بررسي تجربي و عددي اثر استفاده از ورقگير نوساني بر قابليت شكل پذيري ورق آلومينيومي در فرايند كشش عميق

رضا دادخواه[i]; امير مصطفي پور[ii] *

چكيده

در اين پژوهش اثر استفاده از سيستم ورقگير نوساني بر عمق قابل دستيابي ظرف استوانه‌اي از جنس آلومينيوم ۱۰۵۰ به صورت تجربي و عددي مورد بررسي قرار گرفته است. براي اين كار، از يک سيستم ورقگير جديد استفاده شده است. با كمک اين سيستم در هر بازه نوساني، ابتدا با حذف نيروي ورقگير از روي ورق، ماده به راحتي به داخل حفره قالب جريان مي‌يابد و در ادامه براي جلوگيري از جريان اضافي ماده و چروكيدگي، از نيروي ورقگير فنرها استفاده شده است.

شبيه سازي عددي فرايند در نرم افزار آباكوس۱ ۶/۷ انجام شده است. عمق و توزيع ضخامت ظرف در حالت‌های تجربي و عددي براي ورقگير ثابت و نوساني مقايسه شده است. نتايج نشان مي‌دهند كه با استفاده از يک ورقگير با سيستم نوساني و با انتخاب فركانس و گپ (فاصله ورق با ورقگير) مناسب، علاوه بر توزيع ضخامت بهتر، مي‌توان عمق ظرف قابل دستيابي را افزايش داد. نتايج تجربي و عددي برابری خوبي با يكديگر دارند.

كلمات كليدي : كشش عميق، ورقگير نوساني، اجزاي محدود

Numerical and Experimental Investigation the Effect of Pulsating Blankholder on Formability of Aluminum Alloy in Deep Drawing Process

R. Dadkhah, A. Mostafapour

ABSTRACT

In this study, the effect of pulsating blankholder by using a new system for improving the formability of aluminum alloy has been investigated. By means of this system, in every pulsating cycle, at first the blankholder force has been removed, metal has been flowed into die and then to prevent excessive metal flow and wrinkles, the blankholder force by springs has been used.

Deep drawing of cylindrical cup has been simulated by using ABAQUS6.7 software. Cup depth, tearing and thickness distribution of the experimental and numerical results have been compared. The results show that cup depth by using the pulsating blankholder system and select a proper frequence and gap, can be increased and thickness distribution can be improved. It has further been observed that simulation and experimental results are in good agreement together.

KEYWORDS : Deep drawing, Pulsating blankholder, Finite element method

تاريخ دريافت مقاله:۱۳۸۸/۲/۲۷
تاريخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۲/۱۹
[i] دانشجوي كارشناسي ارشد دانشكده مكانيک دانشگاه تبريز: dadkhah.r@gmail.com
[ii] * نويسنده مسئول و استاديار دانشكده مكانيک دانشگاه تبريز

