

بررسی تجربی و عددی اثر استفاده از ورقگیر نوسانی بر قابلیت شکل پذیری ورق آلومینیومی در فرایند کشش عمیق

عمیق

رضا دادخواه^۱؛ امیر مصطفی پور^{۲*}

چکیده

در این پژوهش اثر استفاده از سیستم ورقگیر نوسانی بر عمق قابل دستیابی ظرف استوانه‌ای از جنس آلومینیوم ۱۰۵۰ به صورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار، از یک سیستم ورقگیر جدید استفاده شده است. با کمک این سیستم در هر بازه نوسانی، ابتدا با حذف نیروی ورقگیر از روی ورق، ماده به راحتی به داخل حفره قالب جریان می‌یابد و در ادامه برای جلوگیری از جریان اضافی ماده و چروکیدگی، از نیروی ورقگیر فنرها استفاده شده است.

شبیه سازی عددی فرایند در نرم افزار آباکوس ۱/۶ انجام شده است. عمق و توزیع ضخامت ظرف در حالت‌های تجربی و عددی برای ورقگیر ثابت و نوسانی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که با استفاده از یک ورقگیر با سیستم نوسانی و با انتخاب فرکانس و گپ (فاصله ورق با ورقگیر) مناسب، علاوه بر توزیع ضخامت بهتر، می‌توان عمق ظرف قابل دستیابی را افزایش داد. نتایج تجربی و عددی برابری خوبی با یکدیگر دارند.

کلمات کلیدی: کشش عمیق، ورقگیر نوسانی، اجزای 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 frequency 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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۲/۲۷

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۹/۲/۱۹

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز: dadkhah.r@gmail.com

^{۲*} نویسنده مسئول و استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز

است. جیما و کاسوگا [۳] به بررسی اثر ارتعاشات التراسونیک به صورت تجربی بر روی فرآیند کشش عمیق پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که با اعمال فرکانس ۲۰ و ۲۸ هرتز می‌توان 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 افزایش داد. هیندوجا و شیراز علی [۴] به بررسی تجربی اثر نوسان های کم تر از ۱۰ هرتز بر روی قابلیت شکل پذیری ورق های آلومینیوم ۵۷۵۴ با ضخامت ۱ میلی متر پرداختند. آنها در تحقیق خود از عمل کننده های هیدرولیکی برای نوسانی کردن ورقگیر استفاده نمودند و با کمک سنسورهای نیرو و جابجایی، مقادیر نیروی سنبه و ورقگیر و هم چنین جابجایی آنها را کنترل کردند. نتایج کار آنها نشان می دهد که با اعمال نیروی ورقگیر ۳۰ کیلو نیوتنی با دامنه ۲۰ کیلونیوتن و فرکانس های ۰/۳ ، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ می توان به ترتیب به عمق کشش ۳۶ ، ۴۴ و ۶۰ میلی متر بدون پارگی در ورقی به قطر ۲۵۰ میلی متر دست یافت.

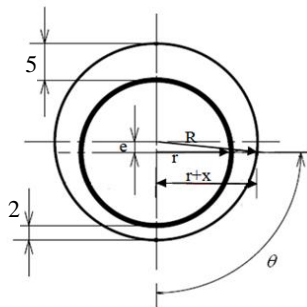
اگر چه در زمینه کاربرد ارتعاشات و استفاده از سیستم های ورقگیر نوسانی تحقیقاتی انجام شده است، اما اطلاعات موجود ناکافی بوده و با توجه به اهمیت شکل دهی آلیاژهای سبک فلزی با اشکال پیچیده و ضخامت های کم، نیاز برای تحقیقات بیشتر در این زمینه با بکارگیری روش های مختلف دیده می شود. تاکنون بیشتر تحقیقات صورت گرفته در این زمینه بصورت تجربی بوده است و این در حالی است که استفاده از روش های عددی و از آن جمله روش اجزای محدود می تواند در انجام تحقیقات کامل تر، بسیار موثر و مفید باشد.

