



دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

گروه مهندسی مواد

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مواد - شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

## بررسی ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد AISI5140 در حالت دو فازی فریتی - بینایتی

اساتید راهنما:

دکتر سید صادق قاسمی بنادکوکي

دکتر علیرضا مشرقی

استاد مشاور:

دکتر مهدی کلانتر

پژوهش و نگارش:

سروناز وسمه گرزاده

اسفند ۹۳

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگی‌م، مدیون حضور سبز

آن‌هاست.

به پدر و مادر و برادر عزیزم

## تقدیر و تشکر

بی شک گذراندن این دوره بدون همکاری و همراهی خانواده، اساتید و دوستان امکان پذیر نبود. از زحمات بی دریغ مادر، پدر و برادر عزیزم که در دوران تحصیل یار و مشوق من بوده‌اند و راه را در پیمودن این مسیر هموار نموده‌اند تشکر و قدر دانی می‌کنم. بر خود لازم می‌دانم از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر قاسمی و جناب آقای دکتر مشرقی تشکر و قدردانی نمایم.

## چکیده

فولاد های دوفازی خواص مکانیکی چشمگیری مانند رفتار تسلیم پیوسته، ترکیب بهینه ای از استحکام و انعطاف پذیری و شکل پذیری بهتر نسبت به سایر فولاد های کم آلیاژ استحکام بالا با ترکیب شیمیایی مشابه دارا می باشند. در نتیجه فولاد های دوفازی در صنایع خودرو سازی کاربرد گسترده ای دارند که موجب کاهش وزن خودرو و افزایش ایمنی آن می گردد. فولاد های دوفازی معمولاً شامل کسر حجمی مشخصی از فاز با استحکام بالا مانند مارتنزیت یا بینایت در زمینه ی نرم فریت می باشند. مطالعات انجام شده بر ریزساختارهای دوفازی فریتی-بینایتی بسیار محدود می باشد، بنابراین در این پژوهش ارتباط ریزساختار و خواص مکانیکی ریزساختارهای فریتی-بینایتی با کسر های حجمی مختلف از فازها مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور تمامی نمونه ها به مدت یک ساعت در دمای  $900^{\circ}\text{C}$  درجه ی سانتی گراد آستنیت شده سپس در حمام نمک  $600^{\circ}\text{C}$  درجه ی سانتی گراد برای مدت زمان های مختلف نگه داری شده و در ادامه به حمام نمک  $350^{\circ}\text{C}$  انتقال یافتند. در نهایت نمونه ها در آب کوئنچ گردیدند. نتایج آزمون کشش نشان داد که با افزایش کسر حجمی فاز بینایت در ریزساختار های دو فازی، استحکام کششی نهایی و استحکام تسلیم افزایش و انعطاف پذیری کاهش می یابد. همچنین نتایج آزمون میکروسختی سنجی بیانگر کاهش سختی فاز بینایت و افزایش سختی فاز فریت با افزایش کسر حجمی فاز بینایت می باشد. نتایج آزمون ضربه برای ریزساختارهای مورد پژوهش نشان دهنده ی افزایش انرژی ضربه با افزایش کسر حجمی بینایت می باشد. سطح شکست نمونه های دو فازی فریتی-بینایتی در مقایسه با نمونه ی تمام بینیتی آزمون ضربه نیز توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** فولاد دوفازی، فریت، بینایت، خواص مکانیکی.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲.....	۱ مقدمه
۵.....	۲ فولادهای دوفازی
۵.....	۲-۱ معرفی فولادهای دوفازی
۸.....	۲-۱-۱ خواص مکانیکی فولادهای دوفازی
۸.....	۲-۱-۲ رفتار تسلیم و استحکام فولادهای دوفازی
۲۱.....	۲-۲ فولادهای سه فازی
۲۱.....	۲-۲-۱ معرفی فولادهای سه فازی
۲۲.....	۲-۲-۲ روش تهیه فولادهای سه فازی
۲۳.....	۲-۳ خواص مکانیکی فولادهای سهفازی
۲۳.....	۲-۳-۱ رفتار کارسختی
۲۳.....	۲-۴ فولادهای سه فازی فریتی- بینایتی- آستنیتی
۲۴.....	۲-۴-۱ خواص مکانیکی فولادهای سه فازی فریتی- بینایتی- آستنیتی در دمای بالا
۲۵.....	۲-۵ دگرگونیهای انجام شده به هنگام ایجاد ساختارهای دوفازی و سه فازی
۲۵.....	۲-۵-۱ تشکیل آستنیت و فریت به هنگام آنیل بین بحرانی
۲۶.....	۲-۵-۲ دگرگونی آستنیت بعد از تابکاری بین دماهای بحرانی
۲۹.....	۲-۵-۳ تغییرات در فاز فریت در طی آنیل بین دماهای بحرانی
۳۱.....	۲-۵-۴ تشکیل بینایت
۳۴.....	۲-۵-۵ سینتیک دگرگونی بینایتی

