بگیرد و عمق دندان ۱۰ بار کمتر از ضخامت پوشش است.

#### – ارزیابی قدرت چسبندگی

یک روش متداول ایجاد یک مربع به ابعاد ۱ میلیمتر مربع بر روی سطح پوشش با استفاده از چاقو است. فلس دار کردن پوشش لایه برای تمایز بین چسبندگی خوب و بد مورد استفاده قرار گرفت. روشهای دیگر شامل خم کردن نمونه ها به طور متناوب تا شکسته شود و این ترک خوردن پوشش برای توصیف قدرت چسبندگی پوشش مورد استفاده قرار گرفت.

#### – اندازه دانه ها و تجزیه و تحلیل بافت

اندازه تبلور عمود بر سطح کریستالی با استفاده از ثابت معادله

#### ■ فرایند آبکاری

آند پلیت نقره خالص با درجه ی خلوص ۹۹,۹ درصد به صورت زیر لایه می باشد. پارامترهای فرایند آبکاری سیستم محلول باریم نقره و نیترات نقره در جدول (۱) آمده است. ضخامت پوشش در تراکمهای رایج مختلف توسط مدت زمان آبکاری کنترل می شود.

#### ■ پوشش تکمیلی به منظور جلوگیری از سیاهی

به منظور جلوگیری از تغییر رنگ پوشش نقره در معرض هوا، توصیه های زیر انجام می گیرد.

بخش روکش نقره در غلظت هیدروکلریک اسید (۳۵-۳۸ درصد) به مدت ۳۰ دقیقه در ۶۰ gr/lit محلول آبی کرومیم اکسید و ۱۶ gr/lit سدیم کلرید به مدت ۱۰-۸ ثانیه در ۲۰۰ gr/lit محلول آبی هیپوسولفیت سدیم به مدت ۳-۵ ثانیه در ۱۰۰ gr/lit محلول آبی سود به مدت ۵-۸ ثانیه و در هیدروکلریک اسید غلیظ شده به مدت ۱۵-۱۰ ثانیه غوطه ور شود. پس از خروج ناحیه آبکاری شده از محلول باید فوراً با آب شستشو داشته شود.

#### ■ خصوصیات پوشش و مشاهدات میکروسکوپی

– اندازه گیری سرعت رسوب و مشاهدات میکروسکوپی مشاهده مورفولوژی سطح و سرعت رسوب در جریانهای مختلف

AgNO <sub>3</sub> system $\rho(\text{AgNO}_3)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	Surface quality	AgBr system, $\rho(\text{AgBr})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	Surface quality
30	Yellow	20	Yellow
35	Semi-bright	25	Semi-bright
40	Bright	30	Bright
45	Bright	35	Bright
50	Rough, nigrescent	40	Rough, nigrescent

جدول ۲- اثر محتویات نمک اصلی در کیفیت سطح پوشش نقره

اثر محتویات نمک اصلی در کیفیت سطح پوشش نقره با تراکم فعلی  $0.25 \text{ A/dm}^2$  و ۲ درصد به ترتیب برای باریم نقره و نیترات نقره در جدول (۲) آمده است. همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده است. هنگامی که مقدار نمک اصلی ۴۵، ۴۰ گرم بر لیتر برای نیترات نقره و ۳۰، ۳۵ گرم بر لیتر برای باریم نقره می باشد، پوشش نقره براق است. با توجه به کیفیت سطح و ارزش وان نیترات نقره ۴۰ گرم بر لیتر برای محلول نیترات نقره و باریم نقره ۳۰ گرم بر لیتر برای محلول باریم نقره باید در آزمون‌های زیر گزینش شود.

#### ■ اثر تراکم فعلی روی کیفیت سطحی پوشش نقره

کیفیت سطح پوشش آماده شده در تراکم‌های مختلف فعلی در جدول (۳) نشان داده شده است. مورفولوژی سطح پوشش آماده در تراکم‌های مختلف فعلی برای ۲ محلول به ترتیب در شکل (۱ و ۲) نشان داده شده است. در شکل (۱) سطح پوشش در تراکم‌های مختلف فعلی صاف هستند.

در حداکثر تراکم فعلی  $0.3 \text{ A/dm}^2$  در مقایسه با دیگر چگالی‌های جریان سطح کمی زیر است. در شکل (۲) پوشش‌های سطحی در چگالی جریان متوسط، صاف هستند. در چگالی غلظت  $\text{min, max}$  سطوح ناهموار می باشد.

پدیده‌های فوق را می توان به شرح زیر توضیح داد:

میزان رسوب با افزایش چگالی جریان افزایش می یابد و هنگامی که چگالی جریان نسبتاً کم باشد سرعت رسوب گذاری نیز کاهش می یابد.

سرعت رسوب گذاری هسته کریستالی با فضای بزرگتر برای رشد را ایجاد می کند که منجر به تشکیل یک سطح ناهموار می شود. با افزایش میزان سرعت رسوب گذاری همراه با چگالی جریان بسیاری از هسته‌های کریستالی رشد همزمان خواهند داشت.

بنابراین نتیجه ایجاد یک سطح صاف خواهد بود. هنگامی که چگالی جریان زیاد باشد  $\text{micro-disscharge}$  معمولاً در زاویه‌های تیز

Parameter	AgNO <sub>3</sub> system	AgBr system
$\rho(\text{AgNO}_3)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	30-50	-
$\rho(\text{AgBr})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	-	20-40
$\rho(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	225	200
$\rho(\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	40	-
$\rho(\text{Na}_2\text{SO}_3)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	-	50
$\rho(\text{CH}_3\text{COONH}_4)/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	25	40
$\rho(\text{CH}_3\text{N}_3\text{S})/(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	0.6-0.8	0.2-0.5
pH value	5.5-6.0	6.3-6.8
Current density/ $(\text{A}\cdot\text{dm}^{-2})$	0.1-0.3	0.1-0.3

جدول ۱- پارامترهای فرایند آبکاری سیستم محلول باریم نقره و نیترات نقره

Scherrer محاسبه می شود:

$$D_{(hkl)} = k\lambda(\beta \cos \theta)^{-1}$$

در این معادله k ثابت Scherrer ( $k=0.89$ )

$D_{(hkl)}$  اندازه گیری کریستال عمود بر صفحه کریستالی (nm).  
 $\beta$  = عرض کامل در نیمه حداکثر از قوی ترین بازتاب پراش از صفحه کریستالی (rad)  
 $\theta$  = زاویه پراش از قویترین بازتاب پراش صفحه کریستالی (°)  
 $\lambda$  = طول موج اشعه X (nm)

به طور معمول پوشش فلز آبکاری شده، غیر کریستالی می باشد. بنابراین اندازه ذرات را می توان با استفاده از پراش X-ray اندازه گیری کرد. در کد عکس پوشش نیکل آبکاری شده اندازه ذرات توسط میانگین پراش اشعه X و متالوگرافی با تطبیق خوب اندازه گیری شد. هدف گری مس مطابق با طول موج اشعه X،  $0.154056 \text{ nm}$  مورد استفاده قرار گرفت.

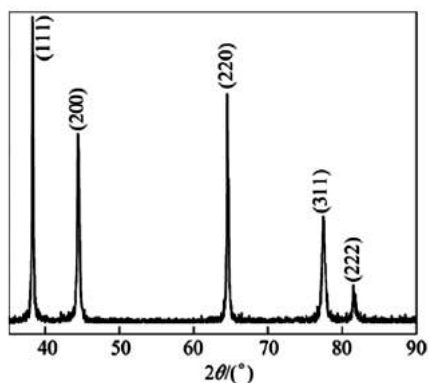
ضریب بافت (C) میزان خصوصیات کریستالی از گرای‌های انتخاب شده صفحه کریستالی. صفحه کریستالی  $C(hkl)$ ،  $(hkl)$  می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$C_{hkl} = \frac{I_{(hkl)}/I_0(hkl)}{\sum_{i=1}^n I_{(hikili)}/I_0(hikili)}$$

$I_{(hkl)}$  و  $I_0(hkl)$  شدت پراش  $(hkl)$  به ترتیب صفحه کریستالی نمونه رسوب داده شده و نمونه پودر استاندارد می باشد. n: تعداد صفحه کریستالی با شدت پراش نسبتاً بالا. اگر مقدار C هر صفحه کریستالی مشابه شد در این صورت گرایشهای ترجیحی وجود ندارد.

#### بحث و نتیجه گیری

■ اثر نمک‌های اصلی بر کیفیت سطحی پوشش نقره



شکل ۵- الگوهای XRD پوشش نقره آماده برای سیستم باریم نقره

اصلی افزایش و سپس کاهش می یابد. اگر چه میزان سختی خیلی زیاد تغییر پیدا نمی کند.

پوشش در چگالی جریان  $0.2 \text{ A/dm}^2$  برای دو سیستم محلول میزان سختی بیشتری دارد زیرا سطح پوشش نسبتاً متراکم است. درجه سختی سیستم نیترات نقره در چگالی جریان مشابه پایین تر می باشد.

الگوهای XRD پوشش نقره آماده برای سیستم نیترات نقره در چگالی جریان  $0.25 \text{ A/dm}^2$  در شکل (۴) نشان داده شده است و برای سیستم باریم نقره در چگالی جریان  $0.2 \text{ A/dm}^2$  در شکل (۵) نشان داده شده است.

متوسط اندازه ذرات (۱۱۱)، (۱۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۲۲۲) بازتاب محاسبه شده است. ۳۵ نانومتر برای سیستم نیترات نقره و ۵۵ نانومتر برای سیستم باریم نقره می باشد.

(۱) برای سیستم نیترات نقره چگالی جریان بهینه  $0.25 \text{ A/dm}^2$  و مقدار نمک اصلی ۴۰ گرم بر لیتر نیترات نقره می باشد. تحت این شرایط پوشش براق و صاف متوسط اندازه ی ذرات ۳۵ نانومتر می باشد. (۲) برای سیستم باریم نقره چگالی جریان بهینه  $0.2 \text{ A/dm}^2$  و مقدار نمک اصلی باریم نقره، ۳۰ گرم بر لیتر می باشد. تحت این شرایط، پوشش براق و صاف خواهد بود و میانگین ذرات ۵۵ نانومتر می باشد.

در مقایسه با سیستم باریم نقره سیستم نیترات نقره مناسب تر می باشد. برای آبرکاری با میزان چگالی جریان گسترده تر میزان درجه سختی و پوشش بیشتر و اندازه ذرات کوچکتر خواهد بود.

محدوده اندازه محاسبه شده برای نقره ۲۷ نانومتر می باشد. بر این اساس سختی پوشش نقره از سیستم نیترات نقره با دانه ۳۵ نانومتر باید نسبت به سیستم باریم نقره با دانه های ۵۵ نانومتر بیشتر شود. در واقع پوشش نقره از محلول باریم نقره سختی بالاتری را نشان می دهد. این می تواند به علت فشار داخل و یا زبری سطح هر دو پوشش باشد.

Current density/(A·dm <sup>-2</sup> )	AgNO <sub>3</sub> system	AgBr system
0.10	Yellow	Yellow
0.15	Semi-bright	Semi-bright
0.20	Semi-bright	Bright
0.25	Bright	Semi-bright
0.30	Rough, nigrescent	Rough, nigrescent

جدول ۳- کیفیت سطح پوشش آماده شده در تراکمهای مختلف

رخ می دهد. با توجه به عدم یونهای فلزی تخلیه در نزدیکی کاتد، دانه های بزرگتر و درشت سطح ایجاد می شود.

علاوه بر این از شکل (۱ و ۲) می توان اثر چگالی جریان را در مورفولوژی سطح پوشش محلول باریم نقره مشاهده کرد که نسبت به محلول نیترات نقره واضح تر می باشد. این نشان می دهد که محدوده سازگار چگالی جریان برای محلول نیترات نقره نسبت به محلول باریم نقره گسترده تر است.

در جدول (۳)، شکل ۱ و ۲ چگالی جریان بهینه محلول نیترات نقره و باریم نقره به ترتیب  $0.25 \text{ A/dm}^2$  و ۲ درصد نشان داده شده است.

#### ■ چسبندگی پوشش نقره

چسبندگی نقره با استفاده از دو روش ذکر شده آزمایش شد. در هر دو روش پوشش نقره به ترتیب در نیترات نقره ۴۰ گرم بر لیتر و  $0.25 \text{ A/dm}^2$  برای محلول نیترات نقره و باریم نقره ۳۰ گرم بر لیتر و  $0.2 \text{ A/dm}^2$  برای محلول باریم نقره ایجاد شد. لایه پوسته یا ترک خورده نمی باشد. این چسبندگی خوب بین پوشش و لایه نشان داده شده است.

#### ■ اثر چگالی جریان بر میزان رسوب و سختی

میزان رسوب دو سیستم در چگالی جریانهای متفاوت نشان می دهد با افزایش چگالی جریان میزان رسوب دو محلول افزایش می یابد. میزان رسوب نیترات نقره به جز در چگالی جریان  $0.25 \text{ A/dm}^2$  بیشتر از میزان باریم نقره در چگالی جریان مشابه می باشد.

در  $0.25 \text{ A/dm}^2$  پوشش سطح سیستم باریم نقره خیلی زیر است. در حالی که سطح پوشش محلول نیترات نقره نسبتاً صاف می باشد که باعث می شود میزان رسوب اندازه گیری محلول باریم نقره نسبت به میزان رسوب واقعی خود بیشتر شود.

چرا میزان رسوب اندازه گیری شده محلول باریم نقره کمی بیشتر از سیستم نیترات نقره در  $0.25 \text{ A/dm}^2$  است؟

شکل (۳) ارتباط بین چگالی جریان و سختی پوشش نقره را نشان می دهد.

با افزایش چگالی جریان، درجه سختی پوشش نقره در دو سیستم

## آبکاری پوششهای کامپوزیتی به کمک امواج التراسونیک در حضور ذرات معلق

(قسمت اول)

تهیه و تنظیم:

هیوا مجیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت از مواد

محمود علی اف خضری

نویسنده مسوول، استادیار خوردگی و حفاظت از مواد

دانشگاه تربیت مدرس

khazraei@modares.ac.ir

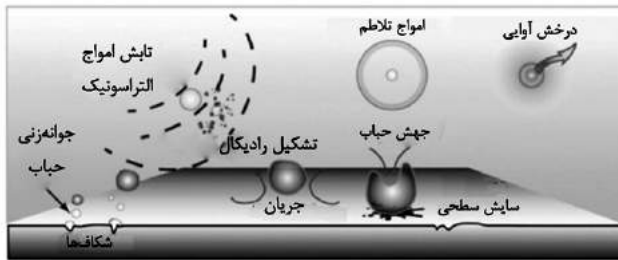
از زمانی که فینک و پرینس برای اولین بار رسوب همزمان مس و گرافیت را مورد مطالعه قرار دادند [۱]، آبکاری کامپوزیتهای پایه-فلز با ذرات خنثی، توجه گسترده ای از جامعه علمی را به خود اختصاص داد. ذرات، هنگامی که به طور مناسب در پوشش آبکاری شده پراکنده شوند، خواص عملیاتی مشخصی از پوشش مانند سختی، سایش و یا مقاومت به خوردگی بهبود قابل ملاحظه ای می یابند، ضمن این که خواص جدیدی به آنها می بخشد [۲]. اهمیت توسعه چنین پوششهای کامپوزیت آبکاری شده چند منظوره در دهه گذشته را می توان با این واقعیت مشاهده کرد، که چندین نشریه در این موضوع در سالهای اخیر وجود داشته است. در میان اینها، مقاله لائو و همکاران [۳] روی پارامترهای مختلف عملیاتی مورد استفاده در طول فرآیند آبکاری و استفاده از روشهای مختلف به منظور افزایش محتوای ذرات در پوشش متمرکز بوده است:

- ۱) غلظت بالای ذرات در حمام آبکاری
- ۲) استفاده از ذرات با اندازه کوچک
- ۳) غلظت پایین اجزاء الکتروفعال
- ۴) تکنیکهای آبکاری-پالسی
- ۵) بکارگیری امواج التراسونیک.

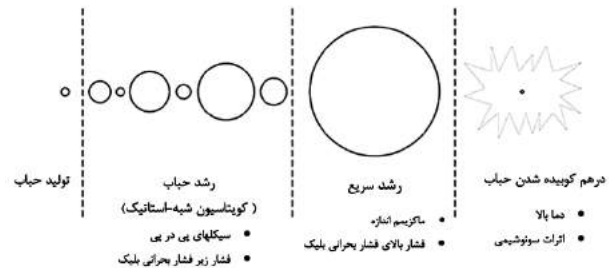
سه روش نخست فقط ذکر شده ممکن است برای بسیاری از صنایع آبکاری با توجه به مسائل مختلف نامناسب به نظر برسند: الف) چگالی بالا، ویسکوزیته بالا و ناپایداری پراکندگی در غلظت های ذرات بالا انتظار می رود، ب) افزایش هزینه های

آبکاری پوشش کامپوزیتی چند منظوره در دهه گذشته با توجه به خواص مکانیکی بهبود یافته و مقاومت خوردگی در پوشش کامپوزیتی در مقایسه با آبکاری تک فلز و رسوب های آلیاژی به سرعت ظهور یافته است. بسیاری از مطالعات نشان داده اند که انجام امواج التراسونیک در فرآیندهای آبکاری کامپوزیتی می تواند بسیاری از مزایای را به همراه داشته باشد، که نه تنها به عنوان یک ابزار برای بهبود پراکندگی ذرات در حمام آبکاری الکتریکی، بلکه همچنین موجب پراکندگی خوب ذرات می شود و توزیع یکنواخت در زمینه فلزی را افزایش می دهد. در این مقاله، اصول استفاده از امواج التراسونیک و کویتاسیون صوتی و چگونگی تاثیر آن روی آبکاری پوششهای کامپوزیتی با ذرات همراه با بررسی برخی از مهم ترین آثار در این موضوع توسط جامعه علمی در ۱۰ سال گذشته ارائه شده است. در این مقاله چگونگی اثر پارامترهای امواج التراسونیک روی پراکندگی ذرات در الکترولیت و اثر آن روی مشخصات پوششهای کامپوزیتی بحث خواهد شد. به طور کلی موجب بهبود خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی پوششهای کامپوزیتی می شود. علاوه بر این، در این مقاله برخی از مسائل که هنگام استفاده از امواج التراسونیک در چنین فرآیندهایی ممکن است، اتفاق بیافتند و جوانب مثبت و منفی سیستمهای میدلهای مختلف در دسترس، برجسته نمودن نیاز برای اطلاعات دقیق در مورد پارامترهای امواج التراسونیک و تجهیزات مورد استفاده در هنگام استفاده از فراصوت بررسی خواهد شد.

مربوط به ذرات استفاده شده، بهداشت و ایمنی و عملیات پساب که هنگام استفاده از ذرات بسیار ریز انتظار می رود، و ج) مشکلات مربوط به انتقال جرم ضعیف و تصاعد هیدروژن که در آبکاری از الکترولیتهای با ضریب هدایت پایین تر پیش بینی شده است. با این حال، دو مورد آخر پتانسیل فراوانی برای اهداف صنعتی فراهم می کنند. با این مفهوم، روش آبکاری پالسی توجه بیشتری به خود اختصاص داده است و از بسیاری از مقالات بازبینی شده اخیر، قابل دسترس برای چنین روشهایی از جمله استفاده از آن برای آبکاری کامپوزیت وجود دارند. با این حال، مقالات بازنگری در استفاده از التراسونیک در آبکاری پوششهای کامپوزیتی [۴، ۵] در دسترس نیستند. هدف این مقاله بازنگری معرفی استفاده از التراسونیک در آبکاری پوششهای کامپوزیتی و چگونگی تاثیر این تکنولوژی، که نه تنها پراکندگی ذرات در حمام آبکاری را افزایش می دهد، بلکه همچنین می تواند اختلاط ذرات در پوششهای فلزی آبکاری شده را بهبود بخشد و اثر آن روی خواص پوشش بررسی شده است.



