مقايسه تغييرات نيرو و ضخامت درفرايند كشش عميق ورقهاي ضخيم درقالبهاي تخت، مخروطي و تراكتريكس

محمد صديقي[i]؛مهدي راستي[ii]

چكيده

فرايند كشش عميق يكي از مهمترين مراحل توليد آستر مخازن CNG مي‌باشد. به دليل ضخامت بالاي ورق اوليه، استفاده از قالبهاي مخروطي، تراكتريكس و تخت مي‌تواند گزينه‌هاي مورد نظر توليد كنندگان مخازن باشد. دراين مقاله، پس از اعتبارسنجي نتايج عددي با نتايج تجربي موجود، فرايند كشش عميق براي توليد نوعي آستر آلومينيومي مخازن CNG نوع سوم، در سه نوع قالب ياد شده شبيه سازي گرديده ومقادير نيروي لازم جهت كشش ورق و تغييرات ضخامت ظرف پس از انجام فرايند، مورد مقايسه قرار گرفته است . نتايج نشان داد كه قالب تراكتريكس نيروي كمتري احتياج دارد. علاوه براين، كمترين تغييرات ضخامت ظرف در اين نوع قالب مشاهده مي‌شود.

كلمات كليدي

كشش عميق، قالب تخت، قالب مخروطي، قالب تراكتريكس، شبيه سازي، 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.

۱- مقدمه

مخازن CNG ، براي ذخيره سازي گاز طبيعي فشرده شده[۳] به كار مي روند. مخازن نوع سوم از یک آستر فلزي ازجنس آن ساخته مي‌شوند. معمولا روش توليد آسترهاي آلومينيومي، استفاده از ورق خام به عنوان ماده اوليه و انجام فرايندهاي كشش عميق ، اتوكاري[۱] و اسپينينگ[۲] است. فرايند كشش عميق، يكي از مهمترين مراحل توليد آستر مخازن

---

[i] استاديار دانشكده مهندسی مكانیک، دانشگاه علم و صنعت ايران ، Email: Sedighi@iust.ac.ir

[ii] دانشجوي كارشناسي ارشد دانشكده مهندسی مكانیک; دانشگاه علم و صنعت ايران، Email: Rasti.mehdi@gmail.com

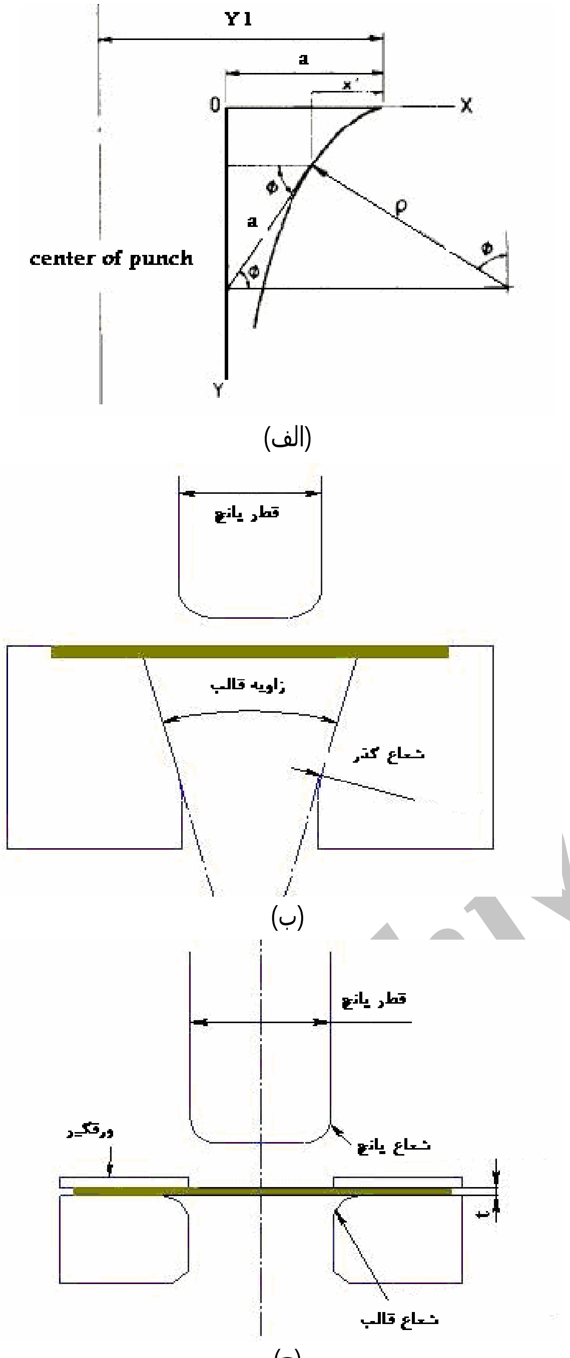
آلومينيوم و يا فولاد و پوشش کامپوزيتي پيچيده شده به دور ميباشد. به دليل ضخامت بالاي ورق اوليه، معمولا استفاده از قالبهاي مخروطي و يا تراکتريکس[٤] به جاي قالبهاي تخت ، در اولويت توليد کنندگان قرار ميگيرد. اين امر، اين امکان را ميدهد که بتوان فرايند را به کمک يک پرس يک کاره با تناژ کمتر انجام داد.