۲- روش مورد استفاده

همانطور که گفته شد، در فرایند کشش عمیق رایج، افزایش جریان ماده به داخل حفره قالب باعث چروکیدگی و ناکافی بودن آن باعث نازک شدن و در نهایت پارگی ورق می شود. در قالب کشش موجود، برای افزایش جریان ماده به داخل ماتریس و کاهش مقاومت در برابر آن به دلیل نیروهای اصطکاکی، با کمک سیستم بادامک و پیرو فشار ورقگیر از روی ورق برداشته شده و با ایجاد یک گپ (فاصله بین ورق و ورقگیر) اجازه ایجاد چروکیدگی در سطح ورق در حد مجاز داده می شود. هم چنین برای جلوگیری از جریان بیش از حد ماده به داخل حفره قالب و تجمع چروکیدگی ها در دهانه حفره قالب، از نیروی فنر ها استفاده شده است. همانطور که در شکل (۱) دیده می شود، در هر بازه نوسانی در ابتدا با حذف نیروی ورقگیر ماده به راحتی به داخل قالب جریان یافته و در پایان بازه با حذف نیروی بادامک و پیرو و اعمال نیروی فنرها از طرف

آلومینیوم به عنوان یک فلز سبک در صنایع هوایی اهمیت ویژه ای دارد؛ و امروزه با افزایش بهای سوخت، کاهش وزن خودرو از جمله اهداف مورد توجه برای نسل های بعدی خودروهاست. استفاده از آلومینیوم به جای فولاد در یک سازه باعث کاهش قابل توجهی در وزن سازه می شود، هم چنین مقاومت به خوردگی در کنار نسبت استحکام به وزن بالا از مشخصات مطلوب آن است. از این رو این ماده کاربرد فراوانی در صنایع مهم امروزی دارد؛ که سهم زیادی از آن مربوط به شکل دهی ورق ها است. اما در عین حال قابلیت شکل پذیری ضعیف آلومینیوم، که برای ورق های نازک تر این قابلیت ضعیف تر می شود، استفاده از آن و جایگزینی با فولاد را محدود ساخته است. به همین دلیل برای بهبود و بهینه سازی فرایند کشش عمیق که یکی از مهمترین فرایندهای شکل دهی ورق های فلزی است، رفع عیوب معمول فرایند در استفاده از این مواد ضروری است. در فرایند کشش عمیق جریان اضافی ماده باعث چروکیدگی در ورق شده و جریان ناکافی باعث پارگی می شود؛ با توجه به نقش مهم ورقگیر و اثر مستقیم آن بر میزان جریان ماده به داخل حفره قالب، سهم زیادی از تحقیقات انجام شده در سال های اخیر در فرایند کشش عمیق به بهبود و استفاده از روش های جدید در زمینه ورقگیر، متمرکز شده است. در این راستا کویاما و دیگر همکارانش [۱] به طراحی یک الگوریتم کنترل فرایند به کمک منطق فازی پرداختند. آنها از این الگوریتم برای کنترل نیروی ورقگیر در راستای بهبود حد نسبت کشش استفاده بردند. با داشتن داده هایی در مورد شرایط ابزار، روانکاری، خصوصیات ماده و هم چنین منحنی های مربوط به محدوده چروکیدگی و پارگی حالت معمول فرایند، قوانین فازی بر مبنای ارتفاع مجاز چروکیدگی و پارگی پایه ریزی شده اند، به طوری که در صورت احساس خطر چروکیدگی در ورق نیروی ورقگیر برای کاهش یا حذف چروکیدگی افزایش می یابد. به کمک این سیستم برای ورق آلومینیومی، حد نسبت کشش ۲/۴ درصد افزایش یافت. گونارسون و شدین [۲] از نیروی ورقگیر متغیر برای بهبود خواص شکل پذیری ورق ها در قالب هایی با دو لبه منحنی وار مورد استفاده در بدنه خودروها بهره بردند. آنها در تحقیق تجربی خود نشان دادند که با کمک نیروی ورقگیری که مقدار آن در ناحیه بحرانی شکل گیری ورق با شیب به نسبت تندی کاهش می یابد، می توان خصوصیات ورق را برای کاهش عیوب آن بهبود داد. هم چنین تحقیقاتی با محور کاربرد ارتعاشات در زمینه بهینه سازی فرایند کشش عمیق انجام شده