شکل ۲- نمایش شماتیک اثرات عمده کویتاسیون ناشی از تابش التراسونیک [۹].



شکل ۱- رشد و انفجار از درون حباب در مایع تحت تابش امواج التراسونیک [۸].

مانند اندازه دانه [۲۱] نشان دهد. این تاثیر مفید امواج التراسونیک بر بازیابی اندازه دانه های توسط واکر بررسی شده است و واکر به عنوان فاکتور کنترل کننده در افزایش سختی و کاهش تخلخل پوششهای آبکاری در نظر گرفته است.

با توجه به این، افزایش در سختی فلزات مختلف آبکاری شده به کمک امواج التراسونیک مانند کروم [۲۲، ۲۳]، مس [۲۴-۲۶] و آهن [۱۰] به طور گسترده ای در طول این سالها گزارش شده است. سایر خواص مکانیکی نیز با استفاده از امواج التراسونیک در طول آبکاری می توانند بهبود یابند، پوششهای نیکل بهترین مثال هستند، در نتیجه فراسوت در طول آبکاری رسوب های نیکل، سختی فزایش یافته [۲۷]، تنش پسماند کاهش یافته، سایش [۲۸] و استحکام خستگی [۲۹] بهبود یافته است.

سایر اثرات مفید استفاده از امواج التراسونیک در آبکاری فلزات، افزایش مقاومت به خوردگی روی [۳۰]، افزایش در بازده جریان کاتدی و کاهش تشکیل ترک و رافنس سطح ایریدیوم [۳۱، ۳۲] و کاهش غبار سمی در آبکاری کروم [۳۳] هستند.

### استفاده از امواج التراسونیک در آبکاری پوششهای کامپوزیتی با ذرات

در دهه گذشته، بسیاری از گروه های تحقیقاتی مختلف، چگونه تاثیر امواج التراسونیک در کمک به پراکندگی ذرات در حمامهای آبکاری و تاثیر امواج التراسونیک در طول فرایند آبکاری روی مشخصات پوشش های کامپوزیتی ممکن است داشته باشد، را مطالعه نموده اند. جدول ۱ برخی از جزئیات اثر امواج التراسونیک در پراکندگی ذرات و/یا در طول مرحله آبکاری و خواص پوششهای کامپوزیتی که پس از آن به دست می آید، نیکل و آلیاژهای آن، مواد فلزی عمده مورد استفاده هستند و معمول ترین الکترولیت به کار رفته محلول واتس است.

در بسیاری از کارها که در آن ذرات که در الکترولیت با امواج التراسونیک در الکترولیتهای پایه-نیکل هیچ سورفاکتانتی نیاز نبوده است، که نشان دهنده این است که هنگامی که ذرات با امواج التراسونیک پراکنده شده اند، استفاده از سورفاکتانت ضروری نیست.

### استفاده از امواج التراسونیک در آبکاری

هنگامی که امواج التراسونیک به محیط های مایع اعمال می شود، پدیده کویتاسیون صوتی [۶] رخ می دهد.

همانطور که هر موج مکانیکی، موج التراسونیک از میان یک مایع توسط یک سری از چرخه های بهم فشرد (فشار مثبت) و کاهش فشار (فشار منفی) انتشار یافته است، مولکول های محیط را تحریک می کند، که موج عبور کند.

هنگامی که توان به اندازه کافی بالا باشد، حفره یا "حباب" ممکن است در مایع در طول چرخه های فشار منفی تشکیل شود، به طوری که نیروهای "انبساطی" در طول چرخه کاهش فشار بزرگتر از نیروهای "جاذبه" مولکول های مایع می شوند.

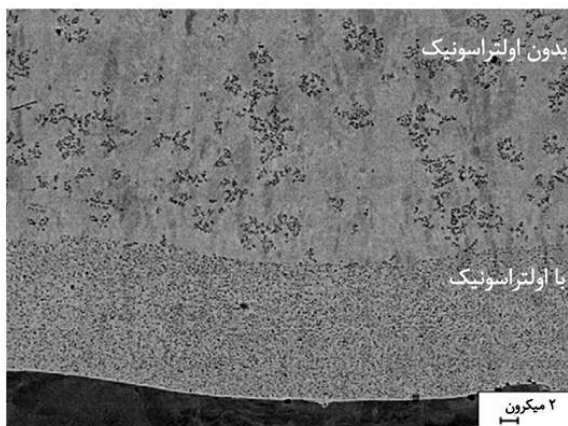
هنگامی که حباب به اندازه بحرانی رشد می کند، ناپایدار می شود و سریعاً منهدم می شود، همانطور که در شکل ۱ [۷] نشان داده شده است. در این نقطه، که به عنوان یک "نقطه داغ" شناخته شده، درجه حرارت و فشار بالا (به ترتیب حدود ۵۰۰۰ کلوین و ۱۰۰۰ آتمسفر) می توانند به دست آیند (که به فرکانس و توان اعمالی بستگی دارد)، نرخهای گرمایش و سرمایش درگیر از درجه بزرگی  $10^{10}$  K/s و تشکیل جریانهای جت مایع اطراف  $400 \text{ km/h}$  همراه است.

رویدادهای مکانیکی و شیمیایی که نتیجه وجود این حبابهای کویتاسیونی (شکل ۱۲ [۹]) هستند، اساس استفاده از امواج التراسونیک، به طور کلی در زمینه های مختلف شیمی [۱۰] و به طور ویژه در الکتروشیمی [۱۱] هستند.

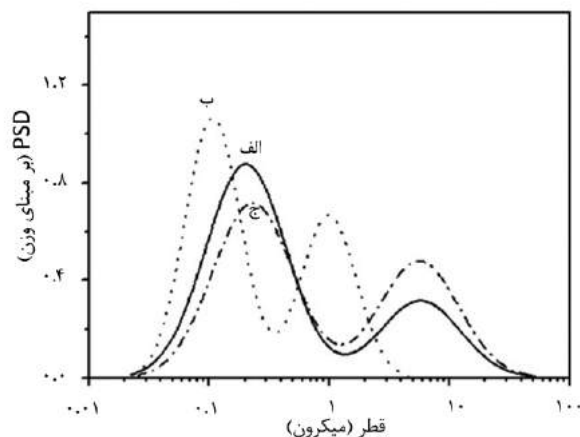
پدیده های کویتاسیون متنوعی همچون جریانهای صوتی و میکروجهش [۱۲]، امواج شوکی [۱۳]، افزایش انتقال جرم از/به الکتروود [۱۴] و تمیز کردن سطح [۱۵] را می توانند به عنوان نتیجه ایجاد یک میدان التراسونیک در یک الکترولیت مایع مشاهده کرد، بسیاری از فرآیندهای مختلف الکتروشیمیایی قابل ملاحظه ای بهبود می بخشد [۱۶].

با این مفهوم، استفاده از امواج التراسونیک در آبکاری فلزات ممکن است مزایای بسیاری [۱۷] نه تنها از نظر خود فرآیند آبکاری (افزایش انتقال جرم در آبکاری کنترل شده - نفوذی) [۱۸]، بهبود انتقال بار [۱۹]، بازده جریان کاتد بالاتر [۲۰]، بلکه از نظر مشخصات نهایی رسوب ها





شکل ۴- ذرات  $TiO_2$  تحت شرایط اولتراسونیک به خوبی پراکنده شده اند (قسمت پایینی)، و نانوذرات آگلومره تحت شرایط سکون (قسمت بالایی) در پوشش نیکل [۴۶].



شکل ۳- توزیع اندازه ذرات  $Al_2O_3$  (۵۰ گرم بر لیتر) پراکنده شده در حمام واتس. الف) تحت ۲۴ ساعت هم زدن مغناطیسی، ب) بعد از ۲۴ ساعت هم زدن مغناطیسی + ۱۰ دقیقه عملیات اولتراسونیک، ج) مشابه ب، بعد از ۱ ساعت عملیات اولتراسونیک [۳۴].

#### ■ اثر امواج اولتراسونیک بر روی پراکندگی ذرات

استفاده از امواج اولتراسونیک برای پراکندگی ذرات به طور گسترده ای با توجه به ویژگی های منحصر به فرد بکار رفته است، که حفره اولتراسونیک به منظور پراکندگی آگلومره های بزرگ و هم زدن سوسپانسیون های آبی و غیر آبی ایجاد می کند. در آبکاری پوشش های کامپوزیتی، تابش امواج اولتراسونیک به الکترولیت، در بسیاری از موارد، مرحله ضروری قبل از خود فرآیند آبکاری است، که به منظور ریز پراکنده کردن ذرات و کاهش میزان آگلومره است و در برخی از مطالعات با افزودن سورفاکتانت برای بهبود بیشتر پراکندگی ذرات ترکیب شده است.

بازدهی امواج اولتراسونیک برای پراکنده شدن ذرات در حمامهای آبکاری بدون سورفاکتانت توسط گارسیا-لسینا و همکاران [۳۴] به وضوح نشان داده شده است. در مطالعه خود، که روی آبکاری پوششهای کامپوزیتی پایه نیکل با افزودن ذرات  $Al_2O_3$  متمرکز بودند، نویسندگان گزارش نمودند، که تنها ۱۰ دقیقه تابش امواج اولتراسونیک برای دستیابی به توزیع بهتر اندازه ذرات قابل توجه با آگلومره های کوچکتر در حمام واتس به کار رفته مورد نیاز بود (شکل ۳).

در واقع، نشان داده شده است که امواج اولتراسونیک می تواند در پراکنده نمودن ذرات در الکترولیت می تواند بسیار موثر باشند، که پوشش های کامپوزیت تولید شده از حمام آبکاری که قبلا تحت امواج اولتراسونیک بودند، ممکن است محتوای ذرات بالاتری حتی اگر امواج اولتراسونیک در طول فرآیند آبکاری استفاده نشده باشد [۳۵]. را نشان دهند.

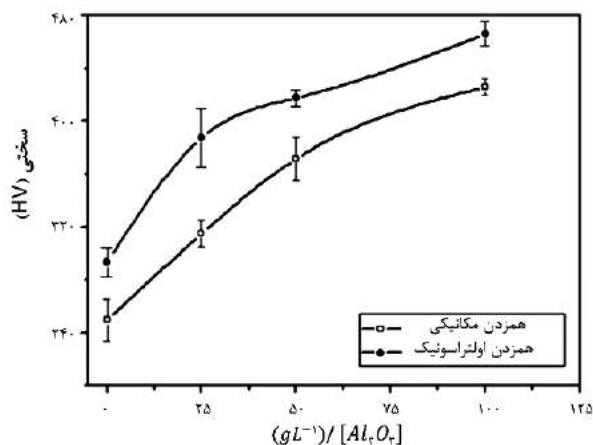
این اثر پراکندگی بهتر با امواج اولتراسونیک به دلایل مختلف است [۳۶]: ۱) حضور میکرو تلاطم ناشی از فشار صوتی نوسان کننده

و میدان های کویتاسیونی، ۲) شکسته شدن نیروهای وان دروالس شکسته توسط برخورد های ذرات با سرعت بالا ناشی از جریان صوتی، میکرو جت و موج شوکی.

با این وجود، اگر چه حضور امواج اولتراسونیک پراکندگی ذرات در حمام آبکاری را بهبود می بخشد، ممکن است به اندازه کافی نباشد تا به طور کامل از آگلومره شدن ذرات برای شکل خوشه های بزرگ در برخی از موارد جلوگیری کند [۳۷].

استفاده از امواج اولتراسونیک در طول فرآیند آبکاری نیز اختلاط پراکندگی خوب را ارتقا می دهد، ذرات به طور یکنواخت در پوشش های آبکاری شده توزیع کرده است [۳۴، ۳۸-۴۴]. توزیع یکنواخت تر از ذرات در رسوبات نیز توسط دیتیریش و همکاران [۴۵] مشاهده شده است، هنگامی که ذرات  $Al_2O_3$  در پوششهایی نیکل-کبالت تحت امواج اولتراسونیک قرار گرفتند. در مطالعات قبلی، همان گروه تحقیقاتی مزایای اجرایی امواج اولتراسونیک برای دستیابی به توزیع یکنواخت تر ذرات در رسوبات فلزی مشاهده کرده اند، که آنها ذرات  $TiO_2$  و  $SiC$  در مقیاس میکرو و نانو در پوشش نیکل [۴۶، ۴۷] افزودند. آنها مشاهده نمودند، که استفاده از امواج اولتراسونیک در طول مرحله آبکاری پوششهای خیلی همگن تر بدون توده های بزرگ را موجب شده است (شکل ۴).

امواج اولتراسونیک همچنین در افزایش دادن مقدار ذرات گنجانیده شده در پوششهای کامپوزیتی موفق بوده است [۳۴، ۳۸، ۴۱، ۴۵، ۴۸، ۴۹]. زالا و همکاران [۵۰] مشاهده نمودند، که اگر چه امواج اولتراسونیک اثر معنی داری بر محتوای ذرات در  $Ni / SiC$  تولید شده با آبکاری جریان-پیوسته نداشت، اما گنجاندن ذرات در پوششهای رسوب داده شده با روش آبکاری-پالسی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با این وجود، همچنین همان نویسندگان ذکر کردند، که در برخی موارد،



شکل ۶- اثر غلظت  $Al_2O_3$  در الکترولیت روی سختی پوشش کامپوزیتی  $Al_2O_3/Ni$  تحت همزدن مکانیکی و امواج التراسونیک بدست آمده است [۳۴].

شیا و همکاران همچنین مشاهده نمودند، هنگامی که نانوذرات تیتانیم نیترید به طور همگن با امواج التراسونیک پراکنده شده بودند و در پوششهایی پایه نیکل گنجانده شده اند، پوششهای خیلی صافی به دست آمده است.

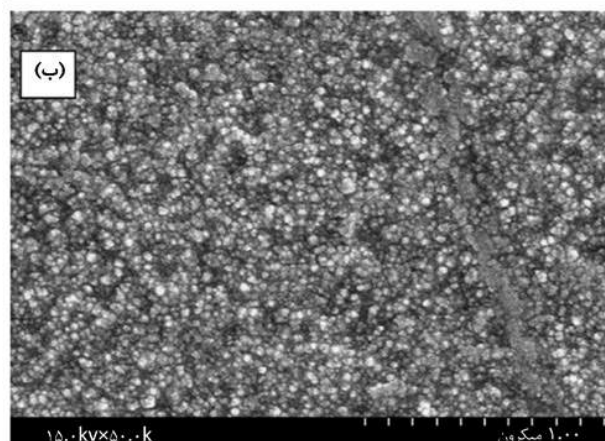
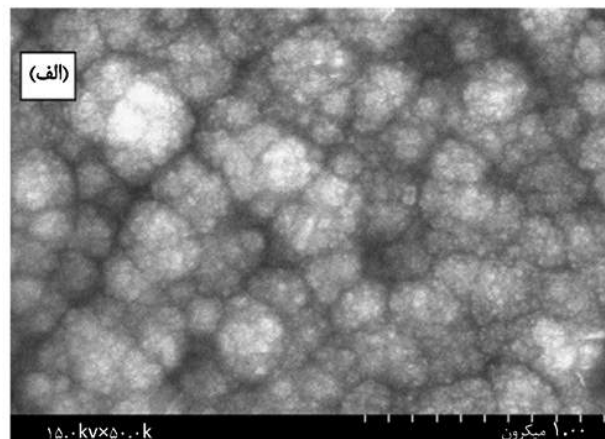
با توجه به جهت گیری بلوری رسوبات، اگر چه برخی موارد وجود دارند، که در آن امواج التراسونیک واقعا اختلافی در شرایط جهت ترجیحی پوششهای کامپوزیت آبکاری شده ایجاد نمی کند [۳۴، ۵۲]، حالت رشد بلور ها در پوششهای کامپوزیتی ممکن است تحت تاثیر امواج فراصوت باشند [۴۱، ۵۱، ۵۳].

این اثر توسط زو و همکاران روی پوششهای کامپوزیتی  $Ni/CeO_2$  گزارش شده است [۵۳].

نویسندگان حالت رشد آزاد (بیش از ۹۰ از ۲۰۰) صفحات بلوری در پوششهای نیکل خالص مشاهده کردند، درحالیکه افزودن ذرات  $CeO_2$  ۳۰ نانومتر به حمام وات منجر به تغییر قابل توجهی از بافت بلور در رسوب شده است: نه تنها حضور صفحات بلوری (۱۱۱) افزایش یافته است و نسبت مشابه صفحات بلوری (۱۱۱) و (۲۰۰) مشاهده شده اند، بلکه آن بلوری شدن صفحات (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) نشان دهنده بلورهای نیکل را افزایش داده است.

با این حال، زمانی که امواج التراسونیک در طول آبکاری مورد استفاده قرار گرفت، این اثر ذرات در پراکندگی به عنوان یک نسبت بالا از بافتهای (۲۰۰) دوباره مورد توجه قرار گرفته است، خنثی میکند و با افزایش در تعداد بلورهای (۲۲۰) و کاهش قابل توجهی در حضور صفحات بلوری (۱۱۱) و (۳۱۱) همراه شده است. اثر مشابه امواج التراسونیک روی جهات بلوری توسط شیا و همکاران مورد توجه قرار گرفته است.

در پوششهای کامپوزیت  $Ni/TiN$  [۵۲] به عنوان یک کاهش نسبی در شدت پیک مربوط به وجود صفحه های بلوری (۱۱۱) در مقایسه



شکل ۵- مورفولوژیهای سطح فیلمهای کامپوزیتی  $Ni/SiC$  آماده شده تحت شرایط مختلف: (الف) دیسپرس مکانیکی، (ب) دیسپرس التراسونیک [۴۰].

کاهش در محتوای ذرات در پوششهای کامپوزیتی آبکاری شده با امواج التراسونیک ممکن است انتظار برود، با توجه به این واقعیت باشد که آگلومره های بزرگ در رسوبات گنجانده نشده اند [۵۰].

#### ■ اثر امواج التراسونیک بر روی مورفولوژی و ریزساختار

مورفولوژی و ریزساختار پوششهای کامپوزیتی آبکاری شده نه تنها توسط گنجاندن ذرات در پوششها، بلکه با حضور امواج التراسونیک در طول فرایند آبکاری تحت تاثیر قرار گرفتند. بسیاری از کارها، اثر مفید امواج التراسونیک در بازبایی اندازه دانه پوششهای کامپوزیتی [۳۴، ۳۸، ۴۱، ۴۵، ۴۶، ۵۱]، دستیابی به یک پرداخت صاف تر گزارش کرده اند، که تا حدودی به دلیل توزیع خیلی یکنواخت تر ذرات به خوبی پراکنده شده است.

