بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مواد

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی متالورژی
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

بررسی تأثیر بور بر نانوساختار و خواص مکانیکی آلومینایدآهن تولیدی به روش آلیاژسازی مکانیکی

استادان راهنما :
دکتر غلامحسین اکبری
دکتر کمال جانقربان

مؤلف :
سعیده ایزدی

شهریور ماه ۱۳۸۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی ازشرایط احراز کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مواد

دانشکده فنی ومهندسی

دانشگاه شهیدباهنر کرمان

تسلیم شده است وهیچگونه مدرکی به عنوان فراغت ازتحصیل دوره مزبورشناخته نمی شود.

نام ونام خانوادگی: سعیده ایزدی

امضاء:

دانشجو: سعیده ایزدی

استاد راهنما۱: دکتر غلامحسین اکبری

استاد راهنما ۲: دکتر کمال جانقربان

داور۱: دکتر مرتضی زندرحیمی

داور۲: دکتر مریم احتشام زاده

نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر فرشته بختیاری (دانشگاه شهید باهنر)

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به دو ستاره درخشان عمر

به دو محراب دلم، دو عبادتگاه جانم

خورشید و ماهی که در آسمان عمرم می تابند

دو فرشنه ای که دریای مهر و فداکاریشان را کرانه ای نیست

پدر و مادر مهربانم

به پاس قطره ای از دریای بزرگی شان.

و

تقدیم به تمام کسانی که از صمیم قلب دوستشان دارم

آنانکه همیشه بی‌ریاترین محبت‌ها را نثارم کرده‌اند.

سپاس :

ایزد منان را که به انسان اندیشه بخشید تا بر کائنات و رازهای طبیعت دست یازد و به انسان نیروی قلم داد تا نقش خویش را جاودانه سازد و بار سنگین امانت الهی را بر دوش کشد.

این رساله پیشکش به محضر اساتید عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری و دکتر کمال جانقربان که الگوی فروتنی و مهربانی توام با دانش وآگاهی بوده و هرگز مرا از خوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته و توصیه ها و راهنمایی های ارزنده شان همواره رهگشای زندگیم بوده و خواهد بود. بر خود لازم می دانم که نهایت تشکر و قدردانی را از ایشان به جا آورم.

سپاس فراوان دارم از دو استاد بزرگوارم جناب آقای دکترمرتضی زند رحیمی و سرکار خانم دکتر مریم احتشام زاده که مسوولیت داوری این رساله را بر عهده گرفتند و در تصحیح آن دقت فراوان مبذول داشتند. برای تمامی این عزیزان که از دریای علمشان با صبر و بردباری سیرابم کردند آرزوی سلامتی و توفیق روزافزون دارم.

به پاس قطره ای ازدریای بزرگی شان.

چکیده

ترکیبات بین فلزی FeAl دارای خواص جالبی مانند استحکام ویژه بالا، مقاومت به خوردگی عالی و استحکام خوب در دماهای میانی می‌باشند، اما در دماهای بالا استحکام نسبتا کمی داشته و در دمای اتاق داکتیلیتی کششی اندکی دارند. خوشبختانه کاهش اندازه دانه تا محدوده نانومتر و افزودن بور به این آلیاژها روش‌هایی است که برای بهبود داکتیلیتی ارائه می‌شود.

در این تحقیق آلیاژ مکانیکی، رفتار تفجوشی و خواص مکانیکی آلیاژهای Fe-۵۰Al، Fe-۴۹/۵Al-۱B و Fe−۴۷/۵Al-۵B مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آنالیز پراش پرتو X(XRD) پودرها نشان داد که آلیاژ سازی پس از ۵۰ ساعت آسیاکاری کامل شده است، همچنین با افزایش درصد بور اندازه نانو کریستال های ایجاد شده اندکی کاهش می‌یابد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری(TEM) نمونه ها نشان داد که در نمونه‌های حاوی بور بیشتر، مقداری فاز آمورف نیز تشکیل شده است. رفتار تفجوشی پودرها پس از فشردن در دمای ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت زمان ۳ و ۵ ساعت بررسی شد. محلول جامد نامنظم نانوساختار ایجاد شده پس از آلیاژسازی مکانیکی به نانوساختارهای ترکیب بین فلزی منظم تبدیل شد. میکروسختی نواحی بدون تخلخل با افزایش زمان و دمای تفجوشی کاهش یافت ولی زمان و دمای تفجوشی اثری بر استحکام تسلیم فشاری نمونه ها نداشت. افزایش زمان و دمای تفجوشی سبب افزایش کرنش شکست فشاری نمونه ها شد. همچنین افزایش درصد بور در دما و زمان ثابت تفجوشی سبب افزایش میکروسختی و استحکام تسلیم شد.

