

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

باسمه تعالی



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **بهروز بابایی** معتمد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی میباشد.

بهروز بابایی

امضاء



دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی پرفرم بین مراحل در فرآیند کشش عمیق قطعات متقارن

نگارش

بهروز بابایی

استاد راهنما: دکتر علی پورکمالی انارکی

استاد مشاور: مهندس محمد شهابی زاده

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

مهر ماه ۱۳۸۹

شماره: ۱۱,۸۹,۹۱۷۴
 تاریخ: ۸۶,۹,۲۸
 پیوست:



دانشگاه تربیت مدرس شیرازی

بسم

صور جلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای بهروز بابایی رشته مهندسی مکانیک-ساخت و تولید تحت عنوان طراحی طراحی پرفوم مراحل فرآیند کشش همین قطعات ستارن، که در تاریخ ۸۹/۷/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

قبول (بدرجه ... امتیاز ... عالی) دفاع مجدد مردود.

۱- عالی (۲۰-۱۸)

۲- بسیار خوب (۱۷/۹۹-۱۶)

۳- خوب (۱۵/۹۹-۱۴)

۴- قابل قبول (۱۳/۹۹-۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	ادشاء
استاد راهنما	دکتر علی پورکمالی	استادیار	
استاد مشاور	مهندس محمد شهابی زاده	مدرس	
استاد داور داخلی	دکتر نصراله بنی مصطفی عرب	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر مهدی تاجداری	دانشیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسین پایگانه	استادیار	

دکتر غلامحسین پایگانه

رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران، لویزان، کدپستی: ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
 صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
 تلفن: ۹۰-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۲۳
 Email: sru@sru.ac.ir
 www.srttu.edu

تقدیم به:

بدر و ماسور مہربانم ...

تشکر و قدردانی

پس از حمد و ستایش خداوند متعال، بر خود لازم می‌دانم که از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر علی پورکمالی که مسئولیت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفته‌اند و در تمامی مراحل تحقیق، نگارنده را مرهون راهنمایی‌های عالمانه و لطف صبورانه خود قرار داده‌اند و همچنین از جناب آقای مهندس محمد شهابی‌زاده که به عنوان استاد مشاور، در طول نگارش این پایان نامه، نگارنده را با شفقت و بزرگواری یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

در این مجال از همه‌ی معلمان و استادان دوره‌ی تحصیلم، که این اثر و هر آنچه از دانش کسب نموده‌ام حاصل زحمات ایشان است، تشکر می‌نمایم.

در پایان از زحمات جناب آقای دکتر بهنام داودی و همچنین دوست عزیزم آقای احمد شمس‌پور که در ارائه‌ی مقاله و تکمیل این پایان نامه از کمک‌های ایشان بهره‌گرفتم، تشکر می‌نمایم.

چکیده

کشش عمیق یکی از رایج‌ترین فرآیندهای شکل‌دهی است که در آن یک قطعه‌ی توخالی در طی یک یا چند مرحله کشش تولید می‌شود. فرآیندهای کشش چند مرحله‌ای معمولاً برای ساخت قطعاتی با اشکال هندسی پیچیده و قطعاتی که به دلیل محدودیت‌های ناشی از شکل‌پذیری ورق امکان ساخت آنها در یک مرحله امکان‌پذیر نیست، بکار می‌روند. در این موارد یکی از موضوعات اصلی و چالش برانگیز، تعیین کمترین تعداد مراحل کشش و شکل هندسی پرفرما در هر مرحله از کشش می‌باشد. طراحی فرآیندهای کشش چند مرحله‌ای به شدت به دانش و مهارت تجربی افراد وابسته بوده و تحلیل نظام‌مند، جهت بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی کیفیت قطعه‌ی تولیدی، کار چندان ساده‌ای نیست.

در این پایان نامه سعی شده است که با مطالعه‌ی منابع علمی موجود در زمینه‌ی طراحی و برنامه‌ریزی فرآیندهای کشش، اصول و قوانین مربوط به طراحی پرفرماهای قطعاتی متقارن محوری جمع‌آوری گردیده و در دسته‌های مختلفی سازمان‌دهی شوند. سپس به کمک این اصول، یک راهبرد جهت طراحی پرفرماهای این نوع قطعاتی ارائه شده است که در آن کار طراحی پرفرما در طی سه مرحله انجام می‌گیرد. این مراحل عبارتند از؛ ۱- طراحی اولیه‌ی پرفرما براساس خصوصیات هندسی محصول نهایی ۲- اصلاح طراحی اولیه براساس خصوصیات شکل‌پذیری ورق ۳- شبیه‌سازی مراحل کشش قطعه به روش المان محدود (با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS) جهت بررسی عیوب و اصلاح مجدد طراحی در صورت لزوم.