به عنوان مثال، چای و همکاران [۴۰] نشان دادند که با ترکیب تلاطم مکانیکی و فراصوت، پوششهای کامپوزیتی نیکل /  $SiC$  با مورفولوژی سطح ظریف (شکل ۵) تولید شدند، تلاطم مکانیکی مانع از رسوب ذرات  $SiC$  شده است، درحالیکه امواج التراسونیک مانع از آگلومره شدن آنها شده است.

با شدت پیک مربوط به حضور صفحه های بلوری (۲۰۰) مشاهده شده است، هنگامی که امواج التراسونیک در طول آبکاری مورد استفاده قرار گرفته است.

### ■ اثر امواج التراسونیک بر روی خواص مکانیکی

واضح است که گنجاندن ذرات سخت در پوششهای آبکاری شده، به طور کلی باعث افزایش سختی و بهبود دیگر خواص مکانیکی همچون مقاومت در برابر سایش و/ یا ضریب اصطکاک می شود. استفاده از امواج التراسونیک در طول آبکاری پوشش های کامپوزیتی دارای اثر افزایش سختی بیشتر است [۳۵, ۴۱, ۴۴, ۵۰, ۵۱]، همچنانکه در ارتباط با اثر امواج التراسونیک بر روی اندازه دانه و سختی فلزات و آلیاژهای آبکاری شده انتظار می رود.

زو و همکاران [۵۳] نه تنها بهبود در سختی رسوبات نیکل خود را با افزودن ذرات  $\text{CeO}_2$  مشاهده نمودند، بلکه همچنین افزایش بیشتر در سختی و افزایش مقاومت سایشی در آن پوشش های کامپوزیتی که تحت امواج التراسونیک آبکاری شده اند، را مشاهده نمودند. نتایج مشابهی توسط گارسیا-لسیا و همکاران [۳۴] به دست آمده است، در پوشش های کامپوزیتی  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$  که آنها دریافتند که هر دو امواج التراسونیک و غلظت ذرات در الکترولیت داری اثری رو سختی پوشش ها داشتند (شکل ۶).

آنها پیشنهاد کردند که ترکیب دو پدیده (همانطور که قبلا توسط لمپک و همکاران [۴۶] پیشنهاد شده است) می تواند افزایش سختی پوشش های کامپوزیتی آبکاری شده تحت امواج التراسونیک توضیح دهد:

(۱) حضور نانوذرات ریز آلومینا، و به خوبی توزیع شده در زمینه نیکلی که می توانند به عنوان موانعی برای حرکت نابجاییها عمل می کنند  
(۲) اندازه دانه ریزتر بلورهای نیکل به دلیل به اثر بازیابی دانه التراسونیک. در این مورد، مقاومت در برابر سایش نیز افزایش یافته است، با افزایش دادن غلظت ذرات در الکترولیت و حضور امواج التراسونیک، عملکرد پوشش را بیشتر بهبود داده است.

نتایج مشابه توسط همان نویسندگان مشاهده شده است، هنگام گنجاندن ذرات  $\text{WS}_2$  در رسوبهای نیکل [۵۲] که در آن کامپوزیتها تحت امواج التراسونیک تولید شده اند، افزایش بیشتری در هر دو عملکرد سختی و تریبولوژیکی را در مقایسه با زمانی که با پوشش کامپوزیت  $\text{WS}_2/\text{Ni}$  تولید شده در غیاب امواج التراسونیک، نشان دادند. در مورد رسوب های  $\text{Ni-Co}$  با  $\text{Al}_2\text{O}_3$  با حضور امواج التراسونیک در طول رسوب [۴۵] نه تنها سختی، بلکه تغییر شکل پلاستیک پوششها را افزایش داده است.

### ■ اثر امواج التراسونیک بر مقاومت در برابر خوردگی

به طور کلی، گنجاندن ذرات در پوششهای فلزی آبکاری شده موجب بهبود مقاومت در برابر خوردگی پوشش می شود [۳]. این تاثیر در

بسیاری از مقالات که در آن امواج التراسونیک قبل از مرحله آبکاری به منظور دستیابی به پراکندگی بهتر ذرات در الکترولیت آبکاری استفاده شده است، گزارش شده است [۳۵, ۵۸, ۶۰, ۶۲]. با این حال، چند محقق اثر استفاده از امواج التراسونیک در طول مرحله آبکاری را مطالعه کرده اند، که ممکن است دارای اثری روی مقاومت در برابر خوردگی بدست آمده از پوششهای کامپوزیت داشته باشد، چنانچه اغلب مطالعات تنها تمرکز روی آن پوشش های کامپوزیتی تولید شده با حضور امواج التراسونیک متمرکز بوده اند، که بهترین کیفیت و سطح نهایی را نشان داده اند [۴۰, ۴۷]. گیوالی و همکاران [۴۱] تاثیر امواج التراسونیک بر روی رفتار خوردگی پوششهای کامپوزیتی  $\text{Ni/SiC}$  را مطالعه نمودند. در کار خود، جریانهای خوردگی، پتانسیلهای خوردگی، شبیههای تافلی آندی/ کاتدی، مقاومت خوردگی و نرخ های خوردگی اندازه گیری شده نشان داد که با وجود اینکه پوشش های کامپوزیتی  $\text{Ni/SiC}$  آبکاری شده تحت شرایط سکون رفتار بهتری نسبت به رسوب های نیکل خالص نشان دادند، حضور امواج التراسونیک در طول فرایند آبکاری منجر به افزایش بیشتر مقاومت در برابر خوردگی پوشش ها شده است.

این اندازه گیری ها در توافق با نتایج دیگر به دست آمده با مطالعات طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی در تحقیقات مشابه که تایید کننده بهبود در مقاومت در برابر خوردگی پوشش کامپوزیتی  $\text{Ni/SiC}$  آبکاری شده با امواج التراسونیک بوده است. زانلا و همکاران [۵۰] همچنین تاثیر فراصوت در طول آبکاری پوشش های کامپوزیتی  $\text{Ni/SiC}$  ارزیابی نمودند و پی بردند که رسوب های نیکل خالص و  $\text{Ni/SiC}$  به مستعد به خوردگی حفره ای بودند، درحالیکه رسوبات نیکل خالص و  $\text{Ni/SiC}$  تولید شده با امواج التراسونیک رفتار پایدارتری نشان دادند.

این بهبود در هر دو سوب نیکل و  $\text{Ni/SiC}$  آبکاری شده در یک میدان التراسونیک مشاهده شده است، که به تداخل کمتر و فشردگی بالاتر رسوبات تولید شده تحت چنین شرایطی مربوط شده اند، و با این ایده که بازیابی دانه با امواج التراسونیک باعث تداخل کمتر پوشش های آبکاری شده می شود در توافق است [۶۷].

هنگامی که التراسونیک در مرحله آبکاری اجرا شده است، افزایش مقاومت در برابر خوردگی پوششهای کامپوزیتی آبکاری شده نیز برای پوششهای کامپوزیتی دیگر گزارش شده است [۴۴, ۵۶, ۵۷, ۶۸] که در آن دوباره یک ارتباط قوی بین بازیابی دانه، محتوای ذرات و رفتار خوردگی مشاهده شده است.

با این حال، استفاده از امواج التراسونیک در طول رسوب همیشه موجب بهبود مقاومت در برابر خوردگی نخواهد شد. زانلا و همکاران [۴۸] هیچ اثر قابل توجهی از امواج التراسونیک روی مقاومت در برابر خوردگی  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$  آبکاری شده گزارش ندادند، چون تابش امواج التراسونیک اعمالی در این مطالعه برای اجتناب کامل تراکم ذرات به اندازه کافی نبوده است.

جدول ۱- پوششهای به کمک امواج التراسونیک تولید شده اند. امواج التراسونیک در طول پراکنده کردن و / یا در طول آبکاری استفاده شده است.

مرجع	اثرات امواج التراسونیک/ذرات/پارامترهای آبکاری روی ویژگی‌های نهایی پوشش‌ها	پارامترهای امواج التراسونیک	الکترولیت	ذرات	زمینه فلزی
[54]	<ul style="list-style-type: none"> <li>تابش امواج التراسونیک الکترولیت قبل از آبکاری به طور قابل توجهی تراکم ذرات کاهش می‌دهد.</li> <li>هر دو پراکندگی التراسونیک و پراکندگی شیمیایی یا سورفاکتانت نتایج مشابه را نشان دادند، اگر چه محتوای ذرات برای دومی کمی بالاتر بود.</li> <li>کاهش غلظت <math>Ni^{2+}</math> در الکترولیت به طور کلی به بالاتر منجر به پراکندگی بیشتر ذرات و محتوای ذرات بیشتر در کامپوزیتها می‌شود.</li> </ul>	سیستم: شیپوری فرکانس: ۲۲,۵ kHz توان: $0.005 W/cm^3$	حمام سولفامات	$Al_2O_3$	Ni
[48]	<ul style="list-style-type: none"> <li>التراسونیک در طول رسوب، گتچاندن ذرات در هر دو آبکاری پیوسته و پالسی بهبود یافته است.</li> <li>تفاوت معنی داری در مقاومت در برابر خوردگی بین کامپوزیتها و رسوب-های نیکل خالص گزارش نشده است، چنانچه تراکم ذرات به طور کامل توسط التراسونیک برطرف نشده باشد.</li> </ul>	سیستم: شیپوری فرکانس: موجود نیست. توان: موجود نیست.	حمام واتس	$Al_2O_3$	Ni
[34]	<ul style="list-style-type: none"> <li>تابش امواج التراسونیک الکترولیت، قبل از آبکاری تراکم ذرات به حداقل رساند، جلبجایی پیکها در منحنی‌های توزیع اندازه ذرات به سمت قطرهای کوچکتر مشاهده شد.</li> <li>افزایش غلظت ذرات در حمام، محتوای ذرات در زمینه فلزی را افزایش داد.</li> <li>کامپوزیت‌های آبکاری شده تحت امواج التراسونیک همیشه محتوای ذرات بالاتر نشان داد.</li> <li>برای هر دو پوشش نیکل خالص و کامپوزیتی، التراسونیک در طول آبکاری بازایی دانه را افزایش داده است.</li> <li>امواج التراسونیک پراکندگی ذرات در پوشش‌ها افزایش داده است.</li> <li>با افزایش محتوای ذرات در کامپوزیتها، سختی و مقاومت در برابر سایش بالاتر افزایش مشاهده شده است. کامپوزیت‌های آبکاری تحت امواج التراسونیک همیشه افزایش سختی و مقاومت در برابر سایش را نشان داد.</li> </ul>	سیستم: شیپوری فرکانس: ۲۴ kHz توان: $38 W/cm^2$	حمام واتس	$Al_2O_3$	Ni
[55]	<ul style="list-style-type: none"> <li>امواج التراسونیک برای جلوگیری از تراکم ذرات قبل از آبکاری، با کاهش فرکانس آبکاری پالسی، محتوای ذرات با / بدون التراسونیک افزایش یافت.</li> <li>پوشش‌های کامپوزیتی تولید شده با امواج التراسونیک به نظر می‌رسید دارای محتوای ذرات پایین‌تری نسبت به پوشش‌های بدون امواج التراسونیک باشند، اگر چه دومی دانه‌های بزرگتر را نشان داد.</li> </ul>	موجود نیست.	حمام سولفامات	$Al_2O_3$	Ni های ویسکر
[53]	<ul style="list-style-type: none"> <li>محتوای ذرات باعث افزایش قابل توجهی در سختی و نرخ پوشش سایش شد. بهبود بیشتر در هر دو خواص مشاهده شده است، اگر امواج التراسونیک در طول آبکاری مورد استفاده شده باشد.</li> <li>جهات بلورهای نیکل در پوشش‌های کامپوزیتی به شدت تحت تاثیر امواج التراسونیک بوده‌اند.</li> </ul>	سیستم: حمام؟ فرکانس: ۲۸ kHz توان: ۳۰۰W	حمام واتس یا سدیم دودیسل - سولفات SDS (سورفاکتانت)	$CeO_2$	Ni
[38, 56]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ورود امواج التراسونیک در طول آبکاری منجر به اندازه دانه ریزتر و محتوای ذرات بالاتر، به ویژه در شرایط التراسونیک دوگانه (ترکیبی از حمام و شیپوری) شد.</li> <li>پوشش‌های کامپوزیتی مقاومت در برابر خوردگی بالاتری نسبت به رسوب-های نیکل خالص نشان دادند. التراسونیک مقاومت در برابر خوردگی پوشش‌های کامپوزیتی، به ویژه در شرایط التراسونیک دوگانه را بیشتر افزایش داده است.</li> <li>با افزایش توان حمام در هر دو حمام تنها و مجموعه دوتایی، محتوای ذرات در پوشش افزایش یافت. با افزایش توان شیپوری در هر دو شیپوری تنها و دو مجموعه دوتایی تا ۳۰ W، توان شیپوری محتوای ذرات در پوشش افزایش یافت، و سپس به طور قابل توجهی در مقادیر شدت بالاتر کاهش یافته است.</li> </ul>	سیستم: حمام، شیپوری و دوتایی (ترکیبی از حمام و شیپوری) فرکانس: kHz ۱۰۰ (حمام) و ۲۰۰ kHz (شیپوری) توان: ۳۰۰W - (حمام) و ۴۵W - (شیپوری)	حمام نیکل سخت با SDS	$Nd_2O_3$	Ni

Ni	TiO <sub>2</sub>	حمام واتس یا SDS	سیستم: حمام فرکانس: ۲۸ kHz توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک محتوای ذرات آگلومره شده در پوشش‌ها را کاهش می‌دهد.</li> <li>• محتوای ذرات در پوشش با افزایش غلظت ذرات در الکترولیت افزایش یافت. سختی مربوط به محتوای ذرات در کامپوزیت‌ها می‌شد.</li> </ul>	[39]
Ni	TiO <sub>2</sub>	حمام واتس یا SDS	سیستم: حمام/شیپوری فرکانس: ۳۵/۳۰ kHz توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• زمانی که امواج التراسونیک در طول آبکاری استفاده شده باشد، نانو ذرات در پوشش پراکنده خواهند کرد.</li> <li>• استفاده از امواج التراسونیک در طول آبکاری پوشش نیکل خالص منجر به بازیابی و اصلاح دانه شد. اختلاط نانو ذرات TiO<sub>2</sub> به پوشش منجر به بازیابی بیشتر اندازه دانه شد.</li> <li>• اندازه ذرات خواص نهایی کامپوزیت را تحت تاثیر قرار دادند.</li> </ul>	[46, 47]
Ni	ZrO <sub>2</sub>	حمام نیکل سخت سولفامات با SDS	سیستم: حمام فرکانس: ۲۸ kHz توان: ۱۲۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک در طول آبکاری با / بدون تلاطم اختلاط ذرات و بازیابی دانه پوشش‌های کامپوزیتی را افزایش داده است. ترکیبی از امواج التراسونیک و تلاطم مکانیکی، پوشش‌های کامپوزیتی با کوچکترین اندازه دانه و صاف‌ترین سطح را به همراه داشت.</li> <li>• پوشش کامپوزیتی آماده شده تحت امواج التراسونیک همیشه مقاومت در برابر خوردگی بالاتری نسبت به پوشش آماده شده در شرایط سکون (تلاطم معمولی) نشان دادند. ترکیب امواج التراسونیک و تلاطم مکانیکی، پوشش کامپوزیتی با بالاترین خواص ضد خوردگی را به همراه داشت.</li> </ul>	[57]
Ni	SiC	حمام واتس یا SDS	سیستم: حمام/شیپوری فرکانس: ۳۵/۳۰ kHz توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک استفاده شده در طول پراکندگی و مراحل آبکاری از تراکم ذرات و اختلاط بزرگ آگلومره‌ها در پوشش‌ها جلوگیری کرده است. محتوای و اندازه ذرات، خواص نهایی کامپوزیت را تحت تاثیر قرار داده است.</li> </ul>	[46, 47]
Ni	SiC	حمام واتس یا سدیم دودیسیل- گلیکول (سورفاکتانت)، ۴،۱- بوتاندیول (رقیق کننده) و P- تولوئن سولفون آمید (حامل) حمام واتس	موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک برای به دست آوردن پراکندگی بهتر ذرات در الکترولیت به کار رفته است.</li> <li>• کامپوزیت‌ها رسوب کرده تحت امواج التراسونیک، اندازه دانه ریزتری نسبت به پوشش‌های که بدون امواج التراسونیک تولید شده را نشان دادند.</li> <li>• اختلاط ذرات در رسوبات نیکل جهات بلورها را تغییر داده است.</li> <li>• کامپوزیت‌ها مقاومت در برابر خوردگی بهتری نسبت به رسوبات نیکل خالص را نشان دادند.</li> </ul>	[40]
Ni	SiC	حمام واتس	سیستم: حمام فرکانس: موجود نیست. توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک تراکم ذرات، به ویژه در pH پایین را به شدت کاهش داده است.</li> <li>• امواج التراسونیک روی محتوای ذرات برای آبکاری پیوسته تاثیر نمی‌گذارد، اما افزایش قابل توجهی در محتوای ذرات در پوشش‌های آبکاری شده پالسی داشت.</li> <li>• کامپوزیت‌های آبکاری شده در تمام شرایط، افزایش سختی را در مقایسه با رسوبات نیکل خالص نشان دادند. پوشش‌های نیکل خالص و کامپوزیت رسوب داده شده تحت امواج التراسونیک مقاومت در برابر خوردگی را با کاهش تخلخل رسوبات بهبود داده‌اند.</li> </ul>	[50]
Ni	SiC	حمام واتس	سیستم: شیپوری فرکانس: موجود نیست. توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک برای جلوگیری از تراکم ذرات قبل از رسوب استفاده شده است.</li> <li>• امواج التراسونیک در طول رسوب، محتوای ذرات را در هر دو آبکاری پیوسته و پالسی بهبود بخشیده است.</li> <li>• کامپوزیت‌ها مقاومت بهبود یافته در برابر خوردگی در مقایسه با رسوبات نیکل خالص را نشان دادند.</li> </ul>	[48]
Ni	SiC	حمام سولفامات با SDS و برومید ستیلریمیل آمونیوم (CTAB) سورفاکتانت	سیستم: حمام فرکانس: ۳۸ kHz توان: ۲۰۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• امواج التراسونیک اختلاط د ذرات پراکنده ریز در پوشش بهبود داد و در نتیجه موجب پوشش‌های کامپوزیتی با توزیع همگن ذرات شد.</li> <li>• مقاومت در برابر خوردگی بهبود یافته است، به ویژه در آن کامپوزیت‌هایی که تحت التراسونیک تولید شدند.</li> <li>• اثر هم‌افزایی امواج التراسونیک و ذرات روی خواص مکانیکی پوشش‌ها</li> </ul>	[41]

