٤٦٦٤

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

عنوان:

تحلیل مراحل طراحی قالب‌های شکل‌دهی سرد (کله‌زنی و اکستروژن مقاطع غیردوار) به کمک شبیه‌سازی اجزای محدود

جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد
رشتهٔ مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

اساتید راهنما:
دکتر محمد بخشی
دکتر سلمان نوروزی

استاد مشاور:
دکتر محمود فرزین

نگارش:
محسن خلیلیان

۱۳۸۶/۱۱/۱

مهر ۱۳۸۶

۴۶۶۲۴

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران
معاونت آموزشی
تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی

نام و نام خانوادگی دانشجو: محسن خلیلیان — شماره دانشجوئی: ۸٤٥۱۳٦۸۰۰۲

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک – ساخت و تولید — مقطع: کارشناسی ارشد

سال تحصیلی: نیمسال اول ۸۷ – ۱۳۸۶

عنوان پایان نامه :

«تحلیل مراحل طراحی قالبهای شکل دهی سرد(اکستروژن مقاطع غیر دوار و کله زنی) به کمک شبیه سازی اجزای محدود»

تاریخ دفاع : ۱۳۸٦/۷/۱٦

نمره پایان نامه (به عدد): ۱۹

نمره پایان نامه (به حروف): نوزده

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر محمد بخشی — امضا

استاد راهنما : دکتر سلمان نوروزی — امضا

استاد مشاور: دکتر محمود فرزین — امضا

استاد مدعو: دکتر محسن شاکری — امضا

استاد مدعو: دکتر سید جمال حسینی پور — امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی: دکتر حمید رضا محمدی دانیالی — امضا

در کنار هم باستید اما نه بسیار نزدیک:
از آنکه ستونهای معبد به جدایی بار بهتر کشند،
و بلوط و سرو در سایه هم به کمال و رویش نرسند.

جبران خلیل جبران

منت خدای عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. درود خدا بر همه فرهیختگان و بزرگانی که در راه اعتلای دانش فرزندان این مرز و بوم تلاش کرده و می کنند.

پژوهش حاضر حاصل بیش از یک سال تلاش مداوم و پیوسته نگارنده بوده است که دستیابی به آن، جز با عنایت پروردگار و با راهنمایی و مساعدت دیگران ممکن نبود. بنابر آیه شریفه «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بر خود فرض می‌دانم از همه بزرگانی که در امر آموزش و پرورش روح و روان من کوشیده‌اند کمال تشکر و امتنان را به عمل آورم. دراین راستا لازم است از اساتید گرانقدرم دکتر بخشی و دکتر فرزین که در تمام طول راه همراه من بوده‌اند و درسهای فراوانی از ایشان فراگرفته‌ام و از انجام هیچ کوششی در انجام این پژوهش دریغ نفرموده‌اند و همواره مشوق و پشتوانه علمی اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. صبر، توجه، دقت، همیاری و همفکری این بزرگواران پشتوانه اصلی اینجانب در انجام مراحل این پایان نامه بوده است.

همچنین از دکتر نوروزی که از راهنمایی ایشان بهره برده ام و از دکتر شاکری و دکتر حسینی-پور که داوری این پژوهش را بر عهده داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از پدر و مادر مهربان و زحمتکشم که همیشه یار و مشوق من بوده اند و از برادرانم و خواهران عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

محسن خلیلیان
مهر ۱۳۸۶
Khalilian_iust@yahoo.com

تقدیم به

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

چکیده

بسیاری از قطعات صنعتی در بیش از یک فرایند تولید می‌شوند. به بیان دیگر، تولید این قطعات در یک فرایند واحد غیر ممکن است. در این پژوهش، قطعه مورد بررسی ترکیبی از دو فرایند اکستروژن مستقیم و کله زنی بوده است.

از این رو، ابتدا تأثیر زاویه مخروط قالب بر منحنی نیرو- جابجایی سنبه در فرایند اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی با پروفیل قالب مخروطی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، نخست فرایند اکستروژن میلگرد به مقطع دایره‌ای در ABAQUS/Explicit شبیه‌سازی شده است و نتایج آن با نتایج تجربی موجود مقایسه گردیده است. سپس، فرایند اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی برای قالب مخروطی با نسبت اکستروژن ثابت و زاویه‌های مختلف مخروط، شبیه‌سازی شده است و زاویه بهینه قالب مخروطی بدست آمده است. جهت حصول اطمینان از نتایج بدست آمده برای این نوع اکستروژن، این نتایج با نتایج تجربی موجود مقایسه گردیده و نشان داده شده است که نتایج حاصل با نتایج تجربی همخوانی دارد.

