مطالعه‌ای بر روی شکل‌دهی قطعات ورقه‌ای با استفاده از فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای

وحید ریخته‌گر نظامی[1*]، بهروز زارع[2]، عباس وفایی صفت[3]

تاریخ دریافت: ۱۰ فروردین ۹۲ تاریخ پذیرش: ۲۶ خرداد ۹۲

چکیده

در سالهای اخیر، فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای به علت انعطاف پذیری بالای آن، در جهت کاهش هزینه‌های طراحی و ساخت مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در این روش سطح انحنای صلب موجود در قالبهای سنتی با یک جفت مجموعه‌ای از پین‌های قابل تنظیم مقابل هم جایگزین می گردد. در این مقاله اصول بنیادی روش شکل‌دهی چند نقطه‌ای مورد بحث قرار گرفته و امکان شکل‌دهی یک قطعه ورقه‌ای با استفاده از این تکنیک به صورت تجربی و شبیه سازی اجزای محدود بررسی شده است. چروکیدگی و تورفتگی از متداولترین عیوب بوجود آمده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می باشند. با تنظیم مناسب پارامترهای فرآیند می توان قطعات سالمی را با صافی سطح بالا و توزیع ضخامت یکنواخت شکل‌دهی کرد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می تواند به عنوان یک روش کارآمد و اقتصادی در شکل‌دهی قطعات تکی با شکلهای هندسی متنوع مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: شکل‌دهی چند نقطه‌ای، شبیه سازی اجزای محدود، چروکیدگی، تورفتگی.

۱. مقدمه

فرآیندهای شکل‌دهی ورق‌های فلزی از نظر تکنولوژیکی یکی از مهمترین شاخه‌های فرآیندهای شکل-دهی فلزات محسوب می شوند بطوریکه اغلب قطعات بدنه خودرو، قسمت اعظم بدنه هواپیما و سایر محصولات صنعتی مشابه، با استفاده از فرآیندهای شکل‌دهی متنوعی که بر روی ورقهای فلزی صورت می گیرد ساخته می شوند. در این فرآیندها با استفاده از مجموعه‌ای از قالبهای یکپارچه تغییر شکل پلاستیک مطلوب در یک ماده خام اولیه ایجاد میگردد. این قبیل قالبها عموما با ماشینکاری و یا ریخته‌گری یک بلوک جامد با سطوح ویژه ساخته می شوند و تنها برای تولید یک قطعه با مشخصات هندسی خاص می توانند مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین برای تولید قطعات مختلف نیاز به استفاده از قالبهای متفاوتی وجود خواهد داشت. طراحی و ساخت قالب‌های جدید مستلزم صرف زمان و هزینه بالایی بوده و فضای زیادی برای نگهداری قالبها اشغال می شود. در نتیجه استفاده از روشهای فوق برای تولید قطعات تکی و قطعات دسته‌ای با تیراژ پایین غیراقتصادی خواهد بود. توسعه روشهای شکل‌دهی انعطاف پذیر می تواند به عنوان یک راهکار مناسبی در جهت رفع مشکلات فوق مطرح گردد. ایده استفاده از روشهای شکل‌دهی انعطاف پذیر دست کم به بیش از سی سال پیش بر می گردد [۱]. والزیک و هاردت [۲] با ارائه مفهوم قالب قابل تغییر شکل، طراحی مکانیکی یک قالب گسسته را مورد مطالعه قرار دادند. والزیک و همکارانش [۳] به منظور کاهش زمان و هزینه‌های ساخت قالب، یک قالب گسسته قابل تغییر شکل را جهت شکل‌دهی قطعات بدنه هواپیما توسعه دادند. هاس و همکارانش [۴] قالب انعطاف‌پذیری را جهت شکل‌دهی قطعات تکی طراحی کرده و

۱ . دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران v.rikhtegar@yahoo.com

۲ . دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۳ . دانشیار دانشگاه امام حسین (ع)

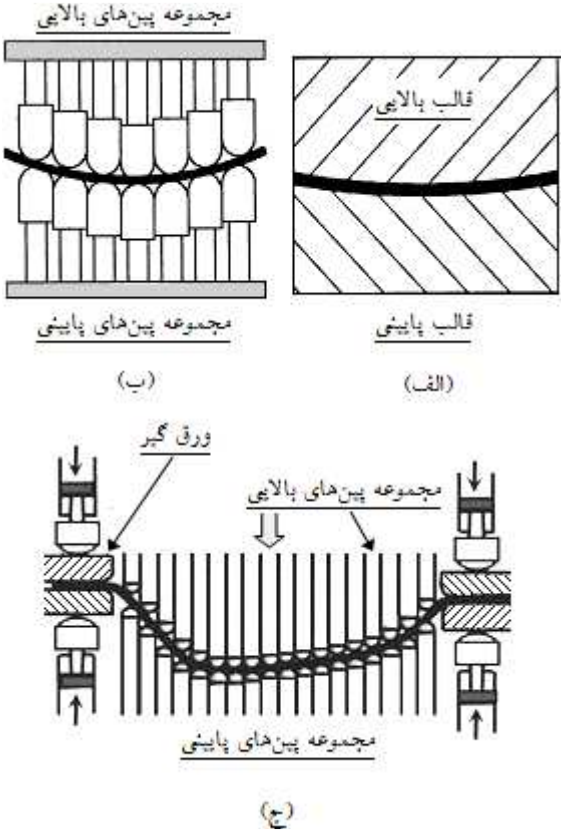
در ادامه با ساخت یک قالب اولیه، عملی بودن روش ارائه شده را بررسی کردند.

بکارگیری روش‌های شکل‌دهی انعطاف پذیر، با مفهوم فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای اولین بار توسط مینگزلی و همکارانش [۵] ارائه گردید. آنان با طبقه‌بندی مدهای مختلف شکل‌دهی چند نقطه‌ای، استفاده از روشهای فوق را در شکل‌دهی قطعات ورقه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. محققان مذکور همچنین روش شکل‌دهی چند نقطه‌ای موضعی را برای شکل‌دهی سطوح ورقه‌ای با ابعاد بزرگ با استفاده از قالب های کوچک ارائه کردند [۵ و ۱].

با این وجود، اکثر تحقیقات ارائه شده از سوی محققان مختلف محدود به استفاده از این تکنیک در شکل‌دهی سطوح ورقه‌ای می باشد بطوریکه تحقیقات بسیار کمی در مورد به کارگیری این روش در کشش عمیق قطعات صنعتی صورت گرفته است. در این مقاله اصول بنیادی فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای مورد بحث قرار گرفته است. به منظور بررسی فرآیند فوق مجموعه قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای طراحی و ساخته شده و امکان شکل‌دهی یک قطعه ورقه‌ای از جنس آلیاژ آلومینیومی Al1100-O با استفاده از این تکنیک، به صورت تجربی و شبیه سازی اجزای محدود مورد مطالعه قرار گرفته است. توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. عیوب به وجود آمده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای شناسایی و بحث گردیده و راهکارهای مناسب جهت شکل‌دهی قطعات سالم ارائه شده است.

۲- اصول فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای

فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای یک روش انعطاف پذیر جهت تولید قطعات ورقه‌ای با هندسه سه بعدی می باشد [۱]. شکل (۱) شکل‌دهی سنتی و روش شکل‌دهی چند نقطه‌ای را بدون استفاده و با استفاده از ورق‌گیر نشان می دهد. مطابق شکل مذکور، در این روش سنبه- ماتریس صلب موجود در قالب‌های سنتی با یک جفت مجموعه‌ای از المانهای مقابل هم جایگزین می گردد و ورق مابین این دو مجموعه شکل داده می شود. پین‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که مستقل از هم بوده و به آسانی قابل تنظیم می باشند بنابراین می توان با کنترل ارتفاع پین‌ها یک سطح کاری پیوسته‌ای را ایجاد کرد. با استفاده از این روش، شکل‌دهی قطعات با شکلهای هندسی متنوع تنها با استفاده از یک قالب مشابه امکان پذیر می باشد و نیاز به طراحی و ساخت قالبهای متعدد رفع می گردد که منجر به صرفه جویی زیادی در زمان و هزینه‌های تولید بویژه در زمینه تولید قطعات تکی و دسته‌ای با تیراژ پایین خواهد گردید.



شکل (۱): مفهوم فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای (الف)- روش شکل‌دهی سنتی (ب)- شکل‌دهی چندنقطه‌ای بدون ورق‌گیر (ج)- شکل‌دهی چند نقطه‌ای با استفاده از ورق‌گیر

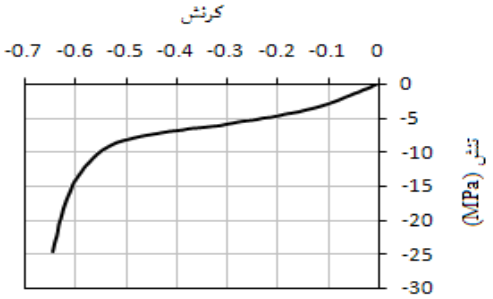
۳- شبیه سازی اجزای محدود

برای انجام شبیه سازی اجزای محدود فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای از نرم افزار Abaqus 6.9.1 استفاده شده است. شکل ۲ مدل اجزای محدود ایجاد شده را بصورت انفجاری نشان می دهد. به علت تقارن و به منظور کاهش زمان شبیه سازی، فقط ۱/۴ ورق و سایر اجزای قالب

مدلسازی شده است. مشخصات ابعادی اجزای مختلف قالب در جدول (۱) ارائه شده است. ورق به صورت پوسته‌ای تغییر شکل‌پذیر مدل شده و برای مش بندی آن از المانهای چهار گرهی S4R استفاده شده است. جنس ورق مورد استفاده در آزمایشات و شبیه سازی، آلیاژ آلومینیومی Al1100-O می باشد، که خواص فیزیکی این ماده، به همراه خواص مکانیکی بدست آمده از آزمون کشش در جدول (۲) نشان داده شده است.

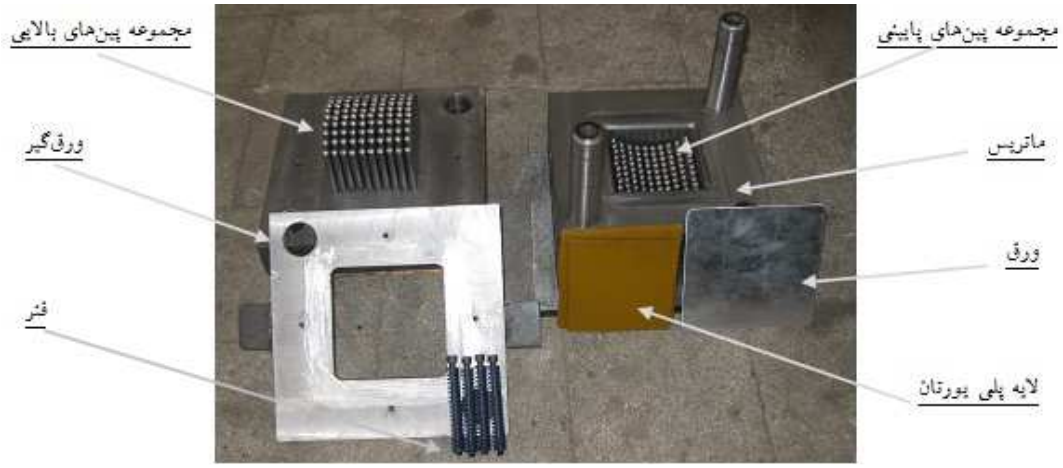
فیزیکی و مکانیکی ورق از جنس آلیاژ آلومینیومی Al1100-O.

پارامتر	مقدار
ضخامت اولیه (mm)	$t_0 = 1$
چگالی (kg/m^3)	$\rho = 2710$
مدول الاستیسیته (GPa)	$E = 71$
ضریب پوآسون	$\upsilon = 0.33$
استحکام تسلیم (Mpa)	$\sigma = 41.80$
توان کرنش سختی	$n = 0.2446$
ضریب استحکام (Mpa)	$K=145.89$



شکل(۳): نمودار تنش کرنش پلی یورتان با سختی ۸۰ SA.

در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای، خصوصیات لایه الاستیک اثر قابل توجهی بر روی رفتار تغییر شکل ورق فلزی دارد. به علت مقاومت بالای پلی یورتان در برابر سایش و روغن، در انجام آزمایشات و شبیه سازی ها از دو لایه پلی یورتان با سختی ۸۰ SA استفاده شده است. شکل (۳) نمودار تنش- کرنش بدست آمده از آزمایش فشار (ASTM D575-91) لایه پلی یورتان استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد که داده‌های بدست آمده از نمودار فوق به نرم افزار معرفی گردید. از المانهای C3D8R برای مش بندی لایه‌های پلی یورتان استفاده گردیده است. سایر تجهیزات قالب به صورت پوسته‌ای صلب مدل شده‌اند و مش‌بندی آنها با استفاده از المانهای R3D4 انجام گرفته است. جهت مدل کردن اصطکاک مابین سطوح اجزای مختلف قالب و ورق از مدل اصطکاکی کولمب استفاده گردیده است. مطابق با مرجع [۶] ضریب اصطکاک مابین سطح ورق و سطوح اجزای قالب، سطح ورق با لایه پلی یورتان و لایه پلی یورتان با سطح پین‌ها به ترتیب ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۲ فرض شده است.



شکل (۴): مجموعه قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای ساخته شده جهت انجام آزمایشات تجربی.

نوع تماس مابین سطح ورق با سطح لایه پلی یورتان و سطوح قالب از نوع سطح به سطح انتخاب شده است.

۴- طراحی و ساخت قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای

شکل (۴) مجموعه قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای ساخته شده در این پژوهش را به صورت مجزا از هم نشان می دهد. ابتدا قبل از شروع ساخت، اندازه‌های مطلوب اجزای مختلف قالب فوق با اجرای یکسری شبیه سازی تعیین گردید. قطر پین یکی از مهمترین فاکتورهای تاثیر گذار در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می باشد، از نتایج بدست آمده از شبیه سازی‌ها این نتیجه گیری حاصل شد که استفاده از پین با قطر ۱۲ میلی‌متر منجر به شکل گیری قطعه با کیفیت مناسبتری خواهد گردید. بنابراین در ساخت قالب فوق مجموعا از ۲۰۰ عدد پین سر کروی با قطر ۱۲ میلی‌متر استفاده شده است. سایر اجزای قالب بر طبق مقادیر ارائه شده در جدول (۱) ساخته شده است. پین‌ها مستقل از هم بوده و ارتفاع هر یک از آنها به آسانی قابل تنظیم می باشد. بنابراین می توان با تنظیم ارتفاع هریک از پین‌ها سطوح با انحناهای متفاوتی را بدست آورد. از ۴ عدد فنر برای تامین نیروی ورق‌گیر استفاده شده است. با استفاده از فنرهایی با مشخصات متفاوت، امکان اعمال نیروهای ورق‌گیر متفاوت در آزمایشات وجود داشت. برای انجام آزمایشات از یک پرس هیدرولیکی مدل T.S.S با ظرفیت ۲۰۰ تن استفاده شد. شکل (۵) قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای را در حالت نصب بر روی دستگاه پرس نشان می دهد.

شکل (۵): مجموعه قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای در حالت نصب بر روی دستگاه پرس.

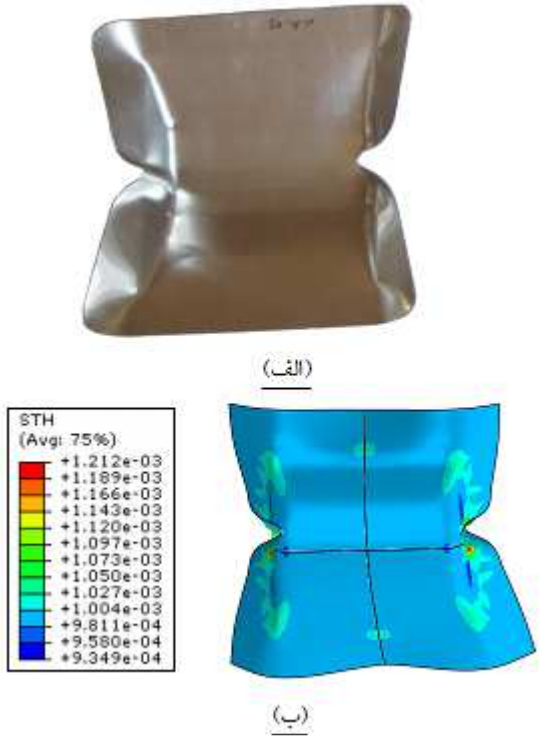
۵- نتایج و بحث

شکل‌دهی یک قطعه ورقه‌ای شکل با سطح مقطع مربعی و شعاع انحنای ۱۰۰ میلی‌متر تحت شرایط مختلف شکل‌دهی مورد آزمایش قرار گرفت و بدین ترتیب عیوب بوجود آمده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای شناسایی شده و شرایط لازم جهت تولید قطعات سالم با استفاده از این تکنیک مورد بررسی قرار گرفت. عیوب بوجود آمده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای را به دو دسته کلی می توان تقسیم بندی کرد. دسته اول عیوبی هستند که مابین فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای و سایر فرآیندهای شکل‌دهی مشترک می باشند که می توان به عیوب چروکیدگی و پارگی اشاره کرد. دسته دوم عیوبی هستند که مختص فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می باشند که عیب تورفتگی یکی از متداولترین عیوب بوجود آمده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می باشد.

۵-۱ چروکیدگی در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای

در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای، میزان ماده جریان یافته به محفظه قالب می تواند کیفیت قطعه شکل داده شده را تحت تاثیر قرار دهد. جریان بیش از حد ماده به داخل

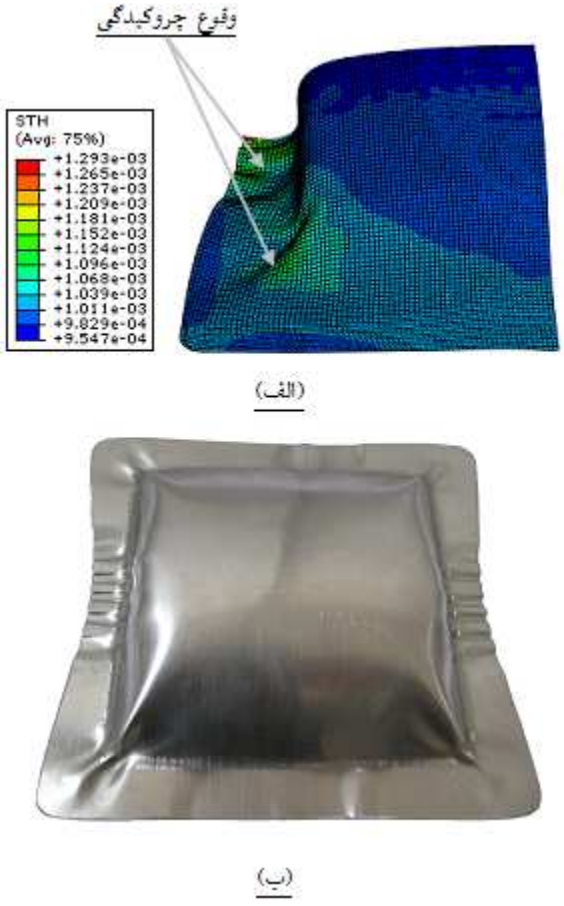
قالب منجر به ایجاد چروکیدگی در قطعه می گردد در حالیکه عدم جریان کافی فلز منجر به ایجاد پارگی در قطعه‌کار خواهد گردید. همانطور که در بخش ۲ اشاره گردید فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می تواند به دو



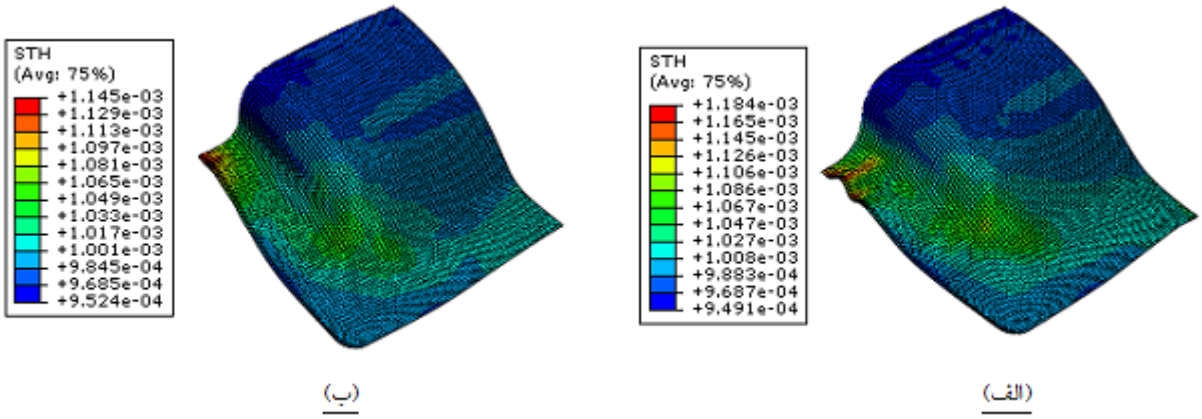
شکل (۶): نمونه شکل داده شده در فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای بدون استفاده از ورق گیر (الف)- تجربی (ب)- شبیه سازی.

صورت استفاده از ورق گیر و بدون استفاده از ورق گیر اجرا گردد. در این پژوهش شکل‌دهی قطعات تحت دو حالت فوق مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل (۶) نمونه شکل داده شده در آزمایشات و شبیه سازی را بدون استفاده از ورق گیر نشان می دهد. ملاحظه می شود که در اثر عدم استفاده از ورق‌گیر، اعوجاج شدیدی در ورق ایجاد شده است. نتایج تحقیقات گزارش شده از سوی محققان مختلف نشان می دهد که ورق گیر یک نقش کلیدی را در کنترل جریان فلز در فرآیند کشش عمیق معمولی دارد و با انتخاب مناسب نیروی ورق گیر می توان از ایجاد چروکیدگی جلوگیری کرده و وقوع پارگی را به تاخیر انداخت [۷]. بنابراین شکل‌دهی قطعات تحت اعمال نیروهای ورق گیر متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است.

همانگونه که در بخش قبل ذکر شد برای تامین نیروی ورق گیر از ۴ عدد فنر استفاده شده است که در حین شکل‌دهی



شکل (۷): نمونه شکل داده شده با اعمال نیروی ورق گیر N ۳۰۰ (الف)- شبیه سازی (ب)- تجربی.

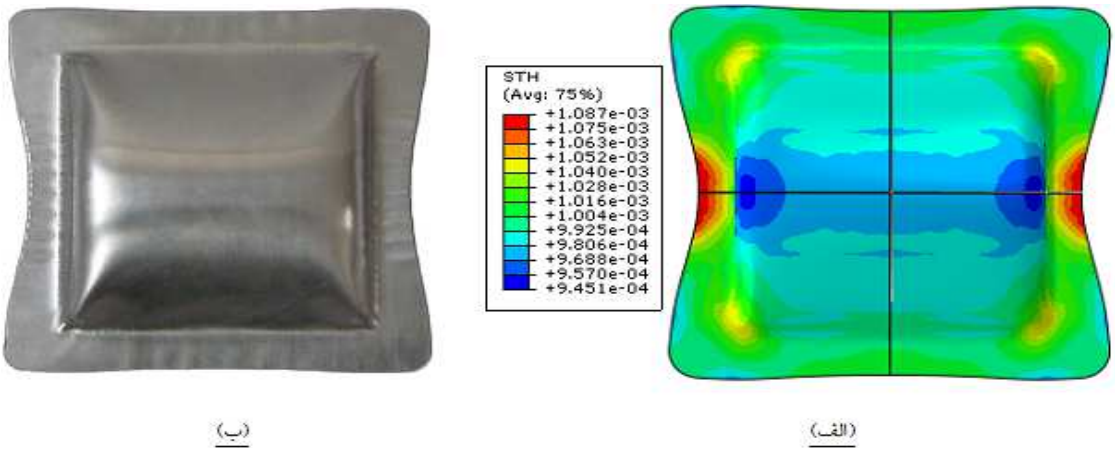


شکل (۸): قطعات شکل داده شده با اعمال نیروی ورگیر (الف)- ۶۰۰ N (ب)- ۹۰۰ N.

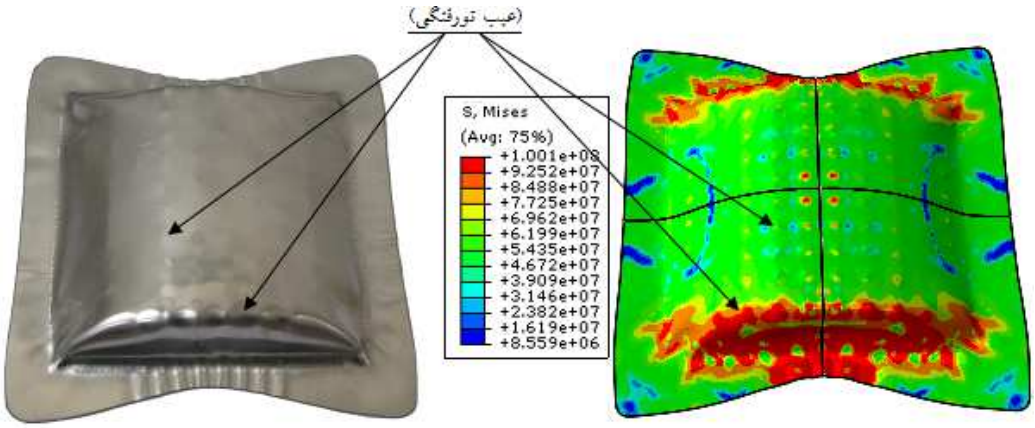
با فشرده شدن فنرها به تدریج نیروی اعمال شده افزایش یافته و به حداکثر می رسد. شکل (۷) نمونه شکل داده شده تحت اعمال حداکثر نیروی ورق گیر ۳۰۰ N را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد به علت پایین بودن میزان نیروی ورق گیر اعمال شده و در نتیجه جریان بیش از حد ورق، چروکیدگی شدیدی در قطعه رخ داده است. به منظور بدست آوردن نیروی ورق گیر مطلوب اجرای شبیه سازی ها با اعمال نیروهای ورق‌گیر با مقادیر بالاتر ادامه یافت. شکل (۸) نتایج شبیه سازی قطعات شکل داده شده با اعمال نیروی ورق‌گیر ۶۰۰ N و ۹۰۰ N را نشان می دهد که مطابق انتظار و مشابه کشش عمیق معمولی با افزایش نیروی ورق‌گیر از میزان چروکیدگی‌ها کاسته می شود. براساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی با اعمال نیروی ورق گیر بالاتر از ۱ KN می توان قطعات سالم و عاری از چروکیدگی را شکل داد. نمونه شکل داده شده تحت اعمال نیروی ورق‌گیر ۱ KN در شکل (۹) نشان داده شده است که مطابق شکل فوق، مطابقت قابل قبولی مابین نتایج پیش بینی شده از شبیه سازی و نتایج تجربی وجود دارد و اعمال نیروی ورق گیر پیش بینی شده از شبیه سازی منجر به شکل گیری قطعه سالمی در آزمایشات گردیده است.

۵-۲ عیب تو رفتگی

مزیت اصلی فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای در مقایسه با

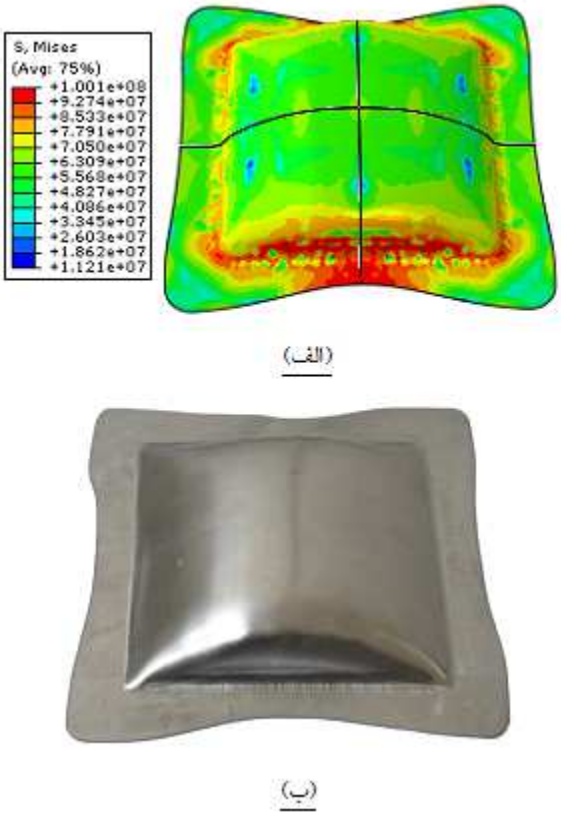


شکل (۹): نمونه شکل داده شده تحت اعمال نیروی ورق‌گیر ۱ KN (الف)- شبیه سازی (ب) تجربی.

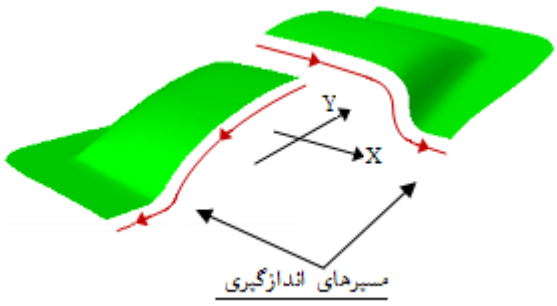


شکل(۱۰): وقوع تورفتگی در اثر تماس مستقیم و ناپیوسته پین‌ها با سطح ورق (الف)- شبیه سازی (ب) تجربی
(تحت اعمال نیروی ورق‌گیر ۷۰۰ N)

روش‌های سنتی، انعطاف پذیری بالای آن می باشد. ولی استفاده از این تکنیک نیز معایبی را به همراه دارد. عیب تورفتگی از جمله عیوب مختص فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای می باشد. همانطور که در بخشهای قبلی ذکر شد در این تکنیک سطح پیوسته قالب‌های صلب سنتی با مجموعه‌ای از پین‌های گسسته قابل تنظیم جایگزین می گردد. عیب تورفتگی در اثر تماس مستقیم و ناپیوسته بین ورق و پین‌ها ایجاد می شود. هریک از پین‌ها یک نیروی متمرکز را بر روی ورق اعمال می کنند که این نیروهای متمرکز گسسته منجر به ایجاد تغییر شکل موضعی شدیدی در ورق می شوند. شکل (۱۰) وقوع عیب تورفتگی را در آزمایش تجربی و شبیه سازی نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود در نقاط تماس پین‌ها با ورق تغییر شکل به صورت موضعی رخ داده و وضعیت تنش در این نقاط نسبت به سایر قسمتهای قطعه بحرانی‌تر است. برای جلوگیری از ایجاد عیب تورفتگی میبایستی نیروهای وارد شده از طرف پین‌ها بر کل سطح ورق توزیع شود، که برای این منظور، دو لایه پلی یورتان با سختی SA ۸۰ مابین سطوح ورق و مجموعه پین‌های بالایی و پایینی قرار داده شده است. نمونه شکل داده شده در آزمایش تجربی و شبیه سازی در شکل (۱۱) قابل مشاهده می باشد. مطابق شکل مذکور نمونه شکل داده شده دارای صافی سطح بسیار مناسبی بوده و هیچگونه عیب تورفتگی در قطعه مشاهده نمی شود. همچنین توزیع تنش یکنواختی در نقاط مختلف قطعه اتفاق افتاده است.



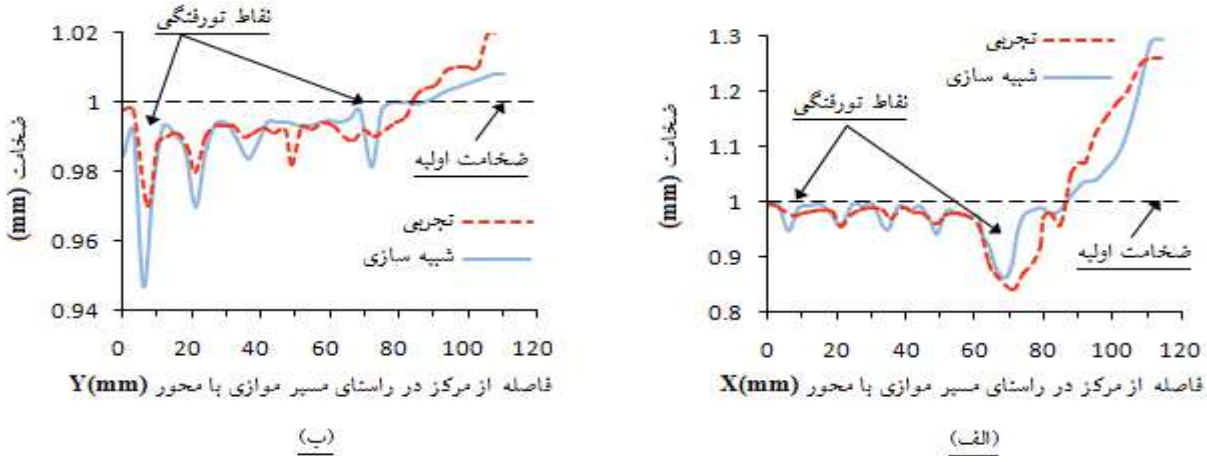
شکل(۱۱) : نمونه شکل داده با استفاده از دو لایه پلی یورتان با سختی SA ۸۰ (الف)- شبیه سازی (ب)-تجربی



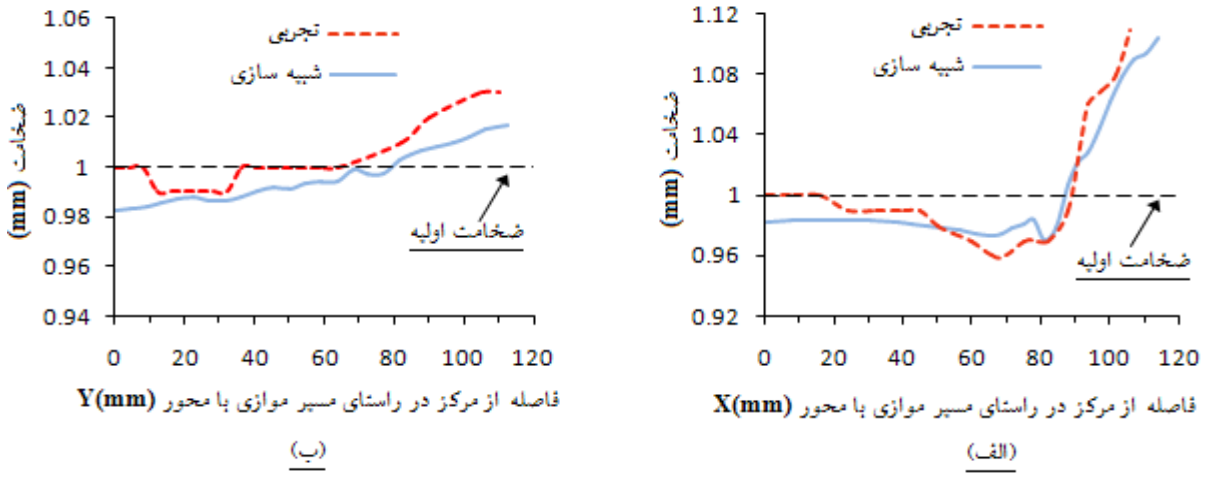
شکل (۱۲): مسیرهای اندازه‌گیری ضخامت

۳-۵ بررسی توزیع ضخامت

به منظور اندازگیری توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده، نمونه‌ها در جهت محورهای تقارن بریده شده و توزیع ضخامت در دو مسیر نشان داده شده در شکل (۱۲) اندازه‌گیری شده است. شکل (۱۳) منحنی‌های توزیع ضخامت بدست آمده از نتایج تجربی و شبیه سازی نمونه شکل داده شده بدون استفاده از لایه پلی یورتان را نشان می دهد. همانگونه که از شکل فوق ملاحظه می شود به علت عدم استفاده از لایه پلی یورتان، نمونه شکل داده شده، در راستای هر دو مسیر اندازه‌گیری دارای توزیع ضخامت غیر یکنواختی می باشد و نقاط تورفتگی بوضوح بر روی منحنی قابل تشخیص می باشند بطوری‌که در این نقاط در نتیجه اعمال نیروری متمرکز از طرف پین‌ها و ایجاد تغییر شکل موضعی، کاهش ضخامت شدیدی رخ داده است. شکل (۱۴) منحنی‌های توزیع ضخامت بدست آمده از نتایج تجربی و شبیه سازی نمونه شکل داده شده با استفاده از لایه پلی یورتان را نشان می دهد. مطابق شکل فوق، استفاده از لایه پلی یورتان منجر به شکل گیری نمونه‌ای با توزیع ضخامت یکنواخت گردیده است و هیچ گونه نازک شدگی موضعی در قطعه مشاهده نمی شود که علت این امر، توزیع یکنواخت نیروهای متمرکز وارد شده از طرف پین‌ها بر روی ورق، در نتیجه استفاده از لایه پلی یورتان می باشد. همچنین از شکلهای (۱۳) و (۱۴) می توان مشاهده کرد که مطابقت نسبتا خوبی مابین نتایج تجربی و نتایج پیش بینی شده از شبیه سازی ها بر قرار است که نشان دهنده صحت مدل اجزای محدود توسعه داده شده می باشد.



شکل(۱۳): منحنی توزیع ضخامت نمونه شکل داده شده بدون استفاده از لایه پلی یورتان در راستای (الف)- مسیر موازی محور X (ب)- مسیر موازی محور Y



شکل(۱۴): منحنی توزیع ضخامت نمونه شکل داده شده با استفاده از لایه پلی یورتان در راستای (الف)- مسیر موازی محور X (ب)- مسیر موازی محور Y

۶- نتیجه گیری

در این مقاله اصول بنیادی فرآیند شکل‌دهی چند نقطه-ای مورد بحث قرار گرفت. با طراحی و ساخت یک قالب شکل‌دهی چند نقطه‌ای ، امکان شکل‌دهی یک قطعه ورقه-ای با استفاده از تکنیک فوق به صورت تجربی و شبیه سازی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج بدست آمده به شرح زیر می باشد:

۱-چروکیدگی و تورفتگی از متداولترین عیوب به وجود آمده در شکل‌دهی قطعات ورقه‌ای با روش شکل-دهی چند نقطه‌ای می باشند. با اعمال نیروی ورق گیر مناسب می توان از وقوع چروکیدگی جلوگیری کرد. عیب تورفتگی در نتیجه تماس مستقیم و ناپیوسته پینها با سطح ورق و ایجاد تغییر شکل موضعی شدید در نقاط تماس پین‌ها با ورق بوجود می آید. با استفاده از دو لایه الاستیک و در نتیجه توزیع نیروهای متمرکز پین‌ها به کل سطح ورق می توان قطعات سالم و با صافی سطح بالایی را شکل‌دهی کرد.

۳- بررسی توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده در دو حالت استفاده از لایه پلی یورتان و عدم استفاده از آن نشان داد که در صورت عدم استفاده از لایه پلی یورتان، نمونه شکل داده شده دارای توزیع ضخامت غیر یکنواختی خواهد بود. استفاده از لایه الاستیک منجر به شکل‌گیری قطعه با توزیع ضخامت یکنواخت می گردد و کاهش ضخامت بسیار کمی در قطعه بوجود خواهد آمد.

۴- با توجه به انعطاف پذیری بالای فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای، این روش می تواند به عنوان یک روش کارآمد اقتصادی برای تولید قطعات تکی با انحناهای متفاوت، بویژه در زمینه هوا و فضا مورد استفاده قرار گیرد.

۵- نتایج آزمایشگاهی مطابقت قابل قبولی با نتایج شبیه سازی دارد. بنابراین شبیه سازی اجزای محدود می تواند به عنوان یک ابزار پیشگویانه قوی برای مطالعه بیشتر فرآیند شکل‌دهی چند نقطه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

۷- مراجع

[1] Li, M.Z., Liu, Y., Su, Sh., Li, G., "Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet", Journal ofMaterials Processing Technology, Vol. 87, pp. 277–280, 1999.
[2] Walczyk, D.F., Hardt, D.E.,"Design and analysis of reconfigurable discrete dies for sheet metal forming",Journal of Manufacturing Systems, Vol. 17(6), pp.436–454. 1998.
[3] Walczykk, D.F., Lakshmikanthan, J., Kirt, D.R., "Development of a reconfigurable tool for forming aircraft body panels", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 17(4), pp.287–296, 1998.
[4] Haas, E., Schwarz, C.R., Papazian,J.M., "Design and Test of a Reconfigurable Forming Die", Journal of Manufacturing processes, Vol. 4(1), pp.77-85, 2002.
[5] Li, M.Z., Cai, Z.Y., Sui, Z., Yan, Q.G., "Multi-point forming technology for sheet metal", Journal ofMaterials Processing Technology, Vol. 129, pp 333–338, 2002.
[6] Wang, Sh., Cai, Zh., Li, M., " Numerical investigation of the influence of punch elementin multi-point stretch forming process" Journal of Advance Manufacturing Technology, Vol. 49, pp.475-483, 2010.
[7] Obermeyer, E.J., Majlessi, S.A., "A review of recent advances in the application of blank-holderforce towards improving the forming limits of sheet metal parts", Journal of Material Processing Technology, Vol. 75, pp. 222-234, 1997.