



دانشکده مهندسی - گروه مکانیک

عنوان پایان نامه:

بررسی تجربی و شبیه‌سازی عددی فرآیند اسپینینگ

قطعه شلجمی شکل

مؤلف:

میلااد مرسلوئی

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر مهران کدخدایان

مهر ۱۳۹۱

به نام هستی بخش هستی ها

اصالت اثر

اینجانب میلاد مرسلوئی تأیید می‌نمایم مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده و در صورت استفاده موردی از دست‌آوردهای پژوهشی دیگران مطابق مقررات با آنها ارجاع شده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرکی هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و قانونی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

امضاء دانشجو

میلاد مرسلوئی

تاریخ

امضاء استاد راهنما

دکتر مهرا کدخدایان

تاریخ

تاییدیه گروه مکانیک

پایان نامه حاضر تحت عنوان :

بررسی تجربی و شبیه‌سازی عددی فرآیند اسپینینگ قطعه شلجمی شکل

که توسط آقای میلاد مرسلوئی تهیه و به هیات داوران ارائه شده، به عنوان کار پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی، مورد تایید شورای تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۹۱/۷/۱۵ نمره: درجه ارزشیابی

اعضای هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	سمت	امضا
۱- دکتر کدخدایان	استاد راهنما	
۲- دکتر معتکف ایمانی	استاد ممتحن	
۳- دکتر جامی الاحمدی	استاد ممتحن	
۴- دکتر معاونیان	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که نهایت را برایم معنا نمودند و چراغ همیشه روشن تاریکی های حیاتم هستند. آنان که سخت

شدند تا روان بانم و نرم شدند تا استوار باشم. امید دارم لایق انبوه داده های آنان باشم و حتی

برای لحظه ای شادی بخش وجودشان شوم.

شکر و قدردانی

اکنون که با عنایت پروردگار کار نخارش این پایان نامه به سرانجام رسید، وظیفه می‌دانم مراتب امتنان و سپاس خود را از استاد بزرگوارم آقای دکتر که خدایمان بجای آورم. ایشان با دقت، دانش و تجربیات گرانسنگ علمی و صنعتی خود در طی مراحل انجام این پژوهش دلسوزانه یاری ام نمودند. هم چنین از آقای دکتر معترف ایمانی که بهواره مسیر این پژوهش را برای اینجانب هموار نموده و باراهنمایی‌های ارزنده‌شان کرده از مشکلات این پژوهش کوشند، نهایت شکر و سپاس را دارم.

از اساتید محترم دفاع آقایان دکتر معترف ایمانی و دکتر جامی الاحمدی که زحمت تقد و بررسی این اثر را عمده دار بودند کمال شکر را دارم. همچنین از دبیر و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی آقای دکتر معاونیان ساکنزاری می‌نایم.

از آقایان مهندس شریفی، دانشجو، عبدی، ولایتی و سایر دوستان که در مدت تحصیل موجب دلگرمی اینجانب بودند شکر و قدردانی می‌نمایم.

از خداوند متعال برای همه عزیزان آرزوی موفقیت و بهروزی می‌نایم.

