



پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان:

اکستروژن جانبی آلیاژ AZ80 منیزیم

استاد راهنما:

دکتر فرامرز فرشته صنیعی

نگارش:

محمد عسگری

۱۰ مهر ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد.
در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان نامه در مجلات،
کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا و استاد راهنمای
پایان نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر
تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی
قرار خواهد گرفت. درج آدرس های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی
مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان نامه در مجلات،
کنفرانس ها و یا سخنرانی ها الزامی می باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات

.....، گروه ...، دانشکده ...، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات

تقدیم بہ

دروماہ
♦

مہربانم

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شکر می‌نمایم که دگر باره من فرصت آن داد که در راهی که رضایت اوست گام بردارم و کمک نمود تا این مرحله از تحصیل را به پایان برسانم. تمام زحماتی را که پدر، مادر و معلمانم برای موفقیت این تحسیر کشیدند ارج می‌نهم.

از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرشته صنیعی که با صبر و جدیت زحمت راهنمایی این پایان نامه را تقبل کردند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس صیاد صحرا، سرکشیک زاده، پزشکی، بادنوا، براتی و دکتر اکبری پناه که همواره یار و یاور من بودند سپاسگزارم. همچنین از همکاری‌ها و زحمات مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های رفتار مکانیکی مواد، متالوگرافی، ریخته‌گری، ماشین ابزار، جوشکاری و مقاومت مصالح که همواره یاری رسان بودند قدردانی می‌نمایم.

از اساتید محترم، آقایان دکتر علوی نیا و دکتر محمودی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند، تشکر می‌نمایم. در پایان برای همه این عزیزان آرزوی صحت، سلامت و موفقیت می‌نمایم.

محمد عسکری

مهرماه ۱۳۹۱



دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی.

عنوان:

اکستروژن جانبی آلیاژ منیزیم AZ80

نام نویسنده: محمد عسگری

نام استاد/اساتید راهنما: فرامرز فرشته صنیعی

نام استاد/اساتید مشاور: -

دانشکده: مهندسی

گروه آموزشی: مهندسی مکانیک

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک

گرایش تحصیلی: طراحی کاربردی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۸۹/۰۸/۰۳

تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۰۷/۱۰

تعداد صفحات: ۱۲۶

چکیده:

یکی از روش‌های اکستروژن فلزات، اکستروژن جانبی است. در این روش ماده در درون محفظه و در اثر فشار سنبه حرکت نموده و با تغییر مسیر تعیین شده توسط محفظه، از قالب خارج می‌شود. حسن به کارگیری این روش در امکان استفاده از پرس‌های با حرکت قائم جهت انجام فرآیند اکستروژن می‌باشد. همچنین با تغییر شکل برشی شدید به هنگام تغییر مسیر جریان در درون محفظه، دانه‌های فلز ریز شده و بدین ترتیب استحکام محصول به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد. از آنجا که آلیاژهای منیزیم دارای چگالی نسبتاً پایین و استحکام مناسبی می‌باشند، با انجام فرآیند اکستروژن جانبی بر روی آن‌ها می‌توان محصولاتی سبک و با استحکام بالا تولید نمود. در این پایان نامه از فرآیند اکستروژن جانبی با کانال نامساوی که یکی از فرآیندهای اکستروژن جانبی محسوب می‌گردد، برای شکل دهی نمونه‌هایی از جنس آلیاژ منیزیم AZ80 استفاده شده است. با توجه به ناشناخته بودن این فرآیند، شناسایی پارامترهای مؤثر آن بر چگونگی تغییر شکل ماده امری ضروری به نظر می‌رسد که این مهم با انجام شبیه سازی‌های عددی صورت پذیرفته است. نتیجه این مطالعات، شناسایی چهار پارامتر هندسی قالب و سه پارامتر فرآیند بوده است. پس از انجام شبیه سازی‌های عددی، مقادیر بهینه برای پارامترهای هندسی قالب جهت تولید محصولی همگن در شرایط مشخص معین گردیده است. سپس از این مقادیر برای ساخت قالب شکل دهی جهت انجام آزمایش‌های عملی استفاده شده است. آزمایش‌های عملی همانند شبیه سازی‌های عددی، در دماها، سرعت‌ها و شرایط اصطکاکی مختلف به انجام رسیده و تأثیر هر کدام از پارامترهای فرآیندی بر خواص محصول از طریق آزمون‌های عملی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. آلیاژهای منیزیم دارای معایبی همچون ضریب ارتجاعی پایین، مقاومت سایشی کم، شکل پذیری پایین و مقاومت به خوردگی ضعیف دارند. از طرف دیگر سبکی، مقاومت به خوردگی بالا، ماشینکاری، ریخته گری، نورد و اکستروژن آسان و عملیات حرارتی پذیر بودن از جمله مزایا و ویژگی‌هایی است که موجب محبوبیت آلیاژهای آلومینیم گردیده است. لذا در این پایان نامه سعی شده است مزایای این دو نوع آلیاژ که هر دو جزو آلیاژهای سبک محسوب می‌شوند، با یکدیگر جمع شده و نقایصشان به حداقل رسد. برای انجام این هدف، ابتدا با استفاده از فرآیند اکستروژن جانبی با کانال نامساوی به بررسی اثر سرعت و دمای انجام فرآیند بر خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم AA1060 پرداخته شده است. سپس با استفاده از فرآیند مذکور به تولید کامپوزیت‌های دو فلزی Mg-Al-Zn/Al که در حقیقت استفاده هم زمان دو آلیاژ منیزیم AZ80 و آلومینیم AA1060 می‌باشد، پرداخته شده و عوامل مؤثر بر کیفیت جوش ایجاد شده در مرز مشترک دو فلز بیان گردیده است.