تحقيقات پيرامون کشش عميق در قالبهاي تخت توسط محققين بسياري مورد بررسي قرار گرفته است. در اين تحقيقات، پارامترهاي مختلف اين فرايند از جمله تغييرات نيروي کشش[١] روند تغييرات کرنش در اين فرايند[٢] و خواص آنيزوتروپي ورق[٣] مورد بررسي قرار گرفته است. در کنار اين مهم، بررسي کشش عميق ورقهاي ضخيم در قالبهاي تراکتريکس و مخروطي کمتر مورد بررسي قرار گرفته است. بيشتر اين تحقيقات پيرامون بررسي پروفيل قالب تراکتريکس[٤]، اصلاح پروفيل قالب تراکتريکس به منظور کاهش نيرو[٥] و بررسي تنش، کرنش و نسبت کشش در قالبهاي تراکتريکس به صورت تجربي و عددي بوده است[٦]. درکنار اين مطالعات، بررسيهاي اخير در مورد قالبهاي مخروطي، بيشتر به مقايسه پديده چروکيدگي در قالبهاي تراکتريکس و مخروطي[٧] و تاثيرات اصطکاک بر روي چروکيدگي در قالبهاي مخروطي[٨] بوده است.

دراين مقاله، فرايند کشش عميق مرحله اول جهت توليد يک نمونه آستر آلومينيومي، در سه نوع قالب ذکر شده، شبيه سازي گرديده و مقادير نيروي لازم جهت کشش ورق، تغييرات ضخامت ظرف پس از انجام فرايند و بيشترين نسبت کشش ممکن براي هر نوع قالب استخراج گرديده و مورد مقايسه قرار گرفته است .

۲- قالبهاي تراکتريکس و مخروطي

استفاده از فرايند کشش عميق در قالبهاي تخت، کمبودها و ايراداتی دارد که برخی از زمانها استفاده از آن نا ممکن میگردد، از آن جمله ميتوان به اين موارد اشاره کرد: نياز به ورقگير، ايجاد ترک ناشي از کار پلاستيکي زياد برروي ورق در حال کشش، خمش و واخمش ورق بر روي شعاع انحناي قالب، تغيير مشخصه بعضي از مواد از حالت نرم به ترد همانند فولاد ابزار با تنگستن پايين و حد نسبت کشش پايين (LDR) در صورت استفاده نکردن از ورقگير[٩]. شرايط ايدهآل انحناء قالب براي حذف کامل خمش مواد بين ديواره سنبه و لبه ظرف، توسط قالبهاي مخروطي و تراکتريکس برآورده ميشود. در شکل(١)، قالبهاي تخت، مخروطي و تراکتريکس و پارامترهاي مهم در هر کدام آورده شده است.



