مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تحویل مدارک

۱۳۸۰ /۲/ ۳۰

بسم ا... الرحمن الرحیم

بررسی علل پیچیدگی ورقهای فولادی کم‌کربن بکار رفته در درب یخچالهای کارخانه‌های آزمایش

بوسیله

محسن ریحانیان

پایان‌نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مواد - شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی

از

دانشگاه شیراز
شیراز، ایران

012113

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان‌نامه:

دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی،
استادیار مهندسی مواد (رئیس کمیته) .....

دکتر عباسعلی نظربلند،
استادیار مهندسی مواد (رئیس کمیته) .....

دکتر سیروس جوادپور، استادیار مهندسی مواد .....

دکتر محمد محسن مشکسار، استاد مهندسی مواد .....

۳۵۶۴۶

آذرماه ۱۳۷۹

به همسرم

گیسو

۲۸۹۴۹

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند متعال این پایان‌نامه را به انجـام رسـانیده‌ام، بـر خـود لازم می‌دانم که از اساتید گرامی، آقای دکتر سید احمد جنابعلی جهرمـی و آقـای دکـتر عباسعلی نظربلند که در حین انجـام ایـن پایان‌نامـه از راهنمایی‌هـا و کمک‌هـای ایشـان استفاده نمودم، تشکر نمایم. همچنین از راهنمایی‌های آقای دکـتر سـیروس جوادپـور و آقای دکتر محمد محسن مشکسار، اعضاء محترم کمیته نیز تشکر می‌نمایم.

از همکاری صمیمانه مسوولین محترم آزمایشگاه بخش مهندسی مـواد، خصوصـا آقای منتصری و خانم قهرمانی که در انجام بخـش عملـی ایـن پایان‌نامـه بـه مـن کمـک نمودند و نیز از آقـای مهنـدس عبـاس‌زاده کـه مقدمـات ارتبـاط اینجـانب را بـا کارخانـه آزمایش فراهم کردند، قدردانی می‌نمایم.

چکیده

بررسی علل پیچیدگی ورقهای فولادی کم‌کربن بکار رفته در درب یخچالهای کارخانه‌های آزمایش

بوسیلهٔ

محسن ریحانیان

ورق‌های فولادی کم کربن، نقش مهمی در صنایع مختلف شکل دادن ایفا می‌کنند. یکی از کاربردهای عمدهٔ این ورق‌ها به کار رفتن آنها در درب و بدنه اصلی یخچالها می‌باشد. کارخانه آزمایش یکی از صنایع تولید کننده یخچال در ایران است. مشکلی که این کارخانه در اغلب مواقع با آن مواجه است، جفت نشدن درب یخچالها به بدنه اصلی آنها می‌باشد. در این تحقیق علل پیچیدگی این دربها مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور ابتدا ورق‌هایی از کارخانه انتخاب گردید (دو ورق ایرانی و یک ورق آلمانی) و سپس آزمایشهایی بر روی آنها انجام گرفت. از جمله این آزمایشها، تعیین خاصیت ناهمسانگردی قائم و صفحه‌ای، تعیین خواص مکانیکی شامل تنش تسلیم، استحکام کششی و نمای کار سختی در جهت‌های طولی ، عرضی و ۴۵ درجه نسبت به جهت نورد، رسم منحنی حد شکل‌پذیری، آزمایش تفرق اشعه X و بررسی ریزساختار ورق‌ها می‌باشد. علاوه براین مراحل تولید دربها در کارخانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه حاصل از بررسی مراحل تولید دربها نشان داد که تلورانس قالبهای دستگاه خم‌کاری در اثر کار مداوم از بین رفته بود؛ در نتیجه ورق‌ها پس از فرایند خم‌کاری دچار نوعی پیچیدگی می‌شدند. همچنین آزمایشهای انجام شده بر روی ورق‌ها نشان دادند که عواملی از جمله ناهمسانگردی قائم، ناهمسانگردی صفحه‌ای و نیز هم‌راستایی و غیریکنواختی دانه‌ها، که موجب توزیع غیریکنواخت تر کرنش در سطح ورقها می‌شدند، می‌توانستند پیچیدگی مذکور را تشدید نمایند. بعلاوه وجود موجهای اولیه در سطح ورقها

که باعث ایجاد تنش‌ها وکرنش‌های پس‌ماند در ورق‌ها می‌گردید، نیز این پیچیدگی را شدیدتر می‌کرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست اشکال ..... یازده