رنگ طبق استاندارد DIN به طول ۱۲۷ میلی متر و قطر خارجی ۲۵ میلی متر و سختی ۲۵/۹ نیوتن بر میلی متر استفاده شده است. با حرکت سنبه به سمت پایین فنرها فشرده تر شده و نیروی اعمالی بر ورقگیر به صورت خطی افزایش می‌یابد. فرم بادامک مورد استفاده برای ایجاد حرکت رفت و برگشتی برای گپ ۳ میلی متری در شکل (۲) آورده شده است. هم چنین بررسی شکل پذیری ورق با دامنه های نوسانی (گپ) مختلف، به راحتی با تعویض بادامک ها ممکن است.



شکل (۲): بادامک مورد استفاده برای گپ ۳ میلی متر

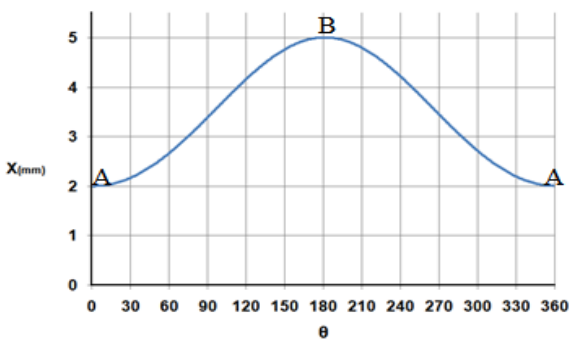
بادامک فوق از یک دایره به شعاع ۱۳/۵ میلی متر ساخته شده است که به اندازه ۱/۵ میلی متر نسبت به دایره مرکزی (دایره شافت) خارج از مرکز است؛ و دامنه ای به اندازه ۳ میلی متر می‌توان به کمک آن ایجاد نمود.

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

$$x = \sqrt{R^2 - e^2 \sin^2 \theta} - (r + e \cos \theta) \quad (1)$$

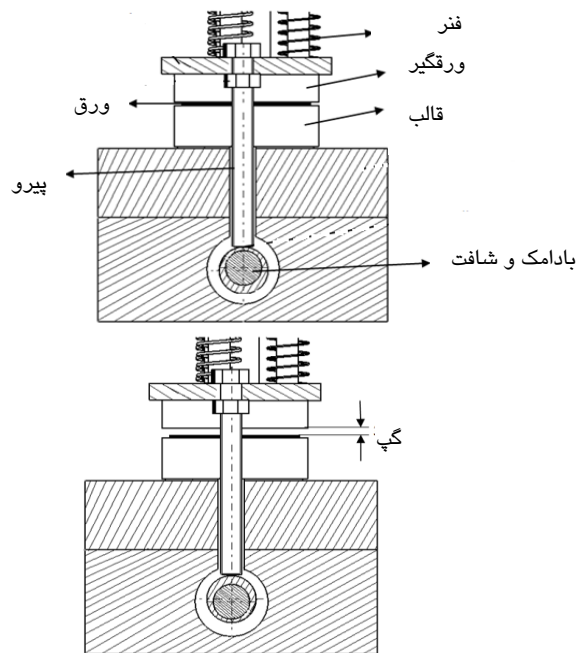
که x مکان هندسی بادامک، R شعاع دایره خارج از مرکز، e مقدار خارج از مرکز، r شعاع دایره شافت بر حسب میلی متر و θ زاویه بر حسب درجه (شروع از نقطه A) است.

با توجه به رابطه (۱) منحنی بادامک بر حسب زاویه θ به ازای یک دور چرخش شافت طبق شکل (۳) است. می‌توان با توجه به رابطه $\theta = \omega t$ بر حسب فرکانس مورد نظر و زمان فرایند این سیکل را برای n بار متوالی تکرار نمود.