۱- مقدمه

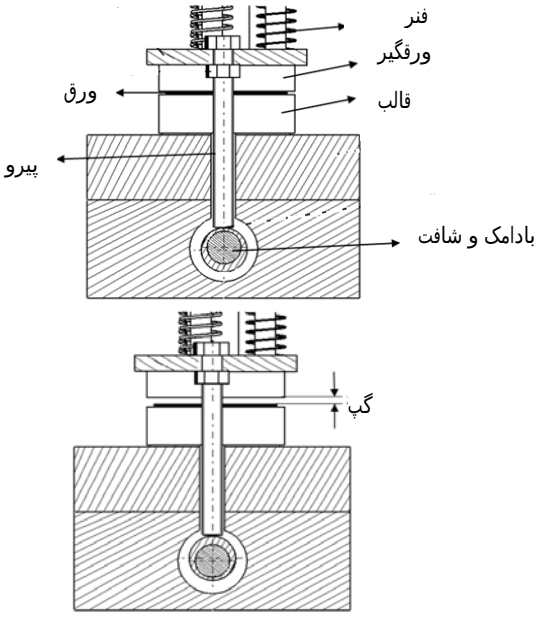
آلومينيوم به عنوان يک فلز سبک در صنايع هوايي اهميت ويژه اي دارد؛ و امروزه با افزايش بهاي سوخت، کاهش وزن خودرو از جمله اهداف مورد توجه براي نسل هاي بعدي خودروهاست. استفاده از آلومينيوم به جاي فولاد در يک سازه باعث کاهش قابل توجهی در وزن سازه مي‌شود، هم چنين مقاومت به خوردگي در کنار نسبت استحکام به وزن بالا از مشخصات مطلوب آن است. از اين رو اين ماده کاربرد فراواني در صنايع مهم امروزي دارد؛ که سهم زيادي از آن مربوط به شکل دهي ورق ها است. اما در عين حال قابليت شکل پذيري ضعيف آلومينيوم، که براي ورق هاي نازک تر اين قابليت ضعيف تر مي‌شود، استفاده از آن و جايگزيني با فولاد را محدود ساخته است. به همين دليل برای بهبود و بهينه سازي فرايند کشش عميق که يکي از مهمترين فرايندهاي شکل دهي ورق هاي فلزي است، رفع عيوب معمول فرايند در استفاده از اين مواد ضروری است. در فرايند کشش عميق جريان اضافي ماده باعث چروکيدگي در ورق شده و جريان ناکافي باعث پارگي مي‌شود؛ با توجه به نقش مهم ورقگير و اثر مستقيم آن بر ميزان جريان ماده به داخل حفره قالب، سهم زيادي از تحقيقات انجام شده در سال هاي اخير در فرايند کشش عميق به بهبود و استفاده از روش های جديد در زمينه ورقگير، متمرکز شده است. در اين راستا کوياما و ديگر همکارانش [۱]به طراحي يک الگوريتم کنترل فرايند به کمک منطق فازي پرداختند. آنها از اين الگوريتم برای کنترل نيروي ورقگير در راستای بهبود حد نسبت کشش استفاده بردند. با داشتن داده‌هايي در مورد شرايط ابزار، روانکاري، خصوصيات ماده و هم چنين منحني هاي مربوط به محدوده چروکيدگي و پارگي حالت معمول فرايند، قوانين فازي بر مبناي ارتفاع مجاز چروکيدگي و پارگي پايه ريزي شده اند، به طوری که در صورت احساس خطر چروکيدگي در ورق نيروي ورقگير برای کاهش يا حذف چروکيدگي افزايش مي يابد. به کمک اين سيستم براي ورق آلومينيومي، حد نسبت کشش ۲/۴ درصد افزايش يافت. گونارسون و شدين [۲] از نيروي ورقگير متغير برای بهبود خواص شکل پذيري ورق ها در قالب هايي با دو لبه منحني وار مورد استفاده در بدنه خودروها بهره بردند. آنها در تحقيق تجربي خود نشان دادند که با کمک نيروي ورقگيري که مقدار آن در ناحيه بحراني شکل گيري ورق با شيب به نسبت تندي کاهش مي‌يابد، مي‌توان خصوصيات ورق را برای کاهش عيوب آن بهبود داد. هم چنين تحقيقاتي با محور کاربرد ارتعاشات در زمينه بهينه سازي فرايند کشش عميق انجام شده است. جيما و کاسوگا [۳] به بررسي اثر ارتعاشات التراسونيک به صورت تجربي برروي فرآيند کشش عميق پرداختند. نتايج تحقيقات آنها نشان می‌دهد که با اعمال فرکانس ۲۰ و ۲۸ هرتز مي‌توان حد نسبت کشش را از ۲/۶۸ به ۳/۰۱ در ورق فولاد نورد سرد و از ۲/۳۸ به ۲/۷۷ در مورد فولاد ضد زنگ ۳۰۴ افزايش داد. هيندوجا و شيراز علي [۴] به بررسي تجربي اثر نوسان های کم تر از ۱۰ هرتز برروي قابليت شکل پذيري ورق هاي آلومينيوم ۵۷۵۴ با ضخامت ۱ ميلی متر پرداختند. آنها در تحقيق خود از عمل کننده هاي هيدروليکي برای نوساني کردن ورقگير استفاده نمودند و با کمک سنسورهاي نيرو و جابجايي، مقادير نيروي سنبه و ورقگير و هم چنين جابجايي آنها را کنترل کردند. نتايج کار آنها نشان مي دهد که با اعمال نيروي ورقگير ۳۰ کيلو نيوتني با دامنه ۲۰ کيلونيوتن و فرکانس هاي ۰/۳ ، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ مي‌توان به ترتيب به عمق کشش ۳۶ ، ۴۴ و ۶۰ ميلي متر بدون پارگي در ورقی به قطر ۲۵۰ ميلی متر دست يافت.

اگر چه در زمينه کاربرد ارتعاشات و استفاده از سيستم هاي ورقگير نوساني تحقيقاتي انجام شده است، اما اطلاعات موجود ناکافي بوده و با توجه به اهميت شکل دهي آلياژهاي سبک فلزي با اشکال پيچيده و ضخامت هاي کم، نياز برای تحقيقات بيشتر در اين زمينه با بکارگيري روش های مختلف ديده مي‌شود. تاکنون بيشتر تحقيقات صورت گرفته در اين زمينه بصورت تجربي بوده است و اين در حالي است که استفاده از روش هاي عددي و از آن جمله روش اجزاي محدود مي‌تواند در انجام تحقيقات کامل تر، بسيار موثر و مفيد باشد.

