





دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد – خوردگی و حفاظت مواد

عنوان پایان نامه:

**نانوبلوری کردن سطح فلزات بوسیله عملیات مکانیکی سطحی و
ارزیابی خواص تریبولوژیکی آنها**

فرزاد کارگر

استاد راهنما
دکتر علیرضا صبور روح اقدم

تابستان ۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر عزیزم،
که هر چه دارم از برکت وجودشان است
و به خواهران و برادرانم.



تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای فرزاد کارگر پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان نانوبلوری کردن سطح فلزات بوسیله عملیات مکانیکی و ارزیابی خواص تریبولوژیکی آنها در تاریخ ۱۳۸۹/۴/۱۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مواد - خوردگی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر علیرضا صبور روح اقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر تقی شهرابی فراهانی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سهراب سنجایی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حسن تقفیان	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر تقی شهرابی فراهانی	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند: تحقیقاتی که با همافکنی دانشگاه، «کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مواد - خوردگی و حفاظت مواد» است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر علیرضا صبور روح اقدام از آن دفاع شده است.

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مزاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب فرزند کارگر دانشجوی رشته مهندسی مواد - خوردگی و حفاظت مواد مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: فرزاد کارگر
تاریخ و امضا: کارگر
۱۳۸۹/۱۲/۲۹

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:



ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: 
امضاء: 

چکیده

در سالهای اخیر مواد نانوبلوری (با اندازه دانه کمتر از ۱۰۰ نانومتر) به طور فزاینده‌ای به خاطر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی منحصر بفرد مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه بسیاری از تخریبها و شکستها بر روی سطوح مواد رخ می‌دهد بنابراین ایجاد نانوساختار در سطح مواد می‌تواند به طور مؤثر رفتار کلی مواد را بهبود بخشد و منجر به افزایش کاربردهای صنعتی و عمر کاری مواد مهندسی شود. تغییر شکل پلاستیک شدید در سطح فلزات بوسیله گلوله‌های پر انرژی، یکی از روشهای نانوبلوری کردن سطح فلزات است. بدین منظور دستگاه عملیات مکانیکی سطحی ساخته شد و نانوساختار بر روی سطح فلزات فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس با خلوص ۹۹/۹ در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت ایجاد شد. ضخامت لایه تغییر شکل پلاستیک با استفاده از میکروسکوپ نوری و اندازه دانه در سطح این فلزات از طریق تکنیک پراش پرتو ایکس، اندازه‌گیری شدند. مقادیر ریزسختی از سطح مقطع عرضی نمونه‌ها و نیز زبری از سطح نانوبلوری اندازه‌گیری شد. به منظور ارزیابی خواص نمونه‌های نانوبلوری در مقایسه با فلز درشت دانه آزمون سایش بر روی این نمونه‌ها انجام شد. شیار سایش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نتایج حاکی از افزایش حدود ۵۰ درصدی ریزسختی برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس خالص داشت. زبری سطح نانوبلوری برای زمانهای کم و متوسط عملیات مکانیکی سطحی افزایش یافت و سپس ثابت شد و برای زمانهای ۳ و ۵ ساعت کاهش یافت و ثابت شد. ضریب اصطکاک برای نمونه‌های مس نانوبلوری در حدود ۱۰ درصد و برای نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در حدود ۳۰ درصد کاهش یافت. مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی پس از آزمایشهای سایش سطح بدون ترک را برای نمونه‌های نانوبلوری در مقایسه با نمونه‌های درشت دانه نشان داد.

کلمات کلیدی: مواد نانوبلوری، فولاد زنگ نزن ۳۱۶، مس خالص، عملیات مکانیکی سطحی، سایش، زبری، ریزسختی