شکل (۳): منحنی بادامک به ازای یک دور چرخش شافت برای گپ ۳ میلی متری

ورقگیر به آن، چروکیدگی های روی ورق تا حدی حذف می‌شوند. این سیکل می‌تواند تا پایان فرایند ادامه یابد و در هر لحظه نیروی فنرها افزایش یابند تا در پایان فرایند در اثر فشار زیاد ورقگیر، اثر چروکیدگی بر روی محصول باقی نماند.



شکل (۱): موقعیت های ورقگیر در یک نیم بازه دورانی

۳- مراحل آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی

در این قسمت به جزئیات قالب کشش عمیق مورد استفاده به همراه خواص مکانیکی ورق و نحوه شبیه سازی فرایند پرداخته خواهد شد.

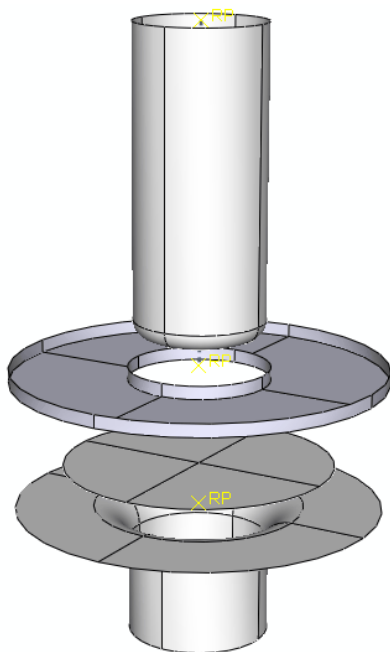
۳-۱- قالب کشش عمیق و تجهیزات لازم برای ایجاد حرکت نوسانی ورقگیر

برای انجام فرایند کشش عمیق از یک دستگاه پرس هیدرولیک با ظرفیت ۵۰ تن برای تأمین تغذیه محوری و فشردن قالب استفاده شده است. قالب مورد استفاده در این تحقیق همان قالب معمولی کشش عمیق شامل اجزای اصلی سنبه، ورقگیر و ماتریس است که برای ایجاد حرکت نوسانی از یک سیستم مکانیکی استفاده شده و با کمک بادامک و پیرو حرکت دورانی موتور الکتریکی به حرکت خطی رفت و برگشتی تبدیل شده است. موتور الکتریکی مورد استفاده برای ایجاد حرکت دورانی لازم، یک موتور سه فاز با قدرت ۱/۵ کیلو وات و دور نامی ۱۴۲۰ دور در دقیقه است که در این دور، فرکانسی در حدود ۲۳ هرتز خواهد داشت. هم چنین از یک دستگاه اینورتر^۲ برای تغییر دور موتور استفاده شده است که به کمک آن می‌توان آزمایش های نوسانی را با دورها و فرکانس های مختلف انجام داد. در این سیستم برای ایجاد نیروی ورقگیر از سه فنر آبی

۳-۳- شبیه سازی عددی

شبیه سازی فرایند کشش عمیق در نرم افزار آباکوس انجام گرفت که قابلیت بالایی در تحلیل فرایندهای غیر خطی و مدل سازی رفتارهای تماسی پیچیده دارد و با یک کد صریح دینامیکی تحلیل شد.

همه شبیه سازی ها به صورت سه بعدی انجام شده و در تحلیل ها اثر ناهمسانگردی ورق با توجه به تابع تسلیم ناهمسانگرد هیل در نظر گرفته شد. برای مدلسازی رفتار مکانیکی ورق از المان پوسته‌ای S4R استفاده شد که المان چهار گره ای بوده و برای مدل سازی رفتارهای غیرخطی مناسب و قابلیت تغییر شکل های بزرگ را دارد [۵]. برای سطوح صلب شامل ماتریس، ورقگیر و سنبه از المان های صلب R3D4 استفاده شد. هم چنین در تحلیل های صورت گرفته از روش بزرگی چگالی^۲ برای کاهش زمان محاسبات کامپیوتری استفاده شد در این رابطه دقت شد که مقدار انرژی جنبشی تغییر شکل طوری باشد تا از اثر دینامیکی آن در تحلیل صرفنظر نمود. شکل (۵) مدل ایجاد شده برای شبیه سازی اجزای محدود فرآیند کشش عمیق را نشان می‌دهد.



