١١٨٠٨٥

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی ومهندسی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی

گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

مطالعه تاثیردرجه حرارت استحاله بینیتی بر میکروساختار،خواص مکانیکی و رفتار سایشی فولاد TRIP

استاد راهنما:

دکتر مرتضی زند رحیمی

مولف:

سمیرا سلجوقی نژاد

۱۳۸۸/۴/۱۶

اطلاعات مدارک علمی بردیه
مدیریت مدارک

تابستان ۱۳۸۷

۱۱۵۰۸۵

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی متالورژی دانشکده فنی دانشگاه شهید با هنر کرمان تسلیم شده است و هیچ گونه

مدرکی بعنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

نام ونام خانوادگی: امضاء

دانشجو: سمیرا سلجوقی نژاد

استاد راهنما۱: دکتر مرتضی زند رحیمی

استاد راهنما ۲:

داور۱ : دکتر محمد رضا ایزدپناه

داور۲: دکتر امیر صرافی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه: اطهره دادگری نژاد

حق چاپ برای دانشگاه محفوظ است.

دانشگاه شهید ...
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به پدر و مادر عزیزم:

چشمه سار حقیقت را در نگاهتان پیدا کردم ، زلال صاف نگاهتان مرا به یاد اطلسی های باغ عشق می اندازد.

صداقت، پاکی ، صمیمیت و ایثار را در چشمانتان می بینم ، ای وارثان تمام دلهای عاشق و مالکان عاشقانه های ساحل هستی ، دوستتان دارم و تا ابد مدیون از خـود گذشتی و ایثارتان هستم.....

تقدیم به برادران وخواهرعزیزم :

در اعماق وجودتان هزار لاله میروید و غنچه های لبخندتان به سوی عـشق در راه است.

با سپاس فراوان از:

- استاد ارجمند و فرزانه ام جناب آقای دکتر مرتضی زند رحیمی برای دانش فراوان و لطف بی پایانش .
- ریاست محترم دانشکده مهندسی متالورژی آقای دکتر ایزدپناه و همه اساتید محترم که بر دانش و آگاهی ام افزودند.
- سرکار خانمها مهندس افضلی، دادگری نژاد و بقائی و آقای سلطانی که صمیمانه و بی منت مرا در این پایان نامه یاری نمودند.

با حق شناسی و سپاس فراوان

چکیده:

در تحقیق حاضر، ورق فولاد کم آلیاژ C-Si-Mn بعد از عملیات همگن سازی در دمای$^{\circ}C$ ۱۱۰۰ به مدت ۲ ساعت، به میزان ۶۲٪ نورد سرد شد. به منظور ایجاد فولاد TRIP ابتدا هر یک از نمونه ها در دمای$^{\circ}C$ ۹۵۰ به مدت ۳۰ دقیقه آستنیته شده، سپس در حمام نمک بادماهای$^{\circ}C$ ۲۵۰، $^{\circ}C$ ۳۰۰ و $^{\circ}C$ ۳۵۰ برای مدت زمانهای متفاوت عملیات حرارتی شدند وسپس تاثیر درجه حرارت و زمان نگهداری در حمام نمک مذاب بر روی خواص مکانیکی و رفتار سایش فولاد مورد بررسی قرار گرفت . میکرو ساختار هر یک از نمونه ها توسط میکروسکوپ نوری و سطح سایش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد. نتایج نشان می دهد استحاله ایزوترمال دردرجه حرارتهای فوق باعث تشکیل بینیت صفحه ای شکل و بینیت دانه ای شده است. در نتیجه تشکیل بینیت درصد کربن آستنیت باقیمانده افزایش یافته است. افزایش درصد کربن آستنیت باعث کاهش درجه حرارت Ms و پایداری آستنیت می گردد. همزمان آستنیت پرکربن به کاربید و فریت تبدیل می شود. زمان نگهداری طولانی باعث افزایش بیشتر بینیت می گردد. سختی واستحکام نمو نه های عملیات حرارتی شده در درجه حرارت $^{\circ}C$ ۲۵۰ بدلیل تشکیل بینیت سوزنی شکل بیشتر از درجه حرارت بالاتر می باشد. مقاومت به سایش نمو نه های عملیات حرارتی شده در$^{\circ}C$ ۲۵۰ بیشتر از$^{\circ}C$ ۳۰۰ و$^{\circ}C$ ۳۵۰ می باشد. با افزایش زمان نگهداری در تمام درجه حرارتها مقاومت به سایش کاهش پیدا می کند. بررسی سطوح سایش نشان می دهد که مکانیزم سایش عمدتا سایش خراشان و ورقه ای شدن است.