۴۲	.....	۶-۵-۲ تشکیل مارتنزیت
۴۷	.....	۳ مواد و روش پژوهش
۴۷	.....	۳-۱ مقدمه
۴۷	.....	۳-۲ مشخصات متالورژیکی فولاد مورد پژوهش
۴۷	.....	۳-۳ پروسه های عملیات حرارتی
۴۹	.....	۳-۴ بررسی های ریزساختاری
۵۰	.....	۳-۵ آزمون های مکانیکی
۵۰	.....	۳-۵-۱ آزمون ماکرو سختی
۵۰	.....	۳-۵-۲ آزمون میکروسختی
۵۰	.....	۳-۵-۳ آزمون کشش
۵۱	.....	۳-۵-۴ آزمون ضربه
۵۲	.....	۳-۶ شکست نگاری
۵۵	.....	۴ نتایج و بحث
۵۵	.....	۴-۱ مقدمه
۵۵	.....	۴-۲ بررسی های ریزساختاری
۵۵	.....	۴-۲-۱ مشاهدات ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری
۵۹	.....	۴-۲-۲ مشاهدات میکروسکوپ الکترونی روبشی
۶۱	.....	۴-۳ بررسی نحوه ی توزیع کربن در ریزساختارهای دو فازی فریتی-بینایتی
۶۶	.....	۴-۴ بررسی خواص مکانیکی
۶۶	.....	۴-۴-۱ نتایج سختی سنجی

۶۹	..... ۲-۴-۴ آزمون کشش
۷۸	..... ۳-۴-۴ نتایج آزمون ضربه
۷۹	..... ۵-۴ شکست نگاری
۸۵	..... ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۵	..... ۵-۱ نتیجه گیری
۸۶	..... ۵-۲ پیشنهادات



## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: رابطه بین استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی کل در ورقهای فولادی کم آلیاژ ..... ۶	
شکل ۲-۲: منحنیهای تنش- کرنش برای ورقهای فولادی کم آلیاژ با استحکام بالا با کدهای SAE 50X و 80X که به ترتیب دارای استحکام تسلیم 340MPa و 550MPa هستند. به علاوه منحنی تنش- کرنش یک فولاد دوفازی با استحکام تسلیم 550MPa نیز آورده شده است..... ۹	
شکل ۳-۲: استحکام تسلیم و کششی مخلوط فریت- مارتنزیت در فولاد ۰/۵ منگنز. دادههایی که به صورت علایم توپر هستند، استحکام کششی را نشان میدهند که با استفاده از سختی فولاد محاسبه شده اند. علامت $S_{Y.O.M}$ نشان دهنده استحکام تسلیم در ۰/۱۰۰٪ مارتنزیت است. نسبت استحکام تسلیم مارتنزیت به استحکام تسلیم فریت با C نشان داده شده است. .... ۱۱	
شکل ۴-۲: نمودار تغییرات تنش بر حسب کرنش برای نمونه های دو فازی فریتی-بینایتی با کسرهای حجمی مختلف از بینایت ..... ۱۳	
شکل ۵-۲: نمودار تغییرات تنش بر حسب کرنش برای نمونه های دو فازی فریتی-مارتنزیتی با کسرهای حجمی مختلف از مارتنزیت ..... ۱۳	
شکل ۶-۲: نمودار تنش بر حسب کرنش برای مقایسه ی استحکام نمونه ی اولیه و نمونه های دوفازی. .... ۱۴	
شکل ۷-۲: تغییرات استحکام تسلیم و کششی نهایی بر حسب کسر حجمی بینایت ..... ۱۴	
شکل ۸-۲: تغییرات استحکام تسلیم و کششی نهایی بر حسب کسر حجمی مارتنزیت ..... ۱۵	
شکل ۹-۲: تغییرات تسلیم 0.2% و استحکام کششی نهایی بر حسب دمای آستمپرینگ ..... ۱۸	
شکل ۱۰-۲: تغییرات (الف) ازدیاد طول یکنواخت و کل و (ب) نسبت تنش تسلیم به استحکام کششی بر حسب دمای آستمپرینگ. .... ۱۸	
شکل ۱۱-۲: میانگین انرژی شاریبی جذب شده در فولادهای فریتی- بینایتی، کاملاً بینایتی، فریتی- مارتنزیتی و کاملاً مارتنزیتی. .... ۱۹	

