شبیه سازی تاثیر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش در فرآیند کشش عمیق فولاد زنگ نزن

علی فتحی جوکندان[۱]، مهرداد عضو امینیان[۲*]

۱- دانشجو، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی** ، سمنان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی** ، سمنان، ایران
* سمنان،صندوق پستی: ۱۷۹-۳۵۱۴۱، Magmaaminian@yahoo.com

چکیده

کشش عمیق یکی از مهمترین فرآیندهای شکل دادن ورق های فلزی در صنعت می باشد که در آن یک ورق مسطح توسط سنبه به درون حفره ماتریس کشیده شده و شکل سنبه را به خود می گیرد. یکی از پارامترهای مهم در فرآیند کشش عمیق لقی بین سنبه و ماتریس می باشد که تاثیر بسزایی در حد نسبت کشش داشته و برای تولید اشکال پیچیده حائز اهمیت می باشد. یک ابزار مفید برای مطالعه این فرآیند و تاثیر پارامتر های موثر بر آن روش اجزاء محدود است. در این تحقیق اثر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش بررسی شد. و مشخص گردید که از میان لقی های انتخاب شده لقی ۰/۹ میلی متر مناسب ترین لقی برای ورق با ضخامت ۰/۶ میلی متر می باشد و با کاهش این لقی در ۰/۶۶ میلی متر حد نسبت کشش قطعه نیز کاهش خواهد یافت.

کلیدواژگان

کشش عمیق، فولاد زنگ نزن ۳۰۴، حد نسبت کشش، لقی بین سنبه و ماتریس، شبیه سازی با نرم افزار آباکوس

Simulation of clearance effect on LDR in stainless steel deep drawing

Ali Fathi Jokandan [1], Mehrdad Ozve Aminian [1]

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
* P.O.B. 123456789 Semnan, Iran, Magmaaminian@yahoo.com

Abstract

Deep drawing is one of the most important processes in the sheet metal forming industry where a flat sheet is drawn by the punch into the hole matrix And It takes the shape of the punch. The effective parameter in this process is clearance between punch and matrix. Finite element method is a useful tool for the study of process and impact parameters affecting it. In this project the effect of clearance between punch and matrix on LDR was considered and result are showed 0.9 mm clearance is more optimum suitable for 0.6 mm sheet thickness in deep drawing and decreased to 0.66 mm clearance the LDR was decreased.

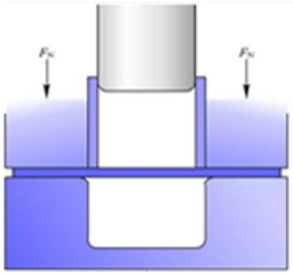
Keywords

deep drawing, stainless steel 304, Limiting Draw Ratio (LDR), clearance between punch and matrix, simulation with ABAQUS software

۱- مقدمه

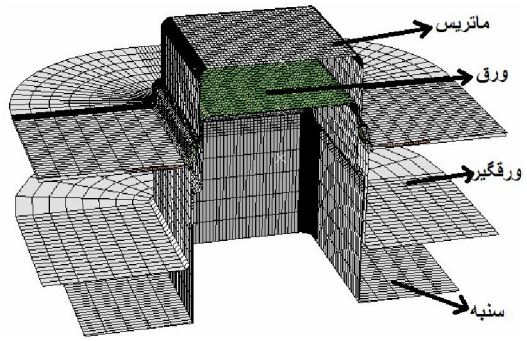
شکل دهی فلزات به گروهی از روشهای تولید اطلاق می شود که یک فلز بدون شکل یا دارای هندسه، بدون اینکه در جرم یا ترکیب فلز تغییری ایجاد شود به یک قطعه صنعتی تبدیل شود. این قطعه معمولا دارای هندسه پیچیده ای است که ویژگی های اندازه، شکل، دقت و تلرانس، ظاهر و خواص در آن به خوبی تعریف شده است. شکل دهی فلزات از اهمیت زیادی در صنعت برخوردار می باشد، برای شکل دادن فلزات روش های فراوانی وجود دارد به گونه ای که می توان انواع مختلف قطعات مستطیلی، کروی، استوانه ای و مخروطی را با استفاده از روشهای گوناگون شکل دهی تهیه نمود. این روش های شکل دهی هرکدام دارای مزایا و معایبی بوده و برای نوع خاصی از قطعات مناسب می باشند.

