الله
بسم الله الرحمن الرحيم

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **احمد لشنی زند** معتهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی می باشد.

نام ونام خانوادگی دانشجو

احمد لشنی زند

امضاء

تهران، لویزان، خیابان شعبانلو دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
تلفکس:22970052 ، کدپستی:15811-16788، صندوق پستی:163-16785
Email:fme@srttu.edu ,www.srttu.edu

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی اثر ریزساختار بر خواص مکانیکی فولادTRIP کارگرم شده

نگارش

احمد لشنی زند

استاد راهنما: دکتر امیر عابدی

استاد مشاور: مهندس داود میر احمدی خاکی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد، گرایش شناسایی وانتخاب مواد

مهرماه 1391

شماره: ۱۱۹۲/۱۱۲۸۱
تاریخ: ۱۳۹۲/۱۲/۱
پیوست: ---

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جناب آقای احمد لشنی زند رشتهٔ مهندسی مواد–شناسایی وانتخاب موادمهندسی تحت عنوان بررسی اثر ریزساختار فولادهای TRIPکارگرم شده (ترمومکانیکال)روی خواص مکانیکی ،که در تاریخ ۹۱/۸/۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (بادرجه بسیار خوب امتیاز ۱۸/۷۵) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـعالی (۲۰ – ۱۹)

۲ ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸)

۳ ـ خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۴ ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۵- غیرقابل قبول (کمتر از ۱۴)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر امیر عابدی	استادیار	
استاد مشاور	مهندس داود میر احمدی خاکی	مدرس	
استاد داور داخلی	دکتر بهرام نامی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر سید پیروز هویدا مرعشی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدرضا علی گودرز	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه
رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران، لویزان، کد پستی:۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیر و تشکر

از راهنمایی های ارزنده ومشفقانه استاد ارجمندم ،جناب آقای ***دکتر امیر عابدی*** قدردانی کرده،همچنین ازراهنمایی های جناب آقای ***مهندس داود میراحمدی*** که بی شک بدون کمک های بی دریغ ایشان انجام این تحقیق میسر نمی گشت، نیز کمال تشکر رادارم. از همکاری مسئولین دانشگاه مالک اشتر (گروه مواد فلزی) که در تولید فولاد،عملیات نورد گرم وانجام آزمایشات مختلف روی آن مارا یاری کردند صمیمانه تشکر می کنم.از سرپرست محترم آزمایشگاه محصول شرکت فولاد مبارکه اصفهان(آقای مهندس صفدریان)برای همکاری در انجام تست اریکسون قدردانی می نمایم.از همکار محترم خود جناب آقای مهندس علی اکبر قادری نیز که در آماده سازی نمونه ها وانجام آزمایشات مارا یاری کرده اند ،تشکر می کنم.

چکیده

فولادهای TRIP دارای ساختارهای چند فازی شامل فریت، بینیت و آستنیت باقی‌مانده به همرا مقدار کمی مارتنزیت می‌باشند. آستنیت باقی‌مانده و مورفولوژی آن مؤثرترین فاز در ریز ساختار فولادهای TRIP محسوب می شود و باعث بهبود شکل پذیری و استحکام این فولادها می شود. در این پژوهش تأثیر ریز ساختار بر خواص مکانیکی یک فولاد TRIP کارگرم شده، بررسی شد. بدین منظور فولادی TRIP حاوی Si، Mn وحدود 0/2 درصد کربن پس ازعملیات ترمومکانیکی از دمای آستنیته و آنیل بحرانی در دمای°C 810، در محدوده دمایی°C 460-340 در زمانهای مختلف آستمپر شد. مقدارکسر حجمی آستنیت باقی مانده ودرصد کربن آن ازنتایج پراش اشعه x بر نمونه ها محاسبه شد. با مشاهدات ریز ساختار و آزمایشات مکانیکی فولاد مشخص شد که کسر حجمی آستنیت باقی مانده در تعیین شکل پذیری فولاد TRIP بسیار مؤثرتر از سایر عوامل متالورژیکی و فرآیندی می باشد. علاوه براثر کسر حجمی آستنیت باقی مانده بر شکل پذیری، شکل و نوع فاز آستنیت باقی مانده که در شرایط مختلف در فولاد TRIP به وجود می آید نیز باید مد نظر قرارگیرد. همچنین تعیین شد که دمای‌آستمپر°C 400 به دلیل اینکه خواص مکانیکی مطلوبی به فولاد می دهد، یک دمای بهینه برای آستمپر کردن این فولاد TRIP است. در دمای آستمپر 400°C وزمان نگه داری 6 دقیقه استحکام کششی نهایی معادل 786 MPa ودر زمان نگه داری 9 دقیقه، درصد ازدیاد طولی معادل 47/75 بدست آمد، که نشان دهنده اثر کسرحجمی آستنیت باقی مانده در بهبود استحکام و انعطاف پذیری این فولاد است.