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

برای شبیه سازی کامپیوتری حرکت نوسانی ورقگیر، از اختلاف نیروی فنر در هر لحظه از زمان با نیروی اعمالی به وسیله سیستم بادامک و پیرو استفاده شد. نیروی اعمالی فنرها به ورقگیر متناسب با جابجایی سنبه است که با سرعت ثابت به داخل ماتریس نفوذ می‌کند. واضح است که با افزایش جابجایی سنبه این نیرو نیز افزایش می‌یابد. نیروی اعمالی به ورقگیر از

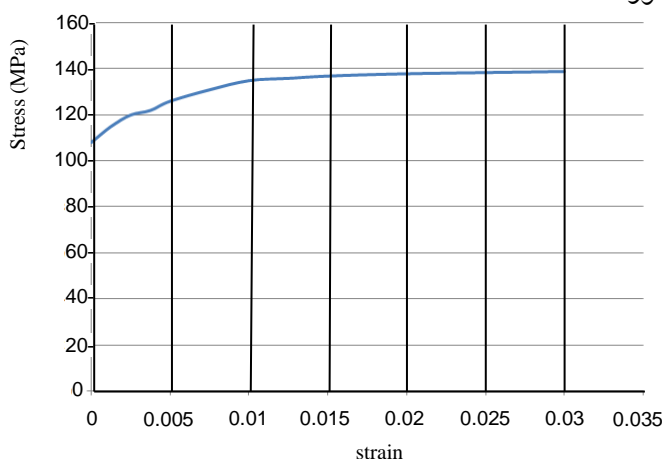
قطر نامی سنبه ۳۰ میلی متر و قطر نامی ماتریس ۳۲/۲ میلی متر است. ابعاد واقعی آنها با در نظر گرفتن خطای مجاز ساخت (تولرانس) در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): ابعاد هندسی اجزای قالب

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

۳-۲- خواص ورق مورد استفاده

در این پژوهش، ورق آلیاژ آلومینیومی آنیل نشده ۱۰۵۰، به ضخامت ۱ میلی متر مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین خواص مکانیکی ورق، آزمون کشش انجام شد. نمونه هایی از این ورق طبق استاندارد ASTM تهیه شد. این نمونه ها با استفاده از دستگاه آزمایش انیورسال تا حد پارگی کشیده و منحنی های تنش- کرنش آن ها ثبت شدند. در شکل (۴) نمودار تنش- کرنش حقیقی ورق آلیاژ آلومینیومی آنیل نشده و در جدول (۲) مشخصات مکانیکی 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 ^۳
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

در استفاده از یک سیستم ورقگیر نوسانی نشان داد. در حالی که با کمک ورقگیر استاتیکی، ورق در عمق ۱۳ میلی متری دچار پارگی شد با استفاده از ورقگیر نوسانی، ورق تا حداکثر کورس سنبه که قالب موجود اجازه داد، (۲۵ میلی متر) بدون پارگی کشیده شد.

شبهه سازی اجزای محدود فرایند کشش عمیق با ورقگیر استاتیکی و نوسانی برای قطر ۶۲ میلی متر با فرکانس و دامنه مشابه آزمایش عملی فوق، بهبود شکل پذیری در اثر استفاده از ورقگیر نوسانی را تأیید نمود. در شبهه سازی این فرایند در حالت استاتیکی، ورق در عمقی نزدیک به حالت تجربی و در ۱۲/۸۲ میلی متر از حد ضخامت مجاز تجاوز کرده و دچار پارگی شد.