Ni	WC	حمام واتس یا SDS و CTAB	سیستم: موجود نیست، فرکانس: ۴۰ kHz، توان: ۲۵۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [58] امواج التراسونیک برای پراکندگی ذرات در حمام‌هایی که در آن هیچ سورفاکتانت استفاده نشده است، استفاده شد.</li> <li>• کامپوزیت‌ها سختی، مدول الاستیک و مقاومت در برابر خوردگی بالاتر نشان دادند.</li> <li>• اختلاط ذرات شدیداً مورفولوژی سطح را تحت تاثیر قرار داده است.</li> </ul>
Ni	TiN	حمام واتس	سیستم: موجود نیست، فرکانس: موجود نیست، توان: ۳۰۰ W-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [59] پوشش‌های کامپوزیتی با ذرات پراکنده زمانی به دست آمده‌اند که امواج التراسونیک در طول رسوب اعمال شده است. آگلومره ذرات کمی کمتر در قدرت توان‌های بالا امواج التراسونیک دیده شده است.</li> <li>• پوشش‌های کامپوزیت آبکاری شده با امواج التراسونیک، اندازه دانه کوچکتر و سطح نهایی صاف را نشان دادند، و شدت‌های XRD پایین‌تر برای صفحات بلوری (۱۱۱) با صفحات بلوری (۲۰۰) مقایسه شده‌اند.</li> </ul>
Ni	WS <sub>2</sub>	حمام واتس یا CTAB	سیستم: شیپوری، فرکانس: ۲۴ kHz، توان: ۴۰ W/cm <sup>2</sup> -	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [52] تابش امواج التراسونیک (۲۰ W/cm<sup>2</sup>) الکترولیت به مدت ۱۰ دقیقه قبل از آبکاری برای جلوگیری از تراکم ذرات اعمال شده است.</li> <li>• محتوای ذرات در پوشش با توان امواج التراسونیک تا ۳۰ W/cm<sup>2</sup> افزایش یافت، سپس در مقادیر شدت بالاتر اندکی کاهش یافت.</li> <li>• رسوب‌های فشرده‌تر با ضخامت یکنواخت در حضور امواج التراسونیک تولید شده‌اند.</li> <li>• پوشش‌های کامپوزیتی، به ویژه آنهایی که تحت امواج التراسونیک تولید شده‌اند، خواص مکانیکی بهتری را نشان دادند (یعنی سختی، کاهش مدول یانگ، کرنش الاستیک تا شکست و برگشت الاستیک).</li> <li>• پوشش‌های کامپوزیتی، به ویژه آنهایی که تحت التراسونیک تولید شده‌اند، عملکرد تریبولوژیکی بهتری را نشان دادند (به عنوان مثال ضریب اصطکاک پایین‌تر).</li> </ul>
Ni-Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	حمام سولفامات یا کبالت سولفامات	سیستم: حمام، فرکانس: 35 kHz، توان: ۲۴۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [45] حضور التراسونیک در طول رسوب، اختلاط ذرات ریز پراکنده شده افزایش داد.</li> <li>• کامپوزیت‌های تولید شده با التراسونیک محتوای ذرات، تغییر شکل پلاستیک و سختی بالا و مدول الاستیک پایین‌تر را نشان دادند.</li> <li>• پارامترهای آبکاری همچنین محتوای کبالت در کامپوزیت‌ها را تحت تاثیر قرار دادند.</li> </ul>
Ni-Co	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	حمام واتس یا سولفات کبالت و سورفاکتانت	سیستم: موجود نیست، فرکانس: موجود نیست، توان: ۱۶۰ W-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [51] افزایش توان امواج التراسونیک منجر به اختلاط کمتر ذرات در زمینه فلزی، محتوای پایین‌تر کبالت در رسوبات، ماکروتش پسماند بالاتر، اندازه دانه ریزتر، ارتقاء صفحات بلوری (۲۲۰) و تضعیف صفحات بلوری (۲۰۰) شده است.</li> <li>• سختی به تدریج با افزایش توان امواج التراسونیک در طول آبکاری تا ۷۹۰ W افزایش یافت، سپس کاهش یافت.</li> </ul>
Ni-Co	SiC	حمام واتس یا سولفات کبالت	سیستم: موجود نیست، فرکانس: ۴۰ kHz، توان: ۳۵۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [60] امواج التراسونیک برای جلوگیری از تراکم ذرات قبل از رسوب، اختلاط ذرات بالاتر با افزایش غلظت ذرات در الکترولیت و چگالی جریان، اختلاط ذرات منجر به افزایش در سختی و بهبود مقاومت در برابر خوردگی (تغییر مثبت در پتانسیل خوردگی و کاهش خوردگی) شده است.</li> </ul>
Ni-P	SiC	حمام سولفامات یا اسید فسفریک	موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [37] امواج التراسونیک به طور موثر ذرات را قبل از آبکاری پراکنده می‌کند.</li> <li>• با افزایش غلظت ذرات در الکترولیت و چگالی جریان، اختلاط ذرات بالاتر و محتوا P پایین‌تر بدست آمده است.</li> <li>• کامپوزیت‌ها در مقایسه با آلیاژهای خالص رسوب کرده در چگالی‌های جریان مختلف، تنش پسماند پایین‌تری نشان دادند، سختی تحت تاثیر هر دو ذرات و مقدار P بود.</li> </ul>
Ni-W	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	حمام قلیایی: سولفات نیکل، تنگستن سدیم و سترات سدیم	سیستم: موجود نیست، فرکانس: ۱۳۰ و ۳۵ kHz، توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [42, 43] امواج التراسونیک در طول آبکاری به طور قابل توجهی تراکم ذرات را کاهش داد، در نتیجه موجب پراکندگی یکنواخت‌تر ذرات در کامپوزیت‌ها شده است.</li> <li>• فرکانس امواج التراسونیک بالاتر، کامپوزیت‌های با محتوای ذرات یکنواخت پایین‌تر و کمتر را به همراه داشت.</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>تفاوت‌ها در شکل و اندازه ذرات، خواص نهایی کامپوزیت‌ها را تحت تاثیر قرار داده است.</li> </ul>
Ni-W	WC	حمام قلیایی: سولفات نیکل، تنگستات سدیم، سدیم سترات، کلرید آمونیوم و برومید سدیم	موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>[61] امواج التراسونیک برای جلوگیری از تراکم ذرات در الکترولیت قبل از آبکاری استفاده شد.</li> <li>پارامترهای پالس آبکاری مورفولوژی سطح، محتوای ذرات و سختی پوشش‌ها را تحت تاثیر قرار دادند.</li> </ul>
Cu	$Al_2O_3$	حمام سولفات	موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>[62] امواج التراسونیک برای بهبود پراکندگی ذرات در الکترولیت قبل از آبکاری استفاده شد.</li> <li>پوشش‌های کامپوزیت، بهبود مقاومت در برابر سایش و مقاومت در برابر خوردگی نسبت رسوبات مس خاص نشان دادند. نرخ سایش، نرخ خوردگی و تخلخل یا افزایش محتوای ذرات در کامپوزیت‌ها کاهش یافته‌اند.</li> </ul>
Cu	فیبرها	حمام سولفات یا اسید پلی‌اکریلیک	موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>[63] امواج التراسونیک برای بهبود پراکندگی ذرات در الکترولیت قبل از آبکاری استفاده شد.</li> <li>مورفولوژی سطح با نوع الیاف گنجانیده شده تحت تاثیر قرار گرفته است.</li> </ul>
Cu-Zn	گرافیت	حمام سیانید با پتاسیم ستانات و پلی-وینیل پیرولیدون (سورفا کتانت)	سیستم: شیپوری فرکانس: ۲۰ kHz توان: ۷۰ W	<ul style="list-style-type: none"> <li>[64] ترکیبی از امواج التراسونیک و سورفاکتانت پراکندگی ذرات در الکترولیت قبل از رسوب بهبود داده است، و در نتیجه موجب قرار گرفتن موثر ذرات در کامپوزیت‌های پالسی-آبکاری شده می‌شوند.</li> </ul>
Zn-Ni	$Al_2O_3$	حمام کلرید (آمونیوم پایین) با استات سدیم	سیستم: شیپوری فرکانس: 20 kHz توان: $12 W/cm^2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>[44, 65] امواج التراسونیک در طول فرایند رسوب پراکندگی ذرات در زمینه آلیاژی بهبود داده است.</li> <li>توان امواج التراسونیک، شدیداً محتوای ذرات در کامپوزیت‌ها را تحت تاثیر قرار داد.</li> <li>سختی و پتانسیل خوردگی با افزایش محتوای ذرات در پوشش افزایش می‌یابد.</li> <li>جریان خوردگی مربوط به هر دو محتوای ذرات و پراکندگی ذرات در زمینه آلیاژ شده است.</li> </ul>
Cr	$Al_2O_3$ +SiC	حمام اسید کرومیک اصلاح شده با FS-10 (سورفاکتانت)	سیستم: موجود نیست. فرکانس: موجود نیست. توان: $2.8 W/cm^3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>[66] امواج التراسونیک برای پراکنده کردن ذرات در الکترولیت قبل از آبکاری استفاده شد.</li> <li>اختلاط ذرات در زمینه فلزی، مقاومت در برابر خوردگی پوشش‌ها به طور قابل توجهی بهبود داده است.</li> </ul>
Au	الماس	الکترولیت سولفات	سیستم: موجود نیست. فرکانس: 20 kHz توان: موجود نیست.	<ul style="list-style-type: none"> <li>[35] امواج التراسونیک برای بهبود پراکندگی ذرات در الکترولیت قبل از آبکاری استفاده شد.</li> <li>کامپوزیت‌های رسوب داده شده از الکترولیت که در آن ذرات با امواج التراسونیک پراکنده شده‌اند، محتوای ذرات بالاتر و مقدار سختی بالاتر نشان داده است.</li> </ul>
Au-Ni	PTFE	حمام تجاری: • طلا $10 g/L$ • نیکل: $1.5 g/L$	سیستم: حمام فرکانس: ۵۰۰ kHz توان: 0 $0.147 W/cm^3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>[49] امواج التراسونیک هر دو نرخ آبکاری و اختلاط ذرات را بهبود می‌بخشد.</li> <li>به طور کلی کامپوزیت‌های رسوب داده شده با امواج التراسونیک، ضرایب اصطکاک پایین‌تر بعد از تعداد سیکل‌های بیشتری نشان داده‌اند.</li> </ul>

## مطالعه خوردگی تنش آلیاژ آلومینیم AA7075-T6 پوشش کروماته شده در صنایع هوایی

تهیه و تنظیم:

ذبیح اله خنشا

دانشجوی فوق لیسانس متالورژی گرایش خوردگی و حفاظت مواد

دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد اصفهان

Zabih.khansha@gmail.com

محمدرضا ساتری

استاد دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مواد، دانشگاه شهر کرد

ساسان اطرح

استاد دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مواد، دانشگاه شهر کرد

خوردگی تنش به عنوان یکی از آسیبهای مهم صنعتی، مسئله ای است که همواره در بهره برداری قطعات صنعتی ایجاد مشکل می کند. خوردگی قطعات مورد استفاده در صنایع هوایی در اثر خوردگی تنش، می تواند منجر به فجایعی جبران ناپذیر گردد. پوششها به عنوان یک راه بسیار موثر برای محافظت از اجزای آلومینیمی از اکسیداسیون و خوردگی و همچنین ایجاد مقاومت در برابر تنش هستند. از جمله این پوششها، پوشش تبدیلی کروماته است که مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی خوبی را در دماهای بالا و پایین از خود نشان می دهند. در این پژوهش، پوشش تبدیلی کروماته، با محلول تجاری Alodine بر روی آلومینیم AA7075-T6 که قبلا عملیات حرارتی T6 بر آن صورت گرفته است، صورت گرفت. حدود کار تاثیر کروماته کردن آلیاژ آلومینیم AA7075-T6 بر مقاومت به خوردگی تنش بوسیله انجام تست C-ring مطابق با استانداردهای ASTM G-38 و G-47 در محلول نمکی NaCl ۳٫۵ درصد صورت گرفت. در نمونه های پوشش تبدیلی کروماته، ماکروترکها در حدود ۱۱۵۰ ساعت دیده شد. در آخر، مکانیزمهای خوردگی تنش با آزمایشات TEM, EDS, EDX, SEM و تافل بررسی گردید. از بررسی میکروسکوپی، اثرات مخرب ترکیب  $Al_2CuMg$  در پوشش تبدیلی کروماته دیده شد و این ترکیب باعث اختلاف ضخامت لایه پوشش است. مرحله تعیین کننده سرعت واکنش، شکست لایه رویین کروماته و تشکیل محلولی در عیوب در فصل مشترک فیلم - فلز است که آن یک انحلال اکتیو فلز را موجب می شود.

و برای دسترسی به خواص مکانیکی و پایداری ابعادی یا هر دو، با عملیات حرارتی رسوب سختی به صورت اساسی اصلاح می شوند. علت استحکام بالای این آلیاژ، توزیع ریز و یکنواخت رسوبات فاز T6 ثانویه در شبکه است که طی عملیات پیرسختی حاصل می شود. متأسفانه این گروه در ماکزیمم سختی به دست آمده طی عملیات حرارتی T6 تا حدود زیادی مقاومت به خوردگی تنش خود را از دست می دهند.

عملیات پیرسختی T6 بر روی آلومینیم ۷۰۷۵، منجر به استحکام بالای این آلیاژ، توزیع ریز و یکنواخت رسوبات فاز ثانویه در شبکه می شود که مراحل آماده سازی در زیر آورده شده است [۱]:

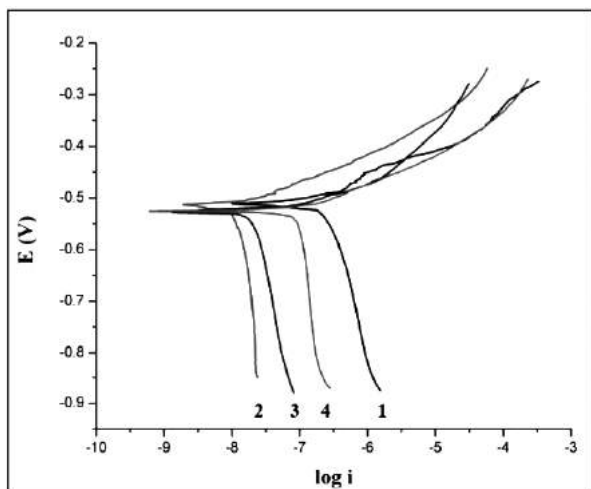
120°C/24 h ► کوئنچ در آب ► 470°C/3h

آلیاژ آلومینیم 7075-T6 به علت استحکام بالا و دانسیته پایین، استفاده گسترده ای در صنایع هوایی دارد. از آلیاژ آلومینیم 7075-T6 در پوسته رویی بالها استفاده می شود.

در چند دهه اخیر آلیاژهای آلومینیم استحکام بالا به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا و مقاومت آنها به خوردگی یکنواخت، به طور گسترده تری در صنایع هوایی خصوصا هواپیماسازی مورد استفاده قرار گرفته اند. اما حضور عناصر آلیاژی متنوع، علی رغم ایجاد رسوبات استحکام بخش در زمینه آلومینیم، عموماً این آلیاژها را در برابر خوردگی های موضعی، مستعد کرده اند. این مساله به این خاطر است که طیف وسیعی از ترکیبات بین فلزی که در حین عملیات حرارتی در ساختار این آلیاژها تشکیل می شوند، از لحاظ پتانسیل الکتروشیمیایی در گستره وسیعی قرار دارند که منجر به تشکیل زوجهای گالوانیکی و نهایتاً تشکیل حفره و ترک می گردد. آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ با عناصر روی، منیزیم، سیلیسیم، کروم و مس، با استحکام بالا که در صنایع گوناگون کاربرد فراوانی دارد، حساسیت زیادی به خوردگی های موضعی به ویژه حفره ای و بین دانه ای دارد. این نوع خوردگی ها می توانند شروعی برای انواع خوردگی مثل پوسته ای شدن (Exfoliation)، خوردگی تنش (SCC) و ترکهای خستگی در آلیاژ آلومینیم باشند.

عملیات T6 به عملیات حرارتی انحلال و پیرسازی مصنوعی اطلاق می شود. این پروسه در محصولات کاربردی خواهد داشت که پس از عملیات حرارتی کار سرد بر روی آن انجام نشده است



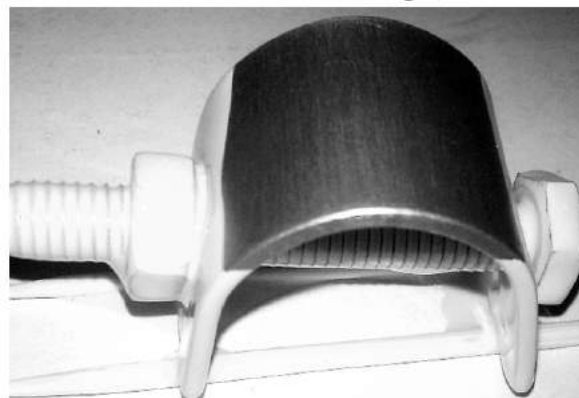


شکل ۲- نمودار آزمون برون یابی تافل نمونه های ۱ تا ۴

7075-T6 انجام دادند که در آن ابتدا ساختار پوشش کرومات را با توجه به تصویربرداری SEM و TEM و FIB و STEM مورد تجزیه و تحلیل که در آن نحوه شکل گیری و محافظت پوشش و ضخامت موثر بررسی گردید. در این کار فاکتورهای نسبت غلظت آکسیژن به کروم، ناخالصی ها و همچنین ترکیبات بین فلزی نیز بررسی گردید [۱]. همچنین در سال ۲۰۰۶ آقای رامش کومار و همکارانش در مرکز متالورژی تریچی هندوستان، مکانیزم و میزان خوردگی تنش آلیاژ ۷۰۷۵ آلومینیم با استفاده از آزمون کشش با نرخ کرنش پایین مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده بنظر می رسد که ترک خوردن القایی هیدروژنی مهمترین نقش را در ایجاد خوردگی تنش در آلیاژ ۷۰۷۵ آلومینیم دارد [۳].

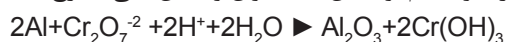
### مواد و روش ها

نمونه ها طبق استاندارد ASTM G-38 و ASTM G-47 تعریف شده، آماده سازی و جهت آزمون، مهیا گردید. استاندارد ASTM G-38 به بیان روش ساخت نمونه جهت آزمون و استاندارد ASTM G-47 روش نمونه برداری، نوع نمونه، آماده سازی نمونه، محیط آزمون، و نحوه قرار گرفتن در معرض خوردگی برای تعیین استعداد ابتلا به خوردگی تنش می پردازد. ابتدا نمونه آلیاژ 7075-T6 را جهت رسیدن به ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده به وسیله دستگاه کوانتومتر آنالیز و ترکیب شیمیایی به دست آمده و در جدول (۱) نشان داده شده است. نمونه آلیاژ آلومینیم عملیات حرارتی شده T6 طبق استاندارد ASTM G-38 به تعداد ۱۰ عدد بصورت ورقهای با اندازه طولی ۶۰ و عرض ۲۰ و ضخامت ۲ میلیمتر در جهت عمود بر نورد بریده و تعداد ۵ نمونه جهت عملیات پوشش دهی کرومات آماده گردید. دمای عملیات از ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتیگراد بوده و زمان ۲۰ دقیقه به طول انجامید.