هدف دیگری که در این پایان‌نامه دنبال شد، بدست آوردن حد شکل‌دهی برای فرایند کله‌زنی بوده است. برای این منظور با استفاده از یکی از مدلهای آسیب، فرایند کله‌زنی شبیه‌سازی شده و حد شکل‌دهی آن بدست آمده است. در تمام تحلیل‌ها معادلات تعادل توسط نرم افزار و معادلات آسیب توسط یک زیر برنامه تهیه شده برای نرم افزار (VUMAT) حل شده اند. در انتها نیز نتایج بدست آمده با نتایج تجربی دیگر محققان مقایسه گردید. از مقایسه بعمل آمده مشاهده شد که نتایج حاصل با نتایج تجربی همخوانی خوبی دارد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست اشکال	ده
فهرست جداول	دوازده
فصل اول- مقدمه	
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ تقسیم بندی روشهای آهنگری	۲
۱-۲-۱ از نظر جریان مواد	۲
۱-۲-۲ از نظر دمای عملیات	۳
۱-۳ مزایای آهنگری	۴
۱-۴ تقسیم بندی روشهای اکستروژن	۴
۱-۴-۱ از نظر جریان مواد	۴
۱-۴-۲ از نظر دمای عملیات	۵
۱-۵ مزایای روش اکستروژن	۵
۱-۶- مروری بر تحقیقات انجام شده	۶
۱-۶-۱ در زمینه کله زنی	۶
۱-۶-۲ در زمینه اکستروژن	۷
۱-۷ تشریح پایان‌نامه حاضر	۸
فصل دوم- مفاهیم اساسی مکانیک آسیب و مدل ساده شده لِمتر	
۲-۱ مقدمه	۱۰
۲-۲ دامنه اعتبار و کاربرد آسیب	۱۱
۲-۳ متغیر آسیب	۱۲
۲-۳-۱ فرضیه ایزوتروپی	۱۴
۲-۴ تنش مؤثر	۱۵
۲-۴-۱ اصل کرنش معادل	۱۶
۲-۴-۲ آسیب بحرانی در شکست	۱۸

۲-۵ اندازه گیری آسیب ۱۸
۲-۶ معرفی مدل آسیب لِمتر ۱۹
۲-۶-۱ نوع ساده شده مدل لمتر ۲۰

فصل سوم- طراحی ابزار شکل دهی سرد
۳-۱ مقدمه ۲۲
۳-۲ طراحی سنبه در اکستروژن ۲۴
۳-۲-۱ سنبه در اکستروژن مستقیم ۲۴
۳-۳ طراحی قالب در اکستروژن ۲۵
۳-۳-۱ قالب در اکستروژن مستقیم ۲۵
۳-۴ طراحی قالب در آهنگری ۲۷

فصل چهارم- شبیه سازی اجزای محدود
۴-۱ مقدمه ۳۰
۴-۲ مقدمه‌ای بر نرم‌افزار ABAQUS ۳۰
۴-۲-۱ مقیاس دهی جرم و کاهش زمان شبیه‌سازی ۳۲
۴-۲-۲ شبیه سازی مسایل شبه‌استاتیک ۳۳
۴-۲-۳ توازن انرژی و مقیاس دهی به جرم ۳۴
۴-۲-۴ تماس در ABAQUS ۳۶
۴-۲-۵ المان‌های تغییر شکل‌پذیر ۴۲
۴-۲-۶ اجسام صلب ۴۳
۴-۲-۷ پدیده ساعت شنی ۴۵
۴-۳ شبیه سازی اکستروژن مستقیم میلگرد به مقطع غیر متقارن ۴۸
۴-۴ شبیه سازی فرایند کله زنی ۵۳

فصل پنجم- نتایج و بحث
۵-۱ مقدمه ۵۸
۵-۲ بهینه سازی زاویه قالب اکستروژن مستقیم میلگرد به مقطع غیر متقارن ۵۹
۵-۳ بدست آوردن حد شکل دهی در فرایند کله زنی ۶۴