واژه های کلیدی: فولاد TRIP، نورد سرد، عملیات حرارتی ،خواص مکانیکی و رفتار سایش

فهرست مطالب:

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه: ۲

فصل دوم: مروری بر منابع ۵

۲-۱ تکنولوژی فولادهای چند فازی با استحکام بالا ۶

۲-۲ پروسه تولید فولادها با استحکام بالا ۹

۲-۳ روند پیدایش فولادهای TRIP ۱۰

۲-۴ تکامل میکروساختار ۱۵

۲-۵ فولاد TRIP نورد سرد شده: ۲۱

۲-۶ روند تولید فولاد TRIP ۲۲

۲-۶-۱ عملیات حرارتی: ۲۲

۲-۶-۲ آنیل جزئی ۲۲

۲-۶-۳ تبدیل ایزوترمال به بینیت ۲۵

۲-۷ عناصر آلیاژی در فولادهای TRIP ۲۶

۲-۷-۱ سیلیسیم : ۲۷

۲-۷-۲ منگنز : ۳۱

۲-۷-۳ فسفر : ۳۲

۲-۷-۴ آلومینیم: ۳۲

۲-۷-۵ نیوبیوم: ۳۳

۲-۷-۶ مولیبدن: ۳۳

۲-۷-۷ مس: ۳۴

۲-۸ مارتنزیت و فولادهای TRIP: ۳۴

۲-۸-۱ استحاله مارتنزیتی در فولادهای TRIP : ۳۶
۲-۹ تنش بحرانی لازم برای انجام استحاله مارتنزیتی ۴۳
۲-۱۰ سینتیک استحاله ۴۶
۲-۱۱ عملکرد مکانیکی: ۴۸
۲-۱۲ فاکتورهای موثر بر عملکرد مکانیکی فولاد TRIP: ۵۱
۲-۱۲-۱ نسبت هر یک از فازها: ۵۱
۲-۱۲-۲ پایداری آستنیت باقی مانده: ۵۲
۲-۱۲-۲-۱ بررسی نقش آستنیت باقی مانده و تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص مکانیکی فولاد TRIP ۵۵
۲-۱۳ پارامترهای آزمایش: ۵۷
۲-۱۳-۱ دما: ۵۷
۲-۱۳-۲ نرخ کرنش: ۵۸
۲-۱۳-۳ بیان تنش و کرنش: ۵۹
۲-۱۳-۴ مارتنزیت تشکیل شده ناشی از کرنش: ۶۰
فصل سوم: مواد و روشها ۶۴
۳-۱ مواد آزمایش: ۶۵
۳-۳ بررسی خواص مکانیکی فولاد TRIP : ۶۷
۳-۳-۱ آزمایش کشش: ۶۷
۳-۳-۲آزمایش سایش خشک: ۶۸
۳- ۴ بررسی میکروسکوپی ریز ساختار : ۷۲
۳-۴-۱ متالوگرافی ۷۲
۳-۴-۲ میکروسکوپ نوری ۷۴
۳-۴-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۷۵