به منظور ارزیابی راهبرد ارائه شده، مطالعه‌ی موردی جهت طراحی پرفرماهای یک قطعه‌ی صنعتی خاص با شکل هندسی نسبتاً پیچیده انجام گرفته و با طراحی صنعتی مقایسه شده است. نتایج این مقایسه که براساس شاخص‌هایی مانند تعداد مراحل کشش، توزیع ضخامت در دیواره‌ی قطعه و ... می‌باشد، نشان می‌دهد که عملکرد راهبرد فوق مطلوب بوده و طراحی ارائه شده به کمک آن شباهت بسیاری با طراحی صنعتی دارد.

کلمات کلید واژه: کشش عمیق، طراحی پرفرما، قطعاتی متقارن محوری، برنامه‌ریزی فرآیند، روش اجزاء محدود.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
.....أ	تأییدیه هیأت داوران.....
.....ب	تقدیم
.....ج	تشکر و قدردانی.....
.....د	چکیده.....
.....ه	فهرست مطالب.....
.....ح	فهرست جداول.....
.....ط	فهرست اشکال.....
.....ک	فهرست علائم اختصاری.....
.....م	فهرست ضمایم.....

فصل اول: مقدمه

.....۱-۱	.....۱-۱.مقدمه.....
.....۴-۱	.....۲-۱.مروری بر کارها و اقدامات انجام شده.....
.....۸-۱	.....۳-۱.اهداف پایان نامه.....
.....۹-۱	.....۴-۱.ساختار پایان نامه.....

فصل دوم: مروری بر فرآیند شکل دهی کشش عمیق

.....۱۱-۲	.....۱-۲.مقدمه.....
.....۱۲-۲	.....۲-۲.ویژگی های فرآیند کشش عمیق.....
.....۱۲-۲	.....۳-۲.مراحل عملیات کشش عمیق.....
.....۱۲-۳-۲	.....۱-۳-۲.تماس.....
.....۱۳-۳-۲	.....۲-۳-۲.خمش.....
.....۱۴-۳-۲	.....۳-۳-۲.صاف شدن.....
.....۱۴-۴-۲	.....۴-۲.عوامل موثر در عملیات کشش عمیق.....
.....۱۴-۴-۲	.....۱-۴-۲.اصطکاک.....
.....۱۵-۴-۲	.....۲-۴-۲.فشرده گی.....
.....۱۶-۴-۲	.....۳-۴-۲.کشش.....
.....۱۷-۴-۲	.....۴-۴-۲.شکل دهی کششی.....
.....۱۸-۵-۲	.....۵-۲.متغیرهای کشش عمیق.....
.....۱۸-۵-۲	.....۱-۵-۲.متغیرهای خمش و صاف شدن.....
.....۲۰-۵-۲	.....۲-۵-۲.متغیرهای اصطکاک.....
.....۲۱-۵-۲	.....۳-۵-۲.متغیرهای فشرده گی.....
.....۲۳-۵-۲	.....۴-۵-۲.متغیرهای متفرقه.....

فهرست مطالب

- ۶-۲. عیوب رایج در عملیات کشش عمیق..... ۲۴
- ۷-۲. برنامه‌ریزی و طراحی فرآیندهای کشش عمیق..... ۲۶

فصل سوم: قوانین طراحی پریفرم‌های بین مراحل قطعات متقارن در فرآیند کشش عمیق ۲۷

- ۱-۳. مقدمه..... ۲۸
- ۲-۳. دسته‌بندی قوانین طراحی پریفرم در فرآیند کشش عمیق..... ۲۸
- ۱-۲-۳. قوانین مربوط به طراحی مقدماتی پریفرم‌ها..... ۲۸
- ۲-۲-۳. قوانین مربوط به تست و امکان‌پذیر بودن طراحی مقدماتی..... ۲۹
- ۳-۲-۳. قوانین مربوط به اصلاح طراحی مقدماتی..... ۲۹
- ۴-۲-۳. قوانین مربوط به محاسبات دقیق طراحی فرآیند..... ۲۹
- ۳-۳. قوانین طراحی پریفرم‌ها در فرآیند کشش عمیق..... ۳۰
- ۱-۳-۳. قوانین مربوط به طراحی مقدماتی فرآیند..... ۳۰
- ۲-۳-۳. قوانین مربوط به تست و امکان‌پذیر بودن طراحی مقدماتی..... ۳۲
- ۳-۳-۳. قوانین مربوط به اصلاح طراحی مقدماتی..... ۳۵
- ۴-۳-۳. قوانین مربوط به محاسبات دقیق طراحی فرآیند..... ۳۷