شکل ۲-۱۲: منحنی لگاریتمی تنش حقیقی بر حسب کرنش حقیقی در فولادهای فریتی- بینایتی با کسرهای حجمی متفاوت فریت..... ۲۰

شکل ۲-۱۳: تغییرات (الف) تغییر ضریب استحکام و (ب) نمای کارسختی در فولادهای دوفازی فریتی- بینایتی..... ۲۱

شکل ۲-۱۴: میکروگراف میکروسکوپ الکترونی عبوری برای فولاد 0.2C، 1.56 Mn، 0.42Si، 0.21Cr که نشان دهنده ی حضور همزمان فازهای فریت، بینایت و مارتنزیت در ریزساختار میباشد..... ۲۳

شکل ۲-۱۵: سینتیک تشکیل آستنیت در فولاد 0.12C-1.5Mn..... ۲۶

شکل ۲-۱۶: دیاگرام فازی برای فولاد کربنی به همراه ۱/۵٪ منگنز..... ۲۷

شکل ۲-۱۷: درصد آستنیت تشکیل شده بر حسب دمای بین بحرانی برای فولادهای حاوی ۱/۵٪ منگنز و ۰/۱۲-۰/۰۵ کربن..... ۲۸

شکل ۲-۱۸: نمودار درصد آستنیت باقیمانده بر حسب درصد کرنش پلاستیک، بعد از سریع سرد کردن در هوا و آب..... ۲۸

شکل ۲-۱۹: مقطع همدمای نمودار فاز Fe-Mn-C در  $740^{\circ}\text{C}$  که در شرایط پایدار و شبه پایدار رسم شده است..... ۳۱

شکل ۲-۲۰: طرح شماتیک فرایند آستمپرینگ در (الف) منحنی زمان- دما و (ب) منحنی دگرگونی همدمای..... ۳۲

شکل ۲-۲۱: تفاوت دمایی سطح و مغز قطعات آستمپر شده و آبدهی متداول..... ۳۳

شکل ۲-۲۲: مشخصات ریزساختاری در توضیح سینتیک دگرگونی بینایت. طویل شدن واحدها فرعی و خوشهها در اثر جوانهزنی مداوم واحدهای فرعی، رسوب کاربیدها و تغییر کسر حجمی بینایت به صورت تابعی از زمان و دما..... ۳۵

شکل ۲-۲۳: طرح شماتیک از انتقال بینایت بالا به پایین..... ۳۹

شکل ۲-۲۴: تصاویر میکروسکوپ نوری، (الف) بینایت بالا در دمای  $335^{\circ}\text{C}$  و (ب) بینایت پایین در دمای  $220^{\circ}\text{C}$ ..... ۳۹

