

مقایسه تغییرات نیرو و ضخامت در فرایند کشش عمیق ورقهای ضخیم در قالبهای تخت، مخروطی و تراکتریکس

محمد صدیقی^۱، مهدی راستی^۲

چکیده

فرایند کشش عمیق یکی از مهمترین مراحل تولید آستر مخازن CNG می باشد. به دلیل ضخامت بالای ورق اولیه، استفاده از قالبهای مخروطی، تراکتریکس و تخت می تواند گزینه های مورد نظر تولید کنندگان مخازن باشد. در این مقاله، پس از اعتبارسنجی نتایج عددی با نتایج تجربی موجود، فرایند کشش عمیق برای تولید نوعی آستر آلومینیومی مخازن CNG نوع سوم، در سه نوع قالب یاد شده شبیه سازی گردیده و مقادیر نیروی لازم جهت کشش ورق و تغییرات ضخامت ظرف پس از انجام فرایند، مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که قالب تراکتریکس نیروی کمتری احتیاج دارد. علاوه بر این، کمترین تغییرات ضخامت ظرف در این نوع قالب مشاهده می شود.

کلمات کلیدی

کشش عمیق، قالب تخت، قالب مخروطی، قالب تراکتریکس، شبیه سازی، مخازن CNG

Comparing force and cup thickness variations in deep drawing of thick sheets in flat, conical and tractrix dies

M. Sedighi, M. Rasti

ABSTRACT

Deep drawing is one of the most important processes in manufacturing of CNG pressure vessel liner. Due to the high thickness of initial blank, liner manufactures can use different types of dies such as conical, tractrix and flat dies. In this paper, a sample of "type 3" aluminum liner has been selected and the deep drawing process has been simulated by using finite-element method. Three types of dies behavior have been compared for parameters such as the required drawing force and cup wall thickness variations. Available experimental data was used to verify the numerical results. The results have shown that in a tractrix die, the required drawing force will decrease, and minimum wall thickness variations can be obtained.

KEYWORDS

Deep drawing, Flat die, Conical die, Tractrix die, Simulation, CNG Vessel.

آن ساخته می شوند. معمولاً روش تولید آسترهای آلومینیومی، استفاده از ورق خام به عنوان ماده اولیه و انجام فرایندهای کشش عمیق، اتوکاری^۱ و اسپینینگ^۲ است. فرایند کشش عمیق، یکی از مهمترین مراحل تولید آستر مخازن

۱- مقدمه

مخازن CNG، برای ذخیره سازی گاز طبیعی فشرده شده^۲ به کار می روند. مخازن نوع سوم از یک آستر فلزی از جنس

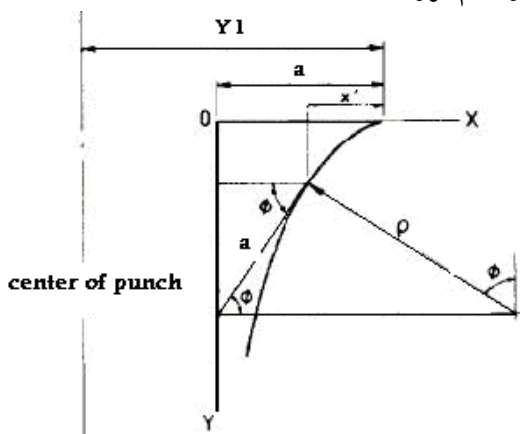
^۱ استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، Email: Sedighi@iust.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، Email: Rasti.mehdi@gmail.com

می‌باشد. به دلیل ضخامت بالای ورق اولیه، معمولاً استفاده از

آلمینیوم و یا فولاد و پوشش کامپوزیتی پیچیده شده به دور

مهم در هر کدام آورده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱): انواع قالبهای بررسی شده به روش عددی (الف)،

قالب تراکتریکس [۵]، (ب) قالب مخروطی، (ج) قالب تخت)

در فرایند کشش عمیق در قالبهای مخروطی، نسبت کشش به ضخامت نسبی ورق r_s ، (ضخامت نسبی، نسبت ضخامت ورق به قطر سنبه است)، زاویه قالب و شعاع انتقال از مخروطی به قسمت استوانه‌ای قالب بستگی خواهد داشت.

قالبهای مخروطی و یا تراکتریکس^۴ به جای قالبهای تخت، در اولویت تولید کنندگان قرار می‌گیرد. این امر، این امکان را می‌دهد که بتوان فرایند را به کمک یک پرس یک کاره با تناژ کمتر انجام داد.

تحقیقات پیرامون کشش عمیق در قالبهای تخت توسط محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیقات، پارامترهای مختلف این فرایند از جمله تغییرات نیروی کشش [۱] روند تغییرات کرنش در این فرایند [۲] و خواص آنیزوتروپی ورق [۳] مورد بررسی قرار گرفته است. در کنار این مهم، بررسی کشش عمیق ورقهای ضخیم در قالبهای تراکتریکس و مخروطی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. بیشتر این تحقیقات پیرامون بررسی پروفیل قالب تراکتریکس [۴]، اصلاح پروفیل قالب تراکتریکس به منظور کاهش نیرو [۵] و بررسی تنش، کرنش و نسبت کشش در قالبهای تراکتریکس به صورت تجربی و عددی بوده است [۶]. در کنار این مطالعات، بررسی‌های اخیر در مورد قالبهای مخروطی، بیشتر به مقایسه پدیده چروکیدگی در قالبهای تراکتریکس و مخروطی [۷] و تاثیرات اصطکاک بر روی چروکیدگی در قالبهای مخروطی [۸] بوده است.

در این مقاله، فرایند کشش عمیق مرحله اول جهت تولید یک نمونه آستر آلومینیومی، در سه نوع قالب ذکر شده، شبیه سازی گردیده و مقادیر نیروی لازم جهت کشش ورق، تغییرات ضخامت ظرف پس از انجام فرایند و بیشترین نسبت کشش ممکن برای هر نوع قالب استخراج گردیده و مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲- قالبهای تراکتریکس و مخروطی

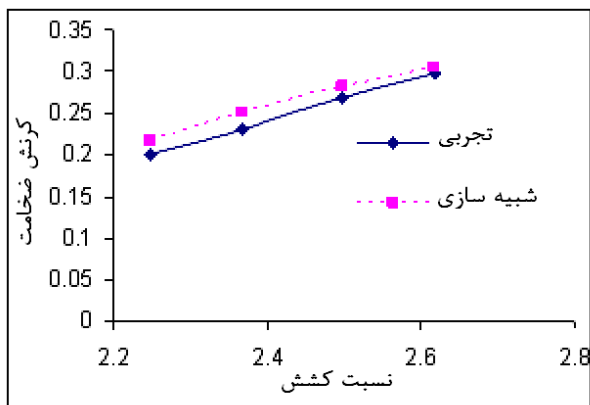
استفاده از فرایند کشش عمیق در قالبهای تخت، کمبودها و ایراداتی دارد که برخی از زمانها استفاده از آن ناممکن می‌گردد، از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: نیاز به ورق‌گیر، ایجاد ترک ناشی از کار پلاستیکی زیاد بر روی ورق در حال کشش، خمش و واخمش ورق بر روی شعاع انحنای قالب، تغییر مشخصه بعضی از مواد از حالت نرم به ترد همانند فولاد ابزار با تنگستن پایین و حد نسبت کشش پایین (LDR) در صورت استفاده نکردن از ورق‌گیر [۹]. شرایط ایده‌آل انحنای قالب برای حذف کامل خمش مواد بین دیواره سنبه و لبه ظرف، توسط قالبهای مخروطی و تراکتریکس برآورده می‌شود. در شکل (۱)، قالبهای تخت، مخروطی و تراکتریکس و پارامترهای

۳- شبیه سازی فرایند کشش عمیق

درانجام فرایند شبیه سازی، از نرم افزار جامع ABAQUS استفاده گردیده که از روش اجزاء محدود در حل مسائل استفاده می‌کند. روش حل استفاده از فرمولاسیون تحلیل صریح^۶ است که برای مسائل دینامیکی سرعت بالا و همچنین مسائل با تغییر شکل بزرگ^۱ کاربرد دارد [۱۲]. در تمامی آنالیزها سنبه، قالب و ورقگیر به صورت صلب و ورق به صورت شکل پذیر در نظر گرفته شده‌اند.

۳-۱- تایید مدل مورد استفاده در نرم افزار

برای پذیرش مدل مورد استفاده در نرم افزار شبیه ساز، از نتایج آزمایشگاهی مرجع [۶] در کشش عمیق ورقهای ضخیم در قالب تراکتریکس و مرجع [۱۳] در کشش عمیق در قالب تخت استفاده گردیده است. نتایج حاصل از شبیه سازی در شکلهای (۲)، (۳) و (۴) آمده است. موقعیتهای ۱ تا ۸ که در محور افقی شکل ۳ نمایش داده شده است، به ترتیب از ضخامت نقاط لبه کاپ شروع شده و سپس در امتداد دیواره و در پایان تا زیر شعاع سنبه در پایین کاپ ادامه پیدا کرده است همانطور که در شکلهای نیز مشخص است، برابری قابل قبولی بین نتایج دیده می‌شود. میانگین درصد خطا در شکل (۲) کمتر از ۵٪، در شکل (۳) کمتر از ۷٪ و در شکل (۴) به میزان ۱٪ است.



شکل (۲): تغییرات کرنش ضخامت در لبه قطعه بر حسب نسبت کشش در قالب تراکتریکس (تجربی [۱۳] و شبیه سازی)

تحقیقات بارت و بیتنر نشان داده که عامل مهم شکست در کشش ورقها در قالب مخروطی، ضخامت نسبی و یا نازکی نسبی ورقها می‌باشد. برای ورقهای ضخیم شکست در ته ظرف اتفاق می‌افتد در صورتی که برای ورقهای نازک شکست بصورت چروکها در همان مرحله اول خود را نشان می‌دهد [۱۰].

زوایای قالب آزمایش شده عبارتند از ۹۰ درجه برای ورقهای نازک و ۳۰ درجه برای ورقهای ضخیم. موقعی که پارگی در ته ظرف اتفاق می‌افتد، زوایای قالب کم حدود ۳۰ تا ۳۶ درجه مناسبتر است و زمانی که چروک اتفاق می‌افتد، زاویه قالب بیشتر، یعنی حدود ۹۰ بهتر است.

شعاع گذر از مخروط به استوانه در ساخت ابزار بسیار مهم می‌باشد. در جدول (۱)، مقادیر پیشنهادی بارت و بیتنر، آورده شده است.

جدول (۱): مقادیر پیشنهادی جهت شعاع گذر در قالبهای مخروطی

[۱۰]

$8 \leq \frac{d_p}{t_0} \leq 20$	$r_t = 0.66 d_p$
$36 \leq \frac{d_p}{t_0} \leq 95$	$r_t = 5t_0$
$20 < \frac{d_p}{t_0} < 36$	$5t_0 < r_t < 14t_0$

در منحنی تراکتریکس، طول هر خط مماس بر منحنی از یک خط مستقیم ثابت است. (شکل ۱-الف)

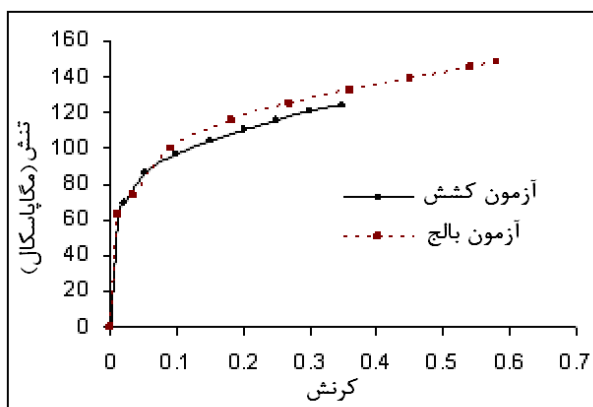
برای قالب تراکتریکس با توجه به شکل (۱) می‌توان نوشت:

$$-\frac{dy}{dx} = \tan \phi = \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{x} \quad (2)$$

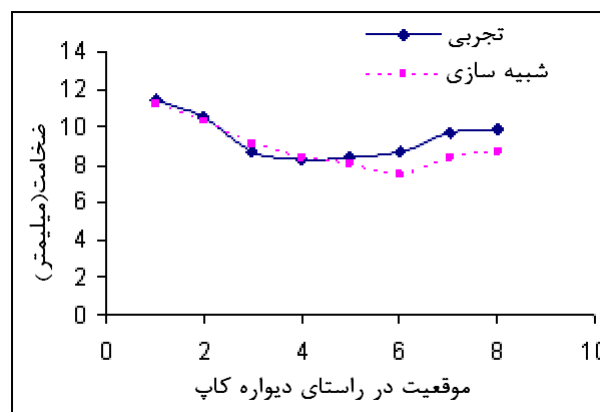
که a ثابت تراکتریکس می‌باشد. برای بدست آوردن رابطه ya قالب می‌توان از رابطه (۲) انتگرال گرفت:

$$y_D = -\sqrt{a^2 - x^2} + a \ln \left(\frac{a + \sqrt{a^2 + x^2}}{x} \right) \quad (3)$$

در کارهای تجربی انجام شده پیرامون مقایسه قالبهای تراکتریکس و مخروطی ۳۰ درجه، مقدار کار لازم روی دیاگرامهای نیرو بر حسب جابجائی برای هر دو نوع قالب یکسان است ولی نیروی سنبه برای قالب مخروطی حدود ۱/۴ بزرگتر از قالب تراکتریکس است. ضمن آن که قالبهای تراکتریکس، مقاومت بیشتری در برابر چروک از خود نشان می‌دهند [۱۱].



شکل ۵ - نمودار تنش_ کرنش حاصل از آزمایش کشش و تست بالج [۵]



شکل (۳): تغییرات ضخامت در قطعه کشیده شده در قالب تخت (تجربی [۶] و شبیه سازی)

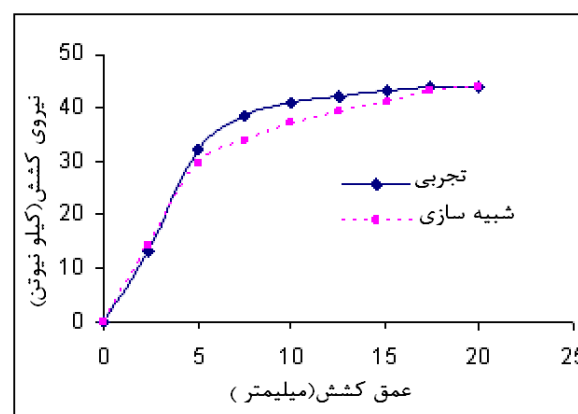
جدول (۲): مقادیر مختلف نسبت کشش و پارامترهای مختلف طراحی درکشش در قالب تخت

نسبت کشش	شعاع ماتریس (mm)	نیروی ورقگیر	وضعیت کشش
۱/۷۵	۷۲	۹۰۰۰۰ نیوتن	پارگی
	۱۰۰		پارگی
	۱۵۰		چروکیدگی
۱/۷	۴۰	۸۵۰۰۰ نیوتن	پارگی
	۷۲		موفق
	۱۰۰		موفق
۱/۶۵	۴۰	۸۲۰۰۰ نیوتن	پارگی
	۷۲		موفق
	۱۰۰		موفق
۱/۶	۴۰	۸۲۰۰۰ نیوتن	موفق
	۷۲		موفق
	۱۰۰		موفق

در تمامی مدلها، شعاع لبه سنبه ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده و مقادیر ضریب اصطکاک نیز با توجه به روابط پیشنهادی مرجع [۵] که در جدول (۳) آورده شده است، انتخاب گردیده‌اند. این مقادیر با فرض اینکه پروفیل قالب با گریس-گرافیت آغشته باشد و سنبه بدون روانکار و به صورت خشک در نظر گرفته شود، پیشنهاد شده است [۵].

جدول (۳): مقادیر پیشنهادی برای ضریب اصطکاک [۵]

ماده	μ قالب	μ سنبه
فولاد	۰/۰۶	۰/۱۳
فولاد زنگ نزن	۰/۰۶	۰/۱۳
آلومینیوم	۰/۰۲۸	۰/۱



شکل (۴): تغییرات نیرو در حین کشش قطعه (تجربی [۶] و شبیه سازی)

۲-۳- شبیه سازی فرایند کشش عمیق در قالب تخت

در شکل (۵)، نمودار رفتار کارسختی ماده مورد استفاده در ساخت آستر، آورده شده است. جنس آستر از آلومینیوم 6061-O با ضخامت اولیه ۱۲ میلیمتر و قطر ۱۱۵۰ میلیمتر است. از آنجا که بهتر است رابطه تنش کرنش تحت شرایط مشابه آنچه در تحلیل وجود دارد بدست آیند، در فرایندهای شکل دهی متقارن همانند کشش عمیق از منحنی‌های آزمایش بالج در تحلیل استفاده می‌شود [۵].

برای تعیین بیشترین نسبت کششی که می‌توان درکشش در قالب تخت بدست آورد، فرایند در چهار نسبت کشش مختلف شبیه سازی گردید. در جدول (۲) مقادیر مختلف نسبت کشش و همچنین پارامترهای مختلف طراحی آورده شده است.

برابر ۰/۲۸ و اصطکاک سنبه ۰/۱ فرض گردیده است. شعاع لبه سنبه نیز ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

جدول (۴): مقادیر مختلف نسبت کشش و وضعیت کشش در قالب تراکتریکس

نسبت کشش	پروفیل قالب	وضعیت کشش
۱/۹	$258Ln\left(\frac{258+\sqrt{66564-x^2}}{x}\right)-\sqrt{66564-x^2}$	پارگی
۱/۸	$240Ln\left(\frac{240+\sqrt{57600-x^2}}{x}\right)-\sqrt{57600-x^2}$	پارگی
۱/۷۵	$231Ln\left(\frac{231+\sqrt{53361-x^2}}{x}\right)-\sqrt{53361-x^2}$	موفق
۱/۷	$222Ln\left(\frac{222+\sqrt{49284-x^2}}{x}\right)-\sqrt{49284-x^2}$	موفق

همانگونه که در جدول (۴) نیز مشخص است، بیشترین نسبت کششی که می‌توان ورق را باموفقیت کشید، ۱/۷۵ است که از بزرگترین نسبت کشش در قالبهای تخت بیشتر است.

۳-۴- شبیه سازی فرایند کشش عمیق در قالب مخروطی

از آنجا که بیشتر امکان دسترسی به نسبتهای کششی که با قالبهای تراکتریکس بدست می‌آیند، در قالب های مخروطی نیز وجود دارد، فرایند شبیه سازی در چهار نسبت کششی که در قالبهای تراکتریکس در نظر گرفته شده بود، دوباره در قالب مخروطی شبیه سازی گردید. شعاع لبه سنبه طبق جدول (۵) برابر ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شد.

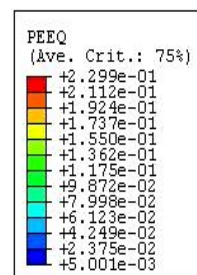
با توجه به ضخامت بالای ورق، برای تعیین زاویه مخروطی مقادیر بین ۳۰-۳۶ درجه انتخاب گردید. طبق جدول (۱)، مقدار شعاع ناحیه گذر باید ۶۰ میلیمتر انتخاب گردد.

جدول (۵): مقادیر مختلف نسبت کشش و وضعیت کشش در قالب مخروطی

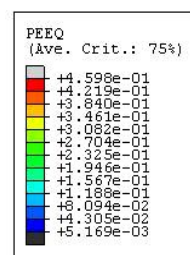
نسبت کشش	زاویه نیم مخروط (درجه)	وضعیت کشش
۱/۹	۱۸	پارگی
۱/۸	۱۸	پارگی
۱/۷۵	۱۸	موفق
۱/۷	۱۸	موفق
۱/۹	۱۵	پارگی
۱/۸	۱۵	پارگی
۱/۷۵	۱۵	موفق
۱/۷	۱۵	موفق

۴-۴- مقایسه تغییرات نیرو و ضخامت در فرایند

آنچه که در تحلیل‌های مختلف مشاهده شد، این است که عامل اصلی شکست در نسبتهای کششهای مختلف، خمش و واخمش ورق بر روی شعاع ماتریس می‌باشد. برای نسبتهای کشش بالا احتیاج به شعاع ماتریس بزرگتر می‌باشد. اما شعاع انحنای خیلی بزرگ تمایل به چروکیدگی را افزایش می‌دهد، چون تا زمانی که ورق در تماس با ورقگیر است، چروکیدگی توسط نیروی ورقگیر کنترل می‌شود ولی به محض آنکه ورق از زیر ورقگیر خارج می‌شود، چروکیدگی آغاز و در پایان منجر به خرابی قطعه می‌گردد. این مطلب در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شکل (۶): کنترل چروکیدگی بواسطه تماس ورق با ورقگیر



شکل (۷): خروج ورق از زیر ورقگیر و آغاز چروکیدگی

۳-۳- شبیه سازی کشش عمیق در قالب تراکتریکس

استفاده از قالبهای تراکتریکس این امکان را می‌دهد که فرایند کشش در یک پرس یک کاره وبدون استفاده از ورقگیر با تناژ کمتر ونسبت کشش بزرگتر انجام گیرد. از آنجا که پروفیل قالب تراکتریکس با تغییر نسبت کشش تغییر می‌کند و طبق نظر شاولکی که اکیدا توصیه کرده برای هر نسبت کشش از قالب تراکتریکس همان کشش استفاده شود، [۱۴] این فرایند در چهار نسبت کشش متفاوت با پروفیل‌های متفاوت شبیه سازی گردید. جدول (۴) مشخصات مدل‌های استفاده شده را نشان می‌دهد. در تمامی مدل‌های شبیه سازی شده، مقدار اصطکاک قالب

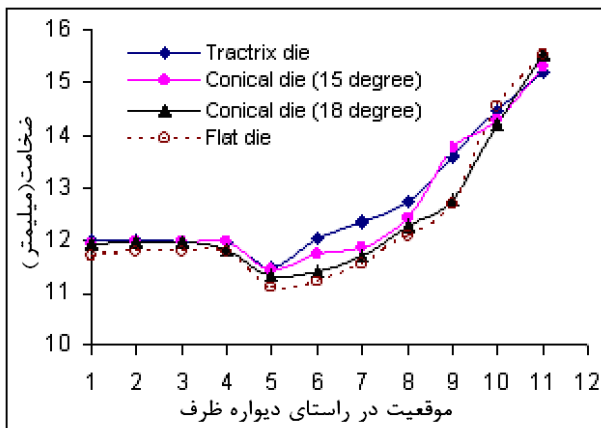
کشش عمیق در قالبهای تخت ، مخروطی و تراکتریکس

در شکل های (۸) و (۹) ، نمودارهای نیروی مورد نیاز برای انجام فرایند کشش عمیق، همچنین تغییرات ضخامت ظرف پس از انجام فرایند کشش، نشان داده شده‌اند.

همانگونه که در شکل (۸) نیز مشخص است، بیشترین مقدار نیروی لازم برای انجام کشش در قالب تخت، نزدیک ۱۴۶۰ کیلو نیوتن می‌باشد، درحالیکه این مقدار در قالب مخروطی با نیم زاویه ۱۸ درجه نزدیک ۶۴۳ کیلو نیوتن و با نیم زاویه ۱۵ درجه نزدیک ۶۰۴ کیلو نیوتن و در قالب تراکتریکس نزدیک به ۴۰۱ کیلو نیوتن است. یعنی استفاده از قالب تراکتریکس، باعث می‌شود که تناژ پرس مورد نیاز برای انجام فرایند کشش در مقایسه با قالبهای مخروطی و تخت، به ترتیب ۳۰٪ و ۷۰٪ کاهش پیدا کند. ضمن آنکه استفاده از قالبهای مخروطی و تراکتریکس، علاوه بر بالاتر بودن نسبت کشش، احتیاج به یک پرس یک کاره دارد که در مقایسه با قالب تخت که به کمک پرس دو کاره انجام می‌گیرد، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر است.

نکته شایان توجه این است که کشش در قالب مخروطی با نیم زاویه ۱۵ درجه مقدار نیروی بیشینه کمتری نسبت به کشش در قالب با نیم زاویه ۱۸ درجه دارد. علت این تفاوت آن است که به نظر می‌رسد در کشش در قالب مخروطی با نیم زاویه ۱۵ درجه، عملیات خمش ورق و نشست ورق به طور کامل بر روی قالب، زودتر انجام می‌گیرد و بنابراین مقدار نیروی کمتری برای کشش احتیاج خواهد بود.

مشخص است، بیشترین نازک شدگی در کف ظرف مربوط به قالب تخت و کمترین مقدار، مربوط به قالب تراکتریکس می‌باشد. ضمن آنکه در هر سه نوع قالب، بیشترین نازک شونده در بالای شعاع سنبه صورت می‌گیرد. دوباره ضخامت در راستای دیواره ظرف افزایش پیدا می‌کند تا در لبه ظرف که بیشترین افزایش ضخامت، در آنجا دیده می‌شود. بیشترین مقدار ضخامت در لب ظرفی دیده می‌شود که در قالب تخت کشیده شده و کمترین افزایش ضخامت نیز مربوط به قالب تراکتریکس می‌باشد. ضمن آنکه روند تغییرات ضخامت در راستای دیواره ظرف در قالب تخت نسبت به قالبهای مخروطی و تراکتریکس، نامنظم‌تر است. این مقدار افزایش ضخامت اضافی در کشش در قالب تخت، باعث افزایش ضخامت و نیرو در فرایندهای بعدی، یعنی باز کشش و اتوکاری می‌گردد.

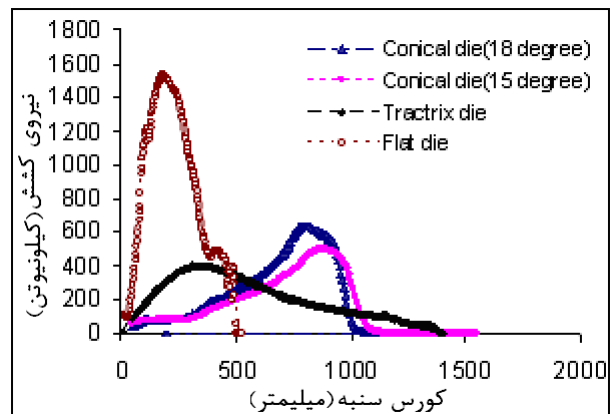


شکل (۹): منحنی تغییرات ضخامت برای کشش ورق در قالبهای تخت، مخروطی و تراکتریکس (نسبت کشش: ۱/۷)

۵- نتایج

در این مقاله، فرایند کشش عمیق به کمک روش اجزاء محدود در سه نوع قالب تخت، مخروطی و تراکتریکس شبیه سازی گردید و پارامترهای نسبت کشش، مقادیر بیشینه نیرو و تغییرات ضخامت ظرف پس از کشش، استخراج و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که:

- ۱- بیشترین نسبت کشش در قالبهای مخروطی و تراکتریکس بدست می‌آید.
- ۲- بیشترین مقدار نیروی لازم برای انجام فرایند کشش، در قالب تراکتریکس به ترتیب ۳۰٪ و ۷۰٪ نیروی لازم برای انجام کشش در قالبهای تخت و مخروطی است.
- ۳- بیشترین کاهش ضخامت در کف و افزایش ضخامت دیواره ظرف، مربوط به کشش در قالب تخت و کمترین مقدار مربوط به قالب تراکتریکس می‌باشد.



شکل (۸): منحنی تغییرات نیروی مورد نیاز برای کشش ورق در قالبهای تخت ، مخروطی و تراکتریکس (نسبت کشش: ۱/۷)

در شکل (۹)، تغییرات ضخامت ظرف پس از انجام فرایند کشش، نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نیز

- Wagner, R. H., and Chenot, J. L., "Metal Forming Analysis", Cambridge University Press, 2001. [۱۲]
- M.Colgan, J.Monaghan, "Deep drawing Process: Analysis and Experimental" J.Mat.Pro.Tech, pp35-41, 2003. [۱۳]
- S.A.Shawki, "The Laws of Deep drawing without Blank holder", Mitt.Forschunges Bletchverarbeitung, Vol 18, pp 229-237, 1961. [۱۴]
- F.Saniee, M.H. Montazeran, "A comparative estimation of the forming load in the deep drawing process", J.Mat.Pro.Tech, pp555-561, 2003. [۱]
- S.Natarajan, S. Venkataswamy, P. Bagavathiperumal "A note on deep drawing : numerical simulation and experimental validation" J.Mat.Pro.Tech, pp64-67, 2002. [۲]
- Y.Q.Liu, J.C.Wang, "The numerical analyses of anisotropic sheet metals in deep drawing process", J.Mat.Pro.Tech, pp45-52, 2002. [۳]
- D.M.Woo, "The analysis of axisymmetric forming of sheet metal and the hydrostatic bulging process". Int.J.Mech.Sci, pp296-303, 1964. [۴]
- M.M.Al Makky, D.M.Woo, "Deep drawing through tractrix dies ", Int.J.Mech.Sci, pp 467-480, 1980 [۵]
- Z.Kampus, K.Kuzman, "Experimental and Numerical analysis of deep drawing of relatively thick sheet metal" J.Mater.Process.Tech, pp133-140, 1992. [۶]
- R.Narayanasamy, C.Loganathan, "Study on wrinkling limit of interstitial free steel sheets of different thickness when drawn through Conical and Tractrix dies" Materials&Design, pp1401-1411, 2008 [۷]
- R. Narayanasamy, C. Loganathan, "The influence of friction on the prediction of wrinkling of prestrained blanks when drawing through a conical die", J. Materials & Design, pp 904-912, 2007 [۸]
- M.Farzin, MS Thesis, "Deep drawing without Blank holder", UMIST, UK, 1986. [۹]
- Barth, Bittner Final Thesis, "Estimated Limit Conditions by the Deep drawing without Blank holder of rounds cups in Anschlag", T.H.Karl Max-Stadt ,UK, 1977. [۱۰]
- B.Fogg, W.H.Busby, "Tooling for the deep drawing of high speed steel and Tool steel", University of Salford Internal Research, 1968. [۱۱]

۷- زیر نویس ها

- ۱ Ironing
- ۲ Spinning
- ۳ Compress Natural Gas
- ۴ Tractrix Dies
- ۵ Dynamic Explicit
- ۶ Large deformation