فهرست جداول ..... شانزده

فصل اول - مقدمه ۱

فصل دوم - تاریخچه و تئوری ۳

۲-۱- انواع فرآیندهای شکل دادن ۳

۲-۱-۱- خم‌کاری ۴

۲-۱-۲- کشیدگی ۴

۲-۱-۳- کشش ۵

۲-۱-۴- سکه‌زنی ۵

۲-۱-۵- فرآیندهای شکل دادن ترکیبی ۵

۲-۲- تاثیر عوامل مختلف بر فرآیند شکل دهی یک ورق ۶

۲-۳- قابلیت شکل‌پذیری وتاثیر خواص ماده بر آن ۸

۲-۳-۱- تاثیر خواص ماده بر توزیع کرنش ایجاد شده در ورق ۹

۲-۳-۱-۱- نمای کارسختی ۹

۲-۳-۲-۲- نمای حساسیت به سرعت کرنش ۱۰

۲-۳-۳-۳- نسبت کرنش پلاستیک ۱۱

۲-۳-۲- تاثیر خواص ماده بر حداکثر سطح کرنش قبل از شکست یا
گلوئی شدن/ منحنی حد شکل پذیری ۱۴

۲-۳-۲-۱- تاثیر نمای کارسختی، نمای حساسیت به سرعت
کرنش و ضخامت، بر منحنی حد شکل‌پذیری ۱۸

۲-۳-۲-۲- تاثیر نسبت کرنش پلاستیک بر FLD ۱۹

۲-۳-۳- تاثیر خواص ماده بر چروکیدگی ۲۱

عنوان **صفحه**

۲-۳-۴- خواص ماده و شکست برشی ۲۲

۲-۳-۵- خواص ماده و برگشت پذیری ۲۳

۲-۳-۶- خواص ماده وکیفیت سطحی ۲۳

۲-۴- وابستگی r به کرنش پلاستیک ۲۴

۲-۵- عوامل ایجاد ناهمسانگردی ماده ۲۷

۲-۶- بافت ۲۷

۲-۷- روشهای بیان بافت ۳۰

۲-۷-۱- بافت رشته‌ای ۳۰

۲-۷-۲- بافت ورق ۳۰

۲-۸- وابستگی r_m به بافت ۳۱

۲-۹- تاثیر بافت بر خواص ماده ۳۴

۲-۹-۱- خواص فیزیکی ۳۴

۲-۹-۲- خواص مکانیکی ۳۴

۲-۹-۲-۱- تنش تسلیم ۳۴

۲-۹-۲-۲- مدول یانگ ۳۶

۲-۱۰- بافتهای معمول ایجاد شده در فولادها ۳۹

۲-۱۰-۱- بافت ایجاد شده در فولادها پس از نورد سرد ۳۹

۲-۱۰-۲- بافت ایجاد شده در فولادها پس از باز پخت ۴۰

۲-۱۰-۲-۱- بافت و نیروی محرکه برای انجام تبلور مجدد ۴۱

۲-۱۰-۲-۲- بافت و هسته زنی در تبلور مجدد ۴۲

۲-۱۰-۲-۳- بافت و رشد دانه ۴۴

۲-۱۱- تاثیر پارامترهای مختلف بر بافت ماده ۴۴

۲-۱۱-۱- پارامترهای تولید ۴۵

۲-۱۱-۱-۱- میزان نورد سرد ۴۵

عنوان | صفحه

۲-۱۱-۱-۲- نورد گرم ۴۶
۲-۱۱-۲- عناصر آلیاژی ۴۸
۲-۱۱-۲-۱- کربن ۴۸
۲-۱۱-۲-۲- نیتروژن ۵۰
۲-۱۱-۲-۳- منگنز ۵۱
۲-۱۱-۲-۴- تیتانیم و نیوبیم ۵۳
۲-۱۱-۲-۵- فسفر ۵۴
۲-۱۲- روشهای تعیین بافت ۵۶
۲-۱۲-۱- تصاویر قطبی ۵۶
۲-۱۲-۲- تابع توزیع جهت‌گیری ۵۹
فصل سوم - روش تحقیق ۶۰
۳-۱- مقدمه ۶۰
۳-۲- آنالیز شیمیایی ۶۱
۳-۳- آزمایش کشش ۶۱
۳-۴- تعیین نسبت کرنش پلاستیک، ناهمسانگردی قائم و ناهمسانگردی صفحه‌ای ورقها ۶۱
۳-۴-۱- روش تهیه نمونه‌ها ۶۱
۳-۴-۲- روش انجام آزمایش ۶۳
۳-۵- منحنی تنش، کرنش مهندسی و تعیین خواص مکانیکی در جهت‌های طولی، عرضی و 45° ۶۵
۳-۵-۱- رسم منحنی تنش، کرنش، مهندسی هر یک از ورقها در جهت‌های مختلف ۶۵
۳-۵-۲- تنش تسلیم ۶۵
۳-۵-۳- استحکام کششی ۶۵

