Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۵، جلد ۴۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۸۹-۱۹۳

تعیین گرده اولیه برای قطعات چهارگوش در کشش عمیق

هادی صلواتی* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

حسن مفتونی دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

چکیده

کشش عمیق یکی از انواع فرآیندهای فلزکاری است که برای شکل دادن ورق صاف به محصولات فنجانی شکل مانند وان حمام، محفظه‌های پوسته‌ای و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عمل با قرار دادن یک ورق مسطح روی قالب شکل‌دار و فشار دادن آن به داخل قالب با یک سنبه انجام می‌شود که ابعاد و گرده اولیه (بلانک) این ورق مسطح، جهت کاهش دورریز ورق بسیار مهم است. در تحقیق حاضر، ابعاد و منحنی حاکم بر گرده اولیه قطعات چهارگوش تعیین می‌گردد. ابتدا شبیه سازی کامل فرآیند با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS انجام و سپس مقدار ورق مصرفی با حذف المان‌های تغییر شکل نیافته جسم تحت فرآیند کشش، تعیین می‌گردد. با انتقال ورق مصرفی به فضای ترسیمی نرم افزار solid work، منحنی گرده اولیه بدست می‌آید. در ادامه برای اعتبار سنجی نتایج، منحنی گرده اولیه بدست آمده روی ورق ترسیم و عملیات برش انجام می‌شود. سپس ورق برش خورده داخل قالب قرار گرفته و فرآیند کشش روی آن انجام می‌شود. نتایج حاصله نشان داد، در فرآیند کشش ورق با اعمال گرده اولیه در مقایسه با ورق مستطیل شکل حدود ٪۱۸/۱۷ دورریز داریم.

واژه‌های کلیدی: کشش‌عمیق، شکل دهی، گرده‌اولیه، شبیه‌سازی.

The blank Investigation of Square parts in Deep drawing

H. Salavati Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

H. Maftooni Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University-Kerman Branch, Kerman, Iran

Abstract

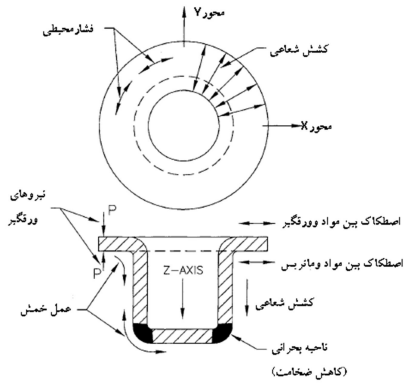
Deep drawing is an important and useful method to form different configurations like bath tub, shell box and etc from sheet metal. Deep drawing is a sheet metal forming process in which a sheet metal blank is radially drawn into a forming die by the mechanical action of a punch. In this process, the dimension and the blank of initial sheet metal must be obtained to reduce the material waste. The aim of this paper is to obtain the blank curve of rectangular plates. First, the actual simulation of deep drawing process is done by ABAQUS software. Then, by removing the non-deformed elements of the plate and exporting the remained sheet to the Solid Work software, the blank curve is determined. In order to check the method, the experimental deep drawing process was done on two sheet metals, one with rectangular configuration and the other with the obtained blank. The comparison shows the reduction of material waste (about 18.75%) for the sheet with the suggested blank.

Keywords: Deep drawing, Forming, Blank, Simulation.

۱- مقدمه

فرآیند کشش جزء فرایندهای تغییر شکل مومسان است و به فرایندی اطلاق می‌شود که از تغییر شکل یک ورق مسطح یک جسم گود (کاپ) حاصل می شود. شکل محصول فرآیند در کشش، نتیجه‌ی کشیدگی و جمع شدگی عناصر حجمی ورق فلزی است که در سه جهت اصلی اتفاق می‌افتد[۱]. امروزه فرآیند شکل‌دهی به یکی از ضروریات در زندگی بشر تبدیل شده است و تمامی قطعات و ابزارهای فلزی اطراف ما محصول یک یا چند فرایند شکل‌دهی می‌باشند که کشش عمیق یکی از فرآیندهای پر کاربرد آن است.

