به نام خدا

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از فلزات

بررسی اثر تغییر پارامترهای توری فعال بر روی خواص سایشی فولاد AISI H13 در طی عملیات نیتروژن‌دهی پلاسمایی به روش توری فعال

محمد ولاشجردی

استاد راهنما

دکتر علیرضا صبور روح اقدم

استاد مشاور

دکتر شاهرخ آهنگرانی

زمستان ۱۳۸۸

بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای بسیار محترم جناب آقای دکترعلیرضا صبور روح اقدم و استاد مشاور گرانقدر جناب آقای دکتر شاهرخ آهنگرانی که با رهنمودهای علمی و توجه بیکرانشان امکان انجام این پروژه و گردآوری آن میسر شد کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

که هرچه دارم از برکت وجود آنهاست

و

حامد عزیز

که لحظه لحظه این پژوهش با او و یاد او انجام شد.

فهرست مطالب

عنوان..... صفحه

فهرست مطالب .....ج

فهرست اشکال و نمودارها .....ذ

فهرست جداول .....س

چکیده.....۱

فصل اول: مقدمه

مقدمه.....۴

فصل دوم :مروری بر منابع مطالعاتی

۲-۱ معرفی فولاد مورد استفاده در این تحقیق.....۷

۲-۲ سایش در قطعات.....۷

۲-۲-۱ انواع سایش.....۸

۲-۲-۱-۱ سایش چسبنده..... ۸

۲-۲-۱-۲ سایش ساینده.....۹

۲-۲-۱-۳ سایش رفتگی.....۹

۲-۲-۱-۴ سایش خستگی..... ۱۰

۲-۲-۱-۵ سایش مرکب.....۱۰

۲-۲-۲ فاکتورهای موثر بر پدیده سایش عبارتند از.....۱۰

۲-۳ نیتروژن‌دهی.....۱۱

۲-۳-۱.فازها و ریز ساختار حاصل از نیتروژن‌دهی.....۱۱

۲-۳-۲ریز ساختار لایه نفوذی..... ۱۳
۲-۳-۳ ریز ساختار لایه سفید..... ۱۴
۲-۴ تاثیر عناصر آلیاژی بر روی خواص لایه‌های نیتریدی..... ۱۶
۲-۵ نیتروژن‌دهی پلاسمایی..... ۱۶
۲-۵-۱ پلاسما..... ۱۷
۲-۵-۲ اندر کنش پلاسما با سطح قطعه کار..... ۱۸
۲-۵-۳ تجهیزات نیتروژن‌دهی پلاسمایی..... ۲۱
۲-۵-۴ روشهای جدید کنترل پلاسما..... ۲۲
۲-۵-۵ نیتروژن‌دهی پلاسمایی با استفاده از توری فعال..... ۲۴
۲-۵-۶ تجهیزات نیتروژن‌دهی به روش توری فعال..... ۲۵
۲-۵-۷ مکانیزم نیتروژن‌دهی توسط توری فعال..... ۲۶
۲-۶ مروری بر مطالعات انجام شده بر روی خواص نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده با روش توری فعال..... ۲۹
۲-۶-۱ بررسی‌های ریزساختاری..... ۲۹
۲-۶-۲ آنالیز تفرق اشعه ایکس..... ۳۴
۲-۶-۳ بررسی ریز سختی..... ۳۷
۲-۶-۴ بررسی تغییر پارامترهای توری فعال..... ۴۱
۲-۶-۵ بررسی خواص سایشی..... ۴۳
فصل سوم: فعالیت‌های تجربی
۳-۱ آماده سازی نمونه‌ها..... ۵۰
۳-۲ ساخت توری‌ها و پایه‌ها..... ۵۲

