٩٩١١٥

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

عنوان:

طراحی مراحل شکل دهی و مدل سازی فیزیکی مرحله نهایی فورج قطعه کلگی بیرونی پلوس

پژوهشگر:
محمد مصطفی محمدی

استاد راهنما :
دکتر محمد حسین صادقی

بهمن ۱۳۸۶

۱۳۸۷ /۵/ ۲۵

۹۹۱۱۵

٤٥٦٢

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای **محمدمصطفی محمدی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان طراحی ومدلسازی فیزیکی مراحل شکل دهی کگلی بیرونی پلوس خودرو به روش فورج دفیق** در تاریخ ۱۳۸٦/۱۱/۱۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدحسین صادقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد جواد ناطق	استادیار	
استاد ناظر	دکتر فریدرضا بیگلری	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد جواد ناطق	استادیار	

٩٩١١٥

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته سامانه‌های ساخت مرکب است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمدحسین صادقی مشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر ——— و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند; به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمدمصطفی محدی دانشجوی رشته سامانه‌های ساخت مرکب مقطع دکتری

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی محمدمصطفی محدی

تاریخ و امضاء: ۱۳۸۷/۲/۱۸

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها ک
لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لاز
است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتای
پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگا
انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است
و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های
مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی
و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از
پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

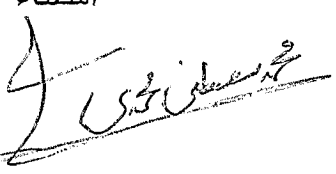
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید
با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام
می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که
حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی
استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی
دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این
دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء



تقدیم به بهترین واژگان حیات
پدر و مادر مهربانم

حضرت امیر میفرماید:

ای کمیل! علم بهتر از مال است. علم تو را نگه داشته و تو باید مال را نگهدار باشی. مال با انفاق کم شود، و علم با انفاق نموّ کند. و آنچه که در اثر مال بدست آمده با از دست دادن آن نیز از دست خواهد رفت.

نهج البلاغه

تشکر و قدردانی:

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین صادقی
که این حقیر را در ارائه این طرح یاری نمودند، تشکر داشته و از
خداوند منان سعادت ایشان را خواستارم.

چکیده:

پلوس مفصلی از مهمترین مجموعه های انتقال قدرت در خودروهای دیفرانسیل جلو است. این مجموعه از تعداد زیادی قطعه تشکیل شده که برخی از آنها از جمله قطعه ی کلگی(outer race) پیچیده اند. قطعه کلگی پلوس که یک مفصل کاسه ساچمه ای می باشد دارای شیارهایی قوسی با تلورانس ابعادی دقیق است. به طور سنتی این شیارها معمولا به روش ماشین کاری به همراه سنگ زنی نهایی ایجاد می شوند. ماشین کاری و سنگ زنی این شیارها مشکل، وقت گیر و هزینه بر است. به منظور افزایش بهره وری تولید در سال های اخیر روش های ساخت قطعه به صورت نهایی یا نزدیک به نهایی(net or near net shape manufacturing) توسعه یافته اند. فورج دقیق مناسب ترین روش تولید قطعه کلگی پلوس می باشد. به دلیل عدم تولید قطعه مزبور در داخل کشور نیاز به تدوین تکنولوژی ساخت قطعه کلگی در مجامع علمی احساس می شود. مشکل اجرایی در فورج دقیق این قطعه، وجود شیارهایی قوسی(با شیب منفی فورج) در داخل قطعه است که امکان ورود و خروج سنبه های یک تکه معمولی را نمی دهد.