(الف)

(ب)

(ج)

شکل (١) : انواع قالبهاي بررسي شده به روش عددي (الف، قالب تراکتريکس[٥] ، ب) قالب مخروطي ، ج) قالب تخت)

در فرايند کشش عميق در قالبهاي مخروطي، نسبت کشش به ضخامت نسبي ورق r_s ، (ضخامت نسبي، نسبت ضخامت ورق به قطر سنبه است)، زاويه قالب و شعاع انتقال از مخروطي به قسمت استوانهاي قالب بستگي خواهد داشت.

تحقيقات بارت و بيتنر نشان داده كه عامل مهم شكست در كشش ورقها در قالب مخروطي، ضخامت نسبي و يا نازكي نسبي ورقها مي‌باشد. براي ورقهاي ضخيم شكست در ته ظرف اتفاق مي‌افتد در صورتي كه براي ورقهاي نازك شكست بصورت چروكها در همان مرحله اول خود را نشان مي‌دهد[۱۰].

زواياي قالب آزمايش شده عبارتند از۹۰ درجه براي ورقهاي نازك و۳۰ درجه براي ورقهاي ضخيم. موقعي كه پارگي در ته ظرف اتفاق مي‌افتد، زواياي قالب كم حدود۳۰ تا ۳۶ درجه مناسب‌تر است و زماني كه چروك اتفاق مي‌افتد، زاويه قالب بيشتر، يعني حدود۹۰ بهتر است.

شعاع گذر از مخروط به استوانه در ساخت ابزار بسيار مهم مي‌باشد. درجدول (۱)، مقادير پيشنهادي بارت وبيتنر، آورده شده است.

جدول (۱) : مقادير پيشنهادي جهت شعاع گذر در قالبهاي مخروطي [۱۰]

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

در منحني تراكتريكس، طول هر خط مماس بر منحني از يك خط مستقيم ثابت است. (شكل ۱-الف)

براي قالب تراكتريكس با توجه به شكل(۱) مي‌توان نوشت:

$$-\frac{d_y}{d_x} = \tan\phi = \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{x} \qquad (۲)$$

كه a ثابت تراكتريكس مي‌باشد. براي بدست آوردن رابطه y_d قالب مي‌توان از رابطه (۲) انتگرال گرفت:

$$y_D = -\sqrt{a^2 - x^2} + aLn\left(\frac{a + \sqrt{a^2 + x^2}}{x}\right) \qquad (۳)$$

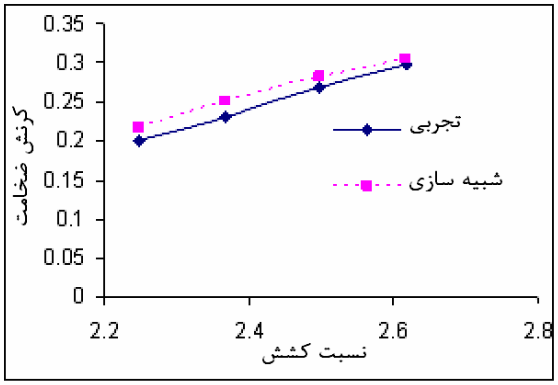
در كارهاي تجربي انجام شده پيرامون مقايسه قالبهاي تراكتريكس و مخروطي۳۰درجه، مقدار كار لازم روي دياگرام‌هاي نيرو بر حسب جابجائي براي هر دو نوع قالب يكسان است ولي نيروي سنبه براي قالب مخروطي حدود ۱/۴ بزرگتر از قالب تراتريكس است. ضمن آن كه قالبهاي تراكتريكس، مقاومت بيشتري در برابر چروك از خود نشان مي‌دهند[۱۱] .