در فرآیند کشش عمیق قطعات استوانه‌ای حجم ماده و تراکم مولکولی نسبت به گرده اولیه ثابت است. در این فرآیند جریان مواد در رویه قطعه بسط داده می‌شود که ضخامت جداره در کف جسم تا نزدیکی قوس دیواره بدون تغییر، در محدوده قوس و کمی بالاتر از آن کاهش و در قسمت‌های بالایی کمی افزایش دارد. عامل این تغییر ضخامت نیروهای کششی و فشاری حین تغییرشکل می‌باشند. در حین جهت شعاعی و نیروهای فشاری در جهت مماسی بر مواد وارد شده و تغییر شکل انجام می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- نیروها و تنش‌های ایجاد شده در کشش استوانه‌ای [۲]

فرآیند کشش عمیق، نیروهای کششی در کشش اجسام مستطیل شکل با کشش استوانه‌ای کمی متفاوت است. درکشش استوانه‌ای به لحاظ سادگی، فشار در تمام نقاط یکسان است و جریان ماده بطور

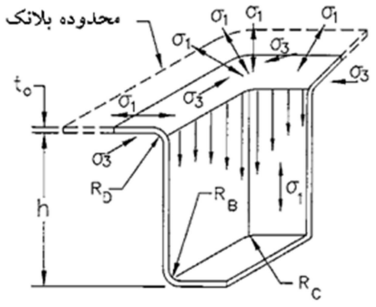
* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: hadi_salavati@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۶

www.SID.ir

Archive of SID

یکنواخت در تمام قسمت‌ها اتفاق می‌افتد ولی درکشش مستطیلی، بعضی نقاط نسبت به نقاط دیگر به نیروی بیشتری جهت شکل‌دهی نیاز دارند. درکشش مستطیلی کشش واقعی در گوشه‌ها می‌باشد و در دیواره‌ها به نوعی خم (فرم) اتفاق می‌افتد. نیروهایی که در گوشه‌ها اثر می‌گذارند، به سمت شعاع قالب فشاری و در قسمتی از فلز که از شعاع عبور کرده باشد، کششی می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- تنش‌ها درکشش چهارگوش

هزام و همکارانش[۳] فرآیند جدیدی را جهت افزایش شکل‌پذیری در کشش عمیق فنجان‌های مربعی ارائه دادند. آن‌ها از یک قالب مخروطی با یک دهانه‌ی مربعی در انتهایش استفاده کردند تا امکان جریان روان فلز از بخش‌های دایره‌ای به دهانه‌ی مربعی و دهانه‌ی قالب را میّسر سازند. روش آن‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای در نسبت کشش، بویژه برای ورق‌های ضخیم، از خود نشان می‌دهد. کاریما [۴] درتحقیقی با عنوان ایجاد گرده اولیه و طراحی ابزار در کشش باروش میدان خطوط لغزش توانست روشی را برای ایجاد گرده اولیه پیشنهاد کند.

در تحقیق حاضر با ارائه یک روش کارامد و کاربردی، گرده اولیه ورق مستطیلی که از چالش‌های مهم صنعت می‌باشد، تعیین می‌گردد. ابتدا شبیه سازی المان محدود فرآیند کشش انجام و سپس با استفاده از نرم افزار solid work، گرده اولیه تعیین می‌گردد. در نهایت با استفاده از کار تجربی صحت روش پیشنهادی و کاهش دور ریز ورق مورد تائید قرار می‌گیرد.

۲-کشش چهارگوش

۲-۱-عوامل مؤثر

فاکتورهای زیر نقش تعیین کننده‌ای در نتیجه فرآیند کشش دارند که لازم است به آن توجه گردد.

الف) جنس ورق:

ضریب سخت شوندگی (n)، ضریب سختی (k) و تنش سیلان[1] از فاکتورهای مهم جنس ورق می‌باشند. با توجه به رابطه کلی $\sigma = k\epsilon^n$ ضریب سخت شوندگی (n) که شیب ناحیه پلاستیک منحنی تنش – کرنش است و ضریب سختی (k) هرچه بیشتر باشند، قابلیت کشش کمتر می‌شود. ضمنا افزایش تنش جاری که مقدار تنش لازم جهت شروع جریان مواد و معادل تنش تسلیم می‌باشد، باعث استحکام بیشتر ورق می‌شود[۵].

ب) ناهمسانگردی[2]:

متفاوت بودن خواص در جهات مختلف را ناهمسانگردی می‌گویند که می‌تواند هم سطحی و هم عمقی باشد. این پدیده ناشی از روش تولید ورق‌ها است و یک شاخص جهت مقاومت مواد در مقابل نازک شدن محسوب می‌شود. ضمنا ناهمسانگردی عامل عیب گوشواره‌ای شدن می‌باشد و در عمق کشش هم تاثیر می‌گذارد.

