دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک/گروه ساخت و تولید

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک-ساخت و تولید

بررسی عددی و تجربی چین‌خوردگی در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی قطعات مخروطی

نگارنده:

افسون امینی

استاد راهنما:

دکتر حسن مسلمی نائینی

بهمن ۸۹

به نام خدایی که در این نزدیکی است

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

خانم افسون امینی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بررسی عددی و تجربی چین خوردگی در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی قطعات مخروطی** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۳ 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 حسن مسلمی نائینی	استاد	
استاد مشاور	دکتر حامد دیلمی عضدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد حبیبی پارسا	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	

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 که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه 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 ۵ ماده 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

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (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:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» 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 نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حسن مسلمی نائینی و مشاوره جناب آقای دکتر حامد دیلمی عضدی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب افسون امینی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مکانیک/گروه ساخت و تولید

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک-ساخت و تولید

بررسی عددی و تجربی چین‌خوردگی در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی قطعات مخروطی

نگارنده:

افسون امینی

استاد راهنما:

دکتر حسن مسلمی نائینی

استاد مشاور:

دکتر حامد دیلمی عضدی

بهمن۸۹

تقدیم به اسطوره های زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

به پدر و مادر عزیزم

به پاس همه مهربانی ها و فداکاری ها

و تقدیم به آنکه وجودش شادی بخش من است

به سالار عزیز

سپاس گزاری

از راهنمایی‌ها وکمک‌های شایان و تجارب ارزشمند استاد ارجمند جناب آقای دکتر حسن مسلمی نائینی و مشاوره‌های ارزشمند و کمک‌های ارزنده جناب آقای دکتر حامد دیلمی‌عضـدی-عضـو هیـات علمی دانشگاه علم و صنعت ایران -دانشکده فنی و مهندسی اراک کـه در تمـامی مراحـل انجـام ایـن پایان‌نامه من را یاری نمودند کمال تشکر و سپاس فراوان را دارم.

همچنین از جناب آقای دکتر محمد حبیبی پارسا به‌خاطر کمـک‌هـای بـی‌دریـغ ایشـان در انجـام بخش‌های تجربی صمیمانه تشکر می‌کنم.

چکیده

هیدروفرمینگ ورق‌های فلزی یکی از روشهای شکل‌دهی فلزات است که می‌تواند جایگزین بسیار خوبی برای بسیاری از روشهای شکل‌دهی سنتی باشد، در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی محفظه‌ای از مایع جایگزین ماتریس شده و شکل نهایی قطعه بر اساس شکل یک سنبه‌ی صلب تعیین می‌گردد و عموما جهت تولید قطعات با شکل‌های پیچیده و یا با نسبتهای کشش بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. همواره محدودیت‌هایی در فرایند شکل‌دهی و تولید قطعات ورقی وجود دارد که تولید سالم و بدون عیب مستلزم رعایت این حدود می‌باشد. یکی از عیوب عمده‌ی محدود کننده‌ی فرایند شکل‌دهی چین‌خوردگی ورق به سبب وجود تنش‌های فشاری در بخش‌هایی از قطعه است، که عمدتاً در این فرایندها ایجاد می‌شود. در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی جهت جلوگیری از بروز پارگی و چین‌خوردگی در قطعه لازم است فشار سیال در حین فرایند در محدوده‌ی کاری مجاز تغییر نماید.

در این پایان‌نامه فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی قطعات مخروطی به روش اجزای محدود (FEM) و به کمک نرم‌افزار ABAQUS تحلیل شده و شرایط بروز پدیده چین‌خوردگی در قطعه مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از نواوری‌های مطرح شده در این پایان‌نامه بدست آوردن ناحیه ایمن برای تولید قطعه‌ی مخروطی بدون چین‌خوردگی می‌باشد. تأثیر پارامترهای فرایند مانند فشار محفظه‌ای، فشار و ارتفاع پیش‌بالج بر ارتفاع چین‌خوردگی‌ها مطالعه شده است. نتایج عددی نشان می‌دهد با افزایش فشار محفظه‌ای چروکیدگی در ناحیه فلانج کاهش می‌یابد. افزایش اصطکاک بین ورق و قالب یا ورق و باعث افزایش ناحیه کاری تولید قطعه بدون چین‌خوردگی می‌شود. همچنین با کم کردن فاصله بین قالب و ورق‌گیر ناحیه کاری بزرگترمی‌گردد. افزایش ضخامت ورق نیز توانست ناحیه کاری تولید قطعه سالم را افزایش دهد. برای ارزیابی نتایج عددی آزمایش‌های تجربی با نسبت کشش‌های متفاوت بر روی فولاد کم کربن St-12 انجام شد که تطابق خوبی بین نتایج تجربی و عددی مشاهده شد.