۳-۴ -۴ آزمایش پراش اشعه X: ۷۵

۳-۴-۵ تکنیک اندازه گیری کسر حجمی آستنیت باقی مانده : ۷۶

فصل چهارم: نتایج ۷۸

۴-۱بررسی های ریز ساختاری ۷۹

۴-۱-۱مشاهدات میکروسکوپی ریز ساختاری ۷۹

۴- ۲بررسی خواص مکانیکی فولاد چند فازی ۸۷

۴-۲-۱نتایج آزمایش کشش ۸۷

۴-۲-۲ نتایج میکروسختی سنجی ۸۸

٤-۳ نتایج آزمایش سایش ۸۹

۴-۳-۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطوح سایش ۸۹

۴-۳-۲ نمودار کاهش وزن ۹۴

۴-۳ -۳ نمودار حجم سایش: ۹۵

۴-۳-۴ نمودار های نرخ سایش : ۹۷

۴-۵ نتایج آنالیز XRD ۹۹

فصل پنجم: بحث ۱۰۳

فصل ششم: نتیجه گیری کلی ۱۲۳

مراجع ۱۲۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه:

تا کنون تلاشها و مطالعات بسیاری به منظور کاهش وزن بدنه اتومبیلها و بهینه سازیی مصرف سوخت و در نتیجه کاهش میزان گاز خروجی به منظورحفظ محیط زیست صورت گرفته است[۱،۲] . در پی مطالعات انجام شده درصده۱۹۰۰ نیاز به تولید ورقهای فولادی نورد سرد شده با استحکام بالا و قابلیت شکل پذیریی عالی شدت گرفت [۳]. در این راستا ابتدا فولاد با میکروساختار دو فازی با بالانس قابل توجهی در استحکام و انعطاف پذیری ایجاد وسپس پدیده TRIPبرای اولین بار توسط Zackay و همکارانش درسال۱۹۶۷در فولادهای تک فاز آستنیتی مشاهده شد [۴] . این نوع فولاد حاوی درصد بالایی از عناصر گران قیمت NiوCr بوده و تنها در موارد خاصی کاربرد صنعتی داشت. در سال ۱۹۸۷ Matsmura این پدیده را بروی فولادهای کم آلیاژیC-Mn-Si مشاهده کرد[۱،۵]. امروزه دستیابی به فولاد TRIP و مقادیر بالای آستنیت باقی مانده در فولاد های حاوی درصد کم Si-C با اعمال عملیات حرارتی مناسب نظیر آنیل جزئی، سرمایش و نگهداری در منطقه انجام استحاله بینیتی با تنظیم زمان مناسب ،امکان پذیر می باشد [۶]. اخیرا بیشترین توجه بر روی تولید فولادهای کم آلیاژ C-Mn-Si با میکرو ساختار پیچیده حاوی زمینه فریتی که در آن فازهای بینیت وآستنیت باقی مانده و مارتنزیت پخش شده اند، صورت گرفته است. فولادهای چند فازه نسل جدید فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا و قابلیت شکل پذیری استثنایی هستندکه در صنایع اتومبیل سازی باعث کاهش در وزن و افزایش ایمنی خودرو می گردند. علاوه بر این، این نوع فولادها به عنوان فولادهایی مقاوم در برابر زلزله کاربرد بسیاری دارند[۵،۶] . بالانس قابل توجه استحکام و انعطاف پذیری نتیجه وقوع پدیده TRIP و استحاله تبدیل آستنیت به مارتنزیت می باشد. دو مکانیزم که این پدیده را شرح می دهند

عبارتند از : ۱) ایجاد جوانه مارتنزیت در اثر اعمال تنش خارجی در جهت اعمال نیرو ۲) کرنش پلاستیک اطراف فازها در اثر تغییر حجم و شکل همراه با استحاله جابجایی[۷] .