برای ورق‌ها ناهمسانگردی متوسط (R_m) و ناهمسانگردی صفحه-ای (Δr) بصورت رابطه (۱) تعریف می‌شوند[۹]. ناهمسانگردی متوسط و صفحه‌ای به ترتیب روی عمق کشش و گوشواره‌ای شدن تاثیر دارند. ضمنا هر چه ناهمسانگردی متوسط بزرگتر و ناهمسانگردی صفحه‌ای کوچکتر باشد، قابلیت کشش بهتر است.[۶].

$$R_m = \frac{(\gamma_0 + 2\gamma_{45} + \gamma_{90})}{4}$$
$$\Delta r = \frac{(\gamma_0 + 2\gamma_{45} + \gamma_{90})}{2} \qquad (۱)$$

دررابطه بالا ۰، ۴۵ و ۹۰ زوایای محور نمونه با جهت نورد است.

پ) ضخامت ورق

ورق با ضخامت بیشتر تحمل بیشتری در چروکیدگی و پارگی دارد، بطوریکه در بعضی مواقع نیاز به نیروی ورقگیر (فشارانداز) نیست و یا باعث کاهش آن می‌شود. با حذف یا کاهش نیروی ورقگیر، نیروهای اصطکاک هم حذف و یا کاهش می‌یابند. افزایش ضخامت باعث بهبود شکل پذیری و افزایش عمق و نیروی کشش، در فرآیند کشش عمیق می‌شود[۷].

ت) ابعاد ورق و اصلاح گرده اولیه

ابعاد گرده اولیه مشخص کننده نسبت کشش قطعه می‌باشد. با بزرگ شدن ابعاد گرده اولیه، تنش‌های فشاری و سطحی ورق افزایش یافته و باعث چروکیدگی و کندی جریان ماده می‌شود و این کندی عاملی در ایجاد پارگی خواهد بود[۸].

۲-۲-گرده اولیه

سطح گسترده ورق لازم برای ایجاد یک ظرف در کشش را گرده اولیه می‌گویند. اصلاح گرده اولیه در مقاطع استوانه‌ای، با تغییر قطر (نسبت کشش) میسر می‌شود ولی در قطعات جعبه‌ای شکل اصلاح گوشه‌ها با پخ زدن و یا گرد کردن بصورت تجربی، عاملی جهت تسهیل جریان ماده در گوشه‌ها می‌شود که با توجه به توضیحات قبلی برای شرایط کشش استوانه‌ای در این نواحی مطرح است. پس تعیین گرده اولیه (بلانک) علاوه بر جلوگیری از دور ریز مواد، روی تسهیل جریان ماده در کشش تأثیر می‌گذارد.

[1] Flow stress

[2] Anisotropy

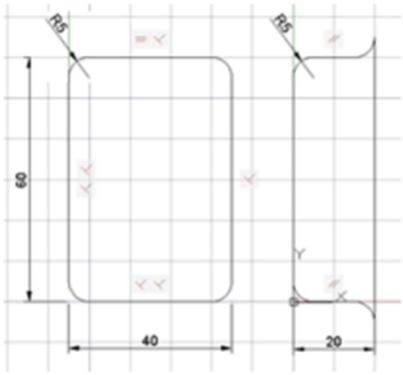
www.SID.ir

Archive of SID

۳-بحث و نتایج

۳-۱-شبیه‌سازی

در این مقاله، شبیه سازی فرآیند کشش ورق با استفاده از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS انجام شده است. شبیه سازی فرآیند به صورت سه بعدی انجام شده است. همچنین قالب، سنبه و ورق گیر به صورت اجزای صلب و ورق به صورت جسم تغییرشکل پذیر شبیه سازی شده‌اند. در ضمن از المان پوسته چهارگره با انتگرال کاهشی S4R برای مش ریزی استفاده شده است. ابعاد قطعه شبیه سازی شده در شکل ۳ آمده است. ضمنا خواص ورق در جدول ۱ آورده شده است. خواص مکانیکی ورق از آزمون کشش تک محوره در آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد دانشگاه فردوسی مشهد استخراج شده است.