۳- شبيه سازي فرايند كشش عميق

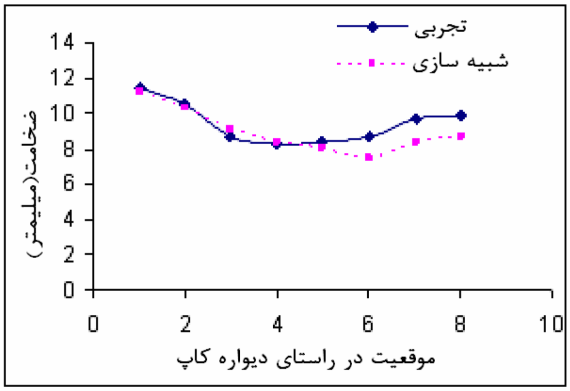
درانجام فرايند شبيه سازي، ازنرم افزار جامع ABAQUS استفاده گرديده كه از روش اجزاء محدود درحل مسائل استفاده مي‌كند. روش حل استفاده از فرمولاسيون تحليل صريح[٥] است كه براي مسائل ديناميكي سرعت بالا و همچنين مسائل با تغيير شكل بزرگ[٦] كاربرد دارد[۱۲] . درتمامي آناليزها سنبه، قالب و ورقگير به صورت صلب و ورق به صورت شكل پذير در نظر گرفته شده‌اند.

۳-۱- تاييد مدل مورد استفاده درنرم افزار

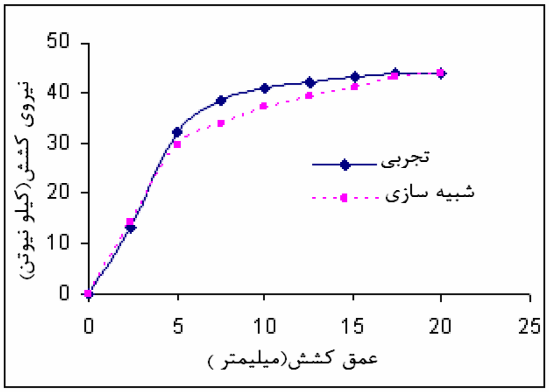
براي پذيرش مدل مورد استفاده درنرم افزار شبيه ساز، ازنتايج آزمايشگاهي مرجع [۶] دركشش عميق ورقهاي ضخيم درقالب تراكتريكس و مرجع [۱۳] در كشش عميق درقالب تخت استفاده گرديده است. نتايج حاصل از شبيه سازي در شكلهاي (۲)، (۳) و(٤) آمده است. موقعيتهاي ۱ تا ۸ كه در محور افقي شكل ۳ نمايش داده شده است، به ترتيب از ضخامت نقاط لبه كاپ شروع شده وسپس در امتداد ديواره و در پايان تا زير شعاع سنبه در پايين كاپ ادامه پيدا كرده است همانطور كه در شكلها نيز مشخص است ، برابری قابل قبولي بين نتايج ديده مي‌شود. ميانگين درصد خطا در شكل (۲) كمتر از٥%، در شكل (۳) كمتر از ۷% و درشكل(٤) به ميزان ۱% است .



شكل (۲) : تغييرات كرنش ضخامت در لبه قطعه بر حسب نسبت كشش در قالب تراكتريكس(تجربي **[۱۳]** و شبيه سازي)



شكل (۳) : تغييرات ضخامت در قطعه كشيده شده در قالب تخت (تجربي[۶] و شبيه سازي)

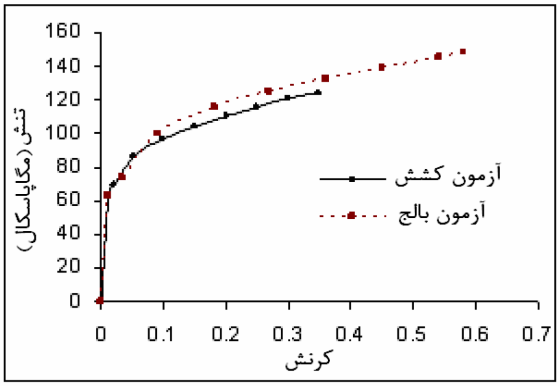


شكل (۴) : تغييرات نيرو در حين كشش قطعه (تجربي[۶] و شبيه سازي)

۳-۲- شبيه سازي فرايند كشش عميق درقالب تخت

در شكل (۵)، نمودار رفتار كارسختي ماده مورد استفاده درساخت آستر، آورده شده است . جنس آستر از آلومينيوم *6061-O* با ضخامت اوليه ۱۲ميليمتر و قطر ۱۱۵۰ميليمتر است. ازآنجا كه بهتر است رابطه تنش كرنش تحت شرايط مشابه آنچه در تحليل وجود دارد بدست آيند، درفرايندهاي شكل دهي متقارن همانند كشش عميق از منحنيهاي آزمايش بالج درتحليل استفاده ميشود [۵] .

