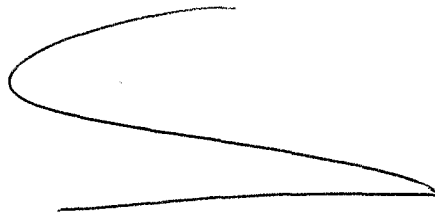
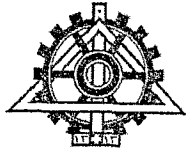


9120



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

عنوان:

طراحی، شبیه سازی و ساخت قالب اکستروژن
پیچشی به منظور تولید دانه های فوق ریز حجمی
در مس، آلومینیوم و تیتانیوم

نگارش:

امیررضا شهاب

۱۳۸۶ / ۹ / ۱۸

استاد راهنما:

دکتر سید علی اصغر اکبری موسوی

استاد مشاور: دکتر سعید برجی

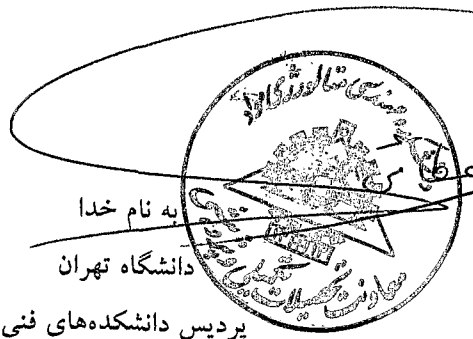
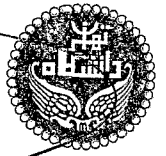
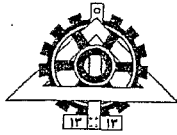
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی متالورژی و مواد

گرایش شکل دهی فلزات

شهریور ۱۳۸۶

۹۱۲۵



به نام خدا
دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی

دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات محترم داوران پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امیررضا شهاب به شماره دانشجویی ۸۱۰۷۸۳۰۲۸ در رشته متالورژی و مواد گرایش شکل دهی فلزات را در تاریخ ۱۳۸۶/۶/۲۷ با عنوان "طراحی، شبیه سازی و ساخت قالب اکستروژن پیچشی به منظور تولید دانه های فوق ریز حجمی در مس، آلومینیوم و تیتانیم"

به عدد به حروف

۲۰ بیست نام

با نمره نهایی:

ارزیابی نمود

عالی

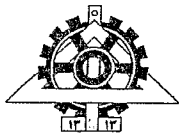
در درجه

ردیف	مشخصات هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ دانشگاهی	دانشگاه یا موسسه	امضاء
۱	استاد راهنما	دکتر سید علی اصغر اکبری موسوی	استادیار	دانشگاه تهران	
۲	استاد مشاور	دکتر سعید برجی	استادیار	دانشگاه مالک اشتر	
۳	استاد مدعو خارجی	دکتر پیروز مرعشی	استادیار	دانشگاه امیرکبیر	
۴	استاد مدعو داخلی	دکتر سید حسن پیش بین	استادیار	دانشگاه تهران	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی متالورژی و مواد	دکتر سید حسن پیش بین	استادیار	دانشگاه تهران	

تذکر: این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان نامه درج می گردد.

فرم (۸)





تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب امیررضا شهاب تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی این جانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: امیررضا شهاب

امضاء دانشجو:

تقدیم بہ

دو بال پروازم

پدر و مادر عزیزم

چکیده

انگیزه دستیابی به اندازه دانه های فوق ریز کوچکتر از یک میکرون با خواص منحصر بفرد سبب شده است در عصر حاضر با پتانسیل بزرگ و رو به رشدی از ابداعات و اختراعات در حوزه مواد حجمی نانوساختار مواجه باشیم. به نظر می رسد، محققین در هر حیطة ای که خواص ویژه ای از مواد مانند استحکام بالا، نسبت استحکام به وزن مناسب و نیز عمر خستگی بسیار بالا مورد نیاز باشد به سراغ این نوع مواد می روند. در میان روشهای ابداع شده تا کنون دو روش اکستروژن زاویه ای و اکستروژن پیچشی نزدیکتر به صنعتی شدن هستند فقط با این تفاوت که روش اول به دلیل قدمت طولانی تر پیشرفتهای بیشتری در این زمینه داشته است اما روش دوم که مبنای پژوهش حاضر می باشد دارای عمر حدود ۶ ساله بوده، زوایای پنهان و پتانسیل قابل توجهی برای تحقیق دارد. در پژوهش حاضر مراحل طراحی، شبیه سازی عددی و فیزیکی، ساخت قالب و نهایتا تولید محصول نهایی در مقیاس تحقیقاتی سپری گردید. در نخستین مرحله محاسبات طراحی قالب و انتخاب توان پرس بر مبنای محاسبات مخازن جدار ضخیم تحت فشار و تئوری میدان خط لغزش انجام شد و ابعاد مناسب هسته پیچشی و رینگهای محافظ فشاری محاسبه گردید. سپس رفتار سیلان مواد مختلف از قبیل مس، آلومینیوم و تیتانیوم در ۲،۱ و ۳ پاس، نحوه توزیع تنش وان-میسز، کرنش معادل پلاستیک در طول و سطح مقطع، همچنین حالت تنش کرنش و نیز کرنش برشی توسط شبیه سازی عددی با ابزار المان محدود نرم افزار ABAQUS 6.5 برای اولین بار در دنیا انجام شد و با داده های تجربی مقایسه شده و صحت گذاری گردید. سپس بر مبنای محاسبات انجام شده، نقشه های ساختی و مونتاژی قالب و کلیه ملحقات کشیده شد و ساخت قالب آغاز گردید. پس از ساخت قالب، مونتاژ و نصب آن بر روی پرس مناسب انجام شد و در نهایت به صورت تجربی اکستروژن پیچشی بر روی نمونه هایی بزرگتر از ابعاد انجام شده تا کنون، انجام گرفت و در پایان ریزساختار، سختی و خواص مکانیکی آنها قبل و بعد از تغییر شکل استخراج و مقایسه گردید. در نتیجه به ازای هر پاس (به خصوص در پاسهای اولیه) اندازه دانه تقریبا نصف شده و استحکام به حداقل دو برابر افزایش می یابد.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر از جمله تحقیقاتی است که با وجود تمامی مشکلات و کمبودهای موجود در کشور، به لطف خداوند متعال، علاوه بر آنکه در مرز دانش جهانی انجام شده و دریچه‌هایی نوین را به روی محققین گشوده است، اکنون دانش فنی و قابلیت‌های ورود به صنعت حال حاضر را نیز در بر دارد. انجام چنین پروژه عظیمی محقق نمی‌شد مگر عزمی ملی که حاصل تلاش گروهی محققین ایرانی است. لذا بر خود لازم می‌دانم از زحمات دو بزرگوار که همانا استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر سید علی اصغر اکبری موسوی و مشاور صنعتی ارجمندم جناب آقای مهندس محمد مسطوری می‌باشند که به حق در تمامی مراحل پروژه گام به گام و پله به پله، دلسوزانه مرا از راهنمایی‌های بسیار راهگشای خود چه از لحاظ علمی - فنی و چه از لحاظ تکنیکی - صنعتی بهره‌مند ساختند و نیز فرصت عملی ساختن چنین ایده‌ای را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از تمامی دوستان عزیزم و سایر بزرگوارانی که به نحوی مرا در به ثمر رساندن این پژوهش یاری رساندند، کمال سپاسگزاری را ابراز می‌نمایم.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

۱	۱-۱- مقدمه
---	------------

فصل دوم : مروری بر منابع

۳	۱-۲- کلیات روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید
۵	۲-۲- روش نورد پیوندی تجمعی
۸	۳-۲- روش فورج چند جهتی
۸	۴-۲- روش پیچش تحت فشار بالا
۱۱	۵-۲- روش اکستروژن/پرس زاویه ای هم مقطع
۱۸	۶-۲- روش اکستروژن پیچشی
۱۹	۱-۶-۲- مکانیک سیلان پلاستیک در حین اکستروژن پیچشی
۲۷	۲-۶-۲- جنبه های تکنولوژیکی اکستروژن پیچشی

فصل سوم : روش انجام آزمایش

۳۶	۱-۳- روش محاسبات قالب و پرس
۳۷	۱-۱-۳- محاسبات مخازن جدار ضخیم
۳۹	۲-۱-۳- محاسبات میدان خط لغزش
۴۰	۲-۳- فرضیات محاسبات عددی در شبیه سازی کامپیوتری
۴۲	۱-۲-۳- مشخصات مدل شبیه سازی شده
۴۳	۲-۲-۳- مدلسازی جنس قطعات به کار برده شده
۴۴	۳-۲-۳- تنظیم رویه تحلیل
۴۷	۳-۳- شرایط و نحوه ساخت قطعات
۵۰	۴-۳- شرایط شبیه سازی فیزیکی با خمیر
۵۰	۵-۳- شرایط اولیه نمونه ها و نحوه انجام آزمایش و تست محصولات

فصل چهارم : نتایج و بحث

۵۳	۱-۴- نتایج محاسبات عددی حاصل از شبیه سازی کامپیوتری
۵۳	۱-۱-۴- نتایج شبیه سازی مس آنیل
	۱-۱-۴- بررسی میزان تنش وان میسزو میزان کرنش معادل پلاستیک در مسیرهای مختلف روی نمونه
۵۴	
۵۵	۱-۱-۴-۱-۱- میزان تنش وان میسز
۵۸	۲-۱-۴-۱-۱- میزان کرنش معادل پلاستیک
۵۹	۱-۱-۴-۱-۲- مسیر محور مرکزی
۶۱	۱-۱-۴-۱-۲- مسیر وسط ضلع کوچک
۶۲	۱-۱-۴-۱-۳- مسیر وسط ضلع بزرگ
۶۳	۱-۱-۴-۱-۴- مسیر گوشه
۶۵	۲-۱-۴- بررسی اثر ضریب اصطکاک