فهرست

۱ - مقدمه	۱
۱-۱ انگیزه‌ی انجام پژوهش	۲
۲-۱ اهداف پژوهش	۳
۲ - مروری بر منابع مطالعاتی	۴
۱-۲ مقدمه	۵
۲-۲ روشهای گوناگون نانوبلوری کردن سطح	۵
۳-۲ روشهای دستگاهی نانوبلوری کردن سطح بوسیله عملیات مکانیکی سطحی تدریجی	۷
۱-۳-۲ مبانی نظری	۱۱
۲-۳-۲ تنشهای پسماند	۱۴
۴-۲ بررسی مکانیزم نانو بلوری شدن سطح	۱۶
۱-۴-۲ ارزیابی ریز ساختار آلیاژها و فلزات bcc	۱۷
۲-۴-۲ ارزیابی ریزساختار در فلزات و آلیاژهای fcc	۱۸
۳-۴-۲ ارزیابی ریزساختار فلزات و آلیاژهای hcp	۲۰
۵-۲ رفتار تغییرشکل فلزات نانوبلوری	۲۱
۶-۲ رفتار تریبولوژیکی فلزات نانوبلوری	۲۳
۱-۶-۲ سختی	۲۳
۲-۶-۲ زبری سطح	۲۴
۳-۶-۲ سایش	۲۶
۱-۳-۶-۲ مکانیزمهای سایش	۲۶
۲-۳-۶-۲ شکل گیری نانو ساختار در طول سایش	۲۸
۳-۳-۶-۲ رفتار سایشی مواد فلزی نانوبلوری	۳۰
۴-۶-۲ مقاومت به خوردگی	۳۲
۵-۶-۲ رفتار خستگی	۳۳
۷-۲ تلفیق فرایندهای تغییر شکل سطحی با روش‌های دیگر عملیات سطحی	۳۴
۳ - ساخت دستگاه و روش انجام آزمایشها	۳۷
۱-۳ ساخت دستگاه نانوبلوری کردن سطح فلزات	۳۸
۱-۱-۳ مبانی نظری	۳۸
۲-۱-۳ مبانی عملی	۳۹
۳-۱-۳ شبیه سازی	۴۰
۲-۳ نانوبلوری کردن سطح فلزات	۴۰
۱-۲-۳ مواد	۴۰

- ۴۲-۳-۱ نانوبلوری کردن سطح فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس.....
- ۴۲-۳-۳ آزمایشهای بررسی خصوصیات نمونه‌ها.....
- ۴۲-۳-۱ ریزساختار.....
- ۴۳-۳-۲ بررسی اندازه دانه در سطح فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس.....
- ۴۳-۳-۳ ارزیابی سختی ناحیه تغییر شکل پلاستیک.....
- ۴۴-۳-۳ اندازه‌گیری پروفیل سطحی.....
- ۴۴-۳-۵ آزمایش سایش.....
- ۴۵-۳-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی.....

۴- یافته‌ها و بحث..... ۴۶

- ۴۷-۴-۱ تعداد بهینه و سرعت گلوله‌ها در دستگاه عملیات مکانیکی سطحی.....
- ۴۸-۴-۲ ریزساختار.....
- ۴۸-۴-۱ مس خالص.....
- ۵۰-۴-۲ فولاد زنگ نزن ۳۱۶.....
- ۵۲-۴-۳ بررسی اندازه دانه با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD).....
- ۵۶-۴-۳ سختی.....
- ۵۸-۴-۴ زبری سطحی.....
- ۶۱-۴-۵ سایش.....
- ۶۱-۴-۵-۱ مس خالص.....
- ۷۲-۴-۵-۲ فولاد زنگ نزن ۳۱۶.....

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۸۲

- ۸۳-۵-۱ نتیجه‌گیری.....
- ۸۴-۵-۲ پیشنهادها.....

