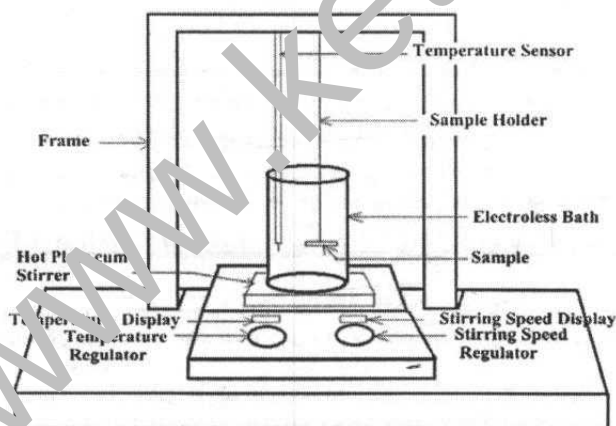




راهنمای آبنکاری الکترولس در محیط آزمایشگاه



تالیف و گردآوری:

پدرام وردی

(دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان)



واحد صنعتی اصفهان

مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان

سرشناسه	وردی، پدram، ۱۳۵۹-
عنوان و نام پدیدآور	راهنمای آبرکاری الکترولس در محیط آزمایشگاه / تألیف و گردآوری پدram وردی.
مشخصات نشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات، ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری	ص: ۳۵۰؛ مصور، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	۹۷۸-۶۲۲-۸۸۶۱-۰۷-۶
وضعیت فهرست نویسی	فنی
یادداشت	واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه: ص ۳۲۵
موضوع	آبرکاری بدون برق
موضوع	Electroless plating
شناسه افزوده	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات
رده بندی نگره	TA ۴۵۹
رده بندی دیویی	۶۷۱/۷۲۴
شماره کتابشناسی ملی	۵۸۹۲۱

نام کتاب	راهنمای آبرکاری الکترولس در محیط آزمایشگاه
تألیف و گردآوری	پدram وردی
ناشر	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان - مرکز انتشارات
نویت چاپ	اول
تاریخ نشر	۱۳۹۸
شمارگان	۵۰۰ جلد
تعداد صفحات	۳۵۸
چاپ	نگاره
صحافی	نگاره
قیمت	۶۰۰۰۰۰ ریال
مدیر تولید	رضا زمانی زاده
ناظر فنی	محمد احمدی
قیمت	برای قیمت کتاب بدون اجازه کتبی ناشر، مجاز نمی باشد.

☆	صحت مطالب کتاب به عهده مؤلف بوده و ناشر مسئولیتی در این موضوع ندارد
☆	حق چاپ برای ناشر محفوظ است، نقض این کتاب یا بخشی از آن به هر شکل، شرعاً و قانوناً ممنوع بوده و دارای پیگرد قانونی است
☆	نشانی ناشر: اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان - جهاد دانشگاهی - مرکز انتشارات - پلاک ۱۰۸ - ۳۹۱۲۵۹۴
	دورنگار: ۰۲۱-۳۳۹۱۲۵۵۱
	فروشگاه: ۰۲۱-۳۳۹۱۲۵۹۴
	نشانی الکترونیکی: sec.iut@acecr.ac.ir
	درگاه: w.jdiut.ac.ir
	درگاه: www.isba.ir

مرکز پخش:	
۱- کتابفروشی جهاد دانشگاهی (اصفهان) - دانشگاه صنعتی اصفهان - تلفن: ۰۲۱-۳۳۹۱۲۵۹۴	
۲- نمایشگاه کتاب جهاد دانشگاهی (تهران) - خیابان انقلاب اسلامی - بین خیابان فلسطین و چهارراه ولی عصر (عج) - چاپخانه های نمایشگاه های فرهنگی ایران - تلفن: ۰۲۱-۶۶۸۷۲۶	
۳- علم گستر سپاهان (اصفهان) - خیابان سیدعلیخان - حدفاصل کوچه محمدآباد و خیابان پاسداران (باغ گلدسته) - پلاک ۱۰۸ - تلفن: ۰۲۱-۳۳۲۰۰۳۸۳	
۴- کتابپیران (تهران) - خیابان لبافی نژاد - بین خیابان فروردین و اردیبهشت - پلاک ۲۲۸ - تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۹۴۰۹	
۵- انتشارات سروش دانش (تهران) - میدان انقلاب - خیابان کارگر جنوبی - خیابان روانمهر - کوچه درخشان پلاک ۴ - تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۹۷۳۰۳	
شماره تماس برای خرید تلفنی کتاب از سراسر کشور: ۰۳۱-۳۳۹۱۲۵۹۴	