عنوان **صفحه**

۳-۵-۴- نمای کار سختی ۶۶

۳-۶- آزمایش اریکسن ۶۶

۳-۶-۱- دستگاه آزمایش اریکسن ۶۶

۳-۶-۲- تهیه نمونه‌ها ۶۷

۳-۶-۳- چاپ شبکه دایره‌ای ۶۸

۳-۶-۴- روش اندازه‌گیری کرنشهای حدی ۷۲

۳-۶-۵- رسم منحنی حدشکل پذیری ۷۳

۳-۷- متالوگرافی ۷۳

۳-۸- آزمایش ریزسختی ۷۳

۳-۹- آزمایش تفرق اشعه X ۷۴

فصل چهارم - نتایج و بحث ۷۶

۴-۱- مقدمه ۷۶

۴-۲- نتیجه آنالیز شیمیایی ۷۶

۴-۳- نتیجه آزمایش کشش ۷۷

۴-۳-۱- نتایج حاصل از بررسی خاصیت ناهمسانگردی ورقها ۷۷

۴-۳-۲- رسم منحنی تنش- کرنش مهندسی ورقها در جهت‌های مختلف ۷۸

۴-۳-۳- نتایج حاصل از تعیین خواص مکانیکی در جهت‌های مختلف ۸۰

۴-۴- نتایج حاصل از آزمایش اریکسن ۸۲

۴-۵- نتایج حاصل از متالوگرافی ۸۷

۴-۶- نتایج حاصل از ریز سختی سنجی ۸۷

۴-۷- نتایج حاصل از تفرق اشعه X ۹۱

عنوان **صفحه**

۴-۸- نتیجه بررسی ورقهای خریداری شده از فولاد مبارکه و نیز بررسی
مراحل تولید دربها درکارخانه آزمایش ۹۷
فصل پنجم - خلاصه نتایج ۱۰۴
منابع ۱۰۵
چکیده و صفحهٔ عنوان به زبان انگلیسی .....

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل (۱-۱): نمایی از جفت نشدن دربها به بدنه یخچالها..... ۲

شکل (۲-۱): نمونه‌ای از یک عملیات شکل‌دادن ترکیبی..... ۶

شکل (۲-۲): عوامل اصلی مؤثر بریک فرایند شکل‌دهی ۶

شکل (۲-۳): پدیده گوش دار شدن در یک فنجان استوانه‌ای ۱۳

شکل (۲-۴): منحنی حد شکل پذیری ارائه شده توسط کیلر وگودوین ۱۴

شکل (۲-۵): نمایی از ترکیب چندین کرنش حداقل و حداکثر ۱۶

شکل (۲-۶): نمایی از شکل هندسی ابزار در روش غیرمسطح ۱۶

شکل (۲-۷): نمونه‌های مورد استفاده در روش غیرمسطح طبق روش هکر ۱۷

شکل (۲-۸): نمایی از شکل هندسی ابزار در روش مسطح ۱۸

شکل (۲-۹): تأثیر نمای کار سختی بر منحنی حد شکل‌پذیری ۱۹

شکل (۲-۱۰): تأثیر نمای حساسیت به سرعت کرنش برمنحنی حد شکل‌پذیری ۲۰

شکل (۲-۱۱): تأثیر ضخامت و نمای کار سختی برسطح منحنی حدشکل‌پذیری
در حالت کرنش صفحه‌ای ۲۱