۶- منابع..... ۸۵

فهرست شکلها

- شکل ۱-۲: تصویر نمونه‌وار سه روش مختلف نانوبلوری کردن سطح، (الف) نانوبلوری کردن سطح از طریق پیوند، (ب) خود نانوبلوری کردن سطح، (پ) پوشش دادن سطح یا رسوب نشانی..... ۶
- شکل ۲-۲: تصویر نمونه‌وار روش عملیات مکانیکی سطحی تدریجی به کمک مولد فراصوتی..... ۸
- شکل ۳-۲: تصویر تجهیزات روش عملیات مکانیکی سطحی تدریجی به کمک لرزاننده مکانیکی..... ۹
- شکل ۴-۲: تصویر نمونه‌وار روش عملیات مکانیکی سطحی تدریجی به کمک فشار هوا..... ۹
- شکل ۵-۲: الف) خطوط تراز نمونه‌وار تنش برشی بیشینه درون جامد تغییر شکل یافته که توسط فشار بیشینه در دایره تماسی نرمال شده است، (ب) توزیع نمونه‌وار فشار هرترزین در حین برخورد گلوله؛ ناحیه درون خطچین منطقه پلاستیک در جامد تغییر شکل یافته را نشان می‌دهد..... ۱۲
- شکل ۶-۲: پروفیل نمونه‌وار تنش پسماند تولید شده بوسیله ساچمه پاشی..... ۱۵
- شکل ۷-۲: تصویر نمونه‌وار ریزساختار، توزیع کرنش و نرخ کرنش درون لایه سطحی پس از فرایند..... ۱۶
- شکل ۸-۲: تصویر دو فرایند ریز کردن دانه در آهن تحت فرایند SMAT. DDW به معنی دیواره‌های چگال نابجایی و DT بیانگر جنگلهای نابجایی است..... ۱۷
- شکل ۹-۲: ساختار لایه لایه زیردانه در ژرفای ۶۰ میلیمتری از سطح برای آلیاژ ۷۰۷۵ تحت فرایند ساچمه پاشی فراصوتی. سلول‌های نابجایی در امتداد زیردانه‌ها تشکیل شدند که بمحض تغییر شکل اضافی به زیردانه‌های هم‌محور تبدیل شدند..... ۱۹
- شکل ۱۰-۲: ریزساختارهای شکل گرفته در فولاد ضدزنگ ۳۰۴ تحت عملیات مالش مکانیکی سطح (SMAT). الف) رشته‌های نابجایی تشکیل شده در امتداد صفحات لغزشی {۱۱۱} در ژرفای ۳۰۰ میکرومتری از سطح. ب) رشته‌های دوقلوبی شکل گرفته در ژرفای ۳۰۰ میکرومتر..... ۲۰
- شکل ۱۱-۲: تغییرات استحکام تسلیم بر حسب اندازه دانه برای فلزات و آلیاژهای ریزدانه، بسیار ریزدانه و نانوبلوری..... ۲۱
- شکل ۱۲-۲: تنش مورد نیاز برای فعالسازی منابع فرانک-رید در مس و تنش سیلان بر حسب اندازه دانه..... ۲۲
- شکل ۱۳-۲: پروفیل‌های ریزسختی ویکرز نمونه‌های نیکل تحت فرایند SNH برای دوره‌های زمانی مختلف..... ۲۴
- شکل ۱۴-۲: مقایسه بین مقادیر PV، میانگین مجذور مربعات (Rrms) و میانگین حسابی (Ra) که به طور تجربی اندازه‌گیری شده است..... ۲۵
- شکل ۱۵-۲: مقدار PV پیش بینی شده از مدل تحلیلی برحسب تابعی از توان کارسختی (n)، وقتی k و استحکام تسلیم ثابت مشخص است..... ۲۶
- شکل ۱۶-۲: تصویر نمونه‌وار سایش (الف) چسبنده، (ب) خراشان، (پ) خستگی، (ت) خورنده..... ۲۸
- شکل ۱۷-۲: شکل گیری نانو ساختار در سطح مس در طول سایش..... ۲۹
- شکل ۱۸-۲: مقطع عرضی تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری ساختار درشت دانه در ناحیه شیار سایش نیکل نانوبلوری..... ۲۹
- شکل ۱۹-۲: توپوگرافی سطح پوشش‌های نیکل نانوبلوری و ریزدانه، الف و ت) اندازه دانه ۹۰ میکرومتر، ب و ث) اندازه دانه ۶۲ نانومتر، پ و ج) اندازه دانه ۱۳ نانومتر..... ۳۲
- شکل ۲۰-۲: تصویر سطح خورده شده مس (الف) نانوبلوری، (ب) درشت دانه..... ۳۳
- شکل ۲۱-۲: مقطع عرضی آلیاژ منیزیم AZ91D (الف) نمونه SMAT و (ب) نمونه درشت دانه..... ۳۵
- شکل ۲۲-۲: مقطع عرضی آلیاژ منیزیم AZ91D (الف) نمونه SMAT و (ب) نمونه درشت دانه، پس از آزمایش سایش..... ۳۵
- شکل ۱-۳: تصویر نمونه‌وار منبع تحریک ارتعاشی بوسیله نابرابری..... ۳۸
- شکل ۲-۳: الف) دستگاه نانوبلوری کردن سطح فلزات و (ب) پمپ خلا مدل RZ 16..... ۴۰
- شکل ۳-۳: تصویر دستگاه زبری سنجی مورد استفاده در پژوهش..... ۴۴

