بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

طراحی فرآیند اسپینینگ به کمک المان محدود

پایان نامه کارشناسی ارشد

حامد اسدی

استاد راهنما

دکتر فرزین

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک - طراحی کاربردی آقای حامد اسدی

تحت عنوان

طراحی فرآیند اسپینینگ به کمک المان محدود

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱ -استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمود فرزین
۲ -استاد مشاور پایان نامه	دکتر حسن خادمی زاده
۳ -استاد داور	دکتر محمود سلیمی
۴ -استاد داور	دکتر محمدرضا فروزان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمود اشرفی زاده

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

بارالهی تو را سپاس می گویم که این فرصت را به من عطا فرمودی تا در مسیر علم و دانش که همانا راه توست قدمی هرچند کوچک بردارم و شیرینی آن را که آمیخته با عشق توست در وجودم احساس کنم.

پروردگارا تو را سپاس می گویم به خاطر پدر و مادری مهربان که خود سوختند تا شمعی فروزان بر سر راه پر مخاطره ی زندگی ام باشند و به راستی چه پاداشی جز لطف و رضایت تو ، شایسته عشق پاکشان است.

از جناب آقای دکتر فرزین به خاطر راهنمایی های بسیار سازنده و راه گشایشان نهایت تشکر و قدر دانی را دارم.

در پایان از تمام اساتید دانشکده ی مکانیک ، به خصوص آقای دکتر سلیمی و آقای دکتر فروزان که زحمت مطالعه و بررسی این پایان نامه را بر عهده گرفتند تشکر و قدردانی می نمایم.

تقدیم می کنم به پدر و مادر عزیزم که هر چه دارم از دعای خیر آنهاست.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات , ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	۲
۱-۱ تاریخچه فرآیند اسپینینگ و روشهای مختلف آن	۲
۱-۲ شکل دادن برشی	۵
۱-۳ شکل دهی سیلانی	۶
۱-۳-۱ شکل دهی سیلانی به طور مستقیم	۶
۱-۳-۲ شکل دهی سیلانی به طور معکوس	۷
۱-۴ شکل دهی سیلانی از سطح داخلی	۷
۱-۵ اسپینینگ لوله	۸
۱-۶ روند ارائه مطالب در این پایان نامه	۹
فصل دوم : فرآیند شکل دهی سیلانی	۱۰
۲-۱ معرفی فرآیند	۱۰
۲-۳ پارامترهای مستقل در فرآیند شکل دهی سیلانی	۱۳
۲-۳ آماده کردن پیش فرم ها	۱۴
۲-۴ انواع روش های شکل دهی سیلانی	۱۵
۲-۴-۱ شکل دادن سیلانی به طور معکوس	۱۶
۲-۴-۲ شکل دادن سیلانی به طور مستقیم	۱۶
۲-۵ قابلیت شکل پذیری	۱۷
۲-۶ معایب فرآیندهای شکل دهی سیلانی	۱۸
۲-۷ اعوجاج در قطعه کار	۱۹
۲-۸ انواع تغییرات ظاهری در اثر عیوب	۲۰
۲-۹ اثرات عملیات شکل دهی سیلانی بر خواص فلزی	۲۱
۲-۱۰ نتایج برخی تحقیقات در زمینه‌ی طراحی غلتک	۲۲
۲-۱۱ نتایج برخی تحقیقات در مورد عیوب احتمالی در فرآیند شکل دهی سیلانی	۲۳
فصل سوم : فرآیند اسپینینگ لوله	۲۵