۵-۳-۱ مقایسه نتایج فرایند کله زنی با نتایج تجربی ۶۸

فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ مقدمه ۷۲

۶-۲ نتیجه‌گیری ۷۲

۶-۳ پیشنهادات ۷۳

مراجع ۷۵

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- اکستروژن مستقیم	۴
شکل ۱-۲- اکستروژن معکوس	۵
شکل ۱-۳- اکستروژن مرکب	۵
شکل ۲-۱- المان متأثر از آسیب	۱۳
شکل ۲-۲- تنش مؤثر و اصل کرنش معادل	۱۷
شکل ۳-۱- طرح کلی قالب اکستروژن مستقیم	۲۴
شکل ۳-۲- طرح‌های قالب برای اکستروژن مستقیم	۲۶
شکل ۴-۱- تداخل گره‌های ارباب در سطوح برده با تماس ارباب - برده محض	۳۹
شکل ۴-۲- عدم تداخل سطحی در تماس ارباب - برده متعادل	۳۹
شکل ۴-۳- جستجوی تماس سراسری دو بعدی	۴۱
شکل ۴-۴- جستجوی تماس موضعی دو بعدی	۴۲
شکل ۴-۵- المان‌های تشکیل دهنده جسم صلب	۴۳
شکل ۴-۶- سطوح صلب عددی	۴۴
شکل ۴-۷- تغییر شکل یک المان مرتبه اول کاهش یافته تحت بار خمشی	۴۶
شکل ۴-۸- انتشار پدیده ساعت شنی در یک قطعه لاستیکی	۴۶
شکل ۴-۹- شماتیک فرایندهای اکستروژن مدل‌سازی شده	۵۰

شکل ۴-۱۰- مدل المان‌بندی شده برای اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی ۵۳

شکل ۴-۱۱- قالب المان‌بندی شده برای اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی ۵۳

شکل ۴-۱۲- مدل‌های اولیه المان‌بندی شده برای کله‌زنی ۵۶

شکل ۴-۱۳- حرکت قالب بصورت تابع سهموی ۵۷

شکل ۵-۱- نمودار نیرو بر حسب جابجایی سنبه برای زوایای مختلف در اکستروژن ۶۰

شکل ۵-۲- کرنش پلاستیک در قطعه اکستروژن شده برای زوایای مختلف مخروط قالب ۶۲

شکل ۵-۳- نمودار انرژی درونی و انرژی جنبشی بر حسب زمان ۶۳

شکل ۵-۴- نمودار انرژی کرنش و انرژی کرنش مصنوعی بر حسب زمان ۶۴

شکل ۵-۵- توزیع تنش فون‌میزز برای نمونه‌های کله‌زنی ۶۵

شکل ۵-۶- توزیع آسیب برای نمونه‌های کله‌زنی ۶۷

شکل ۵-۷- نمودار کرنش محیطی، بر حسب کرنش اصلی، بر اساس نتایج شبیه‌سازی برای ... ۶۸

شکل ۵-۸- نتایج شبیه‌سازی فرایند کله‌زنی لاندره ۶۹

شکل ۵-۹- نتایج تجربی فرایند کله‌زنی لاندره ۷۰

شکل۵-۱۰- نمودار کرنش محیطی، بر حسب کرنش اصلی، بر اساس نتایج تجربی و ... ۷۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- خواص محصولات تولیدی به روش‌های مختلف شکل دهی ۳

جدول ۳-۱- مقادیر پیشنهادی برای ابعاد قالب در اکستروژن مستقیم ۲۶

جدول ۴-۱- علل بروز و روش‌های مقابله با پدیده ساعت شنی ۴۷

جدول ۴-۲- مشخصات هندسی نمونه‌های شبیه‌سازی شده در کله‌زنی ۵۵

جدول ۵-۱- مقادیر ماکزیمم نیروی اکستروژن برای زوایای مختلف مخروط قالب ۶۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

آهنگری یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای شکل دهی فلزات است. این فرآیند از زمانهای گذشته برای تولید سلاح، ابزار آلات و وسایل زینتی مورد استفاده قرار گرفته است. در فرآیند آهنگری، قطعه کار توسط ضربه یا فشار (پتک یا پرس) به شکل مورد نظر تبدیل می گردد. این فرآیند معمولاً برای تولید قطعات با تعداد زیاد مناسب است. محدوده محصولات فرآیند آهنگری شامل قطعات کوچک تا قطعات خیلی بزرگ بوده و فلزات مختلفی نظیر فولاد (محورهای اتومبیل و چرخ دنده ها)، برنج (شیرآلات)،

تنگستن(دهانه موشک)، آلومینیوم (سازه ها و قطعات مربوط به صنایع هوایی) و دیگر فلزات را در بر می-گیرد[۱].

