دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی مکانیک
گروه ساخت و تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی پروفیل غلتک‌ها برای مقطع کانالی شکل با سطح مقطع متغیر در فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر

بهنام عباس زاده

استاد راهنما:
دکتر حسن مسلمی نائینی

استاد مشاور:
دکتر مهدی سلمانی تهرانی
(دانشگاه صنعتی اصفهان)

اسفند ۹۲

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای بهنام عباس زاده پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان طراحی پروفیل غلتك ها برای مقطع کانالی شکل با سطح مقطع متغیر در فرایند شکل دهی غلتکی انعطاف پذیر در تاریخ ١٣٩٢/١٢/٢٤ 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 مهدی سلمانی تهرانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل معصومی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر امیر حسین بهروش	دانشیار	

« آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس»

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

« اینجانب بهنام عباس‌زاده دانشجوی دوره روزانه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید ورودی سال ۱۳۹۰ متعهد می‌شوم کلِیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ:

«آیین نامه چاپ پایان‌نامه رساله‌های دانشجویان دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس»

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (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 پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نگارنده در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حسن مسلمی نائینی و مشاوره جناب آقای دکتر مهدی سلمانی تهرانی(دانشگاه صنعتی اصفهان) دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) 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 را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدییه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب بهنام عباس‌زاده دانشجوی دوره روزانه مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

امضا:

تاریخ:

تقدیم به تمام کسانی که دوستشان دارم.

سپاس‌گزاری

از راهنمایی‌های ارزشمند و حمایت‌های بی‌دریغ جناب آقای دکترحسن مسلمی نائینی که دلسوزانه حقیر را در انجام این پایان‌نامه هدایت فرمودند و نیز مشاوره‌های راه‌گشای جناب آقای دکتر مهدی سلمانی تهرانی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، در انجام این پایان‌نامه کمال سپاس‌گزاری را دارم.

از همفکری و همکاری آقایان مهندس محمد مهدی کسائی و مهندس مهران محمدی که کار طراحی دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر با همکاری آن‌ها صورت پذیرفت و همچنین از آقایان مهندس سید جلال هاشمی، امیر روحی، بهروز شیرانی، وحید زال و سایر دوستان خوبم در آزمایشگاه شکل‌دهی فلزات دانشگاه تربیت مدرس، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از جناب آقای مهندس رضا ذوالقدر، مدیرعامل شرکت فنی مهندسی ذوالقدر، که در ساخت دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ما را یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

چکیده

با استفاده از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد، تنها می‌توان پروفیل‌های با سطح مقطع عرضی ثابت تولید کرد درصورتیکه، صنایع ساختمان‌سازی و خودروسازی به پروفیل‌هایی با سطح مقطع عرضی متغیر نیاز دارند. هزینه‌ی بالا و محدودیت ابعادی تولید این محصولات با فرآیند کشش عمیق، سبب شده است که در سال‌های اخیر ایده‌ی بکارگیری فرآیند شکل‌دهی غلتکی برای تولید این نوع قطعات مطرح گردد که به نام فرآیند شکل‌دهی غلتکی قطعات با مقطع عرضی متغیر یا فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر مشهور است.

در این پایان‌نامه، روشی برای طراحی مناسب پروفیل غلتک‌ها برای مقطع کانالی‌شکل با سطح مقطع متغیر در ایستگاه‌های مختلف فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر تدوین شده‌است. پس از مطالعه بر روی عیوبی که در این فرآیند مشاهده می‌شوند، با بررسی و کنترل عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه و عیب تابیدگی کف پروفیل، طراحی غلتک‌های شکل‌دهی انجام شده است. بررسی این عیوب بوسیله‌ی شبیه‌سازی اجزای محدود در نرم‌افزار مارک منتات انجام گردیده‌است. در اینجا، پارامتری به‌نام نسبت انحراف لبه تعریف گردیده و به‌همراه مقدار عیب تابیدگی کف پروفیل، بعنوان معیارهای طراحی غلتک‌ها در نظر گرفته‌شده‌است. طراحی آزمایش به‌روش رویه‌ی پاسخ، جهت تعیین رابطه‌ی ریاضی بین معیارهای طراحی فوق و قطر و زاویه غلتک انجام گرفته است. با تعیین مقدار مجاز برای عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه توسط طراح، قطر و زاویه‌ی بهینه برای غلتک به‌دست آمد.