چکیده

فرآیندهای شکل‌دهی ورق از جمله فرآیندهای پرکاربرد در صنعت است. از جمله این فرآیندها، فرآیند اسپینینگ می‌باشد که امروزه بخاطر لزوم تولید قطعات پیچیده با تقارن محوری، مورد توجه صنعتگران است. این فرآیند کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلفی چون نفت و گاز، هوا و فضا، خودرو، کلاهک موشک‌ها و مخازن دارد. از این رو، شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر این فرآیند و بهینه‌سازی آن، از جمله موارد مهم در جهت هر چه اقتصادی کردن این روش و رسیدن به محصول نهائی با کیفیت مطلوب می‌باشد. ولی بخاطر پیچیدگی روابط و مکانیزم تغییرشکل در این فرآیند، امکان ارائه حل‌های تحلیلی دقیق وجود ندارد و اکثر نتایج موجود، محدود به آزمایشات تجربی است. در سال‌های اخیر با پیشرفت‌های انجام شده در زمینه کامپیوتر و ساخت کامپیوترهای شخصی با سرعت و توانایی‌های بسیار بالا و قیمت‌های مناسب روش‌های عددی برای بررسی این گونه فرآیندهای بسیار رایج شده است. نرم‌افزارهایی که در این زمینه موجود می‌باشند امکان مدل‌سازی انواع برخورد‌ها، حرکت‌های دورانی و خطی و تغییر شکل‌های بزرگ، مواد مختلف و امکانات بسیار زیاد دیگری را در اختیار کاربر قرار داده‌اند. با توجه به این پیشرفت‌ها و نیاز صنعت به بهینه‌سازی فرآیندها و انتخاب بهترین، استفاده از روش‌های عددی در محیط‌های صنعتی نیز در حال رایج شدن است. نرم‌افزار Abaqus یکی از قوی‌ترین این نرم‌افزارهاست که دارای محیط‌های مختلف برای مدل‌سازی فرآیندهای گوناگون است. محیط ABAQUS/Explicit با استفاده از حل معادلات دینامیکی صریح امکان حل مسائل با تغییر شکل‌های بزرگ و سرعت‌های بالا و انواع برخورد را فراهم کرده است. در این تحقیق پارامتر سرعت پیشروی غلتک پارامتری است که اثر متقابل آنها بر متغیرهای پاسخ از جمله نیروهای شکل‌دهی، کرنش و وضعیت فلنج قطعه کار به صورت تجربی و شبیه‌سازی المان محدود بررسی شده است. پروفیل نیروها و کرنش و وضعیت فلنج بدست آمده از شبیه‌سازی با نتایج تجربی مقایسه شده‌اند که نتایج مشابه می‌باشد و همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش سرعت پیشروی غلتک مقدار نیروهای شکل‌دهی، کرنش محیطی و میزان چروکیدگی لبه ورق افزایش و کرنش شعاعی و کرنش در راستای ضخامت کاهش می‌یابد در نتیجه تغییرات نرخ پیشروی می‌تواند روش مناسبی برای کنترل چروکیدگی قطعه کار باشد. با توجه به صحت‌گذاری این روش شبیه‌سازی، می‌توان از آن برای افزایش کیفیت و بهینه‌سازی شکل‌دهی اسپینینگ قطعات پیچیده‌تر بهره جست.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه‌ای بر فرآیند اسپینینگ	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- دسته‌بندی فرآیند اسپینینگ و ویژگی‌های آن	۳
۱-۲-۱- اسپینینگ معمولی	۵
۲-۲-۱- اسپینینگ برشی	۷
۳-۲-۱- فرآیندهای نو	۹
۱-۳-۲-۱- اسپینینگ انعطاف‌پذیر	۹
۲-۳-۲-۱- اسپینینگ نامتقارن	۱۱
۳-۳-۲-۱- اسپینینگ گرم	۱۳
فصل دوم : مکانیک اسپینینگ و روش‌های تحقیق	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- روش‌های تحقیق	۱۷
۱-۲-۲- روش‌های تجربی	۱۷
۱-۱-۲-۲- بررسی مکانیزم تغییر شکل و تغییرات کرنش	۱۷
۲-۱-۲-۲- بررسی واماندگی در اثر پارگی و چروکیدگی	۱۸
۳-۱-۲-۲- بررسی نیروی شکل‌دهی و زبری سطح	۲۰
۲-۲-۲- روش تحلیلی	۲۱
۱-۲-۲-۲- بررسی نیروهای شکل‌دهی	۲۱
۲-۲-۲-۲- بررسی واماندگی	۲۴
۳-۲-۲-۲- بررسی کرنش	۲۴
۳-۲-۲- روش عددی	۲۵
۱-۳-۲-۲- مدل‌های عددی ساده	۲۵
۲-۳-۲-۲- مدل‌های عددی سه‌بعدی	۲۶

