

۸۷/۱۰/۱۵۴۴  
۸۷/۱۰/۱۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد  
(شناسائی، انتخاب و روش ساخت مواد)

تحلیل فرآیند های اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی با  
استفاده از روش اجزای محدود به منظور امکان سنجی ساخت لوله  
های طویل با مقاطع مختلف

به وسیله ی:

آرش خواجه

استاد راهنما

دکتر محمد محسن مشکسار

شهریور ۱۳۸۷

۱۰۴۱۱۰

۱۳۸۷ / ۱۰ / ۱۳

کتابخانه مرکزی  
دانشگاه شاهرود

به نام خدا

تحلیل فرآیند های اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی با استفاده از روش  
اجزای محدود به منظور امکان سنجی ساخت لوله های طویل با مقاطع مختلف

به وسیله ی:

آرش خواجه

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی  
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی مواد (شناسائی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه:

دکتر محمد محسن مشکسار، استاد بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته):

دکتر رامین ابراهیمی، استادیار بخش مهندسی مواد:

دکتر عبدالغفار برزگر، استادیار بخش مهندسی مواد:

شهریور ۱۳۸۷

تقدیم:

به پدر و مادر عزیزم

## سپاسگزاری

"الهی! شاد بدانیم که اول تو بودی و ما نبودیم؛ کار تو در گرفتی و ما نگرفتیم!  
مَلِکَا! هر چه بی طلب به ما دادی به سزاواری ما تباه مکن؛ و هر چه به جای ما کردی  
از نیکی، به عیب ما بریده مکن؛ و هر چه نه به سزای ما ساختی، به ناسزایی ما جدا  
مکن."

با تشکر و قدردانی فراوان از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد محسن مشکسار که  
با زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزشمندشان بنده را در راه رفع مشکلات پایان  
نامه یاری رساندند. همچنین از راهنمایی های اساتید گرامی آقایان دکتر رامین  
ابراهیمی و دکتر عبداغفار برزگر، اعضای محترم کمیته پایان نامه، کمال تشکر را دارم.

## چکیده

تحلیل فرآیند های اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی با استفاده از روش اجزای محدود به منظور امکان سنجی ساخت لوله های طویل با مقاطع مختلف

به وسیله‌ی:

آرش خواجه

در این تحقیق به ترتیب فرآیند های اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی، با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS شبیه سازی و مورد تحلیل قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی امکان تولید لوله های فولادی طویل با مقاطع متفاوت در صنعت با روش های شکل دهی فلزات بوده و طی این تحقیق میزان قدرت ابزار مورد نیاز برای نیل به این هدف و عیوب و مشکلات احتمالی طی این پروسه ها به همراه ارائه راه حلی بیان شده است. از آنجا که روش تولید کنونی این اجزاء در کشور تراشکاری است که به دلیل دور ریز زیاد، هزینه و زمان بسیار زیادی را می طلبد، جایگزینی روش های سریع تر، کم هزینه تر و با دور ریز کمتر از جمله نیازمندی های صنعت می باشد.

به منظور بررسی دقت و صحت نتایج حاصله، ابتدا شبیه سازی فرآیند اکستروژن معکوس آلومینیوم که نتایج تجربی آن در دست می باشد انجام شد. این نتایج همان گونه که در ادامه خواهد آمد نشان از دقت فوق العاده و قابلیت بالای این نرم افزار در شبیه سازی فرآیند های شکل دهی دارد.

پس از بررسی فرآیند های شکل دهی مورد بحث، مشخص گردید فرآیند اتوکاری بخراشی ترین فرآیند در میان فرآیند های مذکور جهت ساخت لوله های طویل با مقاطع مختلف می باشد. به گونه ای که اگر در عمل بتوان شرایط اصطکاکی را در فرآیند اتوکاری به گونه ای تغییر داد که ضریب اصطکاک بین حلقه های اتوکاری و قطعه کار به زیر  $0/1$  و ضریب اصطکاک بین ماندل و قطعه کار به بالای  $0/4$  برسد، تولید لوله های طویل بدون عیب با استفاده از روش های شکل دهی امکان پذیر می گردد. همچنین نیروی مورد نیاز برای ابزار های شکل دهی در فرآیند های اکستروژن معکوس و اتوکاری در حدود  $140$  تن و در مورد فرآیند فورج شعاعی در حدود  $90$  تن تخمین زده شد.