پیش بینی چگونگی جریان مواد در آهنگری با توجه به تأثیر مستقیمی که برهندسه، خصوصیات مکانیکی، عیوب سطحی و... قطعه دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است.

فرایند کله‌زنی[1] یکی از انواع مهم فرآیند آهنگری است که هم به عنوان یک مرحله اصلی در آهنگری قالب باز و هم جزء یکی از مراحل اصلی در آهنگری قالب بسته می‌باشد.

یکی دیگر از فرایندهای شکل دهی فلزات، فرایند اکستروژن است.این فرآیند بر طبق DIN8583 به عنوان یک فرآیند تغییر شکل فشاری در فرآیندهای تولیدی تقسیم‌بندی می‌شود. در این فرایند عموماً تمام ناحیه‌های قطعه در معرض تغییر شکل قرار می‌گیرند؛ شمشال در درون ماتریس قرار داده می‌شود و در اثر اعمال فشار، شکل مقطع خروجی را به خود می‌گیرد و از قالب خارج می‌شود[۱]. به طور کلی اکستروژن یک فرآیند تغییر شکل برای تولید قطعات پیوسته می‌باشد که در آن ماده تحت فشار زیاد سیلان پیدا می‌کند.

۱-۲ تقسیم بندی فرایند آهنگری

۱-۲-۱ از نظر جریان مواد

- آهنگری قالب باز : آهنگری قالب باز بین قالبهای مسطح یا قالب‌های با اشکال ساده انجام می‌شود. این فرآیند اغلب برای قطعات بزرگی که در آهنگری قالب بسته قابل تولید نیستند، یا وقتی که تعداد قطعات تولید شده کم باشد و همچنین برای آماده سازی قطعه کار برای آهنگری قالب بسته بکار می‌رود[۱].

- آهنگری قالب بسته : در آهنگری قالب بسته قطعه بین دو قالبی که اثر شکل نهایی قطعه برآنها نقش یافته است، تغییر شکل پیدا می‌کند. در این روش، قطعه تحت فشار زیاد در یک حفره بسته تغییر شکل

1. Heading

می‌دهد. بنابراین، در مقایسه با آهنگری قالب باز، قطعات آهنگری شده نسبتا دقیقی در این فرایند قابل تولید هستند[۱].

۱-۲-۲ از نظر دمای عملیات

- آهنگری سرد : این نوع آهنگری معمولا در دمای محیط، انجام می گیرد. محدوده دمایی آهنگری سرد، پایین تر از $\frac{1}{3}$ نقطه ذوب فلز در مقیاس کلوین است. در این حالت نیروی لازم برای انجام فرآیند به دلیل بالا بودن تنش جریان و کار سختی ماده، بیشتر از آهنگری گرم و داغ خواهد بود[۱].

- آهنگری گرم : این نوع آهنگری در محدوده دمایی $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ نقطه ذوب فلز در مقیاس کلوین صورت می گیرد[۱].

- آهنگری داغ : در دمای بالاتر از $\frac{1}{2}$ نقطه ذوب فلز در مقیاس کلوین انجام می‌شود. در این فرآیند به دلیل پدیده تبلور مجدد، کار سختی ماده ناچیز و قابل صرفنظر کردن می‌باشد[۱].

در جدول (۱-۱) خواص ایجاد شده توسط هر یک از روشهای شکل دهی آورده شده است.

جدول ۱-۱- خواص محصولات تولیدی به روش‌های مختلف شکل دهی [۲].