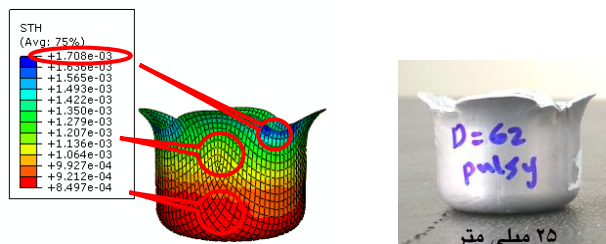
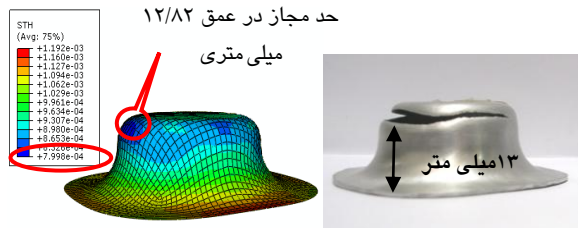
در شکل (۷) هندسه و عمق برای دو حالت تجربی و عددی به ترتیب در استفاده از ورقگیر استاتیکی و نوسانی مقایسه شده است. توزیع ضخامت بدست آمده از روش اجزای محدود برابری این روش را با نتایج تجربی نشان می دهد.

همان طور که از نتایج مشخص است، در حالت استاتیکی بیشترین افزایش ضخامت در حدود ۱/۲ میلی متر و کمترین آن که مربوط به ناحیه شعاع ظرف است در حدود ۰/۷۹ 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 ۰/۸۵ میلی متر و بخش کوچکی از ناحیه کنگره ای سر ظرف، ضخامتی در حدود ۱/۷ میلی متر دارد که به دلیل تجمع ماده در آن ناحیه ایجاد شده و لازم است در طی یک عملیات دوره بری حذف شود.

کاهش ضخامت بیش از

حد مجاز در عمق ۱۲/۸۲

میلی متری



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

طرف سیستم بادامک و پیرو در جهت مخالف نیروی فنرها در هر لحظه اعمال می شود و این نیرو به نحوی است که در هر لحظه بر نیروی فنرها غلبه کرده و متناسب با رابطه (۱) و منحنی بادامک که در شکل (۲) نشان داده شد، باعث ایجاد یک حرکت نوسانی در ورقگیر می شود.

نیروی فنر در هر لحظه از زمان برابر است با:

$$F(t)_1 = kx = kvt \quad (2)$$

که k سختی معادل فنرها، x جابجایی، v سرعت سنبه و t زمان است.

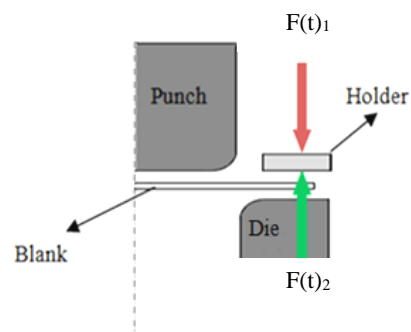
نیروی سیستم بادامک و پیرو عبارتست از:

$$F(t)_2 = k(vt + X(t)) \quad (3)$$

که k سختی معادل فنرها، t زمان و $X(t)$ مکان هندسی بادامک نسبت به زمان است.

از تفاضل این دو نیرو، مقدار نیروی اعمالی به ورقگیر در هر لحظه از زمان عبارتست از:

$$F_{BH} = F(t)_2 - F(t)_1 \quad \text{if } X(t) = 0 \quad F(t)_2 = 0 \quad (4)$$



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

۴- نتایج و بحث

در صنعت درصد نازک شدگی در دیواره قطعه با توجه به ضخامت اولیه ورق به عنوان ملاک و معیاری معمول برای پیش بینی عیوب پارگی در ورق شناخته می شود [۶]. بنابراین در این مطالعه نیز با توجه به درصد نازک شدگی تقریبی ورق در آزمایش کشش تک محوره انجام شده بر روی آن در آزمایشگاه کشش، معیار ۲۰ درصد نازک شدگی مجاز نسبت به ضخامت اولیه ورق در نظر گرفته شد.