نتایج مختلفی از قبیل نمودار های نیرو بر حسب پیش روی ابزار شکل دهی، نمودار های انرژی، نحوه سیلان فلز، کانتور های تنش و کرنش و موارد دیگری که در ادامه آمده است گویای هماهنگی نتایج با واقعیت می باشد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مقدمه
۳	فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده
۳	۱-۲- تاریخچه روش اجزای محدود
۴	۲-۲- اجزای محدود چیست؟
۵	۳-۲- نرم افزار اجزای محدود ABAQUS
۷	۴-۲- معرفی فرآیند اکستروژن معکوس
۹	۵-۲- معرفی فرآیند اتوکاری
۱۲	۶-۲- معرفی فرآیند فورج شعاعی
۱۴	فصل سوم - تئوری
۱۴	۱-۳- فاکتور های مهم در فرآیند های شکل دهی
۱۴	۱-۱-۳- قابلیت شکل پذیری فلزات
۱۵	۲-۱-۳- سرعت تغییر شکل
۱۶	۳-۱-۳- محاسبه تنش سیلان
۱۶	۴-۱-۳- اصطکاک در فرآیند های شکل دهی
۱۸	۲-۳- تئوری های مرتبط با نرم افزار
۱۸	۱-۲-۳- انواع کد های المان محدود برای شبیه سازی
۱۹	۲-۱-۲-۳- تحلیل صریح دینامیکی
۲۰	۲-۲-۳- روش هایی برای افزایش سرعت تحلیل
۲۱	۳-۲-۲-۱- پایداری

۲۲	۲-۲-۲-۳- مقیاس دهی به جرم و کاهش زمان شبیه سازی
۲۳	۳-۲-۲-۳- توازن انرژی و مقیاس دهی به جرم
۲۵	۳-۲-۳- مش بندی تطبیق پذیر
۲۶	۱-۳-۲-۳- مدل کاملاً لاگرانژی
۲۶	۲-۳-۲-۳- مدل اولری
۲۹	۳-۳-۲-۳- مدل لاگرانژی- اولری اختیاری
۲۹	۴-۳-۲-۳- مراحل تطبیق مش

### فصل چهارم- روش انجام تحقیق

۳۱	۱-۴- محاسبه ابعاد قطعات و ابزار های شکل دهی در هر مرحله
۳۱	۲-۴- مراحل کار با نرم افزار
۳۷	۱-۲-۴- واحد ایجاد قطعه
۳۷	۲-۲-۴- واحد تعریف خواص
۴۵	۳-۲-۴- واحد مونتاژ
۴۶	۴-۲-۴- واحد تعریف مراحل آنالیز
۴۹	۵-۲-۴- واحد تعریف برهم کنش
۵۱	۶-۲-۴- واحد بارگذاری
۵۳	۷-۲-۴- واحد مش
۵۶	۸-۲-۴- واحد برنامه
۵۹	۳-۴- مراحل انجام شبیه سازی ها به منظور اعتبار سنجی نتایج

### فصل پنجم- بحث و نتیجه گیری

۶۵	۱-۵- بررسی نتایج شبیه سازی ها به منظور اعتبار سنجی
۶۵	۱-۱-۵- تحلیل حفره زایی در فرآیند اکستروژن معکوس
۶۷	۲-۵- بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند اکستروژن معکوس به عنوان اولین
۷۰	مرحله در ساخت لوله های طویل با سطح مقطع های مختلف
۷۱	۱-۲-۵- بررسی کانتور های تنش، کرنش و جابجایی
۷۷	۲-۲-۵- بررسی نمودار های نیرو و جابجایی
۷۹	۳-۲-۵- بررسی تاریخچه انرژی و تأیید اعتبار شبیه سازی