۳-۳ نیتروژن‌دهی پلاسمایی..... ۵۴
۳-۴ طراحی آزمایش‌ها..... ۵۴
۳-۵ آزمایش‌های انجام گرفته برروی نمونه‌ها..... ۵۶
۳-۵-۱ آماده‌سازی و متالوگرافی..... ۵۶
۳-۵-۲ آنالیز تفرق اشعه ایکس..... ۵۷
۳-۵-۳ ریزسختی سنجی..... ۵۷
۳-۵-۴ بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۸
۳-۵-۵ تست سایش..... ۵۸
فصل چهارم: مشاهدات و بحث
۴-۱ بررسی ریز ساختاری سطح نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی..... ۶۲
۴-۱-۱ بررسی سطح نمونه‌های درون توری با ابعاد یکسان و قطر چشمه‌های متفاوت..... ۶۲
۴-۱-۲ بررسی سطح نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت..... ۶۳
۴-۱-۳ بررسی سطح نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌ها و ابعاد یکسان درارتفاع‌های متفاوت..... ۶۴
۴-۱-۴ بررسی سطح نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت..... ۶۵
۴-۲ بررسی میکروسکوپ نیرویی اتمی از سطح نمونه‌ها ۶۷
۴-۳ نتایج تفرق اشعه‌ی ایکس ۶۹
۴-۳-۱ نمونه‌های درون توری‌های با قطر چشمه‌های متفاوت و ابعاد یکسان..... ۶۹
۴-۳-۲ نمونه‌های درون توریهای با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت..... ۷۰
۴-۳-۳ نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌ها و ابعاد یکسان درارتفاع‌های متفاوت..... ۷۲
۴-۳-۴ نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت..... ۷۳

۴-۴ بررسی ریز ساختاری سطح مقطع نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی..... ۷۴
۴-۴-۱ بررسی سطح مقطع نمونه های درون توری با ابعاد یکسان و قطر چشمه‌های متفاوت.....۷۴
۴-۴-۲ بررسی سطح مقطع نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت.....۷۵
۴-۴-۳ بررسی سطح نمونه‌های در درون توری‌های با قطر چشمه‌ها و ابعاد یکسان و ارتفاع متفاوت.....۷۷
۴-۴-۴ بررسی سطح مقطع نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت.....۷۸
۴-۵ بررسی سختی سطح نمونه‌ها ۸۰
۴-۵-۱ بررسی ریزسختی از سطح نمونه‌های درون توری با ابعاد یکسان و قطر چشمه‌های متفاوت.....۸۰
۴-۵-۲ بررسی سختی سطح نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت..... ۸۰
۴-۵-۳ ریز سختی سطحی نمونه‌های درون توری بزرگ در ارتفاع‌های متفاوت..... ۸۱
۴-۵-۴ ریز سختی سطح نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت..... ۸۲
۴-۶ بررسی پروفیل سختی از سطح مقطع نمونه‌ها..... ۸۲
۴-۶-۱ بررسی نیمرخ سختی از سطح مقطع نمونه‌های درون توری‌های با قطر چشمه‌های متفاوت.....۸۲
۴-۶-۲ بررسی نیمرخ سختی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت.....۸۴
۴-۶-۳ بررسی نیمرخ سختی نمونه‌های درون توری بزرگ با ارتفاع‌های متفاوت.....۸۵
۴-۶-۴ بررسی نیم رخ سختی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت.....۸۵
۴-۷ ارزیابی رفتار سایشی نمونه‌ها..... ۸۶
۴-۷-۱ ارزیابی رفتارسایشی نمونه‌های درون توری با ابعاد یکسان و قطر چشمه‌های متفاوت.....۸۶
۴-۷-۲ ارزیابی رفتار سایشی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و ابعاد متفاوت.....۹۲
۴-۷-۳ ارزیابی رفتار سایشی نمونه‌های درون توری بزرگ در ارتفاع‌های متفاوت..... ۹۶
۴-۷-۴ ارزیابی رفتار سایشی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های یکسان و جنس متفاوت.....۱۰۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری..... ۱۰۷

۵-۲ پیشنهادات..... ۱۰۸

مراجع..... ۱۰۹

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. دیاگرام تعادلی آهن- نیتروژن..... ۱۲

شکل ۲-۲. شماتیک سطح مقطع فولاد بعد از نیتروژن‌دهی..... ۱۳

شکل ۲-۳. شماتیک شبکه کریستالی دو فاز γ' و ε ۱۵

شکل ۲-۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی لایه سفید..... ۱۵

شکل ۲-۵. تجهیزات نیتروژن دهی پلاسمایی..... ۲۱

شکل ۲-۶. تجهیزات توری فعال..... ۲۵

شکل ۲-۷. طرز قرارگیری نمونه‌ها و توری در محفظه..... ۲۶

شکل ۲-۸. مدل مکانیزم نیتروژن‌دهی با توری فعال..... ۲۸

شکل ۲-۹. تصویر رسوبات برروی نمونه های شیشه‌ای در حین نیتروژن دهی به روش توری فعال..... ۲۹