۳-۱ معرفی فرآیند ۲۵
۳-۲ پارامترهای مستقل در فرآیند اسپینینگ لوله ۲۶
۳-۳ چند نمونه ازقطعاتی که به روش اسپینینگ لوله قابل تولیدند و بررسی مطالعات علمی در زمینه اسپینینگ لوله ۲۷
فصل چهارم : شبیه سازی فرآیند های شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله بوسیله نرم افزار ABAQUS ۳۸
۴-۱ مقدمه ۳۸
۴-۲-۲ حل صریح در نرم افزار ABAQUS ۳۹
۴-۳ شبیه سازی فرآیند شکل دهی سیلانی با نرم افزار ABAQUS ۴۰
۴-۴ شبیه سازی فرآیند اسپینینگ لوله جدار ضخیم ۵۳
۴-۵ تعیین صحت روش المان محدود استفاده شده ۵۹
فصل پنجم : طراحی فرآیند شکل دهی سیلانی به روش المان محدود ۶۴
۵-۱ مقدمه ۶۴
۵-۲ طرح مسأله ۶۴
۵-۳ غلتک ۶۵
۵-۴ میزان کاهش ضخامت ۷۲
۵-۵ قطر غلتک ۷۴
۵-۶ سرعت دورانی قطعه ۷۶
۵-۷ سرعت پیش روی غلتک ۷۷
۵-۸ بالانس کردن نیروهای وارد بر سه غلتک ۷۸
۵-۹ بررسی اندازه المان استفاده شده در شبیه سازی فرآیند شکل دهی سیلان ۸۱
فصل ششم : بهینه سازی فرآیند اسپینینگ لوله ۸۴
۶-۱ مقدمه ۸۴
۶-۲ طرح مسأله ۸۴
۶-۳ بررسی شرایط شکل دهی فرآیند اسپینینگ لوله های جدار ضخیم ۸۵
۶-۴ بررسی اندازه المان استفاده شده در شبیه سازی فرآیند اسپینینگ لوله ۸۹
۶-۵ بهینه سازی فرآیند اسپینینگ لوله ۹۱
۶-۵-۱ بالانس کردن نیرو ها بین مراحل شکل دهی ۹۱
۶-۵-۲ ناپایداری فرآیند اسپینینگ لوله ۹۳
۶-۵-۳ تعداد مراحل شکل دهی (N) ۹۳
۶-۵-۴ سرعت دورانی اسپیندل (n) ۹۹

۶-۵-۴ سرعت پیشروی غلتک (f) ۱۰۲

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۴

مراجع ۱۰۶

چکیده

فرآیند اسپینینگ یک روش تولید بدون براده برداری برای شکل دهی اجسام متقارن و نامتقارن محوری می باشد. این روش یک فرآیند فرم دهی پلاستیک نقطه ای بوده و طی آن یک صفحه تخت و یا یک قطعه کار استوانه ای با حرکت محوری و شعاعی و یا فقط محوری ابزار به شکل مورد نظر فرم داده می شود. اسپینینگ یک روش تولید اقتصادی , مؤثر و متنوع است. اسپینینگ را می توان به ۳ دسته ی عمده تقسیم نمود : شکل دهی برشی , شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله.

در این پایان نامه از روش های شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله برای تولید قطعه ی مورد نظر استفاده می شود. برای طراحی فرآیند شکل دهی سیلانی و بهینه سازی فرآیند اسپینینگ لوله از شبیه سازی المان محدود استفاده می شود. روش شبیه سازی این فرآیندها با نرم افزار ABAQUS به طور کامل شرح داده شده است. نتایج تئوری و عملی ثبت شده در مقاله ها و کتاب های مختلف در مورد فرآیندهای شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله نیز شرح داده می شوند که می توانند در طراحی این فرآیندها به کار آیند.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تاریخچه فرآیند اسپینینگ و روشهای مختلف آن :