شکل ۱- ساخت نمونه و پوشش دار نمودن

همچنین از این آلیاژ در بسیاری از فریمهای اصلی، ریب های اصلی و سازه های متصل کننده ارباب فرود به بدنه استفاده می شود. [۲] پوششهای تبدیلی در اصطلاح به پوشش هایی گفته می شود که از طریق واکنش لایه های اتمی سطح فلزات با آنیونهایی که از وسط فلزات ایجاد می شوند. کرومات به عملیات شیمیایی و الکترو شیمیایی فلزات و پوششهای فلزی محلولهایی گفته می شود که در آنها اسید کرمیک، کرمات یا دی کرمات باشد. نتیجه چنین عملیاتی ایجاد پوشش محافظ تبدیلی شامل ترکیبات کرم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی بر روی سطح فلز است. پوشش کرومات را می توان به طور شیمیایی (از طریق غوطه وری در محلول کرومات کردن) یا از طریق الکتروشیمیایی (قطعه ای که قرار است کرومات شود در زمانی که در محلول غوطه ور است به عنوان یک الکتروود عمل کند) ایجاد کرد. در مورد آلومینیم، واکنش ۱ به عنوان واکنش کلی مطرح است:



که در تحقیق پیش رو با اعمال عملیات حرارتی T6 بر روی متریال Al-7075 و پوشش تبدیلی کرومات به روش غوطه وری سعی شد مطالعات و آزمایشات استاندارد SCC بر روی متریال انجام و تحلیل و گزارش شود.

بررسی خوردگی موضعی آلیاژهای آلومینیم مورد نظر در محیط های هالیدی از اهمیت بالایی برخوردار است. محیط های هالیدی شامل یونهای کلرید و یا برومید می توانند لایه رویین روی سطح آلومینیم را بشکنند و سبب ایجاد خسارت روی سطح شوند.

خوردگی تنش، همان گونه که از نامش برمی آید، SCC، بیانگر ترک خوردن ناشی از تاثیر ترکیبی خوردگی توأم با تنش می باشد. یکی از مهمترین صور خوردگی SCC، خوردگی تنش ناشی از کلراید می باشد که آن را می توان نوعی از خوردگی بین دانه ای به حساب آورد [۱].

منگ و فرانکل از مرکز خوردگی فونتانا دانشگاه اهیو در سال ۲۰۰۳ کاری را با موضوع مطالعه پوشش تبدیلی کرومات بر روی آلیاژ آلومینیم

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم 7075-T6

درصد وزنی	%Al	%Mn	%Cu	%Zn	%Si	%Mg	%Fe	%Ti	%Cr
مقدار	باقی مانده	0.04	1.83	5.91	0.06	2.42	0.26	0.03	0.20

روش متداول سه الکترودی استفاده شد. نمونه های آلیاژ آلومینیم 7075-T6 کروماته شده و ساده به عنوان الکترود کار، الکترود Ag/AgCl حاوی محلول ۱ مولار به KCl به عنوان الکترود مرجع و الکترود پلاتین به عنوان الکترود کمکی استفاده شد. نمونه ها در دو گروه آلیاژ آلومینیم 7075-T6 پوشش کروماته داده شده (گروه ۲ و ۳) و آلیاژ آلومینیم 7075-T6 ساده (گروه ۱ و ۴) طبقه بندی شدند. نمونه ها به مدت ۴۰ دقیقه در الکترولیت مورد نظر غوطه ور شده و بلافاصله آزمون های امپدانس و تافل انجام یافت. سپس محلول ۳،۵ درصد NaCl برای هر قطعه در ظروف مجزا تهیه گردید.

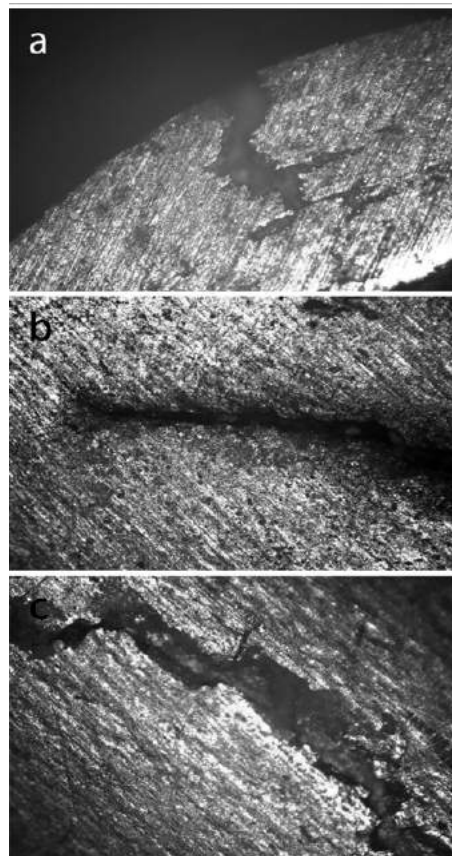
وقتی فلز در آب یا محلول نمکی مانند کلرید سدیم غوطه ور است به دلیل کاهش نفوذ اکسیژن در نواحی کاتدی نرخ خوردگی کاهش می یابد. یون کلر نقش اصلی در خوردگی را ایفا میکند. یون کلر باعث تخریب و سوراخ شدن لایه اکسیدی محافظ میشود. براساس پژوهشهای بروکشیتیس و کلارک وجود این یون در اتمسفرهای دریایی باعث میشود که نرخ خوردگی آلومینیم حدود ۲۲ برابر بیشتر از نرخ خوردگی اتمسفرهای روستایی می شود. [۴]

با بررسی در ۲۸ روز از تاریخ شروع خوردگی به علت نفوذ یونهای کلر در نمونه های ساده به پوسته اکسیدی آلومینیم و ترد و شکننده نمودن آن، ترکهای ماکروسکوپی در نمونه های ساده و بدون پوشش مشاهده و پس از گذشت ۴۸ روز با دیدن ماکرو ترکها در نمونه پوشش داده کروماته، جهت آنالیز و تحلیل آن، ابتدا از میکروسکوپ نوری و سپس از میکروسکوپ الکترونی رویشی (SEM) و EDX آن، همچنین میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) و EDS استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### ■ بررسی شیمیایی سطح آلیاژ آلومینیم 7075-T6

چنانچه با آزمون کوانتومتری دیده شد، حضور بالای عناصری همچون Cu, Mg و Zn بود. مهم ترین پدیده در آلیاژهای گروه ۷۰۰۰ پدیده پیرسختی است. در آلیاژ آلومینیم 7075-T6 طی پیرسخت شدن، خوشه های Cu و Mg تشکیل مناطق منظم (GPB) با فصل مشترک هم سیما می دهند. این مناطق ریخت شناسی میله مانندی سرشار از Mg و Cu دارند. ادامه پیرسازی موجب افزایش کرنش های هم سیمایی با تشکیل فازهای ثانویه می گردد. فاز ثانویه عمدتاً دارای ترکیب  $Al_2CuMg$  می باشد [۶] و ترجیحاً روی نایجایی ها و حلقه های نایجایی جوانه می زند تا انرژی جوانه زنی را کاهش دهد. رفتار الکتروشیمیایی رسوب بستگی به فاز زمینه اش دارد. این رسوب در ابتدا آن دیست اما با گذشت زمان، به دلیل سرعت بالای خورده شدن Mg، رسوب از



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه ها با بزرگنمایی ۵۰ برابر  
 a- نفوذ کلرید در دو جهت عمود بر سطح و موازی سطح در آلیاژ Al7075-T6  
 b- ترک در Al-7075-T6  
 c- ترک در Al-7075-T6 با پوشش کروماته

قبل از انجام کروماته قطعه بایستی چربی گیری می شد و پس از آن نیز بایستی کاملاً با آب تمیز شسته می شد. درصد کروماته در پوشش دهی بین ۴ الی ۵ درصد بود. پس از کروماته قطعات با آب مقطر در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد شسته شدند. نمونه ها به دو دسته، دسته ساده یعنی بدون پوشش و دسته پوشش داده شده کروماته و به تعداد ۵ عدد از هر کدام تقسیم بندی شد.

سپس تمامی نمونه ها طبق استاندارد ASTM G-47 و طبق مراحل شکل (۳-۱) به حالت حرف C و به نام C-Ring آماده گردید. سپس طبق شکل (۱)، جهت ایجاد یک تنش ثابت، به وسیله یک پیچ بلند دوسر ورق به هم نزدیک تر شد. حال قبل از آنکه قطعات وارد محلول شود، می بایست قطعات از ناحیه پیچ شده جهت جلوگیری از خوردگی این نقاط، رنگ و موم می شد.

به منظور بررسی رفتار خوردگی نمونه های کروماته شده در محیط آبی حاوی ۳،۵ درصد وزنی نمک طعام، از روش امپدانس الکتروشیمیایی و برون یابی تافل استفاده شد. جهت آزمایشهای الکتروشیمیایی از

جدول ۲- مشخصه های امپدانس الکتروشیمیایی و ضخامت لایه اکسیدی

نمونه	$R_2 (\Omega \text{cm}^2)$	$C_2 (\mu\text{F}/\text{cm}^2)$	$n_{\text{eq}}$	$d (\mu\text{m})$
1	$0.9 \times 10^7$	0.66	0.89	13.4
2	$1.3 \times 10^8$	0.28	0.93	1.53
3	$1.1 \times 10^8$	0.31	0.91	1.43
4	$1 \times 10^7$	0.64	0.91	13.8

جدول ۳- نتایج آزمون برون یابی تافل نمونه ها

نمونه	ولتاژ خوردگی ( $E_{\text{corr}}$ ) (V)	چگالی جریان خوردگی ( $i_{\text{corr}}$ ) ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	نرخ خوردگی در سال (میلی متر در سال)
1	-0.51	$2.45 \times 10^{-7}$	$2.67 \times 10^{-3}$
2	-0.66	$1.38 \times 10^{-8}$	$1.5 \times 10^{-4}$
3	-0.52	$2.26 \times 10^{-8}$	$2.46 \times 10^{-4}$
4	-0.54	$9.65 \times 10^{-8}$	$1.05 \times 10^{-3}$

پیشروی خوردگی می باشد، دیده می شود. در قسمت (C) که قسمتی از ترک بوجود آمده نمونه پوشش دار کروماته شده نمایان است، به خوبی تغییر جهت ترک در مرز دانه ها به دلیل استحکام پوشش را می توان مشاهده کرد.

Mg تهی می گردد، کاتدی شده و موجب خوردگی زمینه در نواحی اطراف رسوب می شود.

### ■ بررسی آزمون های الکتروشیمیایی

باتوجه به اینکه نمونه ها در دو گروه آلیاژ آلومینیم 7075-T6 پوشش کروماته داده شده (گروه ۲ و ۳) و آلیاژ آلومینیم 7075-T6 ساده (گروه ۱ و ۴) طبقه بندی شدند و با توجه به شکل (۲) و مقایسه نرخ خوردگی نمونه های ۱ تا ۴ برای محلول ۳،۵ درصد NaCl که در جدول (۲) و جدول (۳) آورده شده، مشاهده میگردد که آزمون تافل هم تاییدی بر آزمون امپدانس الکتروشیمیایی می باشد و نمونه ۲ و ۳ کمترین نرخ خوردگی را دارد.

### ■ بررسی میکروسکوپ نوری برنمونه های ساده و کروماته

#### شده آلیاژ آلومینیم 7075-T6

در نمونه های ساده و بدون پوشش باتوجه به عدم پوشش، خوردگی سریع تر و یون کلر راحت تر نفوذ کرده و لایه پسیو  $\text{Al}_2\text{O}_3$  را شکسته و مقدمات ترک را فراهم می کند. در بررسی های میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۵۰ برابر مشاهده گردید مهاجرت یونهای کلراید از محلول اصلی به ناحیه ترک نه تنها در جهت عمود بر سطح بوده، بلکه با توجه به قسمت (a) در شکل (۳)، در جهت موازی سطح نیز توانسته مرز دانه ها را بشکند و در جهت موازی مرز دانه ها حرکت و نفوذ کند. هندسه نوک ترک را در قسمت (b) شکل (۳) مشاهده می کنید. در این شکل یک ناحیه شروع خوردگی و ناحیه دیگری که نشانگر منطقه

### ■ بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و EDX

#### نمونه های ساده و کروماته آلیاژ آلومینیم 7075-T6

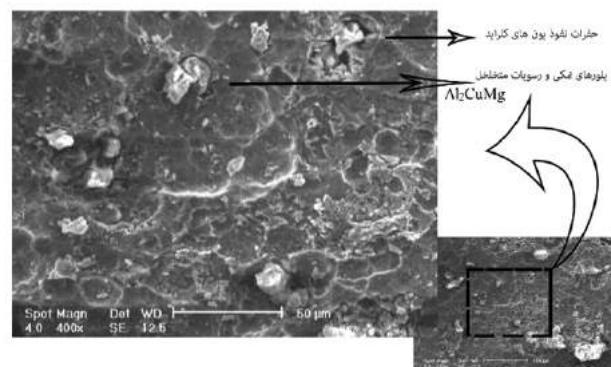
برای بررسی بهتر رسوبات و همچنین تحلیل بهتر نمونه ها، از میکروسکوپ الکترونی SEM استفاده شد.

آلومینیم جزء فلزات اکتیو- پسیو می باشد که در دامنه pH بین ۴،۴ تا ۸،۴ خود را روئین کرده و خوردگی کمی رانشان می دهد. میزان و نحوه خوردگی آلومینیم عملاً بستگی به لایه محافظ آن دارد که در نمونه های ساده باتوجه به وجود تنش ثابت و کششی سطح آن، لایه اکسیدی تشکیل شده که اکسید آلومینیم هیدراته شده  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O})$  است، طبق یک سیکل شکسته و ترمیم شده و نفوذ یونهای کلراید راحت تر صورت می گیرد.

تصاویر میکروسکوپ SEM مربوط به نمونه های ساده و بدون پوشش کروماته در شکل (۴) به خوبی رسوبات اکسید آلومینیم هیدراته شده  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O})$  و همچنین بلورهای NaCl و کلراید قابل مشاهده است. همچنین حفرات ایجاد شده توسط یونهای کلراید و آب که یک خوردگی حفره ای ضعیف را جهت شروع ترک فراهم می کنند. همچنین باتوجه به تصویر SEM ترک ایجاد شده از خوردگی تنشی نمونه ساده، می توان شکسته شدن لایه اکسیدی تشکیل شده

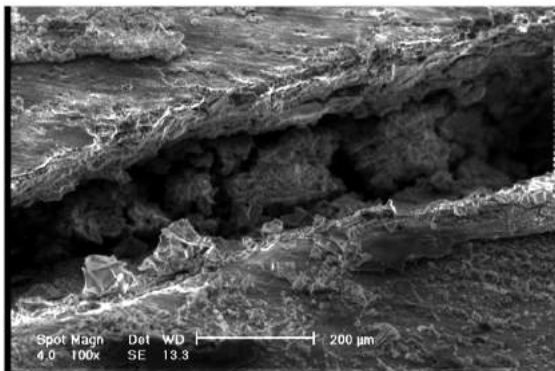
شکل ۴- تصویر SEM نمونه ساده و بدون پوشش آلومینیم 7075-T6

با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر



شکل ۵- تصویر SEM ترک ایجاد شده از خوردگی تنشی نمونه ساده

و بدون پوشش آلومینیم 7075-T6 با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر



جدول ۴- نتایج مربوط به آنالیز عنصری EDX از سطح نمونه ساده و بدون پوشش آلومینیم 7075-T6

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units	
O	K $\alpha$	395.91	41.78	26.21	wt.%	
Na	K $\alpha$	91.35	3.39	3.06	wt.%	
Mg	K $\alpha$	61.15	1.79	1.71	wt.%	
Al	K $\alpha$	1,477.97	36.44	38.54	wt.%	
P	K $\alpha$	37.23	0.95	1.15	wt.%	
S	K $\alpha$	84.29	1.92	2.41	wt.%	
Cl	K $\alpha$	313.28	6.83	9.50	wt.%	
Cu	K $\alpha$	47.93	3.41	8.48	wt.%	
Zn	K $\alpha$	36.78	3.49	8.94	wt.%	
			100.00	100.00	wt.%	Total

باتوجه به بررسی رسوب تشکیل شده و عناصر موجود بر ترک نمونه نیز آنالیز عنصری EDX بر نوک ترک صورت گرفت و در شکل (۸) مشاهده می شود و میزان عناصر در جدول (۵) آورده شده است. چنانچه گفته شد عنصر کرم در اینجا با تشکیل  $Cr_2O_3$  تا حدودی از پیشروی یونهای کلراید جلوگیری کرده و مقدار آن را نسبت به حالت نمونه ساده تا حدود یک چهارم کاهش داده است. اما باید گفت با تدام تنش ثابت در این منطقه، این پوسته ترد و شکننده، در درون شکاف ترک شکسته شده و متخلخل می گردد.

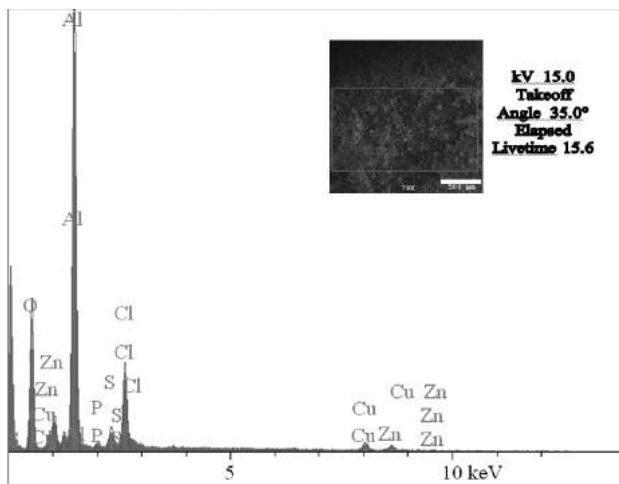
#### ■ بررسی میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نمونه کرومات شده آلیاژ آلومینیم 7075-T6

در شکل (۹) چنانچه مشاهده می شود، تصویر میکروسکوپ الکترونی TEM که در آن ضخامت لایه پوشش داده شده در حدود  $150 \sim 300$  nm می باشد.

Mg فلز بسیار فعالی است و به همین دلیل تمایل زیادی به شرکت در واکنشها و حضور در ترکیبات بین فلزی دارد. همچنین دارای حد

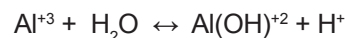
شکل ۶- آنالیز EDX از سطح نمونه ساده و بدون پوشش آلومینیم

7075-T6



در داخل شکاف ترک را مشاهده کرد. شکل (۵) در نمونه های پوشش داده شده کرومات تنها زمانی خوردگی را خواهیم داشت که تنش، در مدت زمان بالا میکروتترکها را ایجاد، سپس میکروتترکها راه را برای حمله یونهای کلر جهت خوردگی و آزاد سازی  $Al^{+3}$  باز کنند. البته در این نمونه ها نمی توان از نقش پوسته اکسیدی  $Cr_2O_3$  چشم پوشی کرد که با تشکیل آن، تا حدی سرعت خوردگی کاهش می یابد ولی با توجه به ترد و شکننده بودن این پوسته، در حین تنش، این پوسته نیز شکسته و بصورت متخلخل در دهانه ترک می ماند. در اینجا هیدرولیز یونهای فلزی، بر سرعت خوردگی اثر گذاشته و منجر به فعال شدن سطح ناحیه شکاف ترک می شود.