۲۸.....	۳-۲- مکانیک اسپینینگ
۲۸.....	۱-۳-۲- پیش بینی هندسه‌ی محصول
۲۹.....	۲-۳-۲- پیش بینی نیروهای ابزار
۲۹.....	۱-۲-۳-۲- بررسی نیرویی در اسپینینگ برشی
۳۱.....	۲-۲-۳-۲- بررسی نیرویی در اسپینینگ معمولی
۳۳.....	۳-۳-۲- پیش‌بینی تنش لحظه‌ای، تنش باقیمانده، کرنش‌های انباشته و ساختار میکروسکوپی
۳۳.....	۱-۳-۳-۲- بررسی کرنش
۳۴.....	۲-۳-۳-۲- بررسی تنش
۳۵.....	۴-۳-۲- پیش‌بینی هندسه‌ی سطح
۳۶.....	۵-۳-۲- پیش‌بینی واماندگی
۳۶.....	۱-۵-۳-۲- پارگی
۳۷.....	۲-۵-۳-۲- چروکیدگی
۴۰.....	۴-۲- کاربرد علم مکانیک اسپینینگ
۴۰.....	۱-۴-۲- رسیدن به تolerانس هندسی و کیفیت سطح مورد نظر
۴۰.....	۲-۴-۲- طراحی یک فرآیند اسپینینگ
۴۲.....	۳-۴-۲- اجرای فرآیند اسپینینگ
۴۳.....	۴-۴-۲- طراحی مسیر ابزار
۴۶.....	۵-۴-۲- طراحی ابزار
۴۶.....	۶-۴-۲- روان‌کاری
۴۷.....	۵-۲- جمع‌بندی
۴۸.....	فصل سوم : بستر آزمایش
۴۹.....	۱-۳- مقدمه
۴۹.....	۲-۳- ماشین ابزار
۵۱.....	۳-۳- موتور پله‌ای، درایور و جعبه دنده خورشیدی
۵۳.....	۴-۳- دینامومتر

۵۶	۵-۳- آمپلی فایر A5070
۵۶	۶-۳- کارت دریافت داده‌ها
۵۹	۷-۳- انکودر خطی
۶۰	۸-۳- کارت کنترل حرکت
۶۲	۹-۳- مجموعه ابزار، قید و ماندنرل
۶۳	۱۰-۳- برنامه جامع کنترل
۶۵	۱۱-۳- دیجیتایزر
۶۶	فصل چهارم : شبیه‌سازی عددی و تحلیل اجزا محدود فرآیند اسپینینگ
۶۷	۱-۴- مقدمه
۶۸	۲-۴- معرفی روش المان محدود
۶۹	۳-۴- معرفی نرم‌افزار Abaqus
۷۱	۴-۴- شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار Abaqus
۷۱	۱-۴-۴- مدل‌سازی
۷۴	۲-۴-۴- تعریف خواص ماده
۷۵	۳-۴-۴- موقعیت‌دهی مدل‌ها
۷۶	۴-۴-۴- روش حل مسئله
۷۶	۵-۴-۴- تعیین گام‌ها
۷۷	۶-۴-۴- بارگذاری، شرایط مرزی و سطوح تماس
۷۷	۱-۶-۴-۴- بارگذاری
۷۷	۲-۶-۴-۴- شرایط مرزی
۷۹	۳-۶-۴-۴- سطوح تماس
۸۰	۷-۴-۴- مش‌بندی و تعیین نوع المان‌ها
۸۲	۸-۴-۴- تعیین خروجی
۸۲	۹-۴-۴- حل و بررسی نتایج
۸۳	۵-۴- اعتبارسنجی