بنا بر اسناد و مدارک تاریخی، اسپینینگ فلزات از روزگار مصریان باستان شناخته شده بود و برای ساخت بشقاب‌های نقره ای از آن استفاده می‌شد. اما گفته می‌شود که پایه‌های اصلی صنعت اسپینینگ فلزات در ابتدای قرن دهم میلادی توسط چینی‌ها بنا نهاده شده است. از آن زمان سال‌های زیادی گذشت تا این فرآیند به جهان غرب آورده شد. این صنعت برای اولین بار در زمان سلطنت ادوارد سوم وارد انگلستان شد. پس از یک دوره‌ی پانصد ساله، در حدود سال ۱۸۴۰ میلادی فردی به نام جردن این صنعت را به آمریکا برد [۱]. برخی ظروف بدست آمده بوسیله ی باستان شناسان نشان می دهد که در قرون وسطی نیز ازخمکاری دستی برای تهیه ظروف فلزی استفاده می کردند. روش کار بدین صورت بودکه صنعتگر بوسیله یک قالب چوبی ، ظرف فلزی را شکل می داد. نیروی محرکه ماشین که شکل مورد نظر بوسیله آن تولید می شد بوسیله شخص دیگری تأمین می گردید. شخص ثالث با چرخاندن یک چرخ بزرگ و انتقال این حرکت توسط یک زنجیر به محور ماشین مورد نظر ، قالب را به حرکت در می آورد و عملیات شکل دادن فلز صورت می گرفت [۲]. طی سال‌های متمادی فرآیند اسپینینگ فلزات روشی غیر قابل تغییر باقی ماند. در آن سال‌ها اصولاً از فلزات نرم مانند آلومینیم، مس، ورشو و آن هم با ضخامت‌های کم برای اسپینینگ استفاده

می‌شد و فلزات سخت و ورق‌های ضخیم را نمی‌توانستند توسط اسپینینگ شکل‌دهی نمایند. کم‌کم با گسترش نیازهای صنعت به قطعات متقارن توخالی و دقیق‌تر از نظر ابعادی، این فرآیند نیز روند تکاملی خود را طی‌نمود. متعاقباً در طراحی دستگاه های اسپینینگ وظیفه‌ی هدایت ابزارهای شکل دهی به جای دست اپراتور به عهده‌ی تجهیزات مکانیکی گذاشته‌شد و به این ترتیب اولین پایه‌های نوع دیگری از این فرآیند به نام اسپینینگ ماشینی یا قدرتی گذاشته‌شد. به وسیله‌ی این فرآیند امکان اسپینینگ فلزات سخت‌تر و با ضخامت بیشتر وجود داشت [۳].

این روش درسال ۱۸۴۰در آمریکا برای تولید قطعاتی از جنس طلا ، نقره ، ظروف مفروغی و کاسه بکار گرفته شد و در اواخر قرن برای ساخت قطعات لوسترو آشپزی بکار می رفت. قبل از جنگ جهانی اول فقط فلزات غیر آهنی نرم با روش خمکاری دستی فرم داده می شد اما از سال ۱۹۲۰به بعد خصوصاً در سالهای جنگ جهانی دوم پیشرفت زیادی در فرآیند اسپینینگ فلزات بوجود آمد و امکان شکل دادن قطعات سخت تر و بزرگتر فراهم گردید [۴].

در طول سال‌های اخیر فرآیند اسپینینگ به طور هم‌زمان در چندین کشور از جمله سوئد ، آلمان ، انگلستان ، ژاپن و ایالات متحده‌ی آمریکا توسعه‌ی فراوانی یافت و در پی آن روش‌های دیگری از این نوع فرآیند مانند شکل‌دهی برشی و شکل دهی سیلانی معرفی شدند. با پیشرفت شگفت‌انگیز موتور توربین گازی هواپیماها، نیاز به فرآیندهای اسپینینگ و دیگر فرآیندهای مرتبط با آنها برای تولید قطعات مورد نیاز بیش از پیش احساس‌شد و این مسئله عامل بسیار مهمی در پیشرفت و توسعه‌ی این فرآیندها شد. دقت ابعادی قطعات تولیدی و اقتصادی‌بودن این فرآیندها دو عامل بسیار مهم در گسترش گرایش به استفاده از این فرآیندها در صنایع مختلف به ویژه صنایع هوافضایی بود. متقابلاً به علت اهمیت صنایع هوافضایی و نیز صنایع تسلیحاتی برای قدرت‌های جهانی گسترش و توسعه‌ی فرآیندهای اسپینینگ روند فزاینده‌ای پیدا کرد، به گونه ای که امروزه تولید تسلیحات پیشرفته و کلیدی مانند موتور موشک‌ها بدون استفاده از فرآیندهای اسپینینگ ممکن نیست.