بر اساس واکنش زیر:



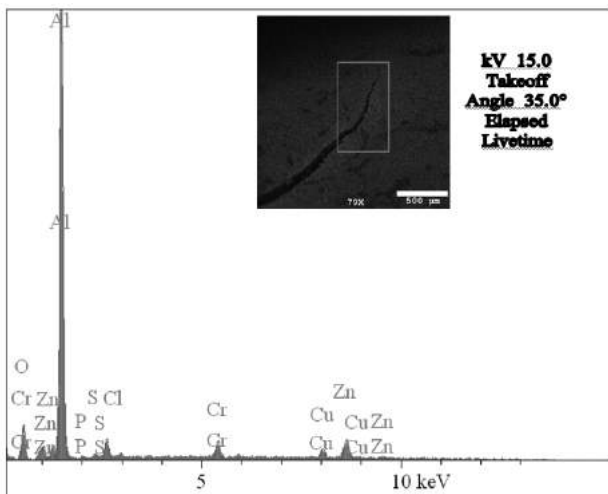
می توان pH در ناحیه ترک را اسیدی دانست که در حقیقت هیدرولیز یون Al به صورت این واکنش، باعث اسیدی شدن محلول ناحیه ترک می گردد.

باتوجه به بررسی رسوب تشکیل شده و عناصر موجود بر سطح نمونه نیز آنالیز عنصری EDX بر روی سطح صورت گرفت و در شکل (۶) مشاهده می شود و میزان عناصر در جدول (۴) آورده شده است. میزان بالای کلر بر سطح به خوبی تایید می گردد.

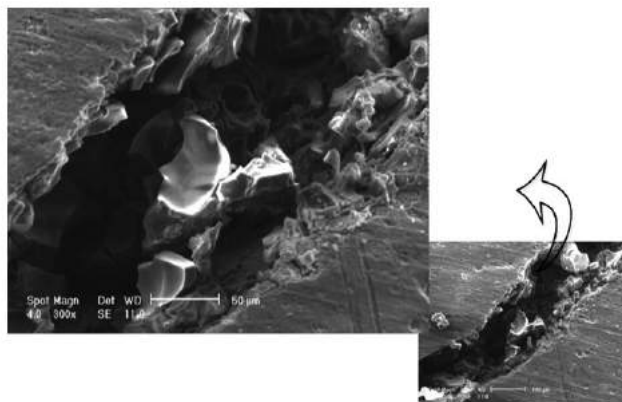
در شکل (۷) تصویر SEM ترک ایجاد شده از خوردگی تنشی نمونه پوشش داده شده کرومات آلومینیم 7075-T6 مشاهده می شود. در پوشش تبدیلی کرومات، حضور یون فلوراید به عنوان یک فعال کننده، برای شکل گیری حفاظت است. رشد فیلم در CCCs1 بدون یون فلوراید بسیار آهسته است. انحلال فلوراید باعث می شود تا اکسید آلومینیم ( $Al_2O_3$ ) ابتدا بر روی سطح موجود نشست و اجازه دهد تا اکسیداسیون کروم ( $Cr^{+3}/Cr_6$ ) واکنش داده و پوشش رسوبی تشکیل گردد.

واکنش ها به شرح زیر است: [۵]





شکل ۸- آنالیز EDX از نوک ترک نمونه با پوشش کروماته آلومینیم 7075-T6



شکل ۷- تصویر SEM ترک ایجاد شده از خوردگی تنش نمونه پوشش داده شده کروماته آلومینیم 7075-T6 با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر

مکانیزم خوردگی تنش را می توان بر پایه مراحل زیر مطرح کرد:  
 ■ بطور ابتدائی، واکنش آندی و کاتدی می تواند در داخل ترک به خوبی در بیرون ترک نیز رخ دهد.

■ سرانجام، به دلیل تخلیه اکسیژن در ناحیه ترک، تنها واکنش آندی در ناحیه ترک انجام شده و دیگر واکنش کاتدی قادر به انجام در این ناحیه نیست.

■ به منظور خنثی شدن بار در ناحیه شکاف، مهاجرت یونهای کلراید از محلول اصلی به ناحیه شکاف که یونهای فلزی در آن موجود است، صورت می گیرد.

■ هیدرولیز محلول کلراید فلز در ناحیه ترک باعث افت pH در این ناحیه می شود.

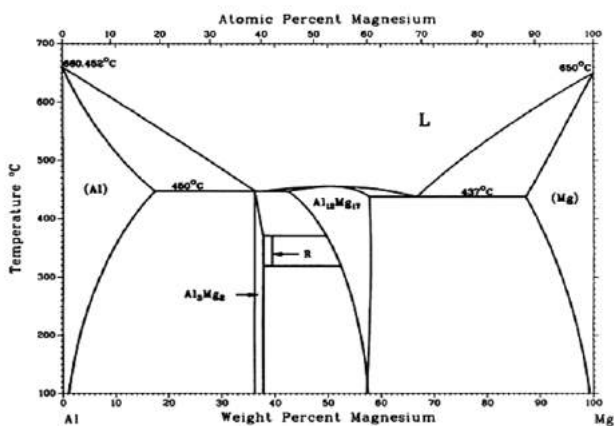
■ یونهای کلراید و یونهای هیدروژن در ناحیه شکاف به واکنش آندی کمک کرده و با توجه به تنش ثابت، منجر به تسریع خوردگی تنش می شوند.

حلالیت کناری در Al می باشد. رفتار خوردگی آلیاژهای گروه ۷۰۰۰ ارتباط مستقیمی با رفتار خوردگی Al-Cu-Mg و سایر ترکیبات Mg دارد. دیاگرام فازی Al-Mg را در شکل (۱۰) می بینید.

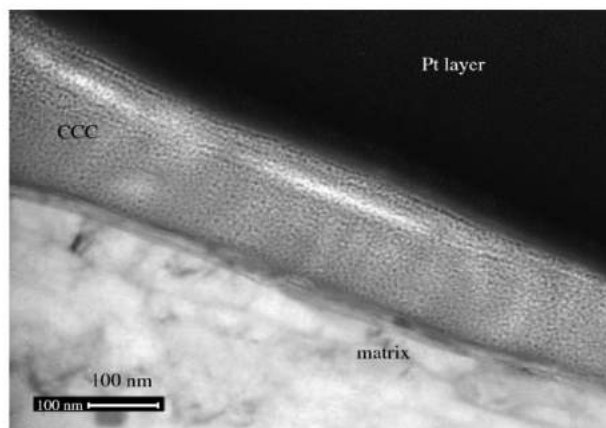
وجود مقادیر Mg در تمام این رسوبات حاکی از اهمیت این فلز در فرآیند رسوب گذاری است. همچنین Mg به تنهایی می تواند با Al وارد واکنش شده و تشکیل ترکیباتی مثل  $Al_3Mg_2$  و  $Al_8Mg_5$  بدهد که عمدتاً در مرز دانه شکل می گیرند. این ترکیبات نسبت به داخل دانه آندی بوده و استعداد آلیاژ را در خوردگی مرز دانه ای تقویت می کنند. پس به نوعی می توان گفت عمدتاً حفرات ایجاد شده می تواند در مرز دانه های ترکیباتی مانند  $Al_2CuMg$  روی دهد و ترک های به وجود آمده از نوع بین دانه ای باشد. شکل (۱۱)

■ مکانیزم خوردگی تنش آلیاژ آلومینیم - 7075  
 - مکانیزم خوردگی تنش آلیاژ آلومینیم - 7075  
 (در دید ماکرو)

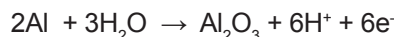
شکل ۱۰- دیاگرام فازی سیستم [۶] Al-Mg



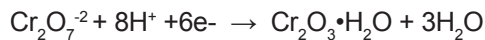
شکل ۹- تصویر TEM با بزرگنمایی ۶۰۰۰۰ برابر از پوشش تبدیلی کروماته بر زمینه آلومینیم 7075-T6



واکنش آندی انحلال آلومینیم:



و واکنش کاتدی رسوب مواد پوشش:



### – مکانیزم‌های حل شدن

■ تشدید حل شدن در اثر تنش: ترک با انحلال آندی موضعی گسترش می‌یابد. نقش اصلی تغییر شکل پلاستیکی تشدید فرآیند حل شدن می‌باشد.

■ تشکیل فیلم در دیواره ترکها، بر اساس مکانیزمهای هم صفحه‌ای بودن نابجایی‌ها: ترک‌ها در محلی که پله‌های لغزشی به سطح می‌رسند، شروع می‌شوند. رشد ترکها در نتیجه انحلال فلزی است که در حال تسلیم است. با رشد ترک، پوسته روی دیواره ی ترک مجدداً تشکیل می‌شود و به عنوان کاتد عمل می‌کند.

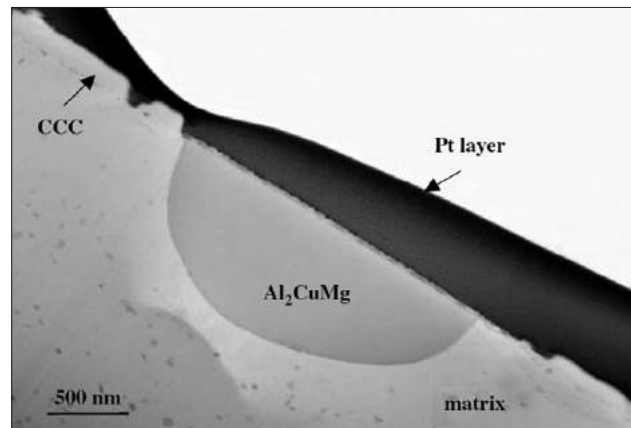
■ غنی شدن نسبت به عنصر نجیب

■ ترک خوردن در اثر خوردگی تنشی با شکستن و پاره شدن مداوم فیلم‌های غیرفعال پیشروی می‌کند.

■ مهاجرت یون کلرید

بطور کلی حضور حفرات به دلیل مستعد بودن آلیاژ به خوردگی حفره‌ای در محیط‌های حاوی یون کلر است. یون کلر شعاع یونی نسبتاً کوچکی داشته و همچنین، در محلولهای آبی از موبیلیته بالایی برخوردار است. بنابراین، در لایه اکسیدی روی سطح نفوذ کرده و باعث تشکیل حفره میشود.

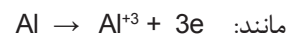
■ هم چنین  $Cl^-$  می‌تواند جانشین  $OH^-$  در ترکیب  $Al(OH)_3$  شود و تولید  $AlCl_3$  کند و این باعث می‌شود فیلم اکسیدی محافظ، خاصیت خود را از دست بدهد.



شکل ۱۱- وجود ناخالصی  $Al_2CuMg$  و رخداد اولین ترک [۵]

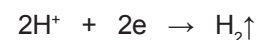
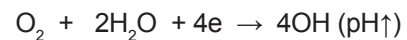
واکنشهای انجام گرفته برای آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

واکنش آندی (اکسیداسیون، از دست دادن الکترون):



واکنش کاتدی (احیاء، گرفتن الکترون):

مانند احیاء یون هیدروژن و اکسیژن:



تجزیه آب  $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$



بطور کلی اعتقاد بر این است که پس از شکست پوشش تبدیلی کرومات، یک بی‌ثباتی از فیلم اکسید منفعل از کروم به دنبال تنش در معرض آن را خواهیم داشت. مکانیزم محافظت پوشش تبدیلی کرومات، مسدود کردن منافذ فعال و نقص توسط فیلم  $Cr(III)$  می‌باشد.

جدول ۵- نتایج مربوط به آنالیز عنصری EDX از نوک ترک نمونه با پوشش کرومات آلومینیم 7075-T6

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units	
O	K $\alpha$	64.84	11.88	5.56	wt.%	
Na	K $\alpha$	18.63	1.41	0.95	wt.%	
Mg	K $\alpha$	33.13	2.04	1.45	wt.%	
Al	K $\alpha$	1,150.18	57.82	45.61	wt.%	
P	K $\alpha$	10.85	0.54	0.49	wt.%	
S	K $\alpha$	15.82	0.68	0.64	wt.%	
Cl	K $\alpha$	59.40	2.38	2.46	wt.%	
Cr	K $\alpha$	67.58	3.27	4.96	wt.%	
Cu	K $\alpha$	47.42	5.77	10.71	wt.%	
Zn	K $\alpha$	86.99	14.21	27.17	wt.%	
			100.00	100.00	wt.%	Total

## نتیجه گیری

■ ضخامت لایه پوشش داده شده که بین ۰,۱ تا ۱۰ میکرون می باشد، و این اختلاف محدوده به خاطر نقش ترکیباتی همچون  $Al_2CuMg$  است که پوشش در ضخامتهای بیشتر، مقاومت به تنش و خوردگی تنشی بهتری را نشان داد.

■ چون طبق استانداردهای ASTM G-38 و ASTM G-47 می بایست حتما جهت اتمام آزمون و شروع بررسی های آنالیز میکروسکوپی می بایست ترکهای ماکرو دیده می شد، لذا در مدت زمان ۶۷۰ ساعت ترکهای ماکرو در نمونه های ساده دیده شد، که احتمال می رود به علت تشکیل پوسته اکسیدی و کاهش دید ترکها، این زمان کمتر نیز بوده است. در نمونه های پوشش تبدیلی داده شده کروماته، ماکروتوکها در حدود ۱۱۵۰ ساعت دیده شد.

■ افزایش مقاومت به خوردگی فلز یا پوشش تبدیلی کروماته، در حالت اخیر به طولانی شدن زمان ظهور اولین آثار خوردگی بر روی فلز پایه و فلز پوشش منجر شد.

■ از بررسی خوردگی تنشی تحت یک تنش ثابت از نمونه های ساده و بدون پوشش با نمونه های پوشش داده شده کروماته، مکانیسمهای خوردگی بین دو نمونه تحلیل و زمان خوردگی ها و پیدایش میکروتوکها بررسی شد.

■ از بررسی میکروسکوپی نمونه ها اثرات  $Al_2CuMg$  در محیط خورنده فهمیده شد که چه اثرات مخربی بر خواص سطحی آلیاژ آلومینیم 7075-T6 پوشش کروماته شده و بدون پوشش، داشته و سبب ایجاد حفره هایی روی سطح شده است که این حفره ها می توانند به عنوان مراکز تمرکز تنش عمل کنند و در حضور یک تنش ثابت، افت خواص مکانیکی را به دنبال خواهد داشت.

■ با به وجود آمدن اولین میکرو ترکها و نفوذ یونهای مهاجم به داخل شکاف ترک، محیطی اسیدی در شکاف ترک به وجود می آید که تسریع شدید خوردگی و آزادسازی سریع یونهای آلومینیم را به دنبال خواهد داشت.

## منابع:

■ با توجه به اینکه اکسید آلومینیم یک مانع موثر در مقابل نفوذ یونهای کلراید و آب به سطح آلیاژ نمی باشد، بنابراین نفوذ یونهای کلراید به سطح آلیاژ تعیین کننده سرعت خوردگی نیست. بلکه مرحله تعیین کننده، شکست لایه رویین کروماته و تشکیل محلولی در عیوب در فصل مشترک فیلم - فلز است که آن یک انحلال اکتیو فلز را موجب می شود.

## پیشنهادات جهت تحقیقات آینده

■ بررسی پوششهای داکرومت بر روی آلیاژهای صنایع هوایی

■ بررسی خوردگی های موضعی خاص بر روی آلیاژهای صنایع هوایی که منجر به خسارات جبران ناپذیری می گردد.

■ دست یابی به نانو پوششهای تبدیلی خاص که بتواند با تنشهای ثابت و یا سیکلی، از خود مقاومت بالاتری را نشان دهد.

■ دسترسی به داده های نرخ رشد خستگی فوق العاده بالای خلاء در شکاف و همچنین تاثیر ریز ساختار ترک، در آلیاژهای صنایع هوایی

■ اندازه گیری با دقت بالا و مدل سازی المان محدود از تنش و فشار و نفوذ هیدروژن به نوک منطقه ترک و تنش. به طور مثال اندازه گیری محاسبات خوردگی بر سطح ترک برای غلظت هیدروژن یا یونهای مهاجم در محیط های مختلف و مدلسازی مکانیکی نوک ترک و بررسی ناحیه پلاستیک آن در حضور تنشها

■ شناسایی مکانیزم اساسی هیدروژن و کلراید که در آن آسیب خستگی در نرخ رشد پایین باتوسعه معیارهای شکست حائز شود. مثلا مشاهدات از تغییر شکل مورفولوژی در ۵، ۰ - ۵ میلیمتر در مورد نوک ترک و در کنار آن بررسی ویژگی کریستالوگرافی و سطحی از ترک خوردگی های محیطی

■ مکانیزم مدل مکانیکی - شیمیایی نرخ رشد ترک در خوردگی تنشی

■ بررسی اثرات زیست محیطی بر میزان رشد ترک تحت دامنه بارگذاری متغیر و همچنین قرار گرفتن در معرض محیط شیمیایی متغیر با زمان در صنایع هوایی



[1] Q.Meng, Franckel, , "EFFECT OF CU CONTENT ON CORROSION BEHAVIOR AND CHROMATE CONVERSION COATING PROTECTION OF 7XXX SERIES AL ALLOYS", All Meng, The Ohio State University, pp. 14-35, 2003.

[2] <http://www.alcoa.com>, Last visit June 2012.

[3] S. Ramesh Kumar, K. Gudimetla, P. Venkatachalam, B.

Ravisankar, " Stress corrosion cracking of Al7075 alloy

processed by equal channel angular pressing", International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 2, No. 12, pp. 53-61, 2010.

[4] G.K. Berukshtis and G.B. Klark, " Corrosion of Metals and Alloys", Jerusalem, pp. 281-297, 1966.

[5] Yuhchae Yoon , " FORMATION AND BREAKDOWN OF CHROMATE CONVERSION COATINGS ON Al-Zn-Mg-Cu 7X75 ALLOYS", Ohio State University, 2004.

[6] Vargel, C. (2004). Corrosion of aluminium. Elsevier.

[7] G. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, 1986.

## پوشش‌های کامپوزیت نیکل الکترولس (قسمت اول)

تهیه و تنظیم:

حامد رحمانی

دانشجوی کارشناسی مهندسی متالورژی صنعتی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

شیرین بقایی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

محمود علی اف خضرای

نویسنده مسوول، استادیار خوردگی و حفاظت از مواد

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی

khazraei@modares.ac.ir

فرآیندهای رسوب فلز بر پایه پوشش آلیاژی و کامپوزیتی نیکل الکترولس، در سطوح مختلف علاقه محققان را به خود جلب کرده و امکان ساخت آنها با خواص مطلوب از وجوه قابل اشاره در این زمینه است. این پوششها مقاومت به خوردگی و سایش خوبی دارند و کاربردهای آنها در سطوح مختلف توسعه یافته است. این مقاله در مورد جزئیات کامپوزیتها، ساختار و ویژگی های سطحی، خصوصیات و کاربردهای جدید و مختلف پوششهای کامپوزیتی نیکل الکترولس بحث می کند.

