

۱۴۲۳



دانشگاه شهید بهشتی  
پژوهشکده لیزر و پلاسما

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی پلاسما

عنوان:

نیترژن دهی پلاسمایی فولاد ساده کربنی CK45 به روش پالسی و بررسی  
خواص سطحی آن

دانشجو:

امیر کیانی

۱۳۸۹ / ۷ / ۲۴

استاد راهنما:

دکتر احمد رضا راستکار

۱۳۸۹ / ۷ / ۲۴

تاریخ دفاع

مردادماه ۱۳۸۹

کتابخانه اطلاع رسانی  
مستند مرکز

بسمه تعالی

«صور تجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد»

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین

تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۵/۲۰۰/۱۷۹۳ مورخ ۸۹/۴/۳۰ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه آقای امینز کیانی به شماره شناسنامه ۸۵ صادره از شهرکرد متولد ۱۳۶۱ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته مهندسی پلاستما به شماره دانشجویی ۸۶۴۱۵۰۱۸ با عنوان:

"نیتروژن دهی پلاسمایی با جریان پالسی فولاد کربنی ساده (CK45)"

به راهنمایی: دکتر احمدرضا راستکار

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۹/۵/۱۰ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۸۷۵..... و درجه کلیک مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: دکتر احمدرضا راستکار

۲- استاد مشاور: دکتر علیرضا نیکنام

۳- استاد داور: دکتر شکری

۴- استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر حمیدرضا قمی

۱۳۸۹/۷/۲۲



تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

که رهنمودهای همیشگی آنها یاریگر پیشرفت و ارتقای تحصیلی

من بوده است

و

و به تمام دوستان و عزیزانی که به نوعی مشوق و یاریگر من

بوده‌اند.

## تشکر و قدردانی

لازم است بدین وسیله از زحمات جناب آقای دکتر "احمد رضا راستکار" که در طول این مدت افتخار شاگردیشان را داشته ام و با راهنمایی های ارزنده و به جا همواره مرا در جهت پیشبرد پروژه یاری رساندند، قدردانی نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر "علیرضا نیکنام" جناب آقای دکتر "بابک شکری" رئیس پژوهشکده لیزر و پلاسما سپاس گذاری می نمایم.

## چکیده

در این تحقیق، رفتار فولاد کربنی ساده Ck45 در مقابل فرایند نیتروژن‌دهی پلاسمایی در شرایط مختلفی نظیر دمای فرایند (۵۰۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد)، در مخلوط گازی  $N_2:H_2 = 3/1$  و  $1/3$ ، زمان ۱ و ۴ ساعت و فشار ۱۰ میلی بار مورد بررسی و مشاهده فرار گرفت. خواص مکانیکی و عملکرد سایشی این فولاد پس از فرایند نیتروژن‌دهی پلاسمایی، با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ نوری و الکترونی (SEM) و آزمون ریز سختی سنجی و تست سایش مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، لایه ترکیبی ایجاد شده در شرایط مختلف شامل فازهای  $\epsilon-Fe_{2-3}N$  و  $\gamma'-Fe_4N$  می باشد و نسبت تشکیل این دو فاز با توجه به پارامترهای فرایند نیتروژن‌دهی در نمونه های مختلف متفاوت می باشد. نمونه نیتروژن‌دهی شده در شرایط  $550^\circ C$  و ترکیب گاز  $N_2:H_2 = 3:1$ ، بیشترین سختی، بیشترین ضخامت لایه نیتریدی و بیشترین مقاومت به سایش را نسبت به سایر نمونه‌های نیتروژن دهی شده از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: نیتروژن دهی پلاسمایی، Ck45، سایش.

