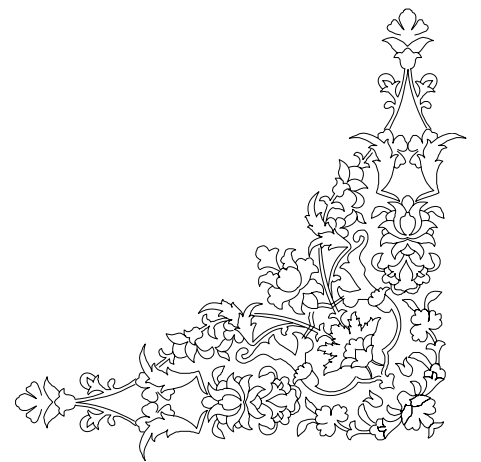
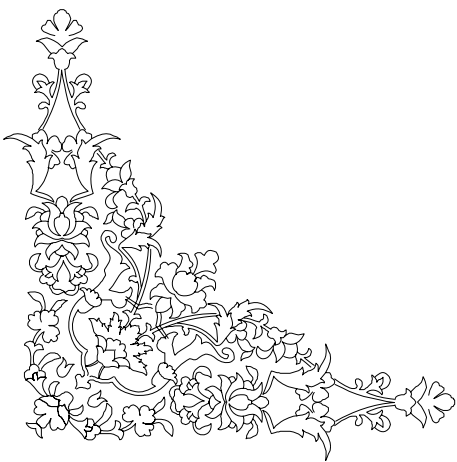


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





شبه سازی فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ

دانشجو:

مهدی قیصری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک- گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر فرامرز جوانرودی

بهمن ماه ۱۳۸۵

تقدیم به آن دو ستون استوار زندگی که

تجربه و ایمانشان فرا راه آینده مبهم ماست

پدر و مادر مشربانم

و

امید زندگی

همسر فد اکارم

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر جوانرودی که انجام این پایان نامه مرهون زحمات و راهنماییهای بی دریغ ایشان می باشد. همچنین از جناب آقایان دکتر صدیقی، دکتر میراحمدی و دکتر حبیبی پارسا که در نشست بررسی این پایان نامه شرکت نمودند، مراتب سپاس را ابراز می نمایم. بر خود لازم می دانم از جناب آقای احمدی مدیریت محترم و کلیه همکاران شرکت شباهنگ استیل شهریار و جناب آقای کرمیان مدیریت محترم صنایع استیل شاهد که در مراحل اجرایی پروژه از همکاری بی دریغشان برخوردار بوده ام، تشکر نمایم. همچنین از همکاری و مساعدت جناب آقای مالمیری مدیریت محترم عامل و کلیه همکارانم در گروه شرکتهای والفجر سپاسگذاری می نمایم.

چکیده

فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ از جمله فرآیندهایی است که استفاده آن در صنعت روز به روز در حال افزایش چشمگیری می باشد. در این پایان نامه این فرآیند توسط نرم افزار جامع ABAQUS 6.4 شبیه سازی شده است. به منظور بررسی صحت نتایج شبیه سازی و استخراج اثرات پارامترهای مختلف، نتایج به دست آمده با یافته های آزمایشات که در فشارهای مختلف انجام شده اند، مقایسه گردیده اند. سپس اثرات خواص مواد و ضریب اصطکاک در طول فرآیند مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. در بخش دیگری از پایان نامه به پدیده بازگشت فنری و برخی از پارامترهای موثر بر میزان آن در این فرآیند پرداخته شده است. پس از بررسی روش فرمدهی اسپینینگ سنتی، برخی از نتایج به دست آمده از این روش سنتی فرمدهی، با نتایج حاصل از روش دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ مقایسه شده اند. جهت بررسی اثرات خواص مواد، بر روی سه ورق آزمایش تست کشش ساده انجام شده و برای ورق فولاد زنگ نزن گرید ۳۰۴، نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از تست بالچ نیز مقایسه شده است.

پیوست نیز، مقایسه نتایج حاصل از تحلیل المان محدود و یافته های تجربی یکی از شاخه های فرآیند تیوب هیدروفرمینگ، تحت عنوان فرمدهی آزاد می باشد.