واژه های کلیدی: فولاد TRIP- عملیات حرارتی- خواص مکانیکی - ریز ساختار- آستنیت باقی مانده.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه 1

فصل دوم : مروری بر منابع.....4

2-1 : لزوم طراحی و توسعه فولاد های پراستحکام پیشرفته در صنایع خودروسازی.....5

2-1-1: فولاد TRIP.....6

2-1-2 : فولاد TWIP.....7

2 -1-3 : فولادهای دو فازی (DP).....5

2-1-4 : فولادهای چند فازی (CP).....9

2 -1-5 : فولادهای مارتنزیتی (MS).....9

2-2 : پلاستیسیته القاء شونده توسط استحاله (اثر TRIP).....10

2-2-1 : بررسی تغییر حالت آستنیت به مارتنزیت.....12

2-3 : پایداری آستنیت باقی مانده.....14

2-4 : ترکیب شیمیایی فولاد های TRIP..... 16

2-4-1: اثر منگنز Mn..... 17

2-4-2 : اثر سیلیسیم Si.....17

2-4-3 : اثرآلومینیم Al.....17

2-4-4 : اثرفسفر P 18

2-4-5 : اثر نیوبیم Nb.....18

2-4-6 : اثرمس Cu.....19

2-4-7 : اثر مولیبدن Mo.....19

2-5 : فرآوری فولادهای TRIP.....20

2-5-1 : مقایسه نورد سرد وگرم در فولادها.....20

2-5-1-1 : نورد سرد.....20

2-5-1-2 : نورد گرم.....21

2-5-2 : عملیات ترمومکانیکی.....22

2-5-2-1 : تاثیرپارامترهای عملیات ترمومکانیکی.....26

2-5-2-1-1 : عملیات خشن کاری.....26

2-5-2-1-2 : عملیات تمام کاری.....27

فهرست مطالب

2-5-3 : سیکل های عملیات ترمومکانیکی برای فولادهای TRIP.....28
2-5-3-1: اعمال کرنش در دمای بالا در ناحیه پایداری آستنیت.....29
2-5-3-2 : اعمال کرنش در ناحیه حرارتی عدم تبلور مجدد آستنیت.....29
2-5-3-3 : اعمال کرنش در ناحیه دوفازی 30
2-5-3-4 : استحاله ایزوترمال آستنیت به بینیت.....30
2-5-4 : اثر TMCPروی ریز ساختارو خواص مکانیکی فولاد TRIP.....30
2-5-5 : فرآیند کار سرد و عملیات حرارتی دومرحله ای 31
2-5-5-1 : آنیل بین بحرانی 33
2-5-5-2 : نگه داری هم دما در محدوده دمایی استحاله بینیت.....34
2-5-5-2-1 : مراحل استحاله بینیتی IBT.....34
2-5-5-2-2 : اثر زمان نگه داری در استحاله بینایتی روی درصد فازهای تشکیل شده.....35
2-6 : خواص مکانیکی فولاد TRIP.....36
2-6-1 : مقایسه خواص مکانیکی فولاد TRIP باسایر فولاد های با استحکام بالا.....37
2-6-2 : کار سختی.....38
2-7 : ریز ساختار فولادهای TRIP.....39
2-7-1 : آستنیت باقی مانده و مشخصات آن در فولاد TRIP.....41
2-7-1-1 : اثر ترکیب شیمیایی 42
2-7-1-2 : اثر مورفولوژی و توزیع آستنیت باقی مانده.....42
2-7-1-3 : اثر اندازه دانه های آستنیت باقی مانده 43
2-7-2 : فریت و مشخصه های آن در فولادهای TRIP.....44
2-7-2-1: اثر کسر حجمی فریت.....44
2-7-2-2 : اثر مورفولوژی فریت.....44
2-7-2-3 : اثر اندازه دانه فریت.....45
2-7-3 : بینیت و مشخصه های آن در فولاد TRIP.....45
2-8 :کاربرد فولاد TRIP 46
فصل سوم : مواد و روش‌های آزمایش 48
3-1 : مواد آزمایش.....49