فصل چهارم: طراحی پریفرم‌های یک قطعه‌ی صنعتی خاص با استفاده از قوانین موجود ۶۱

- ۱-۴. مقدمه..... ۶۲
- ۲-۴. مشخصات قطعه‌ی صنعتی خاص..... ۶۲
- ۳-۴. طراحی پریفرم‌های بین مراحل قطعه‌ی صنعتی خاص..... ۶۵
- ۱-۳-۴. مرحله‌ی اول: طراحی مقدماتی فرآیند با در نظر گرفتن شکل هندسی محصول نهایی..... ۶۶
- ۲-۳-۴. مرحله‌ی دوم: تست طراحی مقدماتی..... ۶۹
- ۳-۳-۴. مرحله‌ی سوم: اصلاح طراحی مقدماتی..... ۷۰
- ۴-۴. تعیین سایر پارامترهای موردنیاز در فرآیند کشش..... ۷۹

فصل پنجم: شبیه‌سازی فرآیند کشش عمیق به روش اجزای محدود ۸۱

- ۱-۵. مقدمه..... ۸۲
- ۲-۵. معرفی نرم افزار ABAQUS..... ۸۳
- ۳-۵. تشریح مدل‌سازی فرآیند کشش عمیق به کمک نرم‌افزار Abaqus..... ۸۴
- ۱-۳-۵. ایجاد هندسه مدل..... ۸۵
- ۲-۳-۵. تعریف خواص ماده..... ۸۷
- ۳-۳-۵. مونتاژ کردن قطعات..... ۹۰
- ۴-۳-۵. تعریف مراحل حل و تعیین نوع نتایج خروجی..... ۹۱
- ۵-۳-۵. تعریف تماس..... ۹۲
- ۶-۳-۵. اعمال شرایط مرزی و بارگذاری..... ۹۳

فهرست مطالب

۹۳.....	۵-۳-۶-۱. اعمال شرایط مرزی اولیه.....
۹۳.....	۵-۳-۶-۲. اعمال شرایط مرزی Step-1.....
۹۴.....	۵-۳-۷. مش بندی.....
۹۶.....	۵-۳-۸. حل مسئله.....
۹۷.....	۵-۳-۳. مشاهده‌ی نتایج حاصل از تحلیل.....
۹۸.....	۵-۳-۴. تحلیل بازگشت فنری ورق.....
۹۹.....	۵-۳-۵. شبیه سازی مراحل کشش دوم و بعد از آن.....

۱۰۰

فصل ششم: بحث و بررسی

۱۰۱.....	۶-۱. مقدمه.....
۱۰۱.....	۶-۲. مقایسه نتایج شبیه سازی المان محدود با نتایج تجربی.....
۱۰۲.....	۶-۳. مقایسه نتایج حاصل از آنالیز عددی برای طراحی های مختلف.....
۱۰۲.....	۶-۳-۱. مقایسه‌ی تغییرات ضخامتی قطعه برای طراحی های مختلف.....
۱۰۶.....	۶-۳-۲. مقایسه‌ی مقدار نیروی کشش برای طراحی های مختلف.....
۱۰۹.....	۶-۳-۳. مقایسه‌ی میزان تنش های مؤثر در قطعه برای طراحی های مختلف.....

۱۱۳

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۱۴.....	۷-۱. نتیجه گیری.....
۱۱۵.....	۷-۲. پیشنهادات.....