واژه‌های کلیدی: آلیاژ منیزیم AZ80، اکستروژن جانبی، بهینه سازی هندسه قالب، کامپوزیت‌های دو فلزی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۱	فصل اول: مقدمه
۱-۱	مقدمه
۲-۱	فرآیند های شکل دهی
۳-۱	فلزات سبک
۴-۱	منیزیم و آلیاژهای آن
۱-۴-۱	مزایا و معایب منیزیم
۲-۴-۱	نمادگذاری آلیاژهای منیزیم
۳-۴-۱	دسته بندی آلیاژهای منیزیم بر اساس فرآیند تولید صنعتی
۴-۴-۱	آلیاژهای منیزیم-آلومینیم-روی
۵-۴-۱	کاربرد آلیاژهای منیزیم
۵-۱	معرفی پایان نامه حاضر
۱۷	فصل دوم: روش های مختلف فرآیند اکستروژن جانبی
۱-۲	مقدمه
۲-۲	فرآیند اکستروژن شعاعی
۳-۲	فرآیند اکستروژن شعاعی معکوس
۴-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با هسته جداشونده
۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با سطح مقطع مساوی
۱-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با کانال مساوی
۱-۱-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با کانال های دوگانه
۲-۱-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با کانال مساوی همراه با فشار معکوس
۳-۱-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با کانال مساوی همزمان با فرآیند اکستروژن مستقیم
۴-۱-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی با کانال نامساوی
۲-۵-۲	فرآیند اکستروژن جانبی نوع-S
۴۳	فصل سوم: شبیه سازی فرآیند اکستروژن جانبی با کانال نامساوی
۱-۳	مقدمه
۲-۳	روش اجزای محدود
۳-۳	نرم افزار اجزا محدود ABACUS
۴-۳	مدل سازی فرآیند NECLE توسط نرم افزار ABAQUS
۱-۴-۳	شبیه سازی انتقالی (نواحی شبکه بندی انطباقی ALE)

۵۱.....	شبيه سازى حالت يکنواخت (نواحى شبکه انطباقى اويلرى).....	۲-۴-۳
۵۲.....	تأثير پارامترهاى هندسى قالب.....	۵-۳
۵۴.....	تأثير شعاع گوشههاى داخلى و خارجى.....	۱-۵-۳
۵۹.....	تأثير زاويه گوشه داخلى؛ Φ	۲-۵-۳
۶۱.....	تأثير نسبت اکستروژن؛ P/C.....	۳-۵-۳
۶۳.....	تأثير پارامترهاى فرآيندى.....	۶-۳
۶۳.....	تأثير دماى فرآيند.....	۱-۶-۳
۶۶.....	تأثير سرعت حرکت سنبه.....	۲-۶-۳
۶۸.....	تأثير روانکار و شرايط اصطكاكى فرآيند.....	۳-۶-۳
۶۸.....	فصل چهارم: آزمایش‌های عملی فرآیند اکستروژن جانبی با کانال نامساوی.....	
۷۵.....	مقدمه.....	۱-۴
۷۵.....	اکستروژن جانبی با کانال نامساوی آلیاژ منیزیم AZ80.....	۲-۴
۷۵.....	نمونه مورد آزمایش جهت تولید محصول.....	۱-۲-۴
۷۶.....	ابزار شکل دهی جهت انجام آزمایش عملی فرآیند NECLE.....	۲-۲-۴
۷۸.....	دستگاه مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها.....	۳-۲-۴
۷۸.....	روانکار مورد استفاده.....	۴-۲-۴
۷۹.....	مراحل انجام فرآیند NECLE.....	۵-۲-۴
۸۱.....	نتایج آزمایش‌های عملی فرآیند NECLE.....	۶-۲-۴
۹۰.....	مقایسه نتایج آزمایش‌های عملی و شبیه سازی اجزای محدود.....	۷-۲-۴
۹۴.....	تولید کامپوزیت‌های دو فلزی AZ80/AL با استفاده از فرآیند NECLE.....	۳-۴
۹۴.....	جوشکاری هم‌زمان با اکستروژن.....	۱-۳-۴
۹۵.....	آماده سازی نمونه مورد آزمایش جهت تولید کامپوزیت.....	۲-۳-۴
۹۶.....	آزمایش اکستروژن جانبی جهت تولید کامپوزیت.....	۳-۳-۴
۹۶.....	بحث و تفسیر نتایج.....	۴-۳-۴
۱۰۱.....	بررسی تأثیر فرآیند NECLE بر خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم ۱۰۶۰.....	۴-۴
۱۰۱.....	مراحل انجام آزمایش.....	۱-۴-۴
۱۰۲.....	بحث و بررسی نتایج.....	۲-۴-۴
۱۱۳.....	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....	
۱۱۵.....	نتیجه‌گیری.....	۱-۵
۱۱۹.....	پیشنهادها.....	۲-۵
۱۲۱.....	منابع و مراجع.....	