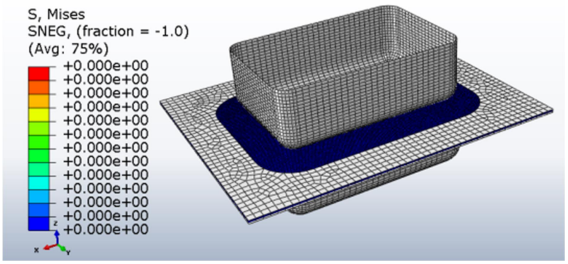


شکل ۳- ابعاد ورق شبیه سازی شده

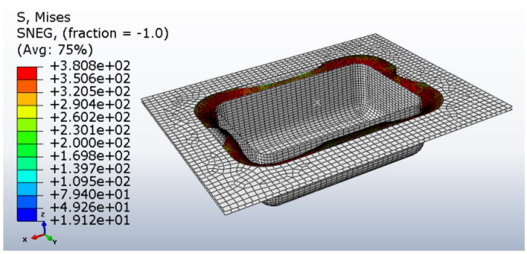
جدول ۱- خواص ورق مورد آزمایش

مدول یانگ	E=200 GPa
ضریب پواسون	υ=0.3
ناهمسانگردی نرمال	R=1.3
تنش جاری	$\bar{\delta} = 514(0.001+\bar{\varepsilon})^{0.2} MPa$
ضریب اصطکاک	0.1
ضخامت ورق	1mm

در شکل ۴ قالب شبیه سازی شده در محیط نرم افزار ABAQUS در شروع عملیات کشش و در شکل ۵ قالب در انتهای عملیات کشش نشان داده شده است.



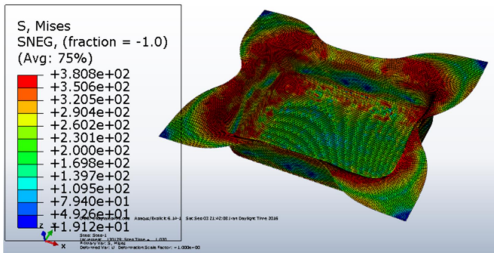
شکل ۴- قالب شبیه سازی شده در شروع عملیات کشش



شکل ۵- قالب شبیه سازی شده در انتهای عملیات کشش

۳-۲-تنش

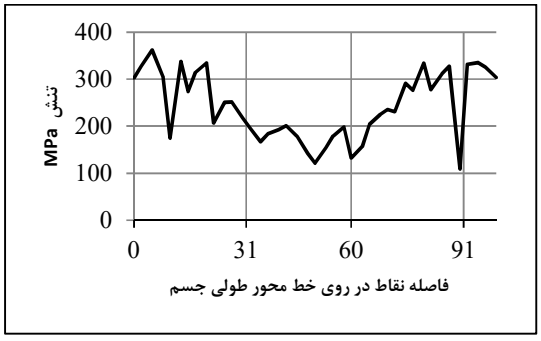
در شکل ۶ کانتور تنش ون میزز[1] نشان داده شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، رفتار ماده در قسمت گوشه‌ها متفاوت با دیواره‌هاست.



شکل ۶- کانتور تنش ون میزز

در شکل ۷ مقدار تنش وارده در طول فرآیند کشش، در راستای خط محور طولی جسم نشان داده شده است.

برای رسیدن به حالت شکل پذیری پلاستیک و حفظ آن تا پایان هر مرحله از تغییر شکل، لازم است تنش موثر وارد بر قطعه در منطقه تغییر شکل پیوسته به حد معینی برسد. این حد معین از تنش، تنش سیلان گفته می‌شود که در واقع همان مقاومت داخلی جسم است که ماده در برابر تغییر شکل از خود نشان می‌دهد. تنش سیلان یکی از فاکتورهای مهم انتخاب ورق در فرآیند شکل دهی می‌باشد[۹]. با توجه به توضیح بالا، نمودارهای تنش نشان داده شده در شکل های ۶ و ۷ مورد تایید است.