- شکل 3-4: تصویر دستگاه پین روی دیسک استفاده شده در این تحقیق..... 45
- شکل 4-1: سرعت گلوله ۸ میلیمتری به جرم ۲/۱۱ گرم در مدت زمان ۱۰ ثانیه..... ۴۷
- شکل 4-۲: سرعت گلوله ۶ میلیمتری به جرم ۰/۸۹ گرم در مدت زمان ۱۰ ثانیه..... ۴۸
- شکل 4-۳: تصاویر میکروسکوپی نوری مس خالص درشت دانه و مقطع عرضی ریزساختار این فلز برای زمانهای مختلف عملیات مکانیکی سطحی تدریجی..... ۴۹
- شکل 4-۴: تصاویر میکروسکوپی نوری فولاد زنگ نزن ۳۱۶ درشت دانه و مقطع عرضی ریزساختار این فلز برای زمانهای مختلف عملیات مکانیکی سطحی تدریجی..... ۵۱
- شکل 4-۵: تصویر دوقلوبیها در جهات چندگانه در فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۵۲
- شکل 4-۶: الگوی پراش پرتو ایکس از لایه سطحی نمونه‌های مس خالص برای زمانهای مختلف عملیات..... ۵۳
- شکل 4-۷: الگوی پراش پرتو ایکس از لایه سطحی نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ برای زمانهای مختلف عملیات..... ۵۴
- شکل 4-۸: پروفیل ریزسختی ویکرز برای مس خالص برای زمانهای مختلف عملیات مکانیکی سطحی تدریجی..... ۵۷
- شکل 4-۹: پروفیل ریزسختی ویکرز برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ برای زمانهای مختلف عملیات مکانیکی سطحی تدریجی..... ۵۸
- شکل 4-۱۰: روند تغییرات پارامترهای زبری سطح با زمان برای مس خالص..... ۵۹
- شکل 4-۱۱: روند تغییرات پارامترهای زبری سطح با زمان برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۵۹
- شکل 4-۱۲: نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت پیموده شده برای نمونه‌های مس خالص درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۶۲
- شکل 4-۱۳: میانگین مقادیر ضریب اصطکاک در مرحله شروع لغزش برای نمونه‌های مس خالص و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۶۳
- شکل 4-۱۴: تصویر شیار سایش برای نمونه Cu18..... ۶۴
- شکل 4-۱۵: ضریب اصطکاک حالت پایدار برای نمونه‌های مس خالص درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۶۴
- شکل 4-۱۶: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از شیار سایش الف (CuB، ب (Cu0.58، پ (Cu28، ت) Cu58..... ۶۵
- شکل 4-۱۷: حجم از دست رفته سایش برای نمونه‌های مس خالص و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت تحت بار ۵۰ نیوتن و سرعت خطی ۱۰ سانتیمتر بر ثانیه..... ۶۷
- شکل 4-۱۸: پروفیل مقطع عرضی شیار سایش برای نمونه‌های مس خالص درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۶۸
- شکل 4-۱۹: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از شیار سایش الف (CuB، ب (Cu18، پ (Cu38..... ۶۹
- شکل 4-۲۰: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از براده‌های سایش الف (CuB، ب (Cu0.58، پ (Cu28، ت) Cu58..... ۷۰
- شکل 4-۲۱: نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت پیموده شده برای نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۷۳
- شکل 4-۲۲: میانگین مقادیر ضریب اصطکاک برای نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۷۵
- شکل 4-۲۳: تصاویر شیار سایش برای نمونه‌های الف (SSB، ب (SS0.58، پ (SS28، ت) SS58..... ۷۶
- شکل 4-۲۴: تصاویر شیار سایش برای نمونه‌های الف (SS38 و ب (SS18..... ۷۷
- شکل 4-۲۵: تصاویر الکترونیهای برگشتی شیار سایش برای نمونه‌های الف (SSB، ب (SS18، پ (SS38..... ۷۸
- شکل 4-۲۶: پروفیل مقطع عرضی شیار سایش برای نمونه‌های فولاد زنگ نزن ۳۱۶ درشت دانه و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱،

۲، ۳ و ۵ ساعت..... ۷۹.....
شکل ۴-۲۷: حجم از دست رفته سایش برای نمونه‌های فولاد زنگ نزن و نانوبلوری شده در زمانهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۵ ساعت تحت بار
۲۰ نیوتن و سرعت خطی ۱۰ سانتیمتر بر ثانیه..... ۸۰.....
شکل ۴-۲۸: تصاویر براده‌های سایش برای نمونه‌های الف (SSB، ب (SS0.58، پ (SS28، ت (SS58..... ۸۱.....