کلمات کلیدی: آلومیناید آهن، نانوساختار، آلیاژسازی مکانیکی، تفجوشی، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD).

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول - مقدمه ۱

فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده ۵

۲-۱- خواص فیزیکی FeAl ۶

۲-۲- انواع نواقص نقطه‌ای شبکه‌ای ترکیب FeAl ۷

۲-۳- خواص مکانیکی FeAl ۹

۲-۳-۱- سختی و استحکام تسلیم ۹

۲-۳-۲- رفتار استحکام تسلیم با سرعت سرد کردن ۱۱

۲-۳-۳- رفتار استحکام تسلیم با تغییر دما ۱۲

۲-۳-۴- راه‌های بهبود استحکام تسلیم و مقاومت خزشی دمای بالا ۱۲

۲-۳-۵- چکش خواری FeAl ۱۳

۲-۳-۶- تأثیر B برخواص FeAl ۱۵

۲-۴- روش‌های تولید FeAl ۱۸

۲-۵- کاربردهای FeAl ۱۹

۲-۶- مواد نانوساختار ۲۰

۲-۶-۱- روش‌های تولید مواد نانوساختار ۲۱

۲-۶-۲- خواص مواد نانوساختار ۲۳

۲-۶-۲-۱- نفوذ و قابلیت تفجوشی ۲۳

۲-۶-۲-۲- پایداری حرارتی و رشد دانه مواد نانوساختار ۲۴

۲-۶-۲-۳- خواص مکانیکی مواد نانوساختار ۲۵

۲-۶-۲-۳-۱ استحکام مواد نانوساختار ۲۵

۲-۶-۲-۳-۲ چکش‌خواری و شکست مواد نانوساختار ۲۷

۲-۷- آلیاژسازی مکانیکی ۲۸

۲-۷-۱- قابلیت‌های آلیاژسازی مکانیکی ۲۹

۲-۷-۱-۱- افزایش حد حلالیت در حالت جامد ۳۰

۲-۷-۱-۲- بی‌نظم شدن ترکیبات بین‌فلزی منظم ۳۰

۲-۷-۱-۳- تشکیل فاز آمورف ۳۰

۲-۷-۱-۴- تولید مواد نانوساختار به روش آلیاژسازی مکانیکی ۳۱

۲-۷-۱-۴-۱- مکانیزم شکل‌گیری نانوساختارها در حین آسیاکاری ۳۲

۲-۷-۲- عوامل تأثیرگذار بر فرآیند آلیاژسازی مکانیکی.....۳۴
۲-۷-۲-۱- نوع آسیا.....۳۴
۲-۷-۲-۲- محفظه آسیاکاری.....۳۴
۲-۷-۲-۳- سرعت آسیاکاری.....۳۵
۲-۷-۲-۴- زمان آسیاکاری.....۳۵
۲-۷-۲-۵- گلوله‌های آسیاکاری.....۳۵
۲-۷-۲-۶- نسبت وزنی گلوله به پودر.....۳۶
۲-۷-۲-۷- فضای اشغال شده محفظه توسط پودر و گلوله‌ها ۳۶
۲-۷-۲-۸- اتمسفر آسیاکاری.....۳۶
۲-۷-۲-۹- عامل کنترل فرآیند.....۳۷
۲-۷-۲-۱۰- دمای آسیاکاری.....۳۷
۲-۷-۳- مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی.....۳۷
۲-۷-۳-۱-ترکیبات داکتیل - داکتیل.....۳۹
۲-۷-۳-۲- ترکیبات داکتیل -ترد.....۴۰
۲-۷-۳-۳- ترکیبات ترد - ترد.....۴۱
۲-۸- مکانیزم آلیاژسازی در مخلوط پودری Fe-۵۰at%Al.....۴۱
۲-۹- کارهای انجام شده بر روی FeAl.....۴۳
۲-۹-۱- آلیاژسازی مکانیکی FeAl.....۴۳
۲-۹-۲- آلیاژسازی با بور.....۵۱
فصل سوم- مواد و روش تحقیق ۶۲
۳-۱- مواد مورد استفاده.....۶۳