۸۲	۳-۵- بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند اتوکاری
۸۲	۱-۳-۵- بررسی کانتور های تنش، کرنش و جابجایی
۱۰۹	۲-۳-۵- بررسی نمودار های نیرو و جابجایی
۱۱۰	۳-۳-۴- بررسی تاریخچه انرژی و تائید اعتبار شبیه سازی
۱۱۲	۴-۵- بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند فورج شعاعی
۱۱۲	۱-۴-۵- بررسی کانتور های تنش، کرنش و جابجایی
۱۲۲	۲-۴-۵- بررسی نمودار های نیرو و جابجایی
۱۲۶	۳-۴-۵- بررسی تاریخچه انرژی و تائید اعتبار شبیه سازی
۱۲۸	۵-۵- خلاصه نتایج
۱۲۹	۶-۵- پیشنهادات

۱۳۰

مراجع

## فهرست جداول

صفحه	عنوان و شماره
۶۰	۴-۱- ابعاد اجزاء قطعات مدل شده
۶۱	۴-۲- خواص ماده تعریف شده برای نرم افزار به منظور مدل کردن قطعه کار

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان و شماره
۷	۱-۲- شمای کلی پروسه اکستروژن معکوس
	۲-۲- مقایسه نیروی پیش بینی شده اکستروژن معکوس از طریق شبیه سازی اجزای محدود با نتایج تجربی
۹	۳-۲- شمای کلی فرآیند اتوکاری
۱۱	۴-۲- تنش های فصل مشترکی در اتو کاری یک مرحله ای با سنبه استوانه ای
۱۲	۵-۳- آرایش معمول ابزار در فرآیند فورج شعاعی
۲۶	۱-۳- مدل لاگرانژی از یک مساله فورج متقارن محوری
۲۷	۲-۳- تحلیل یک مساله فورج متقارن محوری با استفاده از مش بندی تطبیق پذیر
۲۷	۳-۳- پیکر بندی اولیه غلتک و گرده در مدل کاملاً لاگرانژی
۲۸	۴-۳- پیکر بندی نهایی حالت پایا در مدل کاملاً لاگرانژی
۲۸	۵-۳- حوزه مش تطبیق پذیر اولری
۳۰	۶-۳- جابجایی یک نقطه گره ای طی یک جابجایی مش
۳۱	۱-۴- ابعاد نهایی قطعه کار
۳۲	۲-۴- ابعاد قطعه کار بعد از فرآیند اکستروژن معکوس
۳۳	۳-۴- ابعاد اولیه قطعه کار
۳۴	۴-۴- ابعاد قطعه کار در حین چهار مرحله فرآیند اتوکاری
۳۵	۵-۴- ابعاد قطعه کار بعد از فرآیند های اتوکاری
۳۵	۶-۴- ابعاد قطعه پیش فرم در فرآیند فورج شعاعی
۳۶	۷-۴- ابعاد قطعه پس از مرحله اول از فرآیند فورج شعاعی
۳۶	۸-۴- ابعاد قطعه پس از فرآیند دوم از فورج شعاعی
۳۷	۹-۴- شکل شماتیک قطعه کار مدل شده برای فرآیند اکستروژن معکوس