شکل ۲-۲۵: تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری، (الف) بینایت بالا در دمای  $355^{\circ}\text{C}$  و (ب) بینایت پایین در دمای  $220^{\circ}\text{C}$  ..... ۴۰

شکل ۲-۲۶: تاثیر کربن بر سختی مارتنزیت و آستنیت ..... ۴۳

شکل ۲-۲۷: مقایسه رفتار اصطکاکی داخلی مارتنزیت کم کربن با فریت با همان ترکیب ..... ۴۵

شکل ۳-۱: شماتیک پروسه ی عملیات حرارتی مورد استفاده در این پژوهش ..... ۴۸

شکل ۳-۲: کوره های مورد استفاده برای انجام عملیات حرارتی. (الف) کوره ی آستنیت، ب و ج) کوره های حمام نمک ..... ۴۹

شکل ۳-۳: نمونه ی استاندارد آزمون کشش ..... ۵۱

شکل ۳-۴: دستگاه آزمون کشش ..... ۵۱

شکل ۳-۵: نمونه ی استاندارد آزمون ضربه ..... ۵۲

شکل ۴-۱: ریزساختار دوفازی فریتی-بینایتی نمونه ی ۱، (الف) بزرگنمایی ۲۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۵۰۰برابر ..... ۵۸

شکل ۴-۲: ریزساختار دوفازی فریتی-بینایتی نمونه ی ۲، (الف) بزرگنمایی ۲۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۵۰۰برابر ..... ۵۸

شکل ۴-۳: ریزساختار دوفازی فریتی-بینایتی نمونه ی ۳، (الف) بزرگنمایی ۲۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۵۰۰برابر ..... ۵۸

شکل ۴-۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه ی ۱، (الف) بزرگنمایی ۴۰۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۶۰۰۰برابر. F: فاز فریت، B: بینایت، M: مارتنزیت ..... ۶۰

شکل ۴-۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه ی ۲، (الف) بزرگنمایی ۴۰۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۶۰۰۰برابر. F: فاز فریت، B: بینایت ..... ۶۰

شکل ۴-۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه ی ۳، (الف) بزرگنمایی ۴۰۰۰برابر، ب) بزرگنمایی ۶۰۰۰برابر. F: فاز فریت، B: بینایت ..... ۶۰

شکل ۴-۷: (الف) ریزساختار نمونه فریتی- بینایتی نگهداری شده در حمام نمک مذاب  $600^{\circ}\text{C}$  به مدت زمان ۵ ثانیه (نمونه ۱) به همراه مسیری که آزمون EDS در امتداد آن صورت پذیرفته است

و (ب) نحوه تغییرات غلظت کربن در امتداد مسیر نشان داده شده در (الف)..... ۶۲

شکل ۴-۸: (الف) ریزساختار نمونه فریتی- بینایتی نگه داری شده در حمام نمک مذاب °C ۶۰۰ به مدت زمان ۳۰ ثانیه (نمونه ۳) به همراه مسیری که آزمون EDS در امتداد آن صورت پذیرفته است و (ب) نحوه تغییرات غلظت کربن در امتداد مسیر نشان داده شده در (الف)..... ۶۳

شکل ۴-۹: نمودار تغییرات تنش بر حسب کرنش برای نمونه های دو فاز فریتی-بینایتی..... ۷۰

شکل ۴-۱۰: نمودار تغییرات استحکام بر حسب کسر حجمی بینایت برای نمونه های دو فاز فریتی-بینایتی..... ۷۰

شکل ۴-۱۱: نمودار تغییرات درصد ازدیاد طول نمونه های دو فاز فریتی-بینایتی بر حسب کسر حجمی بینایت..... ۷۱

شکل ۴-۱۲: رفتار کارسختی دو مرحله ای نمونه ی ۱، (الف) مرحله ی اول کار سختی، (ب) مرحله ی دوم کار سختی..... ۷۴

شکل ۴-۱۳: رفتار کارسختی دو مرحله ای نمونه ی ۲، (الف) مرحله ی اول کار سختی، (ب) مرحله ی دوم کار سختی..... ۷۵