فهرست مطالب

2-3 :آزمایشهای ترمومکانیکی.....50
3- 3 :آزمایشهای مکانیکی.....52
3-3-1 :آزمایش کشش.....52
3-3-2 :آزمایش اریکسون.....53
4-3 : متالوگرافی 54
5-3 : بررسی های کیفی ریز ساختاری.....54
3-5-1 : میکروسکوپ نوری OM.....54
3-5-2 : میکروسکوپ روبشی SEM 55
6- 3 : اندازگیری کمی ریزساختاری.....55
3-6-1- پراش اشعه X.....55
3-6-2- میکرو سختی سنجی.....56
فصل چهارم : نتایج و بحث.....57
4-1 : ریزساختارو آستنیت باقی مانده.....58
4-2 : تحلیل ریز ساختار فولاد TRIP.....67
4-3 : پراش اشعه X.....69
4-4 : ویژگی های آستنیت باقی مانده و خواص مکانیکی.....72
4-4-1 : توان کارسختی (n-value).....73
4-4-2 : اثر کربن آستنیت باقی مانده روی خواص مکانیکی.....76
4-4-3 : اثر زمان نگه داری در تحول بینیتی روی خواص مکانیکی.....78
4-4-4 : اثر دمای نگه داری در تحول بینیتی روی خواص مکانیکی.....80
4-4-5 : اثر فرآیند SIT روی آستنیت باقی مانده وخواص مکانیکی.....82
4-5 : قابلیت شکل پذیری فولادTRIP 84
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات.....89
5-1 : نتیجه گیری.....90
5- 2 : پیشنهادات.....92
پیوست.....93
فهرست مقالات ارایه شده 93

فهرست مطالب

منابع و مراجع.....94

فهرست جداول

جدول 2-1 : خواص مکانیکی نمونه هایی از فولادهای AHSS.....6
جدول 2-2 : نرخ کارسختی فولادهای TRIP و دوفازی در کرنش های یکسان.....38
جدول 3-1 : ترکیب شیمیایی فولاد مورد مطالعه در این تحقیق.....47
جدول 3- 2 : دماها وزمان ها درشرایط مختلف عملیات حرارتی.....51
جدول3 -3 : مقدار R برای فازهای فریت وآستنیت در فولاد برای تشعشع X حاصل از فلز کبالت ($\lambda = 1.79021°A$).....56
جدول4-1:نتایج تعیین میزان درصد کربن وکسر حجمی فاز آستنیت باقی‌مانده در فولاد مورد آزمایش.....71
جدول 4- 2 :کسر حجمی فاز آستنیت باقی مانده به همراه خواص مکانیکی (تنش –کرنش مهندسی).....72
جدول 4- 3 : خواص مکانیکی فولاد TRIPبراساس منحنی های تنش-کرنش حقیقی..... 75
جدول 4- 4 :مقدار حداکثر نیرو (F) و ارتفاع نهایی گنبد (LDH) حاصل از تست اریکسون برای نمونه های مختلف فولاد مورد آزمایش.....85