۱.....	فصل اول : مقدمه
۱.....	مقدمه
۳.....	فصل دوم : پژوهش مروری.....
۳.....	۱-۲- نیتروژن دهی.....
۳.....	۱-۱-۲- مقدمه و تاریخچه.....
۳.....	۲-۱-۲- نمودار تعادلی آهن - نیتروژن.....
۴.....	۳-۱-۲- ساختار حاصل از نیتروژن دهی.....
۵.....	۱-۳-۱-۲- لایه ترکیبی.....
۶.....	۲-۳-۱-۲- لایه نفوذی.....
۷.....	۴-۱-۲- روشهای مختلف نیتروژن دهی.....
۷.....	۱-۴-۱-۲- روش جامد(پودری).....
۷.....	۲-۴-۱-۲- روش حمام نمک مذاب.....
۹.....	۳-۴-۱-۲- روش گازی.....
۱۲.....	۱-۳-۴-۱-۲- تجهیزات نیتروژن دهی به روش گازی.....
۱۳.....	۴-۴-۱-۲- نیتروژن دهی پلاسمایی.....
۱۴.....	۱-۴-۴-۱-۲- پلاسما.....
۱۵.....	۲-۴-۴-۱-۲- ایجاد تخلیه تابان.....
۱۷.....	۳-۴-۴-۱-۲- تغییرات ولتاژ از آند به کاتد.....
۱۸.....	۴-۴-۴-۱-۲- تأثیر فشار بر تخلیه تابان.....
۱۹.....	۵-۴-۴-۱-۲- پلاسما و پدیده های سطحی.....
۲۳.....	۶-۴-۴-۱-۲- دستگاه نیتروژن دهی پلاسمای.....
۲۳.....	۷-۴-۴-۱-۲- گازهای مورد استفاده در نیتروژن دهی پلاسمایی.....

۲۳	۱-۲-۴-۴-۸- واکنش پلازما با سطح قطعه
۲۸	۱-۲-۴-۹- تفاوت های نیتروژن دهی پلاسمایی و گازی
۲۸	۱-۲-۴-۱۰- محدودیت های نیتروژن دهی پلاسمایی
۳۰	۱-۲-۴-۱۱- روش های جدید کنترل پلازما
۳۲	۱-۲-۴-۱۲- مزایای استفاده از نیتروژن دهی پلاسمایی
۳۴	۱-۲-۴-۱۳- نیتروژن دهی پلاسمایی از دیدگاه اقتصادی
۳۵	۲-۲- تأثیر پارامترهای فرایند نیتروژن دهی پلاسمایی بر خواص لایه های نیتریدی
۳۵	۲-۲- ۱- تأثیر زمان عملیات بر خواص سطحی نمونه های نیتروژن دهی شده
۴۰	۲-۲- ۲- تأثیر دمای عملیات بر خواص سطحی نمونه های نیتروژن دهی شده
۴۶	۲-۲- ۳- تأثیر ترکیب مخلوط گازی روی فرایند نیتروژن دهی پلاسمایی
۵۳	۲-۲- ۴- بررسی طیف نشری پلازما در فرایند نیتروژن دهی
۵۸	۲-۲- ۵- مقایسه نتایج نیتروژن دهی به روش $DC$ و $AC$
۶۴	فصل سوم: طراحی و روند انجام آزمایش
۶۲	۱-۳- مواد و تجهیزات مورد استفاده
۶۵	۱-۳-۱- انتخاب ماده زمینه
۶۵	۱-۳-۲- دستگاه نیتروژن دهی پلاسمایی
۶۶	۱-۳-۲- آماده سازی نمونه ها
۶۶	۱-۳-۳- طراحی آزمایش
۶۷	۱-۳-۴- عملیات نیتروژن دهی پلاسمایی
۶۸	۱-۳-۵- روش های ارزیابی پوشش ها
۶۸	۱-۳-۵-۱- تفرق اشعه ایکس
۶۵	۱-۳-۵-۲- متالوگرافی



۶۹.....	۳-۵-۲-۱-آبکاری نیکل
۶۹.....	۳-۵-۲-۲-مانت کردن واچ کردن نمونه ها
۶۹.....	۳-۵-۲-۳-عکسبرداری از سطح مقطع نمونه ها بوسیله میکروسکوپ نوری
۷۰.....	۳-۵-۳-بررسی مورفولوژی سطح
۷۰.....	۳-۵-۴-میکروسختی سنجی
۷۱.....	۳-۵-۵-میکروسکوپ الکترونی
۷۲.....	۳-۶-۷-تست سایش
۷۴.....	۳-۶-۱-بررسی سطوح، نواحی زیر سطحی و براده های سایشی
۷۵.....	فصل چهارم : مشاهدات و بحث
۷۶.....	۴-۱-۱-نتایج ریزسختی سنجی نمونه های نیتروژن دهی شده
۷۶.....	۴-۱-۱-۱-بررسی تأثیر افزایش دما بر سختی نمونه ها
۷۷.....	۴-۱-۲-بررسی تأثیر افزایش زمان بر روی سختی نمونه ها
۷۸.....	۴-۱-۳-تأثیر نسبت گازی $N_2: H_2$ بر روی سختی نمونه ها
۸۱.....	۴-۲-۱-نتایج تفرق اشعه ایکس (XRD) نمونه های نیتروژن دهی شده
۸۱.....	۴-۲-۱-۱-تأثیر پارامترهای فرایند نیتروژن دهی پلاسمایی بر روی فاز های تشکیل شده در سطح نمونه های نیتروژن دهی شده. با توجه به نتایج تفرق اشعه ایکس (XRD).
۸۸.....	۴-۳-۱-نتایج میکروسکوپی نمونه های نیتروژن دهی شده
۹۰.....	۴-۳-۱-۱-بررسی تأثیر افزایش زمان در تشکیل لایه های نیتریدی
۹۰.....	۴-۳-۲-بررسی تأثیر نسبت گازی $N_2: H_2$ در تشکیل لایه های نیتریدی
۹۱.....	۴-۳-۳-بررسی تأثیر دما در تشکیل لایه های نیتریدی
۹۱.....	۴-۴-نتایج به دست آمده از تست سایش

فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	۹۵
۱-۵- نتیجه گیری	۹۵
۲-۵- پیشنهادات	۹۶
مراجع	۹۷

- شکل ۱-۲- دیاگرام دوتایی آهن- نیتروژن..... ۴
- شکل ۲-۲- لایه های ایجاد شده روی سطح قطعه پس از فرایند نیتروژن دهی..... ۵
- شکل ۳-۲- شماتیک جوانه زنی گاما پریم و اپسیلن روی سطح..... ۹
- شکل ۴-۲- تصویر شماتیک کوره نیتروژن دهی به روش حمام نمک..... ۸
- شکل ۵-۲- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح مقطع فولاد کم کربن *UNS G511501* نیتروژن دهی شده به روش حمام نمک..... ۹
- شکل ۶-۲- تصویر شماتیک کوره صنعتی نیتروژن دهی گازی..... ۱۱
- شکل ۷-۲- نمایش رابطه ولتاژ-جریان در گاز آرگون..... ۱۳
- شکل ۸-۲- چگونگی اعمال ولتاژ در یک ناحیه تخلیه هاله ای..... ۱۶
- شکل ۹-۲- تأثیر فشار بر تخلیه تابان. محفظه حاوی گاز  $a$  (دما و فشار اتمسفر  $b$ ) فشار بسیار کم  $0.13$  پاسکال  $c$ ) فشار بالاتر  $13-1/3$  پاسکال..... ۱۷
- شکل ۱۰-۲- تغییرات درجه حرارت زیر لایه در خلال پراکنش و پوشش دادن..... ۲۰
- شکل ۱۱-۲- شکل شماتیک دستگاه نیتروژن دهی پلاسمایی..... ۲۲
- شکل ۱۲-۲- شکل شماتیک مکانیزم نیتراسوین..... ۲۶
- شکل ۱۳-۲- شکل شماتیک انتقال جرم در نیتروژن دهی پلاسمایی و نیتروژن دهی گازی..... ۲۷
- شکل ۱۴-۲- تشدید پلازما بین دو قطعه نزدیک به هم..... ۲۹
- شکل ۱۵-۲- اثر گوشه در یک قطعه نیترووره شده با سطح مقطع گوشه دار..... ۳۰
- شکل ۱۶-۲- تغییرات ولتاژ بر حسب زمان در منبع تغذیه با جریان مستقیم پیوسته..... ۳۰
- شکل ۱۷-۲- تغییرات ولتاژ بر حسب زمان در منبع تغذیه با جریان مستقیم پالسی..... ۳۲
- شکل ۱۸-۲- تغییرات ریزسختی نمونه های نیتروژن دهی شده بر حسب فاصله از سطح نمونه  $(a)$  و زمان عملیات در زمان های ۲ ساعت،  $(\blacksquare)$ ، ۱۵ ساعت  $(\circ)$ ، و ۲۸ ساعت  $(x)$ ..... ۳۷