۳-۲- آسیای مورد استفاده.....۶۴
۳-۳- مراحل انجام کار.....۶۵
۳-۳-۱- فرآیند آسیا کاری.....۶۵
۳-۳-۲- آزمایشات انجام شده بر روی پودرها.....۶۵
۳-۳-۲-۱ آزمایش تفرق اشعه x (XRD) ۶۵
۳-۳-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM).....۶۶
۳-۳-۲-۳- میکروسکوپ الکترونی عبوری(TEM).....۶۶
۳-۳-۳- فرآیند آنیل کردن.....۶۶
۳-۳-۴- تعیین پارامترهای ساختاری با استفاده از نتایج XRD.....۶۷
۳-۳-۴-۱- اندازه کریستالی و کرنش شبکه‌ای.....۶۷
۳-۳-۴-۲- پارامتر شبکه ای.....۶۸
۳-۳-۴-۳- پارامتر نظم پردامنه.....۶۹
۳-۳-۵- تهیه نمونه جهت انجام تفجوشی.....۶۹
۳-۳-۶- عملیات تفجوشی نمونه‌ها.....۷۱
۳-۳-۷- آزمایشات انجام گرفته بر روی قطعات حاصل از تفجوشی.....۷۲
۳-۳-۷-۱- آزمایش تفرق اشعه X (XRD).....۷۲
۳-۳-۷-۲- بررسی ریزساختار میکروسکوپی.....۷۲
۳-۳-۷-۲-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ۷۲
۳-۳-۷-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری(TEM).....۷۲
۳-۳-۷-۳- تعیین سختی نمونه‌های تفجوشی شده.....۷۲
۳-۳-۷-۴- آزمایش فشار.....۷۳
فصل چهارم- نتایج.....۷۴
۴-۱- آلیاژسازی مکانیکی FeAl.....۷۵
۴-۱-۱- بررسی تاثیر زمان آسیاکاری بر تکامل آلیاژسازی.....۷۵
۴-۲- آلیاژسازی با بور.....۷۷

۴-۲-۱- آنالیز فازی پودرهای آسیاکاری شده.....۷۷
۴-۲-۲- تغییرات مورفولوژیکی پودرها.....۷۸
۴-۲-۳- بررسی ساختار پودر توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری.....۷۹
۴-۳- بررسی رفتار تفجوشی پودرهای حاصل از آلیاژسازی مکانیکی.....۸۰
۴-۳-۱- آنالیز XRD قطعات حاصل از تفجوشی.....۸۲
۴-۳-۲- بررسی ساختار قطعه توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری..... ۸۴.
۴-۴- خواص مکانیکی نمونه های تفجوشی شده..... ۸۵
۴-۴-۱- آزمایش میکروسختی.....۸۵
۴-۴-۱- آزمایش فشار.....۸۷
۴-۴-۱-۱- شکست..... ۸۹
فصل پنجم -بحث و پیشنهادات.....۹۱
۵-۱- آلیاژسازی مکانیکی FeAl.....۹۲
۵-۱-۱- بررسی تاثیر زمان آسیاکاری بر روند تکامل آلیاژسازی..... ..۹۲
۵-۲- آلیاژسازی با بور.....۹۳
۵-۲-۱- آنالیز XRD و TEM پودرهای آسیاکاری شده.....۹۳
۵-۲-۲- تشکیل فاز آمورف.....۹۴
۵-۳- فرآیند تفجوشی.....۹۵
۵-۳-۱- آنالیز XRD و TEM نمونه های حاصل از تفجوشی..... ..۹۶
۵-۳-۲- پارامتر نظم پر دامنه..... ... ۹۷
۵-۴- خواص مکانیکی.....۹۹
۵-۴-۱- میکروسختی.....۹۹
۵-۴-۲- استحکام تسلیم ۱۰۰
۵-۴-۳- کرنش شکست..... ۱۰۱
۵-۵- تجزیه و تحلیل شکست فشاری.....۱۰۲
۵-۶- پینهادات.....۱۰۳
فصل ششم - نتیجه گیری.....۱۰۴
فهرست منابع.....۱۰۶