فهرست شکل ها

شکل 2- 1: a: ریزساختار فولاد DP، b: استحکام کششی برحسب درصد افزایش طول برای فولاد DP..... 8
شکل 2-2 : استحکام کششی برحسب درصد افزایش طول در فولاد CP.....9
شکل 2-3 : استحکام کششی برحسب درصد افزایش طول در فولاد MS..... 10
شکل 2- 4 : توضیح شماتیک استحاله آستنیت باقی مانده به مارتنزیت در اثر اعمال کرنش وسرایت استحاله مارتنزیتی به نواحی مجاور.....11
شکل 2-5 : تغییرات انرژی آزاد فازهای آستنیت و مارتنزیت (محور عمودی) با دما (محور افقی).....13
شکل2- 6 : تنش لازم برای تغییر حالت آستنیت به مارتنزیت بر حسب دما.....14
شکل2- 7 : شماتیک نشاندهنده مکانیزم های غالب تغییر شکل آستنیت باقی مانده در فولاد های TRIP در محدوده دمایی مختلف (به ترتیب از چپ به راست) : پلاستیسیته یاری شونده توسط تنش، پلاستیسیته القاء شونده توسط کرنش وپلاستیسیته ناشی از لغزش نابجایی.....15
شکل 2- 8 : اثر عناصر آلیاژی روی رفتار نمودار TTT.....19
شکل 2- 9 : تصویر شماتیکی از دوراه معمول تولید ریزساختار فولاد TRIP بادما وزمان..... 20
شکل 2- 10 : شماتیک عملیات حرارتی یک فولاد TRIP نورد سرد شده.....21
شکل 2- 11 : شماتیک عملیات حرارتی یک فولادچند فازی نورد گرم شده.....22
شکل 2- 12 : شماتیک فرآیند و تغییر ساختارها هنگام عملیات حرارتی دومرحله ای فولاد TRIP.....32
شکل 2- 13 : نمایش تصویری تغییرات ساختاری در فولاد TRIP هنگام عملیات حرارتی مرحله دوم (ردیف بالا) و محصولات دگرگونی بعد ار سریع سرد کردن (ردیف 33
شکل 2- 14 : شماتیک تغییرات ریز ساختاری طی فرآیند عملیات حرارتی دو مرحله ای.....33
شکل 2- 15 : مدل استوانه سهمی گون صفحات بینایتی.....35
شکل 2- 16 : رشد کناری ولبه ای وپس زدن کربن از تیغه ی بینایتی.....35
شکل 2- 17 : اثر زمان نگه داری در استحاله بینایتی روی درصد فازهای تشکیل شده.....36
شکل 2- 18 : مقایسه رفتار تنشی کرنشی سه نوع فولاد TRIP,HSLA، DP.....37
شکل 2-19: رفتار استحکام بخشی فاز آستنیت در فولاد TRIPحین تغییر حالت تدریجی آن به مارتنزیت.....39
شکل 2- 20 : شماتیک ریز ساختار فولادهای TRIP.....40

فهرست شکل ها

شکل 2- 21 : ریز ساختار فولاد TRIP در طول عملیات حرارتی، (1) دو فاز در طول حرارت دادن متعادل بین بحرانی، (2) شکل گیری فریت در آستنیت درطول سرد کردن اولیه، (3) شکل گیری بینیت و آستنیت باقی مانده غنی شده در طول حرارت دهی متعادل ثانویه.....41
شکل 2- 22 : نمودار استحکام و ازدیاد طول نسبی انواع فولاد در نورد سرد.....47
شکل 3-1: تصویر تختال تهیه شده از فولاد مورد آزمایش.....49
شکل 3-2: سیکل شماتیک عملیات ترمومکانیکی وحرارتی روی فولاد.....51
شکل 3-3 : نمونه کشش استاندارد ASTM E08-03.....52
شکل 3-4: تصویر دستگاه تست کشش ZWICK/Z050.....52
شکل 3-5: تصویر شماتیک دستگاه تست اریکسون.....53
شکل 3-6: تصویر دستگاه تست اریکسون..... 54
شکل 4-1: ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 340°C بازمان نگه داری3 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....59
شکل 4-2: ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 340°C بازمان نگه داری6 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....60
شکل 4-3 : ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 340°C بازمان نگه داری9 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....61
شکل 4-4: ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 400°C بازمان نگه داری3 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....62
شکل 4-5 : ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 400°C بازمان نگه داری6 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....63
شکل 4-6 : ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 400°C بازمان نگه داری9 دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی.....64
شکل 4-7 : ریزساختار فولاد TRIP در دمای نگه داری بینیتی 460°C بازمان نگه داری 6دقیقه، الف) تصویر میکروسکوپی نوری، ب) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی.....65

