فرایند کشش عمیق استوانههای با نسبت کشش خیلی بالا

چکیدہ

در این مقاله، فرآیند کشش عمیق استوانههای با نسبت کشش حدود ۹ با استفاده از روش المان محدود و آزمایشهای تجربی انجام گرفته است. کشش استوانههای با نسبت کشش بالا بدون عملیات آنیل در وسط فرآیند بسیار مشکل است و از طرفی اضافه کردن عملیات آنیل به فرای ند تولید این قطعات، باعث افزایش هزینه و زمان تولید میشود. در این پژوهش استوانهای با نسبت کشش حدود ۹ از بلانک اولیه به ضخامت ۰۶ و قطر ۳۶ میلی متر با وجود آنیل حرارتی در مراحل محدودی از فرآیند، تولید شده است. نسبت کشش مدود ۹ از بلانک اولیه به کشش با استفاده از روش المان محدود تعیین و سپس درستی نتایج با آزمایشهای تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند کشش عمیق با استفاده از نرمافزار Mal معلی متر با وجود آنیل حرارتی در مراحل محدودی از فرآیند، تولید شده است. نسبت کشش برای مراحل مختلف میلی با استفاده از روش المان محدود تعیین و سپس درستی نتایج با آزمایشهای تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند کشش عمیق میلی متر از بلانک به قطر ۳۶ میلی متر انجام گرفته است. تأثیر عوامل اساسی فرآیند با استفاده از روش المان محدود و آزمایشهای تجربی مورد تجربی مقایسه شده است. مقایسه نتایج مطابقت خوبی را نشان می دهد. توزیع ضخامت قطعات حاصل ازروش المان محدود و آزمایشهای تجربی در تعدادی از مراحل کشش مقایسه و بررسی شده است.

واژدهای کلیدی : کشش عمیق استوانهای، نسبت کشش بالا، جنس برنج، المان محدود، آزمایشهای تجربی

مقدمه

کشش عمیق قطعات استوانهای از دیرباز به دلیل کاربردهای زیاد مورد توجه پژوهشگران و صنعتگران بوده است. فرآیند کشش عمیق قطعات استوانهای با نسبت کشش بالا به دلیل کار سختیهای به وجود آمده در قطعات در حین مراحل ابتدایی کشش، بدون عملیات آنیل کردن امکان پذیر نیست. از طرفی به دلیل کاربردهای خاص این قطعات در صنایع نظامی و صنایع مختلف، بررسی فرایند کشش عمیق قطعات استوانهای با نسبت کشش بسیار بالا مورد توجه محققان زیادی بوده است. تلاشهایی توسط Wan و همکارانش برای رسیدن به نسبت حد نهایی کشش قطعات مخروطی با استفاده از روش المان محدود انجام شد[۱]. Seung Ho و همكارانش با استفاده از روش المان محدود معکوس، مطالعاتی در ارتباط با کشش استوانههای با نسبت کشش بالا انجام دادهاند[٢]. Se Ho Kim و همكارانش نيز كشش عميق قطعات مستطیلی چهار مرحله ای را به کمک روش المان محدود انجام دادهاند [۳]. پژوهش دیگری با هدف ساخت

قطعات كشش عميق شش مرحلهاي با روش المان محدود توسط Se-Ho Kim و همكارانش انجام گرفت [۴]. تلاشها برای رسیدن به نسبتهای کشش بالاتر در فرآیند کشش عمیق قطعات توسط Ku و همکارانش انجام گرفت. آنها موفق شدند به نسبت کشش حدود ۴/۹۷ در کشش عميق قطعات (نسبت كشش به نسبت بالا) دست يابند [۵]. در تحقیق دیگری Tiruvarudchelvan به نسبت کشش ۳ با استفاده از بالشتک از جنس اورتان دست یافته است [8]. در این پژوهش، فرآیند کشش عمیق استوانه های با نسبت کشش خیلی بالا (حدود ۹) در ۹ مرحله كشش عميق، ابتدا با استفاده از روش المان محدود شبیهسازی شده و سپس آزمایشهای تجربی با هدف ساخت استوانهای با نسبت کشش حدود۹، قطر ۴ میلیمتر و ارتفاع حدود ۲۰ میلیمتر از بلانک اولیه به قطر ۳۶ میلیمتر با استفاده از نتایج المان محدود انجام شده است. عوامل اساسى فرآيند شامل كليرانس قالب، ضريب اصطکاک، شعاع لبه سنبه، شعاع لبه ماتریس، نسبت D/t و

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۴۰۲۳ ، فاکس : ۸۸۰۱۳۰۲۹ ، Email: <u>bgivi@ut.ac.ir</u>

نیروی ورق گیر بررسی شد و حد نهایی نسبت کشش برای هر یک از مراحل تعیین شده است. شکل (۱) قالب عمومی فرآیند کشش و اجزای آن را نشان میدهد.



شکل ۱: اجزای اصلی قالب فرآیند کشش عمیق.

المان محدود

در این تحقیق شبیهسازی فرآیند شکلدهی استوانههای با نسبت کشش خیلی بالا با استفاده از نرمافزار ABAQUS انجام شده است. در تحلیل مدل ساختهشده، به دلیل مسائل مربوط به واگرایی روش ضمنی از روش حل صریح استفاده شده است. مدل به شکل دوبعدی هممحور کاست. پس از غلبه بر اثر اندازه مش، از تعداد ۲۴ المان دو بعدی پوستهای در مدلسازی استفاده شده است. خواص مکانیکی بلانک از آزمای ش کشش ورق در سه جهت نوردی حاصل و در جدول (۱) آمده است. ضریب اصطکاک، مدول یانگ و چگالی نیز در جدول (۱) نشان داده شده است. قطر بلانک اولیه ۳۶ میلیمتر و ضخامت آن ۰.۶ میلیمتر است(D/t =60). شکل (۲) نمونههای حاصل از آزمای ش کشش را نشان میدهد. فرآیند در ۹ مرحله مدلسازی شده است. نیروی ورق گیر بهینه در مرحله اول از فرآیند با روش سعی و خطا در نرمافزار المان محدود برای رسیدن به بهترین توزيع ضخامت قطعه و ابعاد انتخاب می شود. در مرحله دوم و مراحل بعدی به دلیل کوچک بودن قطعه و کم بودن نسبت D/t امکان کشش موفق در صورت استفاده از ورق گیر وجود نداشت و در این مراحل (از مرحله دوم به بعد) نیازی به استفاده از ورق گیر نبود. در صورتی که از ورق گیر استفاده می شد، نسبت کشش مراحل بعدی به طور فزایندهای کم میشد و پارگی اتفاق میافتاد. بنابراین در مرحله دوم و مراحل بعد از آن، عملیات کشش بدون

استفاده از ورق گیر انجام گرفت. سنبه در هر مرحله به اندازهای پایین آورده میشود که قطعه استوانهای بدون فلنج حاصل شود. لقی قالبها در حدود ۲.۰ ضخامت ورق در نظر گرفته شده است[۷]. نسبت کشش در مراحل مختلف با استفاده از روش المان محدود برای ۹ مرحله کشش حاصل شد که در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۲) مشاهده میشود که نسبت کشش در مراحل اولیه کمتر از حد تعیین شده در کارهای پیشین است[۲۰۳] و همین کم بودن نسبت کشش در مراحل اولیه، امکان کشش عمیق ۹ مرحلهای را در این

أزماىشهاى تجربى

ورق مورد استفاده در این پژوهش از جنس آلیاژ مس و روی (برنج) با درصد عناصر داده شده در جدول (۳) است. برای تعیین عناصر موجود از آزمایش کوانتومتری استفاده شده است. اعداد داده شده در جدول، بر حسب درصد وزنی عناصر است. شکل (۳) نمایی از قالبهای استفاده شده برای کشش این قطعات را نشان میدهد. عوامل اصلى فرآيند شامل لقى قالبها، شعاع لبه ماتریسها، شعاع لبه سنبهها و ضریب اصطکاک هستند. نیروی ورق گیر در مرحله اول کشش توسط یک صفحه روی بلانک تأمین شد و مقدار نیروی ورق گیر مقدار بهینه حاصل از المان محدود را داشت . برای هممحور کردن قطعات از راهنماهایی در اطراف سنبه در شروع کشش استفاده می شود. برای اعمال نیروی کشش از یک پرس استاندارد هیدرولیک ۱۰۰ تن استفاده شده است. مقادیر شعاع لبه سنبه و ماتریس و کلیرانس نیز بر اساس نتایج بهینه حاصل از شبیهسازی المان محدود انتخاب شده است. عملیات کشش در ۹ مرحله برای ساخت قطعه با نسبت کشش ۹ در یک شرکت صنعتی انجام شده است. اندازه گیری توزیع ضخامت با استفاده از روش عکسبرداری سهبعدی انجام شده است. در طی سالهای اخیر، فناوریهای اندازه گیری دیجیتال در فرمدهی ورقهای فلزی و طراحی و ساخت ابزار آنها هر روز بیشتر و بیشتر در صنایع به کار برده می شود. سیستم اندازه گیری اپتیک استفاده شده در این پژوهش ATOS نام دارد که تأمين كننده اطلاعات كامل هندسي قطعات به وسيله عکسبرداری و ایجاد مقطعهای مورد نظر را دارد و پس از

| | | | | - | | | |
|-----------------------|----------|----------|-----------|---------|-----------|-------------|--|
| Mechanical properties | | | | | | | |
| | | | | | | parameters | |
| % | Ultimate | Yield | Initial | Young | Specimen | Friction | |
| Elongation | strength | strength | dimension | modulus | Direction | Coefficient | |
| | (MPa) | (MPa) | (mm) | (GPa) | (from | (μ) | |
| | | | | | rolling) | | |
| 38.5 | 240 | 102.6 | 0.6x12.5 | 1.5 | °0 | 0.1 | |
| 42.9 | 245/8 | 110.3 | 0.6x12.54 | 1.5 | °45 | Density | |
| | | | | | | (Kg/m^3) | |
| 35.6 | 281.6 | 127.9 | 0.6x12.58 | 1.5 | °90 | 8000 | |

جدول ۱ : خواص مکانیکی جنس ورق .



شکل ۲ : نمونه های حاصل از آزمایش کشش.

| محدود در مراحل مختلف (β=D/d). | حاصله از روش المان | ل ۲: نسبتهای کشش | جدوا |
|-------------------------------|--------------------|------------------|------|
|-------------------------------|--------------------|------------------|------|

| Drawing stage | β1 | β2 | β3 | β4 | β5 | β6 | β7 | β8 | β9 |
|---------------|-----|------|------|------|------|-------|------|-----|------|
| Drawing ratio | 2.1 | 1.41 | 1.35 | 1.34 | 1.21 | 1.195 | 1.13 | 1.1 | 1.09 |

| Cu | Zn | Sn | Mn | Fe |
|------|-------|------|-------|------|
| Base | 36.5 | 0.05 | 0.001 | 0.05 |
| Ni | Si | Al | Ag | Со |
| 0.03 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

جدول ۳ : عناصر موجود در جنس ماده اوليه.



شکل ۳: شکل قالبهای مورد استفاده در فرآیند.

(1)

تبدیل این عکسها به فایلهای مورد نظر، میتوان به وسیله نرمافزارهای مرتبط با سیستمهای CAD/CAM انواع اقدامهای لازم از جمله ایجاد سطح و یا اندازه گیری نقاط مختلف قطعه را انجام داد.

بحث و بررسی نتایج

جدول(۲) نسبتهای کشش حاصل از روش المان محدود را برای مراحل اول تا نهم کشش نشان میدهد. نسبت کشش، همان نسبت قطر اولیه به قطر قطعه حاصل از هر مرحله است:

 $\beta = D/d$

که در آن D قطر بلانک (در مرحله ۱) و قطر قطعه (در مراحل بعدی) و d قطر قطعه حاصل از مرحله کشش است. شکل (۴) و (۵) قطعات حاصل از فرآیندهای کشش عمیق حاصل از مدلسازی المان محدود و آزمایشهای تجربی را نشان میدهند. شکل (۵) نشان میدهد که امکان ساخت قطعات با نسبت کشش بسیار بالا امکان پذیر است. در این تحقیق قطعه استوانهای با نسبت کشش ۹ به قطر ۴ میلیمتر و طول ۲۰ میلیمتر در ۹ مرحله کشش ساخته شده است. نتایج نشان میدهند که نیروی ورق گیر برای مرحله اول مقدار بهینهای با هدف رسیدن به بهترین قطعه از نظر توزیع ضخامت و ابعاد داشت، ولی در مراحل دوم و مراحل پس از آن، نیروی ورق گیر مقدار صفر را داشت و با افزودن نیروی ورق گیر در این مراحل، امکان كشش موفق وجود ندارد. يكى از نتايج مهم اين تحقيق، رسیدن به تأثیر رابطه بین نسبتهای کشش در مراحل مختلف فرآيند است . اگر اين رابطه رعايت نشود، امكان کشش موفق وجود ندارد. رابطه به این معنا است که در صورت استفاده از نسبتهای کشش ارائهشده در پژوهشهای پیشین برای مراحل اولیه به دلایل مختلف مانند کارسختی و توزیع نامناسب ضخامت در قطعات حاصل از این مراحل، امکان کشش قطعات با نسبت کشش بسيار بالا وجود ندارد و به همين دليل مقادير نسبت کشش در مراحل اولیه کمتر از حالت معمول است و استراتژی انتخاب نسبت کشش در همه مراحل اهمیت ویژهای دارد.



شکل ۴ : قطعات حاصل از المان محدود.



شکل ۵ : قطعات ساخته شده در مراحل مختلف کشش حاصل از آزمایشهای تجربی.

بررسى توزيع ضخامت

اندازه گیری توزیع ضخامت قطعات ساختهشده در تعدادی از مراحل فرآیند، با استفاده از تجهیزات اندازه گیری اپتیک استفاده شده است و نتایج حاصل از بررسی توزیع ضخامت در این قطعات، با نتایج المان محدود مقایسه شده است (شکلهای ۲، ۸ و ۹). شکل (۶) توزيع ضخامت قطعات ساخته شده در مراحل دوم، چهارم و نهم را نشان میدهد. شکلهای (۷)، (۸) و (۹) توزیع ضخامت حاصل در المان محدود و مقایسه آنها را با نتایج تجربی در مراحل ذکرشده را نشان میدهد. مقایسه نتایج خطا در حدود ۴.۲ درصد را نشان میدهند که از دیدگاه مهندسی قابل قبول است. شکل (۱۰) نمودارهای توزیع ضخامت در ۹ مرحله کشش حاصل از نتایج المان محدود را نشان میدهد. همان گونه که در شکلها ملاحظه می شود، حداکثر تغییرات ضخامت ۴۰درصد ضخامت اولیه ورق است که در مقایسه با مقدار اندازه گیری شده تطابق خوبی را نشان میدهد.



شکل ۶: توزیع ضخامت قطعات ساخته شده (مراحل دوم، چهارم و نهم).



شکل ۷: توزیع ضخامت در مرحله دوم کشش ومقایسه آن با نتایج تجربی.





شکل ۸: توزیع ضخامت در مرحله چهارم کشش و مقایسه آن با نتایج تجربی.

شکل ۹: توزیع ضخامت در مرحله نهم کشش و مقایسه آن با نتایج تجربی.



نتيجهگيرى

در این پژوهش فناوری تولید قطعات استوانهای برنجی با نسبت کشش بسیار بالا (حدود۹) با کمک روش المان محدود و آزمایشهای تجربی ایجاد شده است که در مقایسه با کارهای سایر محققان در دیگر کشورها نیز در این ابعاد، نسبت کشش بالایی است. ماکزیمم نسبت کشش در کارهای قبلی حدود ۴/۹۷ بوده است[۵]. در این مقاله، استوانهای به قطر ۴میلیمتر و طول ۷۰میلیمتر از ورق اولیه به ضخامت ۶/۰ و قطر ۳۶ میلیمتر در ۹ مرحله مراحل مختلف کشش برای جنس و ابعاد ذکرشده در متن ارائه شده است، بنابراین قابل استفاده برای مراکز مختلف صنعتی و دفاعی است و از سعی و خطاهای احتمالی جلوگیری میکند. یکی از مسایلی که در حصول به نسبت کشش بسیار بالا در این پژوهش مطرح بوده، رابطه بین

مراجع

- 1- Min Wan, Yu-Ying Yang, Sho Ben Li, (2001). "Determination of the limiting drawing coefficient in the deep drawing of conical cups." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 114, PP. 114-117.
- 2- Seung Ho Kim, Se Ho Kim, Hoon Huh, (2001). "Finite element inverse analysis for the design of intermediate dies in multi stage deep drawing processes with larg aspect ratio." *Journal of Material Processing Technology* Vol. 113, PP. 779-785.
- 3- Se Ho Kim, Seung Ho Kim, Hoon Huh, (2001). "Design modification in a multi stage rectangular cup drawing processes with a larg aspect ratio by an elasto- plastic finite element analysis." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 113, PP.766-773.
- 4- Se-Ho Kim, Seung-Ho Kim, Hoon Huh, (2002). "Tool design in a multi-stage drawing and ironing process of a rectangular cup with a large aspect ratio using finite element analysis." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, PP.863–875.
- 5- T.W. Ku, B.K. Ha, W.J. Song, B.S. Kang, S.M. Hwang, (2002). "Finite element analysis of multi-stage deep drawing process for high-precision rectangular case with extreme aspect ratio." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130–131, PP. 128–134.
- 6- S. Tiruvarudchelvan, (2002). "Direct redrawing of cup using an annular urethane pad." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 123, PP. 71-74.
- 7- Metals HB Ninth Edition, V14.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Implicit

2 - Explicit

3 - Axisymmetric

نسبتهای کشش در همه مراحل شکلدهی بوده است که نسبت کشش در مراحل ابتدایی کمتر از حد معمول

انتخاب می شود که امکان افزایش نسبت کشش کل را

فراهم می کند. در این پژوهش با استفاده از نسبتهای

كشش بهينه حاصل از روش المان محدود، قالبهاى

فرآيند در مراحل مختلف طراحي و ساخته شدند و

آزمایشهای تجربی بر اساس نتایج المان محدود انجام

گرفت. مقایسه نتایج، تطابق بسیار نزدیکی داشتند.

حداکثر خطا با روش المان محدود در حدود ۴/۲ درصد

در پایان، از همکاری شرکت مهندسی شتاب گامان و

بوده است که از دیدگاه مهندسی قابل قبول است.

اساتید راهنما کمال تشکر و قدردانی می شود.

تقدیر و تشکر