



مطالعه عددی و تجربی پدیده گوش‌واره‌ای شدن در کشش عمیق فنجان مربعی از ورق دولایه‌ی AL-BR

محمد حسین محمودیان*

* ۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (m.h.m.65.2010@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹-۱۰-۱۶ تاریخ دریافت: ۱۳۹۹-۱۰-۱۰

چکیده: یکی از مهمترین روش‌های شکل‌دهی ورق، کشش عمیق ورق‌های فلزی می‌باشد. کشش عمیق بطور گسترده‌ای در تغییر شکل ورق‌های فلزی و تبدیل آن به ورق‌های تو خالی به کار می‌رود. هنگامی که دو یا چند فلز بصورت لایه‌ای یا کامپوزیت با یکدیگر ترکیب می‌شوند، خواصی مانند هدایت حرارتی خوب، خواص ضد خوردگی، مقاومت سایشی، کیفیت سطوح خوب و مواردی دیگر را می‌توانند بدست دهند. در این پژوهش کشش عمیق ورق‌های ساخته شده از دو جنس برنج و آلومینیم ابتدا شبیه سازی می‌شود و با استفاده از آزمایش‌های عملی پارامترهای موثر در این فرآیند مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته می‌شود. جهت تایید نتایج شبیه سازی تعدادی آزمایش که به دو بخش آزمایش‌های مقدماتی و اصلی تقسیم شده انجام می‌شود. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده توسط نرم افزار آباکوس و آزمایش‌ها عملی نشان می‌دهد که نحوه چیدن لایه‌ها در قالب بر روی چروکیدگی ورق‌ها اثر می‌گذارد. همچنین، مشخص شده که مقدار نیروی رابطه عکس با میزان چین خوردگی دارد. در انتها پیشنهاداتی برای ادامه کار بر روی این موضوع ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: کشش عمیق، ورق‌های چند لایه، شکل دهی، چین خوردگی

۱. مقدمه

خصوصیات ممتازی که از ترکیب دو فلز با یکدیگر بدست می‌آید، باعث استفاده روز افزون صنایع مختلف مانند الکترونیک، دریانوردی، اتومبیل و غیره از این نوع مواد شده است. خواصی ترکیبی این ورق‌ها سبب شده است تا کاربرد وسیعی در صنایع خودروسازی و هوافضا داشته باشند [۱۰]. به دو دلیل عمده، استفاده از این ورق‌ها گسترش یافته است: (الف) ایجاد خواص ترکیبی لایه‌های مختلف مانند مقاومت به خوردگی، خواص الکتریکی و حرارتی و استحکام به وزن بالا (ب) افزایش شکل پذیری ورق‌های سبک وزن با شکل پذیری کم [۱۱]. ورق‌های چند لایه فلزی از ورق‌های فلزی مشابه یا غیر مشابه معمولاً با ضخامت لایه‌های مختلف تشکیل شده‌اند. لایه‌ها از طریق اتصال نوردی گرم و سرد، جوشکاری انفجاری، اتصال فشاری سرد و اتصال چسبی به یکدیگر متصل می‌شوند. این ورق‌ها همچنین در صنایع نفت و گاز و صنایع شیمیایی به کار برده می‌شوند. از دامنه کاربرد آن‌ها مبدل‌های حرارتی خنک‌شونده با آب دریا، مخازن تحت فشارها، راکتورها و سایر تجهیزاتی که در آن‌ها گازهای ترش و دیگر مواد خورنده وجود دارد، می‌توان برشمرد. کشش عمیق بطور گسترده‌ای در تغییر شکل ورق‌های فلزی و تبدیل آن به ورق‌های تو خالی به کار می‌رود. از این روش برای تولید قطعات مختلفی صنعتی همچون مخزن‌های فولادی تحت فشار یا خلاء، بعضی از قطعات اتومبیل و هواپیما، پوسته فشنگ و گلوله، قوطی‌های کنسرو و نوشابه و... کاربرد دارد. خصوصیات مهمی چون انعطاف‌پذیری، وزن کم، قابلیت شکل‌پذیری زیاد، پرداخت سطح خوب و هزینه پایین

قطعاتی که از این روش تولید می‌شوند، باعث توسعه و گسترش دامنه کاربرد این روش و تنوع تولیدات حاصل از آن شده است. علاوه بر این، با این روش می‌توان قطعات با شکل‌های پیچیده‌ای را که ساخت آنها را از طریق روش‌های دیگر چون ریخته‌گری تزریقی با قالب و یا فورج مشکل و پرهزینه است، تولید کرد.

ابزار سازی و بررسی فرآیند تولید هنوز بیشتر بر نتایج تجربی استوار است. به طوریکه پارامترهای مهم این فرآیند مانند شکل و اندازه ورق اولیه، حد پارگی و نیروی کشش عموماً از راه تجربه به دست می‌آید و اساس کار طراحان قالب معمولاً متکی بر سعی و خطاست. پس به منظور صرفه جویی هر چه بیشتر در وقت و هزینه‌ها، استفاده از روش شبیه‌سازی عددی که از دقت قابل قبولی نیز برخوردار می‌باشد، برای بررسی فرآیند مورد نظر بسیار عاقلانه می‌باشد.

در سال‌های گذشته پژوهش‌های فراوانی در مورد فرآیند کشش عمیق فلزات تک لایه انجام شده است، اما با این وجود با توجه به مطالعات انجام شده و همچنین دانش نویسنده به نظر می‌رسد که فرآیند کشش عمیق ورق‌های چند لایه کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالب مذکور کشش عمیق ورق‌های ساخته شده از دو جنس برنج و آلومینیم ابتدا شبیه‌سازی می‌شود و با استفاده از آزمایش‌های عملی مورد تحقیق قرار می‌گیرد. در این پژوهش سعی شده است که دو فلزی که استفاده فراوان در صنایع مختلف دارند با هم ترکیب شده و فرآیند کشش عمیق آنها مورد بحث و بررسی قرار گیرند. به همین منظور دو فلز برنج با آلیاژ ۹۹٪ خالصی و آلومینیم با آلیاژ ۱۰۵۰ مورد استفاده قرار گرفت.

۲- تجهیزات و تنظیمات آزمایشگاهی

آزمایش‌های عملی و بررسی تجربی کشش عمیق و پارامترهای موثر در این فرآیند در یک آزمایشگاه با استفاده از تعدادی دستگاه آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. این آزمایشات که به دو بخش آزمایش‌های مقدماتی و آزمایش‌های اصلی تقسیم می‌شوند، جهت تایید نتایج شبیه‌سازی انجام می‌شوند. نتایج بدست آمده از آزمایشات عملی گزارش شده و نتایج کلی حاصل از انجام پژوهش همراه با پیشنهاداتی برای ادامه کار بر روی این موضوع ارائه شده است.

دستگاه پرس

برای انجام آزمایش‌ها از یک نوع برس انیور سال مدل DMG با ماکزیمم ظرفیت ۶۰۰KN استفاده شده است. این دستگاه شامل یک واحد کامپیوتری می‌باشد که کلیه حرکات و جابجایی دستگاه توسط سیستم کامپیوتری قابل کنترل می‌باشد. این دستگاه قابلیت ثبت مقدار نیرو بر حسب جابجایی در هر لحظه و ترسیم نمودار نیرو جابجایی را دارد و حداکثر سرعت آن ۲۰۰ میلیمتر بر دقیقه می‌باشد. شکل (۱) تصویر این پرس به همراه واحد کامپیوتر آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱): دستگاه آزمایش انیورسال و سیستم کامپیوتری.

واحد تامین و کنترل فشار

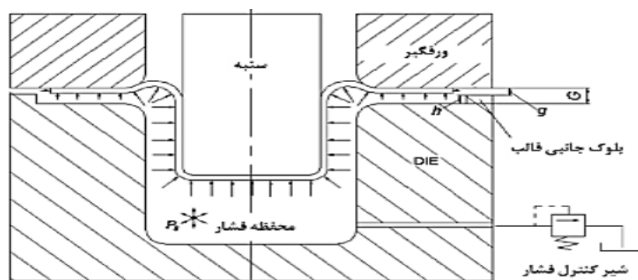
به منظور تامین فشار مورد نیاز محفظه در این پژوهش از یک واحد هیدرولیکی با دبی متغیر استفاده شده است. حداکثر فشاری که با این واحد هیدرولیکی می توان ایجاد کرد، 35MPa می باشد شکل (۲). جهت تنظیم دبی سیال مورد نیاز، بر روی این واحد بیگ بیج تنظیم تعبیه شده است. برای ایجاد فشار مورد نیاز محفظه قالب از یک مدار هیدرولیکی استفاده شده است. مدار هیدرولیکی شامل یک فشار سنج دیجیتال جهت نشان دادن هر لحظه فشار داخل محفظه، یک شیر کنترل فشار جهت ایجاد فشار بیشینه یک شیر یک طرفه، سه راهی و سایر اتصالات هیدرولیکی می ماند شکل (۲) تجهیزات سیستم هیدرولیکی به کار برده شده در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل (۲): واحد هیدرولیکی و اتصالات.

مجموعه قالب

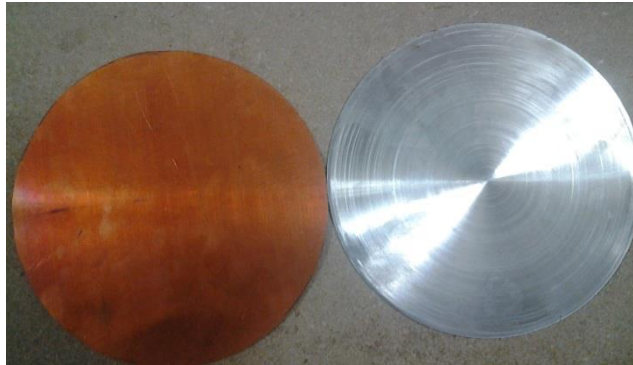
برای انجام تست های آزمایشگاهی از یک قالب هیدرونیامیکی با فشار فشار شعاعی استفاده شده است مجموعه قالب شامل محفظه قالب است که از نظر ساختاری شبیه قالب کشش عمیق سنتی است و شامل سنبه ماتریس و ورق گیر می باشد. جنس اجزای قالب از فولاد آلیاژی 40MO می باشند که با دستگاه فرز CNC با دقت $0/01$ میلی متر ساخته شده اند. شکل (۳) تصویر شماتیک مجموعه قالب هیدروفرمینگ با فشار شعاعی و اجزا مجموعه قالب را نشان می دهد.



شکل (۳): شماتیک مجموعه قالب هیدروفرمینگ.

آماده کردن ورق های اولیه جهت انجام فرآیند

برای تهیه ورق‌های اولیه ابتدا ورق‌های آلومینیم و برنج توسط دستگاه CNC به قطر 20 سانتی متر به شکل دایره بریده شدند که در شکل (۴) مشاهده می‌شود و سپس لبه‌های هر یک از نمونه‌ها سنباده‌زنی شد تا پلیسه‌های ورق که در برش ایجاد شدند، حذف شوند. سپس یک سطح نمونه‌ها آغشته به چسب پلی یورتان شد و حدود 30 دقیقه در هوای آزاد قرار گرفته تا چسب کاملاً خشک شود.



شکل (۴): گرده‌های اولیه بریده شده توسط دستگاه CNC.

سپس دو نمونه مورد نظر روی یکدیگر مطابق شکل (۵) قرار گرفتند و با استفاده از یک پرس هیدرولیک دستی با فشار 50 تن و زمان حدود 30 دقیقه تحت فشار قرار گرفته تا کاملاً به هم بچسبند.



شکل (۵): تحت فشار قرار دادن ورق‌های برنج و آلومینیم در زیر پرس.

نحوه تنظیم قالب جهت انجام فرآیند

قبل از انجام عملیات کشش عمیق لازم است قالب تنظیم شود. در این مرحله با استفاده از چند لاتون مناسب لقی بین سنبه و ماتریس در سرتاسر سنبه تقسیم شده و سپس گیره های جاسازی شده که برای نگهداری ماتریس و سنبه تدارک دیده شده اند محکم می شوند. اکنون پرس آماده عملیات کشش می باشد.

پرس مورد استفاده

پرسی که در اینجا جهت انجام فرآیند کشش عمیق استفاده می شود از نوع پرسهای هیدرولیکی با ظرفیت 120 تن نیرو می باشد که تنظیم نیروهای آن توسط شیرهای هیدرولیکی دستگاه انجام می شود.

نحوه انجام تست کشش عمیق

در حالتی که قالب کاملا باز می باشد، ورق دو لایه آماده شده روی ورقگیر قرار داده می شود. در این حالت ورق باید با سنبه و ماتریس هم مرکز باشد تا در آخر لبه اضافی زیادی در فنجان ایجاد نشود. برای این کار با استفاده از دستگاه تراش به اندازه قطر گردۀ اولیه ورق یک خط سنتر روی ورقگیر ایجاد می کنیم تا ورق ها را بتوان با این خط سنتر تنظیم نمود. در شکل (۶) خط سنترهای ایجاد شده روی ورقگیر قابل مشاهده می باشد.



شکل (۶): خط سنترهای ایجاد شده بر روی ورقگیر جهت تنظیم موقعیت دقیق ورق.

لازم به ذکر است که در اینجا از یک لایه نایلون که ورق آماده شده در بین آن قرار می گیرد، به عنوان روانکار استفاده شده است. بعد از تنظیم ورق یک می کروسویچ برای قطع کردن حرکت رو به پایین ماتریس وجود دارد. این می کروسویچ باید روی اندازه ای تنظیم شود که عمق فنجان مورد نظر را ایجاد کند. نمونه های آماده شده را تست می کنیم.

۳- نتایج و بحث

ترتیب چیدمان لایه های برنج و آلومینیم بر روی ورقگیر یکی از پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق می باشد. پارامتر دیگری که می تواند روی چروکیدگی تاثیر داشته باشد نحوه انتخاب ضخامت هر یک از لایه ها برای جلوگیری از کمترین چین خوردگی می باشد. برای انجام تست کشش عمیق می توان ورق دو لایه را در دو حالت متفاوت روی ورقگیر قرار داد. در حالت اول ورق برنج لایه بیرونی فنجان و ورق آلومینیم لایه داخلی فنجان می باشد که به اختصار حالت BA نامیده می شود. حالت دوم عکس این حالت می باشد که با عنوان AB نمایش داده می شود. در حالت BA در مقایسه با حالت AB تحت اثر یک نیروی ورقگیر ثابت، مقدار چین خوردگی کمتر می باشد. در آزمایشهای عملی نیز

فنجانی که لبه بیرونی آن ورق آلومینیم می‌باشد دارای چین خوردگی می‌باشد در حالی که فنجان با لبه بیرونی برنج سالم و بدون چین خوردگی می‌باشد.

در آزمایش‌های عملی مقدار چین خوردگی کمتر از شبیه سازی‌ها بدست آمده است. علت این اختلاف می‌تواند مواردی باشد که شبیه سازی‌های نرم افزاری با آزمایش‌های عملی دقیقاً مشابهت ندارد. مانند موارد زیر:

- ✓ خواص مواد در شبیه سازی‌ها بصورت ایزوتروپ فرض شده است در حالیکه واقعیت علمی ندارد.
- ✓ پراکندگی نمودارهای جابجایی نودها در شبیه سازی نسان می‌دهد که چین خوردگی با مقدارهای پایین تر از یک می‌لی متر خیلی قابل استناد نیست.
- ✓ مقدار نیروی ورقگیر تنظیم شده در آزمایشات عملی دقت زیادی ندارد.

نتیجه کلی که می‌توان از این بحث استخراج نمود این است که در ورق‌های دو لایه هرگاه ورق با استحکام بیشتر به عنوان لایه بیرونی فنجان قرار بگیرد، مقدار چین خوردگی کمتر می‌باشد.

اثر ترکیب ضخامت‌های متفاوت روی مقدار چین خوردگی

با توجه به اینکه یک ورق دو لایه با ضخامت 2 می‌لی متر که از دو جنس متفاوت تشکیل شده است را می‌توان با ضخامت‌های گوناگون از آن دو فلز بدست آورد، بنا براین در این پژوهش بهترین نوع ترکیب ضخامت جهت ایجاد کمترین چین خوردگی معرفی می‌شود. بنا براین سه حالت ترکیب ضخامت‌های مختلف به صورت کلی در نظر گرفته شد که عبارتند از:

(۱) ضخامت ورق آلومینیم = 0.5 میلی متر (25٪ از ضخامت کل) ضخامت ورق برنج = 1.5 می‌لی متر (75٪ از ضخامت کل)

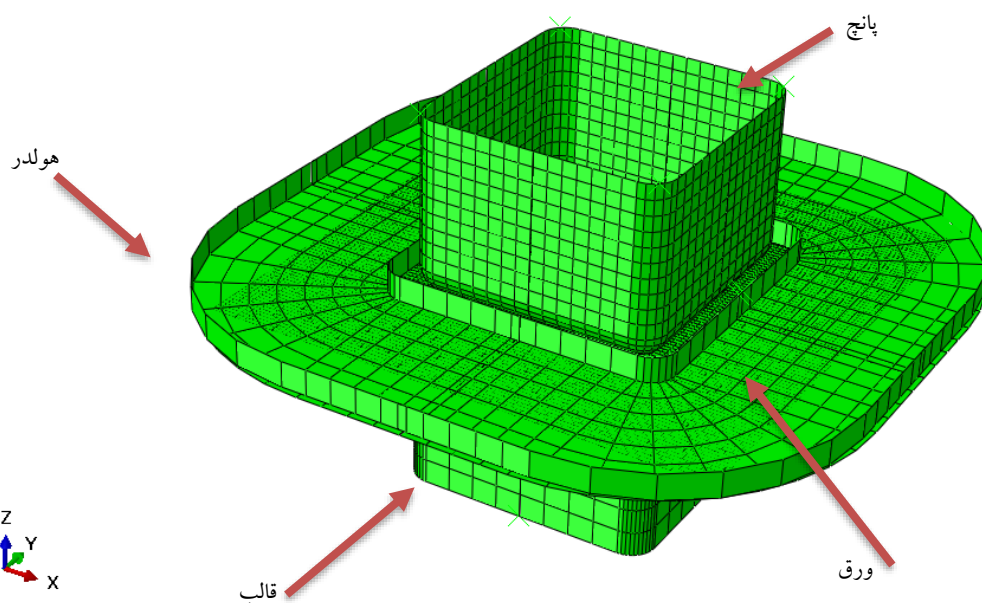
(۲) ضخامت ورق آلومینیم = 1 میلی متر (50٪ از ضخامت کل) ضخامت ورق برنج = 1 می‌لی متر (50٪ از ضخامت کل)

(۳) ضخامت ورق آلومینیم = 1.5 میلی متر (75٪ از ضخامت کل) ضخامت ورق برنج = 0.5 می‌لی متر (25٪ از ضخامت کل)

که در حالت اول درصد فلز برنج بیشتر از فلز آلومینیم می‌باشد. در حالت دوم از هر فلز به مقدار برنجاوی انتخاب شده است و در حالت آخر درصد فلز آلومینیم از فلز برنج بیشتر می‌باشد.

مدل سازی در نرم افزار آباکوس

برای این منظور از نرم افزار المان محدود آباکوس نسخه 6.14 استفاده شده است. این نرم افزار دارای ۱۱ ماژول است که در ادامه مراحل مدل سازی در این نرم افزار ذکر شده است. با توجه به تقارن شکل می‌توان یک چهارم آنرا مدل سازی نموده و سپس در نهایت آنرا به حالت کامل مشاهده نمود. برای مدل نیاز است تا پانچ، هولدر، قالب و ورق بصورت یک چهارم مدل شود. مدل مدنظر در شکل زیر نمایش داده شده است (شکل ۷).

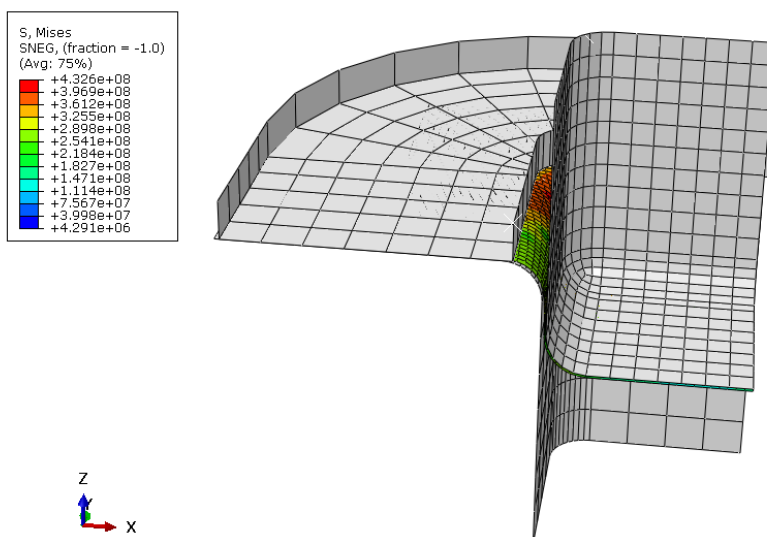


شکل (۷): نمایی از مدل مدنظر برای کشش عمیق بر روی ورق.

از ورق فولادی برای تست اولیه استفاده شده و در نهایت چند حالت مختلف که شامل موارد ذیل است تست گردیده که مراحل برای مدل فولادی بوده و در نهایت نیز دیگر نتایج ارائه شده است: ابتدا یک ورق آلومینیمی و برنجی به تنهایی، حالت بعدی ورق آلومینیمی و برنجی روی هم قرار گرفته و نسبت به قرار گیری در برابر پانچ دو حالت را تشکیل می‌دهند. در حالت سوم نیز ورق فولادی و آلومینیم روی هم قرار گرفته و نسبت به قرار گیری در برابر پانچ نیز دو حالت ایجاد می‌گردد. برای ورق فولادی مشخصات آن بصورت زیر است:

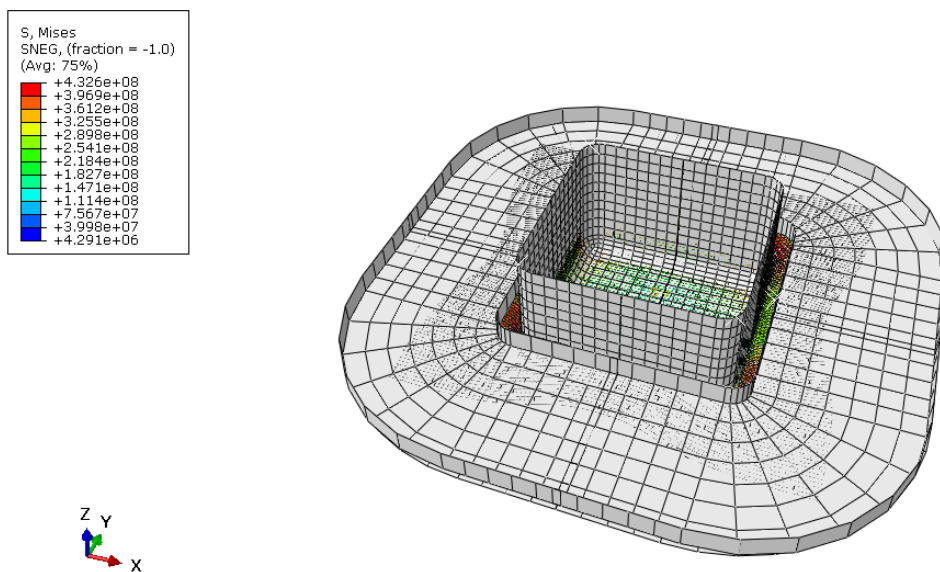
$$v = 0.3 \quad \rho = 7850 \quad E = 2e11$$

در مازول Visualization می‌توان نتایج حاصل از آنالیز را مشاهده نمود و همچنین می‌توانیم تغییر شکل‌ها و نمودارها را مشاهده و مدل را بصورت کامل مشاهده نمود.



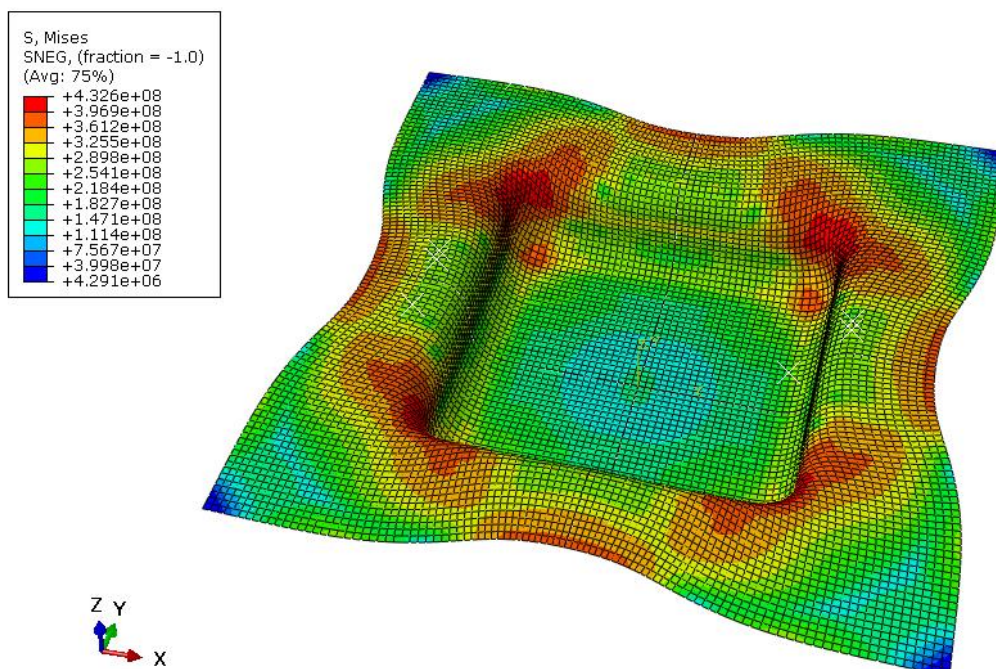
شکل (۸): نمایی از کانتور تنش برای یک چهارم مدل.

برای ملاحظه بهتر نتایج شکل را بصورت کامل در آورده که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد.



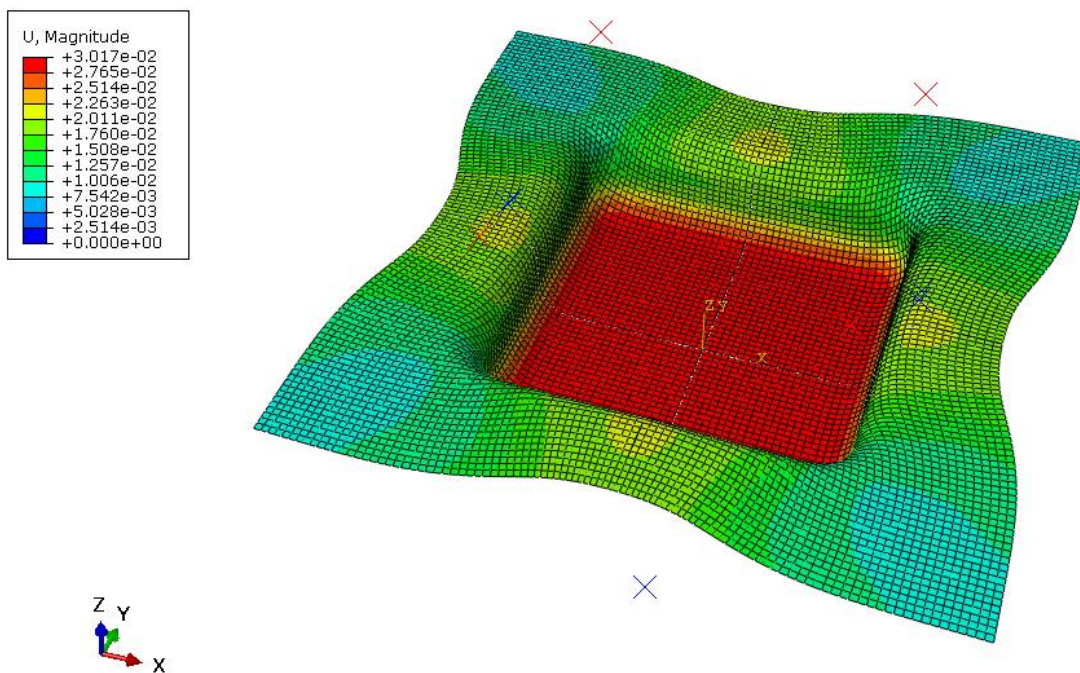
شکل (۹): نمای کامل مدل ایجاد کشش عمیق در ورق

حال برای دیدن وضعیت ورق و تنش‌های ایجاد شده در آن تمامی قطعات بجز ورق حذف گردد.

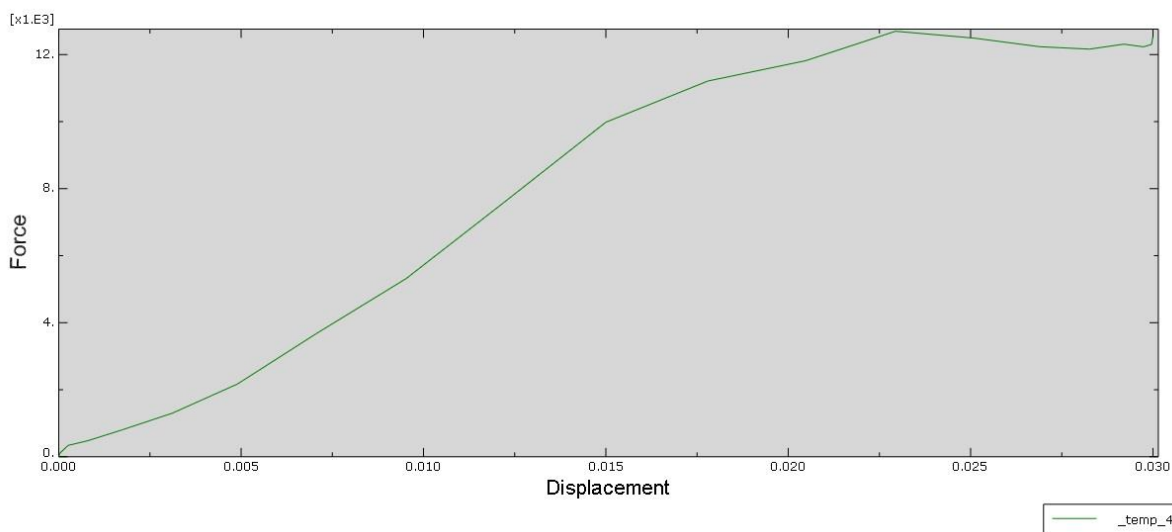


شکل (۱۰): نمایی از ورق بدون دیگر قطعات

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد بیشترین تنش در گوشه‌های ورق ایجاد شده است.

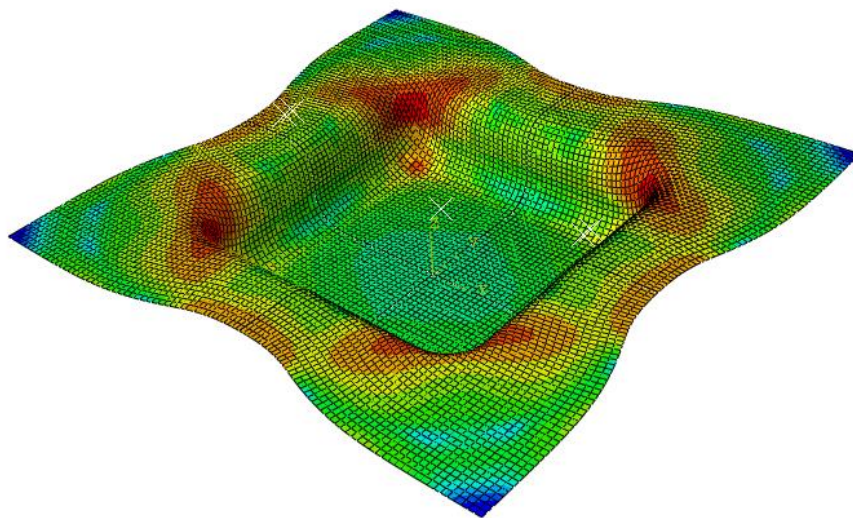
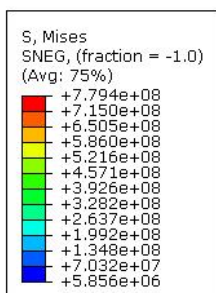


شکل (۱۱): کانتور جابه جایی ایجاد شده در ورق

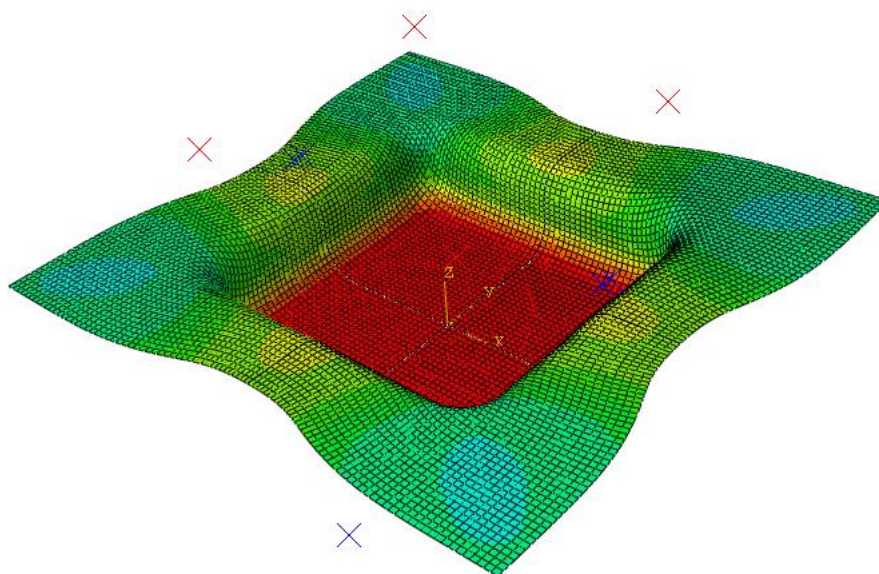
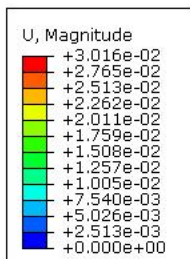


شکل (۱۲): نمودار نیرو - جابه جایی ورق

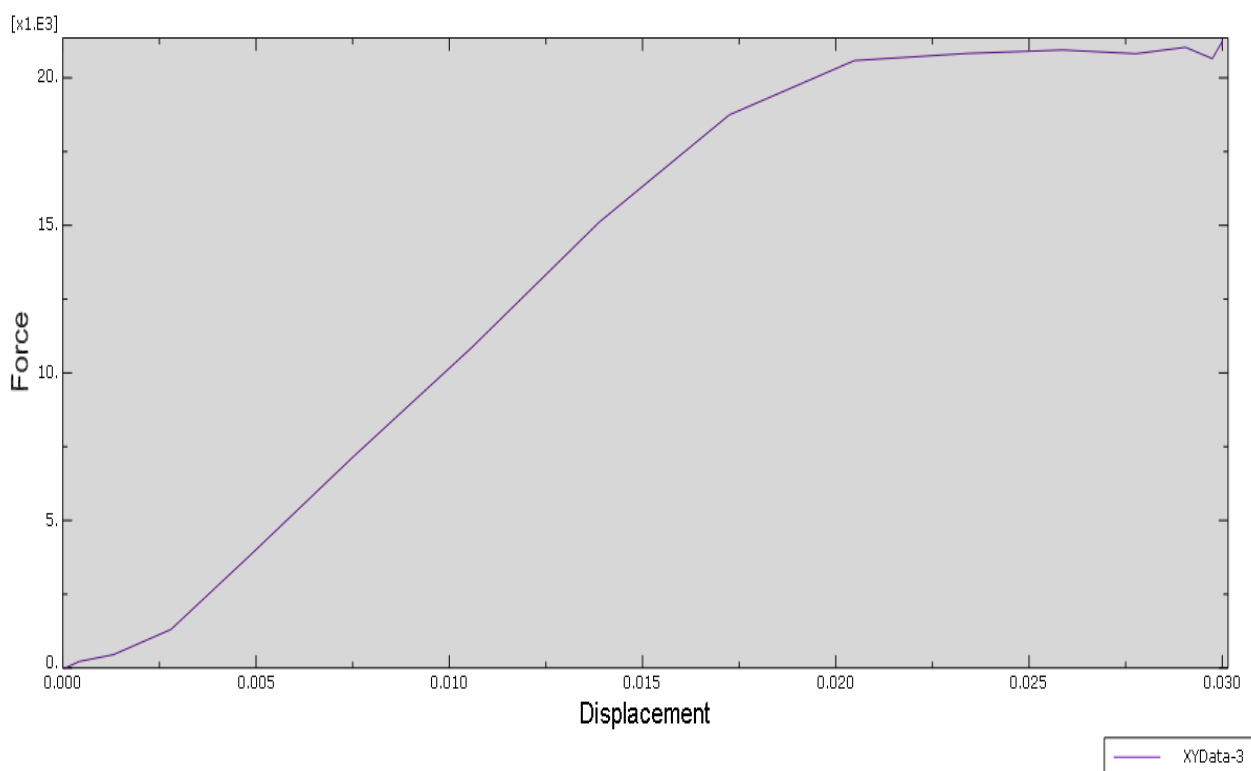
در ادامه به بررسی حالات مختلف در نرم افزار آباکوس می پردازیم و ابتدا آلومینیم و برنج به تنهایی تحت کشش عمیق قرار گرفته و نتایج آن ارائه شده است.



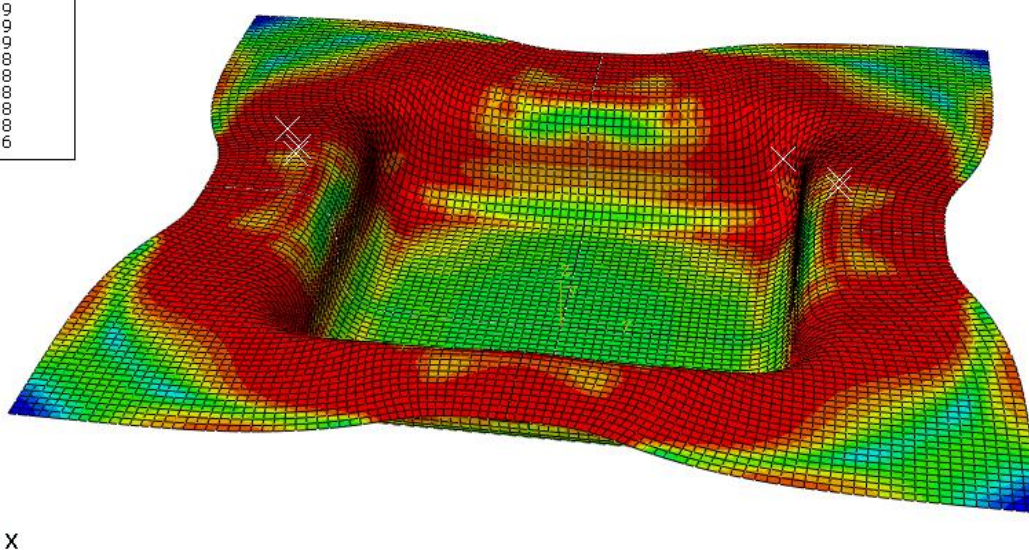
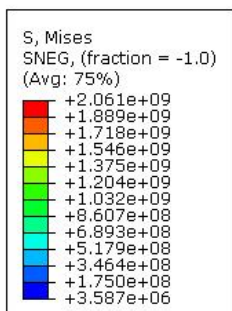
شکل ۱۶- تنش در قطعه آلومینیومی



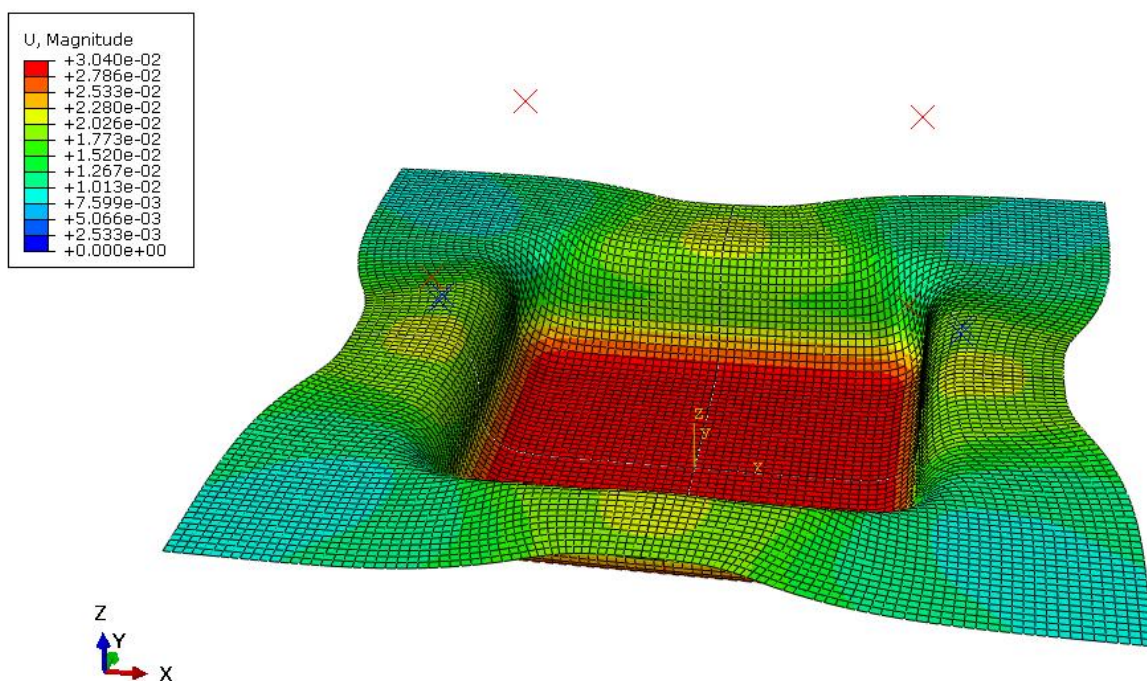
شکل ۱۷- جابه‌جایی در قطعه آلومینیومی



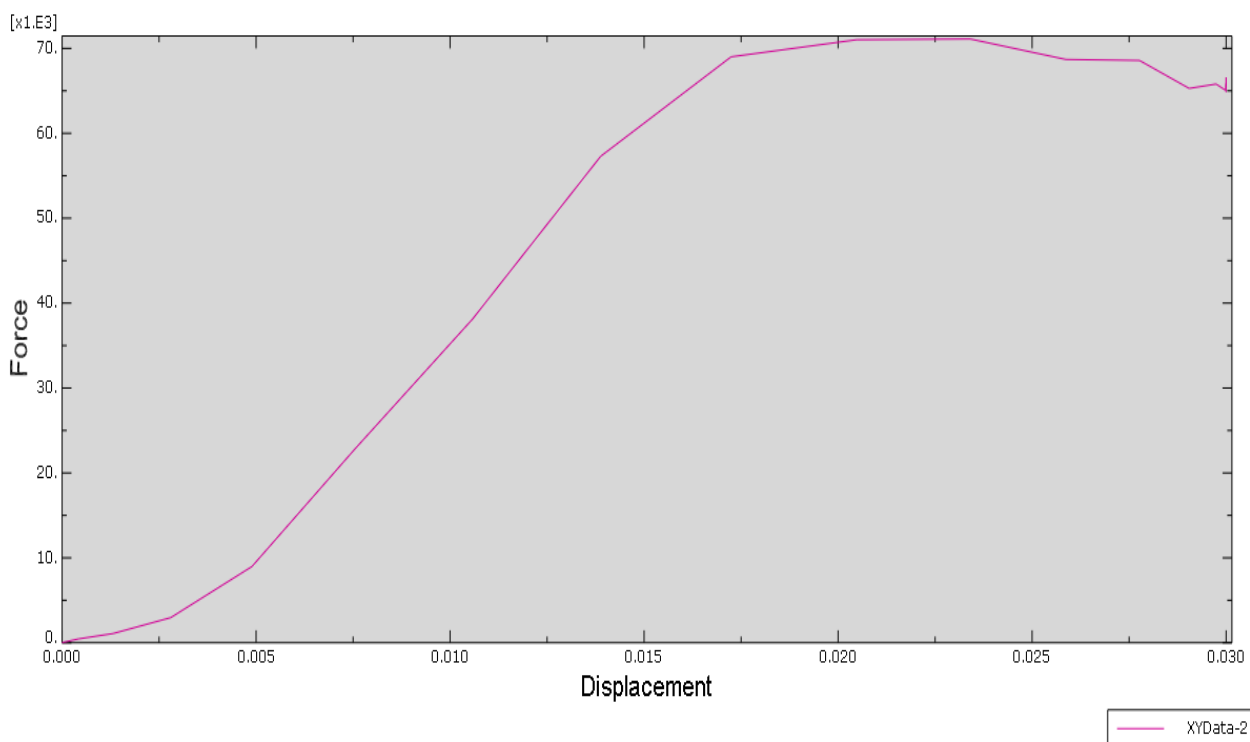
شکل ۱۸- نمودار نیرو - جابه جایی آلومینیم



شکل ۱۹- تنش ایجاد شده در فلز برنج

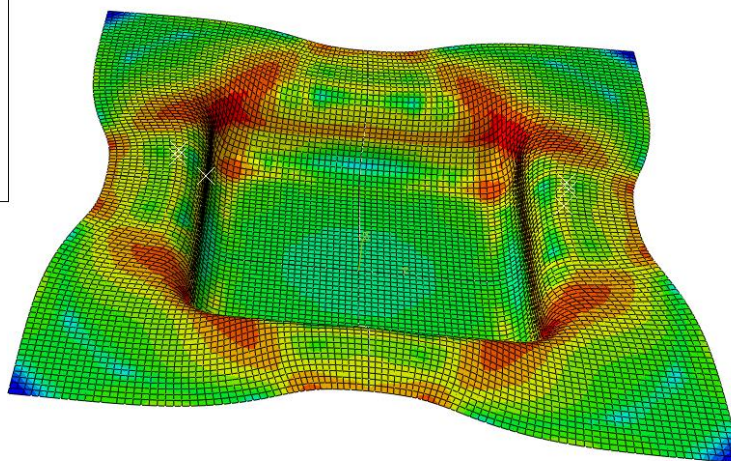
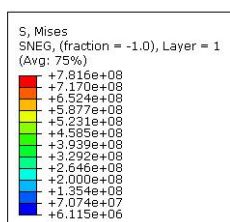


شکل ۲۰- جابه‌جایی ایجاد شده در فلز برنج

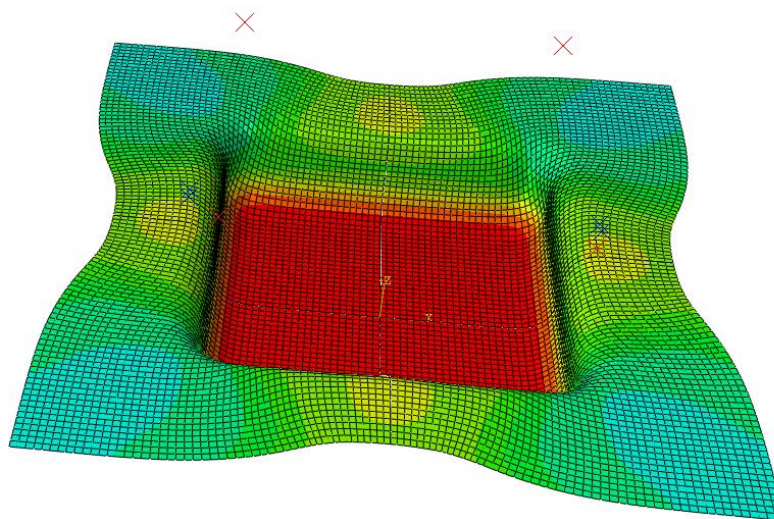
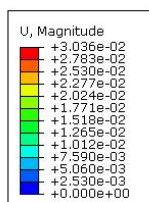


شکل ۲۱- نمودار نیرو - جابه‌جایی فلز برنج

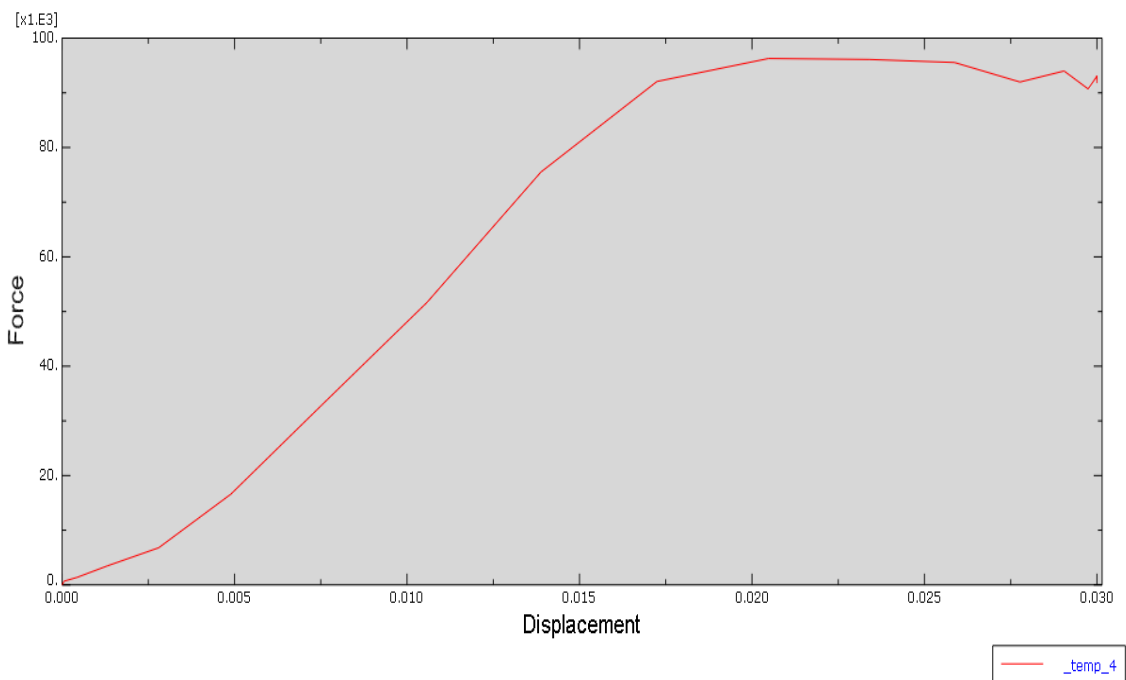
پس از بررسی عملکرد هر کدام از فلزات به تنهایی حال ترکیبی نیز در نظر گرفته شده است و روش اعمال بصورت ماده کامپوزیت است:



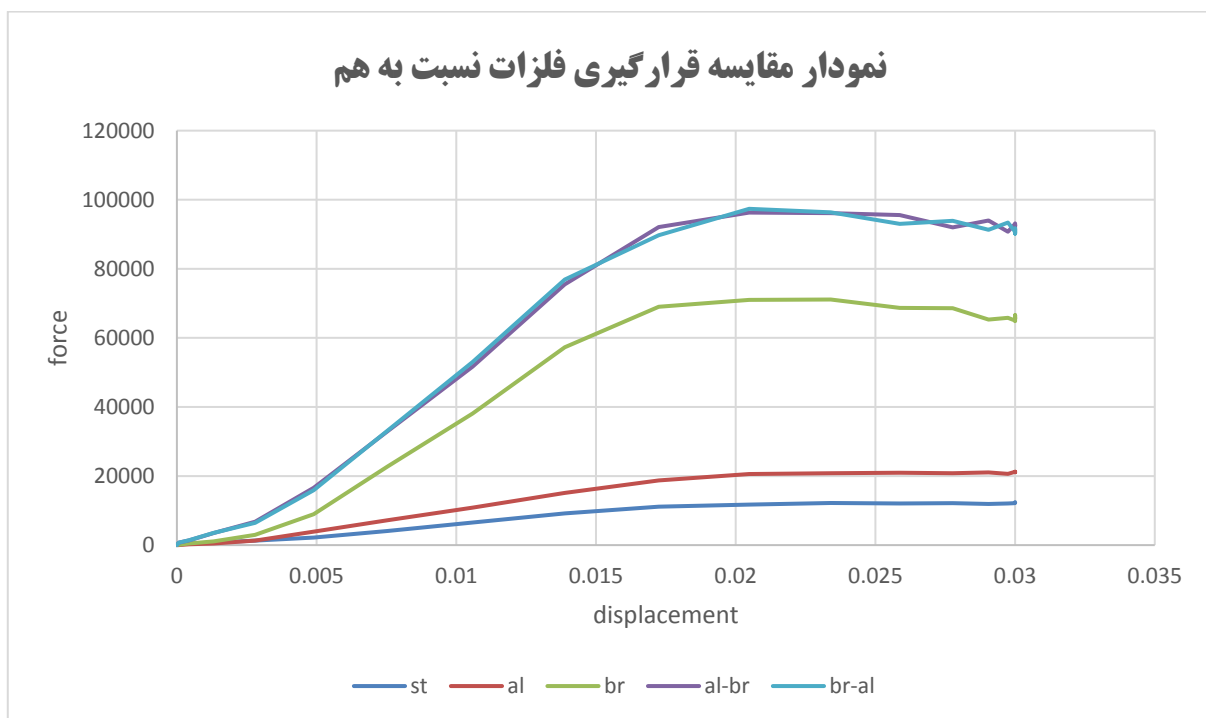
شکل ۲۲- تنش ایجاد شده در حالت کامپوزیت (آلومینیم - برنج)



شکل ۲۳- جابه جایی ایجاد شده در حالت کامپوزیت (آلومینیم - برنج)

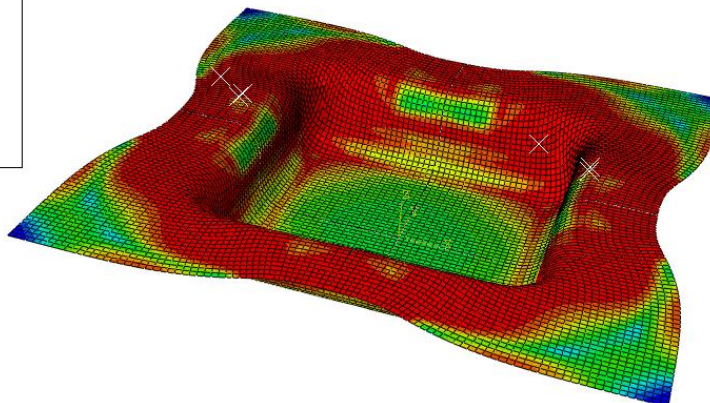
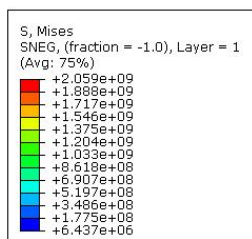


شکل ۲۴- نمودار نیرو - جابه جایی

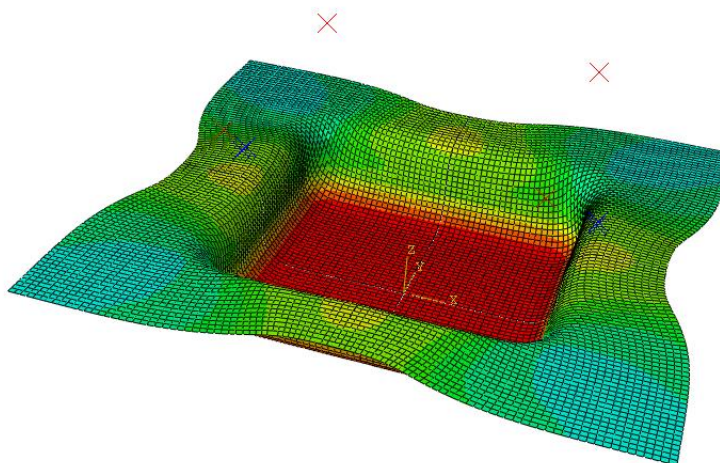
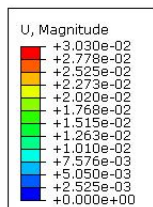


شکل ۲۵- نمودار مقایسه ای نیرو - جابه جایی برای حالات مختلف

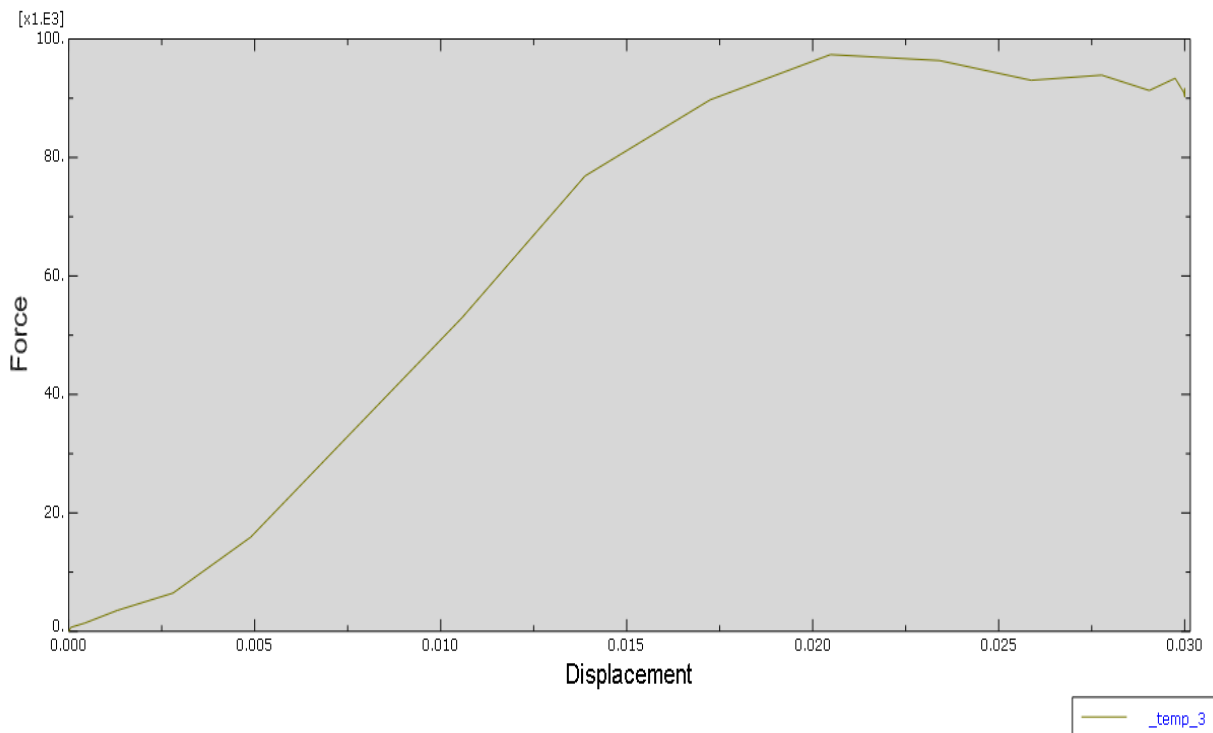
St فولاد Al آلومینیم Br برنج Al-br کامپوزیت آلومینیم - برنج در ادامه ترتیب قرارگیری دو لایه روی هم تغییر کرد و ابتدا برنج و سپس آلومینیم قرار گرفته است.



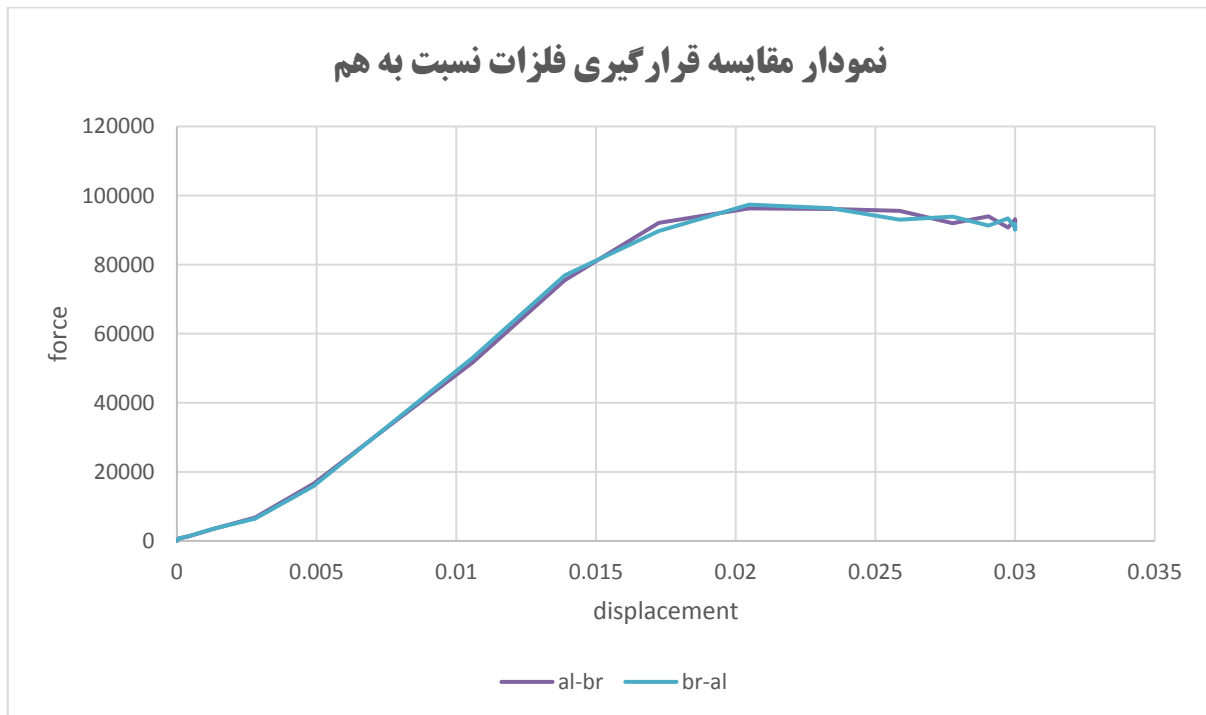
شکل ۲۶- جابه جایی لایه های برنج و آلومینیم



شکل ۲۷- کانتور جابه جایی حالت برنج و آلومینیم



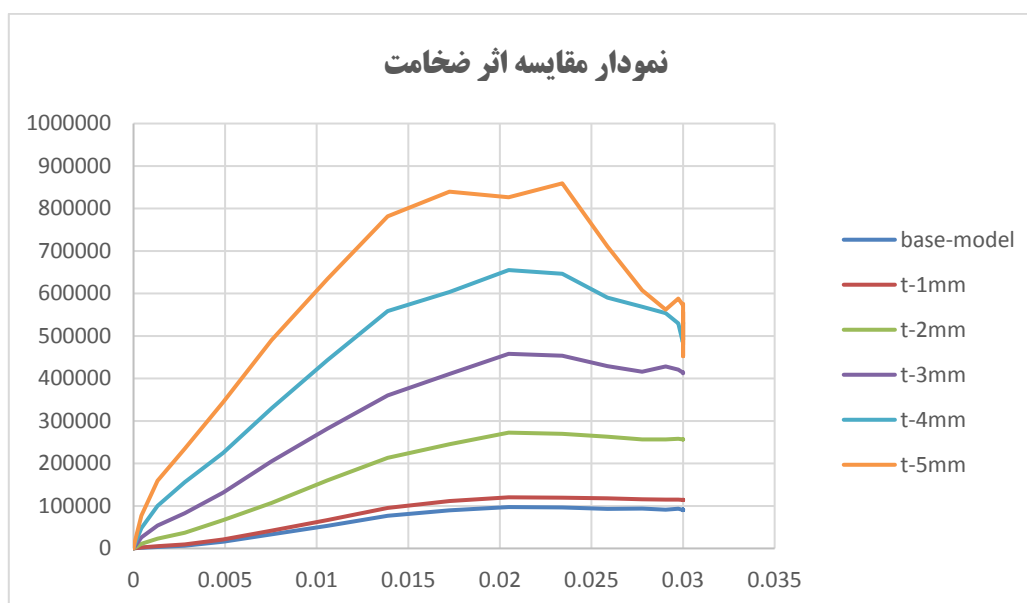
شکل ۲۸- نمودار نیرو - جابه‌جایی در حالت برنج - آلومینیم



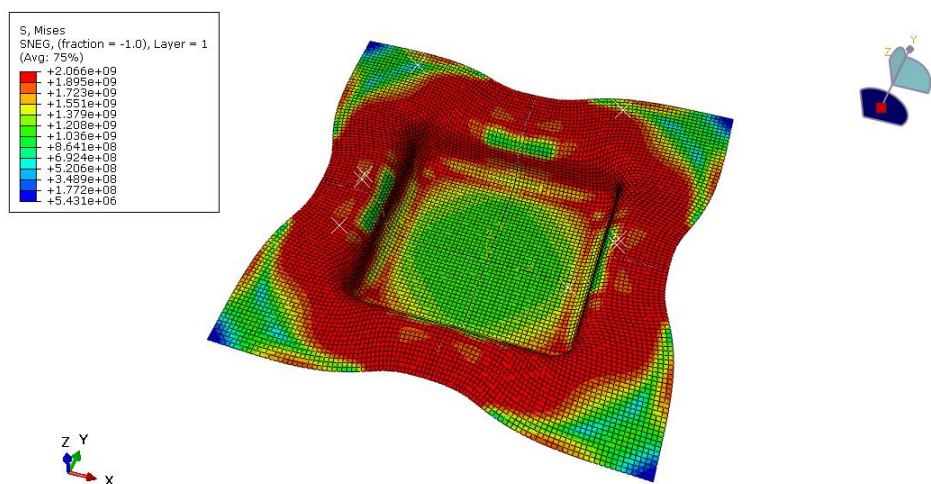
شکل ۲۹- نمودار مقایسه قرارگیری فلزات آلومینیم - برنج نسبت به هم

همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌گردد جابه‌جا نمودن ورق‌ها نسبت به هم تغییر چندانی در تغییرات نیرو و جابه‌جایی و بطور کلی در آزمایش ندارد. در انتها نیز مقایسه‌ای بین مدل نرم‌افزاری و آزمایشگاهی انجام داده که در تصویر زیر مشاهده می‌گردد و مطابقت مناسبی داشته و علت اصلی اختلاف در فرضیات نرم‌افزار به نسبت واقعیت است.

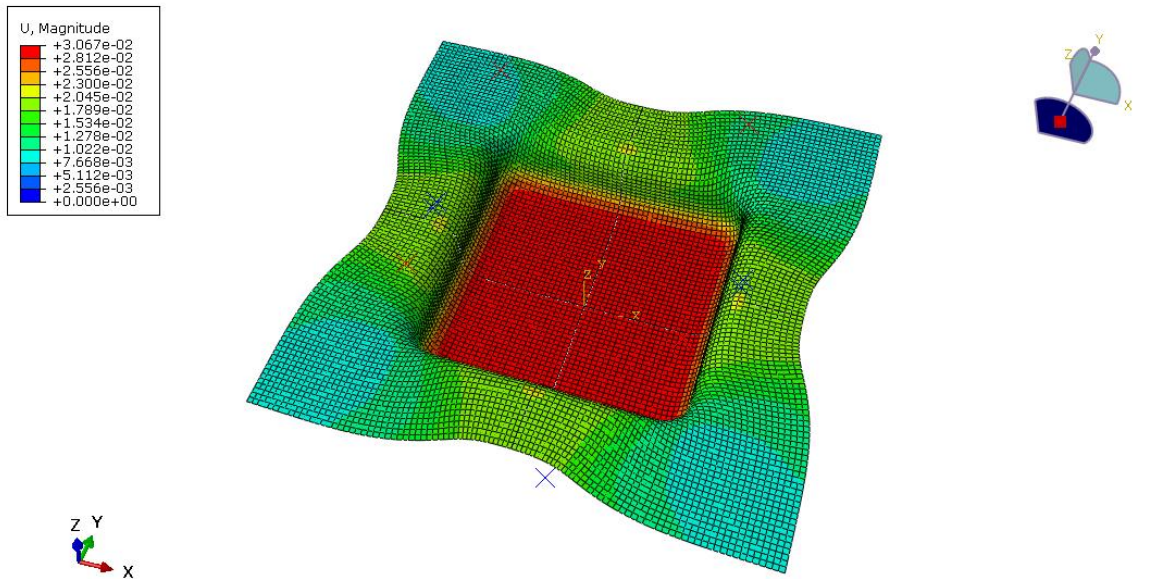
در ادامه به اثر ضخامت پرداخته شده و برای این منظور از کامپوزیت آلومینیم - برج به عنوان نمونه شاخص استفاده می گردد. در ابتدا ضخامت را 0.00082 متر به 1 میلیمتر افزایش داده و سپس ضخامت به 2 میلیمتر و سپس به 3 میلیمتر و در نهایت به 4 و 5 میلیمتر افزایش داده و مشخص گردید که همانند شکل زیر با افزایش ضخامت براساس درصد زیر مقدار نیرو افزایش می یابد. در ادامه نیز نحوه افزایش ضخامت در لایه های کامپوزیت و



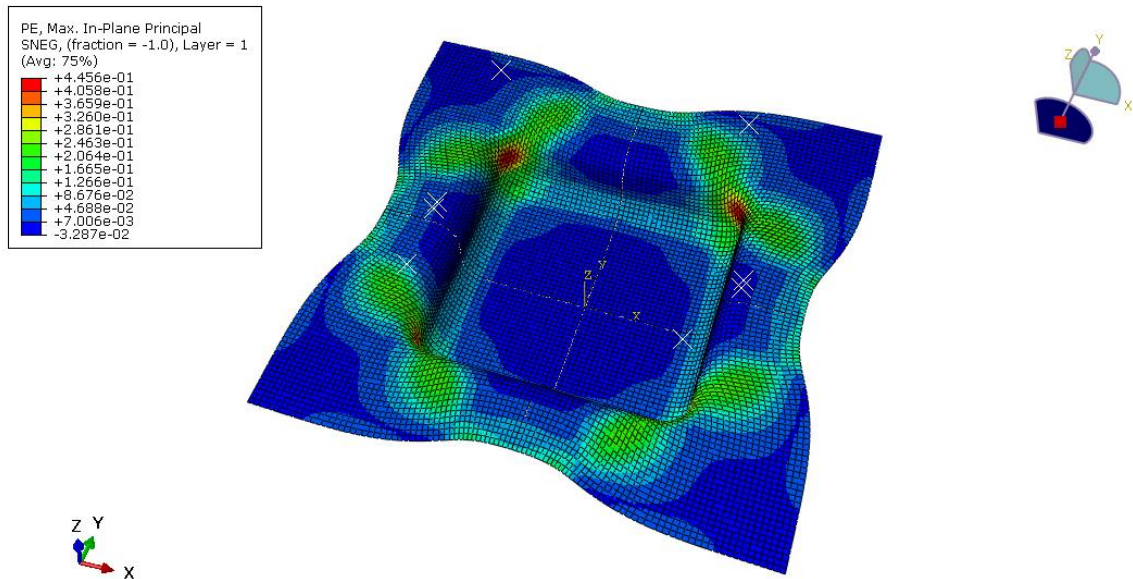
شکل ۳۰ - نمودار مقایسه اثر ضخامت برافزایش نیرو



شکل ۳۱ - کانتور تنش حالت ضخامت ۱ میلیمتر

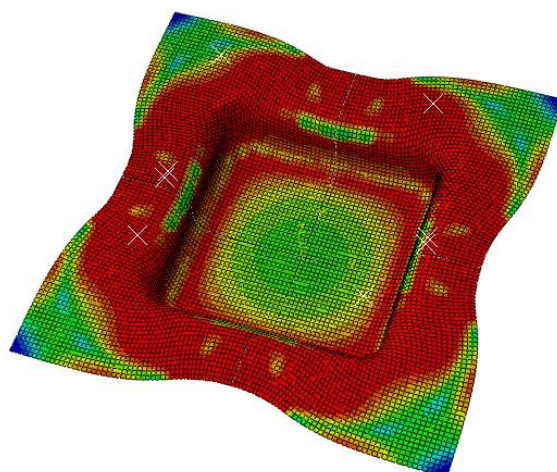
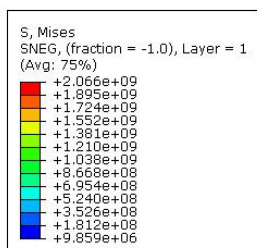


شکل ۳۲- کانتور جابه جایی شکل با ضخامت ۱ میلی‌متر

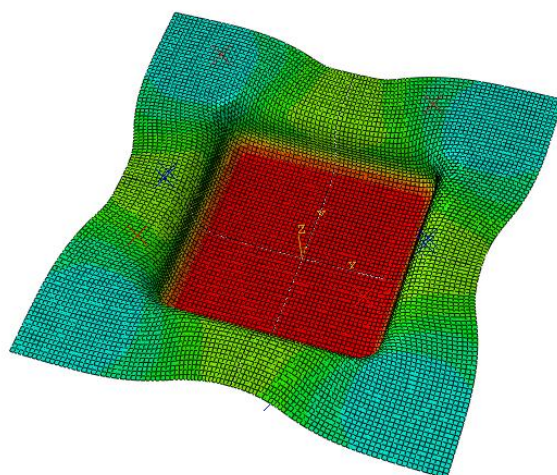
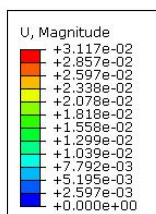


شکل -

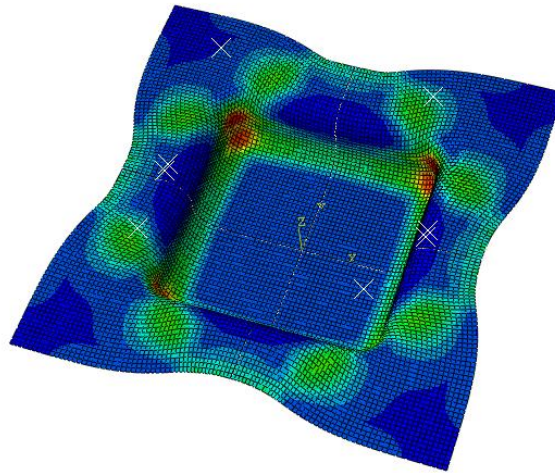
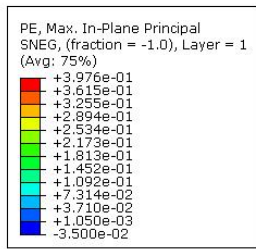
شکل ۳۳- کرنش پلاستیک برای حالت با ضخامت ۱ میلی‌متر



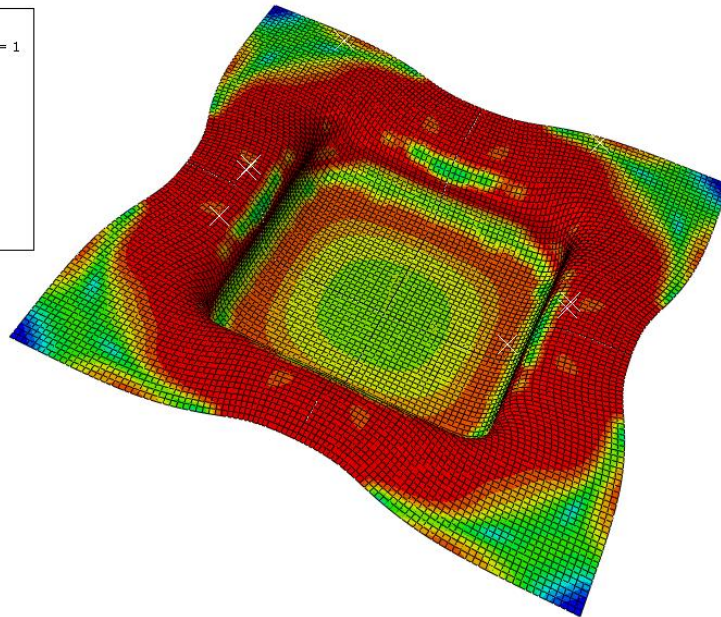
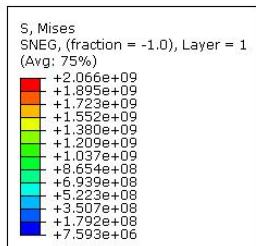
شکل ۳۴- کانتور تنش برای حالت با ضخامت ۲ میلیمتر



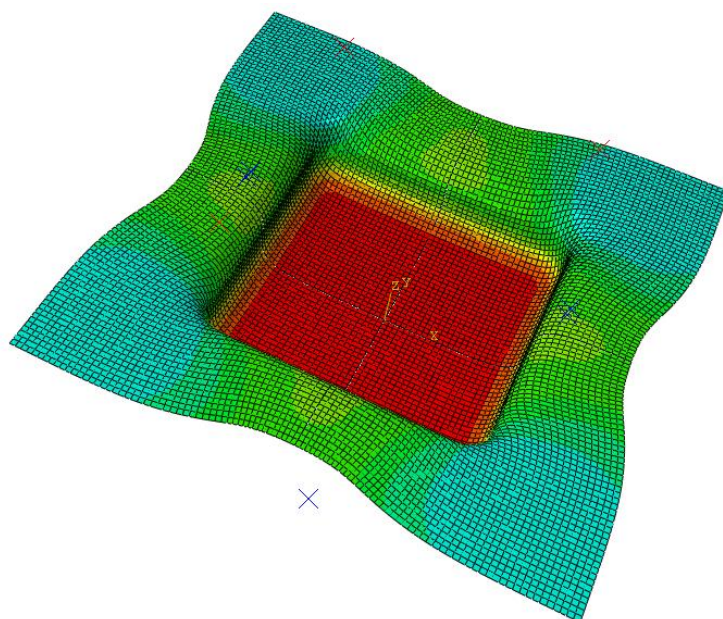
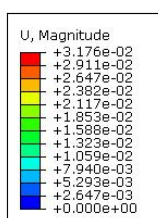
شکل ۳۵- کانتور جابه جایی برای حالت با ضخامت ۲ میلیمتر



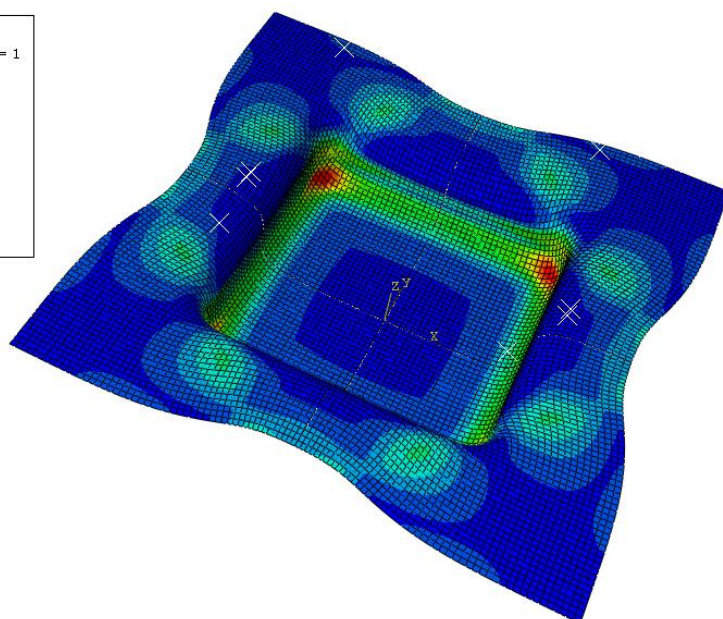
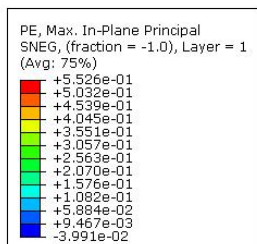
شکل ۳۶- کرنش پلاستیک برای حالت با ضخامت ۲ میلیمتر



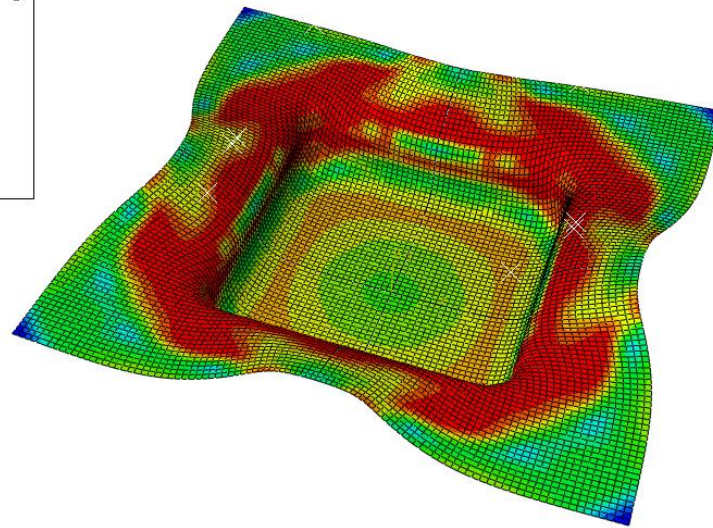
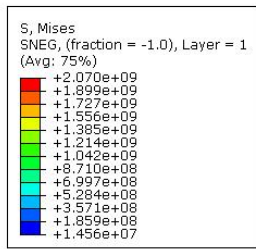
شکل ۳۷- کانتور تنش برای حالت با ضخامت ۳ میلیمتر



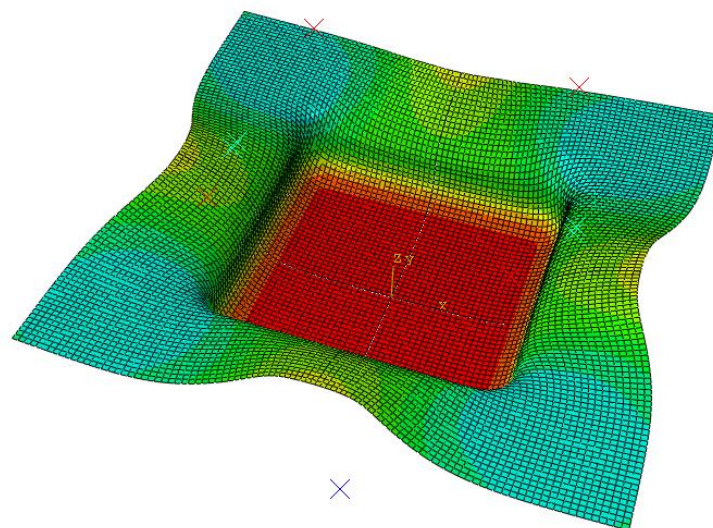
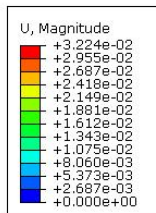
شکل ۳۸- کانتور جابه جایی برای حالت با ضخامت ۳ میلیمتر



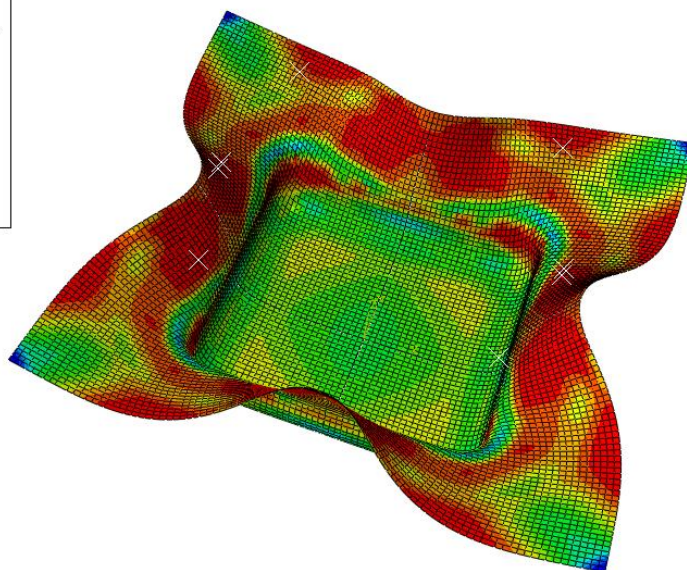
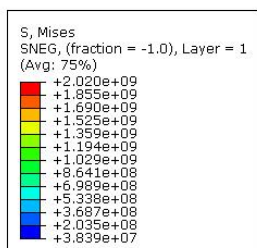
شکل ۳۹- کرنش پلاستیک برای حالت با ضخامت ۳ میلیمتر



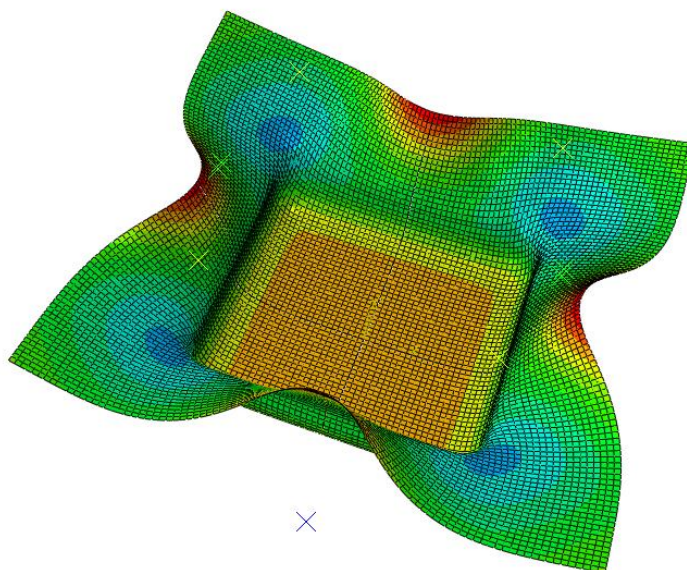
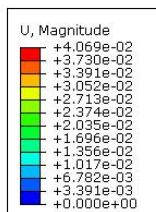
شکل ۴۰- کانتور تنش در حالت ضخامت ۴ میلیمتر



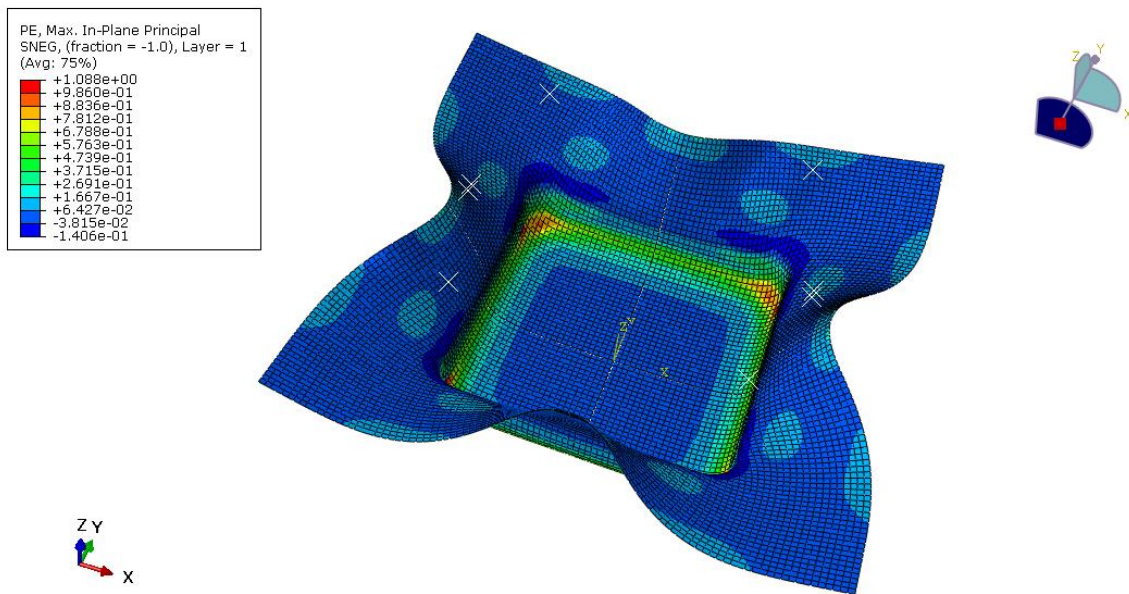
شکل ۴۱- کانتور جابه‌جایی در حالت ضخامت ۴ میلیمتر



شکل ۴۲- کانتور تنش برای حالت با ضخامت ۵ میلیمتر



شکل ۴۳- کانتور جابه جایی برای حالت ۵ میلیمتر



شکل ۴۳ - کرنش پلاستیک برای ضخامت ورق ۵ میلیمتر

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده توسط نرم افزار آباکوس و آزمایشات عملی در زیر لیست شده اند:

- ❖ نحوه چین لایه ها در قالب بر روی چروکیدگی ورق‌ها اثر می گذارد. جهت رسیدن به چروکیدگی کمتر می توان ورق آلومینیم را در تماس با سنبه قرار داد.
- ❖ همانند ورق تک لایه در اینجا نیز می توان گفت که هر چه مقدار نیروی ورقگیر کمتر باشد، چین خوردگی در ورق دو لایه افزایش می یابد.
- ❖ ترکیب های ضخامت مختلف از دو ورق در یک نیروی ورقگیر یکسان، مقدار چین خوردگی متفاوتی دارند.
- ❖ در حالی که ورق برنج در تماس با سنبه می باشد بهترین ترکیب ضخامت، جهت رسیدن به کمترین چین خوردگی ترکیب $AL=0.5$, $BR=1.5$ می باشد.
- ❖ در حالی که ورق آلومینیم در تماس با سنبه می باشد بهترین ترکیب ضخامت، جهت رسیدن به کمترین چین خوردگی ترکیب $AL=1.5$, $BR=0.5$ می باشد.

۵- مراجع

- 1) اشرف خراسانی، م "تحلیل چروک ورق در قالبهای کشش عمیق" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- 2) ای پال دگارمو، جی تی بلک، رای کهرسر، بی ای کلابرنجکی / علی حائریان اردکانی، لیلا حائریان اردکانی، لاله حائریان اردکانی " مواد 1382 و فرآیندهای تولید " ویرایش نهم، جلد اول انتشارات نما.
- 3) جلالی آقچای، ع و لطیفی، ک و شاکری، م و ملایی داربانی، ب، "تجزیه و تحلیل تجربی شکل پذیری ورق های دو لایه فلزی" دومی ن 1386 کنگره بین المللی (هشتمی ن کنگره ملی) مهندسی ساخت و تولید ایران، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی امی ر کبیر. آذر ماه رسول ترکش اصفهانی، امی ن قارائی، حسین شاه نظری، حسن نجات بخش " راهنمای جامع مدل سازی و تحلیل در نرم افزار 1390 " انتشارات عابد. ABAQUS

- 5) شبرنجی پور، ا "شبيه سازی فرآيند ككش عميق ورق های ضخيم" پيایان نامه كارشناسی ارشد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، 1389.
- 6) صیدی، ج و حبیبی، ن " مطالعه تجربی اجزای دو فلزی فرآیند ككش عميق " دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام.
- 7) عبدی، س " تحلیل فرآیند ككش عميق مقاطع غير دوار به روش شبيه سازی با المان محدود و بررسی عوامل شكست " پایان نامه 1390 كارشناسی ارشد دانشكده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی،
- 8) عطریان افیانی، ا " مطالعه عددی و آزمایشگاهی فرآیند ككش عميق ورق های دو فلزی" پایان نامه كارشناسی ارشد دانشكده مهندسی مکانیک، دانشگاه بوعلی سینا،
- 9) عطریان افیانی، ا و فرشته صنیعی، ف، " بررسی تجربی و عددی اثرات نیروی ورقگیر و اصطكاك در فرآیند ككش عميق " پانزدهمی ن 1386 (بین المللی) مهندسی مکانیک ، کنفرانس سالانه
- 10) عطریان افیانی، ا و فرشته صنیعی، ف، " مطالعه عددی و آزمایشگاهی اثرات قطر گرده و شرایط اتصال دو لایه فلز در ككش عميق ورق های مركب " دومی ن كنگره بین المللی (هشتمی ن كنگره ملی) مهندسی ساخت و تولید ایران ، دانشكده مهندسی مکانیک، دانشگاه بو علی سینا، 1386
- 11) مروتی ممقانی، م و ملایی داریانی، ب و صدیقی، م، " شبيه سازی چین خوردگی ورق های دو لایه در فرآیند ككش عميق " ششمی ن 1387 کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امی ر کبیر.
- 12) 1389 مهندس هادی ایمانی، مهندس محسن ساوجی نیا، " اصول طراحی قالب های فلزی " موسسه انتشاراتی آزاد اندیشان
- 13) 1388 ولی نژاد، ع " جزوه درس طراحی قالب " دانشگاه صنعتی امی ر کبیر
- 14) ولی نژاد، ع " مهندسی عملی شكل دادن " 1382
- 15) ویلیام هاسفورد، رابرت كدل، مهندس محمد رضا افضلی " شكل دادن فلزات، متالورژی و مکانیک " موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف
- 16) یوسفی، م و ملایی داریانی، ب و شاکری، م " تجزیه و تحلیل تئوری و تجربی تنش و کرنش در ككش عميق " پنجمی ن کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امی ر کبیر ۱۳۸۱
- 17) ABAQUS DoBrmentation, Version 6.10-1, ABAQUS Inc., USA, 2007.
- 18) ASM Handbook , "Forming and forging ".1993. vol 14.ASM International
- 19) H. TAKUDA, H. FUJIMOTO, N. HATTA, "Formabilities of steel/aluminium alloy laminated composite sheets" JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE. Vol.33. pp.91-97, 1998.
- 20) Johnson, W., and Mellor, P.B. KapiDski, S., "AnalytiBAI and experimental analysis of deep drawing process for bimetal elements", J.Mater.Process.Technol., Vol.60, pp.197-200,1996, 1983.
- 21) Majlessi, S. A. and Lee ,D." Deep drawing of square- shaped sheet Metal parts" port 1: Finite element analysis. 1993 J of Engineering for industry, vol, 115.

- 22) Mohammad Habibi Parsa, Katsuhiko Yamaguchi, Norio Takakura, “Redrawing analysis of aluminum–stainless-steel laminated sheet using FEM simulations and experiments” International Journal of Mechanical Sciences. Vol 43. pp 2331–2347, 2001.
- 23) Mori, T, Kurimoto, S. “Press-formability of stainless steel and aluminum clad sheet”. J. Mater. Process. Technol. 56, 242–253, 1996.
- suchy, Ivana. 1998.” Hand book of Die Design”. Second Edition. New York: McGraw- Hil. pp: 370- 92