فصل اول

مقدمه

مقدمه

آلومیناید آهن اولین بار در سال ۱۹۳۰ میلادی شناسایی شد و در همان ابتدا نکته‌ای که توجه محققین را به خود جلب کرد مقاومت به خوردگی بسیار خوب این ماده بود. اما در آن سال‌ها توجه زیادی به خصوصیات مکانیکی این ماده نمی‌شد، تا این که در اواخر دهه ۵۰ میلادی و اوایل دهه ۶۰ میلادی کاهن و همکارانش به مطالعه‌ی دقیق خصوصیات مکانیکی این ترکیب بین‌فلزی پرداختند. پس از آن تلاش‌ها برای توسعه‌ی آلومینایدهای آهن به عنوان مواد سازه‌ای تحت حمایت نیروی هوایی(Marco Materials) و (Pratt and Whitney Aircraft)صورت پذیرفت[۱]. در همین هنگام مشاهده شد که این ترکیب قیمت نسبتاً کمی داشته و استفاده از آن سبب صرفه‌جویی در مصرف عناصر استراتژیک می‌شود، همچنین این ترکیب دارای چگالی کمتری نسبت به فولادهای ضدزنگ می‌باشد[۲-۵]. علاوه بر این، استحکام کششی آن نیز به خوبی قابل قیاس با استحکام کششی فولادهای آستنیتی و فریتی است[۶و۷]. این خواص سبب استفاده روزافزون آلومیناید آهن در کاربردهای بسیاری گردید.

مشکل عمده FeAl تردی تورقی یا شکست مرزدانه‌ای در دماهای خیلی پایین و کاهش سریع استحکام در دماهای بالای K ۷۵۰ می‌باشد. به منظور گسترش کاربرد آلومیناید آهن این مشکل باید حل شود. کاهش اندازه دانه به منظور توزیع همگن تنش در سراسر ماده روشی برای حل این مشکل می‌باشد. توزیع تصادفی موانع بر سر راه حرکت نابه‌جایی می‌تواند همچنین مؤثرباشد، توزیع ریز ذرات پایدار حرارتی نه تنها تمرکز تنش موضعی را کاهش می‌دهد بلکه همچنین خواص در دمای بالا را بهبود می‌بخشد. داکتیلیتی پلی کریستال FeAl در دمای اتاق وابسته به محیط آزمایش، نرخ کرنش، اندازه دانه، دمای آنیل، سرعت سردکردن و افزودن B است[۲، ۸و ۹].

بررسی‌های مختلف نشان داد که B تمایل به ممانعت از شکست مرزدانه‌ای FeAl با جدایش مؤثردر مرزدانه دارد. B با جدایش در مرزدانه مرز داکتیل - بریتل را به سمت مقادیر Al بیشتر منتقل می‌کند و از شکست مرزدانه‌ای جلوگیری می‌کند. مقدار کمی B در حد چند صد ppm داکتیلیتی تعدادی از بین فلزی‌های منظم را افزایش می‌دهد. در مورد FeAl نشان داده شده است که B در مرزهای دانه جدا شده و مانع شکست مرزدانه‌ای می‌شود. افزودن B به تنهایی قادر به

بهبود قابل توجه داکتیلیتی نمی‌باشد، چون تردی محیطی به صورت بین دانه‌ای در FeAl اتفاق می‌افتد. اثر مفید B جدایش در مرزهای دانه و افزایش چسبندگی مرزدانه می‌باشد[۱۰-۱۱].

در کنار پیشرفت‌های حاصل در بهبود داکتیلیتی، علل تردی دمای محیط آلومیناید آهن نیز شناخته شده است. بعد از آن با تحقق پیشرفت‌هایی در بهبود داکتیلیتی آلومیناید آهن، دوباره این ماده جایگاه سازه‌ای خود را باز یافت و بخصوص در کاربردهای سازه‌ای که در آن‌ها نیاز به مقاومت به خوردگی عالی احساس می‌شود، به کار گرفته شد. در ۱۵ سال اخیر تلاش‌ها و مطالعات بسیاری به منظور درک و بهبود خواص متالورژیکی آلومینایدهای آهن، با هدف تولید مواد مستحکم‌تر، داکتایل‌تر و مقاوم‌تر در برابر خوردگی برای کاربردهای سازه‌ای صورت پذیرفته است. همزمان با این سال‌ها، آلیاژسازی مکانیکی به عنوان راهی مؤثر در دستیابی به ساختار نانو توجه محققین و صنعتگران را به خود جلب نموده است. آلیاژسازی مکانیکی از این جهت که کاملاً در حالت جامد انجام می‌شود یک فرآیند منحصر به فرد است که باعث توزیع ریز فازهای نامحلول و مواد با اندازه ریز می‌شود. این تکنیک اجازه می‌دهدکه به برخی مشکلات مانند تفاوت زیاد در نقطه ذوب اجزا آلیاژی که منجر به جدایش نامطلوب و تبخیر می‌شود غلبه کنیم[۱۲].