۲- روش مورد استفاده

همانطور که گفته شد، در فرايند کشش عميق رايج، افزايش جريان ماده به داخل حفره قالب باعث چروکيدگي و ناکافي بودن آن باعث نازک شدن و در نهايت پارگي ورق مي‌شود. در قالب کشش موجود، برای افزايش جريان ماده به داخل ماتريس و کاهش مقاومت در برابر آن به دليل نيروهاي اصطکاکي، با کمک سيستم بادامک و پيرو فشار ورقگير از روي ورق برداشته شده و با ايجاد يک گپ (فاصله بين ورق و ورقگير) اجازه ايجاد چروکيدگي در سطح ورق در حد مجاز داده مي‌شود. هم چنين برای جلوگيري از جريان بيش از حد ماده به داخل حفره قالب و تجمع چروکيدگی ها در دهانه حفره قالب، از نيروي فنر ها استفاده شده است. همانطور که در شکل (۱) ديده مي‌شود، در هر بازه نوساني در ابتدا با حذف نيروي ورقگير ماده به راحتي به داخل قالب جريان يافته و در پايان بازه با حذف نيروي بادامک و پيرو و اعمال نيروي فنرها از طرف

ورقگير به آن، چروكيدگي هاي روي ورق تا حدی حذف مي‌شوند. اين سيكل می‌تواند تا پايان فرايند ادامه يابد و در هر لحظه نيروي فنرها افزايش يابند تا در پايان فرايند در اثر فشار زياد ورقگير، اثر چروكيدگي برروي محصول باقي نماند.



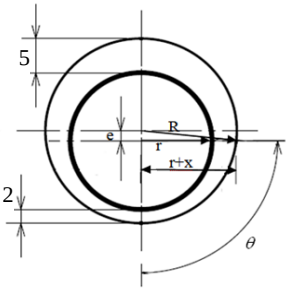
شكل (۱): موقعيت های ورقگير در يک نيم بازه دورانی

۳- مراحل آزمايشگاهي و شبيه سازي عددي

در اين قسمت به جزئيات قالب كشش عميق مورد استفاده به همراه خواص مكانيكي ورق و نحوه شبيه سازي فرايند پرداخته خواهد شد.

۳-۱- قالب كشش عميق و تجهيزات لازم برای ايجاد حركت نوساني ورقگير

براي انجام فرايند كشش عميق از يک دستگاه پرس هيدروليک با ظرفيت ۵۰ تن براي تأمين تغذيه محوري و فشردن قالب استفاده شده است. قالب مورد استفاده در اين تحقيق همان قالب معمولي كشش عميق شامل اجزاي اصلي سنبه، ورقگير و ماتريس است كه برای ايجاد حركت نوساني از يک سيستم مكانيكي استفاده شده و با كمک بادامک و پيرو حركت دوراني موتور الكتريكي به حركت خطي رفت و برگشتي تبديل شده است. موتور الكتريكي مورد استفاده برای ايجاد حركت دوراني لازم، يک موتور سه فاز با قدرت ۱/۵ كيلو وات و دور نامي ۱۴۲۰ دور در دقيقه است كه در اين دور، فركانسي در حدود ۲۳ هرتز خواهد داشت. هم چنين از يک دستگاه اينورتر[۲] برای تغيير دور موتور استفاده شده است كه به كمک آن مي‌توان آزمايش های نوساني را با دورها و فركانس هاي مختلف انجام داد. در اين سيستم برای ايجاد نيروي ورقگير از سه فنر آبي رنگ طبق استاندارد DIN به طول ۱۲۷ ميلي متر و قطر خارجي ۲۵ ميلي متر و سختي ۲۵/۹ نيوتن بر ميلي متر استفاده شده است. با حركت سنبه به سمت پايين فنرها فشرده تر شده و نيروي اعمالي بر ورقگير به صورت خطي افزايش مي‌يابد. فرم بادامک مورد استفاده برای ايجاد حركت رفت و برگشتي براي گپ ۳ ميلي متري در شكل (۲) آورده شده است. هم چنين بررسي شكل پذيري ورق با دامنه هاي نوساني (گپ) مختلف، به راحتی با تعويض بادامک ها ممكن است.