فهرست شکل ها

شکل 4-8 : ریز ساختارفولاد مورد آزمایش در دمای آنیل 810 °C وزمان نگه داری 8 دقیقه، سرد شده در هوا تا دمای محیط، الف) تصویرمیکروسکوپی نوری ، ب) تصویرمیکروسکوپی الکترونی و ج) الگوی پراش اشعهX..... 67
شکل 4-9 : تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه با کد T6 به همراطیف EDX فاز های نشان داده شده وآنالیز فازی، الف) تصویر SEM، F)منطقه فریت، M)منطقه مارتنزیت، RA) منطقه آستنیت باقی مانده وB)منطقه بینیت.RA_1 : آستنیت باقی مانده نوع 1، RA_2:آستنیت باقی مانده نوع 2 و RA_3: آستنیت باقی مانده نوع 3 69
شکل 4-10: منحنی های شدت پراش اشعه X برای نمونه‌های فولادی مورد آزمایش (T_1 تاT_6)..... 70
شکل 4-11: تأثیردرصد کربن آستنیت باقی مانده بر خواص مکانیکی فولاد..... 73
شکل 4-12: ارتباط بین n-valueو درصد ازدیاد طول، چقرمگی واستحکام نهایی..... 75
شکل 4-13 : ارتباط بین n-valueودمای استحاله بینیتی..... 76
شکل 4-14:تأثیر درصد کربن آستنیت باقی مانده بر تغییر طول نهایی..... 76
شکل 4-15: تأثیر درصد کربن آستنیت باقی مانده روی تنش تسلیم فولاد TRIP..... 77
شکل 4-16:خواص مکانیکی فولاد درزمان های مختلف نگه داری بینیتی، الف)استحکام کششی، ب)درصد ازدیاد طول نهایی و ج) اندیس شکل پذیری..... 79
شکل 4-17:خواص مکانیکی فولاد در زمان های مختلف نگه داری بینیتی در دمای400 °C..... 80
شکل 4-18:خواص مکانیکی فولاد TRIP در دماهای نگه داری بینیتی،الف)استحکام کششی، ب)درصد ازدیاد طول نهایی و ج) اندیس شکل پذیری..... 81
شکل 4-19: نمودار تنش-کرنش مهندسی فولاد مورد مطالعه درشرایط مختلف عملیات حرارتی 83
شکل 4-20: نمودار تنش-کرنش حقیقی فولاد مورد مطالعه درشرایط مختلف عملیات حرارتی..... 84
شکل 4-21: تأثیر دمای نگه داری آستمپرینگ روی خواص شکل پذیری،الف) LDH وب)F_{Max} 86
شکل 4-22 : تأثیر زمان نگه داری بینیتی روی LDH..... 87
شکل 4-23: تصاویر دوتا از نمونه های فولاد TRIP بعد از انجام تست اریکسون..... 87
شکل 4-24: اثر دمای آستمپرینگ روی آستنیت باقی مانده و LDH..... 88

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در دهه‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای تولید فولادهای با استحکام بالا و در عین حال با چقرمگی قابل ملاحظه برای استفاده در صنعت خودرو صورت گرفته است. فولادهای چند فازی حاوی فاز آستنیت باقی‌مانده با توجه به خواص مکانیکی مناسب، رقیبی بسیار جدی برای فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا (HSLA[2] Steels) برای کاربرد در صنایع خودروسازی به شمار می‌روند. در حال حاضر توسعه تکنیکی خودروهای مدرن در جهت کاهش وزن و در نتیجه کاهش مصرف سوخت و در نهایت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که به کارگیری فولادهای دو فازی[3] و TRIP[4] در حدود 79درصد از ساختار بدنه خودرو باعث کاهش 36 درصد از وزن آن گردیده است[1].