شکل ۴-۱۴: رفتار کارسختی دو مرحله ای نمونه ی ۳، (الف) مرحله ی اول کار سختی، (ب) مرحله ی دوم کار سختی..... ۷۶

شکل ۴-۱۵: تغییرات توان کرنش سختی مراحل اول و دوم کارسختی بر حسب کسر حجمی بینایت در ریز ساختار های دو فاز فریتی-بینایتی..... ۷۷

شکل ۴-۱۶: تغییرات ضریب استحکام مراحل اول و دوم کارسختی بر حسب کسر حجمی بینایت در ریز ساختار های دو فاز فریتی-بینایتی..... ۷۷

شکل ۴-۱۷: تغییرات انرژی ضربه بر حسب کسر حجمی بینایت..... ۷۹

شکل ۴-۱۸: شماتیک سطح شکست نمونه ضربه به همراه مکان هایی که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفته اند..... ۸۰

شکل ۴-۱۹: (الف)، (ج) و (ه) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست نمونه تمام بینایتی به ترتیب از نواحی A، B و C. (ب)، (د) و (و) تصاویر با بزرگنمایی بالاتر به ترتیب از

سطوح شکست نشان داده شده در (الف)، (ج) و (ه). ..... ۸۱

شکل ۴-۲۰: (الف)، (ج) و (ه) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح شکست نمونه شماره ۳ به ترتیب از نواحی A، B و C. (ب)، (د) و (و) تصاویر با بزرگنمایی بالاتر به ترتیب از سطوح شکست نشان داده شده در (الف)، (ج) و (ه). ..... ۸۳

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده در پژوهش	۴۷
جدول ۱-۴: کسر حجمی فازها محاسبه شده توسط نرم افزار کلمکس	۵۹
جدول ۲-۴: نتایج آزمون ماکروسختی سنجی نمونه های دوفازی فریتی-بینایتی	۶۷
جدول ۳-۴: نتایج آزمون میکروسختی سنجی نمونه های دوفازی فریتی-بینایتی	۶۷

# فصل اول:

## مقدمه

## ۱ مقدمه

فولادهای دو فازی کم آلیاژ از خواص مکانیکی مطلوبی نظیر رفتار تسلیم پیوسته، استحکام کششی بالا، نرخ کار سختی بالا و درصد ازدیاد طول چشمگیر بهره می‌برند. مجموع ویژگی‌های یاد شده منجر به استحکام بالا و شکل‌پذیری مناسب آن‌ها شده است. خواص مطلوب ذکر شده برای این دسته از فولادها به ویژگی‌های ریزساختاری آن‌ها برمی‌گردد که در آن، زمینه نرم فریتی، داکتیلیتی مناسب را تضمین نموده و فاز سخت‌تر (بینایت یا مارتنزیت) نقش تحمل نیرو را ایفا می‌نماید. ترکیب استحکام و چقرمگی مناسب به همراه فرآیند تولید ساده‌ی این دسته از فولادها آنها را به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کاربرد در صنایع مختلف نظیر خودروسازی مطرح کرده است که موجب کاهش وزن خودرو و افزایش ایمنی آن می‌گردد علاوه بر این، برخی دیگر از خواص مکانیکی مانند رفتار تسلیم پیوسته، نرخ کارسختی بالا و استحکام مناسب، این فولادها را نسبت به سایر فولادها متمایز می‌نماید. بسیاری از محققین بر این باورند که با وجود نام عمومی فولاد دو فازی، این فولادها ممکن است شامل سه یا تعداد بیشتری فاز باشند.