در این پژوهش هدف طراحی مراحل شکل دهی شامل پیشفرم و قطعه نهایی و قالب های فورج دقیق قطعه کلگی با لحاظ نمودن شیار های داخلی است. در کل دو روش جدید جهت فورج دقیق قطعه کلگی معرفی شده است که هر دو روش شامل دو مرحله فورج داغ قالب بسته و یک مرحله فورج سرد نهایی است که در مرحله فورج سرد نوعی خم کاری محوری جهت ایجاد هندسه شیار ها انجام می شود. مهمترین گام، طراحی صحیح مراحل پیشفرم و قالب ها می باشد به نحوی که علاوه بر دستیابی به هندسه داخلی ، نیروی شکل دهی کاهش یابد. شبیه سازی با استفاده از روش حجم محدود(FVM) توسط نرم افزار Super Forge انجام شده است. بعد از طراحی قالب ها و قطعه پیشفرم، مدل سازی فیزیکی مرحله نهایی، توسط سرب انجام یافته و پروفیل شیار داخلی توسط دستگاه CMM به دست آمده و با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی و مدل سازی فیزیکی با هم مقایسه شده اند که انطباق خوبی دارد.

کلمات کلیدی:

فورج دقیق ، کلگی بیرونی پلوس ، شیارهای قوسی با شیب منفی فورج ، مراحل پیشفرم ، شکل دهی مقید ، شکل دهی آزاد ، فورج داغ قالب بسته ، شبیه سازی کامپیوتری ، مدل سازی فیزیکی

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- معرفی قطعه کلگی پلوس و روش تولید آن ۲

۱-۳- معرفی فرایند فورج معمولی و فورج دقیق ۴

۱-۴- مروری بر کارهای انجام گرفته برای تولید قطعه کلگی پلوس ۶

۱-۵- اهداف تحقیق و ضرورت انجام آن ۷

فصل دوم : آشنایی با فرایند فورج دقیق و دانش فنی قطعه کلگی پلوس

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- دانش فنی قطعه پلوس ۱۰

۲-۲-۱- انواع پلوس ۱۱

۲-۲-۲- اجزای پلوس شپا ۱۱

۲-۲-۳- مشخصات هندسی اجزای پلوس شپا ۱۴

۲-۳- تولید قطعه کلگی به روش فورج دقیق ۱۶

۲-۴- تاریخچه فرایند فورج و فورج دقیق ۱۷

۲-۴-۱- مزایا و معایب فورج دقیق ۱۷

۲-۵- پارامتر های موثر در فرایند فورج دقیق ۱۸

۲-۵-۱- مواد اولیه ۲۱

۲-۵-۲- طراحی بیلت اولیه و پیشفرم ها ۲۲
۲-۵-۳- درجه حرارت فورج دقیق ۲۳
۲-۵-۳-۱- تغییر دما در اثر انتقال حرارت ۲۵
۲-۵-۳-۲- افزایش دما در اثر تغییر فرم پلاستیکی قطعه ۲۶
۲-۵-۳-۳- افزایش دما در اثر اصطکاک قطعه با دیواره قالب ۲۶
۲-۵-۳-۴- تاثیر دما بر مسئله دقت ۲۷
۲-۵-۴- عوامل مربوط به ماشین پرس ۲۸
۲-۵-۵- عوامل مربوط به قالب ها ۲۹
۲-۵-۶- جنس قالب ۳۰
۲-۵-۷- روان کاری ۳۰
۲-۵-۸- مکان دهی قطعه کار در قالب ۳۱
۲-۶- بررسی انواع فورج دقیق ۳۲
۲-۶-۱- فورج دقیق داغ ۳۲
۲-۶-۲- فورج دقیق سرد ۳۴
۲-۶-۳- حالت ترکیبی فورج داغ – سرد ۳۵
۲-۶-۴- طراحی قالب برای فورج دقیق ۳۶

فصل سوم: انواع مکانیزم های قالب جهت تولید قطعه کلگی پلوس و بررسی منطق حاکم بر پروژه