براي تعيين بيشترين نسبت كششي كه مي‌توان دركشش در قالب تخت بدست آورد، فرايند درچهار نسبت كشش مختلف شبيه سازي گرديد. درجدول (۲) مقادير مختلف نسبت كشش وهمچنين پارامترهاي مختلف طراحي آورده شده است.



شكل ۵ - نمودار تنش_كرنش حاصل ازآزمايش كشش و تست بالج[۵]

جدول(۲) : مقادير مختلف نسبت كشش و پارامترهاي مختلف طراحي دركشش درقالب تخت

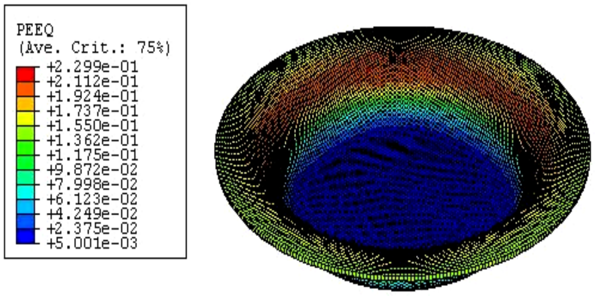
وضعيت كشش	نيروي ورقگير	شعاع ماتريس(mm)	نسبت كشش
پارگي	۹۰۰۰۰نيوتن	۷۲	۱/۷۵
پارگي		۱۰۰	
چروكيدگي		۱۵۰	
پارگي	۸۵۰۰۰نيوتن	۴۰	۱/۷
موفق		۷۲	
موفق		۱۰۰	
پارگي	۸۲۰۰۰نيوتن	۴۰	۱/۶۵
موفق		۷۲	
موفق		۱۰۰	
موفق	۸۲۰۰۰نيوتن	۴۰	۱/۶
موفق		۷۲	
موفق		۱۰۰	

در تمامي مدلها، شعاع لبه سنبه ۶۰ ميليمتر در نظر گرفته شده و مقادير ضريب اصطكاك نيز با توجه به روابط پيشنهادي مرجع[۵] كه در جدول (۳) آورده شده است، انتخاب گرديده‌اند. اين مقادير با فرض اينكه پروفيل قالب با گريس-گرافيت آغشته باشد و سنبه بدون روانكار و به صورت خشك در نظر گرفته شود، پيشنهاد شده است [۵].

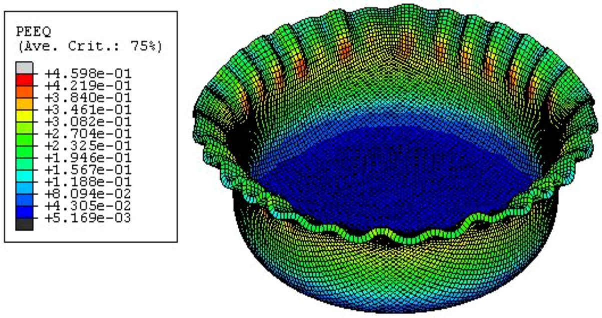
جدول (۳) : مقادير پيشنهادي براي ضريب اصطكاك[۵]

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

آنچه که درتحليل‌هاي مختلف مشاهده شد، اين است که عامل اصلي شکست در نسبتهاي کششهاي مختلف، خمش و واخمش ورق بر روي شعاع ماتريس مي‌باشد. براي نسبتهاي کشش بالا احتياج به شعاع ماتريس بزرگتر مي‌باشد. اما شعاع انحنا خيلي بزرگ تمايل به چروکيدگي را افزايش مي‌دهد، چون تا زماني که ورق در تماس با ورقگير است، چروکيدگي توسط نيروي ورقگير کنترل مي‌شود ولي به محض آنکه ورق از زير ورقگير خارج مي‌شود، چروکيدگي آغاز و در پايان منجر به خرابي قطعه مي‌گردد. اين مطلب در شکلهاي (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شكل (٦) : كنترل چروكيدگي بواسطه تماس ورق با ورقگير