شكل (۲): بادامک مورد استفاده براي گپ ۳ ميلي متر

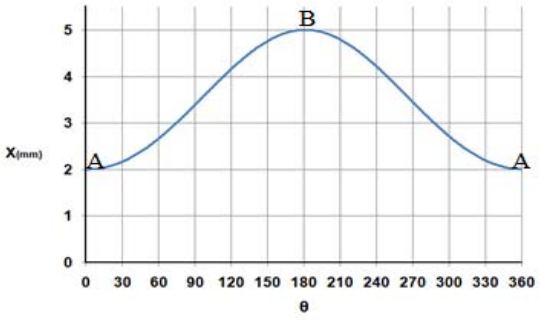
بادامک فوق از يک دايره به شعاع ۱۳/۵ ميلي متر ساخته شده است كه به اندازه ۱/۵ ميلي متر نسبت به دايره مركزي (دايره شافت) خارج از مركز است؛ و دامنه ای به اندازه ۳ ميلي متر مي‌توان به كمک آن ايجاد نمود.

با استفاده از رابطه كسينوس ها براي مثلث با اضلاع R ، e و (r+x) رابطه (۱) برقرار خواهد بود:

$$x = \sqrt{R^2 - e^2 \sin^2\theta} - (r + e\cos\theta) \qquad (۱)$$

كه x مكان هندسي بادامک، R شعاع دايره خارج از مركز، e مقدار خارج از مركز، r شعاع دايره شافت بر حسب ميلي متر و θ زاويه بر حسب درجه (شروع از نقطه A) است.

با توجه به رابطه (۱) منحني بادامک بر حسب زاويه θ به ازاي يک دور چرخش شافت طبق شكل (۳) است. مي‌توان با توجه به رابطه $\theta = \omega t$ بر حسب فركانس مورد نظر و زمان فرايند اين سيكل را براي n بار متوالي تكرار نمود.



شكل (۳): منحني بادامک به ازاي يک دور چرخش شافت براي گپ ۳ ميلي متري

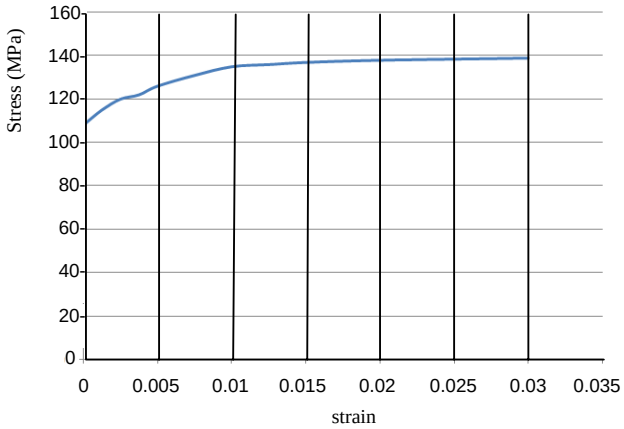
قطر نامی سنبه ۳۰ میلی متر و قطر نامی ماتریس ۳۲/۲ میلی متر است. ابعاد واقعی آنها با درنظر گرفتن خطای مجاز ساخت (تلرانس) در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): ابعاد هندسی اجزای قالب

قطر واقعی سنبه	۲۹/۸۵ میلي متر
شعاع لبه سنبه	۴ میلي متر
قطر واقعی ماتریس	۳۲/۴ میلی متر
شعاع لبه ماتریس	۸ میلي متر

۳-۲- خواص ورق مورد استفاده

در این پژوهش، ورق آلیاژ آلومینیومي آنیل نشده ۱۰۵۰، به ضخامت ۱ میلي متر مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین خواص مکانیکي ورق، آزمون کشش انجام شد. نمونه هایي از این ورق طبق استاندارد ASTM تهیه شد. این نمونه ها با استفاده از دستگاه آزمایش انیورسال تا حد پارگي کشیده و منحني های تنش- کرنش آن ها ثبت شدند. در شکل (۴) نمودار تنش- کرنش حقیقي ورق آلیاژ آلومینیومي آنیل نشده و در جدول (۲) مشخصات مکانیکي ورق مورد استفاده آورده شده است.



شکل (۴): نمودار تنش- کرنش ورق آلومینیوم

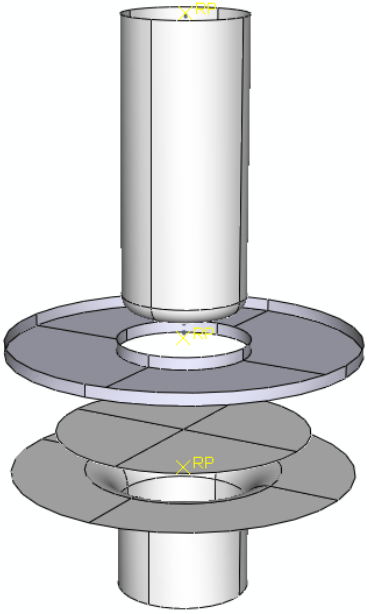
جدول (۲): خواص مکانیکی ورق آلومینیوم

مشخصه مکانیکی	مقدار
مدول یانگ	۷۱ GPa
ضریب پواسون	۰/۳۳
تنش تسلیم	۱۱۰ MPa
دانسیته	۲/۷ gr/cm^3
ضریب ناهمسانگردی در جهت نورد(r_0)	۰/۷۰۵
ضریب ناهمسانگردی در راستای ۴۵ درجه جهت نورد(r_{45})	۰/۷۶۵
ضریب ناهمسانگردی عمود بر جهت نورد(r_{90})	۰/۹۰۶