- شکل ۲-۱۹- تصاویر از مقطع نمونه های نیترووره شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد و زمان ۱ ساعت (a) ۴ ساعت (b)، ۱۵ ساعت (c) و ۲۸ ساعت (d)..... ۳۶
- شکل ۲-۲۰- تغییر ضخامت لایه ترکیبی با زمان نیتروژن دهی (a)، و تغییرات عمق پوسته با مجذور زمان نیتروژن دهی (b)..... ۳۷
- شکل ۲-۲۱- (a) تغییرات سختی سطح و (b) نیمرخ سختی نمونه ها بر حسب عمق در دماهای مختلف نیتروژن دهی..... ۴۰
- شکل ۲-۲۲- (a) تفرق اشعه ایکس به روش براگ و (b) روش *GID* از نمونه های مورد مطالعه..... ۴۱
- شکل ۲-۲۳- تصویر *SEM* مقطع نمونه عملیات شده در دمای ۵۱۰ درجه سانتیگراد به همراه نیمرخ سختی رسم شده بر روی آن..... ۴۳
- شکل ۲-۲۴- (a) تصویر *SEM* شکل ۲۳ بصورت *BSE* و تصویر واضحی از لایه سفید و ناحیه ۴۴ ناحیه رسوبات نیتريدی، (b) انرژی بالای اشعه الکترونی رسوبات غنی از کروم و وانادیوم را بصورت نقاط سیاه نشان میدهد. سمت راست این شکل پروفیلی از دانسیته رسوبات را نشان می دهد ۴۴
- شکل ۲-۲۵- مشخصه عمق نفوذ نیتروژن (N) بصورت تابعی از دمای فرایند..... ۴۵
- شکل ۲-۲۶- دیاگرام های *XRD* از سطح نیترووره شده فولاد *AISI 5140* درجه سانتیگراد و زمان ساعت در مخلوط های گازی الف)  $H_2 + 1.0\% N_2 + 0.9\% Ar$  (b)  $Ar + 1.0\% N_2 + 0.9\% H_2$  (c) و (d)  $Ar + 1.0\% N_2 + 0.9\% H_2$  (ج) و (ح)  $Ar + 1.0\% N_2 + 0.8\% H_2 + 1.0\% Ar$  (b) و  $Ar + 1.0\% N_2 + 1.0\% H_2$  (c) و  $Ar + 1.0\% N_2 + 0.8\% H_2 + 1.0\% Ar$  (d)..... ۴۶
- شکل ۲-۲۷- نتایج آنالیز *XRD* برای نمونه های نیترووره شده در عملیات در ترکیب گازی  $Ar + 1.0\% N_2$ ..... ۴۸
- شکل ۲-۲۸- نتایج آنالیز *XRD* برای نمونه های نیترووره شده در عملیات در ترکیب گازی  $N_2 + 95\% + 5\% H_2$ ..... ۴۹
- شکل ۲-۲۹- نتایج آنالیز *XRD* برای نمونه های نیترووره شده در عملیات در ترکیب گازی  $N_2 + 74\% + H_2$ ..... ۵۰

- شکل ۲-۳۰- تصاویر میکروسکوپ نوری از مقطع نمونه های نیتروre شده در مخلوط های گازی (a) ۲  
 ۵۱..... $24\% H_2 + 76\% N_2$  (b) و  $5\% N_2 + 95\% H_2$
- شکل ۲-۳۱- طیف نشری نوری (OES) برای پلاسمای هیدروژن + نیتروژن  $N_2/H_2$  ۱/۱ فشار  $5\text{ torr}$   
 دمای  $550$  درجه سانتیگراد.....  
 ۵۲.....
- شکل ۲-۳۲- تغییرات شدت طیف  $N_2$  و  $N_2^+$  به صورت DC و در شرایط  $5\text{ torr}$ ، دمای  $550$  درجه  
 سانتیگراد و  $1/4$   $N_2/H_2$ .....  
 ۵۳.....
- شکل ۲-۳۳- تغییرات ریزساختاری ناحیه نفوذی و لایه ترکیبی با فشار گاز در یک فولاد تندبر (a)  
 ۵۴  $1\text{ torr}$  (b)،  $2\text{ torr}$  (c)  $6\text{ torr}$  (m) ماتریس، d ناحیه نفوذی، c لایه ترکیبی
- شکل ۲-۳۴- اثر دمای عملیات بر روی نسبت  $N_2^+ / N_2$ .....  
 ۵۵.....
- شکل ۲-۳۵- میکروگراف های مقطعی از لایه ترکیبی و ناحیه نفوذی نیتروژن دهی شده در مخلوط گازی  
 $20\% H_2 + 80\% N_2$  برای ۵ ساعت در فشار  $5\text{ torr}$ ، (a)  $500^\circ C$  و (b)  $570^\circ C$ .....  
 ۵۵.....
- شکل ۲-۳۶- تصاویر میکروسکپی SEM از نمونه های نیتروre شده در فرایند DC در ۳ ساعت عملیات  
 و دماهای  $400$ ،  $450$ ،  $500$ ،  $550$  درجه سانتیگراد.....  
 ۵۷.....
- شکل ۲-۳۷- تغییرات ریزسختی نمونه ها بصورت تابعی از عمق سطح نیتروre شده به روش DC برای،  
 دماهای مختلف، زمان  $3\frac{1}{2}$  (b) زمان های مختلف و دمای  $500$  درجه سانتیگراد.....  
 ۵۷.....
- شکل ۲-۳۸- (a) اجزای فازی ایجاد شده در نیتروژن دهی پلاسمایی به روش DC بر حسب زمان  
 عملیات و (b) بر حسب عمق سطح نیتروre شده در دمای  $500$  سانتیگراد.....  
 ۶۰.....
- شکل ۲-۳۹- (a) تغییرات ریزسختی بر حسب تابعی از عمق و (b) تغییرات جزء فازی بر حسب تابعی  
 فرکانس در نیتروژن دهی پلاسمایی به روش پالسی در دمای  $500$  درجه سانتیگراد و زمان  $3\frac{1}{2}$ .....  
 ۶۲.....
- شکل ۲-۴۰- تغییرات جزء فازی بر حسب تابعی از عمق سطح نیتروre شده به روش پالسی در دمای  $500$   
 درجه سانتیگراد و زمان  $3\frac{1}{2}$  (a)  $f=2\text{ KHz}$  و (b)  $f=10\text{ KHz}$ .....  
 ۶۲.....
- شکل ۳-۱- شماتیک دستگاه نیتروژن دهی پلاسمایی.....  
 ۶۶.....
- شکل ۳-۲- دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD).....  
 ۶۸.....
- شکل ۳-۳- نمای از میکروسکوپ نوری.....  
 ۷۰.....