در این بخش پس از بررسی فرآیند فرمدهی آزاد توسط آنالیز عددی، اثرات پارامترهایی همچون ضریب اصطکاک و ضریب کرنش سختی مورد بررسی قرار گرفته اند. سپس تاثیر پدیده بازگشت فنری در فرآیند بررسی شده است. در انتها نیز از معادلات حاکم بر بالچ فرمینگ جهت حل تحلیلی فرآیند استفاده شده است.

۱.....	فصل اول	
۲.....	مقدمه	۱-۱
۴.....	پیشینه پژوهش	۲-۱
۴.....	ساختار پایان نامه	۳-۱
۶.....	فصل دوم	
۷.....	مقدمه	۱-۲
۷.....	معرفی و دسته بندی فرآیدهای شکلدهی	۲-۲
۸.....	نورد فلزات	۱-۲-۲
۸.....	اکستروژن	۲-۲-۲
۱۰.....	کشیدن سیم و لوله	۳-۲-۲
۱۰.....	شکل دهی ورق	۴-۲-۲
۱۰.....	برش	•
۱۱.....	خمش	•
۱۲.....	کشش عمیق	•
۱۲.....	شکلدهی به کمک فشار سیال	۵-۲-۲
۱۳.....	شکلدهی ورق به کمک فشار سیال	•
۱۵.....	شکلدهی تیوب فلزی به کمک فشار سیال	•
۱۸.....	اصول فرآیند تیوب هیدروفرمینگ	•
۲۱.....	فرایند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	•

۲۲.....	برخی از تجهیزات مورد استفاده در فرآیند تیوب هیدروفرمینگ.....	۳-۲
۲۵.....	تئوری فرآیند تیوب هیدروفرمینگ.....	۴-۲
۲۵.....	بررسی موقعیت تسلیم.....	۱-۴-۲
۲۸.....	تغییر شکل پلاستیک.....	۲-۴-۲
۳۰.....	محاسبه شکست در فرآیند تیوب هیدروفرمینگ.....	۳-۴-۲
۳۱.....	فشارهای موثر در فرآیند تیوب هیدروفرمینگ.....	۴-۴-۲
۳۱.....	روشهای شبیه سازی فرآیند های شکل دهی.....	۵-۲
۳۲.....	روشهای تجربی یا آزمایشگاهی.....	۱-۵-۲
۳۲.....	روشهای تحلیلی.....	۲-۵-۲
۳۳.....	روشهای عددی.....	۳-۵-۲
۳۳.....	روش اجزای محدود.....	•
۳۶.....	فرمولاسیون تحلیل ضمنی.....	•
۳۷.....	فرمولاسیون تحلیل صریح.....	•
۳۸.....	مقایسه روشهای تحلیل ضمنی و صریح.....	•
۳۹.....	نتیجه گیری.....	۶-۲
۴۰.....	فصل سوم	
۴۱.....	مقدمه.....	۱-۳
۴۱.....	روشهای استخراج خواص مواد.....	۲-۳
۴۱.....	تست کشش ساده (<i>Tensile Test</i>).....	۱-۲-۳
۴۲.....	کشش دو محوره متعادل.....	۲-۲-۳
۴۳.....	نتایج حاصل از تست مواد.....	۳-۲-۳

۴۸.....	اسپینینگ	۳-۳
۵۲.....	روش دبل بلانک هیدروفرمینگ	۴-۳
۵۵.....	اندازه گیری ضخامت	۵-۳
۵۵.....	ضخامت سنجی قطعات تولیدشده توسط فرآیند اسپینینگ سنتی (خمکاری)	۱-۵-۳
۵۷.....	ضخامت سنجی قطعات در فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	۲-۵-۳
۵۸.....	نتیجه گیری	۶-۳
۶۰.....	فصل چهارم	
۶۱.....	مقدمه	۱-۴
۶۱.....	شبیه سازی فرآیند دبل بلانک هیدروفرمینگ	۲-۴
۶۲.....	حساسیت به اندازه مش	۱-۲-۴
۶۵.....	نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند دبل بلانک هیدروفرمینگ	۲-۲-۴
۷۲.....	• اثرات خواص مواد	
۷۳.....	• اثرات ضریب اصطکاک	
۷۴.....	• بررسی اثرات بازگشت فنری در فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	
۷۵.....	نشان دادن منطقه شکست در فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	۳-۴
۷۶.....	آنالیز تحلیلی فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	۴-۴
۸۱.....	نتیجه گیری	۵-۴
۸۲.....	فصل پنجم	
۸۳.....	نتایج	۱-۵
۸۵.....	پیشنهادات آتی	۲-۵
۸۶.....	منابع و مراجع	