بنابراین با مطالعه و تحقیق پیرامون فرآیندهای گوناگون شکل دهی و پارامترهای موثر در آنها می توان به مزایا و معایب هر فرآیند و روش های بهبود تولید قطعات پی برد. کشش عمیق یکی از پرکاربرد ترین این روشهاست. کشش عمیق نوعی فرآیند فلزکاری است که برای شکل دادن ورق تخت و تبدیل آن به محصولات عموما استوانه ای، کروی و چهارگوش مثل محفظه های پوسته ای و قطعات اتومبیل و ... مورد استفاده قرار می گیرد. این عمل در حالت متداول با قرار دادن ورق با اندازه مناسب روی قالب شکل دار و فشار دادن فلز به داخل قالب انجام می شود. با حرکت سنبه به سمت پایین ورق تحت کشش قرار می گیرد و از طرفی ورق بین ورقگیر و قالب به سمت داخل حرکت می کند که میزان حرکت به سمت داخل را نیروی عمودی وارده از ورقگیر به ورق تعیین می کند. در صورت زیاد بودن این نیرو، عملا حرکت ورق به داخل قالب به خوبی انجام نشده و سبب پارگی زود هنگام ورق می شود و از طرفی با کم بودن نیروی ورقگیر چروکیدگی در لبه های ورق مشاهده می شود[۱].



شکل ۱ نمایش شماتیک فرآیند کشش عمیق متداول

اما در بعضی از مواقع در صنعت روش متداول گفته شده به شکل معکوس مورد استفاده قرار می گیرد، به طوریکه ماتریس از بالا به سمت سنبه ثابت موجود در پایین حرکت می کند و پس از درگیر شدن ورق در بین ورقگیر و ماتریس، ورق شروع به کشش و شکل پذیری می کند. در این حالت ورقگیر در جهت عکس ماتریس حرکت و اعمال نیرو می کند.



شکل ۲ نمایش شماتیک فرآیند کشش عمیق معکوس

کشش پذیری فلز در فرآیند کشش عمیق با نسبت قطر ورق اولیه به قطر ظرف کشیده شده از ورق اولیه (که معمولا به قطر سنبه نزدیک است) اندازه گیری می شود این نسبت را حد نسبت کشش[1] می نامند، که معرف مرتفع ترین ارتفاع قطعه ای است که می تواند بدون پارگی تولید شود.

$$LDR = \frac{D_b}{D_p} \qquad (1)$$

که در آن به ترتیب D_b و D_p قطر ورق اولیه و قطر قطعه تولیدی که تقریبا با قطر سنبه برابر است برحسب میلی متر می باشد. حد نسبت کشش نسبتی بی بعد است. محاسبه این نسبت و بررسی عوامل تاثیر گذار بر روی آن جهت پیش بینی و تعیین تعداد مراحل کشش برای کاهش هزینه های تولید امری ضروری است.

زارع و همکاران در سال ۱۳۸۹ پس از بررسی تاثیر پارامترهای موثر در فرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی و پارامترهای مهم همچون فشار پیش- بالج، ارتفاع پیش- بالج و فاصله مابین سطح لبه قالب و سطح ورقگیر، بر روی خواص نهایی قطعات شکل داده شده، نشان دادند که فاصله مابین سطح لبه قالب و سطح ورق گیر تاثیر بسزایی بر روی توزیع ضخامت قطعه کار دارد[۲].

در سال ۲۰۰۸ نارایاناسامی و همکارانش معادله ای را برای تخمین نسبت حد کشش پیشنهاد نمودند که علاوه بر پارامترهای موجود در روش لیو اثر نرخ کرنش را نیز در نظر گرفتند[۳].

در سال ۱۳۹۰ بررسی حد نسبت کشش در فرآیند کشش عمیق ورقهای دو لایه مس – فولاد زنگ نزن ۳۰۴ کم کربن توسط دهقانی و سلیمی به این نتیجه رسید که برای ورقهای دو لایه مس – فولاد زنگ نزن ۳۰۴ کم کربن با ضخامت نهایی ۱/۲ میلی متر لقی مناسب بین سنبه و ماتریس معادل ۲۰ درصد ضخامت ورق می باشد[۴].