شكل(۷) :خروج ورق از زير ورقگير و آغاز چروكيدگي

۳-۳- شبيه سازي کشش عميق درقالب تراکتريکس

استفاده از قالبهاي تراکتريکس اين امکان را مي‌دهد که فرايند کشش دريك پرس يك كاره وبدون استفاده از ورقگير با تناژ کمتر ونسبت کشش بزرگتر انجام گيرد . ازآنجا که پروفيل قالب تراکتريکس با تغيير نسبت کشش تغيير مي‌کند و طبق نظر شاوکي که اکيدا توصيه کرده براي هر نسبت کشش از قالب تراکتريکس همان کشش استفاده شود،[١٤] اين فرايند در چهار نسبت کشش متفاوت با پروفيلهاي متفاوت شبيه سازي گرديد. جدول (٤) مشخصات مدلهاي استفاده شده را نشان مي‌دهد. درتمامي مدلهاي شبيه سازي شده، مقدار اصطكاك قالب برابر۰/۰۲۸ و اصطکاك سنبه ۰/۱ فرض گرديده است. شعاع لبه سنبه نيز ۶۰ ميليمتر درنظر گرفته شده است.

جدول(٤) : مقادير مختلف نسبت كشش و وضعيت كشش درقالب تراكتريكس

وضعيت كشش	پروفيل قالب	نسبت كشش
پارگي	$258\,Ln\left(\frac{258+\sqrt{66564-x^2}}{x}\right)-\sqrt{66564-x^2}$	۱/۹
پارگي	$240\,Ln\left(\frac{240+\sqrt{57600-x^2}}{x}\right)-\sqrt{57600-x^2}$	۱/۸
موفق	$231\,Ln\left(\frac{231+\sqrt{53361-x^2}}{x}\right)-\sqrt{53361-x^2}$	۱/۷۵
موفق	$222\,Ln\left(\frac{222+\sqrt{49284-x^2}}{x}\right)-\sqrt{49284-x^2}$	۱/۷

همانگونه که در جدول (۴) نيز مشخص است، بيشترين نسبت کششي که مي‌توان ورق را باموفقيت کشيد، ۱/۷۵ است که از بزرگترين نسبت کشش در قالبهاي تخت بيشتر است.

۳-٤- شبيه سازي فرايند کشش عميق درقالب مخروطي

از آنجا که بيشتر امکان دسترسي به نسبتهاي کششي که با قالبهاي تراکتريکس بدست مي‌آيند، درقالب هاي مخروطي نيز وجود دارد، فرايند شبيه سازي در چهار نسبت کششي که در قالبهاي تراکتريکس درنظر گرفته شده بود، دوباره در قالب مخروطي شبيه سازي گرديد. شعاع لبه سنبه طبق جدول (۵) برابر۶۰ ميليمتر در نظر گرفته شد.

با توجه به ضخامت بالاي ورق، براي تعيين زاويه مخروطي مقادير بين ۳۰-۳۶ درجه انتخاب گرديد. طبق جدول (۱)، مقدار شعاع ناحيه گذر بايد ۶۰ ميليمتر انتخاب گردد.

جدول (۵) : مقادير مختلف نسبت كشش و وضعيت كشش درقالب مخروطي

وضعيت كشش	زاويه نيم مخروط(درجه)	نسبت كشش
پارگي	۱۸	۱/۹
پارگي	۱۸	۱/۸
موفق	۱۸	۱/۷۵
موفق	۱۸	۱/۷
پارگي	۱۵	۱/۹
پارگي	۱۵	۱/۸
موفق	۱۵	۱/۷۵
موفق	۱۵	۱/۷