۸۴	فصل پنجم : ارائه و بررسی نتایج تجربی و عددی
۸۵	۱-۵- مقدمه
۸۵	۲-۵- تعیین متغیرها
۸۶	۳-۵- آزمایشات تجربی
۸۶	۱-۳-۵- اندازه‌گیری و محاسبات نیرو
۸۷	۲-۳-۵- اندازه‌گیری و محاسبات کرنش
۸۸	۴-۵- شبیه‌سازی المان محدود
۸۸	۵-۵- ارائه و بررسی نتایج تجربی
۸۸	۱-۵-۵- نیرو
۹۰	۲-۵-۵- کرنش
۹۲	۶-۵- ارائه و بررسی نتایج عددی و مقایسه آن با نتایج تجربی
۹۷	۷-۵- بررسی وضعیت فلنج
۹۸	۸-۵- جمع بندی
۹۹	فصل ششم : جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات
۱۰۰	۱-۶- جمع بندی
۱۰۱	۲-۶- نتایج مهم
۱۰۳	۳-۶- ارائه پیشنهادات برای تحقیقات آینده
۱۰۴	مراجع
۱۰۷	پیوست A : توابع کارت کنترل حرکت PCI-1240
۱۱۲	پیوست B : دستورالعمل استفاده از برنامه جامع و انجام آزمایش‌ها

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) : شماتیکی از فرآیند اسپینینگ ۲
- شکل (۱-۲) : مقایسه‌ی ویژگی‌های اصلی فرآیندهای اسپینینگ ۴
- شکل (۱-۳) : شماتیکی از فرآیند اسپینینگ معمولی و اشکال قابل تولید با آن ۵
- شکل (۱-۴) : تنش‌های ناحیه‌ی تحت تغییرشکل در اسپینینگ معمولی ۶
- شکل (۱-۵) : مدل‌های واماندگی در فرآیند اسپینینگ معمولی [۲۵] ۷
- شکل (۱-۶) : شماتیکی از فرآیند اسپینینگ برشی و اشکال قابل تولید با آن ۷
- شکل (۱-۷) : انحراف از قانون سینوس‌ها در اسپینینگ برشی ۸
- شکل (۱-۸) : ساختار اسپینینگ‌های بدون ماندل [۱] ۱۱
- شکل (۱-۹) : شماتیکی از فرآیندهای اسپینینگ نامتقارن [۱] ۱۳
- شکل (۱-۱۰) : اسپینینگ با استفاده از لیزر (شکل سمت راست) [۲۶] و اسپینینگ با استفاده از هوای گرم (شکل سمت چپ) [۹] ۱۴
- شکل (۲-۱) : اطلاعات مورد نیاز و اهداف بررسی‌ها ۱۶
- شکل (۲-۲) : روش‌های تجربی بررسی کرنش و تغییرشکل در فرآیند اسپینینگ [۱۰، ۲ و ۱] ۱۸
- شکل (۲-۳) : رابطه‌ی تجربی برای تعیین واماندگی [۲۷] ۱۹
- شکل (۲-۴) : الگویی از تنش دندان‌های [۳] ۳۵
- شکل (۲-۵) : شرایط چروکیدگی فلنج در آلومینیوم خالص [۲۹] ۳۸
- شکل (۲-۶) : رابطه‌ی بین نسبت اسپینینگ و نسبت پیشروی برای فولاد نرم با ضخامت ۲ میلی‌متر [۲۲] ۳۹
- شکل (۲-۷) : مسیر ابزار خطی، مرتبه‌ی دو و دایره‌ی تودرتو ۴۳
- شکل (۲-۸) : مسیر ابزار اسپینینگ معمولی [۱] ۴۴
- شکل (۲-۹) : مسیر ابزارهای کاربردی در پژوهش‌ها [۱] ۴۴
- شکل (۳-۱) : نصب موتور پله‌ای و گیر بکس خورشیدی الف) ساپورت عرضی ماشین ب) ساپورت طولی ماشین ۵۰
- شکل (۳-۲) : کوپل کردن گیربکس با شفت شعاعی ماشین ابزار ۵۱
- شکل (۳-۳) : کوپلینگ مجموعه موتور و گیربکس با شفت طولی (پیچ زنی) ماشین ابزار ۵۲
- شکل (۳-۴) : درایور استپ موتور ۵۲
- شکل (۳-۵) : دینامومتر 9255b استفاده شده در این تحقیق ۵۴
- شکل (۳-۶) : سنسورهای پیزو الکتریک در دینامومتر ۵۴
- شکل (۳-۷) : آمپلی فایر A5070 ۵۶
- شکل (۳-۸) : تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال ۵۷