واژگان کلیدی:شکل‌دهی ورق فلزی، هیدروفرمینگ، کشش عمیق هیدرومکانیکی، چروکیدگی

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه
فهرست مطالب ..... أ
فهرست شکل‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... و
نمادها ..... ز
فصل ۱ ..... ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مروری بر فرایندهای کشش عمیق ۳
۱-۲-۱- کشش عمیق سنتی ۳
۱-۲-۲- فرایندهای شکل دادن ورق بر پایه فشار سیال ۴
۱-۲-۲-۱- هیدروفرمینگ ورق ۴
۱-۲-۲-۲- فرایند کشش عمیق با نیروی ورق‌گیری سیال ۵
۱-۲-۲-۳- فرایند شکل‌دهی با سیال ویسکوز ۵
۱-۲-۲-۴- فرایند هیدروفرم ۶
۱-۲-۲-۵- فرایند کشش عمیق هیدرودینامیکی ۷
۱-۲-۲-۶- فرایند کشش عمیق با فشار شعاعی یا کشش عمیق هیدروریم ۸
۱-۲-۲-۷- شکل دهی انعطاف پذیر ۹
۱-۲-۲-۸- کشش عمیق هیدرومکانیکی ۹
۱-۲-۳- ویژگی‌های فرایند کشش عمیق هیدرومکانیک ۱۱
۱-۲-۴- مزایا و محدودیت‌های فرایند کشش عمیق هیدرومکانیک ۱۳
۱-۲-۴-۱- هیدرومک فعال ۱۴
۱-۳- انواع واماندگی در هیدروفرمینگ ۱۴
۱-۳-۱- چین خوردگی در روش هیدروفرمینگ ۱۵
۱-۳-۲- علت ایجاد چین خوردگی فلنج ۱۷
۱-۴- مروری بر پژوهش‌های پیشین ۱۹
۱-۵- اهداف و روند پیشبرد پایان‌نامه ۲۸
۱-۱- ساختار نوشتار ۲۹
فصل ۲ ..... ۳۰
۲-۱- مقدمه ۳۱
۲-۲- هندسه فرایند ۳۱
۲-۳- محاسبه نسبت کشش ۳۲
۲-۴- شبیه سازی ۳۳

۲-۴-۱- مراحل انجام تحلیل..... ۳۳
۲-۴-۲- نحوه مدلسازی فرآیند..... ۳۴
۲-۴-۳- خواص و رفتار مکانیکی ماده..... ۳۷
۲-۴-۴- سطوح اصطکاکی..... ۳۸
۲-۴-۵- شرایط مرزی و بارگذاری..... ۳۹
۲-۴-۶- تعیین مراحل شکل‌دهی..... ۴۰
۲-۴-۷- شبکه‌بندی..... ۴۱
۲-۴-۸- تعریف منحنی تغییرات فشار..... ۴۴
۲-۵- معیار چین‌خوردگی در ناحیه فلنج..... ۴۵
۲-۶- معیار تشخیص پارگی در ورق..... ۴۶
فصل ۳..... ۴۷
۳-۱- مقدمه..... ۴۸
۳-۲- تجهیزات آزمایش..... ۴۸
۳-۲-۱- قالب کشش عمیق هیدرومکانیکی..... ۴۹
۳-۲-۲- مدار کنترل هیدرولیکی..... ۵۱
۳-۳- مشخصات مواد..... ۵۴
۳-۴- انجام آزمایش‌ها..... ۵۴
فصل ۴..... ۶۰
۴-۱- مقدمه..... ۶۱
۴-۲- بررسی اثر پارامترهای فرایند بر ارتفاع چین‌خوردگی..... ۶۱
۴-۲-۱- بررسی تأثیر فشار محفظه‌ای بر ارتفاع چین‌خوردگی..... ۶۱
۴-۲-۲- بررسی اثر فشار پیش‌بالج بر ارتفاع چین‌خوردگی..... ۶۳
۴-۲-۳- بررسی اثر ارتفاع پیش‌بالج بر ارتفاع چین‌خوردگی..... ۶۴
۴-۳- تعیین حد پایین فشار محفظه برای جلوگیری از چین‌خوردگی و اثر پارامترهای فرایند بر آن.. ۶۶
۴-۳-۱- تعیین فشار حدی چین‌خوردگی و مقایسه نتایج تئوری و تجربی..... ۶۶
۴-۳-۱-۱- تعیین فشار حدی چین‌خوردگی به روش عددی..... ۶۶
۴-۳-۱-۲- تعیین فشار حدی چین‌خوردگی به روش تجربی..... ۶۹
۴-۳-۱-۳- مقایسه نتایج عددی و تجربی..... ۷۱
۴-۳-۲- بررسی اثر فشار پیش‌بالج بر فشار حدی چین‌خوردگی..... ۷۲
۴-۳-۳- بررسی تأثیر ضخامت بر فشار حدی چین‌خوردگی..... ۷۳
۴-۳-۴- بررسی تأثیر فاصله دهانه بین قالب و ورق‌گیر (Gap) بر فشار حدی چین‌خوردگی..... ۷۶
۴-۳-۵- بررسی تأثیر اصطکاک بین اجزاء قالب بر فشار حدی چین‌خوردگی..... ۷۸
۴-۳-۵-۱- اثر ضریب اصطکاک بین ورق و سنبه..... ۷۸
۴-۳-۵-۲- اثر ضریب اصطکاک بین ورق و قالب..... ۷۹