	شکل دهی سرد	شکل دهی گرم	شکل دهی داغ
تلرانس قابل دستیابی	IT7-IT11	IT9-IT12	IT12-IT16
وزن لقمه	1g-50kg	100g-50kg	5g-1500kg
فولاد مصرفی	کم‌آلیاژی، کم‌کربن	کم‌آلیاژی	هر نوع فولاد
شکل پذیری $(\phi = Ln\, A_0/A_1)$	1.6>	1.6<(بسته به شرایط)	هر شکلی
صافی سطح(میکرومتر)	=10	<50	>100
اتوماسیون	عالی	خوب	محدود
آماده سازی لقمه	آنیل،فسفات	گاهی نیاز است	_
عملیات میانی	آنیل،فسفات	_	_

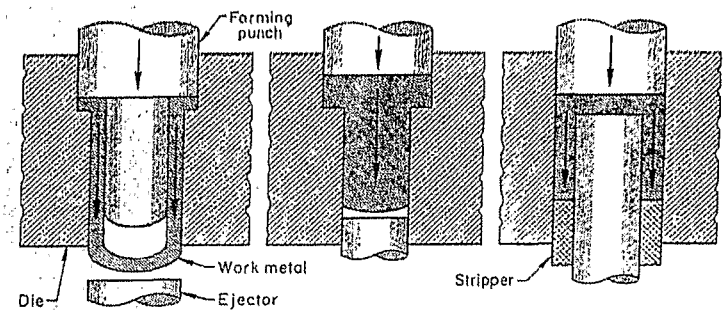
۱-۳ مزایای آهنگری

از مزایای فرآیند آهنگری می‌توان به افزایش استحکام، ایجاد خواص یکنواخت و صرفه جویی در مواد اشاره کرد. از آنجا که شکل قطعه به شکل نهایی نزدیک است، هزینه ماشینکاری نیز کاهش یافته و در نتیجه عمر ابزارهای ماشینکاری افزایش می‌یابد. همچنین از میزان ضایعات نیز کاسته می‌شود، زیرا که فشار اعمالی قالب به قطعه مانع ایجاد خلل و فرج و عیوب سطحی و داخلی می‌گردد. به عنوان مزیتی دیگر، می‌توان به ظرفیت ساخت این روش اشاره کرد. در آهنگری ساخت قطعات با انواع اشکال بی قاعده، نامنظم و پیچیده در اندازه‌های متنوع امکان پذیر می‌باشد[۱].

۱-٤ تقسیم بندی فرایند اکستروژن

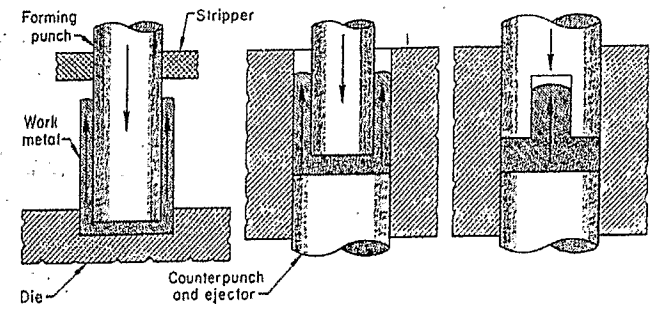
۱-٤-۱ از نظر جریان مواد

- اکستروژن مستقیم : در این روش مطابق شکل (۱-۱) جهت حرکت سنبه با جهت سیلان مواد یکسان است. درحین شکل دهی در اثر فشار سنبه، ماده در جهت حرکت سنبه جریان می‌یابد و قطعه شکل ماتریس وسنبه را به خود می‌گیرد.



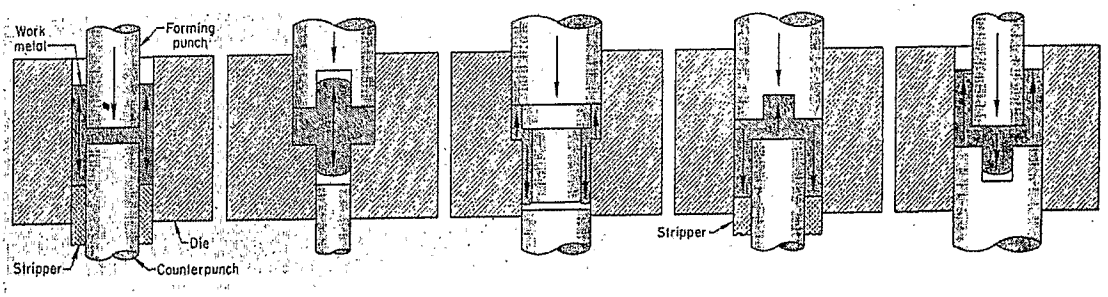
شکل ۱-۱ - اکستروژن مستقیم [۱].

