فصلنامه قطعه سازان صنعت
جلد ۱، شماره ۱، (پیاپی: ۱)، بهار ۱۳۹۹
از صفحه ۹ لغایت ۱۷

شبیه سازی فرآیند شکل دهی کلینچ در ورق های فلزی و آلومینیومی به روش المان محدود

وحید مرادی[۱]، میلاد فراهانی علوی[۲]، معین میری[۳]، حسین کامیار[۴]

۱- گروه مهندسی تکنولوژی خودرو، انزلی
۲- گروه مهندسی طراحی کاربردی، همدان
۳- گروه مهندسی تکنولوژی خودرو، انزلی
۴- گروه مهندسی تکنولوژی خودرو، انزلی

خلاصه

در مقاله حاضر، شبیه سازی فرآیند شکل دهی کلینچ به روش المان محدود در فرآیند اتصال دو ورق فلزی آلومینیوم-فولاد مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. فرآیند کلینچ یک روش اتصال مکانیکی سرد می باشد. در اتصال کلینچ عواملی چون فرم و ابعاد حفره ماتریس قالب سبب ایجاد شکل منحنی در ورق های فلزی میگردد. دراین مقاله یک مدلسازی المان محدود برای شبیه سازی فرآیند تغییر شکل به کار گرفته شده است و شرایط اتصال توسط روش پنالتی در نظر گرفته شده است. تمرکز این مطالعه روی روش کلینچ دو مرحله ای بدون برش است که با شبیه سازی رایانه ای، برای ابعاد مختلفی از قالب و سنبه انجام شده است. در فرآیند شبیه سازی تاثیر این پارامترها در استحکام اتصال ورق های فلزی و نیروی مورد نیاز برای ایجاد کلینچ که متاثر از نواحی ضخامت گردنی و نفوذ ورق بالایی در ورق پایینی است و نحوه ی چروکیدگی دو ورق فلزی نشان داده می شود سپس بررسی شده و نهایتا ظاهر و ابعاد مناسب مجموعه قالب و سمبه براساس شبیه سازی جدایش اتصال تعریف می شود و با توجه به دوار بودن ورق های فلزی از فرض تقارن محوری استفاده شده است .اساس کلی آن به اینصورت است که شکل دهی کلینچ به واسطه گیردادن دو ورق یا چندین ورق فلزی به یکدیگر توسط یک نیروی بیرونی مابین سنبه وقالب به وجود می آید.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، اتصال مکانیکی سرد، کلینچ، شکل دهی فلزات، المان محدود

۱. مقدمه

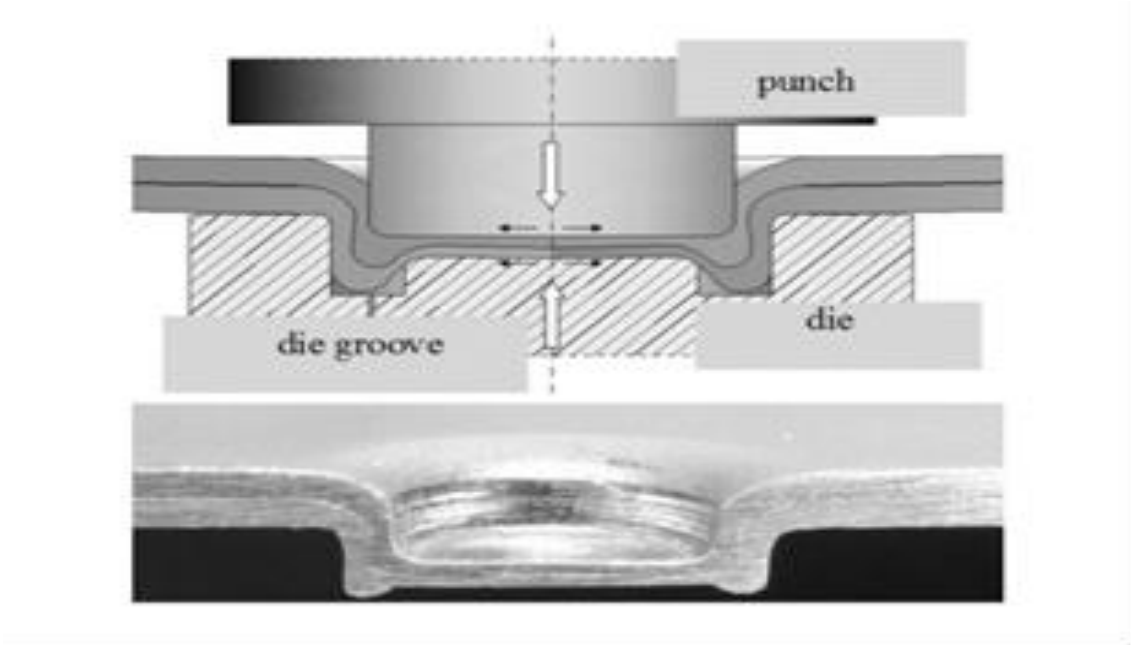
یکی از روش های اتصال مکانیکی ورق های فلزی امروزه کلینچ کردن (clinching) می باشد. در روش کلینچ کردن برای اتصال ورق های بدون استفاده از وسایل جانبی و وسایل حرارتی بلکه با استفاده از ابزارهای ویژه و مخصوص ورق های فلزی همانند اتصال قطعات پلاستیکی به یکدیگر متصل می شوند. اتصال نوع کلینچ (clinch) درصنایع الکترونیک، لوازم خانگی و صنایع خودرو استفاده می شود و جایگزینی مناسب به جای جوش نقطه ای(spot welding) است. اتصال از نوع کلینچ بر خلاف جوشکاری نقطه ای هیچ نیازی به برق، الکترود و خنک کاری (cooling) ندارد و یک اتصال نوع سرد محسوب می شود. یکی دیگر دیگر از مزایای کلینچ عدم تولید دود و جرقه می باشد. ابزارهای کلینچ به خاطرعمر بالا (حدود صدها هزار سیکل) مقرون به صرفه می باشند یکی دیگر ازمزایای کلینچ که در صنعت لوازم خانگی از اهمیت خاصی برخوردار است، حفظ رنگ سطوح رنگ شده است همچنین کلینچ روش بسیار مهم و خوبی برای اتصال پانل های آلومینیومی مانند صندوق عقب و کاپوت خودرو می باشد چونکه جوش آلومینیوم بسیار سخت است. چند نمونه از ویژگی های مهم کلینچ:

فصلنامه قطعه سازان صنعت
جلد ۱، شماره ۱، (پیاپی: ۱)، بهار ۱۳۹۹
از صفحه ۹ لغایت ۱۷

* کاهش زمان اتصال (کمتر از یک ثانیه)

*استفاده از کلینچ برای اتصال مواد مختلفی مانند چوب، پلیمر و مواد کامپوزیتی

*راه اندازی سریع و بدون نیاز به استفاده از فرد با مهارت

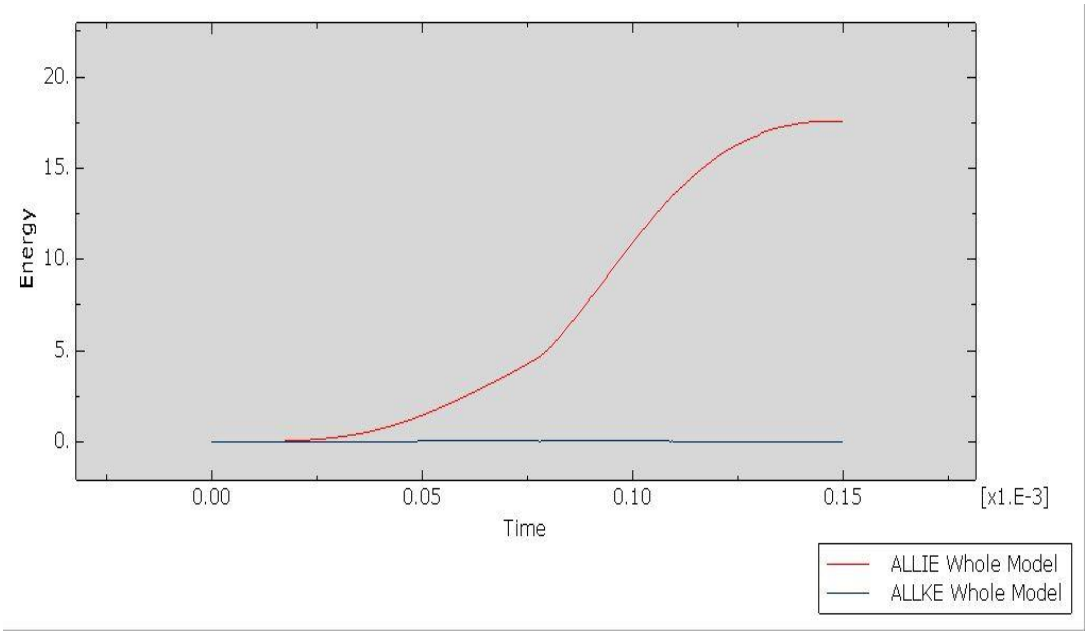


شکل ۱ : اجزای اصلی فرآیند شکل دهی کلینچ

شکل۱ ابزارهای استفاده شده درشکل دهی کلینچ را نشان می دهد. اجزای قالب شکل دهی در این فرآیندعبارت اند از: قالب (die) سمبه (punch)، ورق (blank) که در این فرآیند قالب ثابت بوده و سنبه با یک تابع خاصی نسبت به زمان پایین می آید و دو ورق موجود را له کرده و ورق ها دچار تغییر شکل می شوند و شکل می گیرند. جاکک موچا [۲،۱] تجزیه و تحلیل مکانیزم تشکیل قفل در مفصل کلینچ را مورد بررسی قرار داده است در این مطالعه، اثر پارامترهای فرایند کلینچ بر قابلیت اتصال پیشرفته فولاد با مقاومت بالا از طریق تجزیه و تحلیل عناصر محدود شده مورد بررسی قرار گرفت نتایج آزمایش های عددی قادر به تعیین پارامتر های فرآیند موثر است. هویان یانگ و همکارانش [۳-۵] شبیه سازی عددی فرآیند کلینچینگ در صفحات آلیاژ مس را مورد بررسی قرار دادند آن ها روند اتصال به صفحات آلیاژ مس با استفاده از روش شبیه سازی عددی همراه با آزمایش این مطالعات با استفاده از نرم افزار انسیس را انجام دادند نتایج آزمایشات مفاصل حلقوی در صفحات آلیاژ مس برای تایید شبیه سازی انجام می شود، نشان داده شده است که شبیه سازی فرایند اتصال مفاصل در ورق آلیاژ مس با نتایج تجربی سازگار است این نشان می دهد که مدل عنصر محدودی توسعه یافته با توجه به شرایط تماس مواد و مدل های مادی را می توان برای پیش بینی شکل گیری مشترک آلیاژ مس با استفاده از کلینچینگ ایده ال استفاده کرد. جاکک موچا و همکارانش [۶-۹] تجزیه و تحلیل تجربی از شکل گیری و مقاومت متقاطع ورق فلنچ از مواد ساخته شده را مورد بررسی قرار داده اند آن ها اتصال فشرده را با استفاده از فرایند تشکیل یا بدون اتصال دهنده های اضافی ارائه دادند فرآیند اتصال پلاستیک به ورقه فلزی، ورق های فلزی بسیار موفق هستند این فرآیندها در میان فرآیند تولید سفید برخلاف نقطه جوش و جوشکاری بخارات خطرناک محیطی تولید نمی کنند. حامل و همکارانش [۱۰-۱۲] مدلسازی عنصر محدود از کلینچ تشکیل با بازپرداخت اتوماتیک را مورد بررسی قرار دادند آن ها به دنبال به دست آوردن اتصالات با کیفیت می باشند که چند صفحه ی فلزی را با استفاده از یک اکستروژن معکوس بین سنبه و قالب با یک کد رایانه ای بسازند که این فرآیند را شبیه سازی کند. یک روش صریح ادغام پلاستیک- الاستیک با الگوریتم سیمو و تیلور مشخص می شود. صابری و همکارانش[۱۴،۱۳] بررسی تجربی تاثیر پوشش سطحی بر استحکام اتصالات کلینچ را مطالعه کرده اند. آن ها از پوشش سطحی الکتروگالوانیزه برای آزمایش خود استفاده کرده که طی این آزمایش با اعمال بار به صورت افقی، عمودی و ترکیبی به این نتایج دست یافته اند که بیانگر

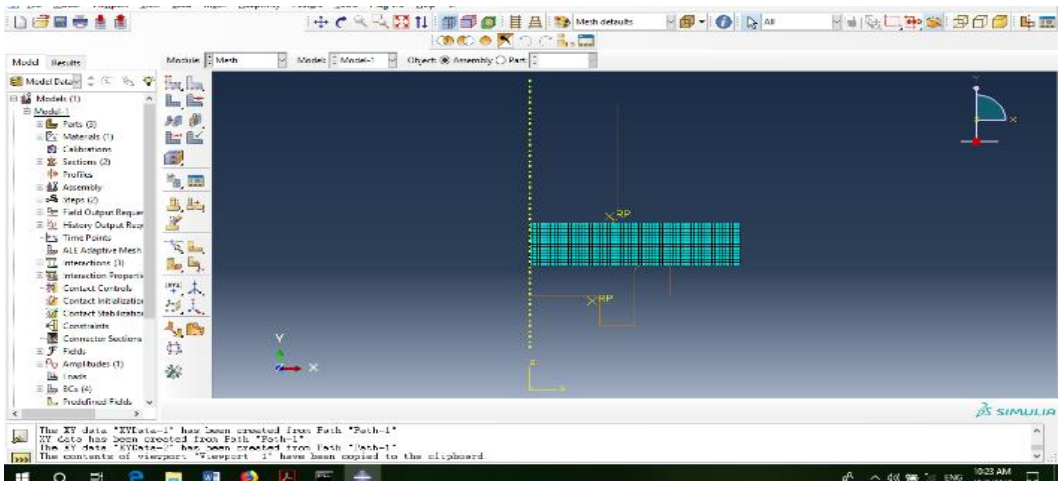
کاهش استحکام برشی و کششی اتصالات کلینچ در حالت استفاده از ورق های با پوشش سطحی می باشند. حسنی و همکارش[۱۶،۱۷] بررسی تجربی و عددی فرآیند کلینچ در شرایط سطحی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. آن ها از یک پوشش محافظ در برابر خوردگی که از ذرات روی تشکیل شده برای آزمایش های خود توسط نرم افزار تجاری آباکوس استفاده کرده اند. طی این آزمایش به این نتایج دست یافته اند که نیروی شکست برای سطوح پوشش دهی شده با لایه محافظ در برابر خوردگی اندکی بالاتر از سطوح پوشش دهی شده الکتروگالوانیزه است.

۲. شکل‌ها، جدول‌ها، نمودارها و روابط



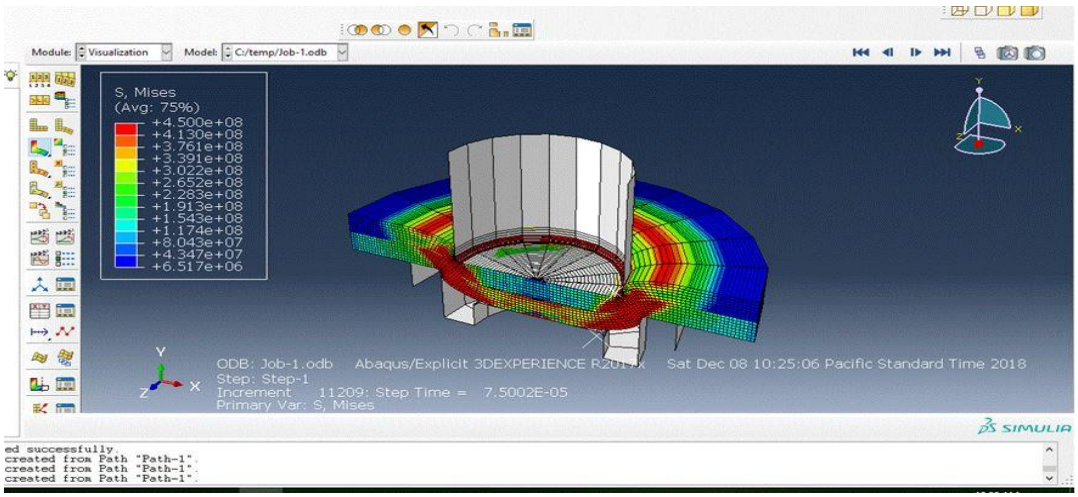
شکل ۲: مقادیر انرژی جنبشی و انرژی داخلی نسبت به زمان

با توجه به شکل ۲ مساله شبه استاتیکی، مساله ای است که ذاتا دارای ماهیت دینامیکی است و در مساله سرعت و شتاب وجود دارد، اما مقادیر سرعت و شتاب بسیار ناچیز است این مساله سبب می شود تا سهم اثر نیروهای اینرسی و انرژی جنبشی در مساله کاهش یابد.

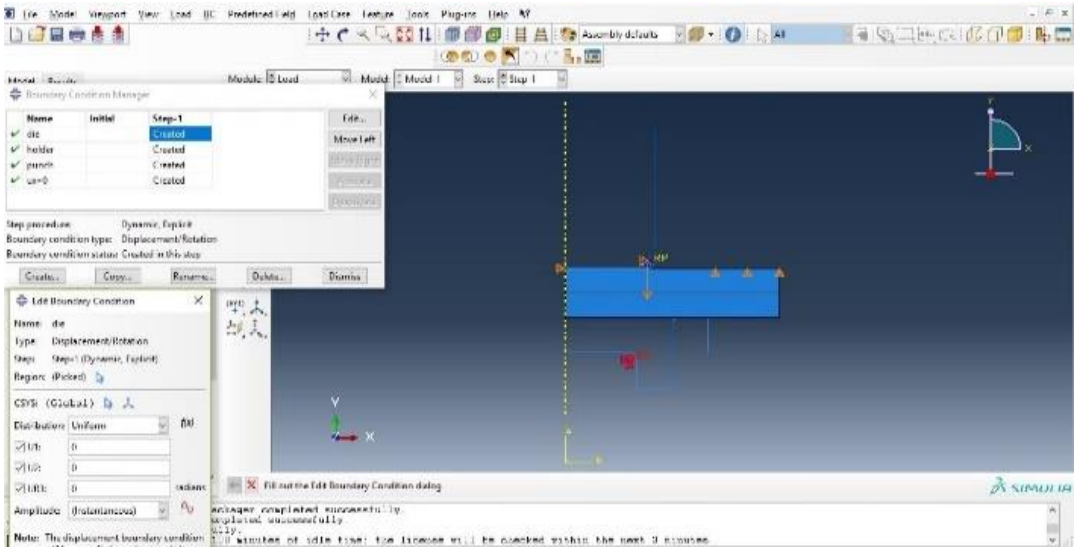


شکل۳: نمایی از نحوه مش زنی بر روی ورق

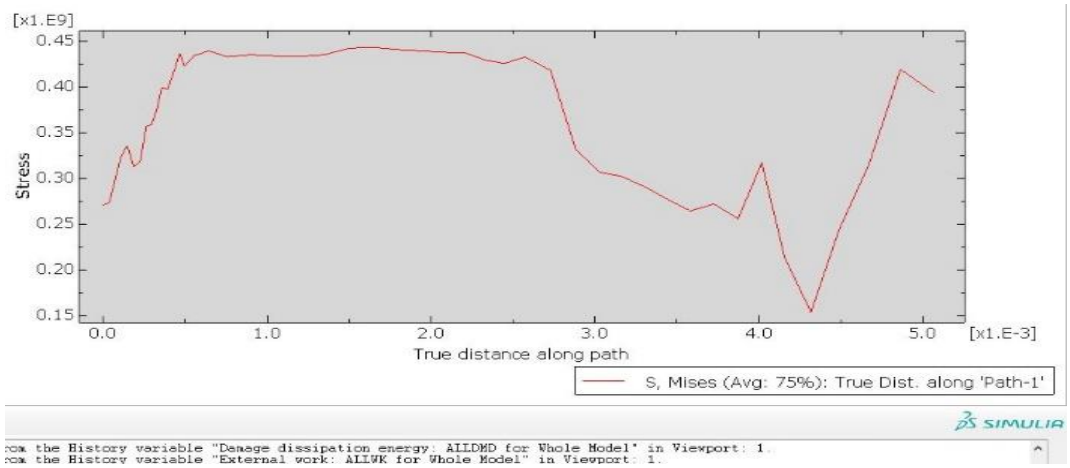
فصلنامه قطعه سازان صنعت
جلد ۱، شماره ۱، (پیاپی: ۱)، بهار ۱۳۹۹
از صفحه ۹ لغایت ۱۷



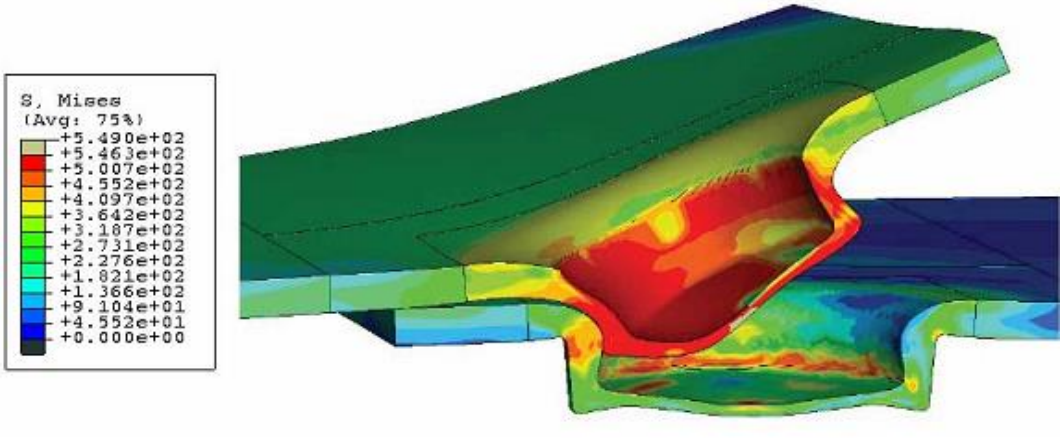
شکل۴: نمایی از روند گسترش تنش در شکل سه بعدی



شکل۵: نمایی از نحوه بارگذاری بر روی ورق فلزی



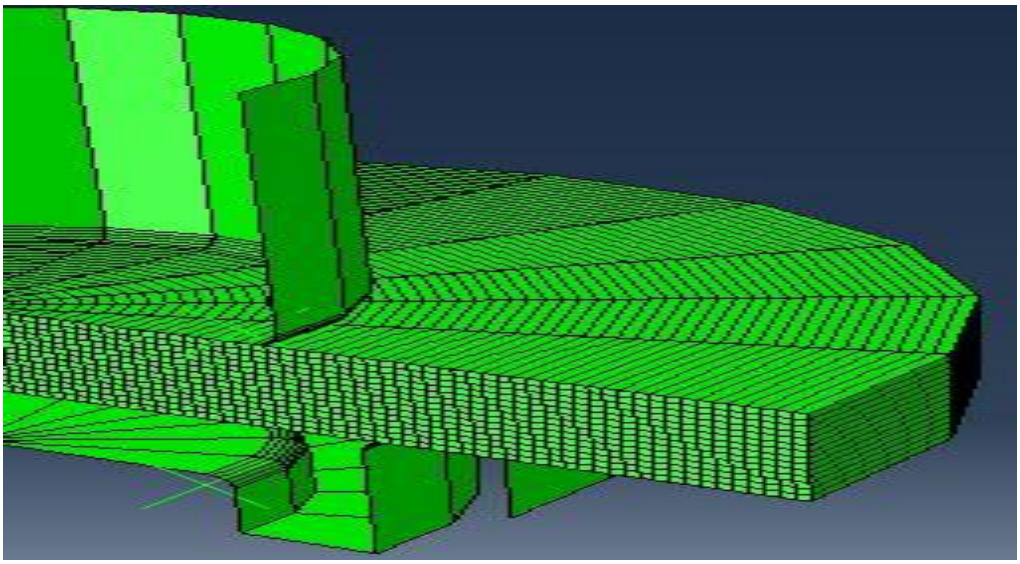
شکل۶: نمودار نتیجه گیری فشارکلی شکل دهی کلینچ



شکل۷: توزیع تنش و میزان اتصال کلینچ شبیه سازی شده تحت نیروی برشی شبه استاتیک

۳. نحوه تحلیل

در این پژوهش از نرم افزارتجاری اجزای محدود آباکوس برای شبیه سازی فرآیند شکل دهی برای دو ورق فلزی آلومینیوم-فولاد استفاده شده است. با توجه به متقارن بودن فرآیند، یک چهارم مجموعه شامل قالب، سنبه و ورقها مدل شده اند. جهت بررسی چروکیدگی و اعمال فشار شعاعی به لبه های ورق در شبیه سازی، از مدل سه بعدی استفاده شده است مجموعه قالب و سنبه به صورت صلب گسسته [۱] با المان چهار گره ای [۲] و ورقها به صورت شکل پذیر[۳] و با المان هشت گره ای [۴] مدل شده ا ند. اندازه المان ورقها۱ ده هزارم میلیمتر تعداد کل المانها برای دو ورق ۱۰۰۰۰المان می باشد. شکل ۹ مدل مونتاژشده فرآیند را نشان میدهد.



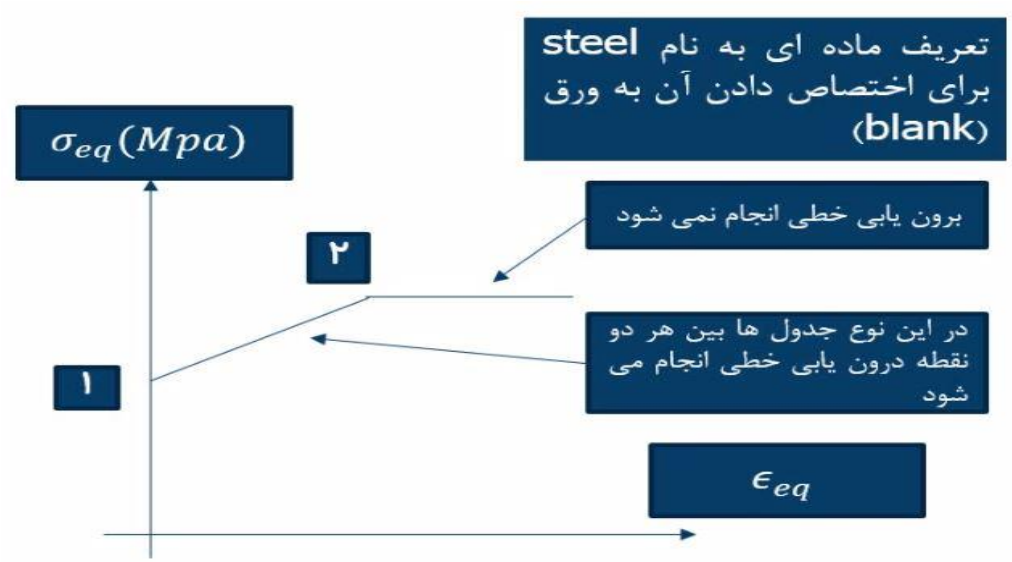
شکل۸:مدل فرآیند در شبیه سازی اجزای محدود

خواص پلاستیکی ورقهایی که با فرآیند نورد تولید میشوند در جهت ضخامت و با جهت گیری در سطح ورق متفاوت میباشد که به ترتیب،ناهمسانگردی عمودی و صفحه ای نامیده میشوند.

فصلنامه قطعه سازان صنعت
جلد ۱، شماره ۱، (پیاپی: ۱)، بهار ۱۳۹۹
از صفحه ۹ لغایت ۱۷

۴. روابط ریاضی

از طریق روابط ۷تا ۱۰ می توان نسبت های کرنش پلاستیک را به نسبت های تنش تسلیم تبدیل نمود. [۱۷]



شکل۹ : نمودار کرنش معادل براساس کرنش پلاستیک

$$R_{11} = 1 \qquad (۷)$$

$$R_{22} = \sqrt{\frac{r_{90}(r_0+1)}{r_0(r_{90}+1)}} \qquad (۸)$$

$$R_{33} = \sqrt{\frac{r_{90}(r_0+1)}{r_0+r_{90}}} \qquad (۹)$$

$$R_{12} = \sqrt{\frac{3r_{90}(r_0+1)}{(2r_{45}+1)(r_0+r_{90})}} \qquad (۱۰)$$

که در آن روابط r_0 ضریب ناهمسانگردی در راستای صفر درجه، r_{45}ضریب ناهمسانگردی در راستای ۴۵ درجه و r_{90}ضریب ناهمسانگری در راستای ۹۰ درجه است.

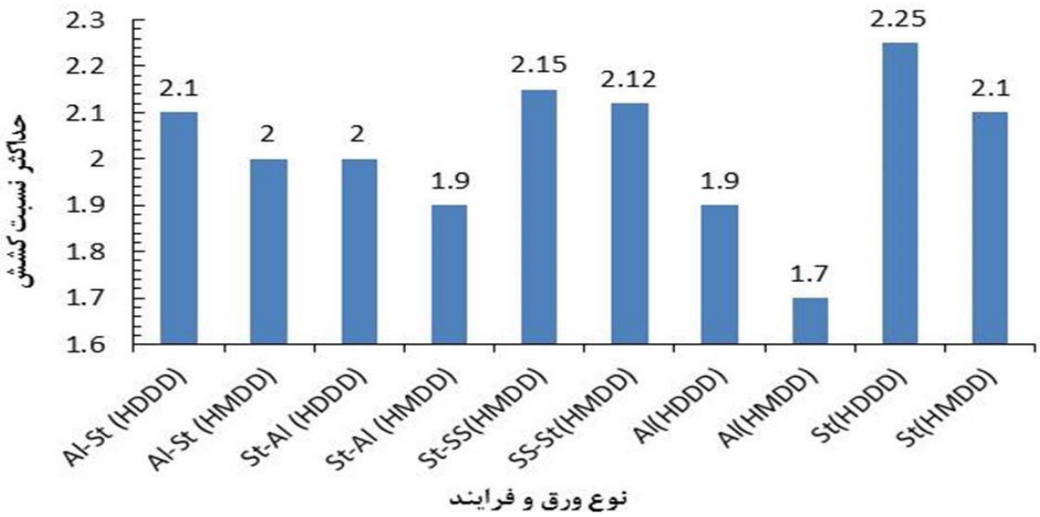
رابطه بدست آوردن زمان حل مسئله(time period)

$$Cd = \sqrt{\frac{E}{P}} = \sqrt{۲۱۰ * \frac{۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰}{۷۸۰۰}} = ۵۱۸۸.۷۵ m/s$$

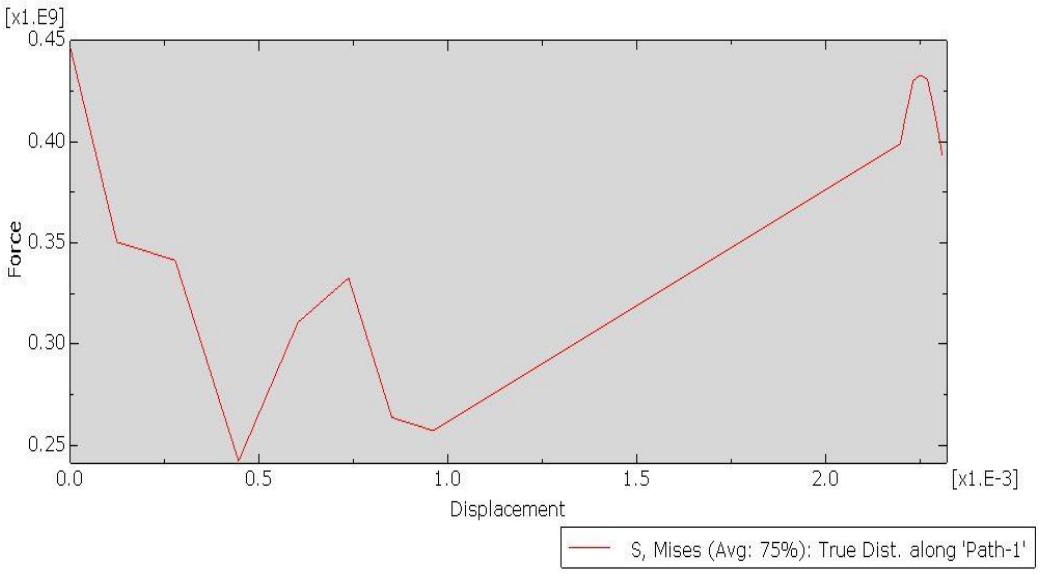
۰,۰۱*Cd=۵۱,۸۹m/s

Vpunch=۰,۰۰۱۹۱/۰,۰۰۰۱۵=۱۲,۷۳m/s

۱۲,۷۳m/s<۵۱,۸۹m/s این نقطه یعنی زمان حل مسئله خوب است



شکل۱۰: نسبت کشش در فرآیندها و ورقهای متفاوت



شکل۱۱ : نمودار نیرو -جابه جایی قطعه شکل داده شده

جدول۱: علائم اختصاری

E	خواص فلز
ρ	چگالی
Cd	سرعت حرکت موج در ماده
Vpunch	سرعت حرکت سنبه
0.00191	سرعت حرکت سنبه
0.000015	زمان حل مسئله

۵. نتیجه گیری

در این مقاله استحکام برشی و کششی اتصال کلینچ به منظور مشخص کردن رفتار استاتیکی دو ورق فلزی آلومینیوم – فولاد و نحوه مقاومت دولایه فلزی آلومینیوم-فولاد در مقابل چروک شدگی و پارگی فلزات در زمان عملیات شکل دهی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل دادن این ورق ها با محدودیت هایی مثل جداشدن لایه ها و چروکیدگی در حین فرایند شکل دهی همراه است که این آزمایش توسط نرم افزارتجاری آباکوس به روش المان محدود انجام شده است و شرایط اتصال توسط روش پنالتی در نظر گرفته شده است. در اتصال کلینچ عواملی چون فرم و ابعاد حفره ماتریس قالب سبب ایجاد شکل منحنی در ورق های فلزی میگردد و برای جلوگیری از چروک شدن شکل بدست آمده نحوه کشش فلزات بین سنبه و ماتریس مورد بررسی قرار گرفته است که شکل بدست آمده از این فرآیند به صورت یک فنجان می باشد. متغیرهای تأثیرگذار در تعیین کشش دو ورق فلزی برای جلوگیری از چروکیدگی شکل بدست آمده عبارت اند از: خواص فلز ورق، نسبت قطر ورق به نسبت قطر سنبه، لقی بین سنبه و ماتریس، شعاع سنبه، شعاع لبه ماتریس، نیروی ورق گیر یا گیردار کردن فلز، اصطکاک و روانکاری می باشد. در خلال عملیات کشش، حرکت ورق به داخل حفره قالب، تنش‌های فشاری (تنش محیطی) را در اطراف ورق به وجود می‌آورد که می‌خواهند هنگام کشش در ورق، چروک ایجاد کنند. این پدیده را با فشردن یک تکه کاغذ دایره‌ای شکل به داخل یک حفره مانند یک لیوان آبخوری می‌توان نمایش داد. چروکیدگی را می‌توان با یک ورقگیر و یا گیردار کردن فلز خارج از محدوده سنبه تحت نیروی معینی کاهش داد یا از بین برد. به منظور بهبود عملکرد، مقدار این نیرو را می‌توان به عنوان تابعی از مقدار پیشروی سنبه تنظیم کرد .دیواره فنجان که قبلاً شکل گرفته‌است، در معرض یک تنش کششی اصلی طولی، قرار می‌گیرد. افزایش طول، موجب می‌شود که دیواره فنجان نازک شود و چنانچه بیش از اندازه باشد، موجب پارگی فنجان خواهد شد. به دلیل متغیرهای زیادی که در این کار دخالت دارند، نیروی سنبه دشوار است. این نیرو با افزایش استحکام، قطر و ضخامت ورق فلز ورق افزایش می‌یابد و از چروکیدگی و پارگی فلز در هنگام شکل گیری در قالب جلوگیری می کند.

منابع

[۱] Nong N, Keju O, Yu Z, Zhiyuan Q, Changcheng T, Feipeng L. Research on press joining technology for automotive metallic sheets. J Mater Process Technol ۲۰۰۳;۱۳۷:۱۵۹–۶۳.
[۲] Mucha J. Modern mechanical on press joinability techniques for sheet metal elements. In: Proceedings of the international conference progressive technologies and materials; ۲۰۰۷. p. ٤۳–٤ [in Polish]

[۳] Chan-Joo Lee, Jae-Young Kim, Sang-Kon lee, et al. Materials and Design Vol.۳۱(۲۰۱۰)p.۱۸۵٤-۱۸٦۱ Technology Vol.٤۸(۲۰۱۰)p. ٦۰۷-٦۱۲
[٤] X. He. International Journal of Advanced Manufacturing Technology Vol.٤۸(۲۰۱۰)p. ٦۰۷-٦۱۲
[٥] X. He. Advanced Science Letters Vol. ٤(۲۰۱۱)p.۱۷٥۷-۱۷٦۰
[٦] L. M. Alves, E. J. Dias, and P. A. F.Martins, “Joining sheet panels to thin-walled tubular profiles by tube end forming,” Journal of Cleaner Production, vol. ۱۹, no. ٦-۷, pp. ۷۱۲–۷۱۹, ۲۰۱۱
[۷] J. Mucha, L’.Kaˇsˇc´ak, and E. Spiˇs´ak, “Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements,” Archives of Civil and Mechanical Engi Engineering vol. ۱۱, no. ۱, pp. ۱۳٥–۱٤۸, ۲۰۱۱
[۸] B. Bartczak, D. Gierczycka-Zbro˙zek, Z. Gronostajski, S. Polak and A. Tobota, “The use of thin-walled sections for energy absorbing components: a review,” Archives of Civil andMechanical Engineering, vol. ۱۰, ,.no. ٤, pp. ٥–۱۹, ۲۰۱۰
[۹] Z. Gronostajski and S. Polak, “Quasi-static and dynamic deformation of double-hat thin -walled elements of vehicle controlled body crushing zones joined by clinching,” *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. ۸, no. ۲, pp. ٥۷–٦٥, ۲۰۰۸.
[۱۰] Babuska I , Rheinboldt W. Error estimates for adaptive element computations. SIAM J Num Anal nite® .۱۹۷۸;۱٥ :۷۳٦±٥٤
[۱۱] Barthold F-J, Schmidt M, Stein E. Error estimation mesh adaptivity for elasto-plastic deformations. Proceedings of Comp Plast ۱۹۹۷;۱:٥۹۷±٦۰۲.
[۱۲] Bathe KJ. Finite element procedures. Englewood cli€, NJ: Prentice Hall, ۱۹۹٦.
[۱۳] Barnes, T.A., and Pashby., I.R., ۲۰۰۰. “Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles. Part I”. *Journa ofMaterials Processing Technology*, ۹۹, pp. ٦۲–۷۱.
[۱٤] Barnes, T.A., and Pashby., I.R., ۲۰۰۰. “Joining techniques for aluminium spaceframes used inautomobiles. Part II”. *Journal of Materials Processing Technology*, ۹۹, pp. ۷۲–۷۹.
[۱٥] Varis, J.P., and Lepisto, J., ۲۰۰۳. “A simple testingbased procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching”. *Thin-Walled Structures*, ٤۱, ٦۹۱-۷۰۹.
[۱٦] Deutsches Reichspatent, ۱۸۹۷. DRP-Nr. ۹۷٥۱۷.
[۱۷] A. Fazli, B. Dariani, Theoretical and experimental analysis of the axisymmetric hydromechanical deep drawing process, *Proc Inst Mech Eng B: J Eng Manuf*, ۲۲۰ (۲۰۰٦) ۱٤۲۹-۱٤۳۷.