مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تثبیت مدارک

بسم ا... الرحمن الرحیم

آنالیز فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم

بوسیله
منوچهر بهرامی

پایان نامه

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

در رشته
مهندسی مواد- شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد فلزی
از
دانشگاه شیراز
شیراز، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: **عالی**
امضاء اعضاء کمیته پایان نامه:

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

دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی، استادیار بخش مهندسی مواد .....

دکتر سیروس جوادپور، استادیار بخش مهندسی مواد .....

اسفند ماه ۱۳۷۷

۲۶۴۳۸ ۱۲۷۱۶/۲

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

۱۹۴۳۸

سپاسگزاری

سپاس خدایی را که توفیق کسب علم و معرفت به بندگان خویش عنایت فرمود. با تشکر و قدردانی از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد محسن مشکسار، استاد راهنمای پایان نامه اینجانب که با زحمات بی دریغ و راهنماییهای دقیق و ارزشمندشان در رفع مشکلات پایان نامه اینجانب اهتمام ورزیدند، همچنین از آقایان دکتر سید احمد جنابعلی جهرمی و دکتر سیروس جوادپور اعضای محترم کمیته پایان نامه که با نقطه نظرات و راهنماییهای ارزشمندشان بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از کادر محترم آزمایشگاههای بخش مهندسی مواد، سرکارخانم مهندس مریم پایدار، آقایان منتصری و سلطانی که در انجام کارهای آزمایشگاهی پایان نامه با بنده همکاری داشتند، صمیمانه تشکر می نمایم.

از دوستان گرامی آقایان مهندس حبیب شریفی، مهندس عظیم بردی بسیا، مهندس امیر حسینی کلورزی ، مهندس رضا کاکلکی که در انجام پایان نامه مرا یاری نمودند، سپاسگزاری می نمایم.

چکیده

آنالیز فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم

توسط

منوچهر بهرامی

در این تحقیق با استفاده از تئوری حد بالایی، فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم مقاطع چند ضلعی و دایرهٔ قطعات بشکل قوطی- میله مورد بررسی قرار گرفته است. با بکارگیری این تئوری، توان تغییر شکل، توان داخلی، توان ناشی از اصطکاک و کار زاید تعیین گردید. در صورت ضربه ای بودن فرایند توان لازم برای غلبه بر اینرسی نیز قابل محاسبه می باشد.

برای تحلیل حد بالایی فرآیند یک میدان سرعت استوانه ای همراه با سطوح ناپیوستگی منشوری برای نواحی تغییرشکل بکار گرفته شد. نتایج بصورت معادلات ریاضی و منحنی های مختلف ارائه شده است. علاوه بر تحلیل تنش، سیلان فلز نیز با رسم خطوط سرعت و با استفاده از معادلات سرعت در نواحی مختلف تغییر شکل نمایش داده شده اند. برای حل معادلات حاصله از تحلیل ریاضی از یک برنامه کامپیوتری مناسب استفاده گردید.

به منظور مقایسه نتایج تحلیلی با نتایج عملی، آزمایشات مختلف در ابعاد آزمایشگاهی روی فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم انجام گرفت. در کلیه آزمایشات از نمونه های آلومینیوم تجارتی که در دمای ۴۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت تابکاری شده بودند، استفاده شد. نمونه ها با ضخامتهای مختلف تهیه می شدند.

وآزمایشات با کاهش مقطع های مختلف چه در ناحیه اکستروژن معکوس و چه در ناحیه اکستروژن مستقیم آن انجام پذیرفتند.

قالبهای مورد نیاز آزمایشات تجربی با توجه به ظرفیت پرس موجود، طراحی و ساخته شدند. به منظور استحکام بخشی، عملیات حرارتی مناسب روی قطعات قالب و سمبه انجام گرفت.

کلیه آزمایشات توسط یک پرس ۲۰ تن مجهز به سیستم کامپیوتری انجام گرفت. مقادیرنیرو برحسب جابجایی سمبه در طول انجام هر آزمایش توسط سیستم کامپیوتری از پرس دریافت و بصورت نمودار رسم شده اند.