۳-۱- مقدمه ۴۱
۳-۲- مشکلات تولید قطعه پلوس ۴۲

۳-۳- مکانیزم های طراحی قالب جهت تولید قطعه کلگی پلوس ۴۳
۳-۳-۱- قالب های فورج مرحله نهایی شکل دهی ۴۳
۳-۳-۱-۱- قالب های باز شونده و جمع شونده(شکل دهی مقید) ۴۴
۳-۳-۱-۲- قالب شکل دهی نیمه مقید ۴۵
۳-۳-۱-۳- قالب شکل دهی آزاد ۴۶
۳-۳-۲- مقایسه روش های ارائه شده ۴۷
۳-۳-۳- قالب های فورج قطعات پیشفرم ۴۷
۳-۳-۳-۱- مرحله پیشفرم میانی ۴۷
۳-۳-۳-۲- مرحله پیشفرم اولیه ۴۸
۳-۴- طرح شماتیک دو طرح ارائه شده ۴۹
۳-۵- طرح مسئله و الگوریتم حل آن ۵۰
۳-۵-۱- قطعه فورج ۵۰
۳-۵-۱-۱- طراحی قطعه فورج ۵۰
۳-۵-۲- روش کلی انجام پروژه ۵۲

فصل چهارم : طراحی قالب های فورج و قطعه پیشفرم مرحله نهایی

۴-۱- مقدمه ۵۵
۴-۲- تکنولوژی CAD/CAM ۵۵
۴-۳- اطلاعات ورودی به نرم افزار جهت شبیه سازی ۵۷
۴-۳-۱- جنس قطعه کار ۵۷
۴-۳-۲- جنس قالب فورج سرد ۵۹

۴-۳-۳- انتخاب دمای فرایند ۶۰
۴-۳-۴- تعیین شرایط اصطکاکی و انتخاب روانکار ۶۱
۴-۳-۵- انتخاب نوع پرس و سرعت حرکت رم پرس ۶۲
۴-۳-۶- روش انجام شبیه سازی ۶۲
۴-۴- روش شکل دهی آزاد ۶۲
۴-۴-۱- انتخاب نوع پرس و سرعت حرکت رم پرس ۶۳
۴-۴-۱-۱- طراحی قطعه پیشفرم ۶۴
۴-۴-۱-۲- طراحی قالب بالایی ۶۵
۴-۴-۱-۳- طراحی قالب پایینی ۶۶
۴-۴-۲- شبیه سازی عملیات ۶۶
۴-۴-۳- انتخاب شکل لبه بیرونی پیشفرم ۶۷
۴-۴-۴- بررسی نتایج شبیه سازی ۶۹
۴-۵- روش شکل دهی با سنبه باز شونده ۷۵
۴-۵-۱- اصول طراحی قالب ها و قطعه پیشرم ۷۷
۴-۵-۱-۱- طراحی قطعه پیشفرم ۷۷
۴-۵-۱-۲- طراحی قالب بالا ۷۸
۴-۵-۲- اصول طراحی قالب ها و قطعه پیشرم ۸۰
۴-۵-۲-۱- تحلیل مراحل شبیه سازی در جدول۴-۱۱ ..... ۸۵
۴-۵-۲-۲- تحلیل مراحل شکل دهی در جدول۴-۱۲ ..... ۸۸
۴-۵-۲-۳- بررسی نتایج نهایی ۸۹
۴-۵-۳- مقایسه پیشفرم های نوع اول و دوم در حالت شکل دهی با سنبه جمع شونده ۹۲

۴-۵-۴- بررسی امکان ایجاد عیوب ۹۲
۴-۵-۵- مقایسه دو روش ۹۳

فصل پنجم : طراحی قالب های پیشفرم

۵-۱- مقدمه ۹۶
۵-۲- شرح شرایط شبیه سازی مراحل پیشفرم ۹۷
۵-۲-۱- جنس قطعه کار ۹۷
۵-۲-۲- جنس قالب های فورج داغ ۹۹
۵-۲-۳- انتخاب دمای فرایند ۹۹
۵-۲-۴- محاسبه ضریب اصلاح برای در نظر گرفتن انقباض قطعه بعد از خروج از قالب ۹۹
۵-۲-۵- تعیین شرایط اصطکاکی و انتخاب روانکار ۱۰۰
۵-۲-۶- انتخاب نوع پرس و سرعت حرکت رم پرس ۱۰۰
۵-۲-۷- نحوه شبیه سازی فرایند ۱۰۰
۵-۳- قالب های پیشفرم میانی ۱۰۱
۵-۳-۱- طراحی قطعه پیشفرم ۱۰۲
۵-۳-۲- متغیر های قطعه پیشفرم ۱۰۴
۵-۳-۳- شرح نتایج عملیات شبیه سازی ۱۰۴
۵-۴- مرحله پیشفرم اولیه ۱۰۹

