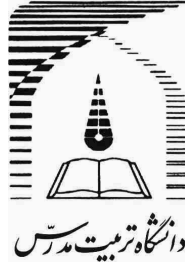


صلى الله عليه وسلم



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد نانوفناوری گرایش نانومواد

**بررسی رفتار سایشی نانوکامپوزیت سطحی بر روی فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰
تولید شده به روش همزن اصطکاکی**

محمد مهدی حاجی کاظم طهرانی

استاد راهنما:

دکتر امیر عبدالله زاده

استاد مشاور:

دکتر حمید اسدی

پائیز ۱۳۹۱



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد مهدی حاجی کاظم طهرانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی رفتار سایشی نانو کامپوزیت سطحی بر روی فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ تولید شده به روش همزن اصطکاکی در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۱۵ 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 نانو فناوری - نانو فناوری پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر عبدالله زاده	استاد	
استاد مشاور	دکتر حمید اسدی	استاد	عاب
استاد ناظر	دکتر سهراب سنجابی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر امیر حسین کوکبی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سهراب سنجابی	دانشیار	

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

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 با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می 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، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها 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 معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب...
مقطع...
مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:
تاریخ: ۱۳۹۱/۸/۲۳



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:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته نظریه ریاضی - نازیوا است که در سال

۱۳۹۱ در دانشکده فیزیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار

کترم/جناب آقای دکتر ایرجبرادرزاد، مشاوره سرکار کترم/جناب آقای دکتر حمید حسینی

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ 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 مازاد 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 را به 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 محمدرضا حاجی کلاه علم گزینی دانشجوی رشته نظریه ریاضی - نازیوا مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمدرضا حاجی کلاه علم گزینی

۱۳۹۱، ۸، ۲۳

تاریخ و امضا:



تقدیم بہ مادر و ہمسر عزیزم

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می دانم از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر عبدالله زاده و همچنین از مهندس کارگر که زحمات زیادی را برای انجام این پژوهش متحمل شدند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

محمد مهدی حاجی کاظم طهرانی

چکیده

تولید نانوکامپوزیت سطحی بر روی فولادها می‌تواند سختی و خواص سایشی آنها را بهبود بخشد. فولادهای بلبرینگ به عنوان دسته‌ای از فولادهای مهم و پرکاربرد در صنایع هوایی، خودروسازی و... به شمار می‌روند. به علت همین کاربرد گسترده بهبود خواص سطحی این آلیاژها و بررسی شرایط تعمیر آنها اهمیتی ویژه دارد. سالانه ۶ میلیون تن فولاد بلبرینگ تولید می‌شود. از روش همزن اصطکاکی می‌توان برای تولید نانوکامپوزیت سطحی بر روی فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ بهره برد. در این پژوهش فولاد ۵۲۱۰۰ تحت فرآیند همزن اصطکاکی قرار گرفت و با ایجاد شیار T شکل در سطح نمونه‌ها تلاش شد تا پودر کاربید سیلیسیم با ابعاد ۵۰ نانومتر وارد سطح شود و نانوکامپوزیت سطحی ایجاد کند. توزیع پودر در سرعت‌های دورانی و حرکتی (۳۰، ۸۰۰)، (۵۰، ۸۰۰)، (۴۰، ۶۳۰) و (۱۲۵۰ rpm، ۱۲۵ mm/min) مناسب‌تر از نمونه‌های قرار گرفته تحت سایر سرعت‌های فرآیند است. نمونه با سرعت دورانی ۸۰۰ rpm و سرعت حرکتی ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه در بین این نمونه‌ها بهترین توزیع را دارد. سرعت‌های فرآیند بالا موجب ایجاد تیغه‌های مارتنزیتی با ابعاد ۱۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر شد. با تولید نانوکامپوزیت سطحی مقاومت به سایش فولاد حدوداً به ۱.۵ برابر نمونه‌هایی که بدون پودر تحت فرآیند همزن اصطکاکی قرار گرفته بودند، افزایش یافت. همچنین سختی این فولاد به ۱.۷ مقدار اولیه رسید. می‌توان در تحلیل نتایج گفت پودر نانو با قفل کردن حرکت نابجایی‌ها و مرزخانه‌ها موجب بهبود خواص سایشی و افزایش سختی ماده شده است. با توجه به حضور حداقلی آستنیت باقیمانده در شکل توده‌ای یا مکعبی در ساختار در خصوص پایداری ابعاد نمونه‌های تحت فرآیند همزن اصطکاکی قرار گرفته نگرانی وجود ندارد. مشخص شد در اثر فرآیند همزن اصطکاکی نیز لایه سفید بر روی سطح ماده ایجاد می‌شود. ضخامت این لایه در سرعت‌های بالاتر فرآیند دو برابر شد و از ۶۰ میکرومتر به ۱۲۰ میکرومتر افزایش یافت. مشخص شد عامل اصلی موثر در شکل‌گیری لایه سفید کارپلاستیک است. این لایه در اثر کار پلاستیک بیشتر، دانه‌ریزتر می‌شود و ضخامت آن نیز افزایش می‌یابد.