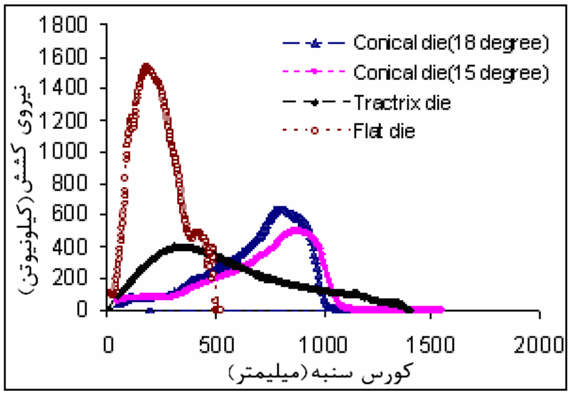
۴- مقايسه تغييرات نيرو و ضخامت درفرايند

کشش عميق درقالبهاي تخت ، مخروطي و تراکتريکس

درشکل هاي (۸) و(۹) ، نمودارهاي نيروي مورد نياز براي انجام فرايند کشش عميق، همچنين تغييرات ضخامت ظرف پس از انجام فرايند کشش، نشان داده شده‌اند.

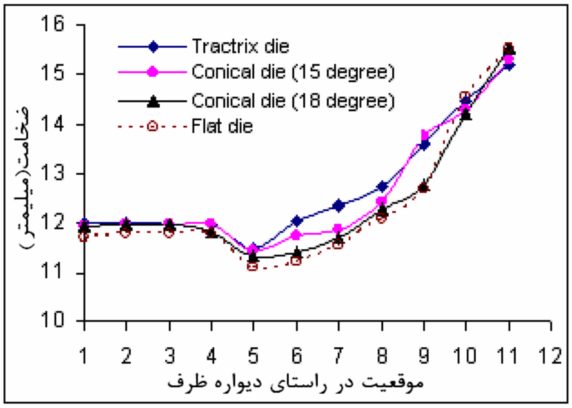
همانگونه که در شکل (۸) نيز مشخص است، بيشترين مقدار نيروي لازم براي انجام کشش در قالب تخت، نزديک ۱۴۶۰کيلو نيوتن مي‌باشد، درحاليکه اين مقدار در قالب مخروطي با نيم زاويه ۱۸ درجه نزديک ۶۴۳ کيلو نيوتن و با نيم زاويه ۱۵درجه نزديک ۶۰۴ کيلونيوتن و در قالب تراکتريکس نزديک به ۴۰۱ کيلو نيوتن است. يعني استفاده از قالب تراکتريکس، باعث مي‌شود که تناژ پرس مورد نياز براي انجام فرايند کشش در مقايسه با قالبهاي مخروطي و تخت، به ترتيب ۳۰% و۷۰% کاهش پيدا کند. ضمن آنکه استفاده از قالبهاي مخروطي وتراکتريکس، علاوه بر بالاتر بودن نسبت کشش، احتياج به يک پرس يک کاره دارد که درمقايسه با قالب تخت که به کمک پرس دو کاره انجام مي‌گيرد، از لحاظ اقتصادي مقرون به صرفه تر است.

نکته شايان توجه اين است که کشش در قالب مخروطي با نيم زاويه ۱۵ درجه مقدارنيروي بيشينه کمتري نسبت به کشش درقالب با نيم زاويه ۱۸ درجه دارد. علت اين تفاوت آن است که به نظر مي‌رسد درکشش درقالب مخروطي با نيم زاويه ۱۵ درجه، عمليات خمش ورق و نشستن ورق به طور کامل برروي قالب، زودتر انجام مي‌گيرد و بنابراين مقدار نيروي کمتري براي کشش احتياج خواهد بود.



شکل (۸) : منحني تغييرات نيروي مورد نياز براي کشش ورق در قالبهاي تخت ، مخروطي وتراکتريکس (نسبت کشش : ۱/۷)