پوششهای کامپوزیتی پیشنهاد داد. نتایج تجربی با مکانیزم پیشنهادی گالگلیمی، همخوانی دارند. [۳] گروسجین و همکاران، از تنظیمات تجربی برای تولید پوششهای کامپوزیت نیکل - سیلیسیم استفاده کردند که در شکل ۱ نشان داده شده است. [۴]

در این روش مخلوط کردن از طریق یک جریان مایع با یک پمپ گریز از مرکز به وجود می آید و از یک سیستم آبخاری استفاده شده است. سپس، مسیر گردش حمام از بالا تا پایین یک جریان افقی مایع را روی سطح نمونه ایجاد کرده است. این نمونه از جریان، با مسیر گردش به بالا هم زدن را انجام می دهد و مزیت نگه داشتن ذرات به صورت معلق در محلول را دارد. ترکیبات نوعی نیکل الکترولس - پلی تترافلورواتیلن و نیکل الکترولس - کاربید و نیکل الکترولس - تیتانیا و سیلیکات نیکل الکترولس - حمام کامپوزیت و شرایط آبخاری در جدول ۱ آورده شده است. محدوده ابعاد ذرات از زیر میکرون آلومینا و پلی تترافلور و اتیلن تا الماسهای  $5 \mu\text{m}$  است. [۵] برای بدست آوردن بهترین اختلاط بین ذرات و زمینه ی نیکل - فسفر الکترولس، اندازه ذرات باید کوچک باشد، در این صورت زمینه به طور محکم می تواند آنها را در خود نگه دارد. [۶]

آپاچیتی [۷] نشان داد که ذرات آلومینیم فسفید به شکل کروی اختلاط بهتری نسبت به شکلهای بی قاعده دارند. تفاوت شکل ذرات همچنین به جهت نوع نهایی رسوب بستگی دارد. سطح های بسیار خشن و بسیار صاف به ترتیب در نتیجه ذرات با زاویه زیاد و گرد ایجاد شده اند. ذراتی مثل کاربید سیلیسیم [۸،۷] و کاربید کروم، زیرکنیا و آلومینیا، گرافیت و پلی تترافلور و اتیلن [۹] توسط محققان بررسی شده اند. نیازهای اساسی پوششهای کامپوزیت نیکل الکترولس در زیر خلاصه شده اند:

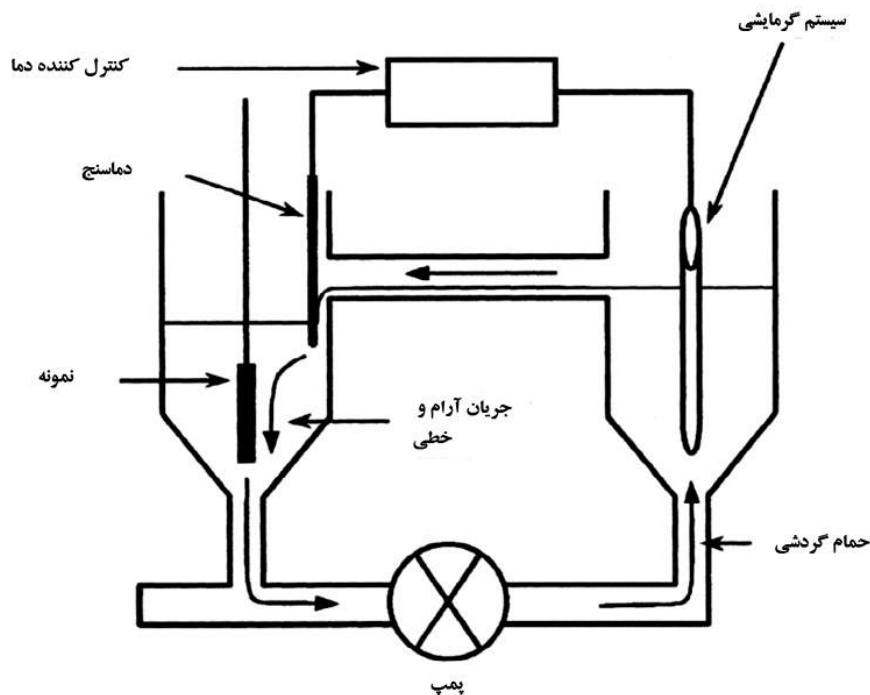
هم رسوبی مواد (ذرات سخت یا غیر فلزی) با پوششهای الکترولس، به عنوان پوششهای کامپوزیت الکترولس نامگذاری می شود. کامپوزیتهای مقاوم به سایش می توانند با استفاده از هم رسوبی مواد با اندازه ریز و یکنواخت تولید شوند.

ذرات سخت مثل، الماس - کاربید سیلیسیم، آلومینیم اکسید، روغن و روان کننده جامد هایی مثل ذرات پلی تترافلور و اتیلن هم رسوبی شده اند. ذرات ریز دیگر اجزاء بین فلزی و کربن می توانند در زمینه نیکل - فسفر و نیکل - بور الکترولس پخش شوند.

پوششهای کامپوزیت الکترولس در ابتدا به راحتی رسوب نمی کردند و معمولاً موجب تجزیه ی حمام می شدند. پخش شدن ذرات ریز سطح تماس حمام الکترولس را حدود  $700-800$  بار بیش تر از حمام الکترولس نرمال می کند که این باعث ناپایداری حمام می شود. با کمک پایدار سازهای مناسب، پوشش کامپوزیت نیکل الکترولس تهیه شد. بر خلاف رسوب همزمان الکترولیتی، پوشش های الکترولس، سطح زیرلایه را منعکس می کنند و احتیاجی به عملیات آماده سازی بعدی قطعه ندارند. [۱،۲]

این پوشش با استفاده از ضربه و قرار دادن ذرات روی سطح قطعه کار ایجاد شده است و محیط ثانویه این ذرات، با زمینه نیکل - فسفر، هیچ پیوند مولکولی بین زمینه فلزی و ذرات ریز غیر مرتبط ایجاد نمی کند. گالگلیمی، یک مدل ریاضی برای پردازش رسوب الکترولیتی





شکل ۱- دستگاه پیشنهادی برای تولید پوششهای کامپوزیت الکترولس

#### ■ پایداری حمام

پخش شدن ذرات ظریف، سطح تماس را افزایش می دهد و باعث تجزیه ی حمام می شود. [۶]

#### ■ مواد فعال در سطح

این مواد افزودنی مخصوصاً در اختلاط ذرات نرم مثل پلی تترا فلورو اتیلن (پلی تترا فلور و اتیلن) گرافیت و دی سولفید مولیبدن، مهم هستند. مواد فعال در سطح در اختلاط ذرات فاز دوم، نقشی اساسی بازی می کنند. [۱۵ و ۱۴]

همانگونه که در بالا ذکر شد، غلظت ذرات پراکنده شده در حمام نیکل الکترولس در تأثیر میزان اختلاط نقش اساسی ایفا می کنند. هر کامپوزیتی خواص خاص خودش را دارد. ۲۵-۲۰ درصد حجمی سیلیسیم کاربرد می تواند منجر به ماکزیمم سختی شود که از سختی پوشش آلایژ نیکل-فسفر بیشتر است که ۲۵-۲۰ درصد حجمی پلی تترا فلور و اتیلن می تواند باعث کاهش اصطکاک بین قطعات مهندسی آبکاری شده شود. این کامپوزیتهای، از نوع استانداردهای تجاری هستند، مخصوصاً وقتی که مقاومت به سایش یا ضریب اصطکاک کم لازم باشد. گرافیت، جایگزینی مناسب برای پلی تترا فلور و اتیلن است، اما به نظر می رسد که پلی تترا فلور و اتیلن کاربرد صنعتی دارد [۱۶]. سدیم دودسیل سولفات برای افزایش پراکندگی و خاصیت تر شوندگی ذرات سیلیسیم کاربرد استفاده شده است. گروسجن و همکاران نشان دادند که با افزودن ماده Foraface ۵۰۰، حجم هم رسوبی ذرات سیلیسیم

#### ■ تلاطم

ذرات سخت مثل الماس، کاربرد سیلیسیم و آلومینا با استفاده از هم زدن معلق نگه داشته می شوند و در رسوب پنهان می شوند. توصیه می شود که اشیایی که چرخیده یا وارونه شده اند به گونه ای قرار گیرند که همه قسمت‌های سطح به طور منظم رو به بالا باشند. هم زدن و مخلوط کردن یک فاکتوری کلیدی در آبکاری است. [۱۱ و ۱۰]

#### ■ اندازه ذرات

ذرات با شکل و اندازه مناسب باید در حلا، غیر قابل حل باشند و مستقل از آلودگی های سطحی و به طور معلق در حمام نگه داشته می شوند. اندازه ذرات نقشی حیاتی در رسوب بازی می کند. [۷]

#### ■ غلظت ذرات

در غلظت هایی فراتر از غلظت های بحرانی، امکان آگلومراسیون ذرات فاز ثانویه به خاطر کاهش فاصله جزیی بین آنها، و در نتیجه جدایش بین ذرات به وجود آمده، موجب اشباع یا کاهش ناچیز در

جدول ۱- ترکیب و شرایط آبکاری پوششهای کامپوزیت نیکل الکترولس - سیلیسیم کاربید / پلی تترا فلورو اتیلن / تیتانیا / سیلیکا

ترکیب / شرایط	نیکل الکترولس - سیلیسیم کاربید	نیکل الکترولس - پلی تترا فلورو اتیلن	نیکل الکترولس - تیتانیا	نیکل الکترولس - سیلیکا
نیکل سولفات	26-30	26-30	۱۵	18-20
سدیم هیپوفسفات	28-30	28-30	۱۴	20-25
سدیم استات	35-45	35-45	۱۳	10-25
لاکتیک اسید	20-25	20-25	-	2-5
تیواوره	3-5	3-5	۱	-
مواد دیگر	8-10 g/l پودر سیلیسیم کاربید 100-150 mg/l مواد فعال روی سطح	پخش 6-8 ml/l پلی تترا فلور و اتیلن	12ml/l فلورید اسید ۴۰٪ ۸g/l آمونیوم بیفلوراید سل 120 ml/l تیتانیا	2-5 ml/l سیتریک اسید 2 g/l $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , 6 g/l سیلیکا
pH	4.8	5	۶.۵	48
دما (°C)	86-88	86-88	80-82	89-91

شوند، در حالی که سدیم دودسیل سولفات، این کار را نمی کند [۱۹]. درصد وزنی ذرات نرم و سخت هم رسوبی در نیکل - فسفر یا بورالکترولس می تواند از طریق حل کردن یک وزن مشخص از رسوب در نیتریک اسید و سپس فیلتر کردن ذرات از طریق یک غشاء ۰,۱ میکرومتری تعیین شود. [۲۰]

روشهای بسیار دیگری برای تعیین سطح اختلاط ذرات فاز دوم در زمینه های نیکل / فسفر / بور الکترولس مثل آنالیزور ریز کاوشگر الکترونی برای اختلاط اکسید کروم ( $Cr_2O_3$ ) [۲۱] و سطح مقطع پوشش با استفاده از آنالیز تصویر توسط بوزینی و توسط بنا-مانوز و استرافیلین و همکاران پیشنهاد شده است [۲۲ و ۲۳ و ۲۴].

یو و ژانگ، پیشنهاد استفاده از آنالیزور یا تجزیه و تحلیل نشر طیف را که به طور مستقیم، پوشش سطح را تعیین کند، مطرح کردند. همچنین لوسیوکز و همکاران روش شمارش ذره را توسط مورفولوژی سطح پوشش پلی تترا فلور و اتیلن / نیکل الکترولس - تیتانیا استفاده کرده اند [۲۵] این روش می تواند برای تشخیص میزان اختلاط ذرات در پوششهای کامپوزیت الکترولس مفید باشد.

### ■ ساختار

اختلاط ذرات سریا و نیتريد سیلیسیم و تیتانیا، ساختار زمینه رسوب نیکل - فسفر الکترولس را تغییر نمی دهد [۲۶]. اما، اختلاط ذرات بور کاربید، بر جهت بلورهای نیکل بدون تأثیر بر ابعاد بلور، تأثیر می گذارد. نیکل در لایه هایی با ذرات بور کاربید، تمایل به جهت گیری کمتری دارد. [۲۲]

بالا راجو و رجم [۲۷] مشاهده کردند که اختلاط ذرات نیتريد

کاربید می توانند از ۱۹ به ۵۳ درصد برسند. [۱۷] گر وهونگ پیشنهاد کردند که، افزایش مواد فعال ساز سطحی، میزان اختلاط بیشتری از ذرات پلی تترا فلور و اتیلن را امکان پذیر می کند و غلظت آنها در حمام بحرانی است. [۱۵]

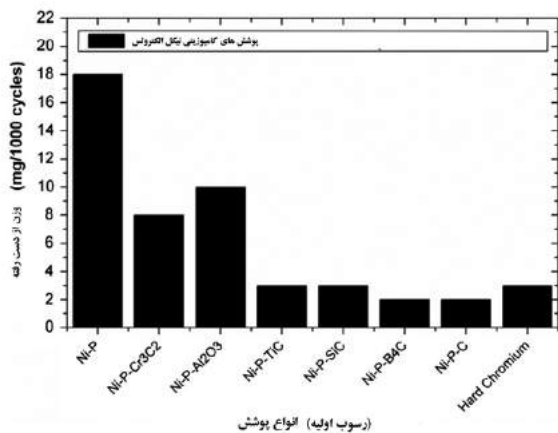
از مطالب بالا به این نکته پی برده می شود که چندین فاکتور در اختلاط ذرات فاز دوم در زمینه فسفر - بور نیکل الکترولس، تحت شرایط واقعی، تأثیر می گذارد. گر و همکاران [۱۸] دو نوع مواد فعال سطح، یعنی ستیل تری متیل آمونیوم برومید و FC134 در آبکاری نیکل - فسفر - پلی تترا فلور و اتیلن را مورد مقایسه قرار دارند. تغییر ترکیب پوشش شدیداً به واکنش پذیری کاتدی ذرات فعال در سطح که به زیر لایه ها در مراحل اولیه بستگی دارد، مربوط می شود.

وقتی که واکنش پذیری کاتدی مواد فعال در سطح بیشتر است، در یک زمان ذرات پلی تترا فلور و اتیلن به راحتی در محلول، نشانده می شوند. ظرفیت حجمی پلی تترا فلور و اتیلن با رشد محلول پوشش افزایش می یابد.

وقتی که واکنش پذیری کاتدی مواد فعال سطح روی یک لایه کمتر از آن روی لایه رسوب یافته است افزایش ظرفیت کسر حجمی پلی تترا فلور و اتیلن با رشد لایه هم رسوبی، می تواند چسبندگی خوبی بین زیر لایه و لایه های هم رسوبی تأمین کند.

افزودن پلی تترا فلور و اتیلن و نوع مناسب و غلظت مواد فعال سطح پراکندگی یکنواخت ذرات پلی تترا فلور و اتیلن را در زمینه نیکل - فسفر ایجاد کرده است.

ستیل تری متیل آمونیوم برومید و پلی و نیل پرو و لیدون موجب پراکندگی همگن برای ذرات پلی تترا فلور و اتیلن در پوشش می



شکل ۲- نمودار سایش پوششهای کامپوزیتی نیکل الکترولس

فسفر-تیتانیا از طریق اضافه کردن سل تیتانیا به محلول آبکاری الکترولس قراردادی ایجاد کردند. ریز سختی به طور مشخص از HV ۷۱۰ پوشش قراردادی نیکل-فسفر-تیتانیا به HV ۱۰۲۵ ارتقا پیدا کرد. (جدول ۲)

پوششهای کامپوزیتی  $TiO_2-Ni-Zn-P$ ، ریز سختی بیشتری نسب به آلیاژ نیکل-فسفر-روی خالص نشان می دهند. [۳۳] اصطکاک، مقاومت در مقابل حرکت است، وقتی که قطعات روی هم می لغزند [۳۴] به وسیله پوششها، سطح می تواند روان سازی خشک شود. در رسوب الکترولس نیکل-فسفر خاصیت روان سازی طبیعی فسفر، یک خاصیت خوب روانسازی را تعیین می کند. با این حال تحت شرایط غیر روان کاری شده، اصطکاک طولانی مدت باعث شکست در اثر سائیدگی در رسوب های الکترولس نیکل-فسفر می شوند. اما رسوب های کامپوزیتی نیکل الکترولس می توانند چنین شکست هایی را کاهش دهند. ذرات سخت مثل سیلیسیم کاربید، در رسوب الکترولس نیکل-فسفر خاصیت روانکاری ضعیفی از خود نشان می دهد.

این به خاطر زبری بالای صفحه و نیروهای در هم پیچیده مکانیکی ذرات سخت است [۶۲]. از طرف دیگر زمینه هم رسوبی؛ نیکل-فسفر الکترولس با ذرات نرم مثل پلی تترا فلور و اتیلن و گرافیت، روانکاری خوبی را تحت شرایط روانسازی شده به خاطر جلوگیری از سایش بین صفحات مجاور، تأمین می کنند.

ابدون [۳۵، ۳۶] گزارش داد که ضریب اصطکاک کم به خاطر انتقال پلی تترا فلور و اتیلن به سطح مواد است. رسوب های نیکل-فسفر-پلی تترا فلور و اتیلن [۳۷-۳۸] میانگین ضریب اصطکاک کمتری در مقایسه با رسوب های الکترولس نیکل-فسفر دارند. در هر دو شرایط رسوب اولیه و عملیات حرارتی شده ( $400^{\circ}C/1$  ساعت)

سیلیسیم در زمینه نیکل-فسفر، ساختار پوشش کامپوزیتی را تحت تأثیر قرار نمی دهند.

آپاچیتی و همکاران بازتاب سیلیسیم کاربید را در الگوی پراش اشعه ایکس پوشش کامپوزیت الکترولس نیکل-فسفر-سیلیسیم کاربید رسوب اولیه مشاهده کردند که می تواند به خاطر مقدار بیشتر ذرات رسوب اولیه باشد (تقریباً ۷ درصد وزنی). جیاقیانگ و همکاران، اختلاط ذرات سیلیسیم کاربید را در زمینه نیکل-فسفر الکترولس جایی که پوشش به صورت بلور نیکل، نیکل فسفید و نیکل سیلیسید متبلور می شود را مشاهده کردند. همچنین بعد از عملیات حرارتی به مدت ۱ ساعت در دمای  $400^{\circ}C$  پس از عملیات حرارتی در دمای  $600^{\circ}C$ ، هیچ پیک پراش خاصی برای سیلیسید نیکل وجود ندارد. مگر سیلیسید نیکل که به شبکه نیکل خیلی نزدیک باشد. [۲۹] محصولات نهایی تبلور، واکنش پوششهای کامپوزیتی نیکل و نیکل فسفید و نیکل سولفید و کربن آزاد بودند.

### سختی، اصطکاک، مقاومت به سایش و خراش

ادعا شده که این دسته از پوششهای کامپوزیتی، برای وسایل و ابزار استفاده شده در دماهای محیط، مثل قالبها، اکسترودهای تغییر شکل پلاستیک، الگوهای مواد، جعبه های ریخته گری، قالبهای آهنگری و قالب ریخته گری آلیاژهای روی، از نظر خواص سختی پیشرفتهای بسیاری داشته اند. سختی متوسط پوششهای کامپوزیتی نیکل-فسفر در جدول ۲ ارائه شده است.

میزان ذرات هم رسوبی، مقدار فسفر زمینه و عملیات حرارتی، سختی این پوشش ها را تعیین می کنند. سختی پوشش، با افزایش ذرات سختی مثل (سیلیسیم کاربید و سیلیسیم نیتريد) افزایش می یابد [۲۲، ۲۷، ۲۹] اگرچه سختی با ذرات نرم مثل پلی تترا فلور و اتیلن کاهش می یابد [۳۰]. در اصل ذرات سخت مسئول افزایش سختی، در همه مقادیر فسفر [۱۴-۲] هستند.