هیروشی کومایا و همکاران در سال ۲۰۰۳ به بررسی یک الگوریتم کنترل فرآیند طراحی برای بهبود عملکرد فرآیند کشش عمیق پرداختند. در این تحقیق الگوریتمی براساس منطق فازی برای کنترل نیروی ورقگیر قطعات استوانه ای شکل در فرآیند کشش عمیق جهت بهبود حد نسبت کشش که یک نمونه مورد نیاز صنعتی است مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان دهنده بهبود ۲/۴ درصد حد نسبت کشش بدست آمده از این روش بود[۵].

فرجی و همکاران تحقیقی در مورد استفاده از روش المان محدود برای بدست آوردن حد نسبت کشش بالا در سال ۲۰۱۰ انجام دادند، آنها به بررسی نتایج شبیه سازی و تجربی پرداختند. در این تحقیق استوانه ای با حد نسبت کشش حدود ۹ را از ورق اولیه به قطر ۳۶ و ضخامت ۰/۶ میلی متر و جنس برنج با وجود آنیل حرارتی در مراحل محدودی از فرآیند تولید کردند[۶].

۲- روش تحقیق

در این تحقیق شبیه سازی المان محدود تاثیر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش در نرم افزار آباکوس انجام و پس از آن جهت اطمینان از صحت شبیه سازی به مقایسه یک نمونه شبیه سازی شده با نمونه تجربی تولید شده پرداخته خواهد شد.

خواص مکانیکی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ جهت شبیه سازی در نرم افزار آباکوس که از آزمون کشش حاصل شده در جدول ۱ آمده است.

جدول۱ خواص مکانیکی فولاد زنگ نزن ۳۰۴

کمیت	مقدار
چگالی(g/cm^3)	۸
نسبت پواسون	۰/۲۹
مدول الاستیسیته(MPa)	۱۹۳۰۰۰

ورق به صورت تغییر شکل پذیر[1] و سنبه، ماتریس و ورقگیر به صورت جسم صلب[2] تغییر شکل ناپذیر در نظر گرفته شد. در تحلیل مدل ساخته شده از روش حل صریح دینایکی[3] به صورت غیر خطی استفاده شده است. ضخامت ورق اولیه۰/۶ میلی متر و ابعاده آن ۱۳۰ میلی متر در ۱۰۰میلی متر می باشد. مش بندی تمامی قطعات از نوع ساخت یافته[4] می باشد. المان های ورق از نوع ورقه ای سه گوش (S3) و المان های سنبه، ماتریس و ورقگیر از نوع صلب سه بعدی چهارگوش (R3D4) تخصیص داده شده است. جهت بررسی تاثیر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش با تغییر دادن لقی بین سنبه و ماتریس و ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها طبق جدول ۳ عمل شد.

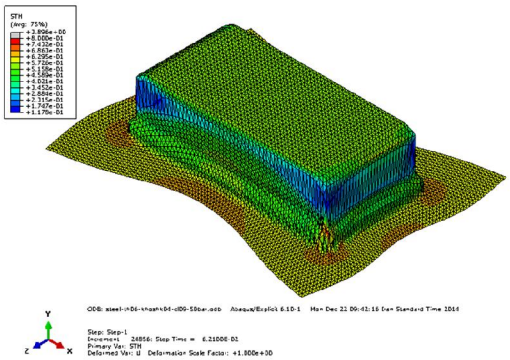
جهت اثبات صحت شبیه سازی و مقایسه آن با نمونه تجربی در نرم افزار المان محدود به علت موجود بودن قالب بات لقی ۰/۹ میلی متر و

برای صرفه جویی در هزینه ساخت دوباره قالب یک قطعه با مشخصات موجود در جدول ۲ بررسی شد.