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: فرآیندهای تولید در یک نگاه [۱].....	۴
شکل ۲-۱: انواع فرآیند های شکل دهی فلزات [۲].....	۵
شکل ۳-۱: محدوددهای ترکیب شیمیائی سیستم Mg – Al – Zn برای ریختهگری تزریقی [۳].....	۱۱
شکل ۴-۱: بررسی پتانسیل کاهش وزن توسط آلیاژهای منیزیم در مقایسه با آلیاژهای آلومینیم [۷].....	۱۲
شکل ۱-۲: قطعات طویل تولید شده توسط فرآیند اکستروژن گرم [۸].....	۲۰
شکل ۲-۲: روش های مختلف فرآیند اکستروژن؛ (a) مستقیم، (b) معکوس و (c) جانبی [۸].....	۲۱
شکل ۳-۲: هندسه های مختلف قالب فرآیند اکستروژن شعاعی [۱۰].....	۲۳
شکل ۴-۲: برخی از قطعات صنعتی تولید شده به روش اکستروژن شعاعی (آهنگری تزریقی) [۱۲].....	۲۴
شکل ۵-۲: (a) نمای کلی از فرآیند PAIF، (b) و (c) نمونه هایی از قطعات تولید شده به روش PAIF [۱۳].....	۲۴
شکل ۶-۲: (a) نمایی کلی از قالب فرآیند اکستروژن شعاعی معکوس؛ (b) شکل قطعه کار قبل و بعد از فرآیند [۱۵].....	۲۵
شکل ۷-۲: (a) نمایی کلی از قالب فرآیند LELC؛ (b) شکل قطعه کار قبل و بعد از فرآیند [۱۶].....	۲۶
شکل ۸-۲: طرحواره های از مراحل تولید قطعه به روش LELC [۱۶].....	۲۶
شکل ۹-۲: هندسه قالب فرآیند اکستروژن جانبی با کانال مساوی [۱۸].....	۲۸
شکل ۱۰-۲: مسیر های سه گانه برای عبورهای بعدی در فرآیند ECLE [۱۸].....	۳۰
شکل ۱۱-۲: حالت های مختلف برش ساده در فرآیند ECLE (a) پس از تغییر شکل در عبور اول، (b) مسیر A، (c) مسیر C [۱۸].....	۳۰
شکل ۱۲-۲: راستاهای برش در فرآیند ECLE طبق، (a) مسیر A، (b) مسیر B، (c) مسیر C [۱۸].....	۳۱
شکل ۱۳-۲: (a) نمایی از فرآیند DECLE به همراه صفحه برش آن، (b) نمایش مسیرهای A و B [۱۹].....	۳۲
شکل ۱۴-۲: مقایسه منحنی های نیرو-تغییر مکان دو فرآیند DECLE و ECLE [۱۹].....	۳۳
شکل ۱۵-۲: نمایی طرحواره های از فرآیند BP-ECLE [۲۰].....	۳۴
شکل ۱۶-۲: نمای کلی قالب فرآیند ECLE – FE [۲۲].....	۳۶
شکل ۱۷-۲: مشاهده لیزری بیلت های به دست آمده به روش، (a) اکستروژن مستقیم و (b) فرآیند ECLE – FE [۲۲].....	۳۷
شکل ۱۸-۲: نواحی مختلف منحنی نیرو-تغییر مکان فرآیند ECLE – FE [۲۲].....	۳۷
شکل ۱۹-۲: تصویری از یک نمونه در حال تغییر شکل تحت فرآیند NECLE [۲۳].....	۳۸
شکل ۲۰-۲: ریز ساختار آلیاژ آلومینیم، (a) قبل از انجام آزمایش، (b) پس از فرآیند NECLE، (c) پس از اولین عبور از فرآیند ECLE [۲۳].....	۳۹
شکل ۲۱-۲: طرحواره های از فرآیند (a) اکستروژن جانبی با سطح مقطع مساوی و (b) اکستروژن جانبی نوع-S [۲۴].....	۴۱
شکل ۲۲-۲: نواحی چهارگانه توزیع تنش در فرآیند ECSLE [۲۴].....	۴۱
شکل ۱-۳: نمایش مراحل مدل سازی و تحلیل در برنامه Abaqus/CAE [۲۶].....	۴۸