کلیدواژه: فرآیند همزن اصطکاکی، نانوکامپوزیت سطحی، لایه سفید، سیلان، سایش، سختی.

فهرست عناوین

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۵	فصل دوم: مروری بر منابع
۶	۱-۲ آلیاژهای بلبرینگ
۱۰	۱-۱-۲ فولاد ۵۲۱۰۰
۱۳	۱-۱-۲-۱ ساختار پرلیتی
۱۸	۱-۱-۲-۲ ساختار مارتنزیتی
۲۰	۱-۱-۲-۳ ساختار بینیتی
۲۱	۱-۱-۲-۴ ساختار مطلوب
۲۴	۱-۱-۲-۵ نکاتی در خصوص عملیات حرارتی
۲۵	۱-۱-۲-۶ سختی و میکروتترکها
۲۶	۱-۱-۲-۷ شکل‌گیری لایه سفید
۳۱	۱-۱-۲-۸ اثر تنش پسماند (<i>Residual stress</i>)
۳۴	۱-۱-۲-۹ اثر آستنیت باقیمانده
۳۵	۲-۲ مواد کامپوزیتی
۳۶	۱-۲-۲ کامپوزیت های فلزی
۳۸	۲-۲-۲ کامپوزیت های سطحی
۳۹	۳-۲-۲ نانو کامپوزیت های زمینه فلزی
۴۰	۳-۲ فرآیند همزن اصطکاکی
۴۱	۱-۳-۲ ابزارهای مورد استفاده در فرآیند همزن اصطکاکی
۴۴	۲-۳-۲ نواحی ایجاد شده در فلز پایه
۴۵	۳-۳-۲ اثر سرعت فرآیند و دما
۴۶	۴-۲ تولید کامپوزیت سطحی به روش همزن اصطکاکی
۵۰	فصل سوم: مواد و روش انجام آزمایش
۵۱	۱-۳-۱ مواد
۵۱	۱-۱-۳ فولاد ۵۲۱۰۰
۵۲	۲-۱-۳ پودر

۵۲	.....۱-۲-۳ مشخصات شیار.....
۵۴	.....۲-۲-۳ مشخصات ابزار.....
۵۶	.....۳-۲-۳ سرعت دورانی و سرعت حرکت.....
۵۶	.....۴-۲-۳ اندازه گیری دما.....
۵۷	.....۳-۳ فرآیند همزن اصطکاکی.....
۵۷	.....۴-۳ متالوگرافی.....
۵۹	.....۵-۳ آزمون سختی.....
۵۹	.....۶-۳ آزمون سایش.....
۶۰	.....فصل چهارم: نتایج و بحث
۷۲	.....۱-۴ اثر سرعت دورانی و سرعت حرکتی.....
۷۳	.....۲-۴ عیوب و نواقص.....
۷۳	.....۱-۲-۴ عیوب سطحی.....
۷۴	.....۲-۲-۴ عیوب داخلی.....
۷۷	.....۳-۴ ریزساختار.....
۷۷	.....۱-۳-۴ لایه سفید.....
۸۲	.....۲-۳-۴ مارتنزیت.....
۸۶	.....۳-۳-۴ پرلیت.....
۸۷	.....۴-۴ توزیع پودر کاربید سیلیسیم.....
۹۰	.....۵-۴ آزمایش سختی.....
۹۲	.....۶-۴ مقاومت به سایش.....
۹۸	.....۷-۴ جمع بندی.....
۱۰۳	.....فصل پنجم: نتیجه گیری
۱۰۶	.....فصل ششم: پیشنهادات
۱۰۹	.....مراجع