انجام آزمون‌های مکانیکی مانند آزمون سختی سنجی، میکروسختی سنجی، کشش و ضربه بر روی ریزساختارهای دو فازی با کسرهای حجمی مختلف از فازهای تشکیل دهنده می‌تواند اطلاعات سودمندی در مورد ارتباط ریزساختار و خواص مکانیکی فولاد‌های دو فازی در اختیار ما قرار دهد. در بین مطالعات انجام شده در مورد فولاد‌های دو فازی، ریزساختارهای دو فازی فریتی-بینایتی کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش هدف به دست آوردن اطلاعاتی از خواص مکانیکی ریزساختارهای دو فازی فریتی-بینایتی و ارتباط آن با ریزساختار می‌باشد. فولاد مورد استفاده در این پژوهش، فولاد AISI5140 می‌باشد که توسط شرکت فولاد آلیاژی یزد طبق استاندارد و شرایط مشخصی تولید شده است. با توجه به عملیات حرارتی انجام شده بر روی فولاد مورد آزمایش، خواص مکانیکی متفاوتی حاصل شد که با استفاده از نتایج آن می‌توان به تاثیر ریزساختار دو فازی فریتی-بینایتی با کسرهای حجمی مختلف بر روی خواص کششی و ضربه‌ی فولاد مورد پژوهش پرداخت.



مقدار و نوع ریزساختار ها در فولاد های دو فازی عامل مؤثری بر استحکام، انعطاف پذیری و میزان انرژی ضربه ی این نوع فولاد ها می باشد. بنابراین در این پژوهش ریزساختار های دو فازی فریتی-بینیتی با کسر های حجمی متفاوت از فازها تهیه گردید و با توجه به نتایج آزمون های مکانیکی انجام شده بر روی نمونه های دو فازی، ارتباط ریزساختار و خواص مکانیکی برای نمونه های دو فازی مورد پژوهش به دست آمد. مطالعه ی سطوح شکست آزمون ضربه برای نمونه های دو فازی در مقایسه با نمونه ی تمام بینیتی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد و چگونگی شکست نمونه ها و ارتباط انرژی ضربه و ریزساختارها مورد بررسی قرار گرفت.