- شکل ۲-۳: قسمت‌های نرم افزار Abaqus. ۴۹.....
- شکل ۳-۳ (a): نواحی شبکه انطباقی ALE ، (b) شبکه انطباقی اوپلری. ۵۱.....
- شکل ۴-۳: پارامترهای هندسی قالب در فرآیند NECLE. ۵۳.....
- شکل ۵-۳: منحنی‌های سیلان آلیاژ منیزیم AZ80 در سه نرخ کرنش متفاوت و دمای (a) 250°C و (b) 300°C [۳۳]. ۵۳.....
- شکل ۶-۳: توزیع کرنش مؤثر برای حالت $r=0$ و مقادیر مختلف R (a) $R=0$ ، (b) $R=4$ و (c) $R=7\text{mm}$. ۵۵.....
- شکل ۷-۳: توزیع تنش مؤثر ون-مایرز در ناحیه تغییر شکل برای حالت $r=0$ و مقادیر مختلف R (a) $R=0$ ، (b) $R=4$ و (c) $R=7\text{mm}$. ۵۵.....
- شکل ۸-۳: میدان اندازه سرعت در ناحیه تغییر شکل برای حالت $r=0$ و مقادیر مختلف R (a) $R=0$ ، (b) $R=4$ و (c) $R=7\text{mm}$. ۵۶.....
- شکل ۹-۳: توزیع کرنش مؤثر در ترکیب‌های مختلف برای شعاع گوشه داخلی و خارجی (a) $r=0$ ، $R=0\text{mm}$ ، (b) $r=2$ ، $R=4\text{mm}$ (c) $r=4$ ، $R=7\text{mm}$ (d) $r=2$ ، $R=4\text{mm}$. ۵۷.....
- شکل ۱۰-۳: مقایسه کرنش مؤثر بیشینه در ترکیب‌های مختلف از r و R . ۵۷.....
- شکل ۱۱-۳: توزیع کرنش مؤثر در کانال افقی و در راستای عمود بر جهت اکستروژن (از کف کانال افقی تا سطح فوقانی آن) برای ترکیب‌های مختلفی از r و R . ۵۸.....
- شکل ۱۲-۳: نیروی لازم برای شکل دهی به دست آمده از شبیه سازی فرآیند NECLE بر اساس روش اوپلری و برای ترکیب‌های مختلفی از r و R . ۵۸.....
- شکل ۱۳-۳: نیروی لازم برای فرآیند NECLE در زمان $t=50\text{ min}$ (جابجایی 50mm) و برای ترکیب‌های مختلفی از r و R . ۵۹.....
- شکل ۱۴-۳: توزیع کرنش مؤثر برای $r=0$ ، $R=4$ و دو زاویه گوشه متفاوت قالب (a) $\Phi=90^{\circ}$ ، (b) $\Phi=120^{\circ}$. ۶۰.....
- شکل ۱۵-۳: توزیع تنش مؤثر برای $r=0$ ، $R=4$ و دو زاویه گوشه متفاوت قالب (a) $\Phi=90^{\circ}$ ، (b) $\Phi=120^{\circ}$. ۶۰.....
- شکل ۱۶-۳: توزیع کرنش مؤثر در کانال افقی و راستای عمود بر جهت اکستروژن (از کف کانال افقی تا سطح فوقانی آن) برای دو زاویه گوشه داخلی مختلف برای قالب. ۶۱.....
- شکل ۱۷-۳: تأثیر زاویه گوشه قالب بر نیروی لازم برای شکل دهی فرآیند NECLE آلیاژ AZ80 منیزیم. ۶۱.....
- شکل ۱۸-۳: توزیع کرنش مؤثر برای $r=0$ ، $R=4$ و سه نسبت اکستروژن مختلف (a) $P/C=2$ ، (b) $P/C=1.5$ ، (c) $P/C=1$. ۶۲.....
- شکل ۱۹-۳: توزیع کرنش مؤثر در کانال افقی و راستای عمود بر جهت اکستروژن برای نسبت‌های مختلف اکستروژن. ۶۳.....
- شکل ۲۰-۳: توزیع کرنش پلاستیک برای $v=1\text{ mm/min}$ ، $P/C=2$ و $T=250^{\circ}\text{C}$ (a) و $T=300^{\circ}\text{C}$ (b). ۶۵.....
- شکل ۲۱-۳: توزیع کرنش مؤثر برای دو نسبت اکستروژن مختلف در دو دمای 250 و 300°C . ۶۵.....
- شکل ۲۲-۳: تأثیر دمای انجام فرآیند بر نیروی لازم برای شکل دهی زمانی که $v=2\text{mm/min}$ (a) و $P/C=1.5$ (b). ۶۶.....
- شکل ۲۳-۳: توزیع کرنش مؤثر برای $P/C=2$ و $T=250^{\circ}\text{C}$ در سرعت‌های مختلف حرکت سنبه؛ (a) $v=1$ و (b) $v=2\text{ mm/min}$ (c) $v=4\text{ mm/min}$. ۶۷.....

شکل ۳-۲۴: توزیع کرنش پلاستیک برای $P/C=2$ و $T=250^{\circ}\text{C}$ در سرعت‌های مختلف حرکت سنبه؛ (a) $v=2$ mm/min (b) $v=4$ mm/min ۶۷

شکل ۳-۲۵: توزیع کرنش مؤثر در فرآیند NECLE برای سرعت‌های مختلف حرکت سنبه و دو نسبت اکستروژن 1.5 و 2 و $T=250^{\circ}\text{C}$ ۶۸

شکل ۳-۲۶: توزیع کرنش مؤثر در $T=250^{\circ}\text{C}$ ، $V=1$ mm/min و (a) روانکاری با MoS_2 (b) حالت خشک ۶۹

شکل ۳-۲۷: توزیع کرنش پلاستیک در مقطع محصول برای حالت خشک و روانکاری شده با MoS_2 ۷۰

شکل ۳-۲۸: مقایسه نیروی لازم برای شکل دهی در دو حالت خشک و روانکاری شده با MoS_2 ۷۰

شکل ۴-۱: نمایی از قالب مورد استفاده جهت انجام فرآیند NECLE ۷۶

شکل ۴-۲: چیدمان قالب فرآیند NECLE ۷۷

شکل ۴-۳: نمایی کلی از دستگاه سنتام مورد استفاده جهت انجام آزمایشها ۷۸

شکل ۴-۴: نمای ماکروسکوپی از نمونه مورد آزمایش (a) قبل و (b) بعد از فرآیند NECLE ۷۹

شکل ۴-۵: مراحل آماده سازی نمونه مورد استفاده در آزمایش کشش ۸۱

شکل ۴-۶: ابعاد نمونه مورد استفاده در آزمایش کشش (ابعاد به میلیمتر) بر اساس استاندارد ASTM-E08 ۸۲

شکل ۴-۷: قسمت‌های مختلف منحنی تنش-کرنش آلیاژهای منیزیم در دماهای بالا [۴۲] ۸۴

شکل ۴-۸: نمایی طرحواره از تأثیر اندازه دانه بر چگونگی و نیروی لازم برای لغزش نابجایی‌ها از یک دانه به دانه دیگر [۴۳] ۸۶

شکل ۴-۹: حد استحکام دهی هال-پچ [۴۳] ۸۷

شکل ۴-۱۰: ریز ساختار نمونه‌های تغییر شکل یافته توسط فرآیند NECLE در راستای اکستروژن و در شرایط (a) قبل از انجام فرآیند، (b) $T=250^{\circ}\text{C}$ ، $v=2$ mm/min (c) $T=300^{\circ}\text{C}$ ، $v=2$ mm/min (d) $T=300^{\circ}\text{C}$ ، $v=4$ mm/min (e) $T=300^{\circ}\text{C}$ ، $v=6$ mm/min ۸۹

شکل ۴-۱۱: مقایسه منحنی نیرو-زمان آزمایش عملی و شبیه سازی اجزای محدود فرآیند NECLE برای $r=0$ mm ۹۱