فصل ششم : مدلسازی فیزیکی و ارزیابی نتایج شبیه سازی

۶-۱- مقدمه ۱۱۳

۶-۲- مدل سازی فیزیکی ۱۱۳
۶-۳- انتخاب ماده مدل سازی فیزیکی ۱۱۴
۶-۴- خواص مکانیکی ماده سرب ۱۱۵
۶-۵- آزمایشات عملی ۱۱۷
۶-۶- مقایسه نتایج حاصله از شبیه سازی و آزمایشات عملی ۱۲۱
۶-۷- مقایسه شکل پروفیل شیار حاصل از شبیه سازی و آزمایشات عملی ۱۲۳
۶-۸- بررسی انطباق نتایج شبیه سازی با تحقیقات منتشر شده در گذشته ۱۲۵

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- مقدمه ۱۲۸
۷-۲- نتیجه گیری ۱۲۸
۷-۳- پیشنهاد هایی برای ادامه کار ۱۳۱

منابع و مراجع ۱۳۳

فهرست شکل ها

شکل

صفحه

شکل (۱-۱) : نمای برش خورده مفاصل پلوس ۲

شکل (۱-۲) : شماتیکی از پر شدن قالب فورج با کانال پلیسه ۳

شکل (۲-۱) : نمای انفجاری مفاصل پلوس ۱۲

شکل (۲-۲) : موقعیت مجموعه پلوس در ارتباط با موتور و گیربوکس و دیفرانسیل ۱۴

شکل(۲-۳) : موقعیت پلوس در ارتباط با سگدست و چرخ ۱۴

شکل (۲-۴) : نقلط مولد شیار ساچمه ها ۱۵

شکل (۲-۵) : مقدار انحراف و زاویه مخروطی ۱۵

شکل (۲-۶) : انواع شیار های ساچمه ۱۶

شکل (۲-۷) : مقایسه ای میان فورج دقیق و سنتی ۱۸

شکل (۲-۸) : دیاگرام سیستم فرایند فورج ۱۹

شکل (۲-۹) : اثر نحوه ی خنک کاری و اتمسفر محیط در وزن از دست رفته بر اثر scale ۲۸

شکل (۲-۱۰) : تأثیرات انحراف از مرکز قطعه در پر شدن قالب ۳۲

شکل (۲-۱۱) : تعدادی از قطعاتی که به روش فورج دقیق داغ تولید شده اند ۳۳

شکل (۲-۱۲) : تعدادی از قطعاتی که به روش فورج دقیق داغ تولید شده اند ۳۳

شکل (۲-۱۳) : قطعات تولید شده توسط فورج دقیق ۳۶

شکل(۲-۱۴) : مقایسه قالب ها در فورج دقیق و سنتی ۳۶

شکل(۲-۱۵) : مقایسه قالب ها در فورج دقیق و سنتی ۳۷

شکل (۲-۱۶) : قالب فورج دقیق قطعات متقارن ۳۸

شکل (۲-۱۷) : موقعیت دهی دقیق پانچ در ورود به حفره و افزایش تکرارپذیری این عمل..... ۳۹
شکل (۳-۱) : هندسه داخلی قطعه کلگی..... ۴۳
شکل (۳-۲) : شکل دهی با سنبه جمع شونده..... ۴۴
شکل (۳-۳) : نمای دوبعدی قبل و بعد از شکل دهی..... ۴۵
شکل (۳-۴) : نمای دو بعدی بعد از شکل دهی..... ۴۶
شکل(۳-۵) : مراحل شکل دهی آزاد..... ۴۶
شکل (۳-۶) : قطعه پیشفرم نهایی..... ۴۸