- شکل ۳-۴- دستگاه میکروسختی..... ۷۱
- شکل ۳-۵- تصویری از میکروسکوپ الکترونی..... ۷۲
- شکل ۳-۶- نمایی از دستگاه سایش پین روی دیسک..... ۷۳
- شکل ۴-۱- نمودار ریز سختی بر حسب فاصله از سطح نمونه  $PM_2$ ..... ۷۹
- شکل ۴-۲- نمودار ریز سختی بر حسب فاصله از سطح نمونه  $PM_3$ ..... ۷۹
- شکل ۴-۳- نمودار ریز سختی بر حسب فاصله از سطح نمونه  $PM_4$ ..... ۸۰
- شکل ۴-۴- نمودار ریز سختی بر حسب فاصله از سطح نمونه  $PM_5$ ..... ۸۰
- شکل ۴-۵- نمودار ریز سختی بر حسب فاصله از سطح نمونه  $PM_6$ ..... ۸۱
- شکل ۴-۶- نتایج  $XRD$  مربوط فولاد  $CK45$  نیتروژن دهی نشده..... ۸۲
- شکل ۴-۷- نتایج آنالیز  $XRD$  مربوط به نمونه های نیتروژن دهی شده شده..... ۸۳
- شکل ۴-۸- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_1$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت زمان ۴ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=3/1$ ..... ۸۴
- شکل ۴-۹- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_2$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت زمان ۴ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=3/1$ ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۰- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_3$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت ۱ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=1/3$ ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۱- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_4$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت ۱ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=3/1$ ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۲- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_5$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت ۴ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=1/3$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۳- نمودار آنالیز  $XRD$  نمونه  $PM_6$  که در دمای  $500^\circ C$  به مدت ۱ ساعت با نسبت گازی  $N_2/H_2=1/3$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۴- تصویر میکروسکپی نمونه نیتروژن دهی شده  $PM_1$  در مقیاس ۰.۵۰۰..... ۸۸