جدول۲ شرایط فرآیند کشش عمیق قطعه ای از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ جهت مقایسه نمونه تجربی و شبیه سازی

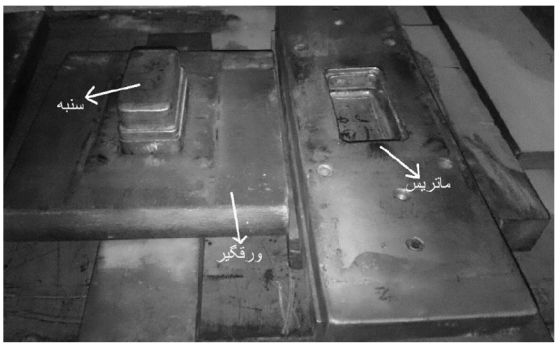
ضخامت (میلی متر)	فشار ورقگیر(بار)	لقی (میلی متر)	اصطکاک
۰/۶	۵۰	۰/۹	۰/۴

این قطعه با نیروی ورقگیر ۵۰ بار می باشد که قطعه ای بدون پارگی و سالم را حاصل می کند. اصطکاک این دو قطعه در حالت خشک و ۰/۴ در نظر گرفته شده است[۷] . لقی بین سنبه و ماتریس ۰/۹ میلی متر (معادل لقی در نمونه تجربی) در نظر گرفته شد(شکل۵). نتایج شبیه سازی پس از انجام تحلیل در این قطعه در شکل۳ نشان داده شده است.



شکل۳ شکل نمونه شبیه سازی قطعه ای از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با نیروی ورقگیر ۵۰ بار

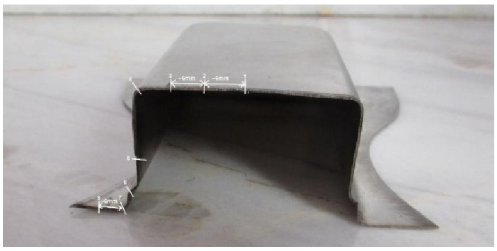
در این تحقیق جهت آزمایش تجربی از یک پرس یونیورسال با توان اعمال ۱۰۰ تن نیرو جهت انجام آزمایشات استفاده شد. سرعت اعمال نیروی این دستگاه به طور متوسط ۳۰ سانتی متر بر ثانیه است. قالب مورد استفاده از جنس آهن St_{37} و متشکل از سه قسمت ماتریس، سنبه و ورقگیر می باشد.



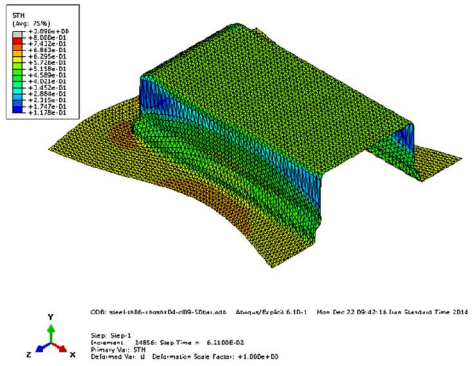
شکل۴-قالب مورد استفاده فرآیند کشش عمیق قطعات مورد آزمایش که از جنس فولاد St_{37}

شکل۵ نمونه تجربی قطعه کشش عمیق شده فولاد زنگ نزن۳۰۴ با نیروی ورقگیر ۵۰ بار

جهت اثبات اعتبار شبیه سازی به مقایسه نتایج حاصل از نمونه شبیه سازی و تجربی پرداخته می شود. برای این امر پس از برش عرضی قطعه تجربی و شبیه سازی به مقایسه ضخامت در نقاط تعیین شده پرداخته می شود. به علت تقارن قطعه این مقایسه در نیمی از نمونه برش خورده انجام می گیرد. (شکل۶)



(الف)

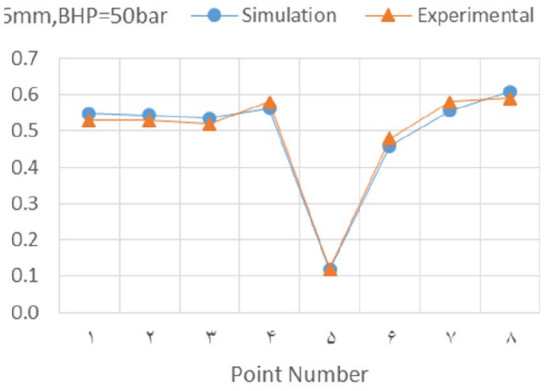


(ب)

شکل۶ قطعه برش خورده از جنس فولاد زنگ نزن۳۰۴ با نیروی ورقگیر ۵۰ بار
الف)نمونه تجربی ب)شبیه سازی

۳- نتایج

نتایج مقایسه ضخامت همانطور که در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است، نشانگر تطابق قابل قبول ضخامت در نقاط تعیین شده بین نمونه تجربی و شبیه سازی می باشد.