تأثیر عملیات حرارتی روی سختی در پوشش کامپوزیتی، روندی شبیه به رسوب معمولی الکترولس نیکل-فسفر دارد. افزایش سختی تا دمای  $400^{\circ}C$  به خاطر رسوب سختی و تشکیل فاز میان فلزی نیکل فسفید است. در بالای  $410^{\circ}C$  سختی به خاطر کاهش عیوب شبکه و درشت شدن ذرات نیکل فسفید کاهش می یابد [۳۱].

دانگ و همکاران گزارش می دهند که ذرات نانو سیلیکا باعث ارتقا محسوسی در خواص مکانیکی پوشش الکترولس نیکل-فسفر و عمدتاً باعث افزایش زیاد در سختی (در دمای  $400^{\circ}C$ ) و مقاومت سایشی شدند. [۳۲]

چن و همکاران [۲۰] روش جدیدی برای پوشش کامپوزیتی نیکل

## جدول ۲ - سختی پوششهای کامپوزیت نیکل الکترولس

عملیات حرارتی ( $1/400^{\circ}\text{C}$ ساعت)	رسوب اولیه	پوشش
41± 809 HV	62± 528 HV	نیکل - فسفر [120]
114± 952 HV	93 HV±672	نیکل - فسفر (۹ درصد حجمی) بور کاربید - (۲۵ درصد حجمی) [22]
-	680 HK	نیکل - فسفر - $\text{MoS}_2$ (۵ درصد حجمی) [24]
421 HV	340 HV	نیکل - فسفر - پلی تترا فلور و اتیلن [30]
1365 HV	530 HV	نیکل - فسفر - سیلیسیم کاربید (۲۵ درصد حجمی) [30]
-	645 HV	نیکل - فسفر (7.2 درصد وزنی) - اکسیدگروم (۲۷ درصد حجمی) [21]
-	1524 HV	نیکل - فسفر - نانو لوله کربنی (۱۱.۲ درصد حجمی) [57]
753 HK	486 H0	نیکل - فسفر (5.5 درصد وزنی) - BN (۳۳ درصد حجمی) - [58]
1206 HV	580 HV	نیکل - فسفر (۱۰.5 درصد وزنی) - سیلیسیم کاربید با اندازه $1\mu\text{m}$ (۳.۸ درصد وزنی) [29]
1220 HV	655 HV	نیکل - فسفر (۱۰ درصد وزنی) - $\text{Si}_3\text{N}_4$ (۸.۱ درصد وزنی) [27]
1320 HV	320 HV	نیکل - فسفر - سیلیکا نانو (۶ درصد وزنی) [32]
-	1025 HV	نیکل - فسفر - تیتانیا (۳.۷ درصد وزنی) [20]
68±1248 HV	15± 743 HV	نیکل - فسفر (8.22 درصد وزنی) - آلومینیم اکسید (۲۸.۶ درصد حجمی) [7]
1136 HV	676 HV	نیکل - فسفر (۱۰.۱۸ درصد وزنی) - سریا (۷.۴۴ درصد وزنی) [1]
350 HV	250 HV	نیکل - روی (۱۰.۱۸ درصد وزنی) - فسفر (۱۰.۵۶ درصد وزنی) - تیتانیا (۲.۳ درصد وزنی) [33]
48±1178 HV	18± 581 HV	نیکل - تنگستن (۱۰.۱ درصد وزنی) - فسفر (۱۰.۲ درصد وزنی) - آلومینیم اکسید [۵۹]
-	642 HV	نیکل - فسفر (۲.۱ درصد وزنی) کربن با اندازه 4- $8\mu\text{m}$ (۷۱.۱ درصد وزنی) [60]

ضریب اصطکاک متوسط، تابع عکس مقدار پلی تترا فلورواتیلن است.

رسوب های دارای خواص روانکاری عالی از محدوده دمای خیلی پایین تا  $290^{\circ}\text{C}$  هستند. اگر چه، رسوب های نیکل - فسفر - گرافیت الکترولس (۶ درصد حجمی)، در تأمین روانسازی مؤثر در مقابل سطح فولادی با شکست رو به رو می شوند. [۱۶]، ضریب اصطکاک متوسط وقتی کم است که رسوب کامپوزیتی نیکل - فسفر - گرافیت الکترولس در مقابل خودش می لغزد.

بور نیتريد هگزاگونال، دی سولفید مولیبدن، فولدین - سولفید تنگستن و نانو لوله های کربن، دیگر اجزایی هستند که در ارتباط با زمینه نیکل - فسفر الکترولس، ضریب اصطکاک متوسط را تعیین می کنند [۱۴ و ۳۹]. استفاده ی اولیه از رسوب کامپوزیتی نیکل - فسفر الکترولس برای کاربردهایی است که به بیشترین مقاومت به ساییش و خراش نیازمندند. [۱۲]

مترگر و فلوریان [۴۰]، پارکر [۴۱] و فلدستین و همکاران، مقاومت ساییش رسوب های کامپوزیتی نیکل - فسفر الکترولس را با ذرات سخت مختلف بررسی کردند. (شکل ۲)

مشاهده شده است، که مقاومت ساییش رسوب کامپوزیت الکترولس

مانند کروم سخت است. همانند سختی، مقاومت ساییشی رسوبهای کامپوزیتی نیکل - فسفر الکترولس همچنین تحت تأثیر انواع ذرات سخت هم رسوبی و میزان اختلاط و اندازه قرار است.

استرافلیتی و همکاران [۲۴] پیشنهاد کردند که ساییش رسوبهای کامپوزیتی نیکل - فسفر الکترولس در ۲ مرحله اتفاق می افتد. در مرحله اول، رسوبهای ساییش خراشان کمی را تحمل می کنند. اما در مرحله

دوم، ساییش بسیار شدید است. مقاومت ساییش رسوبهای کامپوزیتی الکترولس نیکل - فسفر - سیلیسیم کاربید توسط بسیاری از محققان مطالعه شده و گزارش شده است که مقاومت ساییشی با افزایش درصد سیلیسیم کاربید، افزایش پیدا می کند.

اثر استحکام بخشی توزیع ذرات سیلیسیم کاربید و زمینه نیکل - فسفر، موجب مقاومت ساییشی به این پوشش می شود. علاوه بر این، زمینه نیکل - فسفر باید مقادیر بیشتری از فسفر ( $< 7\%$  درصد وزنی) را

دارا باشد، تا ذرات سیلیسیم کاربرد را در هر دو شرایط هم رسوبی و عملیات حرارتی شده برای تأمین مقاومت سایشی عالی حمایت کند. اثر عملیات حرارتی بر رسوبهای کامپوزیتی الکترولس نیکل-فسفر-سیلیسیم کاربرد موجب افزایش مقاومت سایشی با افزایش دمای عملیات حرارتی تا  $350^{\circ}\text{C}$  می شود. [۴۲] افزایش بیشتر در دما تا  $600^{\circ}\text{C}$  باعث افزایش نرخ کرنش با تخریب بیشتر در دماهای بالاتر ( $800^{\circ}\text{C}$ ) می شود. امکان واکنش بین نیکل و سیلیسیم کاربرد، در حدود  $580^{\circ}\text{C}$  و ذوب جزئی یوتکتیک نیکل-فسفر در  $880^{\circ}\text{C}$  باعث مقاومت سایش ضعیف در دماهای بالاست.

تشکیل سیلیسید نیکل متأثر از نفوذ اتم های نیکل در شبکه سیلیسیم کاربرد است و در سطح مشترک زمینه نیکل-فسفر/سیلیسیم کاربرد با عملیات حرارتی در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و به مدت ۱ ساعت اتفاق می افتد. تشکیل  $\text{Ni}_3\text{Si}$ ، چسبندگی بین ماده تقویت کننده و زمینه را افزایش می دهد، اما مقاومت سایشی کاهش می یابد [۴۳، ۴۴] هم رسوبی ذرات اکسید کروم (۲۷ درصد حجمی) در زمینه نیکل-فسفر مقاومت سایشی را افزایش می دهند. عملیات حرارتی در  $500^{\circ}\text{C}$  برای ۱ ساعت، مقاومت سایشی رسوبها را افزایش می دهد.

رسوبهای کامپوزیتی رسوب اولیه الکترولس نیکل-فسفر-بور نیتريد هگزاگونال مقاومت سایشی بیشتری از رسوب عملیات حرارتی شده

در  $400^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱ ساعت دارند. [۴۴] وقتی که ذرات ۳۳ درصد حجمی بور نیتريد هگزاگونال، در زمینه ی نیکل-فسفر اختلاط یافتند، سایش نزدیک به نصف کاهش یافت [۴۵].

در  $400^{\circ}\text{C}$ ، یک مکانیزم مختلط از خستگی و سایش همراه با تغییر شکل پلاستیک شدید رسوبها و انتقال رسوب به سطح مواد، مورد توجه قرار گرفت [۴۶].

رفتار تریبولوژیکی رسوب های کامپوزیتی در دماهای بالا مربوط به خواص مکانیکی زمینه نیکل-فسفر است و به رفتار آن در تنش های اعمال شده با افزایش دما بدون در نظر گرفتن ماهیت و خواص ذرات تقویت کننده باز می گردد.

ردی و همکاران [۶] مقاومت سایشی زمینه نیکل-فسفر الکترولس با ذرات الماس را در اندازه های مختلف (۳-۴۰ میکرون) گزارش کردند. پوششهایی با ذرات ظریف تر الماس، (۳-۶ میکرون) مقاومت سایشی بهتری در مقایسه با پوششهایی که ذرات بزرگتر الماس (۴۰-۲۰ میکرون) در آنها پخش شده است، نشان می دهند. [۶۰].

این برتری تابع درجه هم رسوبی ذرات کربن برای یک ضخامت خاص پوشش است که برای ذرات ظریف تر، بالاتر است. در مطالعه ی اخیر باز هم این مطلب تایید شده است. این پوششها مقاومت به سایش بهتری (برای ۸-۴ میکرون) نسبت به زمانی که پوشش با ذرات درشت تری از الماس پخش شده است، دارند.

رنگار



## فرم پیش ثبت نام دوره های تخصصی - کاربردی آبخاری

"دپارتمان رنگ، آبخاری و پوشش جهاد دانشگاهی صنعتی شریف" با همکاری نشریه "پوششهای سطحی" اقدام به برگزاری دوره های تخصصی - کاربردی با عناوین ذیل نموده است:

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> آبخاری عمومی         | <input type="checkbox"/> آبخاری پلاستیک         |
| <input type="checkbox"/> آبخاری طلا           | <input type="checkbox"/> آبخاری پیوتر           |
| <input type="checkbox"/> آبخاری برنج (آب زرد) | <input type="checkbox"/> فرآیند فسفاتنه در صنعت |
| <input type="checkbox"/> آبخاری نیکل - کرم    | <input type="checkbox"/> آندایزینگ تزئینی       |

در صورت علاقمندی به شرکت در هر یک از دوره ها، اطلاعات ذیل را تکمیل و با مشخص کردن دوره های مورد نظر، فرم پیش ثبت نام را به شماره ۰۸۷۸۰۲۲۴۴ فکس نموده تا اطلاعات تکمیلی، شامل: محتوا، هزینه و زمان برگزاری هر دوره خدمتتان ارسال گردد.

نام شرکت یا سازمان متبوع:

نام و نام خانوادگی:

شماره تماس (ترجیحاً تلفن همراه):

ایمیل:

نمابر:

علاقمندان می توانند جهت ثبت نام و یا کسب اطلاعات بیشتر با شماره تلفن های ۲۲۲۱۸۱۷ و ۲۲۸۷۴۳۴۲ تماس حاصل و یا به نشانی ذیل مراجعه نمایند:

[www.jdsharif.com](http://www.jdsharif.com)



## چگونه آزمایشگاه شیمی را ایمن سازیم

تالیف: هوار ج استراس

ترجمه: شیوا دهقانی

ناشر: جهاد دانشگاهی تهران

سال نشر: ۱۳۹۳

قیمت: ۷۵۰۰۰ ریال

تلفن سفارش: ۶۶۴۹۰۷۴۰

همانطور که انجام کار آن قدر مهم نیست که جان انسانی برای آن به خطر افتد، احتمال وجود خطر نیز نباید باعث توقف کار سازنده باشد. در کشورهای پیشرفته صنعتی و اقتصادی، مسایل ایمنی و سلامت محیط را از پیشرفت بسزائی برخوردار است. در این کشور سعی بر آن است که با سالم کردن محیط کار، کارکنان را به فعالیت و سازندگی بیشتر ترغیب کنند.

آلودگی های شیمیایی در محیط کار جایگاه ویژه ای دارد. چنانچه با این آلودگی ها برخورد مناسب و منطقی نشود ضایعات و خسارات جبران ناپذیری در ابعاد انسانی و اقتصادی به وجود می آید.

کتاب حاضر ترجمه ای است از فصل دهم کتاب مقررات ایمنی در آزمایشگاه ها، تالیف هاوارد جی استراس که به مسایل و خطرات مربوط به عناصر و ترکیبات شیمیایی می پردازد.

در این مختصر، خطرات آتش سوزی ناشی از احتراق مواد شیمیایی، اثرات این مواد بر روی اندام ها، اثرات محیط مواد رادیواکتیو، خطرات الکتریکی و حساسیت در برابر مواد، مورد بحث قرار می گیرد

در این مجموعه علاوه بر مباحث فوق از انواع وسایل و تجهیزات ایمنی و کاربرد آنها و نحوه جلوگیری از خطرات احتمالی نیز یاد شده است:

- خطرات آتش سوزی
- مواد سمی
- خطرات الکتریکی (برق گرفتگی)
- خطرات تشعشع
- حفاظت کارکنان
- ایمنی عمومی آزمایشگاه شیمی
- تن پوش
- قوانین آزمایشگاه شیمی و مراقبتهای ایمنی
- بخش تکمیلی (ایمنی شیمیایی)
- خطرات مواد شیمیایی خاص 

## تقویم همایشها و نمایشگاه‌های تخصصی



کنفرانس خوردگی

امارات، ابوظبی، ۲۲ الی ۲۴ اردیبهشت

[www.uaecorrosion.nace.org](http://www.uaecorrosion.nace.org)

گردهمایی تکنولوژی سطح SUR/FIN

آمریکا، ۱۸ الی ۲۰ خرداد

[www.nasfsurfin.com](http://www.nasfsurfin.com)



نمایشگاه تمیزکاری سطوح و قطعات

Parts 2 Clean

آلمان، ۱۹ الی ۲۱ خرداد

[www.parts2clean.de](http://www.parts2clean.de)



Eurofinish 2015

بلژیک، ۲۰ الی ۲۱ خرداد

[www.eurofinish.be](http://www.eurofinish.be)

سومین نمایشگاه تجهیزات و مواد آزمایشگاهی ساخت ایران

تهران، ۴ الی ۷ اردیبهشت

[www.iranlabexpo.ir](http://www.iranlabexpo.ir)



بیستمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی

تهران، ۱۶ الی ۱۹ اردیبهشت

[www.iranoilshow.com](http://www.iranoilshow.com)



بیست و هشتمین نمایشگاه بین‌المللی کتاب

تهران، ۱۶ الی ۲۶ اردیبهشت

[www.tibf.ir](http://www.tibf.ir)



نمایشگاه آبکاری و مهندسی سطح

SF Expo

چین، گوانگجو، ۲۱ الی ۲۳ اردیبهشت

[www.sf-expo.cn](http://www.sf-expo.cn)

دهمین نمایشگاه بین المللی  
قطعات خودرو، لوازم و مجموعه های خودرو  
تهران، ۲۵ الی ۲۸ آبان  
[www.idro-fairs.com](http://www.idro-fairs.com)

دوازدهمین نمایشگاه بین المللی متالورژی  
تهران، ۲۵ الی ۲۸ آبان  
[www.iranfair.com](http://www.iranfair.com)

پانزدهمین نمایشگاه بین المللی لوازم خانگی  
تهران، ۶ الی ۹ آذر  
[www.iranassociation.ir](http://www.iranassociation.ir)



نمایشگاه آّبکار ایران ۱۳۹۴  
تهران، ۱۵ الی ۱۸ آذر  
[www.ipcc.ir](http://www.ipcc.ir)

شانزدهمین نمایشگاه دستاوردهای پژوهش و فناوری ایران  
تهران، ۲۳ الی ۲۶ آذر  
[www.iranfair.com](http://www.iranfair.com)

پانزدهمین نمایشگاه بین المللی محیط زیست  
تهران، ۱۲ الی ۱۵ دی  
[www.iranfair.com](http://www.iranfair.com)

بیست و سومین نمایشگاه لوستر و چراغهای تزئینی  
تهران، ۲۰ الی ۲۳ دی  
[www.iranfair.com](http://www.iranfair.com)



**Surface & Coatings 2015**

تایلند، بانکوک، ۳ الی ۶ تیر

[www.surfaceandcoatings.com](http://www.surfaceandcoatings.com)

پانزدهمین نمایشگاه بین المللی صنعت تهران

تهران، ۱۳ الی ۱۶ مهر

[www.idro-fairs.com](http://www.idro-fairs.com)



نمایشگاه بین المللی فناوری نانو

تهران، ۱۳ الی ۱۶ مهر

[www.nano.ir](http://www.nano.ir)

کنفرانس و نمایشگاه رنگ، پوشش و مهندسی سطح

هند، دهلی، ۱۵ الی ۱۷ مهر

[www.surfaceengineeringexpo.com](http://www.surfaceengineeringexpo.com)



نمایشگاه تکنولوژی عملیات سطح

**Surface Treatment Technologies**

ترکیه، استانبول، ۲۳ الی ۲۵ مهر

[www.stteurasia.com](http://www.stteurasia.com)



**Iran Surface Coatings**  
**Special Issue: Message Plating**  
**The Journal of Paint, Plating & Surface Finishing**  
April 2015  
ISSN 2228-6268

**Founder:**  
V.Aghajanian

**Managing Director & Editor-in-Chief:**  
S.Fazlollahi

**Editorial Board:**  
E.Hormozinejad  
M.Shirazi  
J.Hasan  
H.Gorji khan  
M.Taghipour  
A. R. Reyhan  
H. Navidi Zadeh  
M. Darvish

**Associate Editor:**  
S.Sanjari

**Executive Manager:**  
S.Ghavidel

**Computer & Internet:**  
P.Pirzadeh

**Subscription:**  
S.Feizi

**Art Director & Photographer:**  
F.khaleghi

**Address:**  
P.O.Box: 16765-491, Tehran, Iran

**Phone:**  
+98 21 22853680

**Fax:**  
+98 21 22853681

**Web Site:**  
[www.irancoat.ir](http://www.irancoat.ir)  
[info@irancoat.ir](mailto:info@irancoat.ir)

**Introduce:**

Iran Surface Coatings Magazine is about paint, resin, plating, surface finishing & coatings industry.

This magazine published quarterly about 12 years. We have more than 4000 subscribers now.

According to executing of several in industrial and building projects, Iran is a proper place for production and consumption of various kinds of paints and coatings.

Because of special geographic condition for corrosion protection in different projects such as oil, gas and petrochemical specially in south area of the country, Iran uses different kinds of internal or imported paints for its consumptions.

Iran Surface Coatings Magazine with many subscribers is a suitable magazine for all foreign companies which are related to this industry, specially who are willing to introduce themselves in Iran marketing for cooperating and sharing.

**Nikab Chemie Co**

[www.nikabchemie.com](http://www.nikabchemie.com)