شکل (۲-۱۲): تأثیر نسبت کرنش پلاستیک برمنحنی حد شکل‌پذیری..... ۲۲

شکل (۲-۱۳): منحنی حد شکل‌پذیری همراه با شکست برشی ۲۳

شکل (۲-۱۴): تغییرات r برحسب کرنش، برای فولادهای با بافت قوی ۲۵

شکل (۲-۱۵): تغییرات r برحسب کرنش برای یک بلور آهن ۲۶

شکل (۲-۱۶): کشیده شدن دانه‌ها در جهت نورد در یک فولاد با ساختار فریتی
و پرلیتی..... ۲۸

شکل (۲-۱۷): نمایی از غیریکنواختی دانه‌ها. ۲۹

شکل (۲-۱۸): نمایی شماتیک از یک جهت‌گیری. الف) تصادفی- ب)ترجیحی ۲۹

شکل (۲-۱۹): برخی از بافت‌های معمول در فولادها. ۳۰

شکل **صفحه**

شکل (۲-۲۰): تغییرات r برحسب مؤلفه بافتی {۱۱۱} نسبت به درصد اکسیژن در یک فولاد ایدار شده توسط Ti ۳۱

شکل (۲-۲۱): تغییرات r برحسب مؤلفه بافتی{۱۱۱} نسبت به کاهش سطح مقطع ۳۳

شکل (۲-۲۲): ارتباط بین r_m و نسبت شدت مؤلفه‌های بافتی {۱۱۱} و {۰۰۱} ۳۴

شکل (۲-۲۳): تغییرات r برحسب زاویه نسبت به جهت نورد برای مؤلفه‌های بافتی مختلف ۳۵

شکل (۲- ۲۴): سهولت مغناطیس شدن در سه جهت اصلی آهن ۳۶

شکل (۲-۲۵): تغییرات نسبت تنش تسلیم درجهت θ به تنش تسلیم درجهت نورد، برحسب θ برای مؤلفه‌های بافتی مختلف ۳۷

شکل (۲-۲۶): تغییرات مدول یانگ برحسب زاویه نسبت به جهت نورد، برای مؤلفه‌های بافتی مختلف ۳۸

شکل (۲-۲۷): مقایسه بین شدن نسبی مؤلفه‌های بافتی مختلف در فولاد ۴۰

شکل (۲-۲۸): سرعت هسته زنی برحسب زمان بازپخت برای بافتهای مختلف ۴۳

شکل (۲-۲۹): تأثیر اندازه دانه برحسب r_m در فولادهای مختلف ۴۴

شکل (۲-۳۰): مؤلفه‌های بافتی درحین تبلور مجدد و رشددانه ۴۵

شکل (۲-۳۱): تغییرات r_m برحسب سرعت گرم کردن در بازپخت نهایی برای فولادهای مختلف بادمای کلاف پیچی متفاوت ۴۷

شکل (۲-۳۲): تغییرات r_m برحسب دمای بازپخت در زمانهای مختلف برای فولاد کم‌کربن ۴۸

شکل (۲- ۳۳): تأثیر میزان کربن و کاهش سطح مقطع بر r_m ۴۹

شکل (۲-۳۴): تأثیر کربن بر r_m پس از فرایند نورد سرد و بازپخت ۵۰

شکل (۲-۳۵): تأثیر نیتروژن بر r_m یک فولاد ناآرام ۵۱

شکل (۲-۳۶): تأثیر نسبت درصد وزنی برن به نیتروژن بر r_m ۵۲

شکل **صفحه**

شکل (۲-۳۷): تأثیر همزمان کربن و منگنز بر r_m ۵۳

شکل (۲-۳۸): تأثیر منگنز ترکیب نشده بر r_m ۵۴

شکل (۲-۳۹): تأثیر نیوبیم بر r_m فولادهای IF ۵۵

شکل (۲-۴۰): تأثیر فسفر بر r_m فولادهای مختلف ۵۵

شکل (۲-۴۱): تصاویر قطبی (۱۰۰) برای یک ورق فلزی. الف) جهت‌گیری تصادفی.