۴-۳-۵-۳- اثر ضریب اصطکاک بین ورق و ورق‌گیر ۸۰
۴-۳-۶- اثر هندسه لوح بر چین‌خوردگی ناحیه فلنج ۸۱
فصل ۵ ..... ۸۳
۵-۱- نتیجه گیری ۸۴
۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار ۸۵
مراجع ۸۷
پیوست ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ : فرایند کشش عمیق سنتی[۱] ۴
شکل ۱-۲ : کشش عمیق با فشار نگهدارنده سیال[۸] ۵
شکل ۱-۳ : شکل دادن ورق با فشار سیال ویسکوز[۸] ۶
شکل ۱-۴ : فرایند هیدروفرم[۵] ۷
شکل ۱-۵ : فرایند کشش عمیق هیدرو دینامیکی[۵] ۸
شکل ۱-۶ : فرایند کشش عمیق با فشار شعاعی[۵] ۹
شکل ۱-۸ : فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی [۳] ۱۰
شکل ۱-۹ : ناحیه‌ی بالج شده در فضای بین ورقگیر و سنبه[۳] ۱۲
شکل ۱-۱۰ : تغییر شکل ورق در مرحله پیش‌بالجینگ[۳] ۱۳
شکل ۱-۱۲ : انواع چین‌خوردگی. (a)چین‌خوردگی در فلنج، (b)چین‌خوردگی در دیواره[۱۵] ۱۵
شکل ۱-۱۳ : منحنی کلی توصیف پروفیل بهینه فشار سیال-حرکت سنبه در هیدروفرمینگ[۳] ۱۷
شکل ۱-۱۴ : دیاگرام آزاد المان در ناحیه فلنج[۳] ۱۸
شکل ۱-۱۵ : روشهای مختلف کشش عمیق هیدرومکانیکی. الف) روش نیروی ورق‌گیر ثابت ب) روش شکاف ثابت[۳] ۱۹
شکل ۱-۱۶ نمودارفشار سیال و ارتباط آن با BHF به همراه محدوده‌ی ایمن پروفیل فشار سیال حرکت سنبه[۲۵] ۲۲
شکل ۲-۱ : هندسه و ابعاد سنبه مورد استفاده در آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌ها ۳۲
شکل ۲-۲ : روند کلی تحلیل ۳۴
شکل ۲-۳ : لوح شبیه‌سازی شده ۳۵
شکل ۲-۴ : اجزای مختلف مدلسازی شده الف) سنبه ب) ماتریس ج) ورق‌گیر د) لوح ۳۶
شکل ۲-۵ : نمایی از مدلسازی کامل اجزای فرآیند (قبل از تحلیل) ۳۷
شکل ۲-۶ : : تغییرات فشار سیال نسبت به کورس پرس در هنگام حرکت سنبه ۴۰
شکل ۲-۷ : تغییرات بیشترین انرژی کرنشی در قطعه با تغییر ابعاد المان‌ها ۴۲
شکل ۲-۸ :تغییرات زمان انجام تحلیل با تغییر ابعاد المان‌ها ۴۳
شکل ۲-۹ : نمونه‌ای از مدل شبکه‌بندی شده در شبیه‌سازی ۴۴
شکل ۲-۱۰ : تغییرات فشار محفظه ای در طول زمان فرایند ۴۵
شکل ۳-۱ : قالب کشش عمیق هیدرومکانیکی ۵۰
شکل ۳-۲ : مدار هیدرولیکی کنترل فشار محفظه‌ی سیال. (۱): پمپ هیدرولیک (۲): شیر کنترل فشار پیش‌بالجینگ (۳): فشار سنج برای اندازه‌گیری فشار پیش‌بالجینگ (۴): شیر یکطرفه (۵): فشار سنج برای اندازه‌گیری فشار نهایی (۶): شیر کنترل فشار نهایی محفظه ۵۲
شکل ۳-۳ : مسیر نوعی فشار داخل محفظه در فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی ۵۳