فهرست اشکال

شماره شکل	صفحه
شکل ۱-۲: نمونه‌ای از کاربرد فولاد S53C	۹
شکل ۲-۲: نمونه‌ای از کاربرد فولاد بلبرینگ	۹
شکل ۳-۲: دیاگرام دما-زمان فولاد ۵۲۱۰۰ - فولاد Fe-1.04C-0.32Mn-0.19Si-1.35Cr	۱۱
شکل ۲-۴/الف: بعد از ۳۰ دقیقه نگاه داشته شدن در دمای ۱۰۴۰ درجه سانتی‌گراد، در دمای ۷۳۵ درجه کوئینچ شده است تا کاربیدها در مرزدانه‌ها رسوب کنند. سپس کوئینچ تا دمای اتاق انجام شده است. ب) در دمای ۷۰۵ برای یک دقیقه نگاه داشته شده و سپس تا دمای اتاق کوئینچ شده است. ج) ۲ دقیقه در دمای ۵۴۰ نگاه داشته شده است. د) در دمای ۴۸۰ درجه دچار تحول شده است	۱۱
شکل ۵-۲: نمودار سرد کردن پیوسته (CCT)	۱۲
شکل ۶-۲: تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه‌هایی که برای زمان‌های مختلف در دمای ۵۰۳ درجه سانتی‌گراد نگاه داشته شده‌اند	۱۲
شکل ۷-۲/الف: ساختار پرلیتی در فولاد ۵۲۱۰۰ ب) ساختار کروی شده	۱۳
شکل ۸-۲/الف: در دمای ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد برای ۳۰ ثانیه نگاه داشته شده و سپس تا دمای اتاق کوئینچ شده است. ب) در دمای ۵۴۰ درجه برای ۵ دقیقه نگاه داشته شده و سپس تا دمای اتاق کوئینچ شده است. این نمونه ساختاری بینیتی دارد.	۱۴
شکل ۹-۲: در دمای ۷۰۵ درجه سانتی‌گراد برای ۱ دقیقه نگاه داشته شده و سپس تا دمای محیط کوئینچ شده است. شکل‌گیری پرلیت در گوشه دانه‌ها	۱۵
شکل ۱۰-۲: بستگی اندازه دانه آستنیت به دمای آستنیت‌زدن	۱۶
شکل ۱۱-۲: درصد کرم موجود در سمنتیت به عنوان تابعی از دمای آستنیت‌زدن	۱۶
شکل ۱۲-۲: درصد فازهای تشکیل شده در فولاد ۵۲۱۰۰ در دماهای مختلف	۱۷
شکل ۱۳-۲: درصد سمانتیت حل شده در دماها و زمان‌های متفاوت	۱۷
شکل ۱۴-۲: قطر ذرات کاربید حل نشده باقی مانده در حین آستنیت‌زدن فولاد ۵۲۱۰۰	۱۸
شکل ۱۵-۲: سختی‌پذیری فولاد ۵۲۱۰۰ که در دمای ۸۴۵ درجه سانتی‌گراد آستنیت‌زدن شده است	۱۹
شکل ۱۶-۲: بینیت پائینی که از نگاه داشتن فولاد در دمای ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰ ساعت ایجاد شده است	۲۱
شکل ۱۷-۲: ساختار فولاد ۵۲۱۰۰ که در دمای ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه آستمپر شده است	۲۲