هدف این تحقیق منظم کردن ترکیب بین فلزی آلومیناید آهن استوکیومتری توسط آنیل و افزودن بور به منظور افزایش داکتیلیتی در دمای اتاق می‌باشد. بدین منظور پودرهای آهن و آلومینیوم در نسبت اتمی برابر در دستگاه آسیای گلوله‌ای سیاره‌ای در سرعت و زمان ثابت آسیا شد. به منظور بررسی تأثیر بور بر خواص ریزساختاری و مکانیکی درصدهای متفاوتی از آن به مخلوط پودری آهن و آلومینیم افزوده شد به طوری که نسبت اتمی آن دو همچنان برابر باقی ماند. اندازه بلورها و نوع فازهای موجود توسط میکروسکوپ الکترونی عبوری[۱](TEM) و الگوی تفرق سطح منتخب[۲](SAD) به دست آمد. محصول به دست آمده از آسیاکاری در سرعت ثابت، با استفاده از دستگاه پرس سرد فشرده شد و چگالی قطعات به دست آمده با روش ارشمیدس اندازه‌گیری شد، سپس مورد آزمایش XRD[۳] قرار گرفت، نوع فازها، پارامترهای ساختاری مانند پارامتر نظم پر دامنه و اندازه کریستالی، با استفاده از تفرق اشعه X محاسبه شد. با استفاده از تصاویر TEM جدایش B در مرزهای دانه مشاهده شد. سختی نمونه‌های تفجوشی شده با استفاده از دستگاه میکروسختی تعیین گردید. آزمایش فشار یر روی نمونه‌ها انجام شد و استحکام تسلیم و

---

۱. Transmission electron microscopy.
۲. Selected area diffraction pattern.
۳. X-Ray diffraction analysis.

کرنش تا شکست محاسبه شد، در آخر از سطوح شکست نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی[1] (SEM) عکس‌برداری شد.

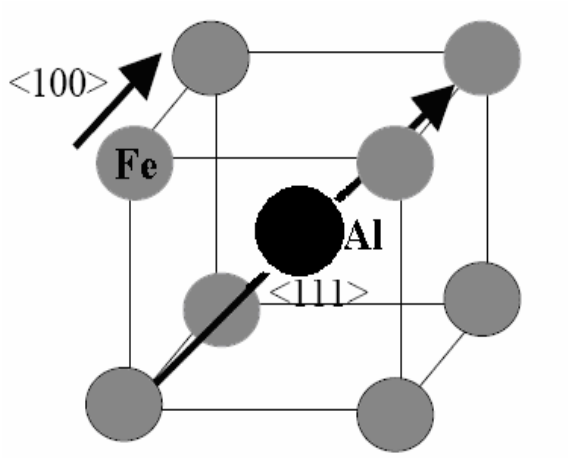
[1]. Scanning electron microscopy.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

۲ ۱ خواص فیزیکی FeAl

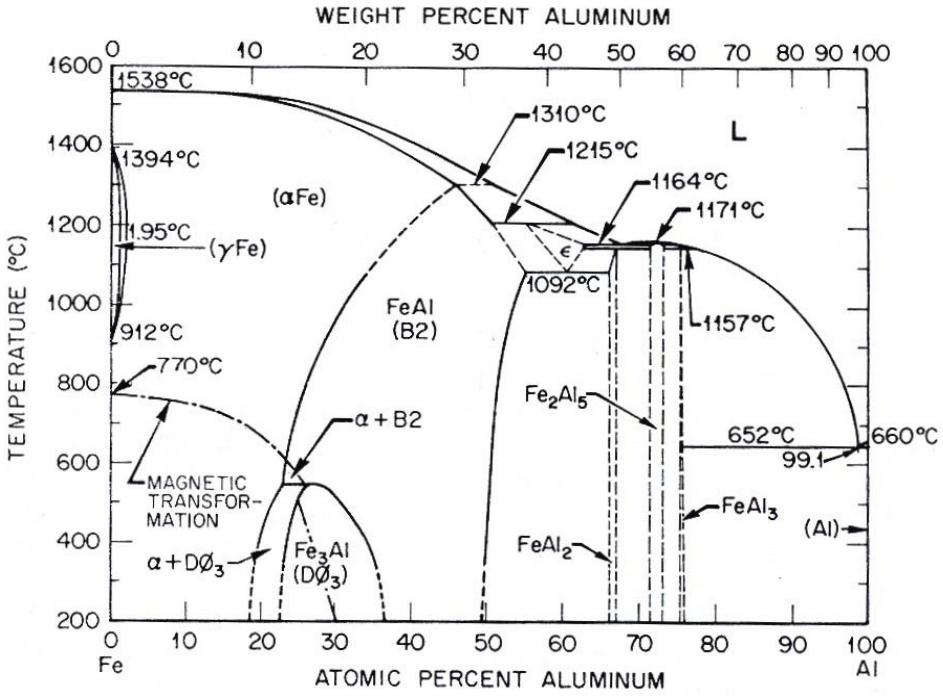
ترکیب بین‌فلزی FeAl دارای ساختار کریستالی B_2 مشابه با ساختار CsCl می‌باشد. در این ساختار اتم‌های Fe در گوشه‌های مکعب و اتم Al در مرکز مکعب در مختصات {۱/۱،۲/۲،۱/۲} قرار گرفته است(شکل۲-۱)[۲].