۴-۱- اثر استفاده از ورقگیر نوسانی بر روی تغییر شکل ورق

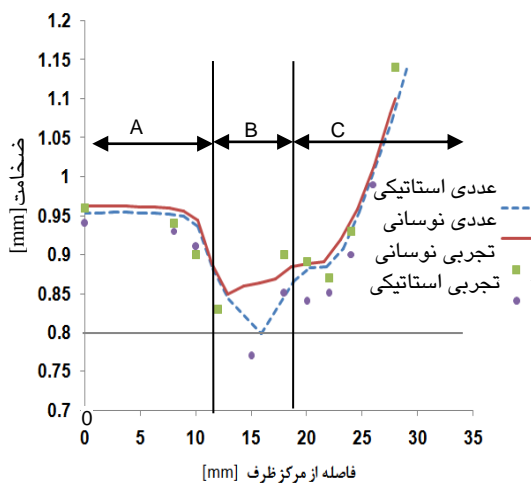
نتایج تجربی بدست آمده برای ورق با قطر ۶۲ میلی متر با ورقگیر استاتیکی و نوسانی با فرکانس ۲۰ هرتز و دامنه (گپ) ۳ میلی متر در آزمایش های عملی بهبود شکل پذیری ورق را

۴-۲- اثر استفاده از ورقگیر نوسانی بر توزیع ضخامت

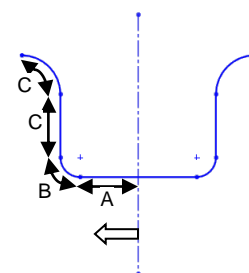
دیواره ظرف

توزیع ضخامت در سرتاسر دیواره ظرف وابسته به عواملی مانند نرخ کرنش، هندسه ابزار، فشار ورقگیر و خصوصیات ناهمسانگردی است. با توجه به یکسان بودن جنس ورق و هندسه قالب می‌توان به بررسی اثر فشار ورقگیر بر توزیع ضخامت پرداخت. برای بررسی توزیع ضخامت ظروف شکل یافته در آزمایش‌های تجربی، نمونه‌هایی از قطعات شکل یافته با کمک ورقگیر استاتیکی و نوسانی در قالب‌های گچی برش داده و ضخامت آنها اندازه‌گیری شد. هم‌چنین توزیع دقیق ضخامت با کمک روش عددی برای دو حالت استاتیکی و نوسانی استخراج شد.

شکل (۸) مقایسه توزیع ضخامت ورق شکل یافته با کمک ورقگیر استاتیکی و نوسانی در دو حالت تجربی و اجزای محدود را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، اندازه‌گیری 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 (سنجه) را نشان می‌دهد و ناحیه C نیز مربوط به توزیع ضخامت در ناحیه دیواره و فلنج ظرف است. نتایج نشان می‌دهند که توزیع ضخامت در ناحیه A و C در دو حالت استاتیکی و نوسانی به طور تقریبی مشابه بوده و اختلاف زیادی وجود ندارد. اما اختلاف اصلی در تغییرات ضخامت مربوط به ناحیه B یعنی شعاع ظرف است که نازک‌شدگی و کاهش ضخامت زیادی را در حالت استاتیکی باعث می‌شود؛ که در پایان باعث پارگی ورق شده است. در حالی که در حالت نوسانی، توزیع یکنواخت تر و با تغییرات کمتر در این ناحیه دیده می‌شود. بیش‌ترین خطا بین نتایج تجربی و عددی کمتر از ۶ درصد است.