- ۳۸-۴-۱۰- شکل شماتیک سنبه مدل شده در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۳۸-۴-۱۱- شکل شماتیک قالب مدل شده در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۳۹-۴-۱۲- شکل شماتیک حلقه اول اتوکاری مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۰-۴-۱۳- شکل شماتیک حلقه دوم اتوکاری مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۰-۴-۱۴- شکل شماتیک حلقه سوم اتوکاری مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۱-۴-۱۵- شکل شماتیک حلقه چهارم اتوکاری مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۱-۴-۱۶- شکل شماتیک قطعه پیش فرم مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۲-۴-۱۷- شکل شماتیک ماندرل مدل شده در فرآیند اتوکاری
- ۴۳-۴-۱۸- شکل شماتیک چکش های شکل دهی در دو مرحله فرآیند فورج شعاعی
- ۴۳-۴-۱۹- شکل قطعه پیش فرم در مرحله اول فرآیند فورج شعاعی
- ۴۴-۴-۲۰- شکل قطعه پیش فرم در مرحله دوم فرآیند فورج شعاعی
- ۴۴-۴-۲۱- شکل ماندرل در فرآیند فورج شعاعی
- ۴۵-۴-۲۲- نمودار تنش- کرنش فولاد ۱۰۵۰ در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$
- ۴۶-۴-۲۳- موقعیت نسبی قطعات مونتاژ شده در مختصات جامع در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۴۷-۴-۲۴- موقعیت نسبی قطعات مونتاژ شده در مختصات جامع در فرآیند اتوکاری
- ۴۸-۴-۲۵- موقعیت نسبی قطعات مونتاژ شده در مختصات جامع در فورج شعاعی
- ۵۰-۴-۲۶- انتخاب روش حل *Dynamic, Explicit* به عنوان روش تحلیل
- ۵۱-۴-۲۷- زوج سطوح در تماس با یکدیگر در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۵۲-۴-۲۸- زوج سطوح در تماس با یکدیگر طی فرآیند اتوکاری
- ۵۲-۴-۲۹- زوج سطوح در تماس با یکدیگر طی فرآیند فورج شعاعی
- ۵۳-۴-۳۰- اعمال شرایط مرزی جابجایی به سنبه در مرحله تغییر فرم
- ۵۴-۴-۳۱- اعمال شرایط مرزی جابجایی و سرعت به حلقه های اتوکاری در مرحله تغییر فرم
- ۵۴-۴-۳۲- اعمال شرایط مرزی جابجایی به چکش های فورج شعاعی در مرحله یارگذاری
- ۵۵-۴-۳۳- اعمال شرایط مرزی جابجایی به چکش های فورج شعاعی در مرحله یار برداری
- ۵۵-۴-۳۴- اعمال شرایط مرزی جابجایی به چکش های فورج شعاعی در مرحله جابجایی
- ۵۷-۴-۳۵- نحوه مش بندی و نوع المان انتخاب شده برای قطعه کار در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۵۷-۴-۳۶- نحوه مش بندی و نوع المان انتخاب شده برای سنبه در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۵۸-۴-۳۷- نحوه مش بندی و نوع المان انتخاب شده برای قطعه کار در فرآیند اتوکاری
- ۵۸-۴-۳۸- نحوه مش بندی و نوع المان انتخاب شده برای حلقه اتوکاری در فرآیند اتوکاری

- ۶۰-۳۹-۴- نمونه های اکستروژن شده به همراه سنبه مربوط به هر نمونه
- ۶۱-۴۰-۴- نحوه قرار گیری قطعات مدل شده بصورت متقارن محوری در کنار یکدیگر
- ۶۳-۴۱-۴- شیوه مش بندی متناسب با هندسه فرآیند اکستروژن معکوس
- ۶۵-۱-۵- مقایسه نیروی محاسبه شده از شبیه سازی و کار آزمایشگاهی  
برای  $r = 17/4\%$  و  $r = 34\%$
- ۶۶-۲-۵- مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج عملی از نقطه نظر نیرو
- ۶۷-۳-۵- حفره جانبی در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۶۸-۴-۵- نحوه تداخل ناحیه تغییر فرم با سطوح صلب ابزار در اثر پیشرفت فرآیند در  $r = 34\%$
- ۶۸-۵-۵- همزمانی آغاز حرکت نقطه گره ای در گوشه پایینی قالب ( شروع ایجاد حفره)  
و افت ناگهانی نیروی سنبه
- ۶۹-۶-۵- کاهش ضخامت بحرانی کف سیلندر با افزایش قطر سنبه
- ۷۱-۷-۵- شکل شماتیک قطعه پیش فرم و قطعه نهایی در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۷۲-۸-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل  
پس از گذشت ۲۵٪ از زمان آغاز فرآیند ( $t = 1\text{sec}$ )
- ۷۳-۹-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل  
پس از گذشت ۵۰٪ از زمان آغاز فرآیند ( $t = 2\text{sec}$ )
- ۷۴-۱۰-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل  
پس از گذشت ۷۵٪ از زمان آغاز فرآیند ( $t = 3\text{sec}$ )
- ۷۵-۱۱-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل  
در انتهای فرآیند ( $t = 4\text{sec}$ )
- ۷۶-۱۲-۵- جابجایی نقاط در راستای قائم در انتهای فرآیند اکستروژن معکوس
- ۷۷-۱۳-۵- نمای ایزومتریک قطعه حاصل از فرآیند اکستروژن معکوس و مقطع آن
- ۷۸-۱۴-۵- نمودار جابجایی سنبه بر حسب زمان انجام فرآیند
- ۷۸-۱۵-۵- نمودار نیروی پیش بینی شده ابزار بر حسب زمان انجام فرآیند
- ۷۹-۱۶-۵- نمودار نیروی بر حسب پیشروی سنبه در فرآیند اکستروژن معکوس
- ۸۰-۱۷-۵- نمودار تغییرات انرژی داخلی طی فرآیند اکستروژن معکوس
- ۸۰-۱۸-۵- نمودار تغییرات انرژی جنبشی طی فرآیند اکستروژن معکوس
- ۸۲-۱۹-۵- شکل شماتیک و ابعاد قطعه پیش فرم و قطعه نهایی در فرآیند اتوکاری