شکل ۳-۴ : نمونه‌های کشیده شده به روش کشش عمیق هیدرومکانیکی و روش سنتی ۵۵
شکل ۳-۵ : تجهیزات کشش عمیق هیدرومکانیکی ۵۶
شکل ۳-۶ : قالب کشش عمیق هیدرومکانیکی ۵۷
شکل ۳-۷ : تجهیزات کشش عمیق سنتی ۵۷
شکل ۳-۸ : پمپ هیدرولیک دستی ۵۸
شکل ۳-۹ : شیر کنترل فشار ۵۸
شکل ۳-۱۰ : فشار سنج ۵۸
شکل ۳-۱۱ : لوح اولیه برای انجام آزمایش عملی ۵۹
شکل ۳-۱۲ : نمونه‌های تولید شده به روش کشش عمیق هیدرومکانیک با نسبت کشش‌های متفاوت ۵۹
شکل ۳-۱۳ : نمونه‌هایی از قطعات تولید به روش کشش عمیق هیدروفرمینگ ۵۹
شکل ۴-۱ : تأثیر فشار سیال بر بیشترین ارتفاع چین‌خوردگی ۶۲
شکل ۴-۲ : اثر فشار محفظه بر ارتفاع چین‌خوردگی‌ها در آزمایش‌های تجربی ۶۳
شکل ۴-۳ : اثر فشار پیش‌بالج بر بیشترین ارتفاع چین‌خوردگی ۶۴
شکل ۴-۴ : ارتفاع پیش‌بالج متفاوت در شبیه‌سازی ۶۵
شکل ۴-۵ : اثر ارتفاع پیش‌بالج بر ارتفاع چروکیدگی ۶۵
شکل ۴-۶ : : حد پایین فشار محفظه و ناحیه کاری کشش موفقیت آمیز برای کشش عمیق هیدرومکانیکی قطعه مخروطی به روش عددی ۶۷
شکل ۴-۷ :چین‌خوردگی ایجاد شده در ناحیه فلنج در فشار ۱۵۰ بار و نسبت کشش ۲/۳ ..... ۶۸
شکل ۴-۸ :فلنج ایجاد شده در فشار ۲۰۰ بار و نسبت کشش ۲/۳ بدون بروز چین‌خوردگی ۶۸
شکل ۴-۹ :قطعات ایجاد شده در آزمایش‌های تجربی ۷۰
شکل ۴-۱۰ : نمودار ناحیه‌کاری بدست آمده از آزمایش‌های تجربی ۷۱
شکل ۴-۱۱ : مقایسه بین نتایج تجربی و شبیه سازی ۷۲
شکل ۴-۱۲ : اثر فشار پیش‌بالج بر فشار حدی چین‌خوردگی ۷۳
شکل ۴-۱۳ : :اثر ضخامت بر فشار حدی چین خوردگی ۷۴
شکل ۴-۱۴ : فلنج دارای چین خوردگی در ورق به ضخامت mm ۱در نسبت کشش ۲/۳و فشار bar ۱۰۰ ..... ۷۵
شکل ۴-۱۵ :فلنج بدون چین‌خوردگی در ورق به ضخامت mm ۲ در نسبت کشش ۲/۳ و فشار bar ۱۰۰ ..... ۷۵
شکل ۴-۱۶ : تأثیر اندازه دهانه بین قالب و ورق‌گیر بر فشار حدی چین‌خوردگی ۷۷
شکل ۴-۱۷ : تأثیر اندازه فاصله دهانه بین قالب و ورقگیر بر میزان چین‌خوردگی در حالت تجربی ۷۸
شکل ۴-۱۸ : اثر اصطکاک بین ورق و سنبه بر فشار حدی چین‌خوردگی ۷۹
شکل ۴-۱۹ : اثر اصطکاک بین ورق و قالب بر فشار حدی چین‌خوردگی ۸۰
شکل ۴-۲۰ : اثر اصطکاک بین ورق و ورق‌گیر بر فشار حدی چین‌خوردگی ۸۱
شکل ۴-۲۱ : قطعات کشیده شده با لوح‌های اولیه متفاوت ۸۲