فهرست اشکال

۳	برخی از قطعات خودرو تولید شده توسط فرآیند تیوب هیدروفرمینگ	۱-۱
۸	نورد و نیروهای وارده به قطعه را نشان می‌دهد	۱-۲
۹	فرآیند اکستروژن مستقیم و برخی از محصولات این روش را نشان می‌دهد	۲-۲
۹	نمایی از سه گروه اکستروژن ضربه ای (a) اکستروژن ضربه ای غیر مستقیم (b) اکستروژن ضربه ای مستقیم (c) اکستروژن ضربه ای مرکب	۳-۲
۱۰	نمونه‌ای از دستگاه کشش سیم	۴-۲
۱۱	انواع فرآیندهای برشکاری	۵-۲
۱۱	خمش	۶-۲
۱۲	شماتیک فرآیند کشش عمیق	۷-۲
۱۳	دسته بندی فرآیندهای فرمدهی به کمک فشار سیال	۸-۲
۱۳	شماتیک فرآیند هیدرو فرمینگ	۹-۲
۱۵	فرم دهی ورق فلزی به روش هیدرو فرمینگ	۱۰-۲
۱۶	مراحل فرآیند تیوب هیدروفرمینگ (a) قرار دادن تیوب خام در قالب (b) بسته شدن محفظه قالب (c) تزریق سیال به تیوب (d) آببندی شدن محفظه قالب (e) اعمال فشار داخلی و نیروی محوری (f) اتمام فرآیند	۱۱-۲
۱۷	فرم دهی قطعه T شکل به کمک فشار سیال	۱۲-۲
۱۷	قطعات خودرو تولید شده با فرآیند تیوب هیدروفرمینگ	۱۳-۲
۱۸	توالی زمانی در پروسه تیوب هیدروفرمینگ	۱۴-۲
۱۹	نمودار عملکرد در فرایند تیوب هیدروفرمینگ	۱۵-۲
۲۰	پدیده ترکیدگی و چروکیدگی	۱۶-۲
۲۱	فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ	۱۷-۲
۲۲	الگوهای طراحی پرسهای تیوب هیدروفرم	۱۸-۲
۲۳	پرسهای تیوب هیدروفرمینگ که بر اساس الگوهای فوق ساخته شده اند	۱۹-۲
۲۳	پرسهای مدولار (a) یک بخشی (b) دو بخشی	۲۰-۲
۲۴	مراحل عمل سیستم مکانیک و هیدرولیک در فرآیند تیوب هیدروفرم	۲۱-۲