ب) جهت‌گیری ترجیحی ۵۸

شکل (۲-۴۲): تصویر قطبی (۲۰۰) برای یک فولاد نورد (سرد) و بازپخت شده ۵۸

شکل (۲-۴۳): مقطع $\phi=45^\circ$ از تابع توزیع جهت‌گیری در یک فولاد پایدار شده

توسط Nb ۵۹

شکل (۳-۱): نمایی از دستگاه کشش ۶۲

شکل (۳-۲): روش تهیه نمونه‌های کششی از سطح ورق ۶۲

شکل (۳-۳): روش تهیه نمونه‌های کششی در سه جهت‌طولی، عرضی و 45° ۶۳

شکل (۳-۴): نمایی از دستگاه اریکسن ۶۷

شکل (۳-۵): نقشه ساده‌ای پانچ و قالب آزمایش اریکسن ۶۸

شکل (۳-۶): نمونه‌های تهیه شده در آزمایش اریکسن پس ازتغییر شکل ۶۹

شکل (۳-۷): الف- شبکه دایره‌ای قبل از تغییر شکل. ب - شبکه دایره‌ای بعد

از تغییر شکل ۷۰

شکل (۳-۸): نمایی از مهر ژلاتینی ۷۱

شکل (۳-۹): نمایی از شبکه دایره‌ای اعمال شده بر روی یکی از نمونه‌ها پس

از تغییر شکل ۷۱

شکل (۳-۱۰): نوار میلر مورد استفاده برای اندازه‌گیری کرنشهای حدی ۷۲

شکل (۳-۱۱): نمونه‌های تهیه شده از سطح ورق و دو مقطع عمود برآن

برای متالوگرافی ۷۴

شکل (۳-۱۲): نمایی از دستگاه ریز سختی سنج ۷۵

شکل **صفحه**

شکل (۴-۱): مقایسه درصد عناصر آلیاژی موجود دررورقها بصورت کیفی..... ۷۷
شکل (۴-۲): منحنی تنش- کرنش مهندسی ورق ایرانی A در جهت طولی،
عرضی و °۴۵ ..... ۷۹
شکل (۴-۳): منحنی تنش-کرنش مهندسی ورق ایرانی B در جهت طولی،
عرضی و °۴۵ ..... ۷۹
شکل (۴-۴): منحنی تنش- کرنش مهندسی ورق آلمانی درجهت طولی،
عرضی و°۴۵..... ۸۰
شکل (۴-۵): خواص مکانیکی ورقها در سه جهت طولی (LD)، ۴۵ درجه (DD)
و عرضی (TD)..... ۸۲
شکل (۴-۶): نمایی از یک نمونه با پهنای ۲۰ میلی متر ۸۴
شکل (۴-۷): منحنی حد شکل پذیری ورقهای ایرانی ۸۵
شکل (۴-۸): منحنی حد شکل پذیری ورق آلمانی ۸۶
شکل (۴-۹): منحنی حد شکل‌پذیری ورقهای ایرانی و ورق آلمانی ۸۶
شکل (۴-۱۰): نتیجه حاصل از متالوگرافی ورق ایرانی A در سطح (مقطع A)
و دو مقطع عمود برآن، (مقاطع B و C)..... ۸۸
شکل (۴-۱۱): نتیجه حاصل از متالوگرافی ورق آلمانی در سطح (مقطع A)
و دو مقطع عمود برآن، (مقاطع B و C)..... ۸۹
شکل (۴-۱۲): الف- نتایج حاصل از ریزسختی ورق ایرانی A .ب- نتایج
حاصل از ریزسختی ورق ایرانی B. ج- نتایج حاصل از
ریزسختی ورق آلمانی ۹۰
شکل (۴-۱۳): الگوی تفرق ورق ایرانی A..... ۹۲
شکل (۴-۱۴): الگوی تفرق ورق ایرانی B..... ۹۲
شکل (۴-۱۵): الگوی تفرق ورق آلمانی..... ۹۳
شکل (۴-۱۶): نمایی از ورقها در حالت کلاف پیچی ۱۰۰

شکل **صفحه**

شکل (۴-۱۷): نمایی از دستگاه قیچی ۱۰۰
شکل (۴-۱۸): نمایی از دستگاه موج‌گیر ۱۰۱
شکل (۴-۱۹): نمایی از مقطع روبروی یک ورق، پس از فرایند خم کاری ۱۰۱
شکل (۴-۲۰): نمایی از دستگاه غلطک‌های دستگاه خم‌کاری ۱۰۲
شکل (۴-۲۱): نمایی نزدیک از غلطک‌های دستگاه خم کاری ۱۰۲
شکل (۴-۲۲): نمایی از دستگاه تزریق فوم ۱۰۳
شکل (۴-۲۳): نمایی از جفت نشدن دربها پس از قرارگرفتن روی هم
(بعد از تزریق فوم) ۱۰۳