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه
جدول ۲-۱ :خواص مکانیکی ورق ۳۷
جدول ۲-۲ : ضرایب اصطکاک بین لوح و ابزار ۳۹
جدول ۳-۱ : مشخصات ابعادی قالب کشش عمیق هیدرومکانیکی ۵۱
جدول ۳-۲ : ویژگیهای روغن مورد استفاده در آزمایش‌ها ۵۳
جدول ۳-۳ : مشخصات ورق‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها ۵۴

نمادها

ضریب اصطکاک در سطح تماس ورق و ورق‌گیر	μ_h
ضریب اصطکاک در سطح تماس ورق و ماتریس کشش	μ_d
ضریب اصطکاک در سطح تماس ورق و سنبه	μ_p
تنش تسلیم	σ_y
تنش محیطی فشاری	σ_θ
تنش کششی شعاعی	σ_r
قطر بزرگ مخروط	D_1
قطر کوچک مخروط	D_2
قطر متوسط مخروط	D_m
نمودار حد شکل‌دادن	FLD
کشش عمیق هیدرومکانیکی	HDD
نسبت کشش	DR
فشار محفظه‌ی سیال	P
فشار پیش‌بالج سیال	P_i
شعاع سنبه	R_p
ضخامت ورق	t

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

شکل‌دهی ورقهای فلزی، ایجاد تغییر شکل در ورق جهت تولید قطعه‌ای با شکل هندسی مورد نظر می‌باشد. هیدروفرمینگ ورق فلزی جایگزین بسیار خوبی برای برخی روش‌های شکل‌دهی است. توانایی شکل‌دهی قطعات پیچیده، افزایش حدود شکل‌دهی و امکان انجام تغییر شکل بیشتر در یک مرحله و کم شدن تعداد مراحل تولید، کیفیت مناسب قطعات تولیدی و ساده شدن و افزایش عمر ابزارها که ناشی از کاربرد فشار مایع به عنوان بخشی از ابزار است، از جمله مزیت‌های این روش در مقایسه با شکل‌دهی سنتی است. در هیدروفرمینگ ورقهای فلزی محیط مایع به روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و از اینرو فرایندهای متفاوتی تحت عنوان روشهای هیدروفرمینگ ورق مطرح گردیده است.

اصولاً کمتر شدن محدودیت‌های موجود در فرایند، کاهش هزینه‌های لازم و افزایش انعطاف پذیری از مسائل مطلوب در فرایند بوده است.

چین‌خوردگی به همراه پارگی در شکل‌دهی ورق فلزی، یکی از مهمترین ناپایداری‌هایی است که در طی شکل‌دهی قطعات با استفاده از فرایندهای ورق‌کاری و بخصوص کشش عمیق رخ می‌دهد. چین‌خوردگی‌هایی که در طول شکل‌گیری ورق ایجاد می‌شوند به علت تنش‌های فشاری هستند.

این پدیده نوع قطعات و هندسه آنها را که می‌توانند با استفاده از این روش‌ها شکل داده شوند، محدود می‌کند. برای بررسی این محدودیت‌ها، شبیه‌سازی رفتار چین‌خوردگی با استفاده از روش اجزای محدود در ورق‌کاری یک ابزار مهم برای پیش‌بینی و طراحی مناسب فرایند است.

پژوهش انجام گرفته در این پایان‌نامه بر فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی تمرکز یافته است. در این فرایند محفظه‌ای از مایع جایگزین ماتریس شده، شکل نهایی قطعه بر اساس شکل یک سنبه‌ی صلب تعیین می‌شود.