۲۴	۲۲-۲	برخی از پرسهای صنعتی مورد استفاده در فرآیند تیوب هیدروفرمینگ
۲۵	۲۳-۲	مدار هیدرولیک عمومی در فرآیند تیوب هیدروفرمینگ
۲۵	۲۴-۲	تنش وارد بر المانی در وسط تیوب
۲۸	۲۵-۲	تغییر فرم پلاستیک در تیوب
۲۹	۲۶-۲	پارامترهای مورد استفاده در معادلات تغییر فرم پلاستیک
۴۱	۱-۳	انتخاب نمونه کشش (a) نمونه از ورق (b) تیوب به عنوان نمونه (c) انتخاب نمونه از تیوب
۴۲	۲-۳	شماتیک تست کشش ساده
۴۲	۳-۳	نمودار تنش- کرنش مهندسی
۴۶	۴-۳	منحنی رفتار Stainless Steel 304 استخراج شده از تست کشش ساده
۴۶	۵-۳	منحنی رفتار Stainless Steel 304 استخراج شده از تست بالچ
۴۷	۶-۳	منحنی رفتار Low carbon Steel 1015 استخراج شده از تست کشش ساده
۴۸	۷-۳	منحنی رفتار فولاد زنگ نزن ۲۰۱ استخراج شده از تست کشش ساده
۴۹	۸-۳	قرار گرفتن گرده بر روی قالب و دور شدن
۴۹	۹-۳	اعمال نیرو بر روی قطعه و فرمدهی قطعه بر روی قالب
۴۹	۱۰-۳	جدا کردن قطعه از روی قالب و یا بیرون آوردن قالب از قطعه نهایی
۴۹	۱۱-۳	قالب مورد استفاده جهت فرمدهی قطعه نمونه
۵۰	۰۰ ۰۰۰۰	توسط روش خمکاری
۵۰	۱۳-۳	برخی از ایرادها در قطعات تولید شده توسط فرآیند اسپینینگ سنتی الف: بریده شدن لبه ب: خط قالب و قلم خمکاری
۵۱	۱۴-۳	فرآیند تولید قطعه توسط فرآیند اسپینینگ و برخی از ایراداتی که در هر مرحله ایجاد می گردند
۵۲	۱۵-۳	فرآیند تولید قطعه نمونه توسط فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ و ایرادهای به وجود آمده در هر مرحله
۵۳	۱۶-۳	الف: برخی از قطعات تولیدی توسط فرآیند دبل بلانک تیوب هیدرو فرمینگ ب: پرس مورد استفاده جهت انجام آزمایشات
۵۳	۱۷-۳	پروفیل قطعه شماره ۱ (فشار ۵۰-۶۰ بار)
۵۳	۱۸-۳	پروفیل قطعه شماره ۲ (فشار ۱۱۰-۱۲۰ بار)
۵۴	۱۹-۳	پروفیل قطعه شماره ۳ (فشار ۱۳۰-۱۴۰ بار)
۵۴	۲۰-۳	شکست در قطعه شماره ۴ (فشار ۱۶۰-۱۷۰ بار)

۵۵	دستگاه تست آلتراسونیک جهت اندازه گیری ضخامت	۲۱-۳
۵۶	نمودار تغییرات ضخامت در فرآیند اسپینینگ	۲۲-۳
۵۷	روند تغییرات ضخامت در قطعات هیدروفرمینگ	۲۳-۳
۵۸	تغییرات ضخامت در نقاط مختلف قطعه مورد آزمایش	۲۴-۳
۶۲	قطعه خام و قطعه نهایی مورد آزمایش	۱-۴
۶۳	حساسیت به اندازه مش (پارامتر ماکزیمم تنش)	۲-۴
۶۳	حساسیت به اندازه مش (پارامتر ماکزیمم تغییر فرم)	۳-۴
۶۴	مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی دوبعدی متقارن و سه بعدی (ماکزیمم ارتفاع منحنی اول تغییر فرم یافته)	۴-۴
۶۴	مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی دوبعدی متقارن و سه بعدی (ماکزیمم ارتفاع منحنی دوم تغییر فرم یافته)	۵-۴
۶۵	مراحل فرمدهی قطعه در نرم افزار ABAQUS	۶-۴
۶۹	مقایسه یافته های تجربی و شبیه سازی(ماکزیمم ارتفاع در منحنی اول)	۷-۴
۷۰	مقایسه یافته های تجربی و شبیه سازی(ماکزیمم ارتفاع در منحنی دوم)	۸-۴
۷۱	تغییرات ضخامت و مقایسه نتایج با آزمایشات	۹-۴
۷۱	روند تغییرات ضخامت(شبیه سازی و یافته های تجربی)	۱۰-۴
۷۲	تغییرات ارتفاع بیشینه در منحنی اول	۱۱-۴
۷۲	تغییرات ارتفاع بیشینه در منحنی دوم	۱۲-۴
۷۳	تغییرات ارتفاع بیشینه در منحنی اول(μ)	۱۳-۴
۷۳	تغییرات ارتفاع بیشینه در منحنی دوم(μ)	۱۴-۴
۷۴	تغییرات ارتفاع و میزان بازگشت فنری در ورق AISI 304 منحنی اول تغییر فرم	۱۵-۴
۷۴	تغییرات ارتفاع و میزان بازگشت فنری در ورق AISI 304 منحنی دوم تغییر فرم یافته	۱۶-۴
۷۵	درصد بازگشت فنری در مواد مختلف	۱۷-۴
۷۵	مقایسه منطقه شکست در مدل شبیه سازی شده و آزمایش	۱۸-۴
۷۶	توزیع کرنش در مدل شبیه سازی شده (مدل اولیه)	۱۹-۴
۷۷	توزیع کرنش در مدل شبیه سازی شده(مدل اصلاح شده)	۲۰-۴
۷۷	مناطق تغییر فرم یافته در مدل اصلاح شده	۲۱-۴
۷۸	مناطق تغییر فرم(مدل اولیه)	۲۲-۴