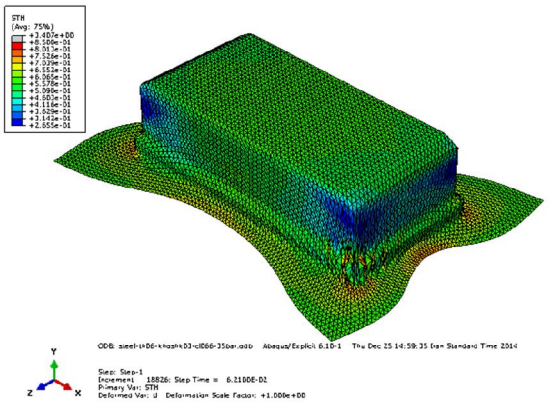


شکل۷ نمودار مقایسه ضخامت نقاط تعیین شده در نمونه تجربی و شبیه سازی قطعه ای از جنس فولاد زنگ نزن۳۰۴ با نیروی ورقگیر ۵۰ بار [۸]

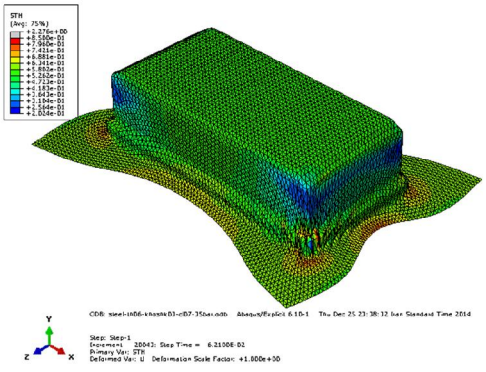
با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای فرآیند که در جدول ۳ ارائه شده است و تغییر لقی بین سنبه و ماتریس شبیه سازی انجام شد و نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است.

جدول۳ بررسی تاثیر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش در شبیه سازی برای ورق فولاد زنگ نزن ۳۰۴

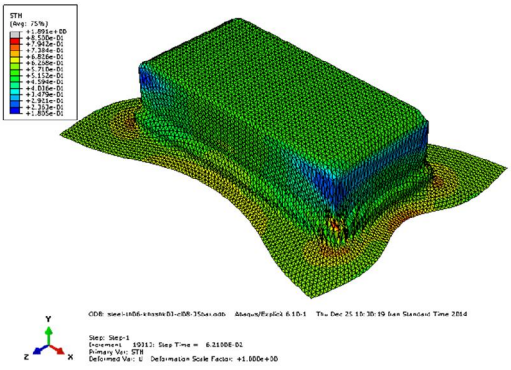
ضخامت (میلی متر)	فشار ورقگیر(بار)	لقی (میلی متر)	اصطکاک	(LDR)
۰/۶	۳۵	۰/۶۶	۰/۳	۱/۸۴۸۰۳
۰/۶	۳۵	۰/۷	۰/۳	۱/۸۴۹۷۰
۰/۶	۳۵	۰/۸	۰/۳	۱/۸۵۱۸۹
۰/۶	۳۵	۰/۹	۰/۳	۱/۸۵۹۷۱



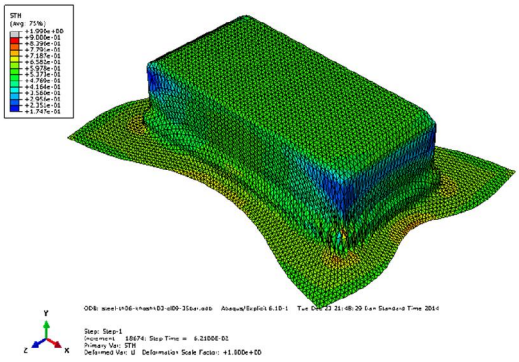
(الف)



(ب)



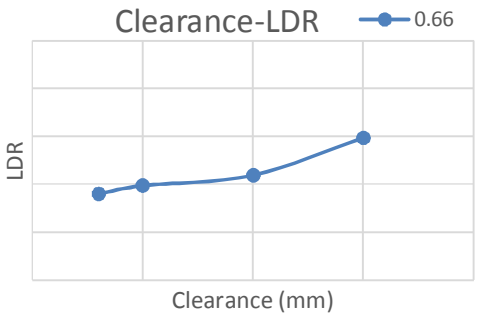
(ج)