- شکل (۳-۹) : کارت دریافت داده و تجهیزات جانبی آن ۵۸
- شکل (۳-۱۰) : سیگنال‌های ورودی به کارت تحلیل داده‌ها ۵۸
- شکل (۳-۱۱) : ساختار انکودر خطی (سمت راست) و دورانی (سمت چپ) [۳۰] ۵۹
- شکل (۳-۱۲) : انکودرهای خطی الف (انکودر خطی محور X و موقعیت نصب آن در ماشین ب) انکودر خطی محور Y و موقعیت نصب آن در ماشین ۶۰
- شکل (۳-۱۳) : کارت کنترل حرکت و تجهیزات جانبی آن ۶۱
- شکل (۳-۱۴) : نحوه نصب کارت کنترل حرکت و تجهیزات آن ۶۲
- شکل (۳-۱۵) : مشخصات هندسی ابزار مورد استفاده ۶۳
- شکل (۳-۱۶) : منحنی تنش- کرنش آلومینیوم ۱۱۰۰ آنیل شده ۶۳
- شکل (۳-۱۷) : شماتیک کامل بستر آزمایش و مسیر سیگنال‌ها ۶۵
- شکل (۴-۱) : شماتیکی از مدل ماندل در محیط نرم‌افزار ۷۳
- شکل (۴-۲) : شماتیکی از مدل غلتک در محیط نرم‌افزار ۷۳
- شکل (۴-۳) : شماتیکی از مدل مرغک در محیط نرم‌افزار ۷۳
- شکل (۴-۴) : شماتیکی از مدل ورق در محیط نرم‌افزار ۷۴
- شکل (۴-۵) : شماتیکی از موقعیت‌دهی مدل‌ها در محیط نرم‌افزار ۷۵
- شکل (۴-۶) : معرفی شرایط مرزی ماندل ۷۷
- شکل (۴-۷) : معرفی شرایط مرزی مرغک ۷۸
- شکل (۴-۸) : تعریف دامنه تغییرات و اعمال آن بر شرایط مرزی غلتک ۷۹
- شکل (۴-۹) : تعریف خصوصیات تماسی سطوح در محیط نرم‌افزار ۸۰
- شکل (۴-۱۰) : ساختار المان‌بندی ورق ۸۱
- شکل (۴-۱۱) : تغییرات کرنش شعاعی بر حسب تعداد المان‌ها ۸۱
- شکل (۴-۱۲) : شبیه‌سازی شکلدهی فرآیند اسپینینگ معمولی ۸۲
- شکل (۴-۱۳) : تغییرات انرژی بر حسب زمان ۸۳
- شکل (۵-۱) : دواير حكاكي شده بر روی ورق (شکل سمت چپ) و تغییر فرم دواير به بیضی پس از شکل‌دهی (شکل سمت راست) ۸۷
- شکل (۵-۲) : توزیع مؤلفه اول و دوم نیرو برای نرخ پیشروی $f=1\text{mm/rev}$ (نتایج آزمایشگاهی) ۸۸
- شکل (۵-۳) : مقایسه مؤلفه اول نیرو (f_x) تحت نرخ پیشروی متفاوت (نتایج آزمایشگاهی) ۸۹
- شکل (۵-۴) : مقایسه مؤلفه دوم نیرو (f_y) تحت نرخ پیشروی متفاوت (نتایج آزمایشگاهی) ۸۹
- شکل (۵-۵) : جهت شعاعی در راستای محور X و جهت محیطی در راستای محور Y ۹۰
- شکل (۵-۶) : مقایسه توزیع مؤلفه محیطی کرنش تحت نرخ پیشروی متفاوت (نتایج آزمایشگاهی) ۹۱
- شکل (۵-۷) : مقایسه توزیع مؤلفه در راستای ضخامت کرنش تحت نرخ پیشروی متفاوت (نتایج آزمایشگاهی) ۹۱