- شکل ۴-۱۵- (a) و (b) تصاویر میکروسکوپی نمونه نیتروژن دهی شده  $PM\delta$  در دو مقیاس ۲۰۰ و ۵۰۰.  
 .....  
 ۸۹
- شکل ۴-۱۶- (c) و (d) تصاویر میکروسکوپی نمونه نیتروژن دهی شده  $PM\delta$  در دو مقیاس ۲۰۰ و ۵۰۰.  
 .....  
 ۸۷
- شکل ۴-۱۶- (z) و (h) تصاویر میکروسکوپی نمونه نیتروژن دهی شده  $PM\delta$  در دو مقیاس ۲۰۰ و ۵۰۰.  
 .....  
 ۸۸
- شکل ۴-۱۷- (e) و (f) تصاویر میکروسکوپی نمونه نیتروژن دهی شده  $PM\delta$  در دو مقیاس ۲۰۰ و ۵۰۰.  
 .....  
 ۸۹
- شکل ۴-۱۸ - نمودار نرخ سایش در نیروهای ۲۰ و ۵ نیوتن .....  
 ۹۵
- شکل ۴-۱۹- تصاویر  $SEM$  گرفته شده از شیارهای سایشی مربوط به نمونه خام (a) پس از طی ۱۵۰ متر مسافت لغزشی  
 (b) پس از طی ۵۰۰ متر (c) تصویر  $BSE$  از شیارهای سایشی در طی ۵۰۰ متر مسافت لغزشی .....  
 ۹۳
- شکل ۴-۲۰- تصاویر  $SEM$  گرفته شده از شیارهای سایشی مربوط به نمونه (a)  $PM\delta$  بانیری ۵ نیوتنی (b) بانیری ۲۰ نیوتنی (c) براده های سایشی جمع آوری شده بانیری ۲۰ نیوتنی (d) تصویر  $BSE$  از شیارهای سایشی مربوط به نمونه  $PM\delta$  بانیری ۲۰ نیوتنی .  
 .....  
 ۹۴

- جدول ۱-۲- اشدهای تفرق برای خطوط متناظر با فازهای  $\varepsilon$  و  $\gamma$  برای زمانهای مختلف عملیات..... ۴۰
- جدول ۲-۲- تغییرات ضخامت لایه ترکیبی، عمق پوسته و سختی سطح با ترکیب مخلوط گازی ..... ۴۹
- جدول ۲-۳- انتخاب ذرات فعال مورد تحقیق در یک مخلوط  $H_2 + N_2$  مورد استفاده در نیتروژن دهی..... ۵۹
- جدول ۲-۴- تغییرات نسبت  $\varepsilon/\gamma$  برای زمانهای مختلف نیتروژن دهی..... ۶۳
- جدول ۲-۵- تغییرات نسبت  $\varepsilon/\gamma$  برای زمانهای مختلف نیتروژن دهی به روشهای  $DC$  و  $AC$  ..... ۶۳
- جدول ۳-۱- آنالیز کوانتومتری فولاد  $CK45$  ..... ۶۵
- جدول ۲-۳- شرایط انجام نیتروژن دهی پلاسمایی..... ۶۶



## فصل اول : مقدمه

مهندسی سطح فرآیندی است بر روی سطح و نواحی نزدیک به سطح، که در سطح خواص ممتازی ایجاد می کند. بدیهی است که این خواص از خواص مغز ماده کاملاً متفاوت است. هدف از این فرآیند افزایش قابلیت سرویس پذیری قطعات و بهبود خواص سطحی از جمله افزایش مقاومت به خوردگی، مقاومت به سایش، مقاومت به اکسید شدن و غیره می باشد. به خصوص در مورد قطعات و ابزار آلات صنعتی باعث افزایش عمر موثر، کارایی و بهره وری هر چه بیشتر آنها می شود. استفاده از فولادهای بدون پوششهای سخت و مقاوم در مقابل سائیدگی و خوردگی جهت ساخت ابزارآلات صنعتی، منطقی و اقتصادی نیست و لازم است در این زمینه چاره اندیشی به عمل آید. بدین منظور از فرایندهای اصلاح ساختار سطوح فلزات، از جمله نیتروژن دهی استفاده می شود. که این فرآیند موجب افزایش عمر و کارایی بهتر ابزارآلات و قطعات صنعتی می گردد. به طور کلی نیتروژن دهی از این قبیل فرآیندی است که برای افزایش سختی و افزایش مقاومت به سایش فولاد بر روی آن صورت می گیرد. طی این فرآیند نیتروژن به داخل سطح نفوذ کرده و با تشکیل نیتريد آهن و نیتريد عناصر آلیاژی که سختی بالایی دارند، سختی سطح را افزایش می دهد. در طول فرایند نیتروژن دهی در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  الی  $550^{\circ}\text{C}$  نیتروژن در سطح فولاد نفوذ می کند. همچنین تحقیقات نشان داده است که حضور درصد کمی نیتروژن به صورت بین نشین در شبکه بلوری آهن، می تواند مقاومت به حفره دار شدن را افزایش دهد. میزان افزایش سختی سطح به دما، زمان، ترکیب گاز و روش انجام نیتروژن دهی بستگی دارد. نیتروژن دهی به دو شاخه اصلی تقسیم می شود روشهای سنتی از قبیل روشهای پودری و حمام نمک، گازی دسته دوم روشهای وابسته به پلاسما. در این فرآیند دولایه ترکیبی و نفوذی بر روی سطح تشکیل می شود که لایه ترکیبی یا لایه سفید متشکل از دو فاز  $\epsilon\text{-Fe}_2\text{N}$  و  $\gamma\text{'-Fe}_4\text{N}$  و لایه نفوذی که در زیر آن است که نیتروژن به صورت محلول جامد در شبکه فولاد است. لایه نفوذی در نتیجه واکنش های ایجاد شده بوسیله نفوذ نیتروژن از قبیل رسوب نیتريدها و اشباع آهن، در زیر لایه ترکیبی تشکیل می شود. این فرآیند به طرز وسیعی برای تولید و ساخت چرخدنده و ابزار تراش و ابزار سرد و گرمکار و قالب های آهنگری مورد استفاده قرار می گیرد. در بین روشهای ذکر شده نیتروژن دهی پلاسمایی از مزیت های بیشتری برخوردار است. بدلیل اینکه پارامترهای نیتروژن دهی پلاسمایی کاملاً قابل کنترل هستند در نتیجه این امر باعث تشکیل لایه هایی اصلاح شده ضخیمتری در مقایسه با سایر روشها می شود. فرایند نیتروژن دهی پلاسمایی در شرایط ایجاد

