مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، اسفند ۱۴۰۲، دوره ۱۰، شماره ۱۲، ص‌ص. ۶۶- ۷۵

ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

10.22034/IJME.2024.440510.1924

بررسی تجربی و عددی تاثیر لقی قالب بر ویژگی‌های برش در فرایند برش دقیق یک قطعه با هندسه پیچیده از جنس فولاد CK15

امین صفی جهانشاهی[۱]، مجید الیاسی[۲]، فرزاد احمدی خطیر[۳*]

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، کرمان، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: f.ahmadi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۱ بهمن ۱۴۰۲

پذیرش: ۲ فروردین ۱۴۰۳

کلیدواژگان:

برش دقیق

لقی

شبیه‌سازی المان محدود

کیفیت سطح

چکیده

در این مقاله، تاثیر مقدار لقی قالب بر کیفیت لبه برش در فرایند برش دقیق یک قطعه با هندسه پیچیده از جنس فولاد CK15 مورد بررسی قرار گرفته است. فرایند برش دقیق با استفاده از نرم‌افزار DEFORM 3D به روش المان محدود در حالت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده و نتایج به‌دست آمده با نتایج تجربی مقایسه شد. نیروی برشی، توزیع تنش و کرنش، ابعاد منطقه شعاعی، کیفیت سطح و دقت ابعادی قطعه‌کار به عنوان معیارهای برش دقیق در نظر گرفته شدند. با بررسی نتایج مشخص شد که با افزایش لقی قالب، گستره کرنش و تنش معادل بر روی ماده خام افزایش یافته و قسمت بیشتری از ماده در فضای لقی دچار تغییرشکل پلاستیک می‌گردد؛ بنابراین با کاهش لقی این نواحی متمرکزتر شده، در نتیجه کرنش خط برش کاهش یافته و لبه برش از دقت و کیفیت بالاتری برخوردار می‌شود. همچنین با افزایش نیروی سنبه، پدیده بشقابی شدن و عیوب سطحی قطعه نهایی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش لقی قالب از مقدار ۰/۴ تا ۰/۶٪ ضخامت ورق، مقدار تنش وارد شده بر خط جدایش ورق به میزان ۲۵٪ و میانگین کرنش مواد در محیط اطراف خط برش در حدود ۸۲٪ افزایش یافته است.

Experimental and numerical investigation of the effect of die clearance on the cutting characteristics in the fine blanking of a complex part made of CK15 steel

Amin Safi Jahanshahi[1], Majid Elyasi[2], Farzad Ahmadi Khatir[3*]

1- Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

* Corresponding Author's Email: f.ahmadi@semnan.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 31 January 2024

Accepted: 21 March 2024

Keywords:

Fine Blanking

Clearance

Finite Element Simulation

Surface Quality

Abstract

This paper investigates the effect of die clearance on the quality of the cutting edge in the fine blanking process of a part with a complex geometry made of CK15 steel. The fine blanking process was simulated using the finite element method through DEFORM 3D software and the results were compared with the experimental results. Cutting force, distribution of stress and strain, dimensions of the radial area, surface quality, and dimensional accuracy of the workpiece were considered as fine blanking criteria. By examining the results, it was found that with increasing the die clearance, the range of equivalent strain and stress on the raw material increases and plastic deformation occurs in the material at the clearance zone. Therefore, by reducing the clearance, these areas become more concentrated, as a result, the strain of the cutting line is reduced and the cutting edge has higher precision and quality. Also, by increasing the punch force, the phenomenon of non-flatness and surface defects of the final part reduces. The results have shown that by increasing die clearance from 0.4 to 0.6 sheet thickness, the stress of the sheet increased to 25%, and the average strain increased about 82%.