## فصل دوم:

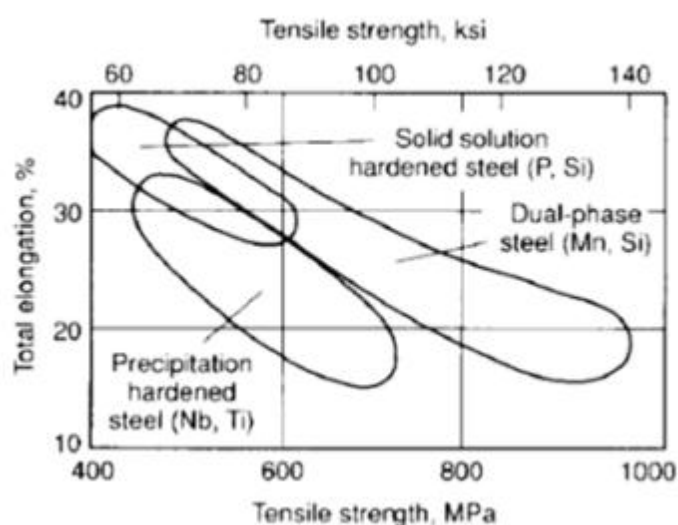
### مروری بر منابع

## ۲ فولادهای دوفازی

### ۲-۱ معرفی فولادهای دوفازی

ساختار دوفازی فریتی-مارتنزیتی برای اولین بار توسط ویلیامز و دیویس در سال ۱۹۶۳ به دست آمد، البته این گروه از فولادها تا سال ۱۹۷۰ مورد توجه قرار نگرفتند. در اوایل دهه ۱۹۷۰ تحقیقات محدود راجع به این گروه از فولادها انجام گرفت، اما تحقیقات اصلی راجع به این زمینه در سال ۱۹۷۵ شروع شد و تا کنون نیز ادامه دارد. مطالعات انجام شده در سال ۱۹۷۵ نشان داد که آنیل پیوسته در گستره دماهای بین بحرانی، فولادهایی با ریزساختار فریتی-مارتنزیتی ایجاد می نماید که دارای شکل پذیری خیلی بیشتر در مقایسه با فولادهای پر استحکام و کم آلیاژ متداول می باشند [۱]. فولادهای دوفازی گروه جدیدی از فولادهای پر استحکام و کم آلیاژ هستند که حاوی یک فاز نرم (فریت) به همراه یک فاز سخت (بینایت یا مارتنزیت) در ریزساختار می باشند. برای ایجاد خواص مورد نظر و مطلوب در این فولادها، نیازی به گستره‌ای وسیع از عناصر آلیاژی نیست و به سادگی از طریق عملیات حرارتی و یا ترمومکانیکال قابل تولید هستند [۲]. در سال‌های اخیر تمایل رو به رشدی در صنعت اتومبیل‌سازی به منظور استفاده از فولادهای دوفازی فریتی-مارتنزیتی و فریتی-بینایتی به خصوص در قسمتهای سازه‌ای اتومبیل به وجود آمده است. از ویژگی‌های شاخص فولادهای دوفازی می توان به استحکام زیاد، شکل پذیری خوب، رفتار تسلیم پیوسته، نرخ کارسختی بالا و پایین بودن نسبت تنش تسلیم به استحکام کششی اشاره کرد. این گروه از فولادها، نوع جدیدی از فولادهای استحکام بالا و کم آلیاژ به حساب می آیند [۳]. در فولادهای استحکام بالا و کم آلیاژ متداول استحکام آلیاژ تا حد زیادی به عناصر آلیاژی آن بستگی دارد، اما افزایش استحکام با کاهش انعطاف پذیری آن نیز همراه است که یک عامل به شدت محدود کننده در طراحی قطعات با اشکال پیچیده به شمار می آید. از این رو تمایل به استفاده از فولادهای دوفازی در صنعت خودرو سازی افزایش یافت. این گروه از فولادها دارای یک فاز استحکام دهنده، مانند مارتنزیت یا بینایت هستند که در زمینه ی انعطاف پذیر فریت واقع شده‌اند، که این ترکیب از فازها باعث ایجاد فولادی با استحکام و انعطاف پذیری مناسب می شود. ایجاد

ماده‌ای با این مجموعه از خواص، منجر به تولید خودروهای کم وزن می‌شود. بهبود انعطاف‌پذیری، قابلیت جذب انرژی فلزات را افزایش می‌دهد. انعطاف‌پذیری بالای فولادهای دوفازی باعث افزایش و توسعه استفاده از آنها گردیده است. نمودارهای درصد ازدیاد طول کل بر حسب استحکام کششی برای انواع فولادها در شکل آورده شده است. این شکل انعطاف‌پذیری بالای فولادهای دوفازی را نشان می‌دهد. استفاده از فولادهای دوفازی در صنایع می‌تواند باعث کاهش هزینه تولید شود که این کاهش در هزینه به دلیل کوتاه شدن مراحل کار است [۴].



شکل ۱-۲: رابطه بین استحکام کششی و ازدیاد طول نسبی کل در ورق‌های فولادی کم آلیاژ [۲].

معمولاً فولادهای دوفازی با استفاده از دو روش عملیات حرارتی و عملیات نورد گرم تولید می‌شوند. در این دو روش با استفاده از حرارت دادن در محدوده‌ی دوفازی فریت و آستنیت و با تغییرات نسبتاً گسترده‌ی دمای آنیل و یا نورد، این فولادها تولید می‌شوند. مقدار فاز سخت توسط عملیات حرارتی بین بحرانی تعیین شده و ساختار اولیه فولاد از عوامل مهم و تاثیرگذار بر شکل، مورفولوژی فاز سخت و اندازه دانه‌های فریت است [۵].

به طور کلی در روش عملیات حرارتی و همچنین در این پروژه در ابتدا از فولاد با ساختار فریتی-پرلیتی استفاده می‌شود و برای ایجاد فازهای فریت و آستنیت در مدت زمانی مشخص این فولاد در بین دماهای  $A_{c1}$  و  $A_{c3}$  قرار می‌گیرد و سپس با روش‌های مختلف آستنیت موجود به فاز سخت تبدیل می‌شود. روش‌های عملیات حرارتی مختلفی برای ایجاد ریزساختار دوفازی به کار