- شکل (۵-۸) : مقایسه توزیع مؤلفه شعاعی کرنش تحت نرخ پیشروی متفاوت (نتایج آزمایشگاهی)..... ۹۱
- شکل (۵-۹) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه اول نیرو برای نرخ پیشروی $f=1\text{mm/rev}$ ۹۳
- شکل (۵-۱۰) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه اول نیرو برای نرخ پیشروی $f=1.5\text{mm/rev}$ ۹۳
- شکل (۵-۱۱) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه اول نیرو برای نرخ پیشروی $f=2\text{mm/rev}$ ۹۳
- شکل (۵-۱۲) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه دوم نیرو برای نرخ پیشروی $f=1\text{mm/rev}$ ۹۴
- شکل (۵-۱۳) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه دوم نیرو برای نرخ پیشروی $f=1.5\text{mm/rev}$ ۹۴
- شکل (۵-۱۴) : مقایسه نتایج تجربی و عددی مؤلفه دوم نیرو برای نرخ پیشروی $f=2\text{mm/rev}$ ۹۴
- شکل (۵-۱۵) : مقایسه نتایج تجربی و عددی کرنش برای پیشروی $f=1\text{mm/rev}$ ۹۵
- شکل (۵-۱۶) : مقایسه نتایج تجربی و عددی کرنش برای پیشروی $f=1.5\text{mm/rev}$ ۹۵
- شکل (۵-۱۷) : مقایسه نتایج تجربی و عددی کرنش برای پیشروی $f=2\text{mm/rev}$ ۹۵
- شکل (۵-۱۸) : نمونه قطعات اسپینینگ شده تحت آزمایشات تجربی و شبیه‌سازی‌های عددی..... ۹۶
- شکل (۵-۱۹) : وضعیت چروکیدگی فلنج تحت نرخهای پیشروی متفاوت طی شبیه‌سازی‌های عددی..... ۹۷
- شکل (۵-۲۰) : وضعیت چروکیدگی فلنج تحت نرخهای پیشروی متفاوت طی آزمایشات تجربی..... ۹۷

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) : تأثیر پارامترهای فرآیند بر مؤلفه‌های نیرو در اسپینینگ [۱]..... ۳۲
- جدول (۱-۳) : مشخصات دینامومتر 9255b ۵۵
- جدول (۱-۴) : خواص ورق آلومینیوم ۱۱۰۰ ۷۵
- جدول (۱-۵) : مشخصات سخت‌افزاری رایانه مورد استفاده برای شبیه‌سازی نرم‌افزاری ۸۸

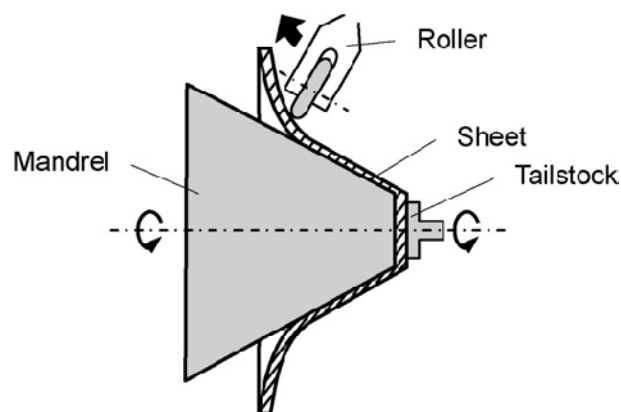
فهرست علائم

D_r	قطر غلتک
ρ_r	شعاع دماغه‌ی غلتک
N	سرعت ماندِرل
D_0	قطر اولیه بلانک
v	ضریب پواسون
ρ	چگالی
E	مدول الاستیسیته
σ_y	تنش تسلیم
T_0	دمای اولیه
K	ضریب انتقال حرارت
C_p	گرمای ویژه