۱۱۶

ضمایم

۱۱۷.....	پیوست الف.....
----------	----------------

۱۱۹

منابع و مراجع

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۰	جدول ۳-۱: المان‌های تشکیل دهنده‌ی قطعات تولید شده به روش کشش عمیق
۳۸	جدول ۳-۲: تعیین قطر لوح اولیه با استفاده از شکل هندسی محصول نهایی
۴۰	جدول ۳-۳: تعیین تعداد مراحل کشش قطعات استوانه‌ای به صورت تقریبی
۴۲	جدول ۳-۴: تعیین ماکزیمم درصد کاهش قطر در فرآیند کشش برای مواد گوناگون
۴۲	جدول ۳-۵: تعیین ماکزیمم درصد کاهش قطر در فرآیند کشش و بازکشش برای مواد گوناگون
۴۳	جدول ۳-۶: تعیین ماکزیمم درصد کاهش قطر در فرآیند کشش برای ضخامت‌های گوناگون
۴۴	جدول ۳-۷: تعیین نسبت کشش حدی و نسبت حدی ارتفاع به قطر
۴۵	جدول ۳-۸: تعیین مقادیر نسبت بازکشش حدی
۴۶	جدول ۳-۹: تعیین روش تولید پوسته‌های مخروطی
۵۳	جدول ۳-۱۰: ضریب تصحیح Π برای محاسبه نیروی کشش قطعات استوانه‌ای
۵۴	جدول ۳-۱۱: دسته بندی ورق‌ها از لحاظ شدت چروکیدگی
۵۵	جدول ۳-۱۲: شرایط استفاده از ورق گیر
۵۵	جدول ۳-۱۳: شرایط استفاده از ورق گیر
۵۷	جدول ۳-۱۴: تعیین زاویه‌ی لبه‌ی پریفرم
۶۰	جدول ۳-۱۵: محاسبه‌ی مقدار لقی
۶۵	جدول ۴-۱: خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم AA 7075-TO
۶۹	جدول ۴-۲: محاسبه‌ی پارامترهای مختلف جهت تست طراحی مقدماتی
۶۹	جدول ۴-۳: مقادیر حدی پارامترهای مختلف برای ورق از جنس آلیاژ آلومینیوم با استحکام بالا
۷۱	جدول ۴-۴: نتایج حاصل از اصلاح طراحی مقدماتی برای طراحی نوع اول
۷۲	جدول ۴-۵: نتایج حاصل از اصلاح طراحی مقدماتی برای طراحی نوع دوم
۷۹	جدول ۴-۶: تعیین سایر پارامترهای کشش برای طراحی نوع اول با لبه‌ی مخروطی
۷۹	جدول ۴-۷: تعیین سایر پارامترهای کشش برای طراحی نوع دوم با لبه‌ی مخروطی
۸۰	جدول ۴-۸: تعیین سایر پارامترهای کشش برای طراحی نوع اول با لبه‌ی شعاعی
۸۰	جدول ۴-۹: تعیین سایر پارامترهای کشش برای طراحی نوع دوم با لبه‌ی شعاعی
۸۶	جدول ۵-۱: اجزای هندسی مورد استفاده در شبیه سازی کشش مرحله اول
۹۴	جدول ۵-۲: چگونگی تعیین نوع حرکت سنبه به صورت Smooth

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۳	شکل ۱-۱: محصولات کشش عمیق
۳	شکل ۲-۱: مراحل تولید پوسته‌ی موتور به روش کشش عمیق که در طی ۹ مرحله تکمیل شده است
۱۱	شکل ۱-۲: تصویر شماتیک از یک قالب کشش عمیق
۱۳	شکل ۲-۲: اولین مرحله‌ی شکل‌دهی در فرآیند کشش عمیق (تماس)
۱۳	شکل ۳-۲: دومین مرحله‌ی شکل‌دهی در کشش عمیق (خمش)
۱۴	شکل ۴-۲: سومین مرحله‌ی شکل‌دهی در فرآیند کشش عمیق (صاف شدن)
۱۵	شکل ۵-۲: غلبه بر نیروهای اصطکاک
۱۶	شکل ۶-۲: فشردگی در عملیات کشش عمیق
۱۶	شکل ۷-۲: کشیده شدن ورق به داخل حفره‌ی ماتریس در انتهای عملیات کشش
۱۷	شکل ۸-۲: نیروهای اعمال شده در فرآیند کشش عمیق
۱۸	شکل ۹-۲: عملیات فرم‌دهی کششی در آغاز عملیات کشش عمیق
۱۹	شکل ۱۱-۲: ماتریس با شعاع بسیار بزرگ
۲۰	شکل ۱۱-۲: ماتریس با زاویه‌ی خم مثبت
۲۳	شکل ۱۲-۲: نمودار نیروی سنبه - کورس سنبه
۲۵	شکل ۱۳-۲: عیوب رایج در عملیات کشش عمیق
۳۰	شکل ۱-۳: تعیین مراحل مختلف تولید یک قطعه با در نظر گرفتن خصوصیات شکل هندسی قطعه نهایی
۳۱	شکل ۲-۳: استفاده از الگوریتم بازگشتی برای شناسایی مراحل تغییر شکل در قطعه
۳۱	شکل ۳-۳: تعیین پریفرم مرحله‌ی قبل با شناسایی منطقه‌ی تغییر شکل یافته
۳۹	شکل ۴-۳: محاسبه‌ی ابعاد لوح اولیه
۴۶	شکل ۵-۳: تولید یک فنجان مخروطی با نسبت مخروطی زیاد با استفاده از پریفرم‌های پله‌ای
۵۶	شکل ۶-۳: تعیین قطر موثر ورق گیر
۵۷	شکل ۷-۳: تعیین اندازه‌ی گوشه‌های پریفرم‌ها به صورت مخروطی
۵۸	شکل ۸-۳: تعیین اندازه‌ی گوشه‌های پریفرم‌ها به صورت شعاعی
۵۹	شکل ۹-۳: تعیین شعاع ماتریس
۶۳	شکل ۱-۴: قطعه‌ی صنعتی تولید شده به روش کشش عمیق
۶۳	شکل ۲-۴: مشخصات ابعادی قطعه‌ی تولید شده به روش کشش عمیق
۶۴	شکل ۳-۴: مراحل تولید قطعه‌ی صنعتی خاص به کمک فرآیند کشش عمیق
۶۶	شکل ۴-۴: طراحی مقدماتی پریفرم‌ها و تعیین مراحل تغییر شکل در قطعه‌ی صنعتی خاص
۶۷	شکل ۵-۴: تعیین ابعاد لوح اولیه با تجزیه قطعه به المان‌های تشکیل دهنده‌ی آن
۶۸	شکل ۶-۴: طراحی مقدماتی پریفرم‌های بین مراحل قطعه‌ی صنعتی خاص
۷۲	شکل ۷-۴: پریفرم‌های اصلاح شده بدون در نظر گرفتن شعاع لبه‌ها (طراحی نوع اول)
۷۳	شکل ۸-۴: پریفرم‌های اصلاح شده بدون در نظر گرفتن شعاع لبه‌ها (طراحی نوع دوم)
۷۵	شکل ۹-۴: پریفرم‌های اصلاح شده با گوشه‌های مخروطی (طراحی نوع اول)
۷۶	شکل ۱۰-۴: پریفرم‌های اصلاح شده با گوشه‌های مخروطی (طراحی نوع دوم)
۷۷	شکل ۱۱-۴: پریفرم‌های اصلاح شده با گوشه‌های شعاعی (طراحی نوع اول)