شکل ۴-۱۲: مقایسه منحنی نیرو-زمان آزمایش‌های عملی و رابطه ۴-۲ شبیه سازی‌های اجزای محدود فرآیند NECLE در دو دمای مختلف و $\phi=90^{\circ}$ ، $R=4$ mm، $r=0$ mm، $v=2$ mm/min (a) $P/C=1.5$ (b) $P/C=2$ ۹۲

شکل ۴-۱۳: مقایسه منحنی نیرو-زمان آزمایش‌های عملی و شبیه سازی‌های اجزای محدود فرآیند NECLE در سرعت‌های مختلف حرکت سنبه و در شرایط $T=250^{\circ}\text{C}$ ، $\phi=90^{\circ}$ ، $r=0$ mm، $R=4$ mm برای (a) $P/C=2$ (b) $P/C=1.5$ ۹۳

شکل ۴-۱۴: طرحواره‌های از نحوه مونتاژ نمونه‌های کامپوزیتی ۹۶

شکل ۴-۱۵: تصویر سطح مقطع طولی و عرضی کامپوزیت AL/AZ80 ۹۷

شکل ۴-۱۶: تصویر میکروسکوپ نوری از کامپوزیت تولید شده در دمای 300°C توسط فرآیند NECLE ۹۸

شکل ۴-۱۷: تحلیل اسکن خطی در فصل مشترک کامپوزیت‌های تولید شده توسط فرآیند NECLE (a) در دمای 250°C و (b) در دمای 300°C ۹۸

شکل ۴-۱۸: نمونه مورد آزمایش و قالب طراحی شده جهت ارزیابی استحکام برشی ناحیه اتصال ۹۹

شکل ۴-۱۹: نمودار نیرو-جابجایی سنبه در دو دمای 250°C و 300°C ۱۰۰

شکل ۴-۲۰: تغییرات سختی نسبت به فاصله از مرز مشترک لایه‌های کامپوزیت تولید شده در دمای 300°C ۱۰۰

شکل ۴-۲۰: منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌های تغییر شکل یافته توسط فرآیند NECLE در دماهای مختلف و سرعت حرکت سنبه $v=4\text{mm/min}$ ۱۰۴

شکل ۴-۲۱: منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌های تغییر شکل یافته توسط فرآیند NECLE در سرعت‌های مختلف جابجایی سنبه و دمای $T=200^{\circ}\text{C}$ ۱۰۴

شکل ۴-۲۲: منحنیهای تنش-کرنش حقیقی AA1060 قبل و بعد از انجام فرآیند NECLE در دماهای $T=100^{\circ}\text{C}, 150^{\circ}\text{C}, 200^{\circ}\text{C}, 250^{\circ}\text{C}$ و سرعت جابجایی سنبه 4 mm/min ۱۰۶

شکل ۴-۲۳: مکان‌های مختلف انجام آزمایش میکرو سختی در مقطع A-B واقع در وسط SSDZ از نمونه‌های تغییر شکل یافته..... ۱۰۷

شکل ۴-۲۴: مقادیر میکرو سختی در دماهای $T=100^{\circ}\text{C}, 150^{\circ}\text{C}, 200^{\circ}\text{C}, 250^{\circ}\text{C}$ و سرعت جابجایی سنبه 4 mm/min ۱۰۸

شکل ۴-۲۵: منحنی تنش-کرنش حقیقی AA1060 قبل و بعد از انجام فرآیند NECLE در سرعت‌های جابجایی سنبه $V=2, 3, 4\text{ mm/min}$ و دمای انجام فرآیند $T=200^{\circ}\text{C}$ ۱۰۸

شکل ۴-۲۶: مقادیر میکرو سختی در سرعت‌های جابجایی سنبه $V=2, 3, 4\text{ mm/min}$ و دمای انجام فرآیند $T=200^{\circ}\text{C}$ ۱۰۹

شکل ۴-۲۷: تغییرات مقدار سختی در دو راستای عمودی و افقی سطح مقطع محصول تولید شده در شرایط $V=4\text{ mm/min}$ و $T=200^{\circ}\text{C}$ ۱۱۰

فهرست جدول ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۱: خواص فیزیکی برخی فلزات [۳].....	۷
جدول ۲-۱: فراوانی عناصر شیمیایی اصلی در پوسته زمین [۳].....	۷
جدول ۳-۱: نام‌گذاری بر اساس استاندارد ASTM [۵].....	۹
جدول ۱-۳: مقادیر مختلف در نظر گرفته شده برای شعاع گوشه‌های داخلی و خارجی.....	۵۴
جدول ۱-۴: درصد ترکیب وزنی عناصر تشکیل دهنده آلیاژ منیزیم AZ80 [۴۱].....	۷۵
جدول ۲-۴: درصد ترکیب وزنی عناصر تشکیل دهنده آلیاژ ساخته شده AZ80 منیزیم.....	۷۵
جدول ۳-۴: مشخصات آزمایش‌های عملی فرآیند NECLE برای آلیاژ AZ80 منیزیم.....	۸۰
جدول ۴-۴: مقایسه مقادیر UTS و میزان کشیدگی نمونه‌های مختلف.....	۸۳
جدول ۵-۴: ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای اچ کردن نمونه‌های منیزیمی.....	۸۷
جدول ۶-۴: مساحت و ممان اینرسی مقطع نمونه قبل و بعد از انجام آزمایش.....	۹۷
جدول ۶-۴: استحکام برشی در ناحیه اتصال دو فلز در دماهای مختلف.....	۹۹
جدول ۸-۴: درصد ترکیب وزنی عناصر تشکیل دهنده آلیاژ آلومینیم 1060.....	۱۰۲
جدول ۹-۴: مقایسه مقادیر UTS و میزان کشیدگی نمونه‌های مختلف آلیاژ AA1060.....	۱۰۵