- شکل ۲-۱۸: تصویر TEM که صفحات نازک و نانومتری فریت را نشان می‌دهد..... ۲۳
- شکل ۲-۱۹: الف) تغییر استحکام کششی و ب) تغییر استحکام فشاری به واسطه تغییر میزان کار سرد در فولاد آستنیت‌دهنده در دمای ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد برای ۳۰ دقیقه..... ۲۴
- شکل ۲-۲۰: میکروترک‌های ایجاد شده در نمونه‌های آستنیت‌دهنده ۲۶
- شکل ۲-۲۱: شکل‌گیری لایه سفید در شرایط مختلف برش..... ۲۷
- شکل ۲-۲۲: شکل‌گیری لایه سفید در شرایط مختلف برش..... ۲۹
- شکل ۲-۲۳: نقشه شکل‌گیری لایه سفید در فولاد ۵۲۱۰۰..... ۳۰
- شکل ۲-۲۴: تنش پسماند ۳۲
- شکل ۲-۲۵: اثر سرعت برش در دو شرایط مختلف الف و ب بر روی تنش پسماند ۳۲
- شکل ۲-۲۶: اثر تغییرات ساختاری بر روی تنش پسماند در برش..... ۳۳
- شکل ۲-۲۷: شکل شماتیک فرآیند FSW ۴۱
- شکل ۲-۲۸: شکل شماتیک ابزارهای مورد استفاده در فرآیندهای FSW و FSP ۴۲
- شکل ۲-۲۹: پین ساخته شده توسط TWI ۴۲
- شکل ۲-۳۰: انواع شولدرهای ساخته شده ۴۳
- شکل ۲-۳۱: نواحی مختلف ایجاد شده در اثر فرآیند همزن اصطکاکی..... ۴۴
- شکل ۲-۳۲: اثر پارامترهای فرآیند بر روی شکل ناحیه ناگت..... ۴۵
- شکل ۲-۳۳: توزیع اندازه دانه در آلیاژ ۷۰۵۰Al ۴۶
- شکل ۳-۱: دستگاه مورد استفاده برای انجام فرآیند همزن اصطکاکی..... ۵۷
- شکل ۳-۲: محفظه برنجی خنک‌کننده ابزار..... ۵۷
- شکل ۴-۱: تصاویر SEM نمونه شماره ۹ ۶۵
- شکل ۴-۲: نمودار EDX نمونه شماره ۹ ۶۵
- شکل ۴-۳: نمودار EDX نمونه شماره ۱۱ ۶۶
- شکل ۴-۴: تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه شده از منطقه همزده در نمونه شماره ۱۴..... ۶۷
- شکل ۴-۵: نمودار EDX نمونه شماره ۱۴ ۶۸
- شکل ۴-۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی از منطقه همزده در نمونه شماره ۱۵..... ۶۹
- شکل ۴-۷: تصویر ذرات تنگستن در نمونه شماره ۱۵ ۷۰
- شکل ۴-۸: نمودار EDX نمونه شماره ۱۵ ۷۰
- شکل ۴-۹: سرعت‌های حرکتی و دورانی بهینه ۷۳