- ۸۳-۵-۲۰- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری اول ( $t = 2.4\text{sec}$ )
- ۸۴-۵-۲۱- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری اول ( $t = 4.8\text{sec}$ )
- ۸۵-۵-۲۲- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری اول ( $t = 7.2\text{sec}$ )
- ۸۶-۵-۲۳- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری دوم ( $t = 9.6\text{sec}$ )
- ۸۷-۵-۲۴- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری دوم ( $t = 12\text{sec}$ )
- ۸۸-۵-۲۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری دوم ( $t = 14.4$ )
- ۸۹-۵-۲۶- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری دوم ( $t = 16.8$ )
- ۹۰-۵-۲۷- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری دوم ( $t = 19.2$ )
- ۹۱-۵-۲۸- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری سوم ( $t = 21.6\text{sec}$ )
- ۹۲-۵-۲۹- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری سوم ( $t = 24\text{sec}$ )
- ۹۳-۵-۳۰- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری سوم ( $t = 26.4\text{sec}$ )
- ۹۴-۵-۳۱- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری سوم ( $t = 28.8\text{sec}$ )
- ۹۵-۵-۳۲- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری سوم ( $t = 31.2\text{sec}$ )
- ۹۶-۵-۳۳- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 33.6\text{sec}$ )

- ۹۷ ۳۴-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 36\text{sec}$ )
- ۹۸ ۳۵-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 38\text{sec}$ )
- ۹۹ ۳۶-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 40.8$ )
- ۱۰۰ ۳۷-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 43.2\text{sec}$ )
- ۱۰۱ ۳۸-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 45.6\text{sec}$ )
- ۱۰۲ ۳۹-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 48 \text{ sec}$ )
- ۱۰۳ ۴۰-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 50.4\text{sec}$ )
- ۱۰۴ ۴۱-۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین عبور حلقه اتوکاری چهارم ( $t = 52.8\text{sec}$ )
- ۱۰۵ ۴۲-۵- نمای روبرو و ایزومتریک مقطع قطعه تغییر فرم یافته پس از عبور اولین حلقه اتوکاری
- ۱۰۶ ۴۳-۵- نمای روبرو و ایزومتریک مقطع قطعه تغییر فرم یافته پس از عبور دومین حلقه اتوکاری
- ۱۰۶ ۴۴-۵- نمای روبرو و ایزومتریک مقطع قطعه تغییر فرم یافته پس از عبور سومین حلقه اتوکاری
- ۱۰۷ ۴۵-۵- نمای روبرو و ایزومتریک مقطع قطعه تغییر فرم یافته پس از عبور چهارمین حلقه اتوکاری
- ۱۰۸ ۴۶-۵- قطعه معیوب ایجاد شده در اثر اصطکاک شدید بین حلقه اتوکاری و قطعه کار
- ۱۰۹ ۴۷-۵- نمودار جابجایی حلقه های اتوکاری بر حسب زمان انجام فرآیند
- ۱۰۹ ۴۸-۵- نمودار نیروی حلقه های اتوکاری اول تا چهارم طی فرآیند
- ۱۱۰ ۴۹-۵- نمودار نیرو حلقه های اتوکاری بر حسب جابجایی
- ۱۱۱ ۵۰-۵- نمودار تغییرات انرژی داخلی طی فرآیند اتوکاری