- اکستروژن معکوس: در این روش مطابق شکل (۱-۲) جهت سیلان ماده در خلاف جهت حرکت سنبه است. در اثر فشار سنبه، ماده در خلاف جهت حرکت سنبه حرکت می‌کند.



شکل ۱-۲ - اکستروژن معکوس[۱].

- اکستروژن مرکب: در این روش ماده هم در جهت حرکت سنبه و هم در خلاف جهت حرکت آن سیلان می‌یابد (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ - اکستروژن مرکب[۱].

۱-٤-۲ از نظر دمای عملیات

دسته‌بندی فرایند اکستروژن بر حسب دمای قطعه کار مشابه دسته‌بندی ارائه شده در فرایند آهنگری است که در بخش (۱-۲-۲) بیان گردیده است.

۱-۵ مزایای روش اکستروژن

- صرفه‌جویی در مواد اولیه : در اکستروژن معمولاً نیاز به عملیات ثانویه کمتری برای تولید قطعات می‌باشد. بعلاوه در این روش قسمت عمده ماده به محصول تبدیل می‌شود [۳].

- تولید انبوه : روش اکستروژن یک روش سریع و کاربردی برای تولید انبوه قطعات می‌باشد [۳].

- تلرانس ابعادی و کیفیت سطح خوب : قطعات تولید شده به این روش معمولاً به شکل نهایی نزدیک هستند. در اغلب موارد محصولات نیاز به پرداخت با ماشینکاری و نظیر آن ندارند. به ویژه در روش اکستروژن سرد دقت نهایی بسیار بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد [۱].

- بهبود خواص مکانیکی : در فرآیند اکستروژن ماده وارد منطقه کار- سختی شده و ساختاری فشرده و متراکم پیدا می‌کند. در فرآیندهای شکل‌دهی سرد کیفیت سطح و خواص مکانیکی فولاد به طور چشمگیری بهبود می‌یابد [۱].

۱-٦ مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-٦-۱ در زمینه کله زنی

ابتدایی‌ترین حل برای عملیات فشاری کرنش صفحه‌ای یک قطعه بین سطوح موازی و مسطح قالب، توسط پرانتل[۴] در سال ۱۹۲۳ انجام گرفت. اولین راه‌حلها که از روش خطوط لغزش استفاده می‌شد توسط هیل[۵]، توپر و همکاران[۶]، الکساندر[۷] و بی‌شاپ [۸] ارایه شد. سپس در سال ۱۹۷۱ این روش توسط شابیک [۹] برای بررسی پدیده بشکه‌ای شدن در فرآیند کله‌زنی گسترش یافت. تحلیل فرآیند آهنگری به کمک روش حد فوقانی توسط جانسون و کودو[۱۰]، کودو[۱۱] و آویتزر[۱۲ و ۱۳] ارائه شد. سایم[۱۴] نیز در تحقیقی جداگانه اثر نسبت ارتفاع به قطر را در قطعات آلومینیومی مورد بررسی قرار داد و با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، روابط تجربی را برای شکل منحنی بشکه‌ای ارایه نمود. نریانسامی و همکاران[۱۵ و ۱۶] با در نظر گرفتن پدیده کار سختی، فرآیند کله‌زنی آلومینیوم را در فرآیند کله‌زنی سرد مورد بررسی قرار دادند. در سال ۲۰۰۳، لاندره و همکاران [۱۷] استفاده از معیار شکست نرم در آهنگری سرد را مورد مطالعه قرار دادند. در همان سال، گوپتا و همکاران [۱۸] شکست

نرم در کله‌زنی را با استفاده از مکانیزم آسیب پیوسته پیش‌بینی نمودند و چونگ و همکاران[۱۹] به شبیه-سازی انتشار ترک صفحه‌ای در کله‌زنی با استفاده از مکانیزم آسیب پیوسته پرداختند.