شکل (۳-۷) : مرحله پیشفرم میانی در ابتدای و انتهای کورس..... ۴۸
شکل (۳-۸) : مراحل شکل دهی پیشفرم اولیه..... ۴۹
شکل (۳-۹) : مراحل پیشفرم و نهایی شکل دهی در روش شکل دهی مقید..... ۴۹
شکل (۳-۱۰) : قطعه فورج نهایی..... ۵۲
شکل (۴-۱) : خواص الاستیک فولاد AISI 1060..... ۵۸
شکل (۴-۲) : خواص پلاستیک فولاد AISI 1060..... ۵۹
شکل (۴-۳) : منحنی تنش-کرنش فولادAISI 1060..... ۵۹
شکل (۴-۴) : مراحل شکل دهی در حالت آزاد..... ۶۴
شکل (۴-۵) : قطعه پیشفرم و قطعه فورج..... ۶۵
شکل (۴-۶) : نمای برش خورده از شیار داخلی..... ۶۵
شکل (۴-۷) : انواع اشکال جهت لبه بیرونی پیشفرم..... ۶۶
شکل (۴-۸) : قالب بالایی..... ۶۶
شکل (۴-۹) : قالب پایینی در حالت شکل دهی آزاد..... ۶۷
شکل (۴-۱۰) : شکل منفی قسمت داخلی قطعه فورج به عنوان گیج..... ۶۸

شکل (۴-۱۱) : لبه بیرونی قطعه پیشفرم..... ۶۸
شکل (۴-۱۲) : تماس قطعه فورج شکل گرفته با گیج..... ۷۳
شکل (۴-۱۳) : نیروی شکل دهی..... ۷۳
شکل (۴-۱۴) : الف- تنش موثر ب- کرنش پلاستیک..... ۷۴
شکل (۴-۱۵) : شکل دهی پیشفرم نوع دوم در مکانیزم شکل دهی آزاد..... ۷۵
شکل (۴-۱۶) : شکل گیری شیار داخلی و برقراری تماس کامل..... ۷۵
شکل (۴-۱۷) : نمودار نیروی وارده بر قطعه شکل گرفته..... ۷۶
شکل (۴-۱۸) : باز شدن سنبه با مکانیزم گوه ای..... ۷۷
شکل (۴-۱۹) : قالب مکانیزم سنبه باز شونده..... ۷۷
شکل (۴-۲۰) : - نمای دو بعدی آغاز و پایان شکل دهی حالت مقید..... ۷۸
شکل (۴-۲۱) : شکل نمونه قطعه پیشفرم..... ۷۹
شکل (۴-۲۲) : قسمت های اصلی قالب بالایی..... ۸۰
شکل (۴-۲۳) : پروفیل به دست آمده کفی قالب بالایی..... ۸۱
شکل (۴-۲۴) : قالب پایین..... ۸۱
شکل (۴-۲۵) : انواع نواحی پرنشدگی در قطعه فورج..... ۸۳
شکل (۴-۲۶) : قطعه فورج با پر شدگی ناقص، و-قطعه فورج با پر شدگی کامل..... ۸۳
شکل (۴-۲۷) : نمای برش خورده بعد از شکل دهی..... ۸۷
شکل (۴-۲۸) : شکل دهی توسط سنبه جمع شونده..... ۹۰
شکل (۴-۲۹) : مراحل شکل گیری قطعه فورج در کورس های مختلف..... ۹۱
شکل (۴-۳۰) : نمودار نیرو در شکل دهی با سنبه باز شونده..... ۹۱
شکل (۴-۳۱) : تنش موثر و کرنش پلاستیک در قطعه فورج..... ۹۱