روش ارائه‌شده جهت طراحی پروفیل غلتک‌های شکل‌دهی برای یک پروفیل با مقطع کانالی‌شکل استفاده‌شده و کارکرد آن مورد بررسی قرار گرفته‌است. ملاحظه گردید این روش، توانایی طراحی پروفیل غلتک‌ها جهت تولید پروفیلی با دقت ابعادی موردنظر را دارا می‌باشد. برای انجام آزمون‌های تجربی، دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر، در یک ایستگاه شکل‌دهی، طراحی و ساخته شد. مقایسه‌ی نتایج آزمون‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های اجزای محدود، صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده را نشان دادند.

واژگان کلیدی: شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر، طراحی پروفیل غلتک، طراحی آزمایش به روش رویه‌ی پاسخ، روش اجزای محدود

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل ۱ ..... ۸

۱-۱- معرفی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۹

۱-۲- انواع محصولات قابل تولید به روش شکل‌دهی غلتکی ۱۰

۱-۳- مزایای استفاده از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۱۲

۱-۴- محدودیتهای استفاده از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۱۳

۱-۵- مشخصات فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۱۳

۱-۶- طراحی الگوی گل پروفیل ۱۴

۱-۷- معرفی فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۱۴

۱-۷-۱- مقدمه ۱۴

۱-۷-۲- معرفی برخی عیوب فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۱۸

۱-۷-۲-۲- تابیدگی کف پروفیل ۱۹

۱-۷-۲-۳- انحراف از موقعیت مطلوب لبه ۲۰

۱-۷-۲-۴- چین‌خوردگی لبه ۲۱

۱-۸- ساختار این پایان‌نامه ۲۱

فصل ۲ ..... ۲۲

۲-۱- مروری بر پژوهش‌های پیشین در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۲۳

۲-۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین در فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۲۵

۲-۳- جمع‌بندی و تحلیل پژوهش‌های پیشین ۳۰

۲-۴- اهداف این پایان‌نامه ۳۰

فصل ۳ ..... ۳۲

۳-۱- مشخصات پروفیل با سطح مقطع متغیر و غلتک‌های شکل‌دهی ۳۳

۳-۲- مدل‌سازی اجزای محدود ۳۴

۳-۲-۱- ورق ۳۵

۳-۲-۱-۱- هندسه‌ی ورق ۳۵

۳-۲-۱-۲- شبکه‌بندی ورق ۳۵

۳-۲-۱-۳- المان انتخاب‌شده برای ورق ۳۶
۳-۲-۱-۴- جنس ورق ۳۶
۳-۲-۲- غلتک‌های شکل‌دهی ۳۷
۳-۲-۳- نحوه‌ی چینش مدل در ابتدای شبیه‌سازی ۳۷
۳-۲-۴- شرایط مرزی ۳۸
۳-۳- شبیه‌سازی اجزای محدود در نرم‌افزار مارک منتات ۳۸
فصل ۴ ..... ۴۰
۴-۱- طراحی و ساخت دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر تک ایستگاهی ۴۱
۴-۱-۱- طراحی سازوکار حرکت اصلی ۴۱
۴-۱-۲- طراحی سازوکار کشنده ی ورق ۴۳
۴-۱-۳- ساخت، سرهم‌بندی و نصب دستگاه ۴۵
۴-۱-۴- طراحی و تدوین نرم‌افزار کنترل ۴۶
۴-۱-۵- غلتک‌های شکل‌دهی ۴۷
۴-۲- مشخصات ورق‌ها ۴۸
۴-۲-۱- آماده‌سازی ورق‌ها برای شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۴۸
۴-۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمون کشش تک‌محوری ۴۹
۴-۳- آزمون‌های تجربی شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۵۱
۴-۴- اندازه‌گیری عیب تابیدگی کف پروفیل ۵۲
۴-۵- اندازه‌گیری عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه ۵۳
فصل ۵ ..... ۵۶
۵-۱- بررسی صحت شبیه‌سازی‌های اجزای محدود ۵۷
۵-۱-۱- مقایسه‌ی مقدار عیب تابیدگی کف پروفیل ۵۷
۵-۱-۲- مقایسه‌ی مقدار عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه ۵۸
۵-۲- انتخاب معیارهای طراحی پروفیل غلتک‌ها ۶۲
۵-۲-۱- بررسی تأثیر پارامترهای طراحی غلتک بر دقت ابعادی پروفیل ۶۲
۵-۲-۲- نسبت انحراف لبه ۶۵
۵-۲-۳- مقدار عیب تابیدگی کف پروفیل ۶۶
۵-۳- راهبرد طراحی پروفیل غلتک‌ها در این پایان‌نامه ۶۶