فهرست اشکال

- شکل ۴-۱۲: پرفیورم‌های اصلاح شده با گوشه‌های شعاعی (طراحی نوع دوم) ۷۸
- شکل ۵-۱: اجزای اصلی مورد استفاده برای شبیه‌سازی فرآیند کشش ۸۴
- شکل ۵-۲: منحنی تنش - کرنش آلیاژ آلومینیوم AA 7075-TO در دمای اتاق ۸۷
- شکل ۵-۳: نمودار لگاریتمی تنش حقیقی - کرنش حقیقی برای آلیاژهای مختلف آلومینیوم ۸۸
- شکل ۵-۴: رفتار تغییر شکل پلاستیک آلیاژ AA 7075-TO ۸۹
- شکل ۵-۵: وارد کردن اطلاعات مربوط به خواص ورق در مدول Property ۸۹
- شکل ۵-۶: تصویر مونتاز شده اجزای مدل در محیط Abaqus/CAE ۹۰
- شکل ۵-۷: مش‌بندی مورد استفاده در این پایان نامه ۹۵
- شکل ۵-۸: گیر کردن المان‌ها و ایجاد خطا در نتایج تحلیل عددی ۹۶
- شکل ۵-۹: نمایش توزیع کرنش در پایان کشش مرحله‌ی اول به صورت کانتورهای رنگی ۹۷
- شکل ۵-۱۰: نمایش توزیع کرنش در پایان کشش مرحله‌ی اول به صورت نمودار ۹۸
- شکل ۶-۱: مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی با نتایج تولید عملی یک قطعه‌ی صنعتی خاص ۱۰۱
- شکل ۶-۲: نمودار تغییرات ضخامتی در کشش مرحله‌ی اول برای طراحی‌های مختلف ۱۰۳
- شکل ۶-۳: نمودار تغییرات ضخامتی در کشش مرحله‌ی دوم برای طراحی‌های مختلف ۱۰۳
- شکل ۶-۴: نمودار تغییرات ضخامتی در کشش مرحله‌ی سوم برای طراحی‌های مختلف ۱۰۴
- شکل ۶-۵: نمودار تغییرات ضخامتی در کشش مرحله‌ی چهارم برای طراحی‌های نوع دوم ۱۰۴
- شکل ۶-۶: نمودار تغییرات ضخامتی در آخرین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۰۵
- شکل ۶-۷: مقایسه ماکزیمم مقدار کاهش ضخامت در قطعه در مراحل مختلف کشش ۱۰۶
- شکل ۶-۸: نمودار «نیروی سنبه - کورس سنبه» در اولین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۰۷
- شکل ۶-۹: نمودار «نیروی سنبه - کورس سنبه» در دومین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۰۷
- شکل ۶-۱۰: نمودار «نیروی سنبه - کورس سنبه» در سومین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۰۸
- شکل ۶-۱۱: نمودار «نیروی سنبه - کورس سنبه» در چهارمین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های نوع دوم ۱۰۸
- شکل ۶-۱۲: نمودار «نیروی سنبه - کورس سنبه» در آخرین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۰۹
- شکل ۶-۱۳: نمودار مقدار تنش مؤثر در پایان کشش مرحله‌ی اول برای طراحی‌های مختلف ۱۱۰
- شکل ۶-۱۴: نمودار مقدار تنش مؤثر در پایان کشش مرحله‌ی دوم برای طراحی‌های مختلف ۱۱۰
- شکل ۶-۱۵: نمودار مقدار تنش مؤثر در پایان کشش مرحله‌ی سوم برای طراحی‌های مختلف ۱۱۱
- شکل ۶-۱۶: نمودار مقدار تنش مؤثر در پایان کشش مرحله‌ی چهارم برای طراحی‌های نوع دوم ۱۱۱
- شکل ۶-۱۷: نمودار مقدار تنش مؤثر در پایان آخرین مرحله‌ی کشش برای طراحی‌های مختلف ۱۱۲