۷۸	تغییرات ضخامت در منطقه تغییر فرم اول	۲۳-۴
۷۹	تغییرات ضخامت در منطقه تغییر فرم دوم	۲۴-۴
۷۹	تغییرات ضخامت در منطقه تغییر فرم سوم	۲۵-۴
۸۰	اثرات خواص مواد در منطقه تغییر فرم دوم (آنالیز تحلیلی) (فولاد زنگ نزن ۳۰۴)	۲۶-۴
۸۰	تغییرات فشار برای فرمدهی مواد مختلف در منطقه تغییر فرم دوم (آنالیز تحلیلی)	۲۷-۴
۸۰	تغییرات فشار برای مقادیر مختلف α (نسبتهای تنش) در منطقه تغییر فرم دوم (آنالیز تحلیلی) (جنس آهن ۱۰۱۵)	۲۸-۴

فهرست جداول

	Stainless Steel 304	.....
	Stainless Steel ȳ	.....
	Stainless Steel 304	.....
	Low Carbon Steel 1015	.....
	Low Carbon Steel 1015	.....
	Low Carbon Steel 1015	.....
	Stainless Steel 201	.....
	Stainless Steel 201	.....
	Stainless Steel 201	.....
ëð		.....
ìë		.....
۶۶	جدول ۱-۴ ماکزیمم تغییر ارتفاع (خواص مواد استخراج شده از تست کشش ساده)	
۶۷	جدول ۲-۴ ماکزیمم تغییر ارتفاع (خواص مواد استخراج شده از تست بالچ)	
	جدول ۳-۴ ماکزیمم تغییر ارتفاع (خواص مواد استخراج شده از تست بالچ و در نظر گرفتن اثر بازگشت فنری در ورق	
۶۸	استنلس استیل (۳۰۴)	
	جدول ۴-۴ ماکزیمم تغییر ارتفاع (خواص مواد استخراج شده از تست کشش ساده و در نظر گرفتن اثر بازگشت فنری در	
۶۹	ورق استنلس استیل (۳۰۴)	
۷۷	جدول ۵-۴ نسبت کرنش در مدل‌های شبیه سازی شده	
۷۷	جدول ۶-۴ فشار به دست آمده از آنالیز تحلیلی و شبیه سازی شکل ۱۹-۴	
۷۸	جدول ۷-۴ فشار به دست آمده از آنالیز تحلیلی	

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

از ابتدای خلقت تاکنون بشر همواره به فکر دستیابی به شیوه‌هایی جدید و موثر جهت فرمدهی فلزات بوده است. روش فرمدهی به کمک فشار سیال (هیدروفرمینگ) یکی از روشهای نسبتاً نوین فرمدهی می باشد که از اواخر دهه ۱۹۴۰ در کانون توجه صاحبان صنعت قرار گرفته است. در ابتدا از این روش تنها برای تولید قطعات کشتی عمیق با تیراژ کم استفاده می شد، اما با گذشت زمان و نیاز به دستیابی به اشکال پیچیده و تولرانسهایی بالا، دامنه تولید به بخشهای صنعتی دیگر همچون صنایع لوازم خانگی نیز کشیده شد چراکه در این روش امکان ایجاد تغییر فرمهای بزرگتر، کیفیت بهتر سطح و تغییرات یکنواخت تر ضخامت نسبت به انواع دیگر روشهای فرمدهی وجود داشت. با گسترش نیاز بشریت و احساس نیاز به افزایش بازدهی، کاهش مصرف سوخت، کاهش وزن و ۰۰۰ این فرایند در کانون توجه خودروسازان و صنایع هوایی قرار گرفت [۱].