شکل ۲-۱۰. نمودار XRD نمونه های شیشه ای در زیر توری فولادی در طی نیتروژن‌دهی پلاسمایی..... ۲۹

شکل ۲-۱۱. تصاویر سطح مقطع نمونه های ASPN عملیات شده..... ۳۱

شکل ۲- ۱۲. تصاویر SEM نمونه نیترید شده در دمای ۵۰۰ درجه و زمان ۵ ساعت..... ۳۱

شکل ۲- ۱۳. تصویر شماتیک انتقال ذرات از داخل توری به روی سطح نمونه..... ۳۲

شکل ۲- ۱۴. تصویر سطح ضاهری نمونه فولادی عملیات شده به روشASPN ۳۳

شکل ۲- ۱۵. تصویر میکروسکوپ نوری لایه های نیتریدی تشکیل شده روی نمونه‌ها ۳۴

شکل ۲- ۱۶. الگوی پراش اشعه ایکس سطح نمونه هایASPN ۳۶

شکل ۲- ۱۷. الگوهای پراش اشعه ایکس فولاد زنگ نزن AISI 316 خام و عملیات شده به روشASPN ۳۷

شکل ۲-۱۸. سختی از سطح نمونه در زیر توری با چشمه قطر بزرگ ۳۸

شکل ۲-۱۹. پروفیل های میکروسختی نمونه های عملیات شده به روش ASPN در شرایط کوناگون..... ۳۸

شکل ۲-۲۰. پروفیل غلظت نیتروژن در سطح فولاد ضدزنگ عملیات شده به روش.ASPN ۴۰
شکل ۲-۲۱. اثر ترکیب گاز روی نحوه‌ی توزیع نیتروژن در سطح نمونه نیتروژن‌دهی پلاسمایی شده..... ۴۰
شکل ۲-۲۲. اثر تغییر درب توری برروی سختی سطحی و نیم رخ سختی برای درب‌های تیتانیومی و مسی... ۴۲
شکل ۲-۲۳. ذرات نیترید آهن بر روی سطح نمونه در عملیاتASPN ۴۳
شکل ۲-۲۴. تصاویر شیار سایش روی نمونه های فولاد زنگ نزن آستنیتیAISI 316 ..... ۴۴
شکل ۲-۲۵. پروفیل سطحی از شیار سایش نمونه خام نمونه عملیات شده به روشASPN ۴۴
شکل ۲-۲۶. کاهش حجم ساییده شده برای نمونه های آزمایش..... ۴۵
شکل ۲-۲۷. تصویرمیکروسکوپ الکترونی شیار سایشی فولاد ضد زنگ نیتروژن دهی نشده ۴۶
شکل ۲-۲۸. تصویرمیکروسکوپ الکترونی شیار سایشی فولاد ضد زنگ نیتروژن دهی شده به ASPN ۴۶
شکل ۲-۲۹. اثر لایه ترکیبی در سطح فولاد نیتریده شده به روش DCPN برروی ضریب اصطکاک.....۴۷
شکل ۲-۳۰. ارتباط بین پارامترهای نیتراسیون یونی با ضخامت لایه ترکیبی ونرخ سایش.....۴۸
شکل ۲-۳۱. تصاویر SEM از شیار سایشی فولاد نیتریده شده به روشDCPN ۴۸
شکل ۳-۱. نمودار مراحل انجام تحقیقات برروی نمونه ها در این تحقیق..... ۵۰
.شکل ۳-۲. تصویر میکروسکوپ نوری از فولاد H13 عملیات حرارتی شده ۵۱
شکل ۳-۳. تصویر توری های با قطر متفاوت و ابعاد یکسان ۵۲
شکل ۳-۴. تصویر توری های با قطر چشمه های یکسان و ابعاد متفاوت.....۵۳
شکل ۳-۵. تصویر پایه و عایق سرامیکی و توری کوچک با قطر چشمه‌های ۸ میلیمتر..... ۵۴
شکل ۳-۶. تصویر شماتیک قرار گیری نمونه ها با فاصله های متفاوت از درب توری ۵۵
شکل ۳-۷. تصویر دستگاه نیتراسیون پالسی دیواره سرد استفاده شده در این تحقیق..... ..... ۵۶
شکل۳-۸. شرایط مختلف طراحی آزمایش‌ها..... ۵۷
شکل ۳-۹. نحوه قرار گرفتن سطح مقطع نمونه‌ها در مانت..... ۵۹
شکل۳-۱۱. تصویر دستگاه پین روی دیسک استفاده شده در این تحقیق..... ۶۰
شکل ۴-۱۰. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولاد ۶۳
شکل ۴-۱۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی ... ۶۵
شکل ۴-۱۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی..... ۶۵
شکل ۴-۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه‌های در توری با جنس‌های متفاوت ۶۷
شکل ۴-۵. تصاویر میکروسکوپ نیرویی اتمی برای نمونه‌های در توری فولادی یا قطر چشمه‌های متفاوت.... ۶۸
شکل ۴-۶. طیف سنجی اشعه‌ی X برای نمونه‌های در توری فولادی با قطر چشمه‌های متفاوت..... ۷۰
شکل ۴-۷. طیف سنجی اشعه‌ی X از سطح نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی..... ۷۱
شکل ۴-۸. طیف سنجی اشعه‌ی X برای نمونه های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی ۷۲