تخلیه هاله ای در اطراف قطعات انجام می شود که این کار موجب نفوذ نیتروژن در سطح قطعات شده و با کنترل زمان و دمای فرایند می توان ریز ساختارهای متالورژیکی مناسب را جهت خواص مورد نیاز ایجاد نمود. در این فرایند قطعات به طور مداوم در معرض بمباران یونها و ذرات خشی نیتروژن قرار می گیرند در نتیجه نیتروژن در سطح قطعات نفوذ می کند /۱۰-۱/.

در این تحقیق به دلیل کاربرد بسیار گسترده فولاد *CK 45* در صنعت خودرو، این فولاد تحت فرآیند نیتروژن دهی پلاسمایی قرار گرفته است. به منظور بررسی تأثیر نیتروژن دهی پلاسمایی بر فولاد کربن متوسط *CK 45* و افزایش سختی سطح و افزایش مقاومت به سایش، نمونه ها در دماها و زمانهای مختلف، در سیکلهای مختلفی تحت فرآیند نیتروژن دهی پلاسمایی قرار گرفته و خواص لایه های نیتريدی و پارامترهای مهم تأثیر گذار بر روی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

## فصل دوم: پژوهش مروری

## ۱-۲- نیتروژن دهی

## ۱-۱-۲- مقدمه و تاریخچه

نیتروژن دهی فرآیندی ترموشیمیایی می باشد که در طی این فرآیند نیتروژن های تولید شده به داخل سطح فولاد نفوذ کرده و باعث تغییراتی در خواص سطحی فولاد می شود. فرآیند نیتروژن دهی در ابتدا در اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی توسعه پیدا کرد و پس از مدتی نقش مهمی را در ساخت هواپیما، قطعات اتومبیل، ماشین آلات نساجی و توربین ها به خود اختصاص داد و تا کنون به عنوان یکی از ساده ترین روشهای سخت کاری سطحی باقی مانده است. یکی از بهترین مزایای نیتروژن دهی این است که در این فرآیند هیچ گونه تغییر فازی از فریت به آستنیت، آستنیت به مارتنزیت رخ نمی دهد. به عبارت دیگر پس از اتمام فرآیند نیتروژن دهی فولاد بسته به ترکیب آلیاژی، در همان فاز اولیه خود باقی می ماند و در نتیجه هیچگونه تغییری در اندازه مولکولی و مهمتر از آن هیچ گونه تغییر ابعادی در ساختار فولاد رخ نمی دهد و فقط اندکی تغییرات حجمی بر روی سطح فولاد در اثر نفوذ نیتروژن اتفاق می افتد. [۱۷]

## ۲-۱-۲- نمودار تعادلی آهن - نیتروژن

در شکل ۱-۲ نمودار تعادلی آهن نیتروژن نشان داده شده است. با توجه به دما و غلظت نیتروژن که به داخل فولاد نفوذ می کند، فازهای مختلفی ممکن است تشکیل شوند، این فازها که عمدتاً در ضمن نیتروژن دهی فولاد ساده کربنی بوجود می آیند، به ترتیب افزایش درصد نیتروژن عبارتند از:

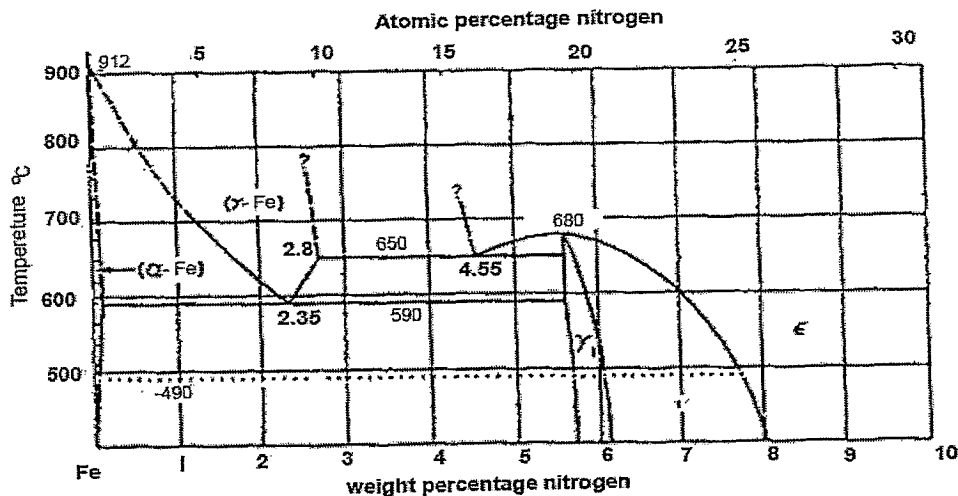
نیتريد آلفا ( $\alpha$ ): این فاز محول جامد بین نشین نیتروژن در آهن با شبکه کریستالی  $BCC$  است. حداکثر حلايت نیتروژن در فاز  $\alpha$  برابر با ۰/۱ درصد و در دمای ۵۹۰ درجه سانتی گراد است.

نیتريد گاما پرایم ( $\gamma'$ ): این فاز یک ترکیب بین نشینی نیتروژن در آهن با فرمول  $Fe_4N$  است، در حدود ۶ درصد وزنی نیتروژن دارد. این فاز دارای شبکه کریستالی  $FCC$  بوده و تا حداکثر ۶۵۰ درجه سانتی گراد پایدار است.

نیتريد اپسيلن ( $\epsilon$ ): اگر مقدار نيتروژن بيش از ۶۱ درصد باشد، اين فاز که فرمول شيميايي آن  $Fe_{23}N_7$  و شبکه کريستالي آن هگزاگونال است به وجود مي آيد. در محدوده ۱۱-۸/۱۵ درصد نيتروژن صرفاً فاز  $\epsilon$  را خواهيم داشت نيتريد اپسيلن از استحکام کمی برخوردار بوده و بسيار ترد و شکننده است اين فاز از نظر ترميولوژيکي فاز مناسبی است.

نيتريد زتا  $\zeta$ : در حدود ۱۱ درصد نيتروژن و در دماهاي کمتر از ۵۰۰ درجه ساني گراد نيتريد زتا با فرمول شيميايي  $Fe_2N$  تشکيل مي شود اين فاز که داراي شبکه کريستالي اورتورومبيک است نيز بسيار ترد و شکننده است.

نيتريد گاما  $\gamma$ : در دماهاي بالاتر از ۵۹۰ درجه ساني گراد (بالاتر از دمای تحول يوتکنوييد در آلياژهاي  $Fe-N$ ) فاز گاما که يک محلول جامد بين نشين نيتروژن در آهن با شبکه کريستالي  $FCC$  است، تشکيل مي شود/۱۲/.



شکل ۱-۲- دیاگرام دوتایی آهن- نیتروژن/۱/.

### ۲-۱-۳- ساختار حاصل از نیتروژن دهی

نیتروژن دهی، دو لایه ترکیبی و نفوذی را روی سطح قطعه ایجاد می کند در شکل ۲-۲ ترتیب قرار گرفتن این لایه ها آورده شده است. اولین لایه روی هسته فلزی، ناحیه انتقالی می باشد و سپس به ترتیب، لایه نفوذی و لایه ترکیبی، روی سطح قرار گرفته اند/۱۳، ۱۴، ۱۵/.