در شکل (۹)، تغييرات ضخامت ظرف پس از انجام فرايند کشش، نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نيز مشخص است، بيشترين نازک شدگي در کف ظرف مربوط به قالب تخت و کمترين مقدار، مربوط به قالب تراکتريکس مي‌باشد. ضمن آنکه درهر سه نوع قالب، بيشترين نازک شوندگي دربالاي شعاع سنبه صورت مي‌گيرد. دوباره ضخامت درراستاي ديواره ظرف افزايش پيدا مي‌کند تا در لبه ظرف که بيشترين افزايش ضخامت، درآنجا ديده مي‌شود. بيشترين مقدار ضخامت در لب ظرفي ديده مي‌شود که در قالب تخت کشيده شده و کمترين افزايش ضخامت نيز مربوط به قالب تراکتريکس مي‌باشد. ضمن آنکه روند تغيرات ضخامت در راستاي ديواره ظرف درقالب تخت نسبت به قالبهاي مخروطي و تراکتريکس، نامنظم‌تراست. اين مقدار افزايش ضخامت اضافي در کشش در قالب تخت، باعث افزايش ضخامت و نيرو در فرايندهاي بعدي، يعني باز کشش و اتوکاري مي‌گردد.



شکل (۹) : منحني تغييرات ضخامت براي کشش ورق در قالبهاي تخت، مخروطي وتراکتريکس (نسبت کشش : ۱/۷)

۵- نتايج

دراين مقاله، فرايند کشش عميق به کمک روش اجزاء محدود در سه نوع قالب تخت، مخروطي و تراکتريکس شبيه سازي گرديد و پارامترهاي نسبت کشش، مقادير بيشينه نيرو و تغييرات ضخامت ظرف پس از کشش، استخراج و مورد مقايسه قرار گرفت. نتايج نشان داد که :

۱- بيشترين نسبت کشش درقالبهاي مخروطي و تراکتريکس بدست مي‌آيد.

۲- بيشترين مقدار نيروي لازم براي انجام فرايند کشش، در قالب تراکتريکس به ترتيب۳۰% و۷۰% نيروي لازم براي انجام کشش در قالبهاي تخت و مخروطي است.

۳- بيشترين کاهش ضخامت در کف و افزايش ضخامت ديواره ظرف، مربوط به کشش در قالب تخت وکمترين مقدار مربوط به قالب تراکتريکس مي‌باشد.

۶ - مراجع

[۱] F.Saniee, M.H. Montazeran, *“A comparative estimation of the forming load in the deep drawing process”*, J.Mat.Pro.Tech, pp555-561, 2003.

[۲] S.Natarajan, S. Venkataswamy, P. Bagavathiperumal *“A note on deep drawing : numerical simulation and experimental validation”* J.Mat.Pro.Tech, pp64-67, 2002.

[۳] Y.Q.Liu, J.C.Wang, *“The numerical analyses of anisotropic sheet metals in deep drawing process”*, J.Mat.Pro.Tech, pp45-52, 2002.

[۴] D.M.Woo, *“The analysis of axisymmetric forming of sheet metal and the hydrostatic bulging process”*. Int.J.Mech.Sci, pp296-303, 1964.

[۵] M.M.Al Makky, D.M.Woo, *“Deep drawing through tractrix dies* “, Int.J.Mech.Sci, pp 467-480, 1980

[۶] Z.Kampus, K.Kuzman, *“Experimental and Numerical analysis of deep drawing of relatively thick sheet metal”* J.Mater.Process.Tech, pp133-140, 1992.

[۷] 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

[۸] 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

[۹] M.Farzin, MS Thesis, *"Deep drawing without Blank holder”*, UMIST, UK, 1986.

[۱۰] 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.

[۱۱] B.Fogg, W.H.Busby, *“Tooling for the deep drawing of high speed steel and Tool steel”*, University of Salford Internal Research, 1968.

۷ - زیرنویس ها

---

[1] Ironing
[2] Spinning
[3] Compress Natural Gas
[4] Tractrix Dies
[5] Dynamic Explicit
[6] Large deformation

[۱۲] Wagner, R. H., and Chenot, J. L, *“Metal Forming Analysis”*, Cambridge University Press, 2001.

[۱۳] M.Colgan, J.Monaghan, *“Deep drawing Process: Analysis and Experimental”* J.Mat.Pro.Tech, pp35-41, 2003.

[۱۴] S.A.Shawki,*” The Laws of Deep drawing without Blank holder”*, Mitt.Forschunges Bletchverarbeitung, Vol 18, pp 229-237, 1961.