برای مقایسه نتایج آزمایشات با تحلیل ریاضی لازم بود که دو پارامتر تنش سیلان و فاکتور ثابت اصطکاک که در روابط ریاضی ظاهر می شدند. بطور دقیق تعیین شوند. برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک از آزمایش اکستروژن دوطرفه که شباهت زیادی با فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم دارد، استفاده گردید. تنش سیلان نیز بوسیله انجام آزمایش فشار تک محوری بطور دقیق تعیین شد.

نتایج حاصل از تحلیل تئوری فرآیند و آزمایشات به صورت منحنیهای مختلف ارائه شده اند. بررسی این نتایج نشان می دهند که نیروی پیش بینی شده توسط تحلیل حد بالایی، تقریباً ۱۰٪ بیشتر از نیروی واقعی برای تغییر شکل است.

برای بررسی تجربی و آزمایشگاهی سیلان فلز در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم، تعدادی از نمونه های اولیه در جهت محورشان نصف و مقطع آنها شبکه بندی شد. با انجام فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم روی این نمونه ها نحوه سیلان فلز بخوبی رویت گشت. نتایج حاصله همامنگی مناسبی با سیلان فلز و پیش بینی تئوری شده در حد بالایی، نشان داد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول.....یازده

فهرست اشکال.....دوازده

فهرست علائم اختصاری.....بیست و پنج

فصل اول- مقدمه ۱

فصل دوم- تاریخچه و تئوری ۷

۲-۱- تاریخچه ۷

۲-۲- بررسی اکستروژن معکوس- مستقیم ۲۲

۲-۲-۱- اثر دما در فرآیندهای اکستروژن معکوس- مستقیم در حالت گرم.....۲۸

۲-۳- بررسی فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم به روش هدوگراف ۳۲

۲-۳-۱- میدانهای سرعت قابل قبول ۳۲

۲-۴- بررسی فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم با استفاده از میدان خطوط لغزش. ۳۶

۲-۴-۱- مقایسه نتایج حاصل از میدان خطوط لغزش و تئوری حد بالایی ۳۷

۲-۵- ساخت یاتاقانهای گرد به روش اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم درحالت گرم.....۳۹

۲-۶- بررسی و آنالیزحفره مرکزی در اکستروژن مستقیم متقارن با استفاده از تئوری حد بالایی.....۴۳

۲-۶-۱ آنالیز حفره مرکزی در خلال مرحله نهایی اکستروژن مستقیم متقارن ۴۳

۲-۶-۲- بدست آوردن شرایط بحرانی برای تشکیل حفره مرکزی ۴۵

۲-۷- اصطکاک در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم ۴۸

عنوان **صفحه**

۲-۷-۱- آزمایش استاندارد حلقه برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک ۴۹

۲-۷-۲- تعیین فاکتور ثابت اصطکاک با استفاده از اکستروژن دو طرفه ۵۲

۲-۷-۳- روانسازها ۵۶

۲-۸- فاکتورهای مهم در فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم ۵۷

۲-۸-۱- قابلیت شکل پذیری فلزات ۵۸

۲-۸-۲- سرعت تغییر شکل ۵۹

۲-۸-۳- محاسبه تنش سیلان ۶۰

۲-۸-۴- مولفه های نرخ کرنش ۶۱

۲-۹- تئوری حد بالایی ۶۱

۲-۹-۱- توان لازم برای تغییر شکل داخلی ۶۲

۲-۹-۲- توان مصرفی روی سطوح ناپیوستگی سرعت ۶۳

۲-۹-۳- توان مصرفی روی سطوح لصطکاکی ۶۴

فصل سوم- روش تحقیق و مراحل آزمایشگاهی ۶۵

۳-۱- مقدمه ۶۵

۳-۲- طراحی قالب اکستروژن معکوس- مستقیم ۶۶

۳-۳- سمبه ۶۷

۳-۴- لقمه شکل دهنده مرکزی ۷۲

۳-۴-۱- طراحی لقمه شکل دهنده مرکزی قالب اکستروژن معکوس- مستقیم با مقطع دایره ۷۲

۳-۴-۲- طراحی لقمه شکل دهنده مرکزی قالب اکستروژن معکوس- مستقیم با مقطع چهار ضلعی ۷۹