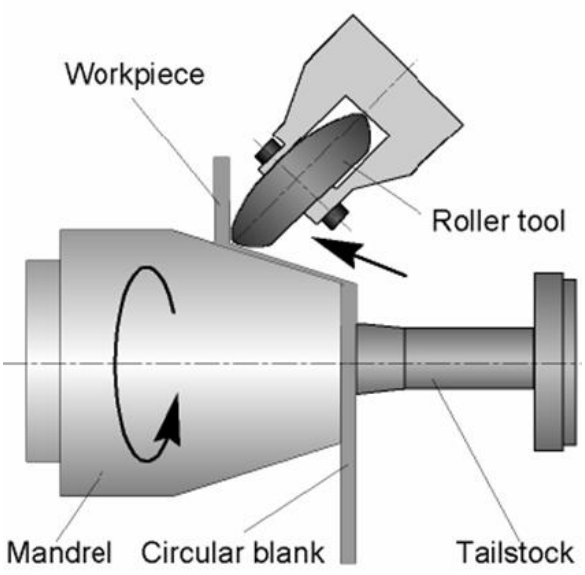
شکل ۱-۱) نمونه‌ای از قطعات دقیق مورد مصرف در صنایع هوافضا که به روش اسپینینگ ساخته‌شده‌اند.

البته امروزه با حساس‌شدن نقش اقتصاد در معادلات قدرت در جهان ، استفاده از این فرآیندها در سایر صنایع نیز رو به افزایش است، به عنوان مثال بسیاری از قطعات خودروها مانند قطعاتی از کلاچ یا چرخ توسط این فرآیندها تولید می‌شوند. امروزه بیشتر تجهیزات و ماشین‌آلاتی که برای این روش‌ها و برای تولید قطعات دقیق‌تر صنایع بکار برده‌می‌شوند به امکانات کنترل‌کننده‌های عددی، با قابلیت‌های برنامه پذیری پیشرفته مجهز شده‌اند. یکی از مهمترین و حساس‌ترین نوع از این فرآیندها ، فرآیند شکل دهی سیلانی می-باشد.

با وجود پیشرفت بسیار زیاد در این صنعت و ساخت دستگاههای مدرن چند منظوره ، این فرآیند در اغلب نقاط ایران به روشهای قدیمی صورت می گیرد؛ لیکن خوشبختانه در چند کارخانه نظیر ماشین سازی اراک ، صنایع دفاع و تولید قطعات خودرو از ماشین آلات نسبتاً پیشرفته تر نیز استفاده می شود. بالا رفتن قیمت مواد اولیه و عدم دسترسی به آنها صاحبان صنایع را بر آن داشته تا روشهای تولید خود را مورد تجدید نظر قرار داده و روش های جدیدی را جانشین روشهای قدیمی کنند. با توجه به اهمیت این روش در بین انواع روش‌های ساخت و مزیت‌های مهم آن و نیز کاربردهای حساس آن در صنایع نظامی و غیرنظامی، شناخت و توسعه‌ی این فرآیند در کشور ما باید بیشترمورد توجه قرار بگیرد [۵].

۱-۲ شکل دهی برشی

شکل دادن برشی برای چرخکاری اشکال مخروطی یا نیمکره ای شکل بکار می رود و با حرکت محوری - شعاعی غلتک ها , گرده به شکل قالب تبدیل می شود.



شکل ۱-۳) فرایند شکل دادن برشی

این فرآیند برای اولین بار در کشور سوئد بکار رفت. در چرخکاری , دیواره ی محصول نهایی در مقایسه با گرده ی اولیه کاهش ضخامت می دهد که کاهش ضخامت آن از قانون سینوس ها پیروی می نماید. در این روش از گرده با ضخامت های بالا تر نیز می توان استفاده نمود. در صورتی که گرده استعداد کار سختی داشته باشد می توان در حین انجام فرآیند از حرارت نیز استفاده نمود.