۱-۶-۲ در زمینه اکستروژن

در سال ۱۹۹۸ ویفی و همکاران[۲۰] به روش قاچی، فشار در قالب اکستروژن مستقیم را برای پروفیل‌های مختلف قالب به دست آوردند. در سال۲۰۰۱ ، کوزمن[۲۱] تاثیر عواملی نظیر الاستیسیته قالب و پرس، تولید گرما و نیرو را بر دقت محصول و فرآیند بررسی کرد. در سال۲۰۰۲ ، چویی و همکاران[۲۲ و ۲۳] در یک تحلیل اجزای محدود از کاربید برای حلقه‌های فشاری استفاده کردند و تغییر شکل الاستیک قالب را کاهش دادند. آنان همچنین روشی برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز برای جا زدن حلقه‌های انقباضی اکستروژن معکوس سرد ارایه کردند. در همان سال، لونگ[۳] قطعات تولیدی به روش اکستروژن سرد را بر اساس شکل هندسی و روش تولید دسته بندی کرد. در سال ۲۰۰۴ ، سونگ[۲۴] تحقیقی در مورد تولید چرخ‌دنده ساده به روش اکستروژن وتخمین نیرو ها انجام داد. در این تحقیق، معیاری برای تضمین پر شدن قالب اکستروژن چرخ‌دنده ارائه شد. در سال ۲۰۰۴ ، فراتینی[۲۵] با روش تحلیل عددی، گوشه‌های تیز و نسبت اکستروژن نامناسب را به عنوان یک عامل منفی در کاهش عمر قالب معرفی کرد. در سال ۲۰۰۵ ، ترنان و همکاران[۲۶] اکستروژن آلومینیوم را با اجزای محدود مدلسازی کردند و با تغییر پارامترهای زاویه قالب و نسبت اکستروژن تاثیر آنها را بر نیروی اکستروژن بررسی کردند. در همان سال بخشی و همکاران [۲۷] و نورانی آزاد و همکاران [۲۸] در مورد بهینه سازی پروفیل قالب در اکستروژن مستقیم و معکوس تحقیقاتی انجام دادند و زاویه بهینه قالب را بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که اگر چه ساخت قالب با پروفیل منحنی، مشکل است ولی در مقایسه با قالب مخروطی، نیروی شکل دهی کاهش می یابد. در سال ۲۰۰۶ صبوری و همکاران[۲۹] انرژی مصرفی در

اکستروژن مستقیم و معکوس را برای پروفیل منحنی و مخروطی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که انرژی مصرفی در قالب بهینه شده به میزان قابل توجهی از مقدار آن در قالب مخروطی کمتر است. گوویا و همکاران[۳۰ و ۳۱] تحقیقاتی در مورد مدل‌سازی فیزیکی و شبیه‌سازی اکستروژن مستقیم مقاطع گرد به مربع انجام دادند. آنها برای شبیه‌سازی از روشهای حد بالایی و FEM با مش‌بندی مجدد کوچک و بزرگ استفاده کردند و نتایج را با مدل‌سازی فیزیکی مقایسه کردند. چاندا و همکاران[۳۲] در مورد آنالیز FEM اکستروژن آلومینیم برای قالب‌های مربعی و دوار بحث کردند. آنها افزایش دمای قالب‌ها را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در قالب‌های مربعی دما بالاتر می‌رود و غیر-یکنواختی دمایی بیشتری به وجود می‌آید.

۱-۷ تشریح پایان‌نامه حاضر

بسیاری از قطعات صنعتی در بیش از یک فرایند تولید می‌شوند. به بیان دیگر، تولید این قطعات در یک فرایند واحد غیر ممکن است. قرار بود تا موضوع پایان‌نامه حاضر، تحلیل مراحل طراحی قالب شکل‌دهی سرد یک قطعه خاص صنعتی باشد که عمده تولید آن ترکیبی از فرایندهای کله‌زنی و اکستروژن بود. اما شرکت سفارش‌دهنده تصمیم به ورود تکنولوژی تولید از صنایع خارجی گرفت. از این‌رو، در حین انجام پایان‌نامه، شرکت مورد نظر از ادامه کار منصرف شد. ولی همانطور که از ابتدا پیش‌بینی‌های لازم بعمل آمد، اصل موضوع همچنان مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

یکی از هدف‌های این پایان‌نامه، مطالعه تأثیر زاویه مخروط قالب بر منحنی نیرو- جابجایی سنبه در فرایند اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی با پروفیل قالب مخروطی بود. با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS/Explicit فرایند اکستروژن میلگرد به مقطع مربعی برای قالب مخروطی با نسبت اکستروژن