شکل ۷- نمودار تنش

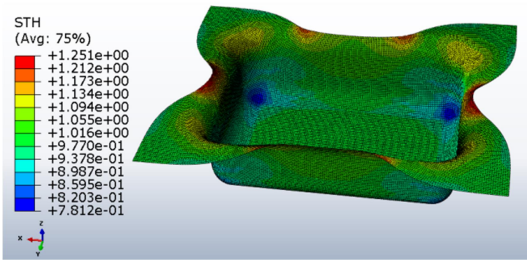
[1] von Mises

www.SID.ir

Archive of SID

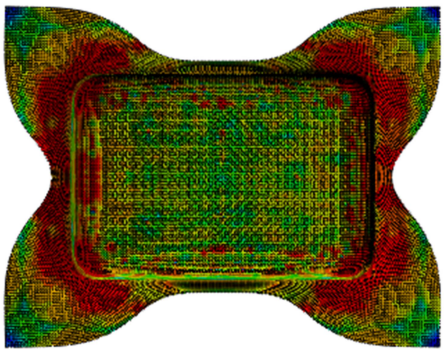
۳-۳-تغییرات ضخامت

اندازه گیری‌های انجام شده روی قطعه کشش عمیق مستطیلی حاکی از آن است که حجم ماده و تراکم مولکولی نسبت به گرده اولیه ثابت است ولی ضخامت ورق تحت تغییرات محسوسی در مناطق مختلف جعبه متفاوت است. جریان مواد در رویه قطعه بسط داده می‌شود که این تغییر ضخامت در کف جسم تا نزدیکی قوس گوشه‌ها بدون تغییر، در محدوده اطراف قوس گوشه‌ها کاهش (قسمت های آبی رنگ نشان داده شده در شکل ۸) و محدوده لبه‌های بالایی کمی افزایش (قسمت‌های قرمز رنگ نشان داده شده در شکل ۸) دارد. عامل این تغییر ضخامت، نیروهای کششی و فشاری حین تغییر شکل است.



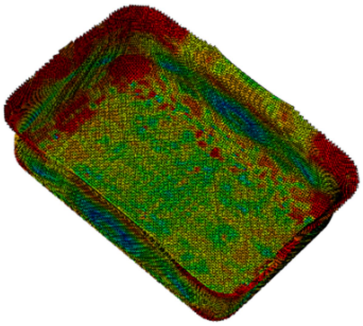
شکل ۸- کانتورتغییرات ضخامت

در شکل ۹، نتیجه حاصل از فرآیند کشش در محیط آباکوس نشان داده شده است.



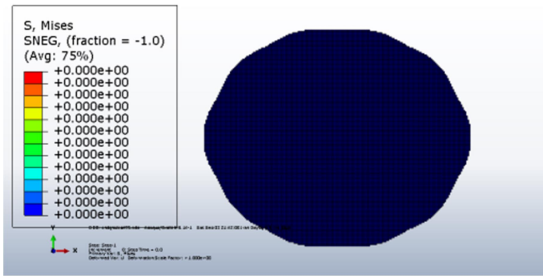
شکل ۹- قطعه حاصل از کشش در محیط آباکوس

در ادامه جهت تعیین مقدار ورق لازم جهت کاپ مستطیل شکل مورد نظر، المان‌های اضافه حذف شده است که بعد از حذف آن‌ها، قطعه به صورت شکل ۱۰ در می‌آید.



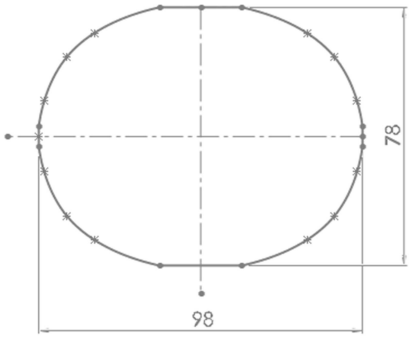
شکل ۱۰- قطعه حاصل از حذف گوشه های اضافه

با حذف گوشه‌ها، مقدار ورق لازم برای تغییرشکل مطابق شکل ۱۱ مشخص می‌شود.



شکل ۱۱- گرده اولیه حاصل از حذف گوشه‌های اضافی

باانتقال[1] ورق حاصله در شکل ۱۱ به محیط ترسیم نرم افزار solid work، منحنی حاکم بر گرده اولیه قطعه مورد نظر مطابق شکل ۱۲ بدست می‌آید.



شکل ۱۲- منحنی حاکم برگرده اولیه قطعه مورد نظر

۴-اعتبار سنجی نتایج

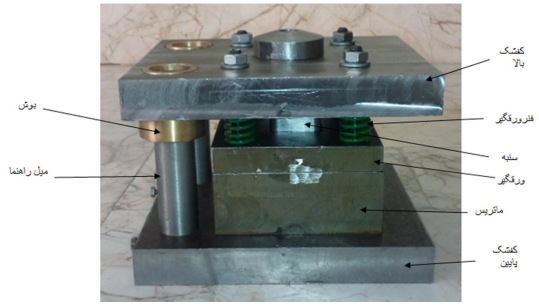
جهت اعتبار سنجی تحلیل انجام شده، فرآیند کشش عمیق روی دو ورق با خواص مکانیکی نمونه شبیه سازی شده انجام شد. ورق اول به صورت مستطیلی شکل و ورق دیگر با گرده اولیه طراحی شده، در نظر گرفته شدند. در ادامه قالب عملیات کشش مطابق شکل ۱۳ طراحی و ساخته شد. در ضمن از فنر مخصوص قالب سازی جهت ایجاد نیروی ورقگیر مناسب استفاده شده است.