۵-۴- طراحی آزمایش ۶۷
۵-۴-۱- طراحی آزمایش به روش رویه‌ی پاسخ ۶۷
۵-۵- روندنمای فرآیند طراحی پروفیل غلتک‌ها ۷۰
۵-۶- مطالعه‌ی موردی برای یک پروفیل با مقطع کانالی شکل ۷۲
۵-۶-۲- طراحی پروفیل غلتک‌ها برای ایستگاه اول شکل‌دهی ۷۲
۵-۶-۳- طراحی پروفیل غلتک‌ها برای ایستگاه دوم شکل‌دهی ۷۴
۵-۶-۴- طراحی پروفیل غلتک‌ها برای ایستگاه سوم شکل‌دهی ۷۶
۵-۶-۵- طراحی پروفیل غلتک‌ها برای ایستگاه چهارم شکل‌دهی ۷۷
۵-۶-۶- مقایسه‌ی نتایج بدست آمده با نتایج یک روش دیگر ۸۰
فصل ۶ ..... ۸۱
۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۲
۶-۲- پیشنهادهایی برای ادامه کار ۸۳

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ : نمایی از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ۹
شکل ۱-۲ شمایی از الگوی گل یک مقطع کانالی شکل ۱۰
شکل ۱-۳ نمونه‌ای از پروفیل‌های تولیدشده به روش شکل‌دهی غلتکی سرد ۱۱
شکل ۱-۴ فرآیند شکل‌دهی مجدد از یک مقطع گرد ۱۲
شکل ۱-۵ ترکیب عملیات شکل‌دهی غلتکی سرد با عملیات پانچ ۱۳
شکل ۱-۶ پانل‌های با مقطع عرضی متغیر تولیدشده به روش شکل‌دهی غلتکی سه‌بعدی ۱۵
شکل ۱-۷ نمودار ممان حاصل از یک بار گسترده(چپ) و پروفیل‌های طراحی‌شده بر اساس بار(راست) ۱۶
شکل ۱-۸ نمونه‌هایی از قطعات خودرو با سطح مقطع‌های متغیر ۱۶
شکل ۱-۹ تعدادی از پروفیل‌های دارای مقطع عرضی متغیر ۱۷
شکل ۱-۱۰ (الف): یک پروفیل با سطح مقطع متغیر (ب): نمای بالا از چرخش و جابجایی غلتک‌های شکل‌دهی در سه زمان متوالی برای نیمی از ورق ۱۸
شکل ۱-۱۱ قسمت‌های کششی و فشاری و کرنش‌های خمیری در ناحیه‌ی انتقال ۱۹
شکل ۱-۱۲ نمایی از عیب تابیدگی کف پروفیل در ناحیه‌ی انتقال ۲۰
شکل ۱-۱۳ نمایش عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه در ناحیه‌ی انتقال ۲۰
شکل ۱-۱۴ نمای بالا از چین‌خوردگی لبه‌ی پروفیل ۲۱
شکل ۲-۱ یک نمونه از الگوی گل تحلیل شده بوسیله‌ی برنامه‌ی "Shape-RF" ۲۳
شکل ۲-۲ ورق ترسیم شده با تابع شکل کیوچی ۲۴
شکل ۲-۳ یک واحد سیستم کنترل در دستگاه شکل‌دهی غلتکی هوشمند ۲۶
شکل ۳-۱ مشخصات مقطع کانالی‌شکل با عرض متغیر و نیمی از ورق پیش‌بریده‌شده ۳۳
شکل ۳-۲ مشخصات هندسی غلتک بالایی و پایینی ۳۴
شکل ۳-۳ شبکه بندی ورق ۳۶
شکل ۳-۴ نمایی از چینش غلتک‌ها و ورق در یک شبیه‌سازی تک‌ایستگاهی ۳۷
شکل ۳-۵ نمایی از شبیه‌سازی اجزای محدود فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۳۹
شکل ۴-۱ نمایی از نحوه‌ی حرکت غلتک‌ها در حین شکل‌دهی برای نیمی از پروفیل. جهت حفظ تعامد محور غلتک‌ها با خط خم پروفیل غلتک‌ها بایستی حرکت خطی و چرخشی داشته باشند. ۴۱