شکل ۴-۹. طیف سنجی اشعه‌یX برای نمونه های نیتروژن دهی شده در توری با جنس‌های متفاوت ۷۴
شکل ۴-۱۰. تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع نمونه های در توری با قطر چشمه‌های متفاوت ۷۵
شکل ۴-۱۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح مقطع نمونه های در توری با ابعاد متفاوت.....۷۶
شکل ۴-۱۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نمونه‌های در توری با فاصله ازدرب متفاوت..... ۷۷
شکل ۴-۱۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه های در توری با جنس های متفاوت..... ۷۹
شکل ۴-۱۴. ریزسختی سطح نمونه های نیتروژن دهی شده در توری‌های با قطر چشمه‌های متفاوت.....۸۰
شکل ۴-۱۵. ریز سختی سطح نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی..... ۸۱
شکل ۴-۱۶. نیم‌رخ سختی سنجی برای نمونه‌های در توری ۸۱
شکل ۴-۱۷. نیم‌رخ سختی برای نمونه های نیتروژن دهی شده در توری با جنس‌های متفاوت.....۸۲
شکل ۴- ۱۸. نیم‌رخ سختی برای نمونه های نیتروژن دهی شده در توری با قطر چشمه‌های متفاوت.....۸۳
شکل ۴-۱۹. نیم‌رخ سختی از سطح مقطع نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده در توری فولادی.....۸۴
شکل ۴-۲۰. نیم‌رخ سختی سنجی برای نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌ها و ابعاد یکسان..... ۸۵
شکل ۴-۲۲. نمودارنرخ سایش با استفاده از روش وزنی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های متفاوت..... ۸۷
شکل ۴-۲۳. نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده در توری‌های با قطر چشمه‌های متفاوت..... ۸۹
شکل ۴-۲۴. نمودار نرخ سایش با روش حجمی نمونه‌های درون توری با قطر چشمه‌های متفاوت..... ۸۹
شکل ۴-۲۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی شیار سایش نمونه شاهد..... ۹۰
شکل ۴-۲۶. تصویر میکروسکوپ الکترونی شیار سایش نمونه Fe4S..... ۹۱
شکل ۴-۲۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی شیار سایش نمونهFe6S..... ۹۱
شکل ۴-۲۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی دیواره شیار سایش نمونه Fe8S..... ۹۲
شکل ۴-۲۹. نمودار نرخ سایش نمونه‌های درون توری فولادی با قطر چشمه‌های یکسان..... ۹۲
شکل ۴-۳۰. نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده نمونه‌های درون توری با ابعاد متفاوت..... ۹۳
شکل ۴-۳۱. نمودار نرخ سایش نمونه‌های درون توری‌های ابعاد متفاوت..... ۹۴
شکل ۴-۳۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لبه شیار سایش نمونهFe8S ۹۵
شکل ۴-۳۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لبه شیار سایش نمونهFe8M ۹۵
شکل ۴-۳۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی شیار سایش نمونه Fe8L..... ۹۶
شکل ۴-۳۵. نمودار حجم ساییده شده برای نمونه‌های درون توری با فاصله ازسطح متفاوت.....۹۷
شکل ۴-۳۶. نمودار ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده برای نمونه های با فاصله از درب متفاوت....۹۸
شکل ۴-۳۷. نمودار نرخ سایش نمونه‌های درون توری با فاصله ازدرب متفاوت.....۹۸
شکل ۴-۳۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی شیار سایش نمونهFe8L20 ..... ۹۹