۳-۴-۳- سیستم بیرون انداز ۸۱

۳-۴-۴- سیستم جدا کننده قطعه از سمبه ۸۴

عنوان **صفحه**

۳-۴-۵- میل راهنما ۸۶

۳-۴-۶- انتخاب مواد قالب ۸۶

۳-۵- انجام آزمایش اکستروژن دو طرفه برای تعیین فاکتور ثابت اصطکاک ۹۲

۳-۶- انجام آزمایش فشار تک محوری ۹۴

۳-۷- تهیه نمونه ۹۸

۳-۸- تهیه نمونه برای بررسی سیلان ۱۰۱

۳-۹- انجام آزمایش اکستروژن معکوس- مستقیم ۱۰۲

۳-۱۰- بررسی تجربی سیلان ۱۰۳

فصل چهارم- ارائه مدل ریاضی برای تحلیل فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم مقاطع چندضلعی قوطی- میله، نتایج و بحث در نتایج..... ۱۱۴

۴-۱- مقدمه ۱۱۴

۴-۲- تحلیل فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم با انتخاب سطوح ناپیوستگی منشوری در سیستم مختصات استوانه ای ۱۱۵

۴-۳- میدان سرعت ۱۱۶

۴-۳-۱- بدست آوردن مولفه های سرعت سیلان ماده در ناحیه I ۱۱۷

۴-۳-۲- بدست آوردن مولفه های سرعت سیلان ماده در ناحیه II ۱۱۷

۴-۳-۳- بدست آوردن مولفه های سرعت سیلان ماده در ناحیه III ۱۲۰

۴-۳-۴- بدست آوردن مولفه های سرعت سیلان ماده در ناحیه IV ۱۲۲

۴-۳-۵- بدست آوردن مولفه های سرعت سیلان ماده در ناحیه V ۱۲۴

۴-۴- محاسبه توان داخلی تغییر شکل ۱۲۴

۴-۴-۱- محاسبه توان داخلی تغییر شکل در ناحیه II ۱۲۵

عنوان **صفحه**

۴-۴-۲- محاسبه توان داخلی تغییر شکل III ۱۲۶

۴-۴-۳- محاسبه توان داخلی تغییر شکل IV ۱۲۸

۴-۵- محاسبه توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی ۱۲۹

۴-۵-۱- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_1 ..... ۱۳۰

۴-۵-۲- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_4 ..... ۱۳۱

۴-۵-۳- محاسبه توان مصرفی روی سطوح اصطکاکی S_5 و S_7 ..... ۱۳۱

۴-۵-۴- توان مصرفی روی سطح S_8 ..... ۱۳۲

۴-۵-۵- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_9 ..... ۱۳۳

۴-۵-۶- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_{11} ۱۳۴

۴-۵-۷- محاسبه توان مصرفی روی سطح اصطکاکی S_{12} ۱۳۴

۴-۶- توان مصرفی روی سطوح ناپیوسته ۱۳۵

۴-۶-۱- توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_2 ..... ۱۳۵

۴-۶-۲- محاسبه توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_3 ..... ۱۳۶

۴-۶-۳- محاسبه توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_6 ..... ۱۳۷

۴-۶-۴- محاسبه توان مصرفی روی سطح ناپیوستگی S_{10} ۱۳۷

۴-۷- محاسبه فشار نسبی اکستروژن معکوس- مستقیم ۱۳۸

۴-۸- تعیین عمق ناحیه تغییر شکل در فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم ۱۴۰

۴-۹- نتایج و بحث در نتایج بررسیهای تئوری و آزمایشگاهی فرآیند اکستروژن معکوس- مستقیم ۱۴۲

۴-۹-۱- بررسیهای نیرو بر حسب جابجایی سمبه در طول فرآیند اکستروژن معکوس معکوس- مستقیم ۱۴۲

۴-۹-۲- بررسی مرحله دوم فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم ۱۶۵

۴-۱۰- بررسی سیلان فلز ۱۶۷

عنوان **صفحه**

فصل پنجم- خلاصه نتایج و پیشنهادات ۱۸۸

۵-۱- خلاصه نتایج ۱۸۸

۵-۲- پیشنهادات ۱۹۲

پیوست..... ۱۹۳

منابع..... ۲۰۰

چکیده و عنوان به زبان انگلیسی

فهرست جداول

جدول **صفحه**

۲-۱- سطح تحت فشار و سرعت سیلان ماده برای هر ناحیه در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس- مستقیم ۲۴

۲-۲- مقایسه میان نتایج حاصل از آنالیز تئوری و نتایج بدست آمده از آزمایشات تجربی در چگونگی تشکیل حفره مرکزی ۴۸