شکل ۴-۲ سازوکار دوبازویی بکارگرفته‌شده جهت ایجاد حرکت خطی و دورانی غلتک‌ها ۴۲
شکل ۴-۳ مدل سه‌بعدی دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار کتیا ۴۳
شکل ۴-۴ مدل سه‌بعدی سازوکار کشنده ی ورق در نرم‌افزار کتیا ۴۴
شکل ۴-۵ مدل سه‌بعدی دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر و سازوکار کشنده ی ورق و نحوه‌ی نصب آن‌ها نسبت به یکدیگر در نرم‌افزار کتیا ۴۴
شکل ۴-۶ دستگاه شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر نصب شده در دانشگاه تربیت مدرس ۴۵
شکل ۴-۷ صفحه‌ی ارتباط با کاربر نرم‌افزار کنترل تدوین شده ۴۷
شکل ۴-۸ نمایی از غلتک‌های شکل‌دهی ساخته‌شده و مشخصات هندسی آن‌ها ۴۸
شکل ۴-۹ مدل هندسی ورق‌های پیش بریده‌شده ۴۹
شکل ۴-۱۰ نمونه‌های آماده‌سازی شده برای آزمون کشش تک‌محوری ۵۰
شکل ۴-۱۱ نمودار تنش حقیقی-کرنش پلاستیک حقیقی برای دو ضخامت ۵۰
شکل ۴-۱۲ نمونه‌هایی از پروفیل‌های با سطح مقطع متغیر تولید شده ۵۱
شکل ۴-۱۳ نمایی از نحوه‌ی انجام آزمون‌های تجربی ۵۲
شکل ۴-۱۴ نمایی از پروفیل های تولید شده جهت صحت سنجی نتایج شبیه سازی اجزای محدود ۵۲
شکل ۴-۱۵ نحوه‌ی اندازه‌گیری مقدار عیب تابیدگی کف پروفیل ۵۳
شکل ۴-۱۶ نحوه‌ی قرارگیری گیج بلوک‌های مقیاس ۵۴
شکل ۴-۱۷ نمایی از نرم‌افزار پردازش تصویر بکار گرفته‌شده برای تعیین موقعیت لبه‌ی پروفیل ۵۵
شکل ۵-۱ نحوه‌ی اندازه‌گیری مقدار عیب تابیدگی کف برای پروفیل ۱ ..... ۵۷
شکل ۵-۲ نمودار میزان جابجایی خط میانی کف پروفیل، حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود ۵۸
شکل ۵-۳ موقعیت مطلوب طزاحی‌شده برای لبه و انحراف آن در یک مقطع کانالی‌شکل ۵۹
شکل ۵-۴ نمایی از نمودار ترسیم موقعیت لبه در مراحل مختلف شبیه‌سازی برای پروفیل ۱ ..... ۶۰
شکل ۵-۵ نحوه‌ی اندازه‌گیری مقدار عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه برای پروفیل ۱ ..... ۶۰
شکل ۵-۶ نمودار انحراف از موقعیت مطلوب لبه برای پروفیل ۱ ..... ۶۱
شکل ۵-۷ نمودار انحراف از موقعیت مطلوب لبه برای پروفیل ۲ ..... ۶۱
شکل ۵-۸ نمودار انحراف از موقعیت مطلوب لبه برای شبیه‌سازی‌های دسته اول ۶۳
شکل ۵-۹ نمودار میزان جابجایی خط میانی کف پروفیل برای شبیه‌سازی‌های دسته اول ۶۳
شکل ۵-۱۰ نمودار انحراف از موقعیت مطلوب لبه برای شبیه‌سازی‌های دسته دوم ۶۴
شکل ۵-۱۱ نمودار میزان جابجایی خط میانی کف پروفیل برای شبیه‌سازی‌های دسته دوم ۶۴