۱-۳ شکل دهی سیلانی

این فرآیند برای کاهش ضخامت اشکال استوانه ای بکار می رود. در این حالت از دو یا سه غلتک با اشکال خاص استفاده می شود. میزان تغییر فرمی که بدست می آید با فرآیند های دیگر امکان پذیر نیست. شکل دهی سیلانی را از نظر نوع عملیات می توان به سه دسته تقسیم نمود :

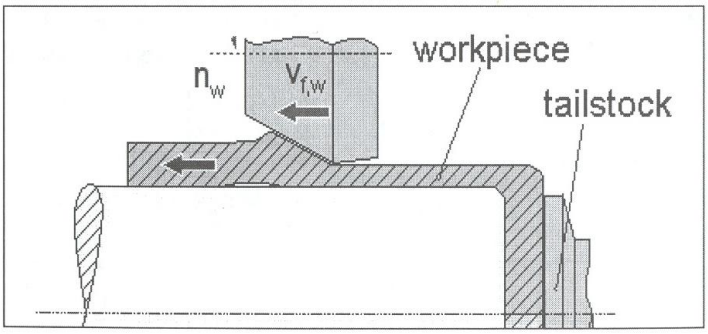
۱.شکل دهی سیلانی به طور مستقیم[۱]

۲.شکل دهی سیلانی به طور معکوس[۲]

۳.شکل دهی سیلانی از سطح داخلی[۳]

۱-۳-۱ شکل دهی سیلانی به طور مستقیم

در این روش جریان ماده به سمت جلو و در جهت حرکت قلم است. این فرآیند سال ها برای کاهش ضخامت لوله ها بکار رفته است. از مزایای عمده ی آن این است که براحتی می توان طول لوله را کنترل نمود و کیفیت سطح قطعه تمام شده اغلب مطلوب است و بستگی به کیفیت سطحی قالب دارد.



شکل ۱-٤) در فلوفرمینگ مستقیم لوله جهت جریان فلز با جهت حرکت غلتک یکی است.

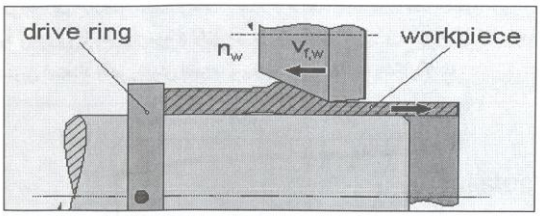
[1] Forward Flow Forming

[2] Reverse Flow Forming

[3] Internal Flow Forming

۱-۳-۲ شکل دهی سیلانی به طور معکوس

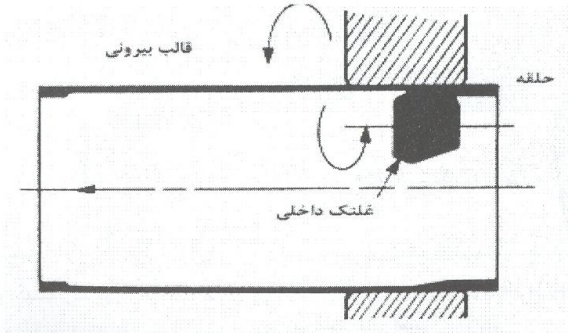
در این حالت جریان فلز در جهت عکس حرکت قلم و معمولاً به طرف نگه دارنده یا مرغک می باشد. این روش برای تولید مستقیم سیلندر های جدار نازک بکار می رود. مهمترین مزیت این روش نسبت به روش قبل آنست که در این حالت قلم مسیر کوتاهتری را حین فرآیند طی می کند که باعث کوتاهتر شدن زمان تولید می شود. این روش برای شکل دادن قطعاتی که فرم پذیری محدودی دارند (مانند قطعات ریختگی) مناسب است.



شکل ۱-۵) در فلوفرمینگ معکوس لوله جهت جریان مواد و حرکت غلتک عکس یکدیگر است.