۳-۱- ترکیب شیمیایی فولاد ابزار H13 ۸۸

۳-۲- ترکیب شیمیایی فولاد ابزار X40 ۸۸

۳-۳- مشخصات فولاد ابزار برای اکستروژن آلومینیم، مس، فولاد ضد زنگ ۸۹

۳-۴- نتایج آزمایش اکستروژن دوطرفه برای محاسبهٔ فاکتور ثابت اصطکاک ۹۴

۳-۵- نتایج آزمایش فشار ۹۷

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل (۱-۱) الف- اکستروژن مستقیم ب- اکستروژن معکوس ۱

شکل (۱-۲) فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۲

شکل (۱-۳) نمودار نیرو بر حسب جابجایی سمبه بداخل قالب برای فرآیند های اکستروژن مستقم و معکوس ۴

شکل (۲-۱) فشار اکستروژن و طول محصول اکسترود شده برای آلـومینیوم سخت ۹

شکل (۲-۲) نقشه حد بالایی به همراه هدوگراف مربوط به اکستـروژن ترکیبی قوطی - میله ۱۱

شکل (۲-۳) نقشه حد بالایی به همراه هـدوگـراف مـربوط به اکستـروژن ترکیبی قوطی - قوطی ۱۱

شکل (۲-۴) شمایی از نواحی تغییر شکل پلاستیک در اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۱۲

شکل (۲-۵) چکونگی خطوط سیلان برای فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس قوطی - مستقیم میله ۱۴

شکل (۲-۶) مراحل مختلف تغییر شکل ماده شبکه بندی شده برای فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۱۶

شکل (۲-۷) توزیع تنش مؤثر در صفحه قطری در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ماده مدل ،موم ۱۶

شکل (۲-۸) الگوی پیشنهاد شده برای حالت پایدار و حالت ناپایدار سیلان ماده در فرآیناکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۱۷

شکل **صفحه**

شکل (۲-۹) توزیع کرنش مؤثر بعد از ۲/۴ و ثانیه از شروع فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۲۰

شکل (۲-۱۰) میدان خطوط لغزش برای اکستروژن ترکیبی قوطی - میله بر حسب جابجایی سمبه بداخل قالب ۲۱

شکل(۲-۱۱) مراحل سیلان ماده در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۲۳

شکل (۲-۱۲) فشار نسبی اکستروژن برحسب ضخامت جاری نسبی لقمه داخل قالب قالب در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس -مستقیم ۲۵

شکل (۲-۱۳) فشار نسبی اکستروژن بر حسب ضخامت جاری لقمه داخل قالب در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۲۶

شکل (۲-۱۴) مقایسه سیلان ماده با استفاده از مواد مدل و الگوی سیلان پیشنهادی توسط کودو ۲۸

شکل (۲-۱۵) تغییرات دما در فرآیند اکستروژن معکوس - مستقیم حالت گرم ،در مراحل مختلف بعد از گذشتن زمانهای ۴/. ، ۲/۴ و ۴/۴ ثانیه از شروع فرآیند ۳۰

شکل (۲-۱۶) توزیع کرنش مؤثر در فرآیند اکستروژن معکوس - مستقیم ۳۱

شکل (۲-۱۷) نقشه حد بالایی و هدوگراف اکستروژن مستقیم ۳۳

شکل (۲-۱۸) نقشه حد بالایی همراه با هدوگراف برای اکستروژن معکوس میدانهای III و IV ۳۳

شکل (۲-۱۹) نقشه حد بالایی همراه با هدوگرافهای بدست آمده برای اکستروژن الف) حالت قوطی - میله ب) حالت قوطی - قوطی ۳۴

شکل (۲-۲۰) نتایج بدست آمده برای فشار نسبی اکستروژن در فرآیند بر حسب کاهش سطح مقطع در قسمت حفره اکستروژن مستقیم و معکوس ۳۵

شکل **صفحه**

شکل (۲-۲۱) سیلان واقعی ماده بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی ۳۷

شکل (۲-۲۲) تغییرات فشار نسبی اکستروژن حاصل از نتایج میدان خطوط لغزش و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از آنالیز حد بالایی ۳۸

شکل (۲-۲۳) نمودار نیرو بر حسب جابجایی سمبه در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم برای فلز آلومینیوم ۳۸

