مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، پاییز ۱۳۹۹، دوره ۱۱، شماره ۳، ص‌ص ۲۷-۳٤

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

تحلیل عددی و تجربی حد شکل پذیری ورق فلزی دارای روکش گالوانیزه گرم با استفاده از روش فرم دهی نموی دو نقطه‌ای

مجتبی حسنلو

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، طراحی کاربردی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

*پست الکترونیک : hasanlumojtaba@gmail.com

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۱۱ تیر ۱۳۹۹

پذیرش: ۲۵ آبان ۱۳۹۹

ارائه در سایت: ۲۵ آبان ۱۳۹۹

کلیدواژگان

شکل دهی نموی

ابزار

سرعت

ورق

قالب

چکیده

از آنجایی که معمولاً به منظور شکل‌دهی قطعات پوسته‌ای و ورقی شکل نیاز به ساخت قالب، دستگاه پرس سنگین، سبک و دیگر تجهیزات فرم دهی می‌باشد، در مواقعی که ساخت سریع نمونه اولیه، تیراژ تولید پایین، انعطاف پذیر بودن فرایند تولید در راستای تغییر مدل و یا قطعه مورد نظر مد نظر باشد بدین دلایل فرآیند شکل‌دهی نموی ورق (ISF) در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این روش شکل‌دهی، یک ابزار سرکروی ساده با ورقی که توسط فیکسچری مهار شده ، در تماس نقطه‌ای است و ابزار توسط ماشین کنترل عددی(CNC)، حرکتی مشخص در مسیر و جهت از قبل تعیین شده انجام می‌دهد و باعث به‌وجود آمدن تغییر شکل پلاستیک تدریجی و نموی با نیروی به نسبت کم در ناحیه زیر ابزار، روی ورق می‌گردد و شکل‌دهی نموی نتیجه در کنار هم قرار گرفتن تغییر شکل های پلاستیکی موضعی می باشد. شکل‌دهی نموی ورق، از نظر تکنولوژی اساسا، تکیه دارد به دو اصل، یکی اتوماسیون و دیگری سیستم کنترل عددی، به‌گونه‌ای که قطعه مورد نظر توسط نرم‌افزارهای CAD مدل و طراحی می‌شود، که این مدل به‌عنوان مبنایی برای ایجاد مسیر شکل‌دهی توسط نرم‌افزار CAM به‌کارگرفته می‌شود، سپس می‌بایست این مسیرهای شکل‌دهی از طریق پردازنده، تبدیل به کدهایی قابل شناسایی برای دستگاه CNC شوند، تا بتوان قطعه با فرمی مطلوب را از یک ورق فلزی تخت که توسط فیکسچر مهار شده، تولید نمود. از پارامترهای تاثیرگذار بروی کیفیت سطوح قطعه تولیدی، سرعت تولید قطعه و دقت هندسی قطعه تولیدی و.... می توان: تاثیرمسیر حرکت ابزار، تاثیرگام عمودی، تاثیر سرعت دورانی اسپیندل و پیشروی ابزار، نوع روانکار، قطر ابزار و... نام برد از محدودیت‌های این روش می‌توان به زمان زیاد مورد نیاز، حین اجرای فرآیند شکل‌دهی اشاره نمود، دلیل این مسئله حرکت تدریجی ابزار با گام‌های عمودی کوچک می‌باشد. یک نکته حایزاهمیّت در فرآیند شکل دهی نموی ،پدیده برگشت فنری ورق می‌باشد، که می‌باید در زمان مشخص کردن مسیر حرکت ابزار، برای دستگاه CNC لحاظ گردد تا قطعه نهایی تولید شده از دقّت هندسی وابعادی مطلوب برخوردار باشد. یکی ازاصلی‌ترین جنبه‌های علمی، که باعث مورد توجه قرار گرفتن فرآیند شکل‌دهی نموی گردید، از لحاظ ارتقا دادن فرم‌پذیری مواد بوده است؛ زیرا در فرآیند شکل دهی نموی(ISF) به طور چشمگیر شکل‌پذیری، نسبت به سایر فرآیندهای متداول شکل‌دهی افزایش یافته است.

Numerical and Experimental Investigation on the Formability of Sheet Metal Coated by hot dip Galvanizing Using TPIF Method

M. Hasanlu

University of Guilan,

P.O.B:HasanluMojtaba@gmail.com

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

M. Hasanlu, Numerical and Experimental Investigation on the Formability of Sheet Metal Coated by hot dip Galvanizing Using TPIF Method, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 11, No. 3, pp. 27-34, 2020 (In Persian)

Article Information
Original Research Paper
Received 1 July 2020
Accepted 15 November 2020
Available Online 15 November 2020

Keywords
Developmental shaping
Tools
Speed
Shee
Mold

ABSTRACT

Since it is usually necessary to make molds, heavy presses, light presses and other forming equipment, in order to form crustal and sheet-shaped parts, in cases where rapid prototype production, low flow of production, flexibility Consider the production process in the direction of changing the model or piece to be considered. For this reason, the process of developing sheet development (ISF) has been very much considered in recent decades. In this formulation, a simple straightforward tool with a sheet locked by a fixture is in contact with the point and the tool carries out a specific movement in the direction and direction predetermined by the numerical control machine (CNC) and The formation of gradual and deformed plastic deformation occurs on the sheet with low force in the area under the tool, and the formation of the resulting result is combined with the local deformation of the plastic. Developmental development Technically, the sheet relies essentially on two principles, one automation, and another on a numerical control system, so that the piece is designed and designed by the CAD software, which is fashioned L is used as the basis for forming the forming path by the CAM software, then these pathways through the processor must be converted into identifiable codes for the CNC machine so that The optimal form of the piece was produced from a flat metal plate, which was restrained by a fixture. The parameters affecting the quality of the parts of the production unit, the speed of the piece production, and the geometric accuracy of the manufacturing unit and can be: the effect of the instrument movement, the effect of the vertical , The effect of spindle speed and advance of the tool, type of lubricant, the diameter of the tool, etc. The limitations of this method can be given to the required time, while they mentioned process, because it is the gradual movement of the tool with a small vertical coordinate. An important point in the development process is the backflow of the sheet, which should be considered for the CNC machine at the time of determining the path of the instrument, so that the final piece produced has the desired geometric accuracy and value. One of the most important scientific aspects that has attracted the attention of the developmental process has been to enhance the formality of the materials, because in the process of developmental shaping (ISF) it is dramatically shaped has increased compared with other conventional forming processes

۱- مقدمه

شکل‌دهی نموی ورق، از نظر تکنولوژی اساسا" تکیه دارد به دو اصل، یکی اتوماسیون و دیگری سیستم کنترل عددی، به‌گونه‌ای که قطعه مورد نظر توسط نرم‌افزارهای CAD مدل و طراحی می‌شود، که این مدل به‌عنوان مبنایی برای ایجاد مسیر شکل‌دهی توسط نرم‌افزار CAM به‌کارگرفته می‌شود، سپس می‌بایست این مسیرهای شکل‌دهی از طریق پردازنده، تبدیل به کدهایی قابل شناسایی برای دستگاهCNC شوند، تا بتوان قطعه با فرمی مطلوب را از یک ورق فلزی تخت که توسط فیکسچر مهار شده، تولید نمود[۱]. قاسمی و سلطانی[۲] به مطالعه برخی پارامترهای موثر بر روی تغییر ضخامت قطعه تغییر شکل یافته و نیروها در فرایند شکل دهی تدریجی نشان دادند که با افزایش سرعت پیشروی پرداختند و نیروی عمودی کاهش میابد و با افزایش سرعت چرخشی ابزار نیروی افقی کاهش میابد و باعث توزیع یکنواخت تر ضخامت می‌شود. فیورنتینو و همکاران[۳] به بررسی کاربرد سیستم شناسایی مصنوعی جهت بهبود دقت در ماشین آلات فرم دهی نموی پرداختند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از یک الگوریتم صحیح می‌تواند باعث بهبود دقت در ماشین الات فرم دهی نموی شود و این نوع فرایند می‌تواند در ماشین الات سنتی و ربات‌های CNC استفاده گردد و مانع از اشتباهات نقطه یابی و افزایش عملکرد آن شود و این روش مستقل از تکنولوژی ساخت به کار گرفته شده است. کورا و همکاران[۴] به بررسی مدلسازی و بهینه سازی زبری سطح در فرآیندفرم دهی تک نقطه ای نموی پرداختند. در این مطالعه قطر ابزار، عمق گام، زاویه دیواره، میزان باردهی و نوع روانکار به عنوان متغییرهای مدل در نظر گرفته شده است. در این مقاله

آن‌ها یه روش شبکه مصنوعی۱، برنامه نویسی ژنتیک۲ و بازگشت بردار پشتیبان۳ را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که در مدل‌های استفاده شده در ANN وSVR بهتر از GP عمل می‌کنند هر چند در تولیدات که از GP استفاده شده بود یک رابطه صریح بین داده های ورودی و خروجی وجود داشت. بن و همکاران [۵] به بررسی عملکرد شکل‌دهی نموی با سرعت بالا برای ورق های همچونAA5754 H22 و DC04 Steel پرداختند. پارامترهای فرم‌دهی شامل گام پیشروی، زاویه دیواره و نرخ پیشروی از طریق بررسی و سنجش سختی، ضخامت توزیع یافته و زبری سطح مورد ارزیابی قرار گرفت روشه ارائه شده ۸۴ درصد و۷۴ درصد اوقات برای مواردی چون AA5764 H22 و DC04 Steel قابل اجرا می باشد. موسر و همکاران [۶] به بررسی کنتری نیروی تماسی در روش شکل‌دهی نموی دو طرفه بعنوان یک ایده جدید پرداختند ایده ارائه شده باعث پایدار سازی تنش فشاری در راستای ضخامت ورق می باشد بنابراین فرم پذیری ورق و عمر خستگی ورق شکل‌دهی شده افزایش می‌یابد و باعث یکنواخت شدن تماس ابزار-ورق می شود. شکل ۴۳ نمونه تجربی بدست آمده از شکل‌دهی نموی دو نقطه‌ای می‌باشد که نواحی پارگی در آن به وضوح مشخص شده است. ویکتوریا و همکاران [۷] به بررسی تجربی شکل‌دهی نموی در آلیاژ منگنز AZ31 بعنوان یک آلیاژ سبک وزن پرداختند. شرایط شکل‌دهی نموی در حضور هوای گرم و داغ تا دمای ۳۲۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفت. پس از اتمام فرآیند شکل-دهی، بافت قطعه کار نسبت به حالت قبل از شکل‌دهی تغییری نکرده بود و از لحاظ زیر ساختاری کاملا بدون تغییر باقی مانده بود همچنین ضخامت توزیع یافته ورق شکل‌دهی شده و دقت هندسی در زیر ساختار ورق قطعه کار بعد از انجام فرایند شکل-دهی افزایش پیدا کرد. میورا و همکاران [۸] شکل‌دهی نموی دو طرفه در ورق آلومینیوم بعنوان یک تحقیق تجربی جهت دستیابی به دقت شکل‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجایی که شکل مورد نظر جهت شکل‌دهی نموی یک دوم فرض شده بود در شکل‌دهی نموی دوطرفه سطح مقاطع ورق شکل‌دهی شده به شکل مورد هدف و طراحی شده نزدیک تر شده بود در صورتی که از شکل‌دهی نموی یک طرفه بخواهیم برای تولید یک ورق هرمی شکل‌دهی شده استفاده کنیم تنها یک سطح مقطع به شکل مورد هدف نزدیکترشد.

۲- مدلسازی

آزمایشات بر روی مجموعه‌ای از نمونه‌ها از ورق صورت گرفت که در این آزمایشات به بررسی قطر ابزار، سرعت دورانی، ضخامت و زاویه شکل دهی شده می‌پردازیم که آزمایشات براساس ساخت قالب جهت فرآیند شکل‌دهی و توسط دستگاه CNC مورد آزمایش قرار گرفت. شکل ۱ نمونه‌ای از تجهیزات قالب آورده شده است.

شکل۱ تجهیزات قالب

خواص مکانیکی ورق شکل‌دهی در این آزمایش که مشابه با استاندارد کشور ژاپن تحت عنوان JIS G3141-grade SPCE می‌باشد. که در جدول ۱ خواص آن آورده شده است. در این پژوهش ابزار شکل دهی از جنس فولاد سردکار(DF2) ۲۵۱۰ انتخاب گردید که توسط دستگاه تراش CNC ، محل تماس ابزار با ورق به فرم سر کروی تراشکاری گردید. که برای جلوگیری از دفرمگی و خوردگی ابزار شکل دهی در حین فرآیند، عملیات سختکاری (نرمالیزه کردن) بر روی آن انجام و سپس برای رسیدن به سطحی صاف و یکنواخت با دستگاه سنگ سنتر، عملیات سنگزنی انجام و در نهایت جهت افزایش مقاومت به ساییدگی سطح تماس ابزار با قطعه کار، بر روی سطح ابزار با نیترایدبه ضخامت ۲۰ میکرومتر پوشش سطحی داده شد. که شکل ۲ نمونه های ساخته شده سنبه را نشان می‌دهد. ورقگیر و کفشک مجموعه نیز از جنس آهن انتخاب شده است.

جدول۱ خواص مکانیکی سنبه

پارامترها	سنبه	ورق
مدول یانگ(GPa)	200	210
استحکام کششی(MPa)	650-880	261.7-312
استحکام تسلیم(MPa)	350-550	261.7
دانسیته(Kg/m^3)	7700	7800

[1] ANN
[2] GP
[3] SVR

نحوه کار و نوع قرار گیری قالب بر روی دستگاه و فرم‌دهی آن در شکل ۳ آورده شده است.

شکل۲ فرآیند شکل‌دهی در حالت تجربی

تست اول براساس مشخصات دینامیکی اورده شده در جدول ۲ انجام گرفته است.

جدول ۲ مشخصات دینامیکی تست

پارامتر	مقدار
گام عمودی ابزار شکل‌دهی (mm)	0.1
سرعت پیشروی ابزار شکل‌دهی (mm/min)	1000
سرعت دورانی اسپیندل(rpm)	1200

تست براساس مشخصات دینامیکی ارائه شده در جدول ۲ انجام گرفته است. ابزار شکل دهی استفاده شده در تست دوم با مشخصات هندسی در شکل۴ به نمایش گذاشته شده است. در شکل ۲ می‌توان نمایی از ابزار شکل دهی که در تست از آن استفاده شده است را به نمایش گذاشت.

شکل۳ نمونه های ساخته شده ابزار شکل دهی

پایان فرآیند شکل دهی در تست بصورت شکل ۵ و ۶ قابل بازگو می باشد.

شکل ۴ نمونه شکل دهی ورق در تست اول

شکل ۵ نمونه شکل دهی ورق در تست دوم

شکل ۶ نمونه شکل دهی ورق در تست سوم

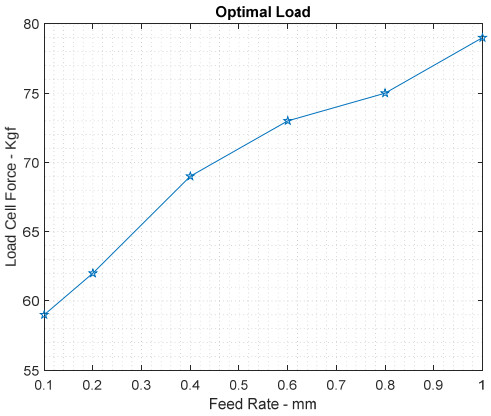
با آزمایشات مختلف صورت گرفته سرعت دورانی اسپیندل(ابزار) و سرعت پیشروی ابزار برای قطرهای مختلف ابزار، به منظور تعادل و جلوگیری از افزایش مقدار اصطکاک می-بایست تغییر نماید و همانطور که از تست تجربی مشخص است صافی سطح قطعاتی که با ابزار قطر ۱۰ بدست آمده نسبت به دیگر قطعات که با قطر ابزار ۱۲ و ۱۰(دور فیلت) انجام گردیده بهتر می‌باشد بنابراین تست‌های حالت دیگر را با این قطر انجام و به بحث می‌پردازیم.

۳- تاثیرات گام بر شکل‌دهی

در این بخش جهت تشخیص میزان نیروی اعمالی ابزار شکل دهی بر روی ورق، از لودسل استفاده شد بطوریکه لودسل میزان حداکثر بار وارده بر روی ورق شکل دهی را حس نماید. همانطور که در شکل ۷ می بینیم لودسل بر روی دستگاه CNC نصب و مجموعه قالب بر روی لودسل نصب گردید.

شکل ۷ نمای مونتاژ شده ی لودسل بر روی دستگاه CNC

ورق در ۶ حالت مختلف با سرعت پیشروی ابزار ۱۰۰۰ میلی متر بر دقیقه و سرعت دورانی اسپیندل ۱۲۰۰ دور بردقیقه مورد آزمایش قرار گرفت به این منظور که بتوانیم میزان نیروی تماس بهینه ابزارشکل دهی با ورق شکل دهی(در حالت اول-الاستیک) بدست آید.



شکل ۸ تغییرات بار لودسل در تغییرات گام پیشروی ابزار

۴- عکسبرداری ۳ بعدی

عکسبرداری ۳ بعدی بعنوان بخش مهندسی معکوس این پژوهش می باشد. بعد از انجام عملیات شکل دهی بر روی ورق، ورق های تست شده را به بخش عکسبرداری ۳ بعدی ارجاع داده(شکل ۹) بطوریکه بتوان با استفاده از تکنولوژی عکسبرداری، ضخامت و زاویه نواحی شکل دهی شده را استخراج نمود.

شکل ۹ مجموعه نمونه های واقعی اپتیک شده

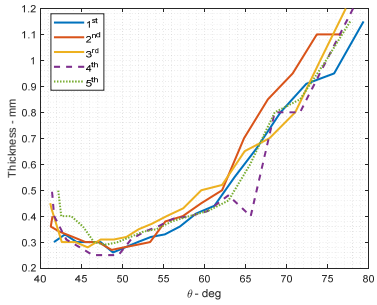
در هنگام انجام عملیات عکسبرداری سه بعدی از ورق شکل دهی یافته و دستیابی به تغییر شکل و ضخامت ورق، مجبور هستیم که قطعات را از نیمه برش داده و سپس به ادامه فرآیند عکسبرداری سه بعدی بپردازیم. فرآیند برش ورق های شکل دهی شده توسط دستگاه وایرکات[1] CHARMILLS به دو نیمه مساوی تقسیم شده است. جهت فهم بیشتر از ورق های برش خورده، نمای دیگری از ورق برش خورده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این تصویر می‌توان تغییرشکل نرم و ضخامت تغییر شکل یافته در طول عملیات شکل دهی را دریافت نمود.

شکل ۱۰ نمونه ی شماره ۴ قطعه وایرکات

همانطور که اشاره شده است ۵ تست با ابزار سرکروی ثابت (قطر ۱۰)، گام عمودی ابزار شکل‌دهی ثابت(۰/۱) و متغیر بودن سرعت اسپیندل انجام گرفته شد. در این بخش به بررسی مناطق امن، پارگی، تجمع مواد و کمترین ضخامت اتفاق افتاده در نواحی مختلف از ورق شکل دهی شده در طول فرآیند می-پردازیم.

۵- نتایج عددی حاصل از عکسبرداری ۳ بعدی

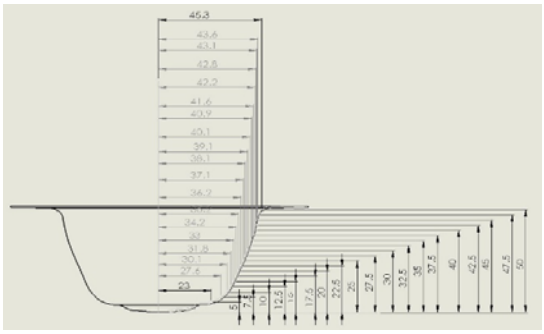
در این بخش به ارائه نتایج حاصله از تصویربرداری سه بعدی از ۵ حالت مختلف از تست پرداخته می‌شود. نتایج حاصل بصورت شکل ۱۱ قابل مشاهده می باشد.



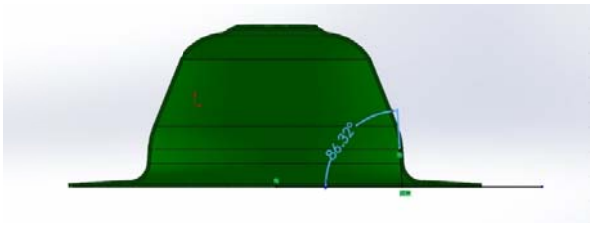
شکل ۱۱ داده های استخراج شده از عسکبرداری ۳ بعدی ورق

[1] Wire cut

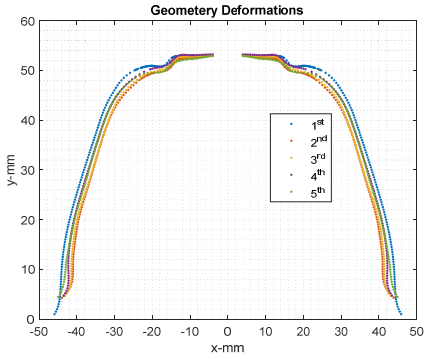
جهت نشان دادن نموداری داده های جدول بالا هریک از ۵ حالت تست را در قالب تصاویر استخراج شده از نرم افزار سالیدورکس و همچنین جهت پرواضح شدن تغییرات هندسی و ضخامت در هریک از پنج حالت بصورت مختصات ۳ بعدی نشان داده ایم و همچنین بیشترین زاویه شکل دهی ورق که بعنوان نوآوری و محور اساسی این پژوهش می باشد بصورت تصاویر پیش رو قابل رویت می باشد. همانطور که در جدول مشخص شده است اندیس‌های A تا E بیان‌گر تست‌های 1 تا 5 حالت سوم می‌باشد، T مولفه‌های X و Y بیانگر مختصات هندسی t، بیان‌گر ضخامت ورق و No(1-15) بیان‌گر تعداد نقاط مورد بررسی بر روی قطعات می‌باشد.



شکل ۱۲ تغییرات ضخامت حالت پنجم از تست سوم

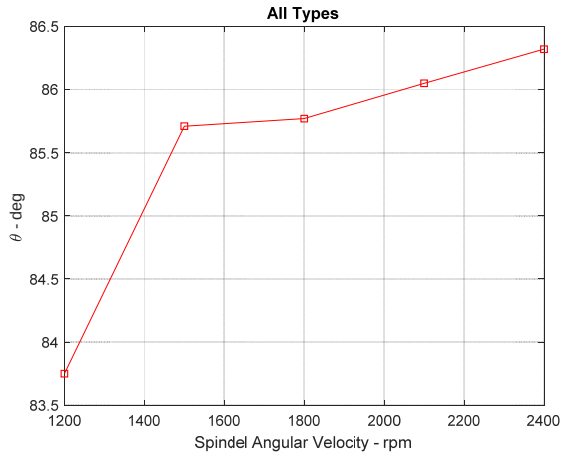


شکل ۱۳ بیشترین زاویه بوجود آمده حالت پنجم از تست سوم



شکل ۱۴ منحنی تغییرات کمی ضخامت در پنج حالت

همانطوری که از جداول و نمودارهای گذشته می‌توان دریافت که بیشترین ضخامت در ابتدا و انتهای قطعه شکل دهی شده می باشد و این هم بدلیل تجمع مواد در این ناحیه می‌باشد و همچنین کمترین ضخامت در نقاط گلویی شده صورت گرفته که این ناحیه گلویی دقیقا ناحیه ای است که زوایه ی ورق شکل دهی شده به سمت ۹۰ درجه نزدیک شده است.



شکل ۱۵ مجموعه زوایا در سرعت دورانی های مختلف اسپیندل

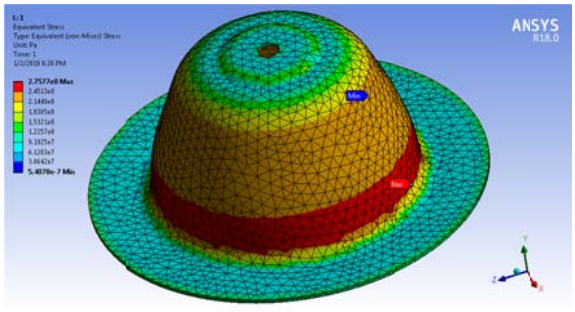
۶- شبیه‌سازی

در این بخش که بعنوان انتهای فرآیند شکل دهی محسوب می گردد میتوان ورق شکل دهی شده را با مشخص شدن بیشترین و کمترین نقاط تنش وون- میزز ارائه کرد.

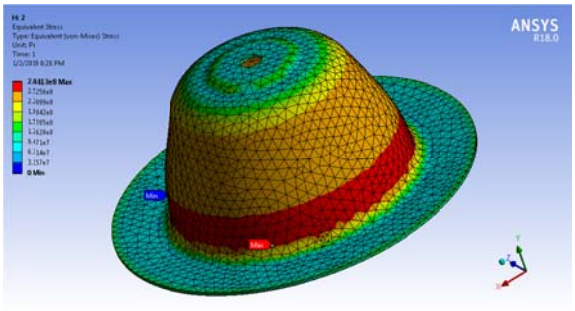
جدول۳ مشخصات دینامیکی حالت اول- تست سوم

پارامتر	مقدار			
گام عمودی ابزار شکل دهی(mm)	اول	دوم	سوم	چهارم
	0.1			
سرعت پیشروی ابزار شکل‌دهی (mm/min)	1000			
سرعت دورانی اسپیندل(rpm)	1200	1500	1800	2400

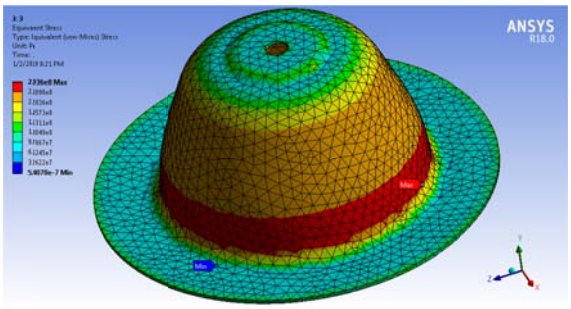
نتایج نرم افزار انسیس در اثر شبیه سازی بصورت تصاویر زیر قابل بازگو می باشد.



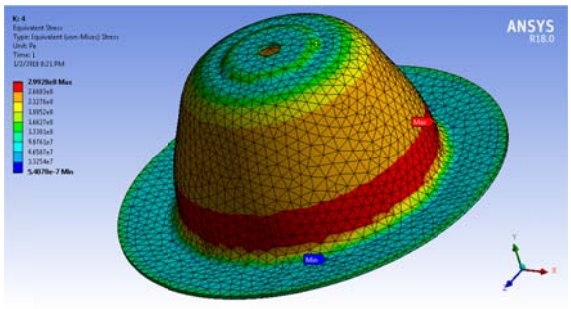
شکل۱۶بیشترین و کمترین تنش ون- میزز در حالت اول



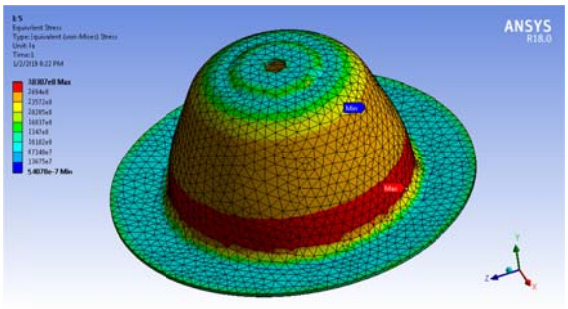
شکل ۱۷ بیشترین و کمترین تنش ون- میزز در حالت دوم



شکل ۱۸ بیشترین و کمترین تنش ون- میزز در حالت سوم



شکل ۱۹ بیشترین و کمترین تنش ون- میزز در حالت چهارم



شکل ۲۰: بیشترین و کمترین تنش ون- میزز در حالت پنجم

۷- نتیجه گیری

پژوهش حال حاضر تحت عنوان" تحلیل عددی و تجربی حد شکل پذیری ورق فلزی دارای روکش گالوانیزه گرم با استفاده از روش فرم دهی نموی دو نقطه‌ای " مورد پژوهش قرار گرفته است. در این پژوهش، هدف بررسی و تحلیل فرم پذیری ورق دارای روکش گالوانیزه گرم، ارتقاء زاویه شکل پذیری ورق وکاهش مراحل فرم دهی با استفاده از روش فرم دهی نموی دو نقطه ای و استفاده از ورق محافظ، حذف ساخت قالب‌های فرم جهت نمونه سازی اولیه، انعطاف پذیر بودن فرایند نمونه سازی و تسریع در اجرای طرح های بهبود می‌باشد. با توجه به این که فرایند شکل دهی نموی هزینه نسبتا کم در عین حال سرعت اجرای زیاد، قابل اجرا با تجهیزات ساخت و تولیدی نسبتا ساده و در دسترس در صنایع کاربرد زیادی پیدا کرده است. انجام این تحقیق در این راستا صورت می‌گیرد. با استناد به نمودارهای فصل گذشته و تحلیل های انجام شده میتوان به موارد قابل ملاحظه ای از مفاهیم و رفتار مدل در مدل سازی و شبیه سازی در دو فصل پیشین داشت که هریک از موارد زیر میتواند کمک شایانی در شناخت و فهم مدل سیستم جهت اتخاذ تصمیمات مهم و دقیق در فرآیند طراحی داشت که می‌توان بصورت جامع و خلاصه بصورت نتایج زیر تدوین نمود. کاهش مقدار گام عمودی ابزار باعث افزایش کیفیت سطح می‌شود. بعبارت دیگر، با ثابت درنظرگرفتن سرعت دورانی اسپیندل و سرعت حرکت میز و با افزایش گام عمودی ابزار شکل دهی نیروی وارد بر سطح، افزایش پیدا کرده، که متعاقبا افزایش تنش را همراه داشته که در نتیجه صافی سطح قطعه کاهش پیدا میکند. افزایش قطر ابزار باعث افزایش کیفیت سطح(کاهش خرابی هندسی) قطعه می‌شود. تغییر فرم هندسی نوک ابزار از دور فیلت به سرکروی باعث افزایش کیفیت سطح(کاهش پارگی) می‌شود. وجود ورق محافظ بدلیل حذف سطح تماس مستقیم بین ابزار شکل دهی با ورق، باعث افزایش کیفیت سطح شده ولی نوع قرارگیری و اتصال روی ورق اصلی دارای اهمیت می باشد. در این تحقیق از اتصال فیکس و ثابت نقطه ای(بصورت پیچ شده) استفاده شد. بخاطر اینکه سطح تماس ورق محافظ و ورق اصلی بصورت نقطه ای بوده و در حین چرخش ابزار فرم-دهی بر سطح ورق محافظ باعث بلند شدن گوشه های ورق محافظ شده و درنتیجه با پاره شدن ورق محافظ روبرو می‌گردد. تجمع مواد در ابتدا و انتهای ورق شکل دهی صورت گرفته است که بدان معناست که ابتدا و انتهای ورق دارای بیشترین میزان ضخامت می باشد. لازم به ذکر است که با بررسی های انجام گرفته بر روی ناحیه پارگی قطعات (اپتیک قطعات) ضخامت قطعه در ناحیه پارگی یکسان بوده و حالت گلویی مشاهده نگردید. منطقه ای که پارگی در آن اتفاق افتاده است، منطقه ای است که ابزار شکل دهی، زاویه ی ۹۰ در ورق ایجاد کرده

است(عطف به قانون سینوس‌ها). با توجه به ثابت بودن سرعت پیشروی ابزار و گام عمودی، با افزایش سرعت دورانی اسپیندل، زاویه خم افزایش پیدا کرده است. ولی با وجود افزایش سرعت دورانی اسپیندل، تغییرات ناچیزی در ضخامت ورق به چشم خورد. عدم استفاده از روانکار باعث پاره شدن قطعه و دفرمگی ابزار فرم‌دهی می گردد. بعبارت دیگر عدم استفاده از روانکار در تست تجربی، موجب گرم شدن بیش از حد ابزار فرم‌دهی و در نتیجه منجر به سوراخ شدن و پارگی ورق شکل دهی می‌شود. براساس نتایج گرفته شده از شبیه سازی با نرم افزار انسیس و تست تجربی می‌توان مقایسه ای بین کمترین و بیشترین مقدار تنش تحمل شده در ورق را به بحث کشاند. همچنین میزان تنش استخراج شده از ۵ حالت تست تجربی سوم می‌توان مقایسه و صحت سنجی بین نتایج انسیس و تجربی ارائه کرد.

۸- مراجع

[1] T. Katajarinne, doctoral dissertations“On the Behaviour of the Process and Material in Incremental Sheet Forming”Figure 1. P3 (8 April 2014).

[2] Ghasemi H., Solttani B.,(2014), Experimental investigation on the effective parameters on forming force, dimensional accuracy and thickness distribution in single point incremental forming, Modares Mechanica Engineerring, 14, 89-96.

[5] Fiorentino A., Giardini C., Ceretti E., (2014), Application of Artificial Congnitive System to Incremental Sheet Forming Machine Tools for Part Precision Improvement, Journal Precision Engineering 39, 167-172.

[6] Kurra S., Rahman N., Regalla S., Gupta A., (2015), Modeling and Optimization of Surface Roughness in Single point Incremental Forming Process, Journal of Materials Research and Technology 4, 304-313.

[44] A. Mulay, B. Satish Ben, S. Ismail, A. Kocanda, C. Jasiński, Performance evaluation of high-speed incremental sheet forming technology for AA5754 H22 aluminum and DC04 steel sheets, archive sofcivil and mechanical engineering, vol. 1 8 , pp. 1 2 7 5 – 1 2 8 7, 2018.

[45] H. Ren, F. Li, N. Moser, D. Leem, T. Li , K. Ehmann, J. Cao, General contact force control algorithm in double-sided incremental forming, CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 12, pp. 845-849, 2018.

[37] A. leonhadt, G. Kurz, J. Hernandez, d.Letzig, Experimental Study on Incremental Sheet Forming of Magnesium alloy AZ31 with hot air heating, 17th International Conference on Metal Forming, vol. 15, pp. 1192-1199, 2018.

[38] M. Ostu, S. Nagai, T. Miura, M. Okada, T. Muranaka, Forming Accuracy Improvement by double-side Incremental Forming, 17th International Conference on Metal Forming, vol. 15, pp. 1177-1183, 2018.