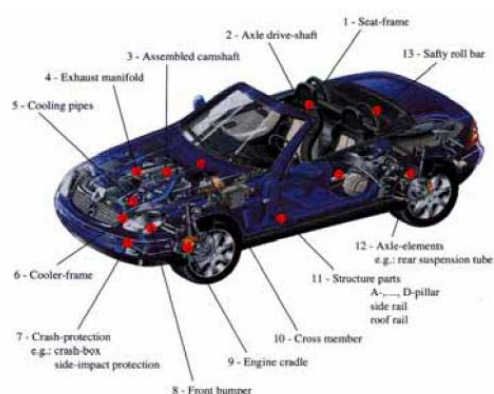
تیوب هیدروفرمینگ^۱ یکی از روشهای فرمدهی به کمک فشار سیال می باشد. از این فرآیند به طور گسترده ای در صنایع خودروسازی استفاده شده و روز به روز بر دامنه استفاده از این فرآیند افزوده می شود. از مزایای این روش می توان به موارد زیر اشاره داشت:

- ۱- قابلیت تکرار بالا در تولید ۲- هزینه ابزار اندک نسبت به روشهای مشابه ۳- دستیابی به نسبت بالای استحکام در برابر وزن (با استفاده از این روش می توان از مواد اولیه با وزن کمتر جهت تولید قطعات حساس و پیچیده استفاده نمود و فرمهای پیچیده و با تغییر فرم بالا را ایجاد نمود)
 - ۴- کاهش عملیات تکمیلی مونتاژ همچون لحیم کاری، جوشکاری و... ۵- افزایش چشمگیر دقت در قطعات تولیدی و دستیابی به تولرانسهایی مطلوب [۲].
- با این وجود این فرآیند علاوه بر مزایای بی شمار دارای معایبی همچون سیکل تولید طولانی نسبت به روشهای مشابه، سرمایه گذاری اولیه بالا، کمبود دانش فنی لازم جهت مدیریت و طراحی ابزار می باشد [۳].

¹ Tube Hydro forming

یکی از روشهای تیوب هیدروفرمینگ، استفاده از قطعه کشش عمیق شده به عنوان قطعه خام می باشد(به طور معمول ماده خام اولیه در این روش تیوب تولید شده با استفاده از یکی از روشهای نورد، اکستروژن و... می باشد). این فرآیند به طور گسترده ای در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد.

در این پایان نامه روش فوق با آنالیز تحلیلی و عددی بررسی شده و نتایج حاصل با یافته های به دست آمده از آزمایشات مقایسه شده اند. (دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ)^۲[۴].



[]

۱-۱

پس از انجام آزمایشات تجربی شامل تست خواص مکانیکی مواد و تست فشار فرآیند موردنظر توسط نرم افزار شبیه سازی *ABAQUS 6.4*، شبیه سازی شده و اثرات پارامترهای مختلف همچون فشار داخلی، خواص مواد و ضریب اصطکاک بر این فرآیند مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. همچنین نمونه های تولیدی با این فرآیند با نمونه های تولیدی توسط روش اسپینینگ سنتی^۳ (خمکاری) مقایسه شده اند.

² Double Blank Tube Hydro Forming(DBTHF)

³ Traditional Spinning

۲-۱ پیشینه پژوهش

آلتان [۱] در گزارش خود به آکادمی تحقیق توسعه فرم دهی، نیلسون [۲] و هارل [۳] در بررسی های خود انواع فرآیند هیدروفرمینگ، روشهای انجام فرآیند، مزایا و معایب و تجهیزات مورد استفاده در این روش را مورد بحث قرار داده اند.