- شکل ۴-۱۰: به وجود آمدن پلیسه در حین فرآیند همزن اصطکاکی ۷۳
- شکل ۴-۱۱: پر نشدن سطح پشت پین ۷۴
- شکل ۴-۱۲: ذوب شدن پین در حین فرآیند ۷۴
- شکل ۴-۱۳: ایجاد شدن حفره در داخل نمونه ۷۴
- شکل ۴-۱۴: حفرات در ساختار مارتنزیتی ۷۵
- شکل ۴-۱۵: ایجاد حفره در ضمن توزیع پودر در نمونه ۷۵
- شکل ۴-۱۶: خطوط به جا مانده از سیلان فلز ۷۶
- شکل ۴-۱۷: خطوط به جا مانده از سیلان فلز ۷۶
- شکل ۴-۱۸: فازهای مختلف ایجاد شده در نمونه شماره ۵۶ ۷۷
- شکل ۴-۱۹: لایه سفید ایجاد شده در نمونه شماره ۵۶ ۷۸
- شکل ۴-۲۰: غلبه لایه سفید بر ساختار مارتنزیتی در نمونه شماره ۵۸ ۷۸
- شکل ۴-۲۱: حضور دوباره فاز مارتنزیتی در میان لایه سفید ۷۹
- شکل ۴-۲۲: لایه سفید در نمونه شماره ۵۸ ۷۹
- شکل ۴-۲۳: تغییر ضخامت لایه سفید با افزایش سرعت دورانی ۸۰
- شکل ۴-۲۴: نتایج *XRD* نمونه شماره ۳۱ ۸۱
- شکل ۴-۲۵: تشکیل ساختار مارتنزیتی در نمونه شماره ۳۱ ۸۲
- شکل ۴-۲۶: تشکیل ساختار مارتنزیتی در نمونه شماره ۵۶ ۸۲
- شکل ۴-۲۷: تشکیل ساختار مارتنزیتی در نمونه شماره ۵۸ ۸۳
- شکل ۴-۲۸: تغییرات دمایی در حین فرآیند همزن اصطکاکی ۸۵
- شکل ۴-۲۹: تغییرات دمایی در حین فرآیند همزن اصطکاکی ۸۵
- شکل ۴-۳۰: شکل گیری ساختار پرلیتی ۸۶
- شکل ۴-۳۱: شکل گیری ساختار پرلیتی در نمونه شماره ۵۸ ۸۷
- شکل ۴-۳۲: توزیع پودر نانو در نمونه شماره ۳۱ ۸۸
- شکل ۴-۳۳: توزیع پودر نانو در نمونه شماره ۵۶ ۸۸
- شکل ۴-۳۴: نتایج DEX نمونه شماره ۵۶ ۸۹
- شکل ۴-۳۵: تغییرات سختی در عرض نمونه‌های ۵۸ و ۳۱ ۹۱
- شکل ۴-۳۶: تغییرات سختی در عمق نمونه‌های ۲۹ ۹۱
- شکل ۴-۳۷: تغییر وزن نمونه‌های شماره ۷، ۹، ۲۹، ۳۱، ۵۶ و ۵۸ در حین آزمون سایش ۹۳

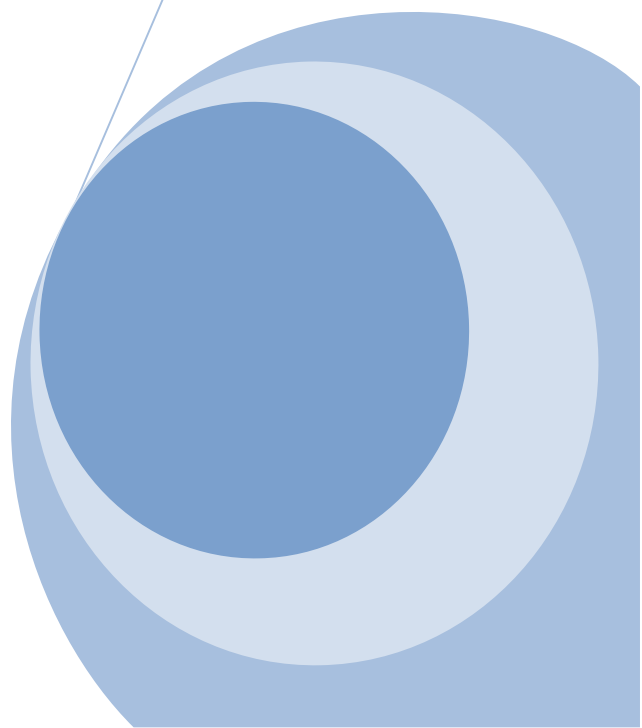
- شکل ۴-۳۸: میزان کاهش وزن نمونه‌های شماره ۷، ۹، ۲۹، ۳۱، ۵۶ و ۵۸ در آزمون سایش ۹۳
- شکل ۴-۳۹: میزان کاهش وزن نمونه‌های شماره ۷، ۹، ۲۹، ۳۱، ۵۶ و ۵۸ در آزمون سایش ۹۴
- شکل ۴-۴۰: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۷ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۵
- شکل ۴-۴۱: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۹ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۵
- شکل ۴-۴۲: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۳۱ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۵
- شکل ۴-۴۳: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۵۸ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۶
- شکل ۴-۴۴: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۲۹ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۶
- شکل ۴-۴۵: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه شماره ۵۶ بر حسب مسافت (سانتی‌متر) ۹۶
- شکل ۴-۴۶: تغییرات ضریب اصطکاک نمونه‌های ۲۹، ۳۱، ۷، ۹، ۵۶ و ۵۸ ۹۷
- شکل ۴-۴۷: تغییرات متوسط ضریب اصطکاک نمونه‌های ۲۹، ۳۱، ۷، ۹، ۵۶ و ۵۸ ۹۷