شکل ۴-۳۹. تصویر میکروسکوپ الکترونی شیار سایش نمونهFe8L40 ..... ۹۹
شکل ۴-۴۰. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لبه شیار سایش نمونهFe8L80 ..... ۱۰۰
شکل ۴-۴۱. نمودار حجم ساییده شده با جنس‌های متفاوت..... ۱۰۱
شکل ۴-۴۲. نمودار ضریب اصطکاک برای نمونه های درون توری های با جنس متفاوت.....۱۰۲
شکل ۴-۴۳. نمودار نرخ سایش برای نمونه‌های درون توری‌های با جنس متفاوت..... ۱۰۲
شکل ۴-۴۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی شیار سایش نمونه Ti8S ۱۰۳
شکل ۴-۴۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لبه شیار سایش نمونه .TiFe8S ۱۰۴
شکل ۴-۴۶. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی لبه شیار سایش نمونهAl8S ۱۰۴
شکل ۴-۴۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی شیار سایش نمونهCr8S..... ۱۰۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱. ترکیب شیمیایی فولاد AISI H13 .....۵۰
جدول ۴-۱. آنالیز عنصری EDS سطح نمونه های درون توری با جنس‌های متفاوت..... ۶۳
جدول ۴-۲. ضخامت لایه ترکیبی برروی سطح نمونه‌های با قطر چشمه‌های توری متفاوت.....۶۶
جدول ۴-۳. ضخامت لایه ترکیبی برروی سطح نمونه های با ابعاد توری متفاوت..... ۷۵
جدول ۴-۴. ضخامت لایه ترکیبی برروی سطح نمونه‌های با فاصله از درب توری متفاوت..... ۷۶
جدول ۴-۵. ضخامت لایه ترکیبی برروی سطح نمونه های با جنس توری متفاوت..... ۷۷

چکیده

در این پژوهش تغییر پارامترهای توری فعال شامل قطر چشمه‌ها، ابعاد توری‌ها، ارتفاع نمونه‌ها از درب توری و جنس توری برروی ریز ساختار و خواص سایشی فولاد AISI H13 در طی نیتروژن‌دهی پلاسمایی به روش توری فعال بررسی شد. بدین منظور از توری‌های فولادی با قطر چشمه‌های ۴، ۶ و ۸ میلیمتر برای بررسی اثر قطر توری‌ها و توری‌هایی با ابعاد کوچک ، متوسط و بزرگ برای بررسی ابعاد توری در نیتروژن‌دهی فولاد مورد ذکر استفاده گردید. برای بررسی امکان نیتراسیون قطعات بزرگ صنعتی به روش توری فعال نمونه‌هایی با فواصل ۴۰،۲۰،۱۰ و۸۰ میلیمتر از درب توری بزرگ نیتروژن‌دهی گردیدند. جهت بررسی امکان ایجاد پوشش‌های مقاوم به سایش به جای لایه سفید معمول ازتوری‌هایی با جنس‌های متفاوت تیتانیوم ، آلومینیوم و کرم برای نیتروژن‌دهی نمونه‌ها استفاده گردید. نیتروژن‌دهی با استفاده از دستگاه نیتروژن‌دهی پلاسمایی دیواره سرد، با جریان پالسی با فرکانس ۱۰ KHzو درصد چرخه کاری ٪۷۰ در دمای $۵۰۰^{\circ}C$ مدت ۴ ساعت انجام گرفت. سطح نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. بعد از شناسایی فازهای لایه‌های سطحی با تفرق اشعه‌ی X، سطح مقطع نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی و ریز سختی سنجی مطالعه گردید. با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی مورفولوژی سطح با تغییر قطر چشمه‌ها بررسی شد. برای بررسی نتایج مقاومت به سایش و تاثیر پارامترهای مورد ذکر، از آزمایش سایش پین روی دیسک استفاده شد. در کل مقاومت به سایش نمونه‌ها با نیتروژن‌دهی پلاسمایی افزایش یافت. مطالعه‌ی تاثیر قطر چشمه‌ها حاکی از آن بود که ضخامت لایه نفوذی تا حد زیادی مستقل از قطر چشمه‌ها است. زبری سطح نمونه‌ها در مقیاس میکروسکوپی با افزایش قطر چشمه‌ها افزایش یافت. با افزایش ابعاد توری‌ها میزان ضخامت لایه سفید و ضخامت لایه نفوذی و سختی در عمق یکسان نمونه ها کاهش یافته و به دنبال آن مقاومت به سایش نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. با افزایش فاصله نمونه‌ها از درب توری ضخامت لایه ترکیبی و لایه نفوذی و سختی در عمق یکسان کاهش چشمگیری داشته و برای نمونه‌ی با فاصله ۸۰ میلیمتر مقاومت به سایش نسبت به دیگر نمونه افت فاحشی نشان داد. ضخامت لایه ترکیبی درنمونه با فاصله ۲۰ میلیمتر از این قاعده مستثنی بوده و بیشترین ضخامت لایه سفید مربوط به این