۱۱	پیشگفتار
	فصل اول: اصول آبکاری الکترولس
۱۵	۱-۱- مروری اجمالی بر تاریخچه آبکاری الکترولس
۱۵	۱-۲- تعریف آبکاری
۱۶	۱-۲-۱- تعریف آبکاری الکتریکی
۱۹	۱-۲-۲- تعریف آبکاری غوطه‌وری
۲۱	۱-۲-۳- تعریف آبکاری الکترولس-اتوکاتالیتیکی-شیمیایی
۲۴	۱-۳- اجزاء - نام الکترولس
۲۵	۱-۳-۱- منبع رن فاری (پدک لیزی)
۲۶	۱-۳-۲- عامل احیا کننده
۳۱	۱-۳-۳- عامل کمپلکس ه
۳۲	۱-۳-۴- عامل پایدارکننده
۳۲	۱-۳-۵- عامل شتاب دهنده
۳۳	۱-۳-۶- بافرها
۳۳	۱-۳-۷- مواد روشن کننده
۳۴	۱-۳-۸- مواد تر کننده
۳۶	۱-۴- جنس ماده پوشش در آبکاری الکترولس
۳۶	۱-۵- جنس زیرلایه قابل پوشش در آبکاری الکترولس
۳۷	۱-۶- خانواده آبکاری الکترولس نیکل
۳۹	۱-۷- انواع حمام الکترولس از لحاظ pH
۴۰	۱-۷-۱- حمام اسیدی و قلیایی الکترولس نیکل
۴۱	۱-۸- تقسیم‌بندی پوشش نیکل-فسفر برحسب درصد فسفر
۴۵	۱-۹- تاثیر ضخامت در کاربرد پوشش الکترولس
۴۷	۱-۱۰- پوشش نیکل- بور و انواع آن برحسب درصد بور
۴۸	۱-۱۱- مکانیزم‌های پیشنهادی برای آبکاری الکترولس
۵۰	۱-۱۲- بررسی آبکاری الکترولس از نگاه ترمودینامیکی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۳-۱- یکنواختی، یک ویژگی منحصر به فرد پوشش الکترولس.....	۵۰
۱۴-۱- بررسی حمام‌های الکترولس غیر نیکل - فسفر.....	۵۲
۱-۱۴-۱- حمام الکترولس نیکل - بور.....	۵۲
۲-۱۴-۱- حمام الکترولس طلا.....	۵۹
۳-۱۴-۱- حمام الکترولس مس.....	۶۶
۴-۱۴-۱- حمام الکترولس نقره.....	۷۴
۵-۱۴-۱- حمام الکترولس کبالت.....	۷۵
۶-۱۴-۱- حمام الکترولس پالادیم.....	۷۸
۷-۱۴-۱- حمام الکترولس کبالت.....	۷۸
۱۵-۱- متغیرهای تاثیرگذار حمام‌های الکترولس.....	۷۹
۱-۱۵-۱- اثر دما.....	۸۰
۲-۱۵-۱- اثر pH.....	۸۳
۳-۱۵-۱- اثر تلاطم.....	۸۶
۴-۱۵-۱- اثر بارگذاری.....	۹۰
۵-۱۵-۱- اثر عمر حمام.....	۹۲
۶-۱۵-۱- نسبت نیکل به عامل احیاء کننده.....	۹۴
۷-۱۵-۱- زمان آبکاری.....	۹۵
۱۶-۱- تیتراسیون حمام الکترولس.....	۹۶
۱-۱۶-۱- تیتراسیون هیپوفسفیت سدیم.....	۹۶
۲-۱۶-۱- تیتراسیون نیکل.....	۱۰۲
۳-۱۶-۱- تعیین عمر حمام به روش آزمایشگاهی.....	۱۰۵

فصل دوم: آشنایی با پوشش‌های الکترولس

آلیاژی، کامپوزیتی، هیبریدی، FGC و احاطه کننده پودر

۱-۲- پوشش الکترولس آلیاژی.....	۱۱۵
۱-۱-۲- پوشش الکترولس آلیاژی Ni-Re-P.....	۱۱۶
۲-۱-۲- پوشش الکترولس آلیاژی Ni-Zn-P.....	۱۱۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۱-۲- پوشش الکترولس آلیازی Ni-W-Cu-P.....	۱۱۸
۲-۲- پوشش الکترولس کامپوزیتی.....	۱۱۹
۱-۲-۲- استفاده از ستر خود احتراقی برای تولید پودر کامپوزیتی.....	۱۳۰
۳-۲- پوشش الکترولس هیبریدی.....	۱۳۱
۴-۲- پوشش الکترولس FGC.....	۱۳۵
۵-۲- پوشش الکترولس احیا کننده پودر.....	۱۳۹
فصل سوم: تجهیزات و زمینه‌آلات مورد نیاز آبکاری الکترولس	
۱-۳- نکات ایمنی کار در آزمایشگاه.....	۱۴۳
۲-۳- تجهیزات و شیشه‌آلات پر کاربرد آزمایشگاهی در آبکاری الکترولس.....	۱۴۴
۱-۲-۳- بشر شیشه‌ای.....	۱۴۴
۲-۲-۳- استوانه مدرج شیشه‌ای.....	۱۴۵
۳-۲-۳- آبیان (پیست).....	۱۴۵
۴-۲-۳- پیست مدرج.....	۱۴۶
۵-۲-۳- قیف.....	۱۴۷
۶-۲-۳- کاغذ صافی.....	۱۴۷
۷-۲-۳- بورت.....	۱۴۸
۸-۲-۳- ترمومتر (دماسنج).....	۱۴۸
۹-۲-۳- pH متر.....	۱۵۰
۱۰-۲-۳- سیستم تامین انرژی حرارتی حمام.....	۱۵۴
۱۱-۲-۳- دستگاه هشدار دهنده زمان.....	۱۵۹
۱۲-۲-۳- ترازوی آزمایشگاهی دیجیتال.....	۱۵۹
۱۳-۲-۳- میکرومتر دیجیتال.....	۱۶۱
۱۴-۲-۳- حمام اولتراسونیک.....	۱۶۱

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱۶۲	۱۵-۲-۳- رکتیفایر آبکاری
۱۶۳	۱۶-۲-۳- سیستم ایجاد تلاطم
۱۶۴	۱۷-۲-۳- سیستم نگه‌دارنده نمونه در حمام

فصل چهارم: مراحل آماده‌سازی زیرلایه پیش از آبکاری

۱۶۵	۱-۴- انتخاب جنس و شکل زیرلایه با توجه به خواص کاتالیتیکی
۱۶۹	۲-۴- پیش‌عملیات زیرلایه
۱۷۱	۱-۲-۴- عملیات تمیزکاری
۱۷۱	۲-۲-۴- عملیات بری‌زدایی
۱۷۲	۳-۲-۴- عملیات اچ‌کردن و پیدایی
۱۷۳	۴-۲-۴- عملیات استریک نیکا
۱۷۷	۵-۲-۴- عملیات حساس‌سازی و فعال‌سازی
۱۸۱	۶-۲-۴- عملیات زینکاته
۱۸۵	۷-۲-۴- عملیات مخصوص زیرلایه منیزیمی

فصل پنجم: معرفی و ساخت حمام الکترولس

۱۹۲	۱-۵- ساخت دستی حمام الکترولس
۱۹۳	۲-۵- ساخت حمام تجاری
۱۹۴	۱-۲-۵- محلول تجاری نیکلاد ساخت شرکت مک درمید
۱۹۸	۲-۲-۵- محلول تجاری اشلوتونپ ساخت شرکت اشلوتر
۲۰۵	۳-۲-۵- محلول تجاری CFN140 ساخت شرکت مهرگان شیمی
۲۰۸	۳-۵- انجام آبکاری الکترولس

فصل ششم: آنالیز و آزمون‌های متداول پوشش الکترولس

۲۱۱	۱-۶- آنالیز ترکیب زیرلایه
۲۱۳	۲-۶- آنالیز ترکیب پوشش
۲۱۶	۳-۶- آنالیز فازی و بررسی استحاله فازی پوشش
۲۲۹	۱-۳-۶- بررسی تغییرات فازی پوشش الکترولس
۲۳۰	۴-۶- آزمون ریزسختی (میکروسختی)

۲۳۵.....	۵-۶- مطالعات متالوگرافی.....
۲۳۶.....	۶-۵-۱- تعیین ضخامت پوشش الکتروئلس.....
۲۳۸.....	۶-۵-۲- اسکیل گذاری تصاویر میکروسکوپ نوری.....
۲۴۳.....	۶-۵-۳- مورفولوژی پوشش الکتروئلس.....
۲۴۴.....	۶-۶- مطالعات میکروسکوپ الکترونی.....
۲۴۵.....	۶-۶-۱- تعیین ضخامت پوشش به کمک SEM.....
۲۴۶.....	۶-۶-۲- مطالعات مورفولوژی پوشش با SEM.....
۲۴۷.....	۶-۶-۳- مطالعه طوح سایش با SEM.....
۲۴۸.....	۶-۶-۴- مطالعه پوشش میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM).....
۲۵۰.....	۶-۷- مطالعات توبوگرافی و نوری سطح با AFM.....
۲۵۲.....	۶-۸- مطالعات توزیع غلظتی در پوشش با GDOES.....
۲۵۳.....	۶-۹- مطالعات تریولوژی پوشش.....
۲۵۳.....	۶-۹-۱- اصطکاک و ضریب اصطکاک.....
۲۵۶.....	۶-۹-۲- آزمون های سایش.....
۲۵۷.....	۶-۹-۲-۱- آزمون پین روی دیسک.....
۲۵۹.....	۶-۹-۳- نمودارهای تغییرات کاهش وزن نمونه بر حسب مساحت سایش.....
۲۵۹.....	۶-۹-۴- گراف عمق سایش بر حسب مقطع سایش.....
۲۶۱.....	۶-۹-۵- زبری.....
۲۶۲.....	۶-۱۰- مطالعات چسبندگی پوشش.....
۲۶۲.....	۶-۱۰-۱- آزمون چسبندگی پول آف.....
۲۶۳.....	۶-۱۰-۲- آزمون چسبندگی پیل.....
۲۶۴.....	۶-۱۰-۳- آزمون چسبندگی خمش.....
۲۶۵.....	۶-۱۱- رفتار خوردگی پوشش.....
۲۶۷.....	۶-۱۱-۱- تعیین تخلخل پوشش.....
۲۶۷.....	۶-۱۱-۱-۱- تست فروکسیل برای پایه های آهنی.....
۲۶۷.....	۶-۱۱-۱-۲- تست آلیزارین برای آلیاژهای آلومینیومی.....
۲۶۸.....	۶-۱۱-۱-۳- تست تخلخل برای زیرلایه مسی.....

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۶۸	۲-۱۱-۶- آزمون مه نمکی
۲۷۱	۳-۱۱-۶- آزمون‌های پلاریزاسیون خوردگی با جریان DC
۲۷۲	۱-۳-۱۱-۶- آزمون پلاریزاسیون خطی
۲۷۲	۲-۳-۱۱-۶- آزمون پلاریزاسیون تافل
۲۷۴	۲-۳-۱۱-۶- آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی
۲۷۶	۳-۱۱-۶- آزمون پلاریزاسیون چرخه‌ای
۲۷۷	۴-۱۱-۶- آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)
۲۷۷	۱-۴-۱۱-۶- مقادیر، الفاکس و خازن
۲۸۱	۲-۴-۱۱-۶- مفهوم ولتاژ دوگانه الکترونیکی
۲۸۳	۳-۴-۱۱-۶- W و P , C_e , (Y) , (PE) , R_{ct} , R_s
۲۸۵	۴-۴-۱۱-۶- تعداد و نحوه قرار دادن الکترود در یک سل EIS
۲۸۷	۵-۴-۱۱-۶- تنظیمات اسکن آزمون EIS
۲۸۸	۶-۴-۱۱-۶- نمودارهای نمایش نتایج EIS
۲۹۴	۷-۴-۱۱-۶- فیت کردن اطلاعات با نرم‌افزار Zview 2
۳۰۶	۱۲-۶- تعیین اندازه دانه پوشش
۳۰۶	۱-۱۲-۶- روش شرر
۳۰۸	۱۳-۶- بررسی توبوگرافی سطحی از طریق پروفیل‌سنجی لیزری
۳۱۰	۱۴-۶- شبیه‌سازی انتقال حرارت
	فصل هفتم: معرفی تکنیک گرمایش موضعی زیرلایه (پایه داغ)
۳۱۲	۱-۷- سیستم گرمایش موضعی زیرلایه (پایه داغ)
۳۱۷	۲-۷- علت افزایش نرخ رسوب‌گذاری با افزایش دما
۳۲۰	۳-۷- علت کاهش نرخ رسوب‌گذاری با افزایش ضخامت پوشش
۳۲۳	۴-۷- تاثیر نزدیکی منبع حرارتی به پایه در روش SLHS
	فصل هشتم: کاربرد امواج اولتراسونیک در آبکاری الکترولس
۳۲۵	۱-۸- امواج اولتراسونیک و پدیده کاویتاسیون
۳۳۳	منابع
۳۴۹	واژه نامه

آبکاری الکترولس که با اسامی آبکاری شیمیایی و اتوکاتالیتیک هم شناخته می‌شود، روشی شناخته شده برای پوشش‌دهی قطعات حساس است. ویژگی‌های خاص پوشش حاصل از این روش آن را در موقعیتی قرار می‌دهد که پس از گذشت دهه‌ها از کشف آن هنوز فعالان صنعت و دانشگاه بر روی آن تمرکز کرده و سعی در حل انواع مشکلات سایشی و خوردگی قطعات به کمک آن می‌نمایند. امکان اجرای ساده آن در محیط آزمایشگاه و هر مکان دیگری به شرط رعایت نکات ایمنی وجود دارد و خبری از تجهیزات گران قیمت مورد استفاده در سایر روش‌های آبکاری نیست. این مزیتی مهم و متفاوت است که به محققان انگیزه بیشتری برای پیشبرد کاربردهای آن را خواهد داد.

در این راستا پژوهشگران زیادی در حوزه صنعت و دانشگاه تلاش می‌کنند که ضمن شناخت صحیح از فرآیند، زمینه‌های جدید کاربرد آن را یافته و نظیر سایر روش‌های مبتنی بر مهندسی سطح ارزش افزوده ایجاد نمایند. با این رویکرد، نیاز به منابع مطالعاتی قوی و به روز احساس می‌شود تا همگام با پیشرفت‌های صورت گرفته دانش لازم را به مخاطب انتقال دهد.

همواره نوعی دغدغه برای افراد تازه وارد به این حوزه وجود دارد که از کجا باید شروع کرد؟ از طرفی نبود یک راهنمای عملی در این خصوص، تا به حال در این حوزه آبکاری را برای افراد کم تجربه دشوار کرده است. در سالیان اخیر چندین کتاب اعم از خارجی و داخلی بطور تخصصی برای آبکاری الکترولس به چاپ رسیده است که در سطح حرفه‌ای و ملاف کیفی از نظر محتوی قرار دارند. نویسنده این کتاب تقریباً همه این موارد را مطالعه و نقاط قوت و ضعف آن‌ها را مد نظر قرار داده است. لزوم آشنایی سریع دانشجویان علاقه‌مند به تحقیق در این زمینه خصوصاً در رشته‌هایی نظیر خانواده شیمی و مهندسی مواد از یک طرف و کمبود نیروهای مجرب آموزشی در این نوع آبکاری، اینجانب را بر آن داشت که دانسته‌های عملیاتی خود در محیط آزمایشگاه را به زبان ساده و به صورت مکتوب در اختیار علاقه‌مندان قرار

دهم. در حالی که ریتم این کتاب نسبت به سایر کتاب‌های انتشار یافته بسیار سریع‌تر است، سعی شده است که تقریباً همه مفاهیم کلیدی و کاربردی با آخرین تغییرات و البته با استفاده از تصاویر متناسب ارائه شوند. در این کتاب از تکرار برخی از موضوعات نظیر کاربردها، عملیات حرارتی و بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی این پوشش‌ها به دلیل کفایت منابع چاپی گذشته پرهیز شده است. اما از سویی دیگر به برخی کمبودها نظیر مبحث ترکندها و فرمولاسیون سایر انواع آبکاری الکترولس به غیر از نیکل - فسفر پرداخته شده است. پیشنهاد می‌شود که علاقه‌مندان برای تکمیل مباحث مرتبط با فرآیند الکترولس به کتاب "نگرشی نوین بر آبکاری الکترولس نیکل" نیز رجوع کرده و آن را مطالعه نمایند.

یکی از نقاط قوت این کتاب پرداختن به مسائل اجرایی فرآیند پوشش‌دهی است. مبحث آنالیز و آزمون‌های مرتبط با پوشش‌های الکترولس برای اولین بار با این وسعت و جزئیات در کتاب مطرح شده است.

هر چند به نظر می‌رسد که امکان چاپ نسخه‌ای کامل و بی‌عیب که بتواند تمامی مخاطبان خود را راضی نماید امکان‌پذیر نباشد، اما همه‌ی سعی بر رفع مشکلات قبلی و افزایش کیفی مطالب است. لذا اینجانب از هر گونه پیشنهاد خوانندگان این کتاب در راستای بهبود و تکمیل مطالب این کتاب استقبال و قدردانی خواهم نمود.

در اینجا لازم است از زحمات استاد گرامی خود، جناب پروفسور عبدالمحمود منیروافی استاد دانشگاه صنعتی اصفهان که در طول سالیان متمادی بطور خالص در موضوع آبکاری الکترولس فعالیت داشته و راهنمایی دانشجویان زیادی از جمله اینجانب را بر عهده داشتند، کمال تشکر را ابراز بدارم.

همچنین از خانواده خود جهت حمایت‌های مادی و معنوی سپاسگزارم و دستشان را

می‌بوسم.

پدرام وردی (infopedram@gmail.com)