۲ ۱- ساختار کریستالی FeAl [۱۳].

محدوده تشکیل FeAl در دیاگرام تعادلی سیستم آهن-آلومینیوم بین ۳۶ تا ۵۰ درصد اتمی Al در دمای معمولی می‌باشد(شکل۲-۲) که در دماهای بالاتر این محدوده ترکیبی وسیع‌تر می‌گردد[۱۴]. مونوآلومیناید آهن دارای نقطه ذوب $^{\circ}C$ ۱۲۵۰، چگالی g/cm^3 ۵/۵۶ و مدول یانگ GPa ۲۶۰ می‌باشد[۲].

FeAl در مقایسه با دیگر آلیاژهای تجاری پایه آهنی دارای چگالی کمتر و نسبت استحکام به وزن بهتر بوده و دارای مقاومت الکتریکی بالاتری در مقایسه با بسیاری از المان‌های حرارتی فلزی می‌باشد ($\mu\Omega/cm$ ۱۷۰-۱۳۰) به علاوه FeAl دارای مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون عالی در دمای بالا می‌باشد[۱۴].



شکل۲-۲- دیاگرام فازی سیستم Fe-Al[۲].

۲ ۲ انواع نواقص نقطه‌ای شبکه‌ای ترکیب FeAl

FeAl دارای ساختار نقص نقطه‌ای پیچیده‌ای می‌باشد. به طور کلی ۴ نوع نقص نقطه‌ای درشبکه FeAl می‌تواند ایجاد گردد(شکل۲-۳)[۴،۱۴]. این نواقص عبارتند از:

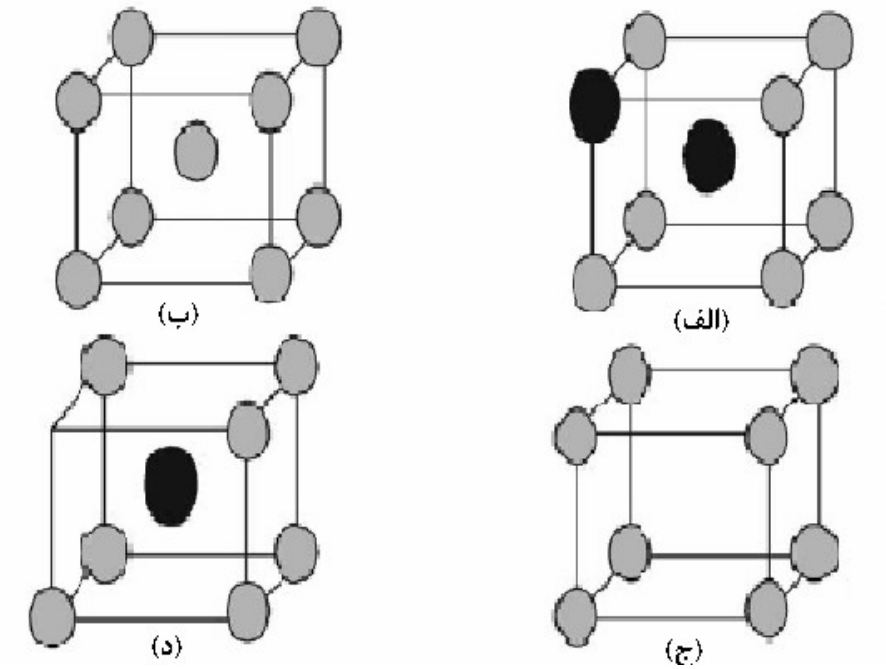
الف)اتم Al در مکان شبکه‌ای اتم Fe (α)[۱] ، (شکل ۳-۲ الف).