نمونه است. این امر به عنوان یکی از محدودیت‌های روش توری فعال برای نیتروژن‌دهی قالب‌های بزرگ با ارتفاع زیاد به جهت غیر یکنواختی درخواص سایشی و سختی معرفی گشت. نتایج حاصل از تغییر جنس توری‌ها موجب ایجاد لایه‌هایی با جنس متفاوت نسبت به هنگام استفاده از توری فولادی گردید. مشاهده شد که لایه نفوذی در زیر این لایه با ضخامت یکسان نسبت به استفاده از توری فولادی وجود دارد. نمونه‌ای که در زیر توری تیتانیوم نیتروژن‌دهی شده است، بیشترین سختی را داشت. نتایج مقاومت به سایش نمونه‌ها حاکی از افزایش چشمگیر مقاومت سایشی این نمونه‌ها به واسطه تشکیل ترکیباتی چونTiN ، AlN و CrN است. یافته‌های این پژوهش حاکی از ایجاد لایه‌های ترکیبی مفید به جای لایه‌های مضر معمول در نیتراسیون پلاسمایی است.

کلمات کلیدی: ۱- نیتروژن‌دهی پلاسمایی ۲- توری فعال ۳- قطرچشمه‌ها ۴- جنس توری ۵- ابعاد توری ۶- فاصله از درب توری ۷- مقاومت سایشی .

فصل اول

مقدمه

مقدمه

امروزه با پیشرفت‌های اخیرتکنولوژی بیش از پیش نیاز به قطعاتی با کارآیی بالا و عمر مفید طولانی در پروسه‌های تولید احساس می‌شود. در عرصه‌های مختلف تولید و کارکرد قطعات فولادی همواره خواص سطحی مناسب فولادها در کنار دیگر مشخصات آنها اعم از استحکام مکانیکی و تافنس بالا از اهمیت و جایگاهی ویژه برخوردار بوده است. به لحاظ شرایط کاری سخت برای فولادها، سخت کاری سطحی آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از روش‌های معمول سخت‌کاری سطح فولادها نیتروژن‌دهی است. امروزه نیتروژن‌دهی پلاسمایی به طور گسترده‌ای برای سخت‌کاری سطح فولادها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر بیشترین استفاده جهت نیتروژن دهی فولادها معطوف به بکارگیری روش متداول نیتروژن‌دهی پلاسمایی[1] (CPN) از طریق جریان مستقیم است، اما این روش شامل یک سری نقص‌های ذاتی نظیر خسارت احتمالی سطح قطعات توسط قوس، اثر لبه[2] و اثر کاتد توخالی[3] می‌باشد. بدین جهت، استفاده از روش جدید نیتروژن‌دهی پلاسمایی با استفاده از توری فعال[4] (ASPN) در حال گسترش است که توانایی بسیار مطلوب‌تری را نسبت به روشهای متداول نیتروژن‌دهی پلاسمایی از خود به نمایش گذاشته است.

مهمترین تفاوت بین روش ASPN و روش متداول این است که در این روش با استفاده از یک توری فلزی که در پیرامون قطعه قرار می‌گیرد و به قطب منفی وصل می‌شود، به جای تشکیل پلاسما بر روی قطعات که نسبت به کاتد در پتانسیل خنثی قرار دارند، پلاسما بر روی توری ایجاد می‌گردد. با گرم شدن توری نمونه‌ها از طریق انتقال حرارت و تابش به دمای مورد نظر می‌رسند . این امر نتایج مهمی را در یکنواخت ساختن حرارت و انتقال نیتروژن بر روی سطح فلز در پی داشته و منجر به بر طرف شدن نقاط ضعف روش متداول نیتروژن دهی پلاسمایی شده است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که نیتروژن‌دهی پلاسمایی به روش توری فعال نتایجی