پدیده TRIP در میکرو ساختار حاوی کسر حجمی بالایی از فازهای داکتیل نظیر (فریت وآستنیت) رخ می دهد. افزایش سختی در این نوع فولاد در اثر تبدیل آستنیت باقی مانده به فاز مارتنزیت می باشد. این پدیده با افزایش حجم همراه است. پارامتر کلیدی برای پدیده TRIP پایداری آستنیت باقی مانده می باشد[۸]. این پارامتر توسط اندازه دانه آستنیت باقی مانده و ترکیب شیمیایی فولاد بخصوص میزان کربن آن کنترل می شود. عناصر آلیاژی مهم دیگری نظیر Al و Si به منظور جلوگیری از رسوب کاربید در طول فرایند تولید فولاد اضافه می شوند. ترکیب استحکام بالا و انعطاف پذیری زیاد فولاد توسط این پارامتر کلیدی تعیین می گردد[۹]. وجود عناصری نظیر C، Si ،Mn به همراه عملیات حرارتی آنیل جزئی، نگهداری فولاد در منطقه دوفازی($\alpha+\gamma$) ونگهداری ایزوترمال دردمای استحاله بینتی منجر به ایجاد فولاد بامیزان آستنیت باقیمانده بالا می شود. ساختار مناسب پدیده TRIPرا میتوان توسط دو فرایند عملیات ترمو مکانیکی ویا عملیات حرارتی نیز بدست آورد. میکروساختار فولاد های TRIPبا اعمال دومرحله عملیات حرارتی بعدازفرایند نورد سرد ایجاد می شود . اولین مرحله عملیات حرارتی گرمایش تا منطقه دو فازی($\alpha+\gamma$) ویاگرمایش تا منطقه تک فازی آستنیت بسته به ترکیب شیمیایی فولاد صورت می گیرد،این امر منجر به ایجاد مقادیر متنابهی آستنیت وفریت می گردد[۱۰]. بعد از آنیل یک مرحله سرمایش به منظور جلوگیری از ایجاد مقادیر بیشتر فریت صورت می گیرد .نهایتا فولاددر منطقه استحاله ایزوترمال بینیتی درحمام نمک ایزوترمال نگهداری می شود که بسته به زمان نگهداری در این منطقه بینیت بالایی ویاپایینی تشکیل می گردد . درنهایت با کوئنچ در آب قسمتی از آستنیت به

مارتنزیت تبدیل می شود[۱۱]. هر فرایند ترمومکانیکی که بتواند باعث ریز تر شدن ساختار نهایی و کاهش سهولت حرکت نابجایی ها گردد، بهبود خواص مکانیکی را به دنبال خواهد داشت. یکی از رسالتهای اصلی عملیات ترمومکانیکی حصول موادی با ساختار ریزتر و یکنواخت تر است.

تشکیل فازهای بینیت و مارتنزیت در فولاد در شرائط سرد کردن غیر تعادلی را می توان به عنوان یکی دیگر از مکانیزمهای استحکام دهی فولاد در عملیات مختلف ترمومکانیکی دانست. علت افزایش استحکام فولاد با تشکیل فاز بینیت و مارتنزیت به نسبت فازهای تعادلی نظیر فریت، پرلیت و سمنتیت در ماهیت ساختاری و چگونگی تشکیل آنها نهفته است.تشکیل مارتزیت و بینیت با مکانیزم برشی صورت می گیرد. ماهیت این تحولات باعث بروز درصد بالایی از عیوب ساختاری نظیر نابجایی ها ، مرزهای دوقلویی و عیوب نقطه ای می گردد. از سوی دیگر وجود صفحات با تراکم بالا و نامنظم در ساختار اینگونه فازها و همچنین کرنشهای درونی و پسماند ناشی از استحاله با مکانیزم برشی عوامل مهم دیگری در جهت کاهش قابلیت حرکت نابجائی ها در اینگونه ساختارها هستند.

هدف از کار حاضر بررسی تأثیر درجه حرارت استحاله بینیتی و زمان نگهداری در این منطقه برروی میکروساختار و خواص مکانیکی و سایشی فولاد کم آلیاژی C-Si-Mn می باشد.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱ تکنولوژی فولادهای چند فازی با استحکام بالا

مدت زمان بسیاری از مشاهده استحاله مارتنزیتی در جامدات می گذرد با این وجود به علت پتانسیل فوق العاده و کاربرد وسیع این دگرگونی ، تحقیق بر روی آن توجه بسیاری را در طول سالیان به خود معطوف ساخته است. استحاله مارتنزیتی در بر گیرنده شکل گیری همدوس یک فاز جدید ، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی و به صورت تحولی غیر نفوذی است که در اثر برش شبکه به صورت هموژن رخ می دهد [۱۱].