فهرست جدولها

- جدول ۱-۲: پارامترهای گلوله‌ها و ساچمه‌های مورد استفاده در فرایندهای ساچمه پاشی و برخورد گلوله پیرانژی..... ۱۰
- جدول ۲-۲: نتایج شبیه‌سازی فرایندهای SNH و ساچمه پاشی..... ۱۴
- جدول ۱-۳: نامگذاری نمونه‌های مورد استفاده در این پژوهش..... ۴۱
- جدول ۲-۳: محلولهای حکاکی الکتروشیمیایی مورد استفاده در این پژوهش..... ۴۲
- جدول ۱-۴: مقادیر بدست آمده از آنالیز XRD..... ۵۶
- جدول ۲-۴: پارامترهای زبری سطح برای نمونه‌های مس خالص و فولاد زنگ نزن ۳۱۶..... ۶۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- انگیزه‌ی انجام پژوهش

بسیاری از تخریبها و شکستها بر روی سطوح مواد رخ می‌دهد؛ بطوریکه می‌توان به سایش، خوردگی و شکست خستگی اشاره کرد. اینگونه تخریبها شدیداً به ساختار و ویژگیهای سطح مواد حساس هستند. بنابراین بهبود ساختار و خواص سطح مواد می‌تواند به طور مؤثر رفتار کلی مواد را بهبود بخشد و به طور کلی اصلاح سطح مواد مهندسی منجر به افزایش کاربردهای صنعتی و عمر کاری آنها می‌شود. با توجه به ویژگیهای منحصر بفرد مواد نانوبلورین، اصلاح سطح بوسیله ایجاد یک لایه سطحی نانوساختار و بهبود رفتار و خواص کلی مواد معقول به نظر می‌رسد.

بررسیهای گسترده در دهه‌های گذشته بر روی مواد نانوساختار، نشان از خواص و عملکرد بالاتر این دسته از مواد در مقایسه با همان ماده پیش از ایجاد نانوساختار دارد، که از این جمله می‌توان به سختی و استحکام بالاتر، خواص فیزیکی افزوده و خواص تریبولوژیکی بهتر اشاره کرد.

در سالهای اخیر تکنیکهای مختلفی نظیر چگالش پودرهای بسیار ریز، آسیاب کاری مکانیکی، تغییرشکل پلاستیک شدید، تبلور جامدات آمورف، و رسوب نشانی الکتروشیمیایی، به منظور تولید مواد نانوبلورین، توسعه یافته است و هنوز مشکلاتی در بدست آوردن نمونه‌های نانوبلورین بدون تخلخل، آلودگی یا دیگر عیوب، در این موارد وجود دارد.

این پژوهش برآنست تا بوسیله یکی از روشهای تغییرشکل پلاستیک شدید اندازه دانه در لایه سطحی فلزات را تا ابعاد نانومتر کاهش داده شود و بدین ترتیب استحکام سطح فلزات را بدون عملیات سطحی یا پوشش دهی اضافه دیگری، افزایش داده شود. بدیهی است در این روش مشکلاتی نظیر چسبندگی لایه به زیرلایه یا وجود تنشهای مکانیکی در فصل مشترک لایه و زیرلایه، مطرح نخواهد بود و در اصل لایه بوجود آمده بر روی سطح جزئی از خود زیرلایه است.

۱-۲- اهداف پژوهش

اهداف این پژوهش به شرح زیر دسته‌بندی می‌شود:

۱. ساخت دستگاه نانوبلوری کردن سطح فلزات بوسیله عملیات مکانیکی سطحی تدریجی؛
 ۲. بهینه کردن پارامترهای این دستگاه به منظور بدست آوردن نانوساختار در لایه سطحی فلزات؛
 ۳. ایجاد نانوساختار در لایه سطحی فلزات فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس با خلوص ۹۹/۹ درصد؛
 ۴. اندازه‌گیری اندازه دانه در سطح این فلزات و نیز ضخامت لایه تغییرشکل پلاستیک به منظور پیدا کردن اطمینان از کارکرد درست دستگاه؛
 ۵. نانوبلوری کردن سطح فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس خالص به منظور ارزیابی تاثیر زمانهای کم، متوسط و زیاد عملیات مکانیکی سطحی تدریجی بر روی رفتار تریبولوژیکی این فلزات و مقایسه با فلز درشت دانه.
- بدین منظور نمونه‌هایی از جنس فولاد زنگ نزن ۳۱۶ و مس خالص تهیه خواهد شد و در زمانهای کم، متوسط و زیاد تحت عملیات مکانیکی سطحی تدریجی قرار خواهند گرفت و پس از ارزیابیهای ریزساختار، اندازه دانه (از طریق پراش پرتو ایکس)، پروفیل سختی و زبری سطح، از نمونه‌های نانوبلوری شده آزمون سایش به عمل خواهد آمد.

فصل دوم

مروری بر منابع

مطالعاتی

۲-۱ - مقدمه

خواص منحصر بفرد مواد نانوبلورین از تعداد زیاد مرزدانه‌های آنها در مقایسه با مواد چندبلوری درشت دانه سرچشمه می‌گیرد. پوشش‌های نانوبلوری با اندازه دانه در محدوده نانومتر استحکام و سختی بالایی نشان دادند. بنابراین ساختار فصل مشترک یک نقش اساسی در تعیین خواص مکانیکی و فیزیکی مواد نانوبلوری بازی می‌کند [۱].

راه کار نانوبلوری کردن سطحی مواد بلورین بوسیله گلوله‌های پرانرژی، نخست توسط کی لو و جی لو^۱ [۲] ارایه شده است. استفاده از این روش، خواص سطحی فلزات را بدون تغییر در ترکیب شیمیایی به طور عمده افزایش می‌دهد. همچنین دستیابی به سطحی را با ساختار و خواص مورد نیاز امکانپذیر می‌سازد. ایجاد سطح نانوبلوری بسیار آسانتر و به صرفه‌تر نسبت به نانوبلوری کردن ساختار کلی مواد است.

در این فصل، به پژوهش‌های انجام شده در زمینه نانوبلوری کردن سطح مواد فلزی پرداخته خواهد شد. در ابتدا به صورت گذرا به روش‌های گوناگون مورد استفاده در ایجاد سطوح نانوبلوری [۳] و به طور ویژه به روش‌های دستگاهی بر پایه گلوله‌های پرانرژی [۴-۶] پرداخته خواهد شد؛ سپس مبانی نظری این روشها [۷] و مکانیزم‌های مربوط به آنها را شرح داده خواهد شد و در پایان به خواص مکانیکی بهبود یافته حاصل از نانوبلوری کردن سطح مواد فلزی پرداخته خواهد شد.

۲-۲ - روش‌های گوناگون نانوبلوری کردن سطح

پژوهشگران [۳] نانوبلوری کردن سطح مواد را در سه مقوله بر طبق مفهوم بنیادین مواد نانوبلورین و مکانیزم تشکیل آنها دسته بندی می‌کنند:

(۱) نانوبلوری کردن از طریق پوشش دادن سطح^۲

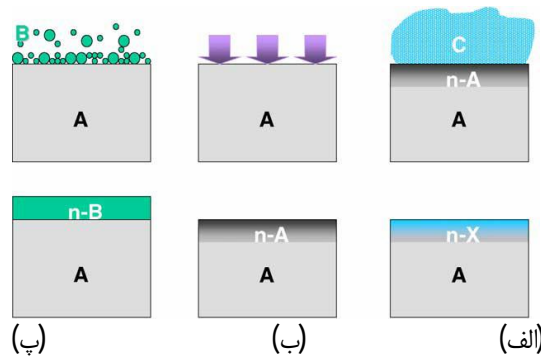
1- K.Lu & J. Lu
2- Coating or Deposition

(۲) خود نانوبلوری شدن سطح^۱

(۳) نانوبلوری کردن سطح از طریق پیوند^۲

نوع اول نانوبلوری کردن سطح (شکل ۲-۱پ) بر اساس تکنیکهای مختلف پوشش دهی و رسوب نشانی است (به طور مثال PVD، CVD و فرایندهای الکتروشیمیایی). مواد پوشش می‌توانند ذرات مجزا در ابعاد نانومتر یا پودرهای بلوری با اندازه دانه نانو باشند. پوشش و زیرلایه می‌تواند از مواد یکسان یا متفاوت باشد. مهمترین عوامل در این فرایندها پیوند پوشش با زیرلایه و پیوند بین ذرات نانوساختار است.