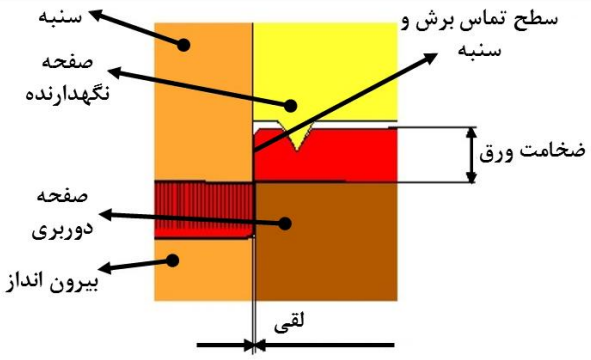
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Safi Jahanshahi A, Elyasi M, Ahmadi Khatir F. Experimental and numerical investigation of the effect of die clearance on the cutting characteristics in the fine blanking of a complex part made of CK15 steel. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2024 Feb 20;10(12):66-75. doi: 10.22034/IJME.2024.440510.1924 [In Persian]

۱– مقدمه

امروزه در صنایع خودروسازی و هوافضا از فرایندهایی استفاده می‌شود که محصول نهایی را در یک مرحله تولید و از هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌کنند. فرایند برش دقیق به دلیل تولید یک مرحله‌ای قطعات با لبه‌های برش خورده با صافی سطح مناسب، به‌عنوان یکی از فرایندهای مهم شکل‌دهی شناخته می‌شود [۱]. فرایند دوربری دقیق یک فرایند ورق‌کاری، به صورت ترکیبی از فرایندهای پرس‌کاری و اکستروژن می‌باشد. قطعات تولید شده به روش دوربری دقیق دارای سطوح تمیز و لبه‌های قائم می‌باشند [۲]. به‌طور کلی برای دوربری دقیق یک پرس سه بازویی لازم است که نیروی دوربری، نیروی زبانه و نیروی سنبه مخالف را به طور جداگانه اعمال نماید. طی عملیات دوربری دقیق، ماده به وسیله رینگ V شکل و سنبه مخالف کاملاً مهار می‌شود [۳]. به‌طور کلی، در دوربری دقیق میزان لقی در حدود ۵ الی ۱۰٪ ضخامت ورق بوده که در تلرانس دقیق‌تر تا حدود ۰/۵ الی ۱٪ ضخامت ماده کاهش می‌یابد [۴]. شماتیکی از اجزای فرایند دوربری دقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ قسمت‌های مختلف قالب دوربری دقیق

دقت ابعادی قطعات در روش برش دقیق به کیفیت ابزار دوربری، ضخامت ورق، تنظیم بودن ماشین، شرایط روان‌کاری، دقت اجزای قالب و به جنس ماده بستگی دارد [۲]. مهمترین عیوبی که ممکن است در فرایند برش دقیق بر روی شکل قطعه نهایی صورت پذیرد عبارت است از بشقابی شدن و شکل‌گیری منطقه شعاعی [۳]. منطقه شعاعی قسمت گرد شده از لبه پایینی قطعه‌کار می‌باشد که در زمان جدا شدن قطعه‌کار از ورق اولیه در فرایند برش دقیق به وجود می‌آید. در تولید قطعات به روش برش دقیق، تغیرشکل و در نهایت جدایش در یک ناحیه کوچک (لقی قالب) رخ می‌دهد. بنابراین وضعیت تنش و کرنش در چنین شرایطی بسیار پیچیده بوده و به بررسی بیشتری نیاز دارد. از مهمترین پارامترهای فرایند برش دقیق می‌توان به لقی نامناسب، فشار ناکافی بر روی ورق‌گیر و نیروی زبانه اشاره نمود که منجر به ایجاد شرایط نامطلوب و نهایتاً ایجاد ترک و شکست در قطعه خواهد شد [۴-۶].