فهرست علائم و اختصارات

A	مساحت سطح جانبی قطعه
A_{BH}	سطح ورق گیر
d, d_{cup}, d_1	قطر فنجان در اولین مرحله ی کشش
d_i, d_n	قطر فنجان در مرحله (i -ام) یا (n -ام)
d_e	قطر مؤثر ورق گیر
D, D_0	قطر لوح اولیه (بلانک)
DRR, LDRR	نسبت قطر ماتریس به شعاع لبه ی ماتریس و مقدار حدی آن
DRT, LDRT	نسبت قطر ماتریس به ضخامت ورق و مقدار حدی آن
e	ماکزیمم تغییر طول ماده در شکست
$E_c, E_{c,n}$	ضریب کرنش عملیات کشش یا بازکشش
$E_{1...n}$	ضریب کرنش هر یک از عملیات بازکشش منفرد
E_r	ضریب کرنش کل عملیات بازکشش
E_t	ضریب کرنش کلی عملیات کشش یا بازکشش
E_p	ضریب کرنش مجاز عملیات کشش و بازکشش
E_{max}	مقدار نهایی ضریب کرنش ماده
f	پهنای فلنج
f	نیروی اصطکاک
f_n	نیروی عمود بر سطح
F_t, F_{max}	نیروی کل مورد نیاز برای عملیات کشش
F_{dr}	نیروی عملیات کشش
F_c	نیروی عملیات کشش یا بازکشش
$F_b, F_{bh}, P_{blankhold}$	نیروی ورق گیر
h_n, h, h_{cup}	ارتفاع یا عمق فنجان در مرحله n -ام
H_{max}	ماکزیمم عمق فنجان مخروطی
HR, LHR	نسبت ارتفاع به عمق فنجان و مقدار حدی آن
K, S_x	ضریب کرنش سختی
l	طول المان
LD, LDR, β	نسبت کشش حدی
LRD, β_n	نسبت بازکشش حدی

فهرست علائم و اختصارات

LSR	نسبت حدی ارتفاع المان گنبدی به قطر آن
n, i	تعداد مراحل کشش قطعه
P	فشار ورق گیر
r_c	فاصله مرکز هندسی المان تا محور تقارن
$\%R_i$	درصد کاهش قطر در مرحله i -ام
$\%R_t$	کل درصد کاهش قطر
R_p	شعاع لبه‌ی سنبه
R_d, r_m	شعاع لبه‌ی ماتریس
S_y	تنش تسلیم
S_u, R_m	استحکام نهایی ماده
S_t	استحکام تسلیم پوسته پس از عملیات کشش
S_n	تنش واحد پس از یک کشش معین
t, t_0	ضخامت ورق اولیه
t_n	ضخامت دیواره پوسته‌ی استوانه‌ای، ضخامت پوسته‌ی نهایی
t_{flange}	ضخامت فلنج
TR	ضخامت نسبی ورق
Tap	ضریب شدت مخروطی شدن یک فنجان
w	لقی قالب (لقی بین سنبه و ماتریس)
W	کار موردنیاز برای هر مرحله از عملیات کشش و بازکشش
X	درصد کاهش بهینه برای هر مرحله
$Z, k, c, \psi, n,$	ضرایب
α, θ	زاویه‌ی لبه‌ی پریفرم
$\varepsilon, \bar{\varepsilon}$	کرنش و کرنش موثر
ε_T	کرنش حقیقی
ε_{nom}	کرنش اسمی
$\sigma, \bar{\sigma}$	تنش و تنش موثر
σ_T	تنش حقیقی
σ_{nom}	تنش اسمی
μ	ضریب اصطکاک