نادر اصنافی [۴] با بررسی تحلیلی و مقایسه نتایج حاصل با یافته های تجربی و شبیه سازی مسیر بهینه اعمال نیرو در روش تیوب هیدروفرمینگ با استفاده از روش کنترل جابجایی را بهینه سازی نموده است. لندکوئیست [۶] نیز در بررسی های خود با استفاده از آنالیز عددی، پارامترهای این فرآیند را تحلیلی مورد بحث قرار داده است. سیگرت [۷] در مقاله خود، دسته بندی تجهیزات و سیکل انجام فرآیند به صورت بهینه را مطرح نموده است. باتالا [۸]، آلتان [۹] [۱۰]، ایمانی نژاد [۱۳] [۱۴] [۱۵]، نارازاکی [۱۶]، آمینو [۱۷]، شیرایوری [۱۸]، مامر [۱۹]، فان [۲۰]، وانگ [۲۱]، پلانک [۲۲] و هوانگ [۲۳] در نوشته های خود، اثرات پروفیل فشار و نیروی محوری در فرآیند تیوب هیدروفرم را بررسی نموده و تغییرات پارامترهای مختلف در مناطق منحنی عملکرد را مورد بحث قرار داده اند.

۳-۱ ساختار پایان نامه

پس از ذکر مقدمه و خلاصه ای از تحقیقات انجام شده پیرامون فرآیند تیوب هیدروفرمینگ در فصل اول، در فصل دوم توضیحات مختصری از فرآیندهایی که به گونه ای با فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ مرتبط هستند، آورده شده و تجهیزات و امکانات مورد استفاده در این فرآیند معرفی شده اند.

فصل سوم شامل داده های حاصل از آزمایشات انجام شده توسط فرآیندهای اسپینینگ و دبل بلانک هیدروفرمینگ می باشد.

در فصل چهارم نتایج حاصل از آنالیز عددی فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ با نتایج یافته های تجربی در فصل سوم مقایسه شده و در ادامه این فصل روشی برای نشان دادن شکست در این فرآیند پیشنهاد

داده شده است، همچنین آنالیز تحلیلی فرآیند دبل بلانک تیوب هیدروفرمینگ با استفاده از روابط حاکم بر بالچ فرمینگ انجام شده و نتایج با آزمایشات و آنالیز عددی مقایسه شده اند.

فصل پنجم شامل مقایسه میان نتایج به دست آمده از آنالیزهایی عددی، تحلیلی و یافته های تجربی بوده و جهت ادامه تحقیقات پیشنهاداتی نیز ارائه شده اند.

پیوست ۱ حاوی مطالبی پیرامون فرآیند فرمدهی آزاد و نتایج به دست آمده از آنالیز تحلیلی و عددی این فرآیند می باشد.

فصل دوم

شکلدهی فلزات

۱-۲ مقدمه

شکل دهی فلزات^۱، یکی از روشهای مهم تولیدی می‌باشد که در سالهای اخیر توسعه فراوانی یافته است. این رشته شامل موضوعهایی است که با دیگر رشته‌های علمی در ارتباط است و علاوه بر جنبه های علمی و صنعتی، شامل رفتار و خواص فلزات، علم مکانیک کاربردی، متالورژی و انتقال حرارت می باشد.

اهمیت فلزات در صنعت جدید عمدتاً به علت سهولت شکل گرفتن آنها به صورت اشکال مفیدی چون لوله‌ها، میله‌ها و ورقه‌هاست. این اشکال مفید را می‌توان به دو روش اصلی تولید کرد:

۱- توسط فرآیندهای تغییر شکل مومسان^۲ که در آن حجم و جرم فلز حفظ می‌شود و فلز از یک مکان به مکان دیگر جابجا می‌شود.

۲- توسط برداشتن فلز یا فرآیندهای ماشین کاری که توسط آنها آنقدر از ماده برداشته می‌شود تا شکل لازم به دست آید (براده برداری)^[۵].

۲-۲ معرفی و دسته بندی فرآیندهای شکلدهی

برای کاربردهای فلز کاری ویژه، صدها فرآیند گوناگون ابداع شده است اما این فرآیندها بر مبنای نوع نیروهای وارد بر قطعه هنگام شکل گرفتن آن، تنها به چند دسته تقسیم می‌شوند این چند دسته عبارت‌اند از:

۱- فرآیندهای فشاری مستقیم

۲- فرآیندهای فشاری غیرمستقیم

۳- فرآیندهای کششی

۴- فرآیندهای خمشی

4-Metal Forming

5- Forming