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه برش دقیق ورق انجام شده است. کواک و همکاران [۷] در با انجام آزمایش‌های تجربی دریافتند که ارتفاع و موقعیت رینگ V شکل و لقی تاثیر بسزایی در کیفیت قطعه تولیدی دارد. نتایج آنها نشان داد که با افزایش لقی قالب، نوار برشی ماده به‌طور وسیعی گسترش یافته که سبب ایجاد ناحیه شکست وسیع در لبه برشی می‌شود. همچنین آن‌ها دریافتند که عمق و پهنای انحنای لبه برش خورده نیز افزایش می‌یابد. با کاهش لقی، عمق ناحیه شکست کاهش یافته و عمق ناحیه برش افزایش می‌یابد، بنابراین کیفیت لبه قطعات برش خورده افزایش می‌یابد. کاندو و سوزوکی [۸] دو روش دوربری دقیق و دوربری با سنبه مخالف را مورد بررسی قرار دادند. در حالت دوربری با سنبه مخالف، دندانه ورق‌گیر V شکل باعث بشقابی شدن ورق قبل از برش می‌شود. در این حالت، پدیده بشقابی شدن ورق از حالت مقعر به محدب در راستای نفوذ ورق‌گیر تغییر می‌کند. علاوه بر این، مقدار بشقابی شدن در طول فرایند دوربری بر حسب میزان نیروهای برش تغییر خواهد کرد. این تغییرات بشقابی شدن نتایج متفاوتی بر روی نوارهای برش و در نتیجه کیفیت سطح خواهد داشت. فان و لی [۹] میزان عیوب قطعه‌کار از جنس فولاد AISI1045 و فولاد AISI1025 را در فرایند برش دقیق با لقی منفی بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان آسیب در فرایند برش دقیق کمتر از برش معمولی بوده و خاصیت شکل‌پذیری و کیفیت محصول در این روش بهتر می‌باشد. هاتاناکا و همکاران [۱۰] رابطه‌ای برای محاسبه عمق نفوذ و ارتفاع منطقه برش بر اساس ضخامت، جنس و توان کارسختی ماده به‌دست آوردند. آنها به این نتیجه رسیدند که

با افزایش توان کارسختی طول منطقه برش کاهش و ارتفاع منطقه شعاعی افزایش می‌یابد. همچنین شکل‌گیری منطقه شعاعی و بشقابی شدن با نفوذ سنبه به میزان تقریبا ۴۰٪ ضخامت ورق ایجاد می‌گردد. چن و همکاران [۱۱] فرایند برش دقیق را با روش اجزای محدود و مدل الاستوپلاستیک شبیه‌سازی کردند. آن‌ها دو روش ساده و شکل‌دهی الاستوپلاستیک را برای شبیه‌سازی فرایند مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند که هر دو روش می‌تواند با استفاده از تکنیک المان‌بندی مجدد مورد استفاده قرار گیرد. تیپراکماس و همکاران [۱۲، ۱۳] شکل و موقعیت رینگ V شکل در فرایند دوربری دقیق را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتفاع، موقعیت و زوایای رینگ V شکل تاثیرات مهمی در فرایند دوربری دقیق دارند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که زمانی که ارتفاع رینگ از ۰/۵ به ۰/۸ میلی‌متر می‌رسد، صافی سطح لبه‌های برش در قطعه‌کار بهبود می‌یابد. در حالتی که فاصله رینگ V شکل نسبت به لبه برش تغییر پیدا کند، صافی سطوح برش در قطعه افزایش یافته و رشد ترک در قطعه کاهش می‌یابد. همچنین تاثیر موقعیت و ارتفاع رینگ نسبت به زوایای رینگ V شکل بر روی صافی سطح بیشتر است. مائو و همکاران [۱۴] فرایند برش دقیق را با استفاده از شبیه‌سازی المان محدود و روش تجربی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که به جای رینگ V شکل درون قالب، می‌توان از یک‌سری برآمدگی نقطه‌ای شکل درون قالب استفاده کرد. ژائو و همکاران [۱۵] با بررسی رفتار فولاد DP600 در حین فرایند برش دقیق به این نتیجه رسیدند که آسیب‌های ناشی از برش در حین فرایند، تاثیر مستقیم بر روی نیروی برش نهایی در قطعه‌کار دارد. الیاسی و دایی‌زاده [۱۶، ۱۷] به بررسی اثر ضخامت و شکل هندسی قطعه نهایی با مقدار نیروی برشی معین پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش ضخامت و پیچیدگی قطعه‌کار نیروی مورد نیاز برش دقیق را به شدت افزایش می‌دهد. الیاسی و همکاران [۱۸] تاثیر لقی قالب را در فرایند شکل‌