شکل (۴-۳۲) : قطعه فورج با پر شدگی ناقص ۹۲
شکل(۴-۳۳) : نمودار نیروی مر بوط به قطعه ای با پر شدگی ناقص ۹۳
شکل (۵-۱) : قطعات تولید شده از طریق فورج دقیق داغ ۹۸
شکل (۵-۲) : فورج قالب بسته ۹۹
شکل (۵-۳) : قطعه فورج مرحله پیشفرم میانی و قطعه پیشفرم نهایی ۱۰۴
شکل (۵-۴) : نمای دو بعدی قالب فورج مرحله پیشفرم میانی ۱۰۵
شکل (۵-۵) : قطعه پیشفرم مرحله میانی ۱۰۸
شکل (۵-۶) : صفحات تقرن در قطعه کلگی پلوس ۱۰۷
شکل (۵-۷) : متغیر های قطعه پیشفرم مرحله میانی ۱۰۷
شکل (۵-۸) : مراحل شکل دهی در مرحله پیشفرم میانی ۱۰۸
شکل (۵-۹) : مراحل شکل دهی در مرحله پیشفرم میانی ۱۰۹
شکل(۵-۱۰) : قالب پر شده در انتهای کورس ومنحنی نیرو وقطعه فورج حاصل شده با پر شدگی کامل ..۱۰۹
شکل (۵-۱۱) : مراحل شکل دهی قطعه فورج ۱۱۰
شکل (۵-۱۲) : تنش موثر در قطعه فورج شکل گرفته ۱۱۰
شکل (۵-۱۳) : دمای قطعه بعد از شکل دهی ۱۱۱
شکل (۵-۱۴) : ابعاد نهایی قطعه پیشفرم ۱۱۱
شکل (۵-۱۵) : مراحل شکل دهی قطعه پیشفرم اولیه ۱۱۲
شکل (۵-۱۶) : حالت کاملا پر شده قالب های پیشفرم اولیه ۱۱۳
شکل (۵-۱۷) : نیروی فورج در حالت کاملا پر شده قالب ۱۱۳
شکل (۵-۱۸) : نتیجهٔ نمودار نیرو در حالت با پر شدگی ناقص دنباله نشان داده شده در شکل ۵-۱۵ ..... ۱۱۴
شکل (۵-۱۹) : ابعاد نهایی استوانه اولیه در قالب پیشفرم اولیه ۱۱۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱) : انواع پلوس به کار رفته در صنایع خودروسازی کشور ۱۱

جدول (۲-۲) : فهرست قطعات و اجزای پلوس ۱۳

جدول (۲-۳) : متغیرهای موثر بر دقت عملیات فورج دقیق ۲۱

جدول (۲-۴) : اثرات فاکتور های ساخت قالب بر دقت و صافی سطح ۳۰

جدول (۲-۵) : متغیرهای موثر بر دقت عملیات فورج دقیق ۶۸

جدول (۲-۶) : اثرات فاکتور های ساخت قالب بر دقت و صافی سطح ۶۸

جدول (۴-۱) : **درصد عناصر آلیاژی در فولاد** AISI 1060 ..... ۵۷

جدول (۴-۲) : استاندارد های معادل جنس قالب ۶۰

جدول (۴-۳) : نتایج درصد عناصر آلیاژی در جنس M2 ..... ۶۰

جدول (۴-۴) : تاثیر عناصر آلیاژی مختلف بر خواص مواد ۶۱

جدول(۴-۵) : ضرایب اصطکاک در شرایط مختلف ۶۲

جدول (۴-۶) : شرایط شبیه سازی در حالت شکل دهی آزاد ۶۷

جدول (۴-۷) : نتایج شبیه سازی و روند به دست آمدن شکل پیشفرم و قالب ها ۷۱

جدول(۴-۸) : متغیر های پیشفرم و قالب ها در شکل دهی پیشفرم نوع دوم ۷۶

جدول (۴-۹) : **آزمایش های انجام یافته برای تعیین شکل کفی قالب بالایی** ۸۰

جدول (۴-۱۰) : مراحل شبیه سازی جهت یافتن هندسه قطعه پیشفرم و قالب ها ۸۵

جدول (۴-۱۱) : مراحل شبیه سازی جهت یافتن هندسه قطعه پیشفرم و قالب ها ۸۹