ب)اتم Fe در مکان شبکه‌ای اتم Al (β)[۲] ، (شکل ۳-۲ ب).

ج)تهی‌جایی در مکان شبکه‌ای اتم Al[۳] ، (شکل ۳-۲ ج).

د)تهی‌جایی در مکان شبکه‌ای اتم Fe[۴]، (شکل ۳-۲ د).

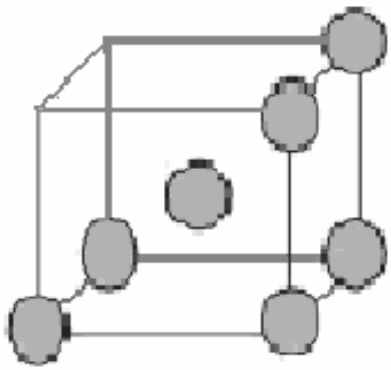
۱. Anti-Site Al Atom.
۲. Anti-Site Fe Atom.
۳. β Site Vacancy.
۴. α Site Vacancy



شکل۲-۳- نواقص شبکه‌ای در FeAl.[۱۴].

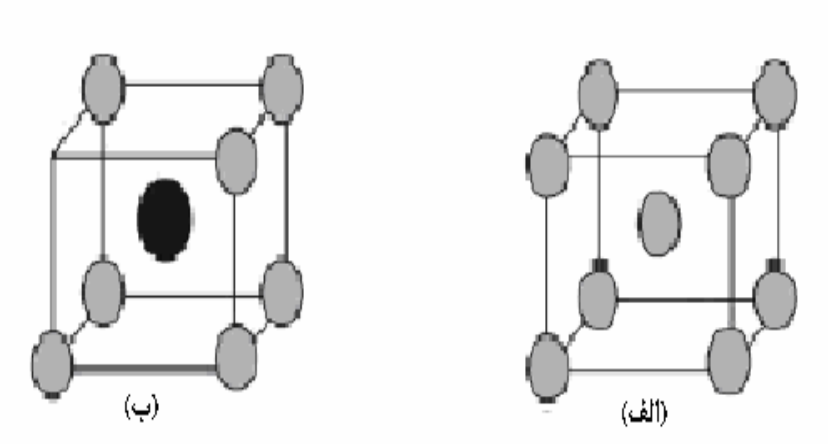
عوامل ایجاد کننده این نواقص شبکه‌ای می‌تواند عامل حرارتی و یا عامل غیر استویکیومتری باشد که بر حسب نوع عامل ایجاد کننده، ترکیبی از این نواقص نقطه‌ای در شبکه ایجاد می‌گردد.

۱- نواقص ناشی از حرارت :در اثر حرارت یک اتم Fe در مکان شبکه‌ای اتم Al قرار گرفته و دو تهی‌جای هم در مکان شبکه‌ای اتم Fe در ساختار کریستالی ایجاد می‌گردد (شکل۲-۴).



شکل۲-۴- نقص ایجاد شده در ساختار FeAl در اثر حرارت[۱۴].

۲- نواقص ناشی از غیر استویکیومتری: در اثر فاصله گرفتن از ترکیب استویکیومتری، با افزایش درصد اتمی Fe، نقص جانشینی در مکان شبکه‌ای Al، توسط اتم Fe ایجاد شده(شکل۲-۵الف) و با افزایش درصد اتمی Al ، تهی‌جای در مکان شبکه‌ای Fe به وجود می‌آید(شکل۲-۵ب)[۱۴] .