۱-۴ شکل دهی سیلانی از سطح داخلی

اسپینگ داخلی لوله یا به تعبیری دیگر اکستروژن غلتکی شبیه به اسپینینگ مستقیم یا معکوس لوله می‌باشد ولی برخلاف دو روش قبلی، روی قطر داخلی قطعه کار عملیات شکل‌دهی صورت می‌پذیرد. دو یا سه غلتک ، فشار تغییر شکل‌دهنده را به سطح داخلی لوله اعمال می‌کنند. در این روش مجموعه ابزار شامل یک قالب استوانه‌ای خارجی است که توسط یک سیستم روی قطعه‌کار کشیده می‌شود ؛ شکل (۱-٦). در این روش هنگامی که غلتک‌ها به آرامی روی قطعه کشیده می‌شوند، فلز بین غلتک‌ها و قالب خارجی، در خلاف جهت غلتک‌ها (مانند روش معکوس) جریان پیدا می‌کند. اسپینینگ داخلی لوله هم به روش عمودی و هم به روش افقی انجام می‌گیرد.

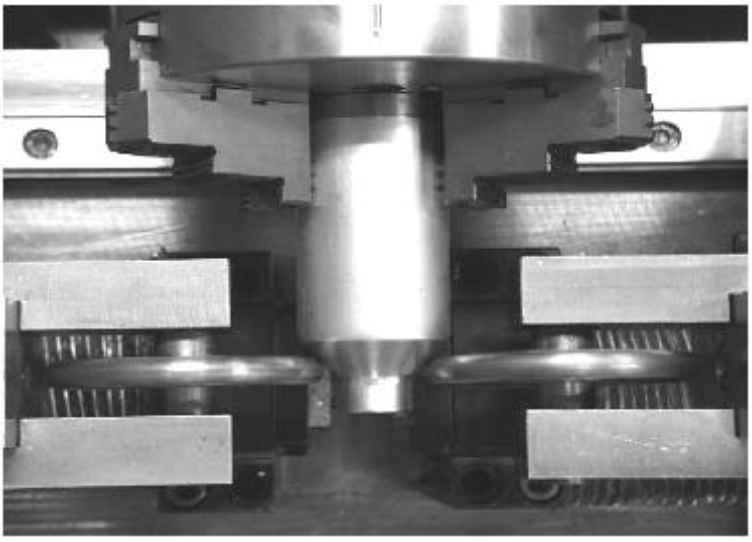


شکل ۱-٦) نمایی از شکل دهی سیلانی داخلی لوله

۱-۵ اسپینینگ لوله

فرآیند اسپینینگ لوله برای شکل دهی لوله ها بدون نیاز به قالب یا مندرل می باشد. در این فرآیند سطح داخلی لوله نیز تغییر شکل می دهد. مقطع غلتک معمولاً به شکل نیم دایره است ؛ غلتک با حرکت محوری و شعاعی یا با حرکت کمانی طی چند مرحله شکل دهی را انجام می دهد. تنوع قطعات تولیدی با روش اسپینینگ لوله بسیار زیاد است. تولید این قطعات با روش های شکل دهی دیگر مانند فورج هزینه ی بسیار بیشتری دارد زیرا نیروی شکل دهی بسیار بیشتر است. برای تولید مخازن یک تکه (بستن درب مخازن) , دماغه ای کردن[1] انتهای لوله و تولید های بسیار زیاد دیگر از این فرآیند استفاده می شود. اسپینینگ لوله دارای مزایای بسیاری است : عملیات تولید کم , تنوع در ساخت قطعات با شکل متقارن و نا متقارن , نیروی کم برای شکل دهی , ...

وزن محصولات صنعتی در حال کم شدن است تا اتلاف انرژی ومنابع طبیعی کاهش یابد. لوله نسبت به وزنی که دارد دارای مقاومت خمشی و پیچشی بالایی است , بنابراین کاربرد قطعات لوله ای در زمینه های مختلف صنعت , در حال افزایش است.