فهرست جداول

شماره جدول	صفحه
جدول ۱-۲: فهرست تعدادی از فولادهای بلبرینگ	۶
جدول ۲-۲: کاربردهای فولادهای بلبرینگ	۷
جدول ۳-۲: ترکیب برخی آلیاژهای بلبرینگ	۹
جدول ۴-۲: ترکیب آلیاژی فولاد ۵۲۱۰۰	۱۰
جدول ۵-۲: ترکیب آلیاژی فازهای آستنیت و سمانیت در فولادی که در دمای ۸۴۰ درجه سانتی‌گراد آستنیت شده	۱۵
جدول ۶-۲: تغییر درصد فازها تحت شرایط مختلف آستمپرینگ و کارسرد	۲۳
جدول ۷-۲: اثر سرعت برش بر روی تغییرات ساختاری و تنش پسماند	۳۳
جدول ۸-۲: اعداد تئوریک R برای فازهای فریت و آستنیت	۳۵
جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده (فولاد ۵۲۱۰۰)	۵۱
جدول ۲-۳: شکل شیارهای ایجاد شده بر روی نمونه‌های فولادی	۵۳
جدول ۳-۳: شکل پین‌های مورد استفاده در فرآیند همزن اصطکاکی	۵۵
جدول ۱-۴: مشخصات آزمایش‌های زده شده. نوع شیار، نوع پین، سرعت دورانی، سرعت حرکت و استفاده یا عدم استفاده از پودر و نتایج حاصله	۶۲
جدول ۲-۴: درصد عناصر نمونه شماره ۹ بدست آمده از آزمایش EDX	۶۶
جدول ۳-۴: درصد عناصر نمونه شماره ۱۱ بدست آمده از آزمایش EDX	۶۷
جدول ۴-۴: درصد عناصر نمونه شماره ۱۴ بدست آمده از آزمایش EDX	۶۸
جدول ۵-۴: درصد عناصر نمونه شماره ۱۵ بدست آمده از آزمایش EDX	۷۰
جدول ۶-۴: آزمایشات انجام شده در سرعت‌های دورانی و سرعت‌های حرکتی مختلف	۷۲
جدول ۷-۴: درصد عناصر نمونه شماره ۵۶ بدست آمده از آزمایش EDX	۸۹

فصل اول

مقدمه



۱ مقدمه

فولادهای بلبرینگ در صنایعی که در آنها مقاومت به سایش، خستگی و استحکام بالا مورد نظر است، به عنوان یکی از فولادهای مهم و پرکاربرد مطرحند. انواع مختلف این آلیاژها که حاوی حدود ۱ درصد کربن هستند، برای دماها و شرایط مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. صنایع هوایی، صنایع نظامی، خودروسازی و... همه و همه از مزیت‌های فولادهای بلبرینگ بهره می‌برند. برابر گزارشی که ناسا در سال ۲۰۱۲ منتشر کرده است، سالانه ۶ میلیون تن فولاد بلبرینگ تولید می‌شود. با وجود تنوع بالای فولادهای بلبرینگ، فولاد ۵۲۱۰۰ از اهمیت بالایی در میان این فولادها برخوردار است. آنچه در این میان اهمیت دارد بهبود خواص این فولادهاست. اگرچه ساختار مارتنزیتی سختی بالایی در فولادهای ۵۲۱۰۰ ایجاد می‌کند، اما برای کاربردهای مورد نظر، این ساختار به جهت تردی آن مطلوب نیست. اغلب، ساختاری حاوی درصدی از مارتنزیت و درصدی از بینیت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقاومت به سایش در فولادهای بلبرینگ از اهمیت بالایی برخوردار است. مقاومت به سایش را می‌توان با روش‌های مختلفی نظیر لایه‌نشانی و نفوذ افزایش داد. با این همه ایجاد کامپوزیت سطحی و یکنواخت کردن ترکیب ماده و سطح آن می‌تواند از کنده شدن پوشش لایه‌نشانی شده جلوگیری کند. یکی از روش‌هایی که معایب لایه‌نشانی را ندارد و این کامپوزیت سطحی را تولید نماید، روش همزن اصطکاکی است. در این روش می‌توان با ایجاد شیار بر روی سطح و حرکت دادن ابزار با سرعت دورانی و سرعت حرکت مشخص بر روی سطح حاوی شیار، فلز را به صورت خمیری در آورد. در این حالت به واسطه کار مکانیکی و تغییرات دمایی می‌توان ساختاری ریزدانه و مقاوم در برابر سایش در سطح ماده ایجاد کرد. وارد کردن پودر در سطح نیز می‌تواند به افزایش سختی و مقاومت در برابر سایش ماده کمک کند. البته پودر را می‌توان توسط لایه‌نشانی و اعمال فرآیند همزن اصطکاکی بر روی لایه سخت ایجاد شده نیز وارد سطح ماده کرد.