تا کنون انواع مختلفی از استحاله مارتنزیتی در هر دو گروه آلیاژهای آهنی و غیر آهنی تشخیص داده شده است که می توان آنها را از یکدیگر به واسطه سینتیک ، موفورلوژی ، کریستالوگرافی و یا ساختار داخلی از یکدیگر متمایز نمود . برخی از مشخصه های دگرگونی مارتنزیتی در زیر خلاصه شده است .

- استحاله مارتنزیتی اترمال – در این نوع استحاله،واکنش فقط مادامیکه دما تغییر می کند پیشرفت می کند و پروسه جوانه زنی بدون فعالسازی گرمایی رخ می دهد .
- استحاله مارتنزیتی ایزوترمال – استحاله در دمای ثابت صورت می پذیرد که توسط جوانه زنی آرام اما رشد فوق العاده سریع مشخص می شود . مقدار جوانه مارتنزیت ایجاد شده به دو پارامتر زمان و دما بستگی دارد و با افزایش زمان دمای خاص واکنش رخ می دهد .
- استحاله مارتنزیتی انفجاری (Burst)در این نوع ، دگرگونی به طور ناگهانی در دمای M_{I3}[۱] آغاز می شود وکسر حجمی عظیمی از مارتنزیت در یک لحظه (در حد میلی ثانیه) ایجاد می شود.

---

[۱]: دمای انفجار استحاله مارتنزیتی

- استحاله مارتنزیتی در اثر عملیات مکانیکی – استحاله مارتنزیتی ناشی از اعمال تغییر فرم به دو قسمت طبقه بندی می شود ، مارتنزیت ناشی از تنش[۱] و مارتنزیت ناشی از کرنش[۲]، که بر اساس مبداء سایتهای جوانه زنی محل شروع استحاله نام گذاری می شوند .

پدیده TRIP[۳] که از لحاظ ترمودینامیکی به پایداری فازآستنیت بستگی دارد برای اولین بار بر روی فولادهای پرآلیاژ نیکل _ کرم توسط Zacky و همکارانش بررسی شد [۳].

پلاستیسیته ناشی از استحاله تحت عنوان افزایش انعطاف پذیری در طول تغییر فاز شناخته شده و این پدیده تا کنون در فولادها وسایر آلیاژها نیز مشاهده شده است [۱۲] . زمانی که استحاله مارتنزیتی تحت اعمال تنش رخ می دهد،کرنش ماکروسکوپی ، که پلاستیسیته دگرگونی نامیده می شود،دگرگونی را همراهی می کند . این کرنش به صفحات مارتنزیتی مختلفی که تحت تنش متمایل و کج شده اند ، نسبت داده می شود [۱۳].

فولادهای کم آلیاژ دو فازی که محتوی فازآستنیت شبه پایدار هستند حاوی خواص مکانیکی مطلوب نظیر ، استحکام بالا ، انعطاف پذیری و تافنس به علت انجام استحاله مارتنزیتی ناشی از تغییر فرم هستند. رفتار تغییر فرم این گونه فولادها در میان سایر فاکتورها به شدت به استحاله مارتنزیتی ناشی از تغییر فرم و رفتار تغییر فرم هر یک از میکرو اجزاء سازنده به طور جداگانه بستگی دارد . زمانی که استحاله مارتنزیتی در محدوده الاستیک رخ می دهد ، همیشه منجر به بهبود خواص نمی شود .اغلب اوقات این حالت در عملیات حرارتی و کوئنچ فولاد صورت می پذیرد . بعد از عملیات حرارتی بیشتر اجزاء به منظور بهبود تافنس تمپر می شوند. با این وجود،

---

۱ :stress-assisted martensite
۲ : Strain-assisted martensite
۳ : Transformation induced plasticity

زمانی که استحاله مارتنزیتی در محدوده پلاستیک ، رخ می دهد ، ممکن است باعث افزایش بهبود انعطاف پذیری و قابلیت شکل پذیری گردد.