[1] Export

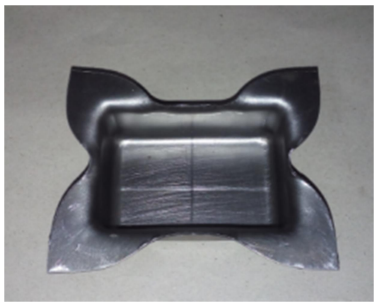
www.SID.ir

Archive of SID

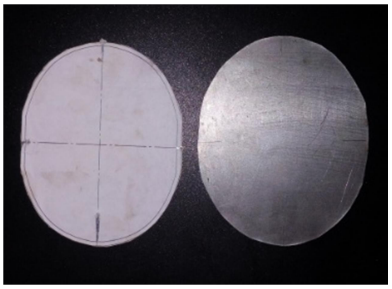
در ابتدا فرآیند کشش عمیق روی ورق مستطیل شکل انجام و قطعه حاصله مطابق شکل ۱۴ بدست آمد. در ادامه منحنی گرده اولیه روی ورق دوم خط کشی و عملیات برش انجام گردید (شکل ۱۵). سپس فرآیند کشش عمیق روی ورق با گرده اولیه طراحی شده انجام و قطعه حاصله مطابق شکل ۱۶ بدست آمد. مقایسه دو شکل ۱۴ و ۱۶ نشان می‌دهد، در فرآیند کشش عمیق ورق با گرده اولیه طراحی شده دور ریز ورق به طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۱۳- قالب کشش



شکل ۱۴- قطعه حاصل از ورق مستطیل شکل



شکل ۱۵- خط کشی ورق و برش آن

شکل ۱۶- قطعه حاصل از ورق با گرده اولیه طراحی شده

۵-نتیجه گیری

در این تحقیق نتایج قابل ارائه عبارتند از:

۱- کاهش دور ریز ورق (حدود ٪۱۸/۱۷) برای قطعه تولید شده از کشش ورق با گرده اولیه طراحی شده در مقایسه با قطعه حاصل از ورق مستطیل شکل.

۲- استفاده از روش پیشنهادی تحقیق حاضر برای رسیدن به گرده اولیه ورق برای اجسام چهار گوش، چند ضلعی، بی قاعده و ترکیبی.

۶-مراجع

[۱] سجادی سید علی، درس فنی قالبسازی، انتشارات چاپ ونشر ایران ۱۳۶۹.

[2] Suchy I., Handbook Die Design, Second Edition. The McGrow Hill Companies U.S.A , 2006

[3] Hezam L. M. A., Hassan, M. A., Hassab-Allah I. M., El-Sebaie M. G., Development of a new process for producing deep square cups through conical dies, Int. J. Mach. Tools Manuf. Vol. 49, pp.773–780, 2009.

[4] Karima M., Blank development and tooling design for drawn parts using a modified slip line field based approach, J. Eng. Ind. No.111, pp.344 -340, 1989.

[5] Thomas E., Caton. Taylor D., ASM Handbook, The Materials Information society, Vol.8 USA, 1985.

[6] Kim H., Hoom H., Finite element inverse Analysis of intermediate dies in multi stage deep drawing processes with large aspect ratio, Journal of material processing technology, No.113, pp.779-785, 2001

[7] Hortig D., Schmoeckel D., Analysis of local loads on the draw die profile with regard to wear using the FEM experimental investigations, Journal of material processing technology, No.115, pp. 153-158, 2001.

[8] Sachs G., Principles and methods of sheet metal fabricating, 2d ed., revised by H. E. Voegel, Reinhold Publishing Corporation, New York., 1960.

[9] Mustafa Y., Zeki K., Muammer G., Forming sheet metals by means of multi-point deep drawing method, Materials and Design. Vol. 28, pp.2647–2653, 2007.

www.SID.ir