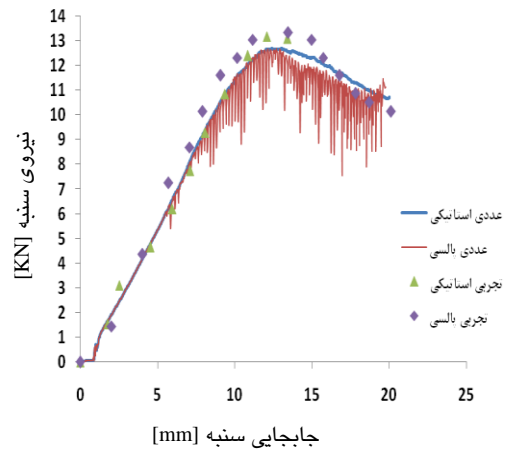
۴-۳- اثر استفاده از ورقگیر نوسانی بر نیروی شکل

دهی

شکل (۱۰) منحنی نیروی سنبه در فرایند کشش ورق با قطر ۶۲ میلی‌متر را با سیستم نوسانی و استاتیکی نشان می‌دهد. در شبیه‌سازی‌های اجزای محدود طبق شکل، تفاوت اصلی در نوسانی بودن نیروی شکل دهی سنبه، در حالت ورقگیر نوسانی است که به دلیل کاهش اصطکاک و مقاومت در برابر جریان ماده، نیروی شکل دهی کاهش یافته و بلافاصله با پایین آمدن ورقگیر و اعمال فشار به ورق، نیروی شکل دهی افزایش می‌یابد. با توجه به نوسانی بودن ورقگیر، تغییرات نوسانی نیز در نیروی سنبه تا رسیدن به مقدار بیشینه آن دیده می‌شود، اما تفاوت قابل توجهی در مقدار نیروی بیشینه شکل دهی 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 ترک‌های ریز در مراحل بالاتر کورس سنبه نسبت به وضعیت نوسانی محتمل‌تر است و بنابراین می‌توان پیش‌بینی نمود که نیروی سنبه در حالت استاتیکی و در قله نمودار کمتر باشد. هم‌چنین بدلیل آنالوگ بودن دستگاه ثبت نمودار نیرو-جابجایی مورد استفاده در آزمایش‌های تجربی و حساسیت کم این دستگاه نوسانات نیرو در حالت پالسی ثبت نشده است.

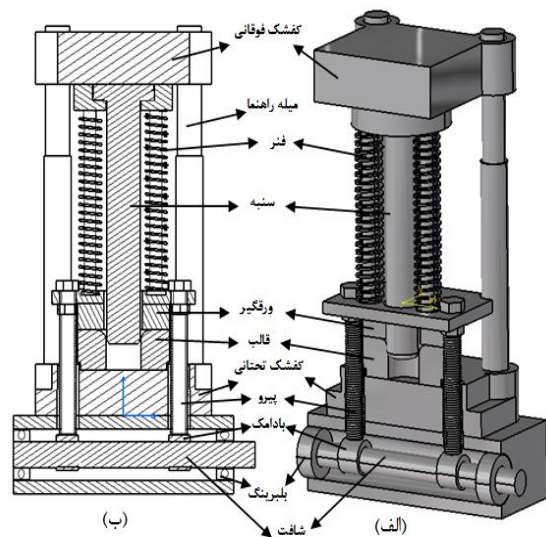
۵- نتیجه

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 دستیابی ظرف فلزی، بدون نازک شدگی موضعی و پارگی نشان می‌دهد و می‌توان به کمک این روش از تعداد مراحل عملیات کشش ظرف کاست و به این ترتیب در زمان و هزینه نهایی تولید صرفه جویی نمود. همچنین استفاده از ورقگیر نوسانی، توزیع ضخامت یکنواخت تری را در ناحیه شعاع ظرف محصول نهایی در مقایسه با حالت استاتیکی نشان می‌دهد. شبیه سازی اجزای محدود سه بعدی بر اساس کد صریح دینامیکی با توجه به نتایج بدست آمده، روش مناسبی برای بررسی اثر استفاده از ورقگیر نوسانی بر روی قابلیت شکل پذیری ورق آلومینیومی 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

- [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.
- [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.

۷- زیر نویس ها

- ۱ Abaqus
 ۲ Inverter
 ۳ Mass scale
 ۴ Micro crack