فصل اول

مقدمه‌ای بر فرآیند اسپینینگ

شکل‌دهی چرخشی یا اسپینینگ^۱ به گروهی از فرآیندهای شکل‌دهی فلزات ورقی اطلاق می‌شود که با اعمال نیروی موضعی به تولید محصولات تو خالی^۲ با تقارن محوری منتهی می‌شود. ابتدائی‌ترین و معمول‌ترین تکنیک شکل‌دهی اسپینینگ، شامل نگه داشتن ورق خام در برابر یک قالب یا ماندرل^۳ بر روی دستگاه اسپینینگ^۴ و سپس شکل دادن ورق بر روی ماندرل با استفاده از یک غلتک یا غلتک^۵ است. این عمل ممکن است در یک و یا چند مرحله انجام گیرد. شکل (۱-۱) شماتیکی از فرآیند اسپینینگ را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱): شماتیکی از فرآیند اسپینینگ [۱]

با استفاده از این فرآیند شکل‌دهی، قطعاتی برای خودروها، صنایع فضائی، آلات موسیقی و ظروف آشپزخانه تولید می‌شود. از جمله نمونه‌های بارز قطعات تولیدی بوسیله‌ی این فرآیند نیز می‌توان اجزاء موتور جت و توربین‌ها، بازتاب دهنده‌ی رادارها، دماغه‌ی ماهواره‌ها، و اجسام مخروطی شکل را نام برد. شکل‌دهی اسپینینگ قادر به تولید اجزائی با قطر ۳ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۰/۴ تا ۲۵ میلی‌متر است.

روش‌های دیگری علاوه بر شکل‌دهی اسپینینگ برای تولید قطعاتی با تقارن محوری از ورق خام استفاده می‌شود. اما شکل‌دهی اسپینینگ دارای مزیت‌هایی در مقایسه با این روش‌هاست که شامل موارد زیر است:

-
- ¹ Spinning
 - ² Hollow
 - ³ Mandrel
 - ⁴ Spinning lathe
 - ⁵ Roller

- نیروی شکل‌دهی کم بخاطر تغییر شکل موضعی ماده‌ی زیر غلتک
- انعطاف پذیری روش بخاطر عدم نیاز به استفاده از ابزار خاص و پیچیده
- توانایی تولید قطعات با دقت ابعادی مطلوب
- امکان ایجاد تغییرات طراحی با کمترین زمان و هزینه
- تولید قطعات با کیفیت سطح بالا و استحکام مکانیکی بهبود یافته

در مقابل، سرعت پایین فرآیندهای شکل‌دهی چرخشی، از جمله محدودیت‌های این فرآیندها می‌باشد که موجب شده است معمولاً برای تعداد تولید کم و متوسط قابل استفاده باشد، مگر در مواردی که فرآیند مشابهی نتوان جایگزین کرد.

۱-۲- دسته‌بندی فرآیند اسپینینگ و ویژگی‌های آن

فرآیندهای اسپینینگ به سه گروه اسپینینگ معمولی^۱، اسپینینگ برشی^۲ و اسپینینگ لوله^۳ تقسیم بندی می‌شوند. یک ویژگی معمول و مشترک این سه فرآیند تولید محصولات تو خالی با تقارن محوری است. تفاوت عمده بین این سه روش در ضخامت قطعه‌ی شکل داده شده است. در اسپینینگ معمولی ضخامت در طول فرآیند تقریباً ثابت باقی می‌ماند، در نتیجه ضخامت دیواره‌ی قطعه‌ی تولید شده با ضخامت ورق خام برابر است. در مقابل در فرآیند اسپینینگ برشی و اسپینینگ لوله ضخامت دیواره‌ی قطعه‌ی تولید شده در مقایسه با ضخامت ورق اولیه کاهش می‌یابد. در اسپینینگ برشی ضخامت قطعه با توجه به زاویه‌ی بین دیواره‌ی قطعه و محور دوران تعیین می‌شود. در اسپینینگ لوله میزان افزایش طول قطعه تعیین کننده‌ی ضخامت نهائی است. علاوه بر این قطعات تولیدی بوسیله‌ی فرآیندهای اسپینینگ معمولی و اسپینینگ لوله، طی یک یا چند مرحله تولید می‌شوند در حالیکه در اسپینینگ برشی شکل‌دهی در یک مرحله انجام می‌پذیرد. شکل (۱-۲) مقایسه‌ی بین ویژگی‌های اصلی این سه فرآیند را نشان می‌دهد.