(د)

شکل۸ قطعه شبیه سازی شده با لقی الف)۰/۶۶ mm ب)۰/۷ mm ج)۰/۸ mm د)۰/۹ mm از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴

بنابراین با توجه به نمودار نشان داده شده در شکل ۹ می توان نتیجه گرفت که از میان لقی های انتخاب شده لقی ۰/۹ میلی متر مناسب ترین لقی برای ورق با ضخامت ۰/۶ میلی متر می باشد و با کاهش این لقی قطعه نیز کاهش خواهد یافت.



شکل ۹ نمودار تاثیر فشار ورقگیر بر حد نسبت کشش[۸]

۴- بحث و نتیجه گیری(سگالش)

در این تحقیق شبیه سازی تاثیر لقی بین سنبه و ماتریس بر حد نسبت کشش قطعه ای از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در فرآیند کشش عمیق با تغییر دادن لقی بین سنبه و ماتریس و ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها در نرم افزار المان محدود آباکوس مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نمودار رسم شده در شکل ۹ و نظر به اینکه با افزایش لقی، ابعاد سنبه (قطر سنبه) کوچکتر می شود و به سبب رابطه معکوس حد نسبت کشش با قطر سنبه، با افزایش لقی بین سنبه و ماتریس، افزایش حد نسبت کشش نتیجه می شود.

پس از آن جهت اثبات صحت شبیه سازی، قطعه شبیه سازی شده با فشارهای ورقگیر ۵۰ بار با نمونه تجربی خود مقایسه شد. برای مقایسه نتایج شبیه سازی و نتایج تجربی ضخامت ها و حد نسبت کشش نمونه شبیه سازی شده و تجربی باهم مقایسه شدند. مقایسه ضخامت ها برای این قطعه در بیشترین مقدار، تقریبا ۴٪ خطای شبیه سازی نسبت به نمونه تجربی را نشان داد و حد نسبت کشش محاسبه شده این قطعه در شبیه سازی نسبت به نمونه تجربی دارای تقریبا ۱٪ خطا بود (شکل۷).

۵- تقدیر و تشکر

با تشکر از شرکت صاعد صنعت کوثر اشتهارد کرج و تمامی کسانی که ما در این تحقیق یاری نمودند.

۶- مراجع

[1] حجتی، م.، بخشی، م.، حسینی پور، س.ج.، مبانی و کاربرد آهنگری سرد و گرم، انتشارات دانشگاه مازندران، چاپ اول، (۱۳۸۵)

[۲] بهروز زارع و همکاران، بررسی تاثیر پارامترهای موثر در فرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی، یازدهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران، دانشگاه تبریز، ۱۳۸۹

[3] R. Narayanasamy,R. Ponalagusamy,S. Raghuraman, The effect of strain rate sensitivity on theoretical prediction of limiting draw ratio for cylindrical cup drawing process, Journal of Materials and Design,Vol 29,2008,pp 884-890

[۴] فرشید دهقانی و محمود سلیمی، بررسی حد نسبت کشش در فرآیند کشش عمیق ورقهای دولایه مس-فولاد ضدزنگL۳۰۴، نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران، دانشگاه بیرجند، ۱۳۹۰

[5] Hiroshi Koyama, Ken-ichi Manabe, Syoichiro Yoshihara, A database oriented process control design algorithm for improving deep-drawing performance ,Journal of Materials Processing Technology,Vol 138,2003,pp 343-348

[6] Ghader Faraji,Mahmud M. Mashhadi,Ramin Hashemi, Using the finite element method for achieving an extra high limiting drawing ratio (LDR) of 9 for cylindrical components , CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology,Vol 3 ,2010,pp 262-267

[۷] علی فضلی، بهروز آرزو و محمد حسین حسن نیا، تعیین نسبت حد کشش قطعات متقارن محوری با استفاده از روش تحلیلی، پنجمین کنفرانس شکل دهی فلزات و مواد ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۰

[۸] فتحی جوکندان، ع.، شبیه سازی عوامل موثر بر حد نسبت کشش در فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ در فرآیند کشش عمیق، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، ۱۳۹۳