در نوع دوم ایده اصلی نانوبلوری کردن سطح بر اساس دگرگونی لایه سطحی مواد فلزی است، در حالیکه ترکیب بدون تغییر باقی می‌ماند. این نوع از خود نانوبلوری شدن سطح (شکل ۲-۱ب) را می‌توان از طریق فعالسازی مکانیکی یا حرارتی ایجاد کرد. خود نانوبلوری شدن سطح در اثر حرارت را می‌توان بواسطه یک دگرگونی فازی همانند ذوب یا انجماد ایجاد کرد. با کنترل کردن سینتیک فرایندهای ذوب و انجماد لایه سطحی فلز، یک ساختار نانوبلورین می‌تواند تشکیل شود. این نوع دگرگونی به طور تجربی در انواع مواد فلزی با استفاده پرتو لیزر یا پرتو الکترونی مشاهده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که تغییرشکل پلاستیک تکرار شونده در جهات مختلف می‌تواند به طور مؤثر موجب تغییرشکل پلاستیک شدید موضعی در سطح و به دنبال آن ریز کردن دانه تا اندازه نانومتر شود.



شکل ۲-۱: تصویر نمونه‌وار سه روش مختلف نانوبلوری کردن سطح، (الف) نانوبلوری کردن سطح از طریق پیوند، (ب) خود نانوبلوری کردن سطح، (پ) پوشش دادن سطح یا رسوب نشانی [۳].

- 1- Surface Self-Nanocrystallization
- 2- Hybrid Surface Nanocrystallization

فرآیند سوم (شکل ۲-۱ الف) در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول یک لایه تغییر پذیر نانوساختار تولید می‌شود و در گام بعدی این لایه از طریق یک فرآیند شیمیایی، حرارتی، یا متالورژیکی ترکیب می‌شود تا اینکه یک لایه نانوبلورین با ترکیبات شیمیایی متفاوت یا فازهای متفاوت تولید کند.

۳-۲- روشهای دستگاہی نانوبلوری کردن سطح بوسیله عملیات مکانیکی سطحی

تدریجی

این تکنیکهای جدید ثبت شده [۴-۶] که با عنوان عملیات مکانیکی سطحی تدریجی (SMAT^۱) مشهور هستند، به منظور دستیابی به یک لایه نانوساختار در سطح مواد فلزی توسعه یافته‌اند. ابتدا به منظور بدست آوردن درک و شناخت بیشتر از روشهای عملیات مکانیکی سطحی تدریجی به مقایسه بین این روشها با فرایند متداول ساچمه پاشی که بیشتر شناخته شده است، پرداخته خواهد شد [۳]:

(۱) گلوله‌های مورد استفاده در ساچمه پاشی کوچکتر (حدود ۲۰۰ میکرومتر تا ۱ میلیمتر) از روشهای جدید (۲ تا ۸ میلیمتر) هستند.

(۲) در ساچمه پاشی شرایط لازم برای شکل ظاهری گلوله‌ها یکسان نیست؛ به دلیل نرخ کرنش بالا و میزان کرنش بالای مورد نیاز به منظور ایجاد نانوساختار با استفاده از عملیات مکانیکی سطحی تدریجی، گلوله‌های کاملاً کروی می‌بایستی به کار روند تا اینکه احتمال سایش و آسیب در لایه سطحی کاهش یابد.

(۳) به منظور اینکه اندازه دانه تا ابعاد نانومتر کاهش یابد، یک عملیات با جهات تصادفی برخورد گلوله ضروری است؛ درحالیکه در ساچمه پاشی متداول، ساچمه‌ها در یک جهت واحد (زاویه بین جت پاشش و سطح نمونه در بسیاری موارد نزدیک به ۹۰ درجه است) به سوی نمونه پاشیده می‌شوند.

(۴) نتایج بدست آمده برای دمای واقعی سطح نمونه در عملیات مکانیکی سطحی تدریجی، در مقایسه با عملیات متداول ساچمه پاشی، نشان از افزایش دما در روشهای عملیات مکانیکی سطحی تدریجی دارد.