استحاله مارتنزیتی در جامدات به عنوان اولین گروه انتقال فازی در نظر گرفته شده است که بدون نفوذ و با مشارکت کرنش الاستیک که کرنش استحاله نیز نامیده می شود ، صورت می پذیرد.کرنش استحاله از دو جزء سازنده تشکیل شده است.

۱. کرنش مخالف با شبکه[۱]

۲. کرنش موافق با شبکه[۲]

که می تواند به صورت لغزش ویا دوقلویی باشد [۱۵،۱٤]. کرنش Bain به صورت تبدیل هندسی فاز موجود با شبکه FCC (آستنیت)و تولید فاز با شبکه bc t و یا bcc (مارتنزیت) شرح داده می شود.

کرنش موافق شبکه نطبق بر مرحله آزادسازی تنشهای درونی تولیدشده توسط کرنش Bain در طول برش در امتداد صفحات ایجاد شده در اثر تشکیل صفحات کریستالی خاص habit plane،می باشد.

به علت تقارن زیادآستنیت ، احتمال وجود چندین جزء کرنش Bain می رود و بنابراین متغیر های مارتنزیتی [۳] متفاوتی مطابق با صفحات کریستالی انجام دگرگونی و کرنشهای پلاستیک شکل می گیرد.به منظور مینیمم سازی انرژی کرنش مارتنزیت از صفحات کریستالوگرافی خاص شناخته شده به عنوان habit plane ایجاد می شود.

---

۱ : Lattice variant Bain strain
۲ Lattice invariant strain
۳ : martensitic variants

در غیاب تنشهای هیدرواستاتیک ، در اجزاء سازنده کرنش Bain جهت گیری ترجیحی صورت می گیرد.

۲-۲ پروسه تولید فولادها با استحکام بالا

همانگونه که ذکر شد خصوصیات جذاب فولادهای TRIP از زمان گزارش این پدیده توسط Zacky و همکارانش در سال ۱۹۶۷ مد نظر مجامع علمی و صنعتی قرار گرفت .فولادهای TRIP توسعه یافته توسط Zacky و همکارانش توسط عملیات حرارتی (انحلال حرارتی)محلول در دمای (۱۱۲۰°C)،آسفر مینگ (۸۰% ، ۴۵۰ °C) و سرمایش تا زیر صفردرجه سانتیگراد ،تولید شدند، به طور کلی امروزه از دو روش ترمودینامیکی در صنعت به منظور تولید فولاد با خواص مطلوب مورد استفاده قرارگرفته شده است . روش اول شامل آنیل جزئی محصولات نوردسردشده همراه با نگهداری در منطقه استحاله بینیتی به منظور دستیابی به فولادهای دوفازی نوردسردشده با استحکام بالا، می باشد[۱۴،۱۶].

عمده ترکیب شیمیایی فولادهای TRIP بررسی شده توسط Zacky و همکارانش در جدول ۲-۱ آمده است.

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0.31	1.02	2.02	8.80	8.31	3.8
0.25	1.00	2.08	8.88	7.60	4.0
0.25	1.00	0.92	9.80	7.80	4.00
0.25	-	-	-	24.4	4.10
0.29	-	1.25	-	22.0	4.00
0.24	-	1.25	-	20.97	3.37