فهرست ضمائم

صفحه

عنوان

۱۱۷

پیوست الف: ابعاد قالب جهت ساخت و شبیه‌سازی یک قطعه صنعتی خاص

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

فرآیندهای شکل‌دهی فلزات^۱ نقشی حیاتی در دنیای صنعتی امروز ایفا می‌کنند. برتری این روش‌ها نسبت به روش‌های دیگر همچون براده برداری از جهت هزینه و صرفه‌جویی در مواد اولیه، زمان و کیفیت محصول باعث شده است که به این روش‌ها توجه بیشتری معطوف گردد. از میان روش‌های گوناگون شکل‌دهی فلزات، فرآیند کشش عمیق^۲ را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین روش‌های شکل‌دهی در نظر گرفت.

کشش عمیق، فرآیند شکل‌دهی سرد یک ورق فلزی تخت به درون یک محفظه‌ی سوراخدار (ماتریس) است بدون آنکه پدیده‌ی چروکیدگی بیش از حد، نازک شدن یا شکست در ورق رخ دهد [۱].

شکل‌دهی ورق‌ها از دیرباز مورد توجه بشر بوده و با گذشت زمان، عملیات شکل‌دهی ورق‌ها تکامل بیشتری یافته است. امروزه از فرآیند کشش ورق به عنوان یک فرآیند تولیدی مهم استفاده می‌شود و با استفاده از آن، محصولات استوانه‌ای^۳، جعبه‌ای^۴، پوسته‌های دارای وجوه مستقیم یا غیر مستقیم (مخروطی شکل)^۵ یا ترکیبی از این دو، دارای ضخامت تقریباً ثابت یا متغیر ساخته می‌شوند. از محصولات معروف این فرآیند در صنایع اتومبیل‌سازی به ساخت قطعات بدنه‌ی اتومبیل^۶، در صنایع نظامی به ساخت پوکه‌ی فشنگ^۷، در صنایع خانگی به ساخت ظروف آشپزخانه مانند قوری و نیز محصولاتی نظیر لوله‌های بدون درز^۸ می‌توان اشاره کرد که از اندازه‌هایی با قطر ۶ میلیمتر یا کوچکتر تا اندازه‌ی قطعات هواپیما و اتومبیل که برای حمل‌ونقل آنها به ابزار مکانیکی نیاز است، متغیرند. شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از این محصولات را همراه با ورق بکار رفته در تولید آنها نشان می‌دهد [۱].

¹ - Metal forming processes

² - Deep drawing

³ - Cylindrical

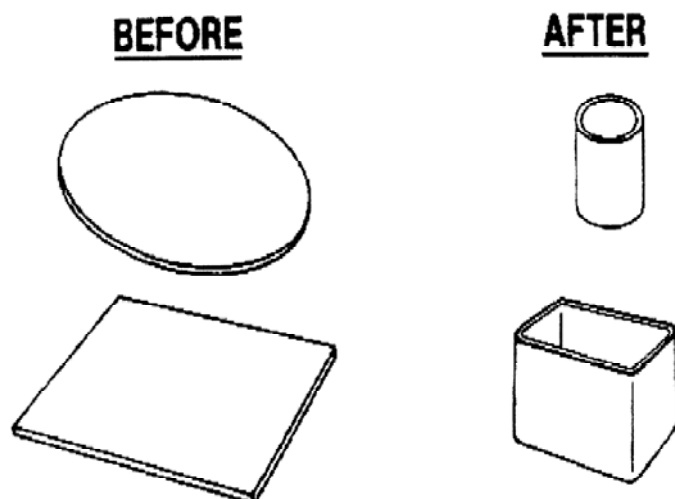
⁴ - Box shaped

⁵ - Tapered shell

⁶ - Car body element

⁷ - Cartridge

⁸ - Seamless tubular



شکل ۱-۱: محصولات کشش عمیق [۱].