شکل ۵-۱۲ نقاط طراحی در روش طراحی ترکیب مرکزی به ازای(تصویر چپ) دو متغیر ورودی و (تصویر راست) سه متغیر ورودی ۶۸
شکل ۵-۱۳ روندنمای فرآیند طراحی پروفیل غلتک‌ها در فرآیند شکل‌دهی غلتکی انعطاف‌پذیر ۷۱
شکل ۵-۱۴ نقاط بدست آمده از طراحی آزمایش برای انجام شبیه‌سازی‌های اجزای محدود در ایستگاه اول ۷۳
شکل ۵-۱۵ نمایی از شبیه‌سازی نهایی با چهار ایستگاه شکل‌دهی ۸۰

فهرست جدول‌ها

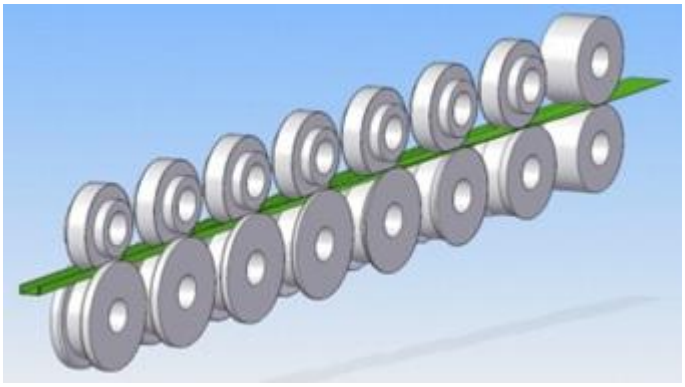
عنوان ..... صفحه
جدول ۳-۱ مشخصات هندسی ورق و پروفیل موردنظر ۳۵
جدول ۴-۱ مشخصات هندسی پروفیل‌های انتخاب شده برای آزمایش‌های تجربی ۴۹
جدول ۵-۱ مقدار عیب تابیدگی کف پروفیل در آزمون‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های اجزای محدود ۵۸
جدول ۵-۲ مقدار عیب انحراف از موقعیت مطلوب لبه در آزمون‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های اجزای محدود ۶۲
جدول ۵-۳ پارامترهای هندسی غلتک‌ها در شبیه‌سازی‌های اولیه ۶۳
جدول ۵-۴ مشخصات هندسی پروفیل موردنظر ۷۲
جدول ۵-۵ پارامترهای ورودی طراحی آزمایش ۷۲
جدول ۵-۶ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه اول و نسبت انحراف محاسبه‌شده ۷۳
جدول ۵-۷ نتایج پیش‌بینی شده و حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه اول ۷۴
جدول ۵-۸ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه دوم و نسبت انحراف محاسبه‌شده ۷۵
جدول ۵-۹ نتایج پیش‌بینی شده و حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه دوم ۷۶
جدول ۵-۱۰ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه سوم و نسبت انحراف محاسبه‌شده ۷۶
جدول ۵-۱۱ نتایج پیش‌بینی شده و حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه سوم ۷۷
جدول ۵-۱۲ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه چهارم و نسبت انحراف محاسبه‌شده ۷۸
جدول ۵-۱۳ نتایج پیش‌بینی شده و حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای ایستگاه چهارم ۷۹
جدول ۵-۱۴ زاویه و قطر بدست‌امده برای غلتک‌ها در ایستگاه‌های مختلف شکل‌دهی پروفیل مورد مطالعه ۷۹
جدول ۵-۱۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود برای حالت دو ایستگاهی و چهارایستگاهی ۸۰

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- معرفی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد

شکل‌دهی غلتکی سرد روشی برای ایجاد خم‌های پیوسته و متوالی در نوار فلزی است. این تغییر شکل‌ها بوسیله عبور دادن نوار از بین یک مجموعه غلتک‌های دوار ایجاد می‌شود. در این فرآیند، محصول یک نوار فلزی با پروفیل با سطح مقطع یکنواخت است. یک تفاوت مهم این فرآیند با نورد ثابت ماندن ضخامت در آن می‌باشد [۱] . شکل ۱-۱ نمایی از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ : نمایی از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد[۲]

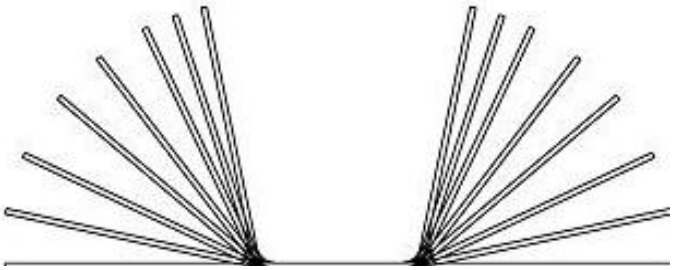
در این فرآیند غلتک‌ها طوری طراحی می‌شوند که جریان پیوسته و ملایم فلزی از یک مرحله به مرحله بعدی را فراهم کنند که این امر در بیشتر فرآیندهای شکل‌دهی فلزات دیده نمی‌شود. به طور کلی هر چه شکل مقطع پیچیده تر باشد ، برای انجام عملیات شکل دهی به تعداد مراحل تغییر شکل بیشتری نیاز است. در هر مرحله‌ی شکل‌دهی حداقل دو غلتک وجود دارد که ایستگاه را تشکیل می‌دهند[۳].

در این فرآیند هر جفت غلتک شکل‌دهی نصب شده بر روی ماشین شکل‌دهی، نقش ویژه‌ای را در ایجاد سطح مقطع و شکل طولی مورد نیاز محصول بازی می‌کند. عموماً تعداد غلتک‌ها و شکل هر جفت از غلتک‌ها تنها به پیچیدگی هندسه محصول بستگی ندارد، بلکه به ابعاد و خصوصیات مکانیکی ورق شکل داده شده نیز بستگی دارد[۴].

توان غلتک‌ها بایستی در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد یکسان باشد تا بتوان به یک شکل‌دهی یکنواخت و همگن دست یافت. در این فرآیند معمولاً به قطر غلتک‌ها در هر ایستگاه نسبت به ایستگاه قبل کمی افزوده می‌شود؛ تا سرعت کمی افزایش یابد. به این افزایش قطر اصطلاحاً افزایش مرحله‌ای می‌گویند. افزایش تدریجی سرعت در طول خط کشش ملایمی در نوار ورق ایجاد می‌کند و از به وجود

آمدن پدیده کمانش و انحنا جلوگیری می‌کند. هر چه ضخامت بیشتر باشد به افزایش مرحله‌ای بیشتری نیاز است چون در ضخامت بالا جسم به راحتی دچار کشیدگی نمی‌شود.

تغییرات شدید کرنش در طی فرآیند سبب سخت شدن محصول شده و از انعطاف‌پذیری محصول می‌کاهد و نیروی شکل‌دهی را افزایش می‌دهد. برای نمایش مراحل شکل‌دهی در این فرآیند سطح مقطع‌های تولید شده در ایستگاه‌های تغییر شکل، به صورت یکجا با در نظر گرفتن یک محور خنثی رسم می‌کنند. به شکل به‌وجود آمده الگوی گل می‌گویند. نمونه‌ای از یک الگوی گل یک مقطع کانالی‌شکل در شکل ۱-۲ آورده شده‌است.



شکل ۱-۲ شمایی از الگوی گل یک مقطع کانالی شکل[۵]

۱-۲- انواع محصولات قابل تولید به روش شکل‌دهی غلتکی

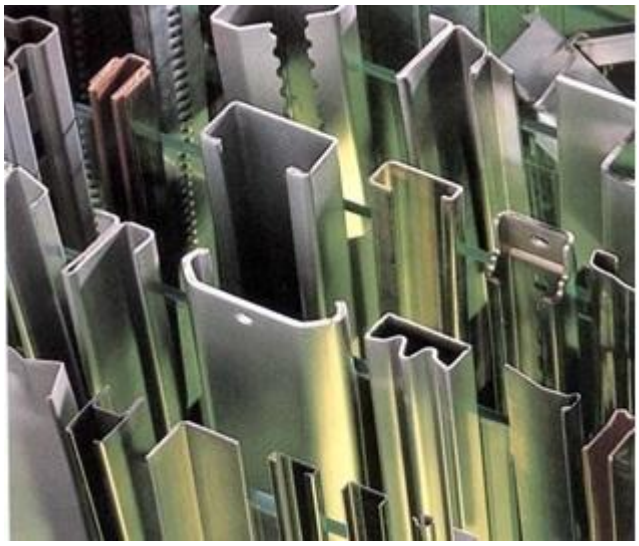
به طور کلی اکثر فلزاتی که توسط سایر فرآیندها شکل می‌گیرند؛ به سهولت با این روش نیز قابل شکل‌دهی هستند. از ویژگی‌های مهم شکل‌دهی غلتکی سرد توانایی تغذیه دستگاه با چند ماده مختلف به طور همزمان می‌باشد؛ که در نهایت از ترکیب آنها یک محصول بدست می‌آید. ریسمان، پارچه، نمد و سیم‌های فلزی را می‌توان به همراه هم وارد کرد و از آنها یک محصول با کیفیت مطلوب بدست آورد به عنوان مثال می‌توان از کشویی‌های شیشه اتومبیل که در آن یک نوار فلزی در یک نمد آب‌بندی قرار می‌گیرد را نام برد[۳] .

مقاطعی که به این طریق تولید می‌شود به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند :

- مقاطع باز[1] مانند ناودانی، کلاهی، z شکل
- مقاطع عریض[2] مانند صفحات کرکره‌ای
- مقاطع بسته[3] مانند لوله و انواع مقاطع ساختمانی

1- Open section
2- Wide section
3- Closed section

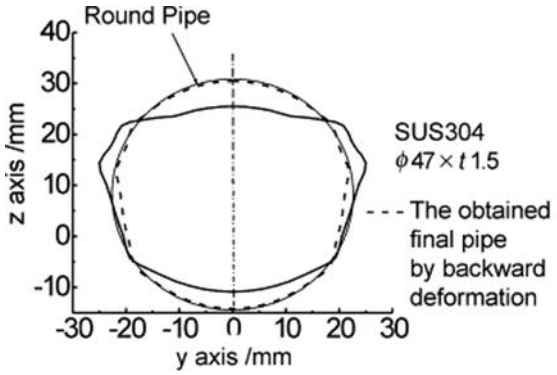
شکل ۱-۳ تعدادی از پروفیل‌های تولید شده به‌روش شکل‌دهی غلتکی سرد با مقاطع باز و بسته را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ نمونه‌ای از پروفیل‌های تولیدشده به روش شکل‌دهی غلتکی سرد[۶]

مقاطع بسته شامل جوش داده شده و بدون استفاده از جوش می‌گردند. در مقاطع بسته بدون استفاده از جوش، در لبه‌های مقطع خم‌های کور ایجاد می‌شود و در لبه مقطع این لبه‌ها به هم متصل می‌شوند[۱] .

در یک تقسیم‌بندی متفاوت می‌توان مقاطع بسته را به دو گروه مقاطع گرد و غیرگرد تقسیم کرد. مقاطع گرد مستقیما از ورق تبدیل به لوله می‌شوند و مقاطع غیرگرد به دوروش مستقیم تبدیل از ورق خام و یا شکل‌دهی مجدد پروفیل‌های دایروی به مقاطع غیرگرد تولید می‌شوند. اکثر پروفیل ها با سطح مقطع غیر دایروی با روش اخیر تولید می شوند. این روش در یک خط تولید پیوسته انجام می‌شود و انواع پروفیل هایی با جنس های فولاد، آلومینیوم ، تیتانیم و با ضخامت های مختلف را می‌توان با این روش تولید کرد. شکل ۱-۴ نمایی از شکل‌دهی مجدد یک مقطع غیرگرد را از مقطع دایروی نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ فرآیند شکل‌دهی مجدد از یک مقطع گرد[۷]

۱-۳- مزایای استفاده از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد

مزایای این فرآیند عبارتند از:

- تولید پیوسته و با حجم زیاد
- مقاومت بالای پروفیل‌های تولید شده با این روش نسبت به روش‌های دیگر (به علت وجود خمش پلاستیک در فلز کار سختی ایجاد می‌شود.)
- قابلیت انعطاف بسیار زیاد (با یک دستگاه محدود می‌توان طیف بسیار وسیعی از محصولات را تولید کرد.)
- طول نامحدود محصول در این فرآیند
- نیاز به حداقل جابجایی
- توانایی شکل‌دهی طیف بسیاری از مواد
- هزینه نگه‌داری پایین (با طراحی مناسب غلتک‌ها و به کار بردن جنس مناسب و استفاده از مواد روانکار مناسب می‌توان بدون تعمیرات مقدار بسیار زیادی محصول تولید کرد.)
- قابلیت ترکیب با فرآیندهای دیگر

در شکل ۱-۵ ترکیب فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد با عملیات پانچ نشان داده‌شده‌است.