در تولید کامپوزیت سطحی نانو ساختار کردن سطح و یا وارد کردن تقویت کننده‌های با ابعاد نانو در داخل سطح می‌تواند به بهبود خواص آن کمک شایانی نماید. به این ترتیب می‌توان مقاومت به سایش و استحکام ماده را بیش از پیش افزایش داد. به وسیله فرآیند همزن اصطکاکی و با وارد کردن پودر نانو در ساختار، تولید نانو کامپوزیت در سطح ماده ممکن خواهد بود.

در پژوهش حاضر امکان وارد کردن پودر کاربید سیلیسیم با ابعاد نانو با ابعاد ۵۰ نانومتر توسط شیار و تحت فرآیند همزن اصطکاکی در سطح فولاد ۵۲۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است.

پرسی که در این پژوهش وجود دارد این است که آیا با وجود پرکربن و پرآلیاژ بودن فولاد ۵۲۱۰۰ می‌توان از فرآیند همزن اصطکاکی مشابه آلیاژهای آلومینیومی یا آلیاژهای فولادی کم کربن برای افزایش سختی و مقاومت به سایش این فولاد بهره برد؟ شرایط بهینه در تولید کامپوزیت سطحی با این روش چیست و پارامترهای مختلف در فرآیند باید چگونه تنظیم شوند؟ خواص ماده در اثر تولید کامپوزیت سطحی چه تغییری خواهد کرد و ریزساختار ماده چگونه خواهد شد؟

در فصل دوم مروری بر روی پژوهش‌های انجام شده در محورهای مرتبط با این پژوهش صورت پذیرفته است. خواص، ساختار و ویژگی‌های فولاد ۵۲۱۰۰، کامپوزیت‌های سطحی و روش‌های تولید آنها و نیز شرایط فرآیند همزن اصطکاکی و مواردی نظیر شکل‌گیری تنش پسماند در حین این فرآیند در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل سوم به مواد و روش انجام آزمایشات اختصاص دارد. در این فصل متغیرهایی که می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند و نیز شرایط و مشخصات مواد اولیه و ابزارهای مورد استفاده مورد اشاره قرار گرفته است.

فصل چهارم به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص دارد. در این فصل آزمایشات انجام شده و موانعی که آزمایشات با آنها روبرو شد، مورد اشاره قرار گرفته است. همچنین نتایج بدست آمده از آزمایشات به تفصیل ذکر گردیده است و در نهایت جمع‌بندی صورت پذیرفته است.

فصل پنجم مربوط به نتیجه‌گیری از پژوهش انجام شده است. در این فصل نتایج بدست از مجموع آزمایشات و بررسی‌های انجام شده، ارائه شده است.

فصل ششم به پیشنهادات اختصاص یافته است. در این فصل با توجه به مشکلاتی که این پژوهش با آنها مواجه بود و با توجه به عناوین بررسی شده و تجربیات کسب شده، محورهای پیشنهادی برای پژوهش‌های بیشتر مورد اشاره قرار گرفته است.

امید آنکه این اندک بتواند گامی هر چند کوچک در راستای رشد و اعتلای ایران اسلامی باشد.

فصل دوم

مروری بر

منابع