جدول ۲-۱: ترکیب شیمیایی اولین گروه فولادهای TRIP بررسی شده توسط Zacky

در روش بعد نورد گرم فطعه آستنیتی همراه با نگهداری در منطقه فریتی و به دنبال آن تغییر فرم در محدوده بینیتی به منظور دستیابی به فولاد چند فازه با استحکام بالا ومیکروساختاری حاوی بینیت ، فریت،آستنیت باقی مانده واحتمالا تشکیل مقداری مارتنزیت آسفرمینگ[1] ،صورت می پذیرد.برای روش اول ، در طول مرحله اول پروسه آنیل ، دو دگرگونی بارز اتفاق می افتد. زمینه فریتی تغییر فرم یافته، تبلور مجدد شده وآستنیت شکل می گیرد.در طول مرحله دوم، بینیت ایجاد می شود و فقط قسمتی ازآستنیت در دمای اتاق به عنوان آستنیت شبه پایدار باقی می ماند و قسمت دیگر آن به مارتنزیت تبدیل می شود[۱۷]. وجود توسعه و پیشرفتهای صورت گرفته در این راستا ، هنوز مشکلات زیادی در تولید فولادهای دو و یا چند فازی کم آلیاژ با استحکام بالا وجود دارد . مقادیر زیاد Si موجود در این نوع فولادها مشکلاتی در ریخته گری ایجاد می کند و همچنین بر روی کیفیت سطح قطعه تاثیر گذار است و باعث بروز لایه قرمز[2] و ایجاد عیوب و مشکلاتی در طول گالوانیزاسیون به روش غوطه وری در حمام مذاب به واسطه فقدان تر شونده گی و ایجاد لایه های ترد و شکننده بین فلزی می کند

۲-۳ روند پیدایش فولادهای TRIP

فولادهای دوفازی معمولی با استحکام بالا تا کنون در گستره وسیعی از صنایع تولید و ساخت اتومبیل با هدف افزایش نیاز به ایمنی و کاهش وزن،ملاحظات اقتصادی وموارد پیرامون حفظ محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است.

---

۱ : Asferming
۲ : red scale

با وجود پیشینه بکارگیری وسیع این نوع فولادها با استحکام بالا ، این آلیاژها معمولا فاقد انعطاف پذیری هستند.این امر یکی از مضر ترین ویژگی ها در عملیات شکل دهی فلزات که نیازمند مقادیر مشخصی انعطاف پذیری هستند، به شمار می رود .

برای دستیابی به این هدف، تحقیقات بسیاری جهت تولید انواع مختلفی از فولادها با ترکیب مطلوبی از استحکام و انعطاف پذیری ، صورت پذیرفت. فولادهای کم آلیاژ چند فازی TRIP با میکرو ساختار حاوی فریت جزئی،آستنیت باقی مانده ،بینیت و مقداری مارتنزیت مستعد برای جایگزین شدن بجای فولادهای دو فازی با استحکام بالا بوده و علت این امر خاصیت حفظ انعطاف پذیری به واسطه وقوع پدیده TRIP در این نوع آلیاژها،می باشد.

فولاد های TRIPبه عبارتی فولاد های انعطاف پذیر در اثر انجام استحاله ، متکی بر انجام استحاله ماتنزیتی در طول تغییر فرم می باشند.دو نوع مختلف از این نوع فولادهاوجود دارد. فولادهای TRIP -aided و فولادهای TRIP-Assistted. گروه اول میکرو ساختاری کاملاآستنیتی دارد[۱۸] و استحکام و انعطاف پذیری عالی از خود نشان می دهند. این خواص استثنایی به علت حضورآستنیت باقی مانده ای است که در اثر اعمال تنش و یا کرنش پلاستیک به مارتنزیت تبدیل شده و باعث به تاخیر انداختن پدیده گلوئی می شود. به واسطه آلیاژی کردن فولاد با مقادیر بسیار زیاد نیکل و یا سایر عناصر گران قیمت پایدار کننده آستنیت بدست آمده است. TRIP-Assistted میکرو ساختاری پیچیده دارد که در آن آستنیت مهمترین اما کمترین فاز موجود را در بر می گیرد. علاوه بر این، این نوع فولادهای کم آلیاژ TRIP از لحاظ اقتصادی بسیار مناسب و مقرون به صرفه هستند زیرا نیاز به استفاده از عناصر آلیاژی گران قیمت نظیر مقادیر زیادی از عناصر نیکل و کروم معمول در فولادهای TRIP-aided را بر طرف می سازد[۱۹،۲۰]. مابقی