[1] Conventional plasma nitriding
[2] Edge effect
[3] Hollow cathode
[4] Active screen plasma nitriding

مشابه با روش متداول دارد. با توجه به جدید بودن این روش پژوهش‌های اندکی برای استفاده صنعتی این روش برای نیتروژن‌دهی قطعات بزرگ با پیچیدگی های خاص انجام شده است. همچنین خواص سایشی نمونه‌های نیتروژن‌دهی شده با روش توری فعال به طور جامع مورد تحقیق و بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش قطرهای مختلف توری برای بررسی تاثیر قطر و ابعاد متفاوت برای ارزیابی نیتروژن‌دهی پلاسمایی قطعات مختلف با سایز متفاوت استفاده خواهد شد. همچنین امکان نیتروژن‌دهی قطعات بزرگ صنعتی با ابعاد بزرگ و یکنواختی سخت‌کاری سطحی این قطعات با این روش توسط تغییرات فاصله از درب توری در عملیات نیتروژن‌دهی به روش توری فعال بررسی خواهد شد.

در هر دو روش نیتروژن‌دهی لایه‌ای برروی سطح فولاد تشکیل می‌شود که به لایه سفید موسوم است. این لایه با وجود داشتن سختی بالا، خواص مکانیکی پایینی داشته و ترد و شکننده است و برای کاربرد های سایشی باید از روی سطح حذف شود. حذف لایه سفید از روی سطح با تعیین نسبت خاص گازهای ورودی یا انجام عملیاتی اضافی مانند پلاسما اچ مقدور است. از آنجا که حذف این لایه مستلزم هزینه اضافی علاوه برنیتروژن-دهی پلاسمایی است، یکی دیگر از اهداف این پروژه تغییر ساختار لایه سفید با تغییر پارامترهای توری بویژه تغییر جنس آن است تا با شرکت عناصر دلخواه در واکنش سطحی لایه‌ای با خواص سایشی مناسب‌تر بدست آید و حتی الامکان به لایه ترکیبی دست یابیم تا نیازی به زدوده شدن از سطح نداشته و مقاومت به سایش فولاد را افزایش دهد.

فصل دوم این گزارش به مروری اجمالی بر سایش فلزات در کاربردهای مهندسی، روشهای مختلف نیتروژن-دهی، معرفی روش نیتروژن‌دهی با توری فعال و بررسی خواص سایشی و ریزساختاری فولادهای نیتروژن‌دهی شده می‌پردازد. در فصل سوم به مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایشها اشاره خواهد شد. در فصل چهارم نتایج حاصل از آزمایشها ارائه شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. فصل پنجم به نتیجه‌گیری کلی و ارائه چند پیشنهاد در جهت ادامه کارهای تحقیقاتی اختصاص یافته است.

فصل دوم

مروری بر منابع مطالعاتی

یکی از مهمترین کاربردهای علم مهندسی سطح، ایجاد لایه‌ای سخت (به منظور افزایش مقاومت در برابر سایش) بر روی سطح یک ماده چقرمه (مقاوم در برابر ضربه) است. نیتروژن‌دهی یکی ازمتداول‌ترین روش‌ها در کنار سایر روش‌های سخت‌کاری سطحی مانند کربن‌دهی، سخت‌کردن شعله‌ای، سخت‌کردن القایی و... در فرآوری قطعات فولادی و بعضی فلزات دیگر مثل آلیاژهای تیتانیوم و آلومینیوم است. نیتروژن‌دهی پلاسمایی که نوعی عملیات سطحی ترموشیمیایی است از جمله فرآیندهای مورد توجه در صنعت می‌باشد. اساس نیتروژن دهی پلاسمایی ایجاد نیتروژن اتمی و نفوذ آن به سطح قطعه است. در این فصل بعد از مروری اجمالی بر فولاد استفاده شده در این تحقیق و تعاریف سایش مورد استفاده در تحلیل خواص سایشی مواد به معرفی روش نیتروژن‌دهی پلاسمایی به روش توری فعال می‌پردازیم.