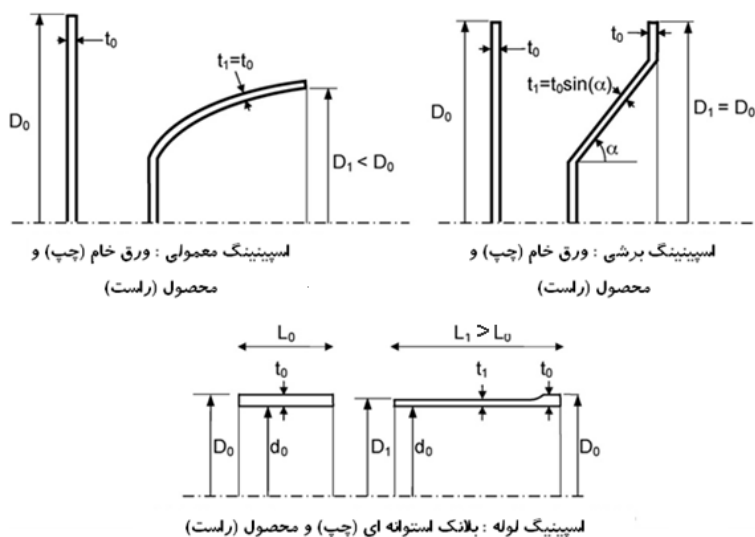
¹ Conventional spinning

² Shear spinning

³ Tube spinning

دسته بندی مذکور به طور گسترده‌ای مورد قبول است. این در حالی است که تنها دسته‌بندی رسمی و استاندارد، مربوط به استاندارد آلمانی DIN8582 است که در آن، فرآیندها بر اساس تنش داخلی لحظه‌ای که باعث تسلیم ماده می‌شود، تقسیم‌بندی شده‌اند. دسته‌بندی دیگری نیز وجود دارد که بر اساس آن اسپینینگ معمولی و اسپینینگ لوله به عنوان یک فرآیند شکل‌دهی کششی-فشاری توصیف شده و در دسته‌ی فرآیندهای شکل‌دهی خم‌کاری و کشش عمیق قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، اسپینینگ برشی در دسته‌ی شکل‌دهی‌های فشاری همراه با شکل‌دهی حجمی غلتک قرار گرفته است. بر اساس دسته بندی دیگر، فرآیندهای شکل‌دهی به دو دسته‌ی شکل‌دهی ورق و شکل‌دهی حجمی دسته‌بندی می‌شوند که هر دو فرآیند اسپینینگ معمولی و اسپینینگ برشی در گروه فرآیندهای شکل‌دهی ورق در کنار فرآیندهایی مثل خم‌کاری، شکل‌دهی انبساطی و کشش عمیق قرار می‌گیرند [۱].

مکانیزم تغییرشکل در اسپینینگ برشی، برش خالص نیست بلکه ترکیبی از برش و خمش است. تغییرشکل تحت زاویه دیواره‌ی بزرگ به خمش خالص نزدیک‌تر است، اما برای زوایای کوچک به برش خالص متمایل می‌شود [۲]. هم‌چنین اولین پاس در اسپینینگ معمولی دارای شرایطی مشابه اسپینینگ برشی است [۳] و مسیر حرکت ابزار می‌تواند ضخامت نهائی را در اسپینینگ معمولی نیز تحت تأثیر قرار دهد [۱].



شکل (۱-۲): مقایسه‌ی ویژگی‌های اصلی فرآیندهای اسپینینگ