علاوه بر فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا و فولاد TRIP، فولادهای عاری از عناصر بین نشین (IF) و بسیار کم کربن (ULC)، فولادهای دو فازی و غیره نیز در صنایع خودرو سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در هر یک از این فولادها، مکانیزم‌های متعدد و مختلفی جهت افزایش استحکام و در عین حال حفظ داکتیلیتی دست اندرکار می باشند. اما در اکثر مکانیزم‌های شناخته شده‌ی استحکام بخشی، داکتیلیتی فولاد با افزایش استحکام افت می‌کند و بالعکس[2].

اصطلاح TRIP، یعنی بهبود رفتار تغییر شکل مومسان فولاد در اثر تغییر حالت آستنیت به مارتنزیت در نتیجه اعمال نیروهای مکانیکی، اولین بار توسط Zackay در سال 1967 به کار گرفته شد [3]. ترکیب شیمیایی این فولاد در گستره (0/15-0/40) درصد کربن، (2-1) درصدسیلیسیم و (2-1) درصدمنگنز قرار می‌گیرد [2]. فرآیند تسلیم پیوسته (عدم وجود ازدیاد طول نقطه تسلیم)، نسبت بالای استحکام کششی به

2 -**H**igh **S**trength **l**ow **A**lloy
3 - **D**ual **P**hase
4- **TR**ansformation **I**nduced **P**lasticity

استحکام تسلیم، نرخ بسیار بالای کارسختی، پدیده گلویی به تأخیر افتاده و میزان بالای قابلیت انعطاف پذیری این فولادها در مقایسه با فولادهای کم‌آلیاژ با استحکام بالا، [4 و 5] دلیل عمده برتری فولادهای چند فازی است. ریزساختار فولادهای چند فازی متشکل از بینایت و آستنیت باقی‌مانده (و گاهی مقدار کمی مارتنزیت) در زمینه‌ای از فریت می‌باشد. حضور فاز آستنیت باقی‌مانده در ریزساختار این فولادها و تغییر حالت آن به فاز سخت مارتنزیت (با قابلیت بسیار بالای تحمل نیروهای مکانیکی خارجی) حین اعمال تنش، عامل اصلی خواص مکانیکی مشخصه فولادهای چند فازی با آستنیت باقی‌مانده است [6 و 7].

با طراحی مناسب ترکیب شیمیایی فولاد و انجام یک فرآیند ترمومکانیکی و عملیات حرارتی چند مرحله‌ای، امکان پایداری مکانیکی و حرارتی فاز آستنیت در دمای محیط در فولادهای چند فازی فراهم خواهد شد [7 و8]. در دو دهه اخیر تحقیقاتی به منظور بررسی و تحلیل خواص مکانیکی مشخصه فولادهای چند فازی با آستنیت باقی‌مانده و نقش عوامل مؤثر بر آن انجام شده است [6 و 10].

در این تحقیق، با انجام یک عملیات ترمومکانیکی، آنیل بحرانی وآستمپر در دماها و زمان های مختلف روی یک فولاد TRIPحاوی Si و Mn، تاثیر ریز ساختار حاصل از نظر ویژگی‌های آستنیت باقی مانده بر خواص مکانیکی، مورد بررسی قرار گرفت.

پژوهش حاضر از پنج فصل مقدمه، مروری بر منابع، روش تحقیق، نتایج وتحلیل آن‌ها و فصل نتیجه‌گیری تشکیل شده است. در فصل دوم یا مروری برمنابع به معرفی فولادهای AHSS ازجمله فولاد TRIP ریز ساختار، خواص مکانیکی، روش‌های تولید وکاربرد آن پرداخته شده است.

درفصل سوم روش تحقیق تشریح شده است. دراین فصل روش تولید فولاد TRIP وآزمایشات انجام گرفته شرح داده شده است. همچنین ریزساختار فولاد با استفاده از میکروسکوپ نوری والکترونی روبشی بررسی شده است.

در فصل چهارم نتایج پژوهش مورد بحث وبررسی قرارگرفته است. در ابتدا ترکیب شیمیایی وریزساختار فولاد ارائه شده است. در ادامه با استفاده از نتایج XRD و نرم افزارهای تحلیل تصویری درصد فازهای موجود در نمونه‌ها بدست آمد وبا توجه به نتایج تست‌های کشش و اریکسون خواص مکانیکی فولاد مورد بررسی قرار گرفت.