- ۱۱۱-۵-۵۱- نمودار تغییرات انرژی جنبشی طی فرایند اتوکاری
- ۱۱۲-۵-۵۲- شکل شماتیک و ابعاد قطعه پیش فرم و قطعه نهایی
- ۱۱۳-۵-۵۳- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله اول تغییر فرم ( $t = 0.12 \text{ sec}$ )
- ۱۱۴-۵-۵۴- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله اول تغییر فرم ( $t = 0.129 \text{ sec}$ )
- ۱۱۵-۵-۵۵- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله اول تغییر فرم ( $t = 0.138 \text{ sec}$ )
- ۱۱۶-۵-۵۶- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله اول تغییر فرم ( $t = 0.147$ )
- ۱۱۷-۵-۵۷- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله دوم تغییر فرم ( $t = 0.114$ )
- ۱۱۸-۵-۵۸- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله دوم تغییر فرم ( $t = 0.123$ )
- ۱۱۹-۵-۵۹- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله دوم تغییر فرم ( $t = 0.132$ )
- ۱۲۰-۵-۶۰- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله دوم تغییر فرم ( $t = 0.141$ )
- ۱۲۱-۵-۶۱- قطعه تغییر فرم یافته به همراه کانتور تنش وان مایسز و کرنش پلاستیک معادل در حین اعمال یک ضربه در مرحله دوم تغییر فرم ( $t = 0.15$ )
- ۱۲۲-۵-۶۲- شکل شماتیک قطعه کار در انتهای مرحله اول فورج شعاعی
- ۱۲۲-۵-۶۳- شکل شماتیک قطعه کار در انتهای مرحله دوم فورج شعاعی
- ۱۲۳-۵-۶۴- نمودار جابجایی و سرعت چکش های فورج شعاعی در جهت عمود بر قطعه کار در مرحله اول اعمال تغییر
- ۱۲۴-۵-۶۵- نمودار جابجایی و سرعت چکش های فورج شعاعی در جهت عمود بر قطعه کار در مرحله دوم اعمال تغییر فرم
- ۱۲۵-۵-۶۶- نیروی اعمالی به چکش های فورج شعاعی در جهت عمود بر سطح قطعه کار طی مرحله اول و دوم اعمال تغییر فرم
- ۱۲۷-۵-۶۷- نمودار تغییرات انرژی داخلی طی فرآیند فورج شعاعی





## فصل اول

### مقدمه

یکی از مهمترین، سریع ترین و کم هزینه ترین روش های تولید قطعات فلزی در مقیاس صنعتی، روشهای شکل دهی فلزات می باشند. در این میان روش های شکل دهی اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی از متداول ترین روش های تولید ساخت قطعات تو خالی همچون سیلندر ها و قطعات از این دست هستند که امروزه بطور گسترده ای در صنعت کشورمان مورد استفاده قرار می گیرند. از سوی دیگر از آنجا که طراحی و ساخت ابزار آلات مورد نیاز در فرآیند های شکل دهی فلزات مستلزم صرف زمان و هزینه بسیاری است، استفاده از روش های حل عددی که این امکان را می دهد تا پیش از انجام عملیات طراحی و ساخت اثر پارامتر های موثر در طراحی به دقت مورد بررسی قرار گیرند، قادر است هزینه های احتمالی تغییرات بعدی در طراحی را به شدت کاهش دهد.

در این تحقیق به ترتیب فرآیند های اکستروژن معکوس، اتوکاری و فورج شعاعی با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS شبیه سازی و مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی امکان تولید لوله های طویل با مقاطع متفاوت در صنعت با روش های شکل دهی فلزات بوده و طی این تحقیق میزان قدرت ابزار مورد نیاز برای نیل به این هدف و عیوب و مشکلات احتمالی طی این پروسه ها به همراه ارائه راه حل هایی بیان شده است. از آنجا که روش تولید کنونی این اجزاء در کشور تراشکاری است که به دلیل دور ریز زیاد، هزینه و زمان بسیار زیادی را می طلبد، جایگزینی روش های سریع تر، کم هزینه تر و با دور ریز کمتر از جمله نیازمندی های صنعت می باشد.

طی این تحقیق تلاش گردیده شبیه سازی مساله تا حد امکان از نظر هندسه مساله، تعریف خواص قطعه و عوامل تاثیر گذار روی فرآیند(از قبیل ضریب اصطکاک و ...) با واقعیت و همچنین ابزار آلات موجود در کشور منطبق باشد.