در این فصل توضیحات مختصری در مورد فرایندهای هیدروفرمینگ آورده می‌شود و سپس به شکل کامل‌تری فرایند کشش عمیق هیدرومکانیکی و ویژگی‌های آن تشریح می‌گردد. بررسی شرایط بروز چین‌خوردگی در کشش عمیق هیدرومکانیکی مخروطی و تعیین ناحیه کاری فشار سیال برای

جلوگیری از چین‌خوردگی، هدف اصلی این پژوهش بوده است که به کمک تحلیل عددی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار Abaqus و آزمایشهای تجربی بررسی و تحقیق شده است.

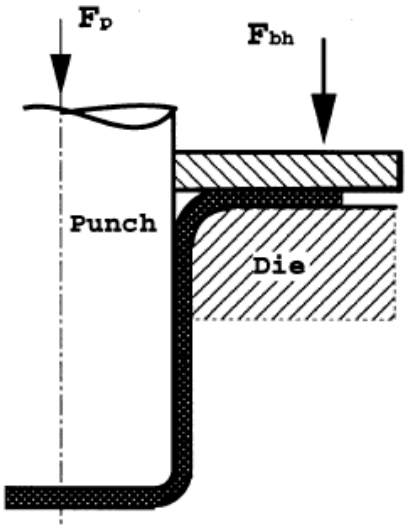
۱-۲- مروری بر فرایندهای کشش عمیق

۱-۲-۱- کشش عمیق سنتی[1]

کشش عمیق یکی از مهمترین فرایندهای شکل‌دهی فلزات است. این فرایند جهت تولید انبوه قطعات مختلف برای کاربردهای زیادی از قبیل صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا و... می‌باشد. در واقع کشش عمیق نوعی فرایند ورق‌کاری است که در آن یک گرده که معمولاً به وسیله ورق‌گیر[2] کنترل می‌شود تحت نیرو قرار گرفته، توسط سنبه در درون ماتریس کشیده می‌شود و ظرفی را که ضخامت آن همان حدود ضخامت اولیه است، شکل می‌دهد.[۱].

برای آنکه سیلان ماده راحت‌تر صورت پذیرد، باید از ورق‌گیر، لوح اولیه و شرایط اصطکاکی مناسب بهره برده شود. ورق‌گیر جزء مهمی از فرایند کشش عمیق سنتی می‌باشد. اگر میزان نیروی ورق‌گیر زیاد باشد ممکن است که کشش زیاد ایجاد شده باعث پارگی شود و اگر میزان نیروی ورق‌گیر کم باشد چروکیدگی اتفاق می‌افتد. می‌توان ورق‌گیر را به گونه‌ای طراحی کرد که بتواند مقدار متفاوت نیرو را در قسمت های مختلف ورق اعمال نماید. این فرایند به شکل شماتیک در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

1 Conventional Deep Drawing
2 Blank Holder



شکل ۱-۱: فرایند کشش عمیق سنتی[۱]

۱-۲-۲- فرایندهای شکل دادن ورق بر پایه فشار سیال

۱-۲-۲-۱- هیدروفرمینگ ورق[1]

فناوری شکل‌دهی با ابزار نرم[2] به‌علت دارا بودن اجزا ساده و معمولی و مصرف کم انرژی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. شکل‌دهی با ابزار نرم شامل دو نوع شکل‌دهی با لاستیک و شکل‌دهی هیدرولیکی می‌باشد. شکل‌دهی هیدرولیکی در شکل‌دهی ورق‌های فلزی و یا لوله‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که به‌نام روش‌های هیدروفرمینگ ورق و یا هیدروفرمینگ لوله[3] مطرح می‌باشند. فرایندهای هیدروفرمینگ ورق شامل سنبه نرم (سیالی مثل روغن تحت فشار به‌عنوان سنبه، در مقابل ماتریس صلب) و یا شکل‌دهی با ماتریس نرم (سیال تحت فشار بعنوان ماتریس و در مقابل سنبه صلب) می‌باشد[۲].

در هیدروفرمینگ ورق فرایند شکل‌دهی ورق تخت اولیه به شکل مورد نظر، با کمک فشار محیط مایع انجام می‌گیرد[۳]. در این فناوری، محیط مایع به روشهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته، از اینرو روشهای متفاوتی تحت عنوان روشهای هیدروفرمینگ ورق مطرح گردیده است:

1 Sheet hydroforming
2 Soft Tool forming
3 Tube hydroformin