در فصل پنجم نتایج تحقیق جمع بندی وچند تحقیق برای ادامه کار پیشنهاد شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع

1-2 لزوم طراحی و توسعه فولاد های پراستحکام پیشرفته در صنایع خودروسازی

در سال‌های اخیر تلاش‌ها و تحقیقات زیادی در خصوص توسعه و استفاده از فولادهای پراستحکام پیشرفته[5] (AHSS) در صنایع خودروسازی به منظور نیل به سه هدف زیر انجام شده است[11].

- کاهش وزن خودرو با به کار بردن ورق‌های پراستحکام نازکتر که منجر به کاهش مصرف سوخت و تولید گازهای گلخانه ای می شود.
- افزایش امنیت مسافر با بهبود مقاومت در برابر ضربه حین تصادف.
- رقابت با مواد سبک وزن بویژه آلیاژ های آلومینیومی ومنیزیمی و پلاستیک ها.

علی رغم رقابت شدید بین مواد یاد شده، ورقهای فولادی همچنان به عنوان انتخاب اول تولیدکنندگان بدنه خودرو محسوب می شوند. در مقایسه با آلیاژهای آلومینیوم که شاید مهمترین رقیب فولادها باشند، دلایل زیر باعث ارجح بودن ورقهای فولادی شده است:

مدول الاستیک بالاتر، استحکام و رفتار خستگی بهتر، شکل پذیری بهتر، سختی بالاتر، هدایت حرارتی کمتر، دارا بودن خاصیت فرومغناطیس، حساسیت بالا و نرخ کرنش و نهایت هزینه کمتر ساخت و نگه داری.

5 - **A**dvanced **H**igh **S**trength **S**teel

طی دهه های اخیر، انواع مختلفی از فولاد های با استحکام پیشرفته با هدف اصلی کاهش وزن خودرو های شخصی توسعه یافتند. نکته قابل توجّه اینکه در انواعی از فولادهای با استحکام پر مصرف قدیمی، نظیر فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا HSLA انعطاف پذیری بطور خطی با افزایش استحکام کاهش می‌یابد.

فولاد های AHSS اغلب بواسطه رفتار کارسختی عالی و انعطاف پذیری یکنواخت خوب آنها مشخص می شوند. در جدول (2-1) خواص مکانیکی نمونه هایی از این فولاد ها آمده است. فولاد های AHSS شامل فولاد های دوفازی، فولادهای TRIP، فولادهایی که در آنها دو قلویی القاء شده توسط کرنش رخ می دهد TWIP[6]، فولاد های با ریز ساختار های مرکب چندفاز CP[7] و فولاد های مارتنزیتی می باشندکه در ادامه به چند مورد از آنها پرداخته می شود.

جدول 2-1 : خواص مکانیکی نمونه هایی از فولادهای AHSS[11].

Steel Grade	YS (MPa)	UTS (MPa)	Tot. EL (%)
HSLA 350/450	350	450	23-27
DP 300/500	300	500	30-34
DP 350/600	350	600	24-30
TRIP 450/800	450	800	26-32
DP 500/800	500	800	14-20
CP 700/800	700	800	10-15
DP 700/1000	700	1000	12-17
MS 1250/1520	1250	1520	4-6

YS and UTS are minimum values
Tot. EL (Total Elongation) range shows typical values for a broad range of sheet thicknesses and gauge lengths.

2-1-1 فولاد TRIP

فولاد TRIP کم آلیاژ حاوی 10-15 درصد حجمی آستنیت باقی‌مانده،60-70 درصد فریت چند وجهی (پلی گونال) و مابقی بینیت و مارتنزیت هستند. اگر چه آستنیت باقی مانده بعنوان ذره فاز دوم اصلی محسوب نمی شود، ولی اثرات بسیار مهمی بر خواص مکانیکی دارد. افزودن Si و Al و p (به تنهایی یا باهم) تشکیل

6 -**Tw**inning **I**nduced **P**lasticity
7 -**C**omplex **P**hase