شکل ۱-۷) اسپینینگ لوله

[1] Nosing

۱-۶ روند ارائه مطالب

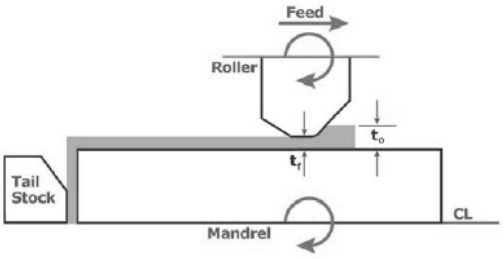
روند ارائه مطالب در این پایان نامه به این صورت است که در فصل اول پس از اشاره به تاریخچه فرآیند اسپینینگ , توضیح مختصری از انواع روش های اسپینینگ بیان شد. در فصل های دوم و سوم , فرآیند های شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرند. در فصل چهارم به مختصری از تئوری روش حل المان محدود صریح اشاره می شود و پس از آن نحوه ی شبیه سازی المان محدود فرآیند های شکل دهی سیلانی و اسپینینگ لوله به طور کامل شرح داده می شود. در فصل پنجم پس از طرح مسأله , نحوه ی طراحی پارامترهای لازم برای انجام فرآیند شکل دهی سیلانی تشریح می شود و در فصل ششم , پس از طرح مسأله , نحوه ی بهینه سازی پارامترهای لازم برای انجام فرآیند اسپینینگ لوله شرح داده می شود.

فصل دوم

فرآیند شکل دهی سیلانی

۲-۱ معرفی فرآیند

برای تولید قطعات استوانه ای که نیاز به دقت بالا دارند , فرآیند شکل دهی سیلانی بسیار مناسب و اقتصادی است. سال هاست که این فرآیند در تولید قطعات نظامی و صنایع هوا فضا استفاده می شود. در این فرآیند یک قطعه ی پیش فرم دار با ابعاد دقیق که متناسب است با ابعاد نهایی قطعه بر روی یک مندرل استوانه ای قرار می گیرد. غلتک ها با پروفیل مشخص و با فاصله ی دقیق نسبت به یکدیگر روی قطعه قرار می گیرند و قطعه را شکل می دهند. در طی این فرآیند ضخامت لوله کاهش یافته و طول آن افزایش می یابد ، قلم ها می توانند در جهت جریان فلز و یا در جهت خلاف آن حرکت کنند به علاوه قلم می تواند در سطح داخلی و یا روی سطح خارجی لوله حرکت کند.



شکل ۲-۱) شکل دادن سیلانی به طور مستقیم

علاوه بر اقتصادی بودن فرآیند شکل دهی سیلانی , خـواص مکـانیکی مـاده نیـز بهبـود مـی یابـد. البتـه بهبود خواص مکانیکی بستگی به جنس قطعه کار ، میزان تغییر شکل و درجه حـرارت دارد و در حالـت کلـی استحکام و سختی افزایش یافته و قابلیت فرم پذیری کاهش می یابد . در بعضی موارد احتیـاج بـه تـنش گیـری و عملیات حرارتی داریم.

حداکثر میزان کاهش ضخامت چند فلز در جدول(۲-۱)آمده است.

جدول ۲-۱) حداکثر میزان کاهش ضخامت چند فلز [۷]

Material	Reduction in wall (%)
Carbon Steel 1010 HR	50
Carbon Steel 1020 CR	65
Carbon Steel 1045	70
Alloy Steel	91
Steel 4130	80
Stainless Steel 304	80
Titanium Alloy	80

تمام فلزات نرم برای این فرآیند مناسبند و فلزات سخت تا حـدود 55 RC را نیـز میتـوان بـا ایـن روش فرم داد [۶]. در اکثر موارد برای شکل دادن نیازی بـه حـرارت دادن نیسـت. مقـدار کاهشـی کـه مـی تـوان در دیواره ایجاد کرد بدون اینکه آنیل میانی نیاز باشد در جدول (۲-۲) آمده است.