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

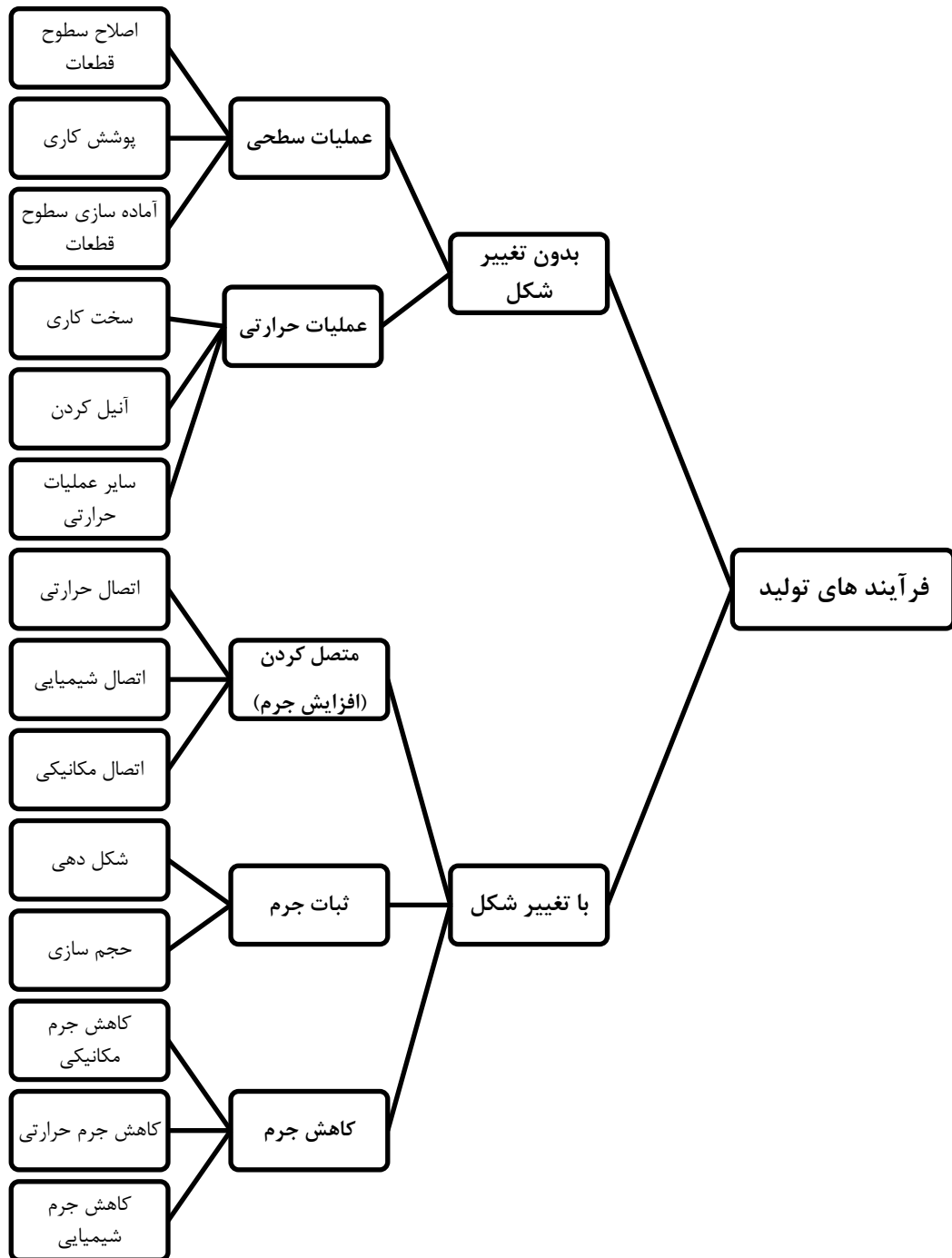
قطعات صنعتی و مواد اولیه تشکیل دهنده آن‌ها برای هر صنعت، نقش مهمی در کیفیت، قیمت تمام شده و قابلیت‌های محصول تولید شده‌ی آن صنعت دارد. تولید مواد اولیه و قطعات با کارایی بیشتر و قیمت کمتر در صنایع مختلف همواره از دغدغه‌های مهندسان و محققان بوده است. در تولید مواد اولیه و قطعات صنعتی، انتخاب جنس مناسب و فرآیند تولیدی کارا جهت ایجاد محصول از ماده اولیه تشکیل دهنده آن، همواره دو دغدغه اصلی برای مهندسان محسوب می‌شود. فلزات دسته مهمی از مواد هستند که بشر از دیر باز با آن‌ها آشنایی داشته است. فلزات و آلیاژهای متنوع آن‌ها دارای خواص متفاوتی هستند که در نتیجه، کاربردهای متنوعی را ایجاد می‌کنند. در سال‌های اخیر بحران انرژی، مشکلات اقتصادی، مسائل زیست محیطی و نیاز به ساخت سازه‌های متحرک سبک با مصرف سوخت کمتر، نقش حیاتی آلیاژهای سبک را بیش از پیش نمایان ساخته است [۱].

منیزیم و آلیاژهایش از موادی هستند که به دلیل چگالی کم، نسبت استحکام به وزن بالا، ویژگی‌های استهلاک^۱ بالا و هزینه‌های ریخته‌گری پایین در دو دهه‌ی اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. بیشترین استفاده از آلیاژهای منیزیم در صنایع مهمی چون خودروسازی، ریلی و هوافضا، صورت گرفته است [۱].