شکل (۲-۲۴) انواع روشهای تولید یاتاقانهای گرد ۴۰

شکل (۲-۲۵) چگونگی سیلان ماده اکسترود شده در فرآیند اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم ۴۱

شکل (۲-۲۶) چگونگی توزیع سختی در مقطع برش طولی یاتاقان اکسترود شده ۴۱

شکل (۲-۲۷) نمونه ای از قطعات تولید شده به روش اکستروژن ترکیبی معکوس - مستقیم با دقت ابعادی بسیار بالا ۴۲

شکل (۲-۲۸) میدان سرعت و سطوح ناپیوستگی برای پیش بینی حفره مرکزی ۴۴

شکل (۲-۲۹) اثر فاکتورهای اصطکاکی روی دیواره قالب و کاهش سطح مقطع روی ضخامت بحرانی لقمه در حفره قالب ۴۷

شکل (۲-۳۰) رابطه میان ابعاد نسبی حفره مرکزی و ضخامت بحرانی لقمه در حفره قالب برای کاهش سطح مقطع های مختلف ۴۷

شکل (۲-۳۱) فشرده شدن نمونه حلقه ای میان دو فک تخت قالب ۵۰

شکل (۲-۳۲) شمایی از قالب اکستروژن دو طرفه ۵۲

شکل (۲-۳۳) پیش بینی نسبت عمق قوطیها $(\frac{h_1}{h_2})$ بر حسب جابجایی سمبه برای کاهش سطح مقطعهای مختلف r و برای ابعاد اولیه لقمه۱ = $\frac{h_0}{d_0}$ وضریب اصطکاک ۱/. = m ۵۳

شکل (۲-۳۴) پیش بینی نسبت عمق قوطیها $(\frac{h_1}{h_2})$ بر حسب جابجایی سمبه برای

شکل **صفحه**

ابعاد مختلف لقمه اولیه $\frac{h_0}{d_0}$ و ضریب اصطکاک ۱/. = m و کاهش طولها r = ۲۵/. ۵۴

شکل (۲-۳۵) پیش بینی نسبت ارتفاع قوطی ها برای مقادیر مختلف m ۵۶

شکل (۲-۳۶) منحنی های کالیبره برای روانکار های مختلف ۵۶

شکل (۲-۳۷) سطح ناپیوسته و سرعتهای مربوطه ۶۴

شکل (۳-۱) نقشه کامل قسمتهای مختلف قالب اکستروژن ۶۸

شکل (۳-۲) سمبه با مقطع شش ضلعی و دایره ۷۰

شکل (۳-۳) انواع سمبه های با مقطع دایره و قطرهای ۲۴-۱۲ میلیمتر ۷۰

شکل (۳-۴) انواع سمبه با مقطع شش ضلعی ۷۱

شکل (۳-۵) بلوک بالایی قالب همراه با سمبه نصب شده در آن. ۷۱

شکل (۳-۶) نقشه لقمه مرکزی قالب با حفره داخلی و مقطع دایره ۷۷

شکل (۳-۷) نما بالا لقمه مرکزی قالب با حفره داخلی و مقطع دایره ۷۸

شکل (۳-۸) نما پشت لقمه مرکزی قالب با حفره داخلی با مقطع دایره ۷۸

شکل (۳-۹) لقمه با حفره به قطر ۲۴ میلیمتر و حفره داخلی با مقطع دایره وبه قطر ۱۴ میلیمتر، لقمه با حفره داخلی، مقطع چهار ضلعی و شعاع دایره محاطی۵ میلیمتر ۷۹

شکل (۳-۱۰) نقشه قالب با حفره داخلی و مقطع چهار ضلعی. ۸۲

شکل (۳-۱۱) نما بالا لقمه شکل دهنده مرکزی با حفره مقطع چهار ضلعی و شعاع دایره محاطی ۵ میلیمتر ۸۳

شکل (۳-۱۲) نما پشت لقمه شکل دهنده مرکزی با حفره به مقطع چهار ضلعی ۸۳

شکل (۳-۱۳) بیرون انداز با مقطع چهار ضلعی ۸۴

شکل (۳-۱۴) سیستم جدا کننده قطعه از سمبه ۸۵

شکل (۳-۱۵) میل راهنما و حلقه هایل میل راهنما ۸۶