برای ساخت محصولات پیچیده‌تر به کمک فرآیند کشش عمیق، تغییر شکل ورق در یک مرحله امکان‌پذیر نیست زیرا مشکلاتی از قبیل چین خوردگی^۱ و پارگی ورق^۲، مانع از جریان یافتن صحیح فلز به داخل حفره‌ی ماتریس می‌گردد. لذا فرآیند شکل‌دهی در این گونه موارد در طی چند مرحله انجام می‌گیرد و در هر مرحله، بخشی از ورق تغییر شکل داده می‌شود تا نهایتاً ورق اولیه پس از عبور از چندین مرحله تغییر شکل به فرم محصول نهایی درمی‌آید. شکل (۲-۱) نمونه‌ای از این نوع محصولات پیچیده را نشان می‌دهد. به ورق اولیه اصطلاحاً «گرده» یا «لوح»^۳ گفته می‌شود همچنین به شکل هندسی قطعه در هر یک از مراحل میانی تولید، یک «پریفِرم»^۴ گفته می‌شود.



شکل ۲-۱: مراحل تولید پوسته‌ی موتور به روش کشش عمیق که در طی ۹ مرحله تکمیل شده است [۲].

1 - Wrinkling
2 - Tearing
3 - Blank
4 - Pre-form

برطبق استاندارد DIN 8582، شکل‌دهی یک فرآیند تولید است که سبب می‌شود روی قطعه‌ی جامد، تغییر شکلی ماندگار ایجاد شود. در تقسیم‌بندی بر مبنای این استاندارد، کشش عمیق جزء گروه اصلی شکل‌دهی و گروه فرعی شکل‌دهی کششی- فشاری می‌باشد [۱].

۱-۲- مروری بر کارها و اقدامات انجام شده

تحقیقات بسیاری توسط محققین به منظور دستیابی به دانش طراحی پرفریم‌های بین مراحل، در فرآیند کشش عمیق انجام گرفته است و در اغلب موارد سعی بر این بوده است که با مرتب کردن دانش مربوطه در قالب یک برنامه‌ی کامپیوتری، کار طراحی پرفریم‌ها به صورت خودکار انجام گیرد. اشل^۱ و همکارانش [۳و۴] جزء پیشگامان این عرصه محسوب می‌شوند، آنها با جمع‌آوری و دسته‌بندی قوانین مربوط به طراحی پرفریم‌های بین مراحل در فرآیند کشش عمیق و ایجاد یک سیستم هوشمند کامپیوتری^۲ تحت عنوان «سیستم بر پایه‌ی قانون»^۳، کار طراحی پرفریم‌های بین مراحل یک قطعه را به صورت خودکار انجام می‌دادند. سیستمی که آنها ارائه کرده بودند از استراتژی «تولید، تست و اصلاح»^۴ جهت انجام کار طراحی استفاده می‌کرد و عمدتاً بر راهکارهای تجربی طراحی قالب تکیه داشت.

در سال‌های بعد سایر محققان کار آنها را ادامه دادند و هر یک به نوبه‌ی خود سیستم‌های مشابهی را با اصلاح برخی از قوانین و بهبود عملکرد آن ارائه کردند. از جمله این افراد می‌توان به سیتارامان^۵ و همکارانش [۵] اشاره کرد. آنها با جمع‌آوری و دسته‌بندی قوانین طراحی پرفریم‌ها، یک «سیستم ترکیبی مهندسی به کمک کامپیوتر»^۶ ایجاد نمودند که از دو ماژول با نام‌های «Symbolic Module» و «Numeric Module» تشکیل شده بود. ماژول اول کار طراحی اولیه‌ی پرفریم‌ها را براساس شکل هندسی محصول نهایی انجام می‌داد و ترتیب مراحل کشش قطعه‌ی مورد نظر را مشخص می‌نمود و ماژول دوم با بکارگیری نتایج حاصل از ماژول اول و مدلسازی ریاضی فرآیند شکل‌دهی، پرفریم‌های طراحی شده توسط ماژول اول را از لحاظ میزان تنش، کرنش و ایجاد عیوب بررسی کرده و در صورت لزوم، مراحل کشش قطعه را اصلاح می‌نمود. روند کار به این صورت بود که با وارد نمودن اطلاعات مربوط به شکل محصول نهایی در قالب «اعداد و حروف»^۷ به سیستم، ماژول اول با بکارگیری یک الگوریتم بازگشتی از شکل محصول نهایی به مراحل ماقبل رسیده و شکل ظاهری محصول در هر مرحله تا رسیدن به یک لوح اولیه تعیین می‌گردید. سپس این اطلاعات همراه با اطلاعات مربوط به خواص جنس ورق، وارد ماژول دوم شده و در این ماژول، طراحی‌های مقدماتی برای بررسی‌های

1 - Eshel

2 - Expert system

3 - Rule based system

4 - Generate, Test & Rectify

5 - Sitaraman

6 - Hybrid Computer-Aided Engineering

7 - Alphanumeric