فرآیند تولید عاملی بسیار مؤثر بر خواص و کیفیت قطعات ساخته شده محسوب می‌گردد. در شکل ۱-۱ دسته بندی کلی فرآیند های تولید در یک نگاه نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد فرآیند های تولید به دو دسته کلی فرآیندهایی که در آن‌ها قطعه کار پس از پایان فرآیند تغییر شکل می‌یابد و فرآیندهایی که هیچ گونه تغییر شکلی در قطعه کار اولیه رخ نمی‌دهد، دسته بندی می‌گردد [۱]

در حوزه فرآیند های تولید همراه با تغییر شکل، فرآیند های با ثبات جرم به دو دسته کلی فرآیند های شکل دهی و فرآیندهای حجم سازی تقسیم بندی می‌شوند. فرآیند های حجم سازی شامل فشردن سازی، قالب گیری و ریخته گری می‌باشند [۱].

در ادامه به معرفی فرآیندهای شکل دهی که جزو فرآیندهای تغییر شکلی با ثبات جرم محسوب می‌شوند، پرداخته شده است.



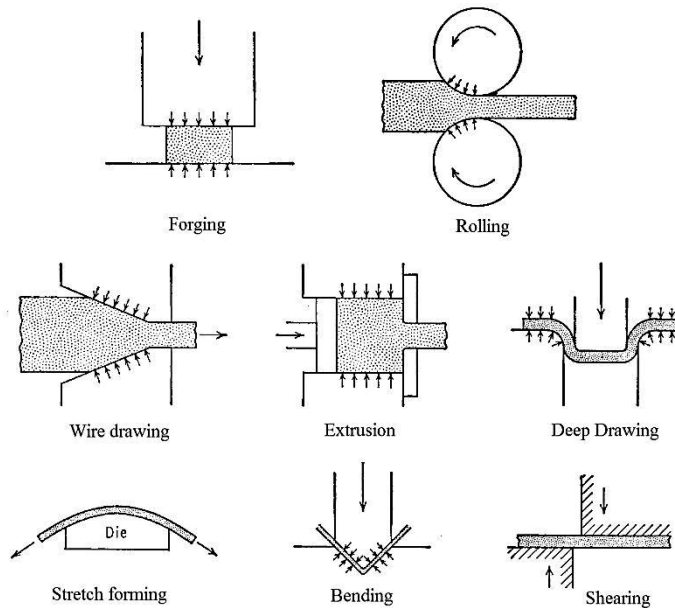
شکل ۱-۱: فرآیندهای تولید در یک نگاه [۱].

۲-۱ فرآیندهای شکل دهی

علمی که در آن اصول و روش‌ها، چگونگی و رفتار تغییر شکلی فلزات شکل پذیر با اعمال نیرو به آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، علم شکل دهی فلزات گفته می‌شود [۲].

فرآیندهای شکل دهی فلزات در حقیقت به فرآیندهایی گفته می‌شود که در آن شکل معلوم و

مشخص یک قطعه کار جامد بدون آنکه تغییری در جرم و یا ترکیب ماده ی آن رخ دهد، به طور دائم تغییر نماید. ویژگی اصلی و ممتاز این دسته از فرآیندها، کنترل خواص مکانیکی در حین شکل دهی می باشد. در بسیاری از محصولات، خواص مکانیکی به کنترل کار سختی حین فرایند بستگی دارد که این نیز به کنترل دما و نرخ کرنش وابسته است. در کل، هرگاه نسبت استحکام به وزن زیاد مورد نیاز باشد، از این فرآیندها برای تولید قطعات استفاده می گردد. در شکل ۱-۲ انواع فرآیندهای شکل دهی فلزات به صورت طرح واره نشان داده شده است [۱].



شکل ۱-۲: انواع فرآیندهای شکل دهی فلزات [۲].

۳-۱ فلزات سبک

واژه فلزات سبک به صورت سنتی به آلومینیم و منیزیم اطلاق می گردد. این دو فلز برای کاهش وزن قطعات و سازه ها مورد استفاده قرار می گیرند. بر این اساس می توان گفت که تیتانیوم نیز حائز شرایط لازم به عنوان یک فلز سبک است. این فلزات دارای وزن مخصوص های نسبی از ۱.۷ (منیزیم) تا ۴.۵ (تیتانیوم) بوده که در مقایسه با وزن مخصوص های نسبی فلزات ساختمانی قدیمی تر یعنی آهن و مس، به ترتیب ۷.۹ و ۹، مقادیر پایینی به حساب می آیند. ده عنصر دیگر که در دسته فلزات قرار می گیرند، از تیتانیوم سبک تر هستند ولی به جز برم هیچ یک از آنها به عنوان فلز پایه برای اهداف سازه ای به کار نرفته اند. فلزات قلیایی لاتیم، پتاسیم، سدیم، روبیدیم، کاسیم^۱ و فلزات قلیایی موجود

1. Caesium

در پوسته زمین، کلسیم و استرونتیم^۱ بسیار واکنش پذیر هستند و استفاده از آن‌ها به عنوان عنصر پایه یک سازه امکان پذیر نیست. ایتیریم^۲ و اسکاندیم^۳ دو فلز دیگر هستند که بسیار کمیابند [۳].

کمی وزن فلزات سبک منجر به استفاده از این فلزات در حمل و نقل، مخصوصاً در حمل و نقل مربوط به هوا فضا شده است. این صنعت بیشترین محرک در توسعه آلیاژها در خلال ۵۰ سال گذشته می باشد. استحکام مخصوص عامل مهمی در گزینش مواد به شمار می رود، به ویژه در طراحی های مهندسی که پارامترهایی مانند سفتی و مقاومت در برابر کماتش دارای اهمیت هستند [۳].

صرفه جویی وزنی این فلزات نباید این واقعیت را که فلزات سبک دارای خواص تکنولوژیکی مهمی هستند، تحت الشعاع قرار دهد. از جمله این خواص می توان به مقاومت خوردگی بالا و هدایت حرارتی زیاد آلومینیم، قابلیت ماشینکاری منیزیم و مقاومت به خوردگی بسیار زیاد تیتانیم اشاره کرد. برخی از این خواص در جدول ۱-۱ مقایسه شده اند [۳].

در جدول ۲-۱ فراوانی تقریبی هر یک از عناصر مهم شیمیایی در پوسته زمین داده شده است. فلزات سبک آلومینیم، منیزیم و تیتانیم به ترتیب در رده های سوم، ششم و نهم فراوان ترین عناصر زمین قرار دارند. برآوردهایی از وجود فلزات در آب دریا وجود دارد که منبع عمده منیزیم تجاری به شمار می رود. آب دریا حاوی 0.13 درصد از این فلز است، به طوری که در هر کیلومتر مکعب آب دریا، 1.3 میلیون تن از این فلز وجود دارد، که تقریباً معادل یک ششم کل مصرف جهانی این فلز است. به طور کلی می توان گفت که منابع موجود فلزات سبک برای رفع نیازهای چند قرن آینده کفایت می کند. به نظر می رسد مقدار استفاده آینده این فلزات اساساً با قیمت نسبی آن‌ها در مقایسه با مواد دیگر مانند فولادها و پلاستیک‌ها و نیز فراوانی و در دسترس بودن انرژی الکتریکی مورد نیاز برای استخراج آن‌ها از سنگ معادن کنترل گردد [۳].

۴-۱ منیزیم و آلیاژهای آن

فلز منیزیم با درجه خلوص بیش از 99.8 درصد از نظر تجاری به سهولت قابل دسترس است، اما در کارهای مهندسی به ندرت بدون آلیاژ شدن با فلزات دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. ساختار شبکه ای منیزیم شش وجهی^۴ (HCP) بوده و با توجه به اندازه اتمی آن، امکان تشکیل محلول جامد

1. Strontium
2. Yttrium
3. Scandium
4. Hexagonal Closed Pack

با طیف وسیعی از عناصر متفاوت وجود دارد. همان طور که قبلاً اشاره شد آلیاژهای منیزیم، استحکام مخصوص بالایی دارند یعنی نسبت استحکام نهایی به دانسیته آنها در دمای اتاق بالاست. استحکام آلیاژهای منیزیم با افزایش دما به سرعت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر این مواد دارای انعطاف پذیری پایینی بوده و با افزایش دما، خاصیت شکل‌پذیری آنها افزایش می‌یابد. بر خلاف آلیاژهای آلومینیم، اطلاعات محدودی در رابطه با رفتار تغییر شکلی آلیاژهای منیزیم در دمای بالا موجود می‌باشد.

جدول ۱-۱: خواص فیزیکی برخی فلزات [۳].

Cu	Fe	Be	Ti	Mg	Al	واحد	خواص
1083	1535	1287	1678	650	660	°C	دمای ذوب
8.96	7.87	1.85	4.51	1.74	2.7	-	چگالی نسبی (d)
130	211	295	120	45	70	GPa	ضریب ارتجاعی (E)
14	27	160	26	26	26	GPa	ضریب ویژه (E/d)
386	456	2052	528	1038	917	$Kg^{-1}K^{-1}$	گرمای ویژه متوسط*
397	78	194	26	156	238	$W.m^{-1}K^{-1}$	هدایت حرارتی**
17	1.152	12.1	8.9	26	23.5	$10^{-6} K^{-1}$	ضریب انبساط حرارتی*
* از ۰ تا ۱۰۰ °C							
** از ۲۰ تا ۱۰۰ °C							

جدول ۲-۱: فراوانی عناصر شیمیایی اصلی در پوسته زمین [۳].

عنصر	درصدوزنی	عنصر	درصدوزنی
اکسیژن	45.2	سدیم	2.32
سیلیسیم	27.2	پتاسیم	1.68
آلومینیم	8.0	تیتانیم	0.86
آهن	5.8	هیدروژن	0.14
کلسیم	5.06	منگنز	0.10
منیزیم	2.77	فسفر	0.10
مجموع	99.23		

۱-۴-۱ مزایا و معایب منیزیم

مزایای منیزیم و آلیاژهای آن را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر فهرست نمود [۴]:

- کمترین چگالی در بین مواد سازه‌ای.

- استحکام مخصوص بالا.

- قابلیت ریخته‌گری بالا، مناسب برای ریخته‌گری تحت فشار بالا.
 - قابلیت ماشینکاری در سرعت‌های بالا.
 - قابلیت جوشکاری خوب تحت محیط کنترل شده.
 - حفاظت از عناصر دیگر در مقابل خوردگی (استفاده از منیزیم خالص در حفاظت کاتدی).
 - دسترسی آسان.
 - هدایت حرارتی مناسب.
- یکی از دلایل محدود بودن استفاده از منیزیم، برخی ویژگی‌های ضعیف این فلز است که به کارهای توسعه‌ای بیشتری نیاز دارد. معایب منیزیم را به طور خلاصه می‌توان به صورت زیر اشاره کرد [۴]:
- پایین بودن ضریب ارتجاعی.
 - محدودیت در کار سرد و چقرمگی (باید به صورت ریختگی یا گرم کار مورد استفاده قرار گیرد).
 - محدود بودن استحکام و مقاومت به خزش در دمای بالا.
 - انقباض زیاد در هنگام انجماد.
 - مقاومت به خوردگی پایین در برخی از کاربردها.
 - گران‌تر بودن نسبت به آلومینیم.
 - واکنش پذیری شیمیایی بالا.
 - نرمی محدود به دلیل وجود ساختار HCP (سطوح لغزش محدود).
 - وجود نتایج محدود برای تغییر شکل در نرخ کرنش‌های بالا (برای تمامی آلیاژهای منیزیم).

۱-۴-۲ نمادگذاری آلیاژهای منیزیم

در حال حاضر هیچ گونه سیستم کد گذاری بین‌المللی برای نام‌گذاری آلیاژهای منیزیم وجود