دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بررسی عددی و تجربی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد ورق فلزی دولایه

نگارنده:
امیر نعمتی فقیر

استاد راهنما:
دکتر حسن مسلمی نائینی

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

بهمن ماه ۹۱

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای امیر نعمتی فقیر پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **بررسی عددی و تجربی فرآیند شکل دهی غلتکی سرد ورق فلزی دو لایه** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۳ 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 مهدی سلمانی تهرانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد جواد ناطق	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر کارن ابری نیا	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد جواد ناطق	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه /رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

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.

امیر نعمتی فقیر

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/ رساله دکتری نگارنده در است که در سال۱۳۹۱ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حسن مسلمی نایینی ، مشاوره جناب آقای دکتر مهدی سلمانی تهرانی 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 امیر نعمتی فقیر دانشجوی رشته مهندسی ساخت و تولید مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امیر نعمتی فقیر

تاریخ و امضا:

تقدیم به:

روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

تقدیر و تشکر

باسپاس فراوان از راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر مسلمی نائینی که دلسوزانه حقیر را در طول انجام این پایان نامه هدایت فرمودند و نیز با قدردانی از جناب آقای دکتر مهدی سلمانی تهرانی - عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان - که مشاوره های دقیق ایشان در انجام این پایان نامه راه گشا واقع شد.

از همفکری و همیاری آقایان مهندس جلال هاشمی، مهندس برقی کار و تمامی دوستان خوبم در دانشگاه تربیت مدرس تشکر و قدردانی می گردد.

از کارخانه لوله و پروفیل پایا به خاطر حمایت و فراهم نمودن شرایط لازم برای انجام آزمایش های تجربی کمال تشکر را دارم.

چکیده

فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد روشی است پیوسته برای ایجاد خم‌های متوالی در نوار فلز که بدون تغییر در ضخامت ورق و با عبور دادن آن از مجموعه غلتک‌های دوار، شکل مقطع مورد نظر را بوجود می‌آورد. هر مجموعه غلتک مقداری از عمل شکل‌دهی را انجام می‌دهد تا سرانجام پس از عبور از آخرین مجموعه، شکل نهایی محصول بوجود آید. این فرآیند برای تولید پروفیل با مقاطع مختلف مانند کانالی شکل، کلاهی شکل، ناودانی، لوله و ... کاربرد دارد.

همواره یکی از دغدغه‌های صنعت لوله و پروفیل، خوردگی محصولات فولادی می‌باشد. از سوی دیگر محصولاتی از جنس آلومینیوم که در برابر خوردگی مقاومت نسبتا خوبی دارند استحکام پایینی نسبت به خانواده فولادها دارند. ورق دولایه آلومینیوم- فولاد در برخی کاربردها این مشکل را حل نموده و علاوه بر دارا بودن استحکام زیاد، از یک سو در مقابل خوردگی مقاوم می‌باشد. این پایان‌نامه به بررسی عددی و تجربی شکل‌دهی غلتکی سرد ورق های دولایه اختصاص دارد.

بررسی عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس، برای مشاهده تاثیر ضخامت نسبی لایه‌ها بر روی پارامترهای مهم شکل‌دهی کانالی مانند برگشت فنری، کرنش طولی لبه، ضخامت در ناحیه خم و ... استفاده شده است و به جهت صحت سنجی شبیه‌سازی‌های انجام شده، از نتایج آزمایش‌های تجربی استفاده شده است. افزایش ضخامت آلومینیوم در مقطع ورق دولایه اثر دوگانه‌ای بر برگشت فنری محصول کانالی شکل دارد و همچنین با افزایش ضخامت آلومینیوم در مقطع کرنش طولی لبه و انحنای رو به پایین محصول کاهش می‌یابد. هنگامی که آلومینیوم لایه داخلی در محصول کانالی شکل باشد در ناحیه گوشه خم افزایش ضخامت مشهود می‌باشد.

واژگان کلیدی: شکل‌دهی غلتکی سرد، ورق دولایه، برگشت فنری، کرنش طولی لبه، روش اجزای محدود، مقطع کانالی شکل.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه
فصل ۱ مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- ورق دولایه فلزی ۲
۱-۲-۱- ورق دولایه و روشهای تولید آن ۲
۱-۲-۱-۱- استفاده از چسب برای اتصال ۲
۱-۲-۱-۲- ساخت ورق دولایه به روش انفجاری ۳
۱-۲-۱-۳- ساخت ورق دولایه به روش نورد ۴
۱-۲-۲- مزایا و کاربردهای ورق دولایه ۶
۱-۲-۳- تاریخچه ورق دولایه ۸
۱-۳- شکل دهی غلتکی سرد ۹
۱-۳-۱- معرفی فرآیند شکل دهی غلتکی سرد ۹
۱-۳-۲- مزایا و محدودیت‌های فرآیند شکل دهی غلتکی سرد ۱۱
۱-۳-۳- برخی از عیوب مهم در فرآیند شکل دهی غلتکی سرد ۱۱
۱-۳-۳-۱- برگشت فنری ۱۱
۱-۳-۳-۲- کمانش طولی و پیچش ۱۲
۱-۳-۳-۳- افزایش شعاع ضخامت گوشه ۱۴
۱-۳-۳-۴- موج‌دار شدن گوشه‌ها ۱۴
۱-۳-۳-۵- شکست در گوشه‌ها و جدایش ورق ۱۵
۱-۳-۴- مروری بر پژوهش های پیشین در فرآیند شکل دهی غلتکی سرد ۱۵
۱-۴- اهدف پایان نامه ۱۷
۱-۵- ساختار این نوشتار ۱۸
فصل ۲ مدل سازی عددی شکل دهی غلتکی ورق دولایه ۱۹
۲-۱- مقدمه ۲۰
۲-۲- تعریف مسئله ۲۰
۲-۳- مدل سازی اجزای محدود ۲۲

۲-۳-۱- ورق دولایه ۲۲
۲-۳-۲- شرایط مرزی و بارگذاری ۲۲
۲-۳-۳- خواص مواد ۲۳
۲-۳-۴- تعیین المان و شبکه بندی ورق ۲۴
۲-۳-۵- هندسه غلتک‌ها ۲۵
۲-۳-۶- اصطکاک بین ورق و قالب ۲۵
۲-۴- فرض‌های درنظر گرفته شده ۲۶
فصل ۳ مدل سازی ریاضی برگشت فنری ورق دولایه ۲۹
۳-۱- مقدمه ۳۰
۳-۲- روابط موجود برای پیش بینی برگشت فنری ۳۱
۳-۳- مدل تئوری جانسون و مولر برای پیش بینی برگشت فنری ورق یک لایه ۳۲
۳-۴- مدل ارائه شده برای بازگشت فنری ورق دولایه در خمش ساده ۳۵
فصل ۴ آزمایش تجربی ۴۰
۴-۱- مقدمه ۴۱
۴-۲- ساخت ورق دولایه فلزی ۴۱
۴-۲-۱- مراحل ساخت ورق های دولایه ۴۱
۴-۲-۱-۱- آماده سازی سطوح ورق ها ۴۲
۴-۲-۱-۲- فرآیند نورد ۴۲
۴-۲-۱-۳- عملیات حرارتی ۴۳
۴-۳- آزمون لایه کنی ۴۴
۴-۴- آزمون کشش ورق های دولایه ۴۵
۴-۵- شکل دهی غلتکی سرد ورق فلزی دولایه ۴۶
۴-۵-۱- ویژگی منحصر به فرد دستگاه هفت ایستگاهه ۴۶
۴-۵-۲- مشخصات دستگاه هفت ایستگاهه ۴۷
۴-۵-۲-۲- طرح خاص غلتک ها ۴۹
۴-۶- سرعت شکل دهی ۵۰
فصل ۵ نتایج و بحث ۵۱
۵-۱- مقدمه ۵۲

۵-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی عددی ۵۲
۵-۲-۱- نحوه اندازه گیری برگشت فنری در ورق شکل داده شده ۵۲
۵-۲-۲- برگشت فنری ۵۳
۵-۲-۳- ضخامت در گوشه مقطع کانالی شکل ۵۶
۵-۲-۴- کرنش طولی لبه و انحنای رو به پایین محصول ۶۱
۵-۲-۴-۲- بررسی کرنش در لایه های داخلی، میانی و خارجی پروفیل ۶۳
۵-۲-۵- بررسی اثر تفاوت ضریب اصطکاک در دو طرف ورق ۶۶
۵-۲-۶- اعتبار سنجی مدل ۶۸
۵-۳- پیش بینی برگشت فنری توسط رابطه ریاضی ۶۹
۵-۴- نتایج آزمایش های تجربی ۷۱
۵-۴-۲- برگشت فنری ۷۱
۵-۴-۳- ضخامت در گوشه مقطع کانالی شکل ۷۳
فصل ۶ نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه کار ۷۴
۶-۱- نتیجه گیری ۷۵
۶-۲- پیشنهاد هایی برای ادامه کار ۷۶
ضمیمه ۷۷
مراجع ۷۹

فهرست شکلها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ : جدایش ورق دولایه متصل شده به روش چسب در هنگام شکل دهی غلتکی ۳
شکل ۱-۲ : نحوه ساخت ورق دولایه به روش انفجاری ۴
شکل ۱-۳ : تولید ورق دولایه به روش نورد ۵
شکل ۱-۴ : آزمون لایه کنی ۶
شکل ۱-۵ : رآکتور از ورق تیتانیوم- فولاد ۷
شکل ۱-۶ : خوردگی لوله‌ی انتقال نفت فولادی ۸
شکل ۱-۷ : نمایی از خط تولید پروفیل به روش شکلدهی غلتکی سرد ۱۰
شکل ۱-۸ : نمونه‌ای از الگوی گل برای یک مقطع کانالی ۱۰
شکل ۱-۹ : برگشت فنری پروفیل کانال U شکل پس از خروج از ایستگاه ۱۲
شکل ۱-۱۰ : نمایش عیب پیچش ۱۳
شکل ۱-۱۱ : نمایش عیب کمانش طولی ۱۳
شکل ۱-۱۲ : موج‌دار شدن گوشه‌های پروفیل ۱۴
شکل ۲-۱ : ابعاد پروفیل کانالی شکل ۲۰
شکل ۲-۲ : قیود اعمال شده بر روی ورق ۲۲
شکل ۲-۳ : منحنی تنش حقیقی- کرنش پلاستیک حقیقی برای ورق آلومینیومی و فولادی ۲۳
شکل ۲-۴ : نحوه شبکه بندی ورق ۲۴
شکل ۲-۵ : ابعاد غلتک ها ۲۵
شکل ۲-۶ : نمایی از شبیه سازی انجام شده ۲۷
شکل ۲-۷ : نمایی از شبیه سازی انجام شده ۲۸
شکل ۳-۱ : نمایش برگشت فنری ۳۰
شکل ۳-۲ : ناحیه خم و عبور از منطقه کشسان ۳۳
شکل ۳-۳ : ناحیه خم تا حد کشسان ۳۳
شکل ۳-۴ : ناحیه خم در ورق دولایه در منطقه پلاستیک ۳۶
شکل ۳-۵ : ناحیه خم ورق دولایه در حالتی که آلومینیوم در انتهای حد الاستیک می‌باشد ۳۶
شکل ۴-۱ : زبرسازی سطوح ورق ۴۲

شکل ۴-۲ : دستگاه نورد ۴۳
شکل ۴-۳ : نمونه ای از ورق دولایه تولید شده به روش نورد سرد ۴۴
شکل ۴-۴ : نحوه قرارگیری ورق دولایه برای آزمون لایه کنی ۴۵
شکل ۴-۵ : نمودار نیرو جابجایی حاصل از آزمون لایه کنی ۴۵
شکل ۴-۶ : نمای شماتیک ورق که انتهای آن برای آزمون کشش آماده سازی نشده است ۴۶
شکل ۴-۷ : نمونه های آزمون کشش ۴۶
شکل ۴-۸ : نمای غلتک های صاف کننده، هدایت کننده و شکل دهی ۴۸
شکل ۴-۹ : نمای کلی دستگاه هفت ایستگاهه ۴۸
شکل ۴-۱۰ : سیستم کنترلی و نمایشی دستگاه ۴۹
شکل ۴-۱۱ : غلتک های چندپارچه ۴۹
شکل ۴-۱۲ : ورق حین شکل دهی ۷۷
شکل ۴-۱۳ : گشتاورسنج مورد استفاده در دستگاه هفت ایستگاهه ۷۸
شکل ۴-۱۴ : نیروسنج مورد استفاده در دستگاه هفت ایستگاهه ۷۸
شکل ۴-۱۵ : ورق ها پس از شکل دهی غلتکی سرد با دستگاه هفت ایستگاهه و زاویه ۳۰ درجه ۵۰
شکل ۵-۱ : نمایش گره هایی که برای اندازه گیری برگشت فنری استفاده شده است ۵۲
شکل ۵-۲ : دو ورق با ضخامت متفاوت که در اثر خمش وارد ناحیه پلاستیک شده اند ۵۳
شکل ۵-۳ : مقایسه تاثیر مدول یانگ بر برگشت فنری ۵۴
شکل ۵-۴ : مقایسه تاثیر تنش تسلیم بر برگشت فنری ۵۴
شکل ۵-۵ : برگشت فنری ورق دولایه آلومینیوم- فولاد، با ضخامت مجموع دو میلی متر ۵۵
شکل ۵-۶ : برگشت فنری ورق دولایه آلومینیوم- فولاد، با ضخامت مجموع ۰/۶ میلی متر ۵۵
شکل ۵-۷ : کاهش ضخامت ورق در ناحیه خم برای ورق های یک لایه آلومینیومی و فولادی با ضخامت دو میلیمتر. (زاویه ۳۰) ۵۶
شکل ۵-۸ : نمایش ناحیه خم برای یک ورق یک لایه و جابجایی خط خنثی به سمت داخل ۵۷
شکل ۵-۹ : ضخامت ورق دولایه آلومینیوم-فولاد که آلومینیوم لایه بیرونی می باشد و ضخامت هرلایه یک میلی متر است ۵۷
شکل ۵-۱۰ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم در مقطع بر ضخامت ورق های دولایه پس از شکل دهی در راستای عرض ورق ۵۸

شکل ۵-۱۱ : نمایش ناحیه خم برای یک ورق دولایه آلومینیوم- فولاد که آلومینیوم لایه داخلی می باشد و جابجایی خط خنثی به سمت خارج خم ۵۸
شکل ۵-۱۲ : مقایسه اثر ضخامت نسبی بر کرنش عرضی المانی در ناحیه خم، در لایه داخلی ورق با ضخامت ۲ میلیمتر ۵۹
شکل ۵-۱۳ : توزیع ضخامت ورق آلومینیوم فولاد، آلومینیوم یک میلیمتر و فولاد یک میلیمتر ۵۹
شکل ۵-۱۴ : کاهش ضخامت ورق در ناحیه خم برای ورق های یک لایه آلومینیومی و فولادی با ضخامت ۰/۶ میلیمتر. (زاویه ۳۰ درجه) ۶۰
شکل ۵-۱۵ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم در مقطع بر ضخامت ورق های دولایه پس از شکل دهی در راستای عرض ورق ۶۰
شکل ۵-۱۶ : مقایسه اثر ضخامت نسبی بر کرنش عرضی المانی در ناحیه خم، در لایه داخلی ورق با ضخامت ۰/۶ میلیمتر ۶۱
شکل ۵-۱۷ : نمای ورق در تولید مقطع کانال متقارن، از ابتدای فرآیند تا ایستگاه اول [۴۶] ۶۱
شکل ۵-۱۸ : مقایسه اثر جنس ورق بر پدیده شمشیری شدن در ضخامت برابر ۶۲
شکل ۵-۱۹ : مقایسه کرنش پلاستیک طولی لبه ورق دولایه آلومینیوم- فولاد در لایه های داخلی، میانی و خارجی پروفیل ۶۴
شکل ۵-۲۰ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم بر توزیع کرنش طولی پلاستیک لایه میانی لبه نوار ورق دولایه با ضخامت دو میلی متر ۶۵
شکل ۵-۲۱ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم بر انحنای رو به پایین ورق دولایه با ضخامت دو میلی متر ۶۵
شکل ۵-۲۲ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم بر توزیع کرنش طولی پلاستیک لایه میانی لبه نوار ورقی با ضخامت ۰/۶ میلی متر ۶۶
شکل ۵-۲۳ : مقایسه اثر افزایش ضخامت آلومینیوم بر انحنای رو به پایین ورق دولایه با ضخامت ۰/۶ میلی متر ۶۶
شکل ۵-۲۴ : مقایسه اثر اصطکاک بر کرنش طولی لبه ورق یک لایه فولادSt12 ..... ۶۷
شکل ۵-۲۵ : مقایسه کرنش طولی در فاصله ۱/۵ میلی متر از لبه حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی مرجع [۴۵] ، زاویه شکل دهی ۳۰ درجه ۶۹
شکل ۵-۲۶ : مقایسه کرنش طولی در فاصله ۱/۵ میلی متر از لبه حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی مرجع [۴۵]، زاویه شکل دهی ۲۰ درجه ۶۹

شکل ۵-۲۷ : پیش بینی برگشت فنری ورق دولایه آلومینیوم- فولاد با روابط ریاضی، با ضخامت مجموع دو میلی متر ۷۰
شکل ۵-۲۸ : پیش بینی برگشت فنری ورق دولایه آلومینیوم- فولاد با روابط ریاضی، با ضخامت مجموع ۰/۶ میلی متر ۷۰
شکل ۵-۲۹ : مقایسه نتایج عددی و تجربی در اثر افزایش ضخامت آلومینیوم بر برگشت فنری ۷۲

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱ : طراحی آزمایش برای ضخامت ۰/۶میلی متر ۲۱
جدول ۲-۲ : طراحی آزمایش برای ضخامت ۲ میلی متر ۲۱
جدول ۲-۳ : مشخصات ورق های فولادی و آلومینیومی ۲۳
جدول ۴-۱ : مشخصات مورد استفاده در ساخت ورق فلزی دولایه ۴۴
جدول ۵-۱ : تاثیر اصطکاک بر برگشت فنری ۶۷
جدول ۵-۲ : مشخصات مکانیکی فولاد SAE 1020 ..... ۶۸
جدول ۵-۳ : ضخامت ورق های مورد آزمایش تجربی ۷۱
جدول ۵-۴ : نتایج برگشت فنری حاصل از آزمایش های تجربی ۷۱
جدول ۵-۵ : نتایج بیشینه ضخامت ورق شکل داده شده ۷۳

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

به منظور مطالعه شکل‌دهی غلتکی سرد ورق فلزی دولایه، شناخت ورق‌های دولایه و فرآیند شکل‌دهی غلتکی ضروری می‌نماید. در این فصل سعی بر آن داریم در حد مختصر مطالعه‌ای بر روی ورق‌های دولایه فلزی، روش‌های ساخت آن و مزایا و معایبشان داشته باشیم، همچنین در ادامه اجمالاً فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد نیز مورد بررسی قرار گرفته است. مهم‌ترین مطالعات و تحقیقاتی که پیش از این بر روی ورق‌های دولایه و فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد انجام شده است نیز در این فصل آورده شده و در قسمت پایانی این فصل به معرفی اهداف و ساختار این نوشتار پرداخته‌ایم.

۱-۲- ورق دولایه فلزی

۱-۲-۱- ورق دولایه و روش‌های تولید آن

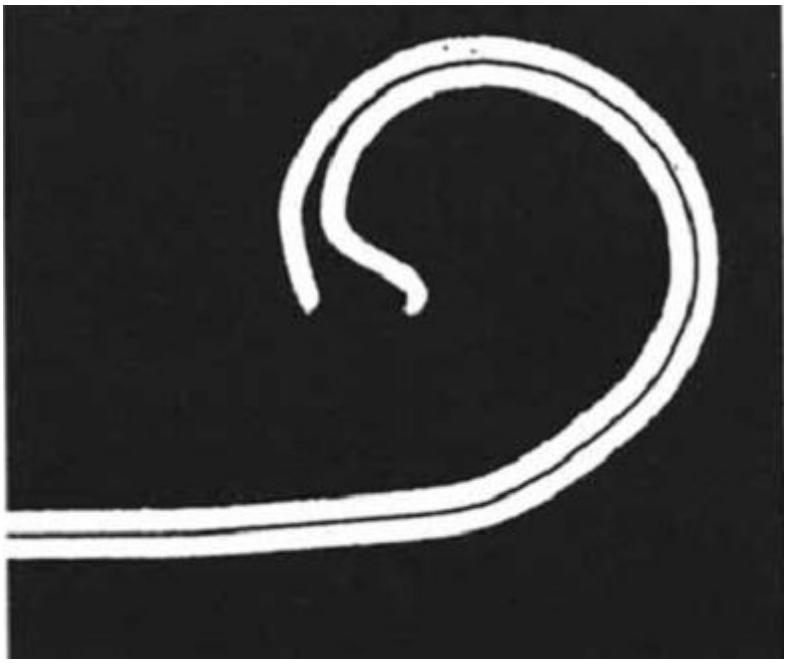
در این نوشتار منظور از ورق دولایه، ورق‌های دولایه فلزی می‌باشد که عبارتند از یک ورقی که از دو جنس متفاوت تشکیل شده است یعنی جنس یک طرف آن با طرف دیگر متفاوت است ولی هر دولایه از مواد فلزی می‌باشند که به یکدیگر متصلند. به عنوان مثال ورق دولایه آلومینیوم- فولاد، که یکی از لایه‌های این ورق آلومینیومی و دیگری از فولاد می‌باشد. در ادامه به بررسی نحوه اتصال این دولایه به یکدیگر می‌پردازیم. روش‌های گوناگونی برای ساخت این ورق‌ها و یا به تعبیری اتصال این دولایه وجود دارد که عبارتند از استفاده از چسب برای اتصال، روش انفجاری و روش نورد سرد و گرم.

۱-۲-۱-۱- استفاده از چسب برای اتصال

در سال ۱۹۸۹ هیروشی و شیگکی ایچاوا[1] برای ساخت ورق دولایه از چسب استفاده کرده‌اند، به این ترتیب که بین دو ورق چسب ریخته و ورق‌ها را روی همدیگر قرار داده‌اند تا به وسیله چسب به یکدیگر متصل شوند[۱]. این روش ساخت ورق به دلایلی رونق پیدا نکرد و به تدریج به فراموشی سپرده شد. مهم‌ترین دلایل ضعف این روش عدم یکنواختی ضخامت چسب و در نتیجه عدم یکنواختی استحکام دولایه در مناطق مختلف از سطح می‌باشد که همچنین تأثیر در غیر یکنواخت شدن ضخامت ورق نهایی نیز دارد. از دیگر معایب این روش عدم تحمل و استحکام لایه چسبی در هنگام شکل‌دهی ورق می‌باشد، یعنی وقتی ورق بین غلتک‌ها قرار می‌گیرد به دلیل وارد شدن نیرو از

[1] Hiroshi and Shigeki ichakawa

سوی غلتک‌ها به ورق، لایه چسبی تحمل کافی نداشته و لایه‌های فلزی از یکدیگر جدا می‌شوند. شکل (۱-۱) را ببینید. از مهم‌ترین مزایای این روش سادگی و کم هزینه بودن آن است.



شکل ۱-۱: جدایش ورق دولایه متصل شده به روش چسب در هنگام شکل دهی غلتکی[۱]

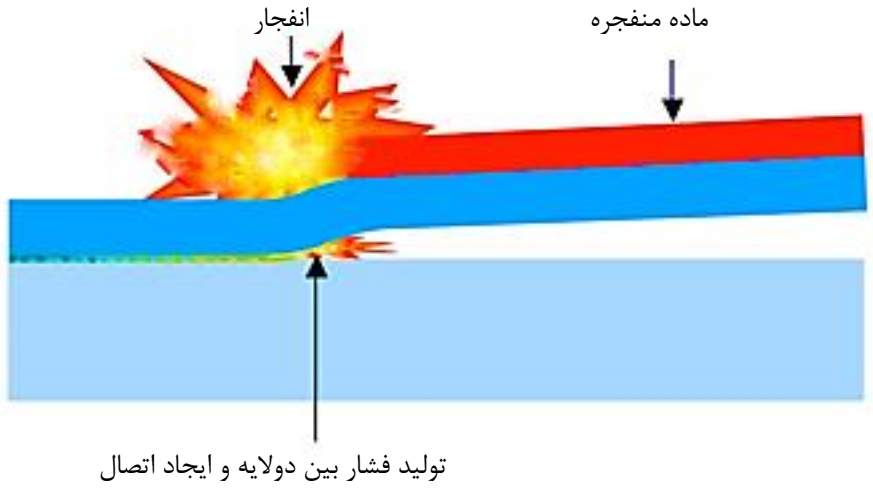
۱-۲-۱-۲- ساخت ورق دولایه به روش انفجاری[1]

در این روش ابتدا دو ورق با ابعاد یکسان و جنس‌های متفاوت تهیه شده و از هر ورق یک سطحش کاملاً تمیز و یکنواخت می‌شود و ورق‌ها از سطحی که تمیز شده‌اند روی یکدیگر قرار داده می‌شوند. پس از آن روی سطح یکی از ورق‌ها ماده منفجره‌ی خاصی قرار می‌دهند و نهایتاً به منطقه حافظت شده ایمنی که در زیر زمین ساخته شده یا اینکه در ناحیه‌ای دور از محل سکونت هدایت می‌شود، این ناحیه به اتاق انفجار[2] معروف است[۲]. سپس انفجار انجام شده و موجب اتصال ورق‌ها به یکدیگر می‌گردد.

روش انفجاری یا جوش انفجاری در زمان جنگ جهانی دوم توسط شرکت دوپنت[3] که در حرفه ساخت مهمات و مواد منفجره فعالیت داشت به دنیا معرفی گردید. این ابداع در سال ۱۹۶۴ میلادی پا به عرصه ظهور گذاشت و توسط انجمن مهندسی مکانیک آمریکا (ASME) و همچنین جامعه

[1] Explosion Bonding
[2] Shooting Chamber
[3] Dupont

جوشکاری آمریکا (AWS) به عنوان روش جوشکاری به کار گرفته شد. به علت بالا بودن هزینه تولید، بهتر است اندازه ورق‌ها به اندازه کافی بزرگ باشد و می‌توان به عنوان یکی از عیوب این روش همین هزینه بالای تولید را نام برد[۲]. از جمله عیوب دیگر، عدم یکنواختی در ضخامت ورق نهایی می‌باشد که نیاز است یک عملیات نهایی مانند نورد سطحی یا پرس انجام شود. کنترل ضخامت ورق نهایی در این روش بسیار مشکل است، زیرا به میزان زیادی به حجم ماده منفجره بستگی دارد. آلودگی زیست محیطی و آلودگی صوتی فراوان نیز به کاهش کاربرد این روش برای تولید ورق دولایه کمک کرده‌اند، قابل ذکر است که تولید ورق دولایه فلزی با این روش بیشترین استحکام را دارد.



شکل ۱-۲: نحوه ساخت ورق دولایه به روش انفجاری

۱-۲-۱-۳- ساخت ورق دولایه به روش نورد

مهم‌ترین و مرسوم‌ترین روش تولید ورق‌های دولایه استفاده از نورد می‌باشد. به این منظور سطوحی از ورق که می‌بایست روی هم قرار گیرند با مواد شوینده تمیز و اکسید زدایی می‌شوند و سپس این سطوح زبر سازی می‌گردند و بلافاصله روی یکدیگر قرار می‌گیرند و نورد می‌شوند و در نهایت ورق بدست آمده آنیل می‌شود.

برای ورق‌های آلومینیوم- فولاد به جهت دست‌یابی به استحکام کافی باید حدود ۵۰ درصد کاهش ضخامت در هنگام نورد صورت گیرد[۳]. در برخی مراجع این عدد ۷۰ درصد می‌باشد[۴] که البته بستگی به جنس ورق‌ها نیز دارد و اکثر مراجع برای ورق دولایه آلومینیوم- فولاد بهترین کاهش درصد سطح مقطع را ۵۰ درصد پیشنهاد می‌کنند. تولید ورق دولایه به این روش مزایای زیادی دارد،