به منظور بررسی دقت و صحت نتایج حاصله ابتدا شبیه سازی در مورد فرآیند اکستروژن معکوس هفت قطعه آلومینیومی که آزمایشات تجربی آن پیش از این انجام شده است، صورت گرفت [۱].

این نتایج همان گونه که در ادامه خواهد آمد نشان از دقت فوق العاده و قابلیت بالای این نرم افزار در شبیه سازی فرآیند های شکل دهی دارد.

سعی گردیده به منظور کاهش زمان تحلیل، تا حد امکان فرآیند ها با فرض های مطابق با واقعیت، ساده سازی و از تقارن هندسی مساله به بهترین نحوی استفاده گردد. از این رو فرآیندهای اکستروژن معکوس و اتوکاری بصورت متقارن محوری<sup>۱</sup> و فرآیند فورج شعاعی به صورت دو بعدی مدل گردید، ضمن اینکه در هر مرحله ابتدا با استفاده از یک المان بندی درشت، و پس از اطمینان از صحت تحلیلی با یک المان بندی ریز تر و مناسب تر بخصوص در نقاط با اهمیت، از هدر رفتن زمان جلوگیری شده است.

ماده مدل شده فولاد متوسط کربن ۱۰۵۰ می باشد که با توجه به انجام این فرآیند ها در دمای بالا ( حدود  $1000^{\circ}\text{C}$  ) رفتار آن بصورت وابسته به نرخ کرنش تعریف شده و البته در طی کل پروسه ها از تغییرات دمایی ناشی از تغییر فرم صرف نظر گردیده است.

نتایج مختلفی از قبیل نمودار های نیرو بر حسب پیش روی ابزار، نحوه سیلان فلز، کانتور های تنش و کرنش و موارد دیگری که در ادامه آمده است گویای هماهنگی نتایج با واقعیت می باشد.

---

<sup>1</sup> - Axisymmetric

## فصل دوم

### مروری بر تحقیقات انجام شده

#### ۱-۲- تاریخچه روش اجزای محدود

روش اجزای محدود اولین بار از نیاز برای حل مسائل پیچیده تحلیلی الاستیسیته در شاخه های مهندسی عمران و هوا فضا ریشه گرفت. این روش یک روش حل عددی است که برای بسیاری از مسایل مهندسی قابل استفاده است. مسائل پایا، گذرا، خطی و غیر خطی، در تحلیل تنش، انتقال حرارت، سیالات، الکترو مغناطیس و غیره می توانند با استفاده از روش اجزای محدود تحلیل شوند. بدون شک افتخار ابداع این روش برای حل مسائل مهندسی به R.Courant بر می گردد. Courant در مقاله ای که در ۱۹۴۳ چاپ شد، با استفاده از درون یابی تکه ای چند جمله ای ها، در مدلی که به نواحی مثلثی تقسیم شده بود این روش را برای حل مساله پیچش استفاده کرد. گام بعدی در ایجاد روش اجزای محدود را می توان فعالیت های شرکت بوئینگ در نظر گرفت. در ۱۹۵۰ شرکت بوئینگ برای تحلیل ارتعاش بال های هواپیما از المان های مثلثی استفاده کرد. با این همه هنگامی که در سال ۱۹۶۰ شخصی به نام Clough در مقاله خود اصطلاح "اجزای محدود" را به کار برد، این روش عمومیت یافت.

در طول این سال ها محققین اقدام به استفاده از روش اجزای محدود در مسائل دیگر مهندسی همچون انتقال حرارت و سیالات کردند. در ۱۹۷۶ Zienkiewicz و Cheung اولین کتاب در مورد روش اجرای محدود را تألیف کردند.

تا اواخر دهه ۷۰ میلادی اجزای محدود به Main Frame های گران قیمتی که تنها در اختیار صنایع هوا فضا، اتومبیل سازی، دفاعی و هسته ای بود، محدود می شد. با رشد سریع صنعت کامپیوتر و افزایش کارائی و کاهش قیمت محاسبات، روش اجزای محدود نیز بطور غیر قابل باوری از نظر کاربرد و دقت گسترش یافت. امروزه آبر رایانه ها قادر به حل مسائل بسیار پیچیده با دقت بسیار بالا و در مدت زمان بسیار کم می باشند.