۲-۱ معرفی فولاد مورد استفاده در این تحقیق

فولاد AISI H13 از دسته فولادهای ابزار گرم کار کرم‌دار است. عناصر پایه و اصلی فولادهای گرم کار کرم، تنگستن و یا مولیبدن می‌باشند. مصرف عمده این فولاد برای کاربردهایی نظیر آهنگری گرم ،اکستروژن و قالب‌های ریخته‌گری تحت فشار به ویژه برای آلومینیوم و آلیاژهای آلومینیوم است. درصد کربن متوسط و مقادیر نسبتا زیاد عناصر آلیاژی موجب می‌شود فولادهای نوع H قابل سخت شدن در هوا را داشته و مقاوم به ضربه و نرم شدن در ضمن استفاده‌های مکرر در عملیات کارگرم باشند. با توجه به درصد عناصر نیتریدزای قوی موجود در این فولاد، فولادی مناسب برای نیتروژن‌دهی می‌باشد. با توجه به کارکردهای مورد توجه، این فولاد می‌بایست از چقرمگی مناسبی برخوردار باشد تا در حین سرویس دهی به عنوان قالب یا سمبه تحت فشار دچار ترک و شکست نشود. لذا سخت‌کاری سطحی آن برای حصول چنین خواصی بهترین راه برای افزایش عمر قطعات ساخته شده از این فولاد در شرایط کاری سخت است[۱].

۲-۲ سایش در قطعات

سایش پدیده‌ای سطحی/ زیرسطحی است. تعریف‌های زیادی برای سایش ذکر شده است، اما قابل قبول‌ترین آنها عبارتست از کنده شدن مواد از یک سطح در اثر تماس و اندرکنش با سطح ماده دیگر. سایش همواره مضر

نمی‌باشد، به عنوان مثال سایش برجستگی‌های سطوح تازه ماشین‌کاری شده باعث جلوگیری از سایش شدید در شرایط سخت‌کاری می‌شود. در سطوح روان‌کاری شده، سطوح تماس توسط فیلم سیالی از هم جدا شده و باعث کاهش ضریب اصطکاک (μ) می‌شود. نیروی اصطکاک از چسبندگی، کندگی و تغییر فرم توسط زبری سطوح حاصل می‌شود. چسبندگی به دلیل واکنش‌های بین مولکولی در فصل مشترک سطوح تماسی رخ می‌دهد. فرآیندهای شیمیایی در سطح تماس مانند اکسیداسیون که باعث تولید فیلم پیوسته در روی سطح می‌شود، روی فرآیند اصطکاک موثرند. حضور لایه اکسیدی عموماً باعث کاهش تنش برشی اتصالات و چسبندگی بین سطوح می‌شود. با این حال هنگامی که لایه‌های اکسیدی به طور جزئی کنده می‌شوند، چسبندگی قابل توجهی بین سطوح جدید رخ می‌دهد. باید توجه شود که میزان مفید بودن این لایه‌های اکسیدی کاملا تحت تاثیر شرایط سایش می‌باشد. سرعت نسبی سایش، دمای سطوح تماس را کنترل می‌کند. دمای سطوح تماس روی خواص مکانیکی، سرعت اکسیداسیون و یا استحاله فازی تأثیر می‌گذارد. واژه‌های سایش مکانیکی، شیمیایی و حرارتی برای توضیح مکانیزم‌های سایش به کار می‌روند. سایش مکانیکی با تغییر فرم و شکست سطح تماس همراه است. تغییر فرم در سایش مواد چقرمه و شکست در سایش مواد ترد نقش اصلی را ایفا می‌کنند. سایش شیمیایی توسط سرعت تشکیل فیلم‌های حاصل از واکنش شیمیایی توضیح داده می‌شود. سرعت تشکیل فیلم توسط اصطکاک افزایش می‌یابد به همین علت سایش شیمیایی، سایش تریبوشیمی نیز نامیده می‌شود. سایش حرارتی با ذوب سطحی به دلیل گرمای اصطکاک همراه است. سایش نفوذی نیز شامل سایش حرارتی می‌شود زیرا در دمای بالا قابل توجه است[۲].

۲-۲-۱ انواع سایش

سایش به انواع سایش چسبنده، ساینده، رفتگی، خستگی و مرکب تقسیم می‌شود.

۲-۲-۱-۱ سایش چسبنده(Adhesive Wear)

این نوع سایش معمولا بین سطوح مشابه روی می‌دهد. در این نوع سایش دو سطح به دلیل نیروهای بین اتمی به یکدیگر جوش می‌خورند. در حین حرکت اگر پیوند اتمی در محل جوش خورده محکم‌تر از ماده زیرین باشد،