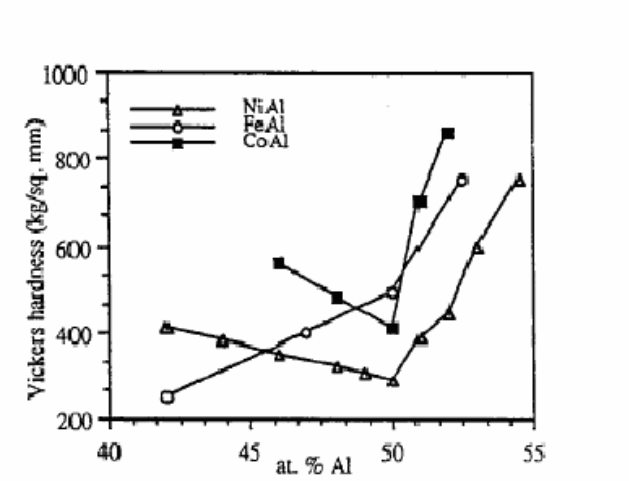
۲ ۵- نواقص ایجاد شده در ساختار FeAl در اثر فاصله از ترکیب استویکیومتری[۱۴].

بر این اساس در ترکیب FeAl در اثر حرارت دادن و نیز با افزایش در غلظت Al، غلظت بالایی از تهی‌جای در ساختار ماده ایجاد می‌گردد[۱۴]. وجود غلظت بالایی از تهی‌جای در مقایسه با دیگر آلومینایدها موجب گشته که خواص مکانیکی FeAl را به شدت تحت تأثیر خود قرار دهد که در زیر به بررسی این خواص می‌پردازیم.

۲ ۳ خواص مکانیکی FeAl

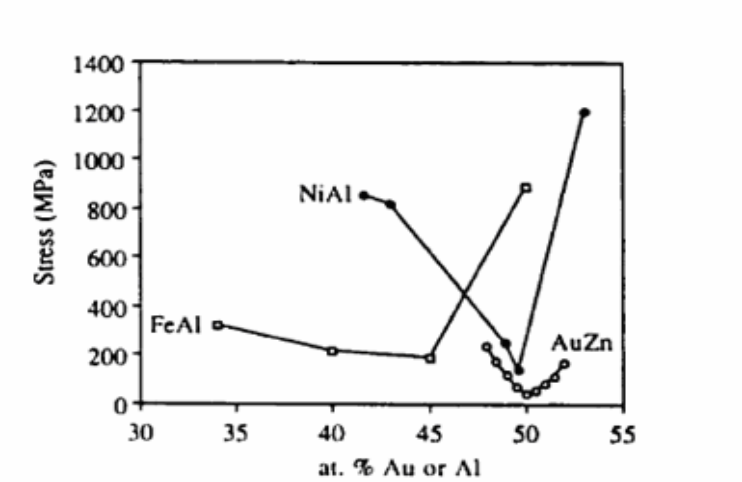
۲ ۳ ۱ سختی و استحکام تسلیم

شکل(۲-۶) رفتار سختی را به صورت تابعی از غلظت Al در آلیاژهای CoAl، NiAl و FeAl نشان می‌دهد. آلیاژهای CoAl وNiAl کمترین مقدار سختی را در ترکیب استویکیومتری دارا می‌باشند، در حالی‌که در آلیاژ FeAl افزایش پیوسته‌ای در سختی با افزایش در غلظت Al مشاهده می‌شود[۱۵].



شکل۲-۶- تغییرات سختی ویکرز بر حسب ترکیب در FeAl ، NiAl و CoAl[۱۵].

ناگپال و بیکر افزایش پیوسته در سختی را ناشی از تهی‌جاهای حرارتی دانستند که به راحتی در آلیاژهای FeAl حاوی غلظت بالای Al ایجاد می‌گردد[۱۵]. با کاهش دادن تهی‌جاهای حرارتی، توسط آنیل کردن در دمای پایین، رفتار سختی آلیاژهای FeAl مشابه با بین‌فلزی‌های دیگر خواهد شد. در این حالت کمترین مقدار سختی در ترکیب Fe -۴۵ at%Al مشاهده می‌شود. این واقعیت بدین دلیل است که تهی‌جای‌های حرارتی شده در FeAl با ترکیب بیشتراز ۴۵ at% حتی بعد از آنیل کردن برای مدت زمان طولانی حذفشان بسیار مشکل است. بر این اساس تغییرات استحکام تسلیم بر حسب درصد اتمی Al مطابق با شکل(۲-۷) می‌باشد.



شکل۲-۷- تغییرات استحکام تسلیم با ترکیب در ترکیبات بین فلزی FeAl با ساختار B_2 [۱۵].

در ترکیب FeAl افزایش در استحکام تسلیم با افزایش در درصد اتمی Fe در ترکیبات کمتراز ۴۵at%Al مربوط به حضور اتم‌های جانشینی Fe در مکان اتمی Al و افزایش در