۶۵	.....
۶۶	..... ۳-۱-۱-۴ حساسیت شبیه سازی به اندازه مش
۶۷	..... ۴-۱-۱-۴ مقایسه شکلی محصول شبیه سازی و تجربی
۶۸	..... ۵-۱-۱-۴ بررسی اثر سرعت فک
۶۸	..... ۲-۱-۴ نتایج شبیه سازی آلومینیوم خالص
۷۲	..... ۱-۲-۱-۴ بررسی مسیر المانی
۷۵	..... ۲-۲-۱-۴ میزان کرنش پلاستیک معادل
۷۶	..... ۳-۲-۱-۴ میزان تنش وان میسر
۷۶	..... ۴-۲-۱-۴ اثر سرعت حرکت فک
۷۶	..... ۳-۱-۴ نتایج شبیه سازی Ti-6Al-4V
۷۷	..... ۱-۳-۱-۴ نمودار تنش-کرنش المانها
۸۰	..... ۲-۳-۱-۴ مقادیر کرنش برشی در سطح مقطع
۸۵	..... ۲-۴ نتایج شبیه سازی فیزیکی با استفاده از خمیر
۸۸	..... ۳-۴ نتایج آزمایشات عملی
۱۰۰	..... ۱-۳-۴ بررسیهای ریز ساختاری
۱۰۱	..... ۲-۳-۴ نتایج سختی سنجی
	..... ۳-۳-۴ نتایج خواص مکانیکی
۱۰۴	..... فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۶	..... ۱-۵ نتیجه گیری
۱۰۷	..... ۲-۵ پیشنهادات
	..... مراجع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲: تصویر شماتیک از فرایند نورد پیوندی تجمعی..... ۵
- شکل ۲-۲: تصویر شماتیک از فرایند فورج چند جهتی..... ۹
- شکل ۳-۲: شماتیک قالب و پرس در روش پیچش تحت فشار بالا..... ۱۰
- شکل ۴-۲: تصویر شماتیک روش اکستروژن زاویه ای هم مقطع..... ۱۲
- شکل ۵-۲: مسیرهای مختلف انجام پرس در روش اکستروژن زاویه ای هم مقطع..... ۱۳
- شکل ۶-۲: اکستروژن زاویه ای ورق..... ۱۵
- شکل ۷-۲: اکستروژن زاویه ای با قالبهای گردان..... ۱۵
- شکل ۸-۲: اکستروژن زاویه ای چند پاسه..... ۱۵
- شکل ۹-۲: اکستروژن زاویه ای با محورهای موازی..... ۱۶
- شکل ۱۰-۲: فرآیند ECAP-Conform..... ۱۶
- شکل ۱۱-۲: ریز ساختار مس خالص پس از ۱۲ پاس ECAP در مسیر B..... ۱۷
- شکل ۱۲-۲: ریز ساختار آلیاژ دو فازي Zn-22%Al با روش HPT در ۵ پاس..... ۱۸
- شکل ۱۳-۲: فرآیند اکستروژن پیچشی و محصول آن در حین فرآیند..... ۱۹
- شکل ۱۴-۲: سطح مقطع نمونه با علامات مشخص شده که نشانگر سیلان عرضی در سطح مقطع است.. ۲۱
- شکل ۱۵-۲: (الف) میدان سرعت و (ب) توزیع نرخ کرنش..... ۲۶
- شکل ۱۶-۲: قابلیت‌های صنعتی شدن اکستروژن پیچشی..... ۲۸
- شکل ۱۷-۲: اعمال فشار بصورت مکانیکی و هیدرولیکی (با استفاده از سیال روغن)..... ۲۹
- شکل ۱۸-۲: اعمال فشار بصورت صرفاً مکانیکی (با فشار جک پایینی و بدون سیال) در حالت سرد..... ۲۹
- شکل ۱۹-۲: اعمال فشار بصورت صرفاً مکانیکی (با فشار جک پایینی و بدون سیال) در حالت گرم..... ۲۹
- شکل ۲۰-۲: محصولات مسی در حین و پس از فرایند..... ۳۲
- شکل ۲۱-۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی فیبر های $Al_3(Sc,Zr)$ برش خورده..... ۳۳
- شکل ۲۲-۲: تصویر میکروسکوپ نوری مس پودری بعد از اکستروژن پیچشی..... ۳۴
- شکل ۲۳-۲: تصویر نمونه محصول $Al86Ni6Co2Gd6$ ۳۵
- شکل ۲۴-۲: تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ فوق در (الف) گوشه و (ب) مرکز پس از ۳ پاس اکستروژن... ۳۵
- شکل ۲۵-۲: نمودار ریز سختی آلیاژ فوق قبل و بعد از تراکم..... ۳۵
- شکل ۱-۳: تصویر شماتیک قالب اکستروژن پیچشی به همراه سه رینگ حمایت کننده..... ۳۷
- شکل ۲-۳: نمای فک، قالب و بیلت (زاویه اول)..... ۴۳
- شکل ۳-۳: نمای فک، قالب و بیلت (زاویه دوم)..... ۴۳
- شکل ۴-۳: نمای سیمی قالب..... ۴۳
- شکل ۵-۳: نمای حجمی قالب..... ۴۳
- شکل ۶-۳: تصویر شماتیک setup اکستروژن پیچشی..... ۴۶
- شکل ۷-۳: شکل شماتیک نمونه..... ۴۶
- شکل ۸-۳: شماتیک قالب راستگرد اکستروژن پیچشی..... ۴۷
- شکل ۹-۳: قالب اکستروژن پیچشی (نمای بالایی)..... ۴۸
- شکل ۱۰-۳: قالب اکستروژن پیچشی - قسمت پیچش (نمای بالایی)..... ۴۸
- شکل ۱۱-۳: قالب اکستروژن پیچشی (نمای کناری)..... ۴۸

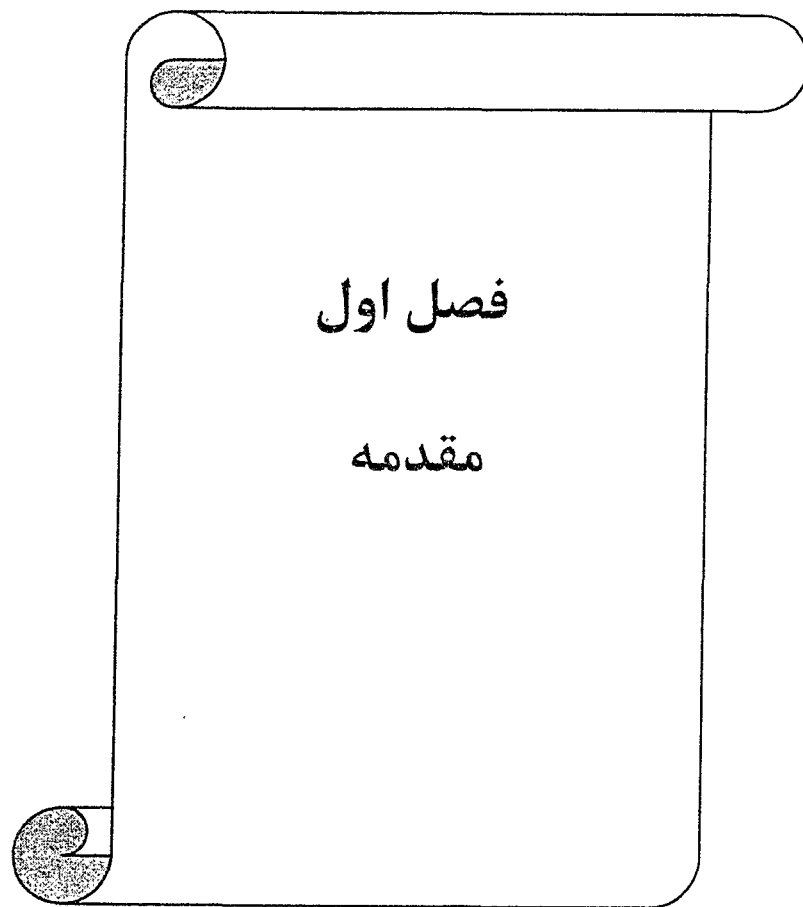
- شکل ۳-۱۲: تصویر سنبه گیر.....
شکل ۳-۱۳: تصویر هدایت کننده مواد (ماتریس بالایی).....
شکل ۳-۱۴: الکتروود نمادین اسپارک و نشانگر نحوه پیچش مجرای قالب (نمای کناری).....
شکل ۳-۱۵: الکتروود نمادین اسپارک و نشانگر نحوه پیچش ۹۰ و ۱۸۰ درجه مجرای قالب (نمای بالایی).....
شکل ۳-۱۶: الکتروود نمادین اسپارک و نشانگر نحوه پیچش ۱۸۰ درجه مجرای قالب (نمای بالایی).....
شکل ۳-۱۷: تصویر setup قالب اکستروژن پیچشی بر روی پرس در فک پایین و سنبه و ملحقات آن در فک بالا (نمای روبرو).....
شکل ۳-۱۸: تصویر setup قالب اکستروژن پیچشی بر روی پرس در فک پایین و سنبه و ملحقات آن در فک بالا (نمای بالا).....
شکل ۳-۱۹: چدمان اولیه خمیر قبل از ورود به قالب اکستروژن پیچشی (مدلسازی فیزیکی).....
شکل ۳-۲۰: خروج خمیر از قالب اکستروژن پیچشی (مدلسازی فیزیکی) - بدو خروج.....
شکل ۳-۲۱: تصویر نمونه اولیه اکستروژن پیچشی.....
شکل ۴-۱: نمای قطعه در حین فرآیند.....
شکل ۴-۲: نمای قطعه پس از یک پاس اکستروژن.....
شکل ۴-۳: توزیع تنش وان میسر در نمای بالایی و پایینی قطعه.....
شکل ۴-۴: مسیرهای مختلف مشخص شده در جهت طولی بیلت.....
شکل ۴-۵: نمودار تنش وان میسر بر حسب طول نمونه در راستای محوری.....
شکل ۴-۶: تغییرات تنش وان میسر با زمان برای نقطه مرکزی مسیر محوری در یک پاس ناشی از تغییر شکل.....
شکل ۴-۷: محصول ناشی از تغییر شکل همزمان در دو پاس.....
شکل ۴-۸: پروفیل تنش ماکزیمم مورد نیاز برای تغییر شکل ۲ پاس همزمان.....
شکل ۴-۹: میزان کرنش معادل پلاستیک در فواصل کسری ۱/۴، ۲/۴، ۳/۴ و ۴/۴ زمانی به صورت خروجی میدانی کانتوری.....
شکل ۴-۱۰: نمودار میزان کرنش پلاستیک بر حسب طول قطعه - نمونه با طول کوچکتر - در راستای محور مرکزی.....
شکل ۴-۱۱: نمودار میزان کرنش پلاستیک بر حسب طول قطعه - نمونه با طول کوچکتر - در راستای وسط ضلع کوچک.....
شکل ۴-۱۲: نمودار میزان کرنش پلاستیک بر حسب طول قطعه - نمونه با طول کوچکتر - در راستای وسط ضلع بزرگ.....
شکل ۴-۱۳: نمودار میزان کرنش پلاستیک بر حسب طول قطعه - نمونه با طول کوچکتر - در راستای گوشه.....
شکل ۴-۱۴: نمودار بیشترین میزان کرنش پلاستیک در چهار مسیر طولی شامل محور مرکزی، وسط اضلاع بزرگ و کوچک و گوشه.....
شکل ۴-۱۵: نمودار تنش وان میسر بر حسب طول نمونه در مسیر محوری نمونه با ضریب اصطکاک ۰,۲.....
شکل ۴-۱۶: تصویر نمونه محصول در حین فرآیند اکستروژن پیچشی.....
شکل ۴-۱۷: تصویر شماتیک نمونه شبیه سازی شده در حین فرآیند اکستروژن پیچشی.....
شکل ۴-۱۸: تصویر انتهایی نمونه محصول پس از فرآیند اکستروژن پیچشی.....

- شکل ۴-۱۹: تصویر شماتیک انتهای نمونه پس از فرآیند اکستروژن پیچشی..... ۶۷
- شکل ۴-۲۰: تصویر انتهای نمونه محصول پس از فرآیند اکستروژن پیچشی (حاصل تحقیق حاضر)..... ۶۷
- شکل ۴-۲۱: نمودار مقدار کرنش معادل پلاستیک بر حسب زمان در دو سرعت فک متفاوت..... ۶۷
- شکل‌های ۴-۲۲ الف- و: الگوی تغییر شکل مسیر المانی گوشه..... ۷۰
- شکل‌های ۴-۲۳ الف- و: کانتورهای کرنش پلاستیک کل نمونه و توزیع آن در شش مرحله فرآیند..... ۷۰
- شکل‌های ۴-۲۴ الف- د: سه المان انتخاب شده در مرکز نمونه در چهار مرحله زمانی تغییر شکل..... ۷۲
- شکل‌های ۴-۲۵ الف- د: سه المان انتخاب شده در گوشه نمونه در چهار مرحله زمانی تغییر شکل..... ۷۲
- شکل ۴-۲۶: پروفیل کرنش پلاستیک معادل در مسیر گوشه مشخص شده در شکل ۳-۷ در پایان چهار بخش مساوی زمانی از کل زمان تغییر..... ۷۴
- شکل ۴-۲۷: تغییرات مقدار کرنش معادل پلاستیک با زمان..... ۷۴
- شکل ۴-۲۸: تغییرات تنش وان میسز با زمان برای چهار المان..... ۷۵
- شکل ۴-۲۹: تغییرات کرنش معادل پلاستیک با زمان برای چهار المان..... ۷۶
- شکل ۴-۳۰: نمودار تنش ون- میسز بر حسب کرنش معادل پلاستیک برای چهار المان..... ۷۷
- شکل ۴-۳۱: سه المان انتخابی در سطح مقطع میانی به ترتیب در مرکز، میان و گوشه..... ۷۸
- شکل ۴-۳۲ الف - ج: تغییرات کرنش پلاستیک برشی با مولفه های ۱۲، ۱۳ و ۲۳ با زمان برای سه المان مرکزی، میانی و گوشه..... ۷۹
- شکل ۴-۳۳: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله یک)..... ۸۰
- شکل ۴-۳۴: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله دو)..... ۸۰
- شکل ۴-۳۵: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله سه)..... ۸۱
- شکل ۴-۳۶: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله چهار)..... ۸۱
- شکل ۴-۳۷: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله پنج)..... ۸۱
- شکل ۴-۳۸: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله شش)..... ۸۱
- شکل ۴-۳۹: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله هفت)..... ۸۱
- شکل ۴-۴۰: خروج نمونه خمیری اول از قالب اکستروژن پیچشی (مرحله هشت)..... ۸۱
- شکل ۴-۴۱: تصاویر محصول اکستروژن پیچشی نمونه های خمیری..... ۸۲
- شکل ۴-۴۲: تصاویر مقاطع برش خورده محصول اکستروژن پیچشی نمونه های خمیری..... ۸۳
- شکل ۴-۴۳: سطوح برگزیده از نمونه های خمیری برای تحلیل..... ۸۴
- شکل ۴-۴۴: الف و ب) محصولات مسی پس از یک پاس اکستروژن، ج) محصولات ناشی از ۳ پاس تغییر شکل آلومینیوم د) محصولات آلومینیومی معیوب..... ۸۸
- شکل ۴-۴۵: ریز ساختار اولیه مس در دو بزرگنمایی..... ۸۹
- شکل ۴-۴۶: ریز ساختار مس محصول در دو راستا..... ۹۱
- شکل ۴-۴۷: ریز ساختارهای مناطق مختلف سطح مقطع..... ۹۴
- شکل ۴-۴۸: ریز ساختار از گوشه به مرکز نمونه در ۵ نقطه از گوشه تا مرکز..... ۹۷
- شکل ۴-۴۹: ریز ساختار اولیه آلومینیوم خالص..... ۹۸
- شکل ۴-۵۰: ریز ساختار آلومینیوم محصول بعد از ۱ پاس تغییر شکل در گوشه..... ۹۸
- شکل ۴-۵۱: ریز ساختار آلومینیوم محصول بعد از ۱ پاس تغییر شکل در مرکز..... ۹۸
- شکل ۴-۵۲: ریز ساختار آلومینیوم محصول بعد از ۳ پاس تغییر شکل در گوشه..... ۹۹

- شکل ۴-۵۳: ریز ساختار آلومینیوم محصول بعد از ۲ پاس تغییر شکل در گوشه..... ۹۹
- شکل ۴-۵۴: ریز ساختار تیتانیوم خالص بعد از ۳ پاس اکستروژن پیچشی..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵۵: نمودار سختی، درصد افزایش طول و استحکام کششی برای آلومینیوم..... ۱۰۲

فهرست جداول

۳۲	جدول ۱-۲: مقایسه خواص مس حاصل از اکستروژن پیچشی و کشیده شده در حالت سرد
۳۳	جدول ۲-۲: مشخصات مس خالص پودری قبل و بعد از اکستروژن پیچشی
۴۴	جدول ۱-۳: مشخصات المان بیلت
۴۷	جدول ۲-۳: ثوابت مدل مادی جانسون کوک تصحیح شده برای آلومینیوم خالص
۴۷	جدول ۳-۳: ثوابت مدل مادی جانسون کوک تصحیح شده برای Ti-6Al-4V
۵۱	جدول ۴-۳: ترکیب شیمیایی آلومینیوم ۱۱۰۰ مورد استفاده به درصد وزنی
۵۱	جدول ۵-۳: ترکیب شیمیایی مس خالص تجاری مورد استفاده به درصد وزنی
۵۱	جدول ۶-۳: ترکیب شیمیایی تیتانیوم خالص تجاری مورد استفاده به درصد وزنی
۱۰۰	جدول ۱-۴: نتایج سختی سنجی مس و آلومینیوم خالص پس از تغییر شکل
۱۰۱	جدول ۲-۴: نتایج حاصل از تست کشش نمونه های مس و آلومینیوم
۱۰۲	جدول ۳-۴: خواص مکانیکی تیتانیوم خالص پس از سه پاس اکستروژن پیچشی
۱۰۳	جدول ۴-۴: خواص مکانیکی تیتانیوم خالص پس از سه پاس اکستروژن پیچشی و آنیل
۱۰۳	جدول ۵-۴: خواص مکانیکی تیتانیوم خالص پس از سه پاس اکستروژن پیچشی و نورد



فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در سالهای اخیر مواد نانوساختار حجمی^۱ که با روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید^۲ تولید می شوند توجه بسیاری از متخصصان علم مواد را نسبت به سایر روشهای تولید این مواد، به خود معطوف کرده است تا قبل از ابداع روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید، اندازه دانه در حدود ۱ میکرون به عنوان کوچکترین اندازه دانه در توده مواد شناخته می شد. به این دلیل امروزه، بدست آوردن ساختارهایی با دانه های بسیار ریز (در حد نانومتر) برای مواد گوناگون با این روش، موضوع مورد بحث بسیاری از مطالعات در دو دهه گذشته بوده است.

خواص فوق العاده این مواد دلیل این توجه فراوان بوده است. مواد نانوکریستالی خواص جالبی از بهبود خواص مکانیکی را بدون نیاز به افزودن عناصر آلیاژی، ارائه می کنند که از آن جمله می توان به استحکام بالا در دمای اتاق به همراه داکتیلیتی مناسب، سوپرپلاستیسیته در نرخ کرنشهای بالا و دماهای کم، مقاومت به خوردگی و عمر بالای خستگی را نام برد. این توجه نه تنها به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر به فرد حاصل از مواد نانو ساختار به روشهای مرسوم مانند متراکم کردن در حالت گازی^۳ و یا آسیاب توپی^۴ به همراه تراکم پودر می باشد بلکه به دلیل سایر مزایایی است که مواد تولیدی به این روش نسبت به روشهای دیگر تولید مواد نانوساختار دارد. به خصوص روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید باعث غلبه بر مشکلاتی نظیر به باقی ماندن حفره ها و ناخالصی ها در پودرهای فشرده شده، ناخالصی های حاصل از آسیاب توپی، تولید بیلتهایی با ابعاد بزرگ و کاربردی نمودن این محصولات، می شوند و همچنین می توان آن را جایگزینی مناسب برای روشهای موجود متراکم کردن نانو پودرها به شمار آورد [۱].

امروزه در کنار بهینه سازی هندسی و بهبود کیفیت قالبها و نیز تولید موادی با قابلیت حفظ ساختار نانو در دماهای بالا، تلاش برای توسعه روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید به نحوی که بتوان از آنها برای تولید محصولات با ابعاد بزرگتر از لحاظ صنعتی استفاده کرد و نیز پیوسته نمودن فرآیندها به

¹ Bulk Nanostructured Materilas (BNM)

² Severe Plastic Deformation (SPD)

³ Gas Phase Condensation

⁴ Ball Milling

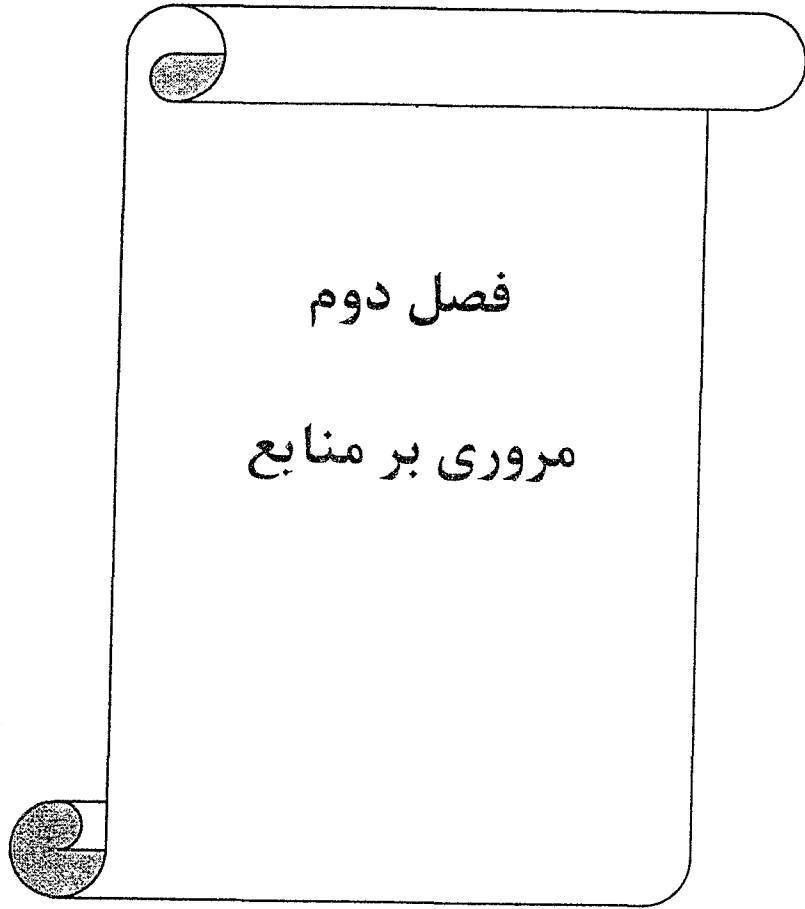
گونه ای که بتوان به سادگی آنها را در خطوط تولید صنایع وارد نمود، همچنان ادامه دارد. از جمله مهمترین و پربازده ترین زیر مجموعه های این روش میتوان به اکستروژن زاویه ای هم مقطع و اکستروژن پیچشی اشاره کرد. روش اکستروژن پیچشی از جنبه های تئوریک و صنعتی دارای مزایایی نسبت به سایر روشها می باشد که از آن جمله می توان به تولید نانو ساختار در تعداد پاسهای کمتر و همگنی بیشتر ساختار نهایی اشاره کرد.

در پژوهش حاضر در فصل دوم مروری تقریباً اجمالی بر روشهای متداول و شناخته شده تغییر شکل پلاستیک شدید و آخرین تحقیقات انجام شده در این حوزه شده است اما توضیح و تفصیل بیشتری به روشهای اکستروژن زاویه ای و اکستروژن پیچشی - روش مورد تحقیق پژوهش حاضر به دلیل پتانسیل بالاتر صنعتی شدن اختصاص داده شده است.

در فصل سوم، به عنوان روش تحقیق ابتدا طراحی و محاسبات قالب با استفاده از روابط مخازن جدار ضخیم برای اکستروژن پیچشی محاسبه گردیده است. سپس شرایط و فرضیه های شبیه سازی عددی توسط ابزار المان محدود در یک، دو و سه پاس برای فلزات مس، آلومینیوم و تیتانیوم به طور کامل و جامع بیان شده است. قابل ذکر است که شبیه سازی عددی این فرآیند توسط ابزار المان محدود توسط مخترعان این روش ابزار کارآمدی محسوب نمی شد اما در این تحقیق، به طور جامع و موفقیت آمیزی برای اولین بار در دنیا انجام شد. علاوه بر این شرایط اولیه و تجهیزات ساخت قالب، شبیه سازی فیزیکی با خمیر، شرایط اولیه نمونه فلزات و نحوه تست آنها قبل و بعد از فرآیند آمده است.

در فصل چهارم کلیه نتایج حاصل از شبیه سازی عددی شامل رفتار سیلان فلزات، نحوه توزیع تنش وان-میسز، کرنش معادل پلاستیک در طول و سطح مقطع، همچنین حالت تنش کرنش و نیز کرنش برشی بیان شده است. همچنین نتایج شبیه سازی فیزیکی با خمیر و نهایتاً سختی، ریز ساختار و خواص مکانیکی فلزات فوق قبل و بعد از هر پاس تست و صحه گذاری با یافته های شبیه سازی آورده شده است.

در فصل پنجم نیز پیشنهادهایی به منظور برطرف نمودن عیوب قالب موجود و نزدیک شدن هر چه بیشتر به موقعیت نیمه صنعتی برای پژوهشهای آینده ارائه شده است.



فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- کلیات روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید

مطابق تحقیقات به خوبی روشن است که تغییر شکلهای شدید با روشهای متداول مانند نورد سرد و یا کشش منجر به ریز دانه شدن ساختار در دمای پایین می گردد [۱]. اما ساختار حاصل، زیر ساختاری^۵ از نوع سلولی با مرزهای کوچک زاویه می باشد. اما نانو ساختار حاصل از تغییر شکل پلاستیک شدید ساختاری حاوی دانه هایی با ابعاد نانومتری و دارای مرز دانه های بزرگ زاویه می باشد. به دست آوردن این چنین دانه های فوق ریزی با استفاده از روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید در دماهای پایین و تحت فشارهای اعمالی بالا امکان پذیر است [۱]. مواد حاصل از روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید، اغلب دارای اندازه دانه حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر بوده و فضای داخلی دانه ها حاوی زیرساختارهایی وابسته به شبکه های کریستالی است که به شدت دچار اعوجاج شده اند.

به منظور توسعه و گسترش روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید باید تحت شرایط خاصی، مواد نانو ساختار با ملزومات زیر تولید گردد.

الف) ساختار فوق ریز حاصل باید اغلب دارای مرزدانه های بزرگ زاویه باشد چراکه تغییرات قابل توجه در خواص مواد در این صورت رخ خواهد داد.

ب) تولید نانو ساختار به طور همگن در تمام حجم محصول، چراکه برای پایداری ساختار ماده، همگنی جزو ملزومات است.

ج) اگرچه مواد در این روش تحت کرنش زیاد قرار می گیرند اما نباید حاوی هیچ گونه عیب یا ترک مکانیکی باشد.

روشهای سنتی تغییر شکل شدید مانند نورد، کشش یا اکستروژن هیچ کدام از شرایط فوق را ارضا نمی کنند.

حصول موفق ساختار فوق ریز حجمی در مواد وابسته به حالت بهینه فرآوری، دمای نسبی پایین و

⁵ Sub Structure

کرنش بالا می باشد.

اندازه دانه حاصل از این روشها به طور کلی وابسته به ۴ فاکتور می باشد:

۱. روش تغییر شکل پلاستیک شدید مورد استفاده

۲. رژیم فرآیند از نظر دما، نرخ کرنش و فشار

۳. ترکیب فازی ماده

۴. ریز ساختار اولیه

در اغلب تحقیقات انجام شده، ریز ساختار اولیه معمولاً در حدود چند ده میکرون می باشد.

علاوه بر مزیت محصولات این روش که همانا بهبود خواص مکانیکی یعنی ترکیبی از استحکام بالا و تافنس مناسب می باشد برخی از مزایای دیگر استفاده از روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید در فراوری مواد به قرار زیر می باشد:

۱. ضریب نفوذ بسیار بالا در مواد حاصل

۲. خواص الکتریکی و مغناطیسی مناسبتر (هدایت الکتریکی بالاتر و کاهش اتلاف مغناطیسی)

۳. همگنی بالاتر ساختار نسبت به نمونه های با دانه درشت تر

در روشهای تغییر شکل پلاستیک شدید، مواد تحت فشار بالای هیدرواستاتیک در کرنشهای بالا و دماهای نسبتاً پایین تغییر شکل داده می شوند به نحوی که سطح مقطع آنها ثابت بماند تا بتوان در تعداد پاسهای بیشتر نیز تغییر شکل را تکرار نمود.

برخی از روشهای مختلف تغییر شکل پلاستیک شدید شامل اکستروژن پیچشی^۶، پیچش تحت فشار بالا^۷، نورد پیوندی تجمعی^۸، خمکاری و صافکاری مکرر^۹ و اکستروژن زاویه ای مقاطع یکسان^{۱۰} می باشند. بیشتر این روش ها محدودیتهایی در ابعاد قطعه دارند بطوریکه در حالت کلی به نمونه هایی با اندازه های کوچک محدود می شوند و انجام آن در مقیاس صنعتی دشوار است. از روشهای فوق، تنها

⁶ Twist Extrusion

⁷ High Pressure Torsion

⁸ Accumulated Roll Bonding

⁹ Repetitive Corrugation and Straightening

¹⁰ Equal Channel Angular Extrusion