۳-۳- شبیه سازی عددی

شبیه سازي فرایند کشش عمیق در نرم افزار آباکوس انجام گرفت که قابلیت بالایي در تحلیل فرایندهاي غیر خطي و مدل سازي رفتارهاي تماسي پیچیده دارد و با یک کد صریح دینامیکي تحلیل شد.

همه شبیه سازي ها به صورت سه بعدي انجام شده و در تحلیل ها اثر ناهمسانگردي ورق با توجه به تابع تسلیم ناهمسانگرد هیل در نظر گرفته شد. براي مدلسازي رفتار مکانیکي ورق از المان پوستهاي S4R استفاده شد که المان چهار گره اي بوده و براي مدل سازي رفتارهاي غیرخطي مناسب و قابلیت تغییر شکل هاي بزرگ را دارد[۵]. براي سطوح صلب شامل ماتریس، ورقگیر و سنبه از المان هاي صلب R3D4 استفاده شد. هم چنین در تحلیل هاي صورت گرفته از روش بزرگي چگالي[۳] برای کاهش زمان محاسبات کامپیوتري استفاده شد در این رابطه دقت شد که مقدار انرژي جنبشي تغییر شکل طوری باشد تا از اثر دینامیکي آن در تحلیل صرفنظر نمود. شکل (۵) مدل ایجاد شده برای شبیه سازي اجزای محدود فرآیند کشش عمیق را نشان مي‌دهد.



شکل (۵): مدل شبیه سازی اجزای قالب کشش عمیق

برای شبیه سازي کامپیوتري حرکت نوساني ورقگیر، از اختلاف نیروي فنر در هر لحظه از زمان با نیروي اعمالي به وسیله سیستم بادامک و پیرو استفاده شد. نیروي اعمالي فنرها به ورقگیر متناسب با جابجایي سنبه است که با سرعت ثابت به داخل ماتریس نفوذ مي‌کند. واضح است که با افزایش جابجایي سنبه این نیرو نیز افزایش مي‌یابد. نیروي اعمالي به ورقگیر از

طرف سیستم بادامک و پیرو در جهت مخالف نیروي فنرها در هر لحظه اعمال مي‌شود و این نیرو به نحوی است که در هر لحظه بر نیروي فنر ها غلبه کرده و متناسب با رابطه (۱) و منحني بادامک که در شکل (۲) نشان داده شد، باعث ایجاد یک حرکت نوساني در ورقگیر مي‌شود.

نیروي فنر در هر لحظه از زمان برابر است با:

$$F(t)_1 = kx = kvt \qquad (۲)$$

که k سختي معادل فنرها، x جابجایي، v سـرعت سـنبه و t زمان است.

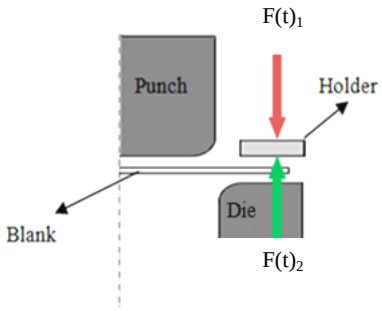
نیروي سیستم بادامک و پیرو عبارتست از:

$$F(t)_2 = k(vt + X(t)) \qquad (۳)$$

کـه k سـختي معـادل فنرهـا، t زمـان و $X(t)$ مکـان هندسـي بادامک نسبت به زمان است.

از تفاضل این دو نیرو، مقدار نیروي اعمالي به ورقگیر در هر لحظه از زمان عبارتست از:

$$F_{BH} = F(t)_2 - F(t)_1 \quad if \quad X(t) = 0 \quad F(t)_2 = 0 \qquad (۴)$$



شکل (۶): نحوه اعمال نیرو از طرف فنرها و بادامک به ورقگیر

٤- نتایج و بحث

در صنعت درصد نازک شدگي در دیواره قطعه با توجه به ضخامت اولیه ورق به عنوان ملاک و معیاري معمول براي پیش بیني عیوب پارگي در ورق شناخته مي‌شود [۶]. بنابراین در این مطالعه نیز با توجه به درصد نازک شدگي تقریبي ورق در آزمایش کشش تک محوره انجام شده برروي آن در آزمایشگاه کشش، معیار ۲۰ درصد نازک شدگي مجاز نسبت به ضخامت اولیه ورق درنظر گرفته شد.

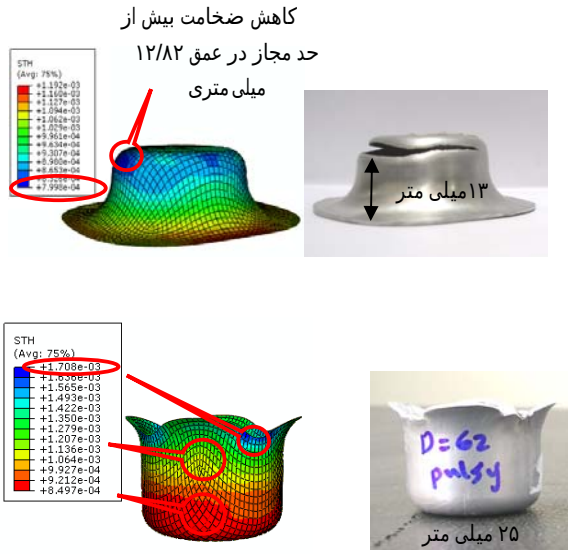
٤-۱- اثر استفاده از ورقگیر نوساني برروي تغییر شکل ورق

نتایج تجربي بدست آمده براي ورق با قطر ۶۲ میلي متر با ورقگیر استاتیکي و نوساني با فرکانس ۲۰ هرتز و دامنه (گپ) ۳ میلي متر در آزمایش هاي عملي بهبود شکل پذیري ورق را در استفاده از یک سیستم ورقگیر نوساني نشان داد. در حالي که با کمک ورقگیر استاتیکي، ورق در عمق ۱۳ میلي متري دچار پارگي شد با استفاده از ورقگیر نوساني، ورق تا حداکثر کورس سنبه که قالب موجود اجازه داد، (۲۵ میلي متر) بدون پارگي کشیده شد.

شبیه سازي اجزای محدود فرایند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکي و نوساني براي قطر ۶۲ میلي متر با فرکانس و دامنه مشابه آزمایش عملي فوق، بهبود شکل پذیري در اثر استفاده از ورقگیر نوساني را تأیید نمود. در شبیه سازي این فرایند در حالت استاتیکی، ورق در عمقي نزدیک به حالت تجربي و در ۱۲/۸۲ میلي متر از حد ضخامت مجاز تجاوز کرده و دچار پارگي شد.

در شکل (۷) هندسه و عمق براي دو حالت تجربي و عددي به ترتیب در استفاده از ورقگیر استاتیکي و نوساني مقایسه شده است. توزیع ضخامت بدست آمده از روش اجزای محدود برابری این روش را با نتایج تجربی نشان می‌دهد.

همان طور که از نتایج مشخص است، در حالت استاتیکی بیش ترین افزایش ضخامت در حدود ۱/۲ میلی متر و کم ترین آن که مربوط به ناحیه شعاع ظرف است در حدود ۷۹/. میلی متر (کمتر از حد مجاز) است. اما در حالت نوسانی، توزیع ضخامت دیواره در حدود ۱/۲ میلی متر، ضخامت ناحیه شعاع ظرف در حدود ۸۵/. میلی متر و بخش کوچکی از ناحیه کنگره‌ای سرظرف، ضخامتی در حدود ۱/۷ میلی متر دارد که به دلیل تجمع ماده درآن ناحیه ایجاد شده و لازم است در طی یک عملیات دوره بری حذف شود.

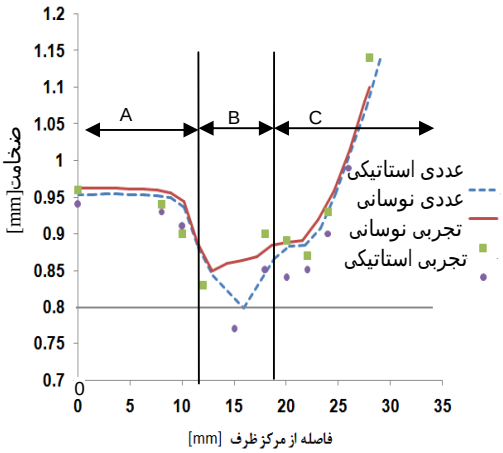


شکل (۷): عمق و توزیع ضخامت ظرف استوانه ای با کمک ورقگیر استاتیکی و نوسانی

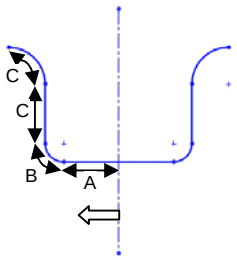
۲-۴- اثر استفاده از ورقگیر نوساني بر توزیع ضخامت دیواره ظرف

توزیع ضخامت در سرتاسر دیواره ظرف وابسته به عواملی مانند نرخ کرنش، هندسه ابزار، فشار ورقگیر و خصوصیات ناهمسانگردي است. با توجه به یکسان بودن جنس ورق و هندسه قالب مي‌توان به بررسي اثر فشار ورقگیر بر توزیع ضخامت پرداخت. برای بررسي توزیع ضخامت ظروف شکل یافته در آزمایش های تجربي، نمونه هايي از قطعات شکل یافته با کمک ورقگیر استاتیکي و نوساني در قالب هاي گچي برش داده و ضخامت آنها اندازه گیري شد. هم چنین توزیع دقیق ضخامت با کمک روش عددي براي دو حالت استاتیکي و نوساني استخراج شد.

شکل (۸) مقایسه توزیع ضخامت ورق شکل یافته با کمک ورقگیر استاتیکي و نوساني در دو حالت تجربي و اجزای محدود را نشان مي‌دهد. همان طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، اندازه گیری ضخامت ورق از مرکز کف ظرف به سمت لبه بالایی آن انجام شده و نتایج این توزیع ضخامت به صورت نمودار رسم شده است.



شکل (۸): توزیع ضخامت ورق



شکل (۹): نواحی تقسیم بندی شده ظرف

با توجه به شکل، توزیع ضخامت شامل سه بخش A، B و C است. ناحیه A نشان دهنده توزیع ضخامت در کف ظرف است، ناحیه B توزیع ضخامت در ناحیه شعاع ظرف (سنبه) را نشان مي‌دهد و ناحیه C نیز مربوط به توزیع ضخامت در ناحیه دیواره و فلنج ظرف است. نتایج نشان مي‌دهند که توزیع ضخامت در ناحیه A و C در دو حالت استاتیکي و نوساني به طور تقریبی مشابه بوده و اختلاف زیادی وجود ندارد. اما اختلاف اصلي در تغییرات ضخامت مربوط به ناحیه B یعني شعاع ظرف است که نازک شدگي و کاهش ضخامت زیادي را در حالت استاتیکي باعث مي‌شود؛ که در پایان باعث پارگي ورق شده است. در حالي که در حالت نوساني، توزیع یکنواخت‌تر و با تغییرات کمتر در این ناحیه دیده می‌شود. بیش ترین خطا بین نتایج تجربي و عددي کمتر از ۶ درصد است.

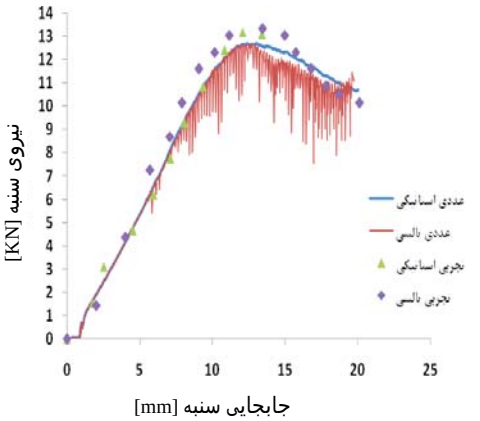
۳-۴- اثر استفاده از ورقگیر نوساني بر نیروي شکل دهي

شکل (۱۰) منحني نیروي سنبه در فرایند کشش ورق با قطر ۶۲ میلي متر را با سیستم نوساني و استاتیکي نشان مي‌دهد.

در شبیه سازي هاي اجزای محدود طبق شکل، تفاوت اصلي در نوساني بودن نیروي شکل دهي سنبه، در حالت ورقگیر نوساني است که به دلیل کاهش اصطکاک و مقاومت در برابر جریان ماده، نیروي شکل دهي کاهش یافته و بلافاصله با پایین آمدن ورقگیر و اعمال فشار به ورق، نیروي شکل دهي افزایش مي‌یابد. با توجه به نوساني بودن ورقگیر، تغییرات نوساني نیز در نیروي سنبه تا رسیدن به مقدار بیشینه آن دیده می‌شود، اما تفاوت قابل توجهی در مقدار نیروي بیشینه شکل دهي در دو حالت وجود ندارد و قله دو نمودار به طور تقریبی منطبق بر یکدیگر است. در حالت تجربی و در وضعیت استاتیکی به دلیل اصطکاک و مقاومت بیشتر در برابر جریان ماده، ایجاد ترک های ریز[۴] در مراحل بالاتر کورس سنبه نسبت به وضعیت نوسانی محتمل تر است و بنابراین می‌توان پیش بینی نمود که نیروی سنبه در حالت استاتیکی و در قله نمودار کمتر باشد. هم چنین بدلیل آنالوگ بودن دستگاه ثبت نمودار نیرو-جابجایی مورد استفاده در آزمایش های تجربی و حساسیت کم این دستگاه نوسانات نیرو در حالت پالسی ثبت نشده است.

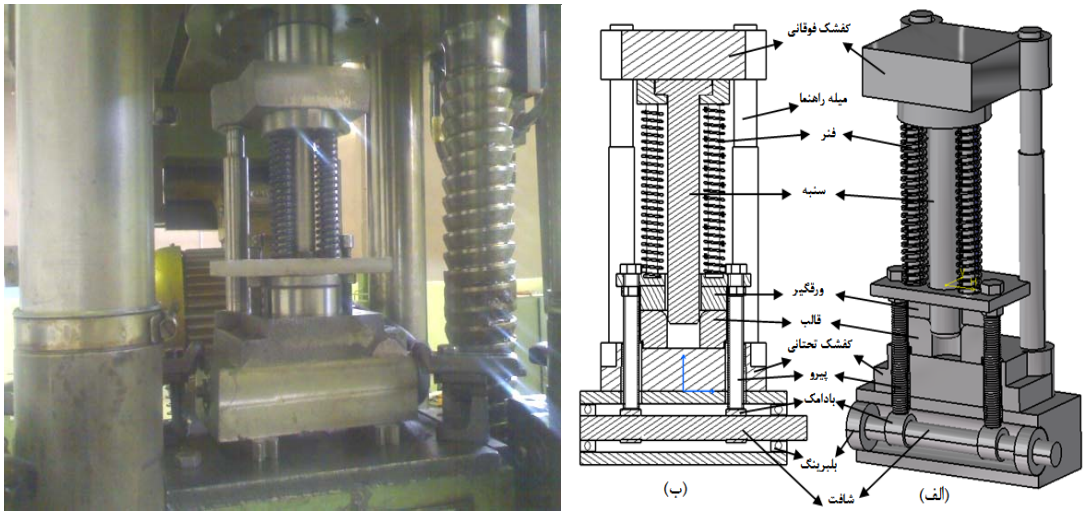
۵- نتیجه

استفاده از یک ورقگیر نوسانی در فرایند کشش عمیق در مقایسه با ورقگیر استاتیکی نتایج به طور کامل موثر و مثبتی را در عمق قابل دستیابي ظرف فلزي، بدون نازک شدگي موضعي و پارگي نشان مي‌دهد و مي‌توان به کمک اين روش از تعداد مراحل عمليات کشش ظرف کاست و به اين ترتيب در زمان و هزينه نهايي توليد صرفه جويي نمود. همچنين استفاده از ورقگير نوساني، توزيع ضخامت يکنواخت تري را در ناحيه شعاع ظرف محصول نهايي در مقايسه با حالت استاتيکي نشان می‌دهد. شبيه سازي اجزای محدود سه بعدي بر اساس کد صريح ديناميکي با توجه به نتايج بدست آمده، روش مناسبي براي بررسی اثر استفاده از ورقگير نوسانی برروی قابليت شکل پذيری ورق آلومينيومی است.



شکل (۱۰): نیروی شکل دهی

در شکل (۱۰) جزئیات قالب به همراه سیستم بادامک و پیرو مورد استفاده آورده شده است.



شکل (۱۱): قالب کشش عمیق مورد استفاده به همراه سیستم بادامک و پیرو

۶- مراجع

[۱] Koyama, H. ; Manabe, K; “ A database oriented process control design algorithm for improving deep-drawing performance“, J. of Materials Processing Technology, p.p. 343-348, 2003.

[۲] Gunnarsson, L; Schedin, E; “ Improving the properties of exterior body panels in automobiles using variable blank holder force“, J. of Materials Processing Technology, p.p. 168-173, 2001.

[۳] Jimma, T; Kasuga, Y; “ An application of ultrasonic vibration to the deep drawing process“, J. of Materials Processing Technology, p.p. 406-412,1998.

[۴] Shiraz Ali; Hinduja, S;“The effect of ultra-low frequency pulsations on tearing during deep drawing of cylindrical cups“, Int. J. of Machine Tools & Manufacture,2007.

[۵] Abaqus Version 6.7 Documentation.P

[۶] Sheng, Z.Q. ; Jirathearanat, T; “ Adaptive FEM simulation for prediction of variable blank holder force in conical cup drawing“, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, p.p.487-494,2003.

۷- زیرنویس ها

[1] Abaqus
[2] Inverter
[3] Mass scale
[4] Micro crack