



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”
مهندسی مواد – شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

عنوان:

اثر عناصر آلیاژی روی مورفولوژی و خواص پوشش های نیکل تولید شده به روش آبکاری
الکتریکی

استاد راهنما:

نگارش:

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول: کلیات
۴	کلیات
۵	فصل دوم : پوشش نیکل خالص
۶	۱-۲- مقدمه
۶	۱-۱-۲- آبکاری نیکل
۷	۲-۲- کاربرد مهندسی آبکاری نیکل
۷	۳-۲- ملاحظات اساسی روش
۸	۱-۳-۲- تصاعد هیدروژنی و بازدهی کاتدی
۸	۲-۳-۲- بازده آندی
۹	۳-۳-۲- تغییرات pH در یونهای نیکل
۱۰	۴-۳-۲- قانون فارادی
۱۰	۵-۳-۲- حمامهای پوشش نیکل
۱۰	۴-۲- محلول واتس و خواص رسوب
۱۱	۵-۲- آبکاری پوشش نانوکریستالی Ni
۱۷	فصل سوم: پوشش های نیکل-تنگستن
۱۸	۱-۳- مزایا و کاربرد پوشش های نانو ساختار Ni-W
۱۹	۲-۳- مکانیزم رسوب الکتریکی
۲۰	۱-۲-۳- مکانیزم رسوب آلیاژی Ni-W
۲۱	۳-۳- اثر دما
۲۱	۴-۳- تاثیر چگالی جریان پالسی

۲۲	۵-۳- اثر مقدار تنگستن بر سختی و اندازه دانه پوششهای $Ni-W$
۲۵	۳-۵-۱- مکانیزم های استحکام بخشی
۳۳	۳-۶- سایش در پوشش های $Ni-W$
۴۳	۳-۷- خوردگی پوشش های $Ni-W$
۴۷	فصل چهارم: پوشش های نیکل-کبالت
۴۸	۴-۱- مقدمه
۵۰	۴-۲- تأثیر غلظت ساخارین و کبالت در محلول الکترولیت روی میکروسختی آلیاژهای نانو ساختار $Ni-Co$
۵۱	۴-۲-۱- تأثیر غلظت ساخارین در الکترولیت
۵۲	۴-۲-۱-۱- تأثیر روی ترکیب رسوب
۵۳	۴-۲-۱-۲- تأثیر ساخارین روی مورفولوژی رسوب
۵۵	۴-۲-۱-۳- تأثیر غلظت ساخارین روی میکروسختی رسوب
۵۶	۴-۲-۲- تأثیرات غلظت سولفات کبالت
۵۶	۴-۲-۱-۲- تأثیر غلظت سولفات کبالت روی مقدار رسوب کبالت
۵۷	۴-۲-۲-۲- تأثیر غلظت سولفات کبالت در مورفولوژی سطوح
۵۸	۴-۲-۲-۳- تأثیر غلظت سولفات کبالت روی میکروسختی رسوب
۶۰	فصل پنجم: پوشش های نیکل-فسفر
۶۱	۵-۱- مقدمه
۶۵	۵-۲- خواص خوردگی

۷۳	فصل ششم: پوشش های نیکل-کاربید سیلیسیم
۸۲	فصل هفتم: پوشش های نیکل-کاربید تنگستن
۸۳	۱-۷- تاثیر پارامترهای آبرکاری
۸۵	۲-۷- خواص مکانیکی و تریبولوژیکی
۸۷	۳-۷- خواص خوردگی
۹۵	فصل هشتم: نتیجه گیری
۹۶	نتیجه گیری
۹۷	مراجع
۹۷	مراجع فارسی
۹۷	مراجع لاتین
۱۰۲	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

شماره صفحه

عنوان

۷	جدول ۱-۲- بعضی اطلاعات اساسی درباره نیکل و نمکهای آن [۲]
۱۲	جدول ۲-۲- میکروسختی، اندازه دانه، متوسط قطر فرو رونده میکروسختی، میکروسختی و ضریب اصطکاک از رسوبهای نیکل [۳]
۳۲	جدول ۱-۳- حالت پایدار ضریب اصطکاک (۵۰ متر آخر) پوشش Ni و پوششهای $Ni-W$ در مقابل ساینده فولادی [۲۴]
۳۵	جدول ۲-۳- عرض اثر سایش پوشش Ni و پوشش $Ni-W$ [۲۴]
۳۶	جدول ۳-۳- نرخ سایش فولاد ساینده در مقابل پوششهای Ni و $Ni-W$ [۲۴]
۳۷	جدول ۴-۳- نتایج میکروسختی نمونه های پوشش Ni و $Ni-W$ [۲۴]
۳۹	جدول ۵-۳- ضرایب اصطکاک پوشش W, Ni و پوششهای $Ni-W$ [۲۴]
۴۴	جدول ۶-۳- مشخصات پوششها در آزمون پلاریزاسیون [۲۴]
۴۴	جدول ۷-۳- پارامترهای بدست آمده از آزمون پلاریزاسیون [۲۴]
۸۷	جدول ۱-۷- تاثیر چگالی جریان روی پارامترهای رسوب در بار حمام ثابت $2g/l$ و دمای 50 درجه سانتیگراد [۴۸]
۸۸	جدول ۲-۷- تاثیر بار حمام روی وزن پوشش کامپوزیتی و بازده کاتدی [۴۸]
۹۶	جدول ۳-۷- پارامترهای پسیو، بدست آمده از منحنی های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک از نیکل خالص و کامپوزیتهای $Ni-WC$ در محلول H_2SO_4 $0.1mol/l$ [۵۲]

- شکل ۱-۲- اثر pH بر استحکام و سختی پوشش Ni در دمای $54c^0$ و دانسیته جریان $5A/dm^2$ [۱].
- شکل ۲-۲- دما $54c^0$ و $pH=3$ [۱].
- شکل ۳-۲- اثر دمای حمام آبرکاری بر استحکام و سختی پوشش Ni در $pH=3$ و دانسیته جریان $5A/dm^2$ [۱].
- شکل ۴-۲- مورفولوژی سطحی از پوشش نیکل خالص در چگالی جریان $4 A/dm^2$ [۶].
- شکل ۵-۲- تغییرات ضریب اصطکاک با سیکل شمارش شده در اندازه های دانه مختلف ۲۲ و ۸ نانومتر و ۶۱ میکرومتر [۳].
- شکل ۶-۲- نوعی توپوگرافی از سطح سایش که بوسیله میکروسکوپ نوری مشاهده شده روی نانوکریستال پوشش Ni $10 nm$ در بار $100 g$ برای 10000 سیکل با فرکانس 10 هرتز در مرحله 100 میکرو متر [۳].
- شکل ۱-۳- نمودار شماتیک انواع رشد: (الف) رشد لایه ای یا طبقه ای؛ (ب) رشد لبه ای؛ (ج) رشد بلوکی؛ (د) رشد هرمی؛ (ه) رشد شاخه ای [۱۶].
- شکل ۲-۳- اثر دما بر مقدار تنگستن و بازدهی جریان [۱۹].
- شکل ۳-۳- اثر دما در چگالی جریانهای مختلف روی بازدهی فاراده و مقدار تنگستن پوشش [۱۴].
- شکل ۴-۳- تاثیر چگالی جریان روی مقدار تنگستن پوشش [۱۵].
- شکل ۵-۳- تغییرات سختی با مقدار W از پوشش آلیاژی $Ni-W$ [۲۳].
- شکل ۶-۳- وابستگی سختی به مقدار W در پوشش [۱۵].
- شکل ۷-۳- تصویر SEM از پوشش های $Ni-W$ با مقادیر مختلف تنگستن در چگالی جریان $10 mA/cm^2$ [۱۵].
- شکل ۸-۳- طرح هال - پیچ سختی اندازه گیری شده از فویل های $Ni-W$ به عنوان تابعی از عکس ریشه مربعی اندازه دانه [۲۳].

- شکل ۳-۹- طرح هال- پیچ برای پوشش Ni خالص و آلیاژهای Ni [۲۳]. ۲۸
- شکل ۳-۱۰- ضریب اصطکاک پوشش های $Ni(a)$ و $Ni(b)$ [۲۴]. ۳۳
- شکل ۳-۱۱- مورفولوژی سطوح ساییده شده پوشش Ni و پوششهای $Ni-W(a)$ و $Ni-W(b)$ در بزرگنمایی پایین $Ni(c)$ در بزرگنمایی بالا $Ni-W(d)$ [۲۴]. ۳۴
- شکل ۳-۱۲- مورفولوژی سطح ساییده فولادی در مقابل پوششهای $Ni(a)$ (بزرگنمایی پایین) $Ni(b)$ $Ni-12.7at\%W$ (بزرگنمایی پایین) $Ni(c)$ (بزرگنمایی بالا) $Ni(d)$ $Ni-12.7at\%W$ (بزرگنمایی بالا) [۲۴]. ۳۶
- شکل ۳-۱۳- تغییر نرخ سایش ویژه با اندازه دانه پوشش $Ni-W$ [۲۱]. ۳۸
- شکل ۳-۱۴- نمودار عمق سایش به عنوان تابعی از موقعیت نوک فرورونده الماسه در حرکت از عرض سطح نمونه، محور دوم Y ، بار نرمال در نوک الماسه 0 و mN [۲۳]. ۳۹
- شکل ۳-۱۵- منحنی $Nyquist$ پوششهای $Ni-W$ در محلول $3/5$ درصد $NaCl$ [۲۷]. ۴۱
- شکل ۳-۱۶- منحنی پلاریزاسیون پوشش های $Ni-W$ [۲۷]. ۴۱
- شکل ۳-۱۷- مدار معادل یک سلول برای اندازه گیری امپدانس [۲۷]. ۴۲
- شکل ۳-۱۸- دیاگرام $bode$ برای پوششهای $Ni-W$ در $3/5$ درصد $NaCl$ [۲۷]. ۴۲
- شکل ۳-۱۹- مشخصه های رفتار پسیو پوششهای $Ni-W$ در اسید سولفوریک $1N$ [۲۷]. ۴۳
- شکل ۳-۲۰- منحنیهای پلاریزاسیون آندی پوششهای Ni و $Ni-W$ در محلول $3/5$ درصد $NaCl$ [۲۵]. ۴۵
- شکل ۳-۲۱- اثر W بر چگالی جریان آندی پوششهای $Ni-W$ در پتانسیل $E=0$ و $E=0.25(V)$ [۲۵]. ۴۶
- شکل ۴-۱- رابطه بین سختی رسوب و غلظت کبالت، در محلول سولفامات و در رسوب [۲۹]. ۴۸
- شکل ۴-۲- رابطه بین چگالی جریان و سختی رسوب آلیاژی برای غلظتهای متغیر کبالت در محلول همراه با شمارنده تنش صفر [۲۹]. ۵۰
- شکل ۴-۳- تاثیر دمای عملیات حرارتی بر سختی پوششهای نیکل و نیکل- کبالت [۲۹]. ۵۱
- شکل ۴-۴- تاثیر عملیات حرارتی روی خواص مکانیکی آلیاژهای $Ni-10Co$ و $Ni-15Co$ [۲۹]. ۵۲

- شکل ۴-۵- سختی و ازدیاد طول آلیاژهای $Ni-10Co$ و $Ni-15Co$ بعد از
 ۵۲ حرارت دهی تا دماهای مختلف [۲۹].
- شکل ۴-۶- مقایسه مورفولوژی رسوبهای $Ni-Co$ به ترتیب از محلولهای (a) بدون
 ۵۴ ساخارین (b) $3g/l$ ساخارین. هر دو محلول شامل مقدار مساوی از سولفات کبالت
 $6g/l$ [۳۱].
- شکل ۴-۷- تصویر SEM از مورفولوژی رسوب $Ni-Co$ با بزرگنمایی بالاتر از شکل
 ۵۵ (b) شامل محلول حاوی $3g/l$ ساخارین و $6g/l$ سولفات کبالت [۳۱].
- شکل ۴-۸- تاثیرات مقدار ساخارین (3 و 4 و $5g/l$) و سولفات کبالت در الکترولیت
 ۵۶، روی میکروسختی رسوب [۳۱].
- شکل ۴-۹- تغییرات مقدار کبالت در رسوبهای آلیاژی تولید شده از محلولهای
 ۵۷ شامل $3g/l$ ساخارین و غلظتهای مختلف سولفات کبالت [۳۱].
- شکل ۴-۱۰- مقایسه ای بین مورفولوژی سطح رسوبهای تولید شده از محلول a
 ۵۸ (بدون کبالت b) محلول شامل $6g/l$ سولفات کبالت و هر دو شامل مقدار مساوی
 ساخارین ($3g/l$) [۳۱].
- شکل ۴-۱۱- الگوی XRD مرتبط با رسوب آلیاژی $Ni-Co$ به دست آمده از
 ۶۰ محلول شامل $3g/l$ ساخارین و $6g/l$ سولفات کبالت [۳۱].
- شکل ۵-۱- مقدار فسفر در رسوبهای $Ni-P$ به عنوان تابعی از غلظت H_3PO_3 در
 ۶۴ حمام آبکاری [۴۱].
- شکل ۵-۲- الگوهای XRD پوششهای $Ni-P$ [۴۱].
- شکل ۵-۳- تصویر TEM از زمینه روشن و الگوهای SAD مرتبط با پوششهای
 ۶۶ $Ni-P$ با مقدار P مختلف [۴۱].
- شکل ۵-۴- تاثیر مقدار فسفر روی میکروسختی پوششهای $Ni-P$ [۴].
- شکل ۵-۵- منحنی‌های حجم سایش از پوشش‌های $Ni-P$ را با مقدار P مختلف
 ۶۹ بعد از ۱۰۰۰ ثانیه [۴۱].
- شکل ۵-۶- رابطه بین حجم سایش و میکروسختی از پوششهای $Ni-P$ [۴۱].
- شکل ۵-۷- ضریب اصطکاک از پوششهای $Ni-P$ با مقدار فسفر مختلف در بار
 ۷۰ $20N$ [۴۱].
- شکل ۵-۸- تصاویر SEM از اثر سایش پوشش‌های با مقدار P مختلف بعد از
 ۷۱ لغزش در مقابل ساچمه $Gcr15$ در هوا (a) $2/1$ درصد اتمی (b) $8/3$ درصد اتمی (c)
 $13/5$ (d) $17/6$ درصد اتمی [۴۱].
- شکل ۵-۹- SEM اثر سایش با مقدار فسفر $8/3$ درصد اتمی [۴۱].
- ۷۲

- شکل ۵-۱۰- طیف *EDS* از مساحتی از شکل ۴-۹ [۴۱]. ۷۲
- شکل ۵-۱۱- منحنیهای *LOG(i)-E* از *Ni* (۱) از واتس ۲ (*Ni-20P*) و *Ni-28P* (۴) در محلول ۳ درصد *NaCl* [۴۱]. ۷۳
- شکل ۶-۱- تصویر *SEM* از مورفولوژیهای سطح از *a*) پوششی از *Ni* (*b*) پوشش نانو کامپوزیتی *Ni-SiC* [۴۴]. ۷۷
- شکل ۶-۲- مورفولوژی از مقطع عرضی نانو کامپوزیت *Ni-SiC* با وضوح توزیع همگن از نانوذرات *SiC* [۴۴]. ۷۸
- شکل ۶-۳- منحنی ضریب اصطکاک *a*) پوشش *Ni* (*b*) پوشش نانو کامپوزیتی *Ni-SiC* [۴۴]. ۷۸
- شکل ۶-۴- میکروسختی و حجم سایش از پوششهای *Ni* و نانو کامپوزیت *Ni-SiC* [۴۴]. ۷۹
- شکل ۶-۵- *SEM* سطح سایش یافته *a, b*) پوشش *Ni* (*c, d*) پوشش نانو کامپوزیتی *Ni-SiC* [۴۴]. ۸۰
- شکل ۶-۶- منحنیهای پلاریزاسیون کاتدی از الکترولیت‌های *Ni-SiC* شامل غلظت‌های مختلف از نانوذرات *SiC* [۴۷]. ۸۲
- شکل ۶-۷- منحنیهای پلاریزاسیون کاتدی از نیکل و پوشش نانو کامپوزیتی *Ni-SiC* (شامل ۳ درصد *SiC*) در محلول *0.5 M NaCl* [۴۷]. ۸۳
- شکل ۷-۱- تصاویر *SEM* از مورفولوژی سطحی کامپوزیت پوشش یافته در چگالی جریان $0.12 A/Cm^2$ و دمای ۵۰ درجه سانتیگراد [۴۸]. ۸۶
- شکل ۷-۲- تصاویر *SEM* ذرات *WC* توده بهم چسبیده از کامپوزیت *Ni-WC* در ۶۰ درجه سانتیگراد و $0.12 A/Cm^2$ (*a*) خوشه ای از ذرات (*b*) ذرات توده ای بهم چسبیده [۴۸]. ۸۶
- شکل ۷-۳- تاثیر چگالی جریان روی میکروسختی پوشش [۴۸]. ۸۹
- شکل ۷-۴- تاثیر مقدار *WC* در پوشش کامپوزیتی *Ni-WC* روی میکروسختی زمینه ای از نیکل [۴۸]. ۹۰
- شکل ۷-۵- *COF* در مقابل شمارش سیکل برای فولاد نرم و نیکل خالص و *Ni-37WC* در پارامترهای آزمایش ثابت در بار *1N* فرکانس *8 Hz* و جابجایی *100* میکرومتر [۴۸]. ۹۰
- شکل ۷-۶- ضریب اصطکاک (*COF*) برای سیستم‌های مختلف [۴۸]. ۹۱
- شکل ۷-۷- میکروگراف نوری از سطوح سایش روی پوشش کامپوزیتی *Ni-WC* (*a Ni-37WC*) (*b Ni-19WC*) (*c Ni-10WC*) فولاد نرم (*e*) نیکل خالص که ۹۲

آنها تحت در مقابل یک توپی فولادی ۶ mm در بار ۱N برای ۱۰۰۰۰ سیکل با فرکانس ۸Hz برای ۱۰۰ میکرومتر جابجایی ضربه تحت فرسایش [۴۸].

۹۳ شکل ۷-۸- میکروگراف نوری روی توپی فولادی بعد از فرسایش در مقابل پوشش کامپوزیتی (a Ni-WC (b Ni-37WC (c Ni-19WC (d Ni-10WC فولاد نرم (e) نیکل خالص - در بار ۱N برای ۱۰۰۰۰۰ سیکل با یک فرکانس از ۸Hz برای ۱۰۰ میکرومتر جابجایی ضربه [۴۸].

۹۶ شکل ۷-۹- رفتار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک از Ni خالص و کامپوزیتهای Ni-WC پوشش یافته در چگالی جریان های مختلف در H_2SO_4 0.1 mol/l با استفاده از نرخ اسکن 1mV/s [۵۲].

چکیده

پوششهای نیکل، خصوصاً در حالت نانو ساختار، به علت بهبود خواص بویژه مکانیکی و شیمیایی در صنعت بسیار با اهمیت هستند. در این تحقیق ضمن مطالعه آبکاری نیکل، تاثیر عناصر آلیاژی شامل $Ni-W$ ، $Ni-P$ ، $Ni-Co$ و همچنین آبکاری کامپوزیتی شامل $Ni-SiC$ و $Ni-WC$ و نیز مورفولوژی و خواص سایشی و خوردگی این پوشش ها بررسی شده است.

کاهش در اندازه دانه می تواند به وسیله اضافه کردن عامل ریزدانه کننده مانند ساخارین به حمام آبکاری نیکل و همچنین عناصر آلیاژی بدست آید. مطالعات نشان می دهد که عناصر آلیاژی ضمن تاثیر بر اندازه دانه و بهبود خواص پوشش، از مضرات استفاده از عوامل ریز دانه کننده ای چون ساخارین که به علت وجود کربن و گوگرد، باعث افزایش تنش و تردی در پوشش می شود، نیز جلوگیری می کند. همچنین مطالعات نشان می دهد که استفاده از عناصر آلیاژی در آبکاری نیکل، کاربرد قانون هال - پیچ را تا مقادیر اندازه دانه ریزتر که منجر به خواص بهتر پوشش می شود، تعمیم داده است.

پوششهای نیکل، خصوصاً در حالت نانو ساختار، به علت بهبود خواص بویژه مکانیکی و شیمیایی در صنعت بسیار با اهمیت هستند. روشهای مختلفی برای اعمال این پوششها وجود دارد که از این میان، روش رسوب دهی الکتریکی به علت سادگی و ارزانی، دمای پایین فرآیند، سادگی دست یابی به ساختار نانو و همچنین تولید پوشش هایی با دانسیته بالا و عاری از تخلخل، یکی از روش های مناسب برای اعمال این پوشش ها بوده و در چند دهه گذشته مورد توجه خاص محققین قرار گرفته است.

کاهش اندازه دانه می تواند به وسیله اضافه کردن عامل ریزدانه کننده مانند ساخارین به حمام آبکاری نیکل و همچنین عناصر آلیاژی بدست آید. مطالعات نشان می دهد که عناصر آلیاژی ضمن تاثیر بر اندازه دانه و بهبود خواص پوشش، از مضرات استفاده از عوامل ریز دانه کننده ای چون ساخارین که به علت وجود کربن و گوگرد، باعث افزایش تنش و تردی در پوشش می شود، نیز جلوگیری می کند. همچنین مطالعات نشان می دهد که استفاده از عناصر آلیاژی در آبکاری نیکل، کاربرد قانون هال - پیچ را تا مقادیر اندازه دانه ریزتر که منجر به خواص بهتر رسوب می شود، تعمیم داده است. در این تحقیق سعی شده است ضمن مطالعه آبکاری نیکل، تاثیر عناصر آلیاژی شامل $Ni-Co$ ، $Ni-P$ ، $Ni-W$ و همچنین آبکاری کامپوزیتی شامل $Ni-SiC$ و $Ni-WC$ و نیز مورفولوژی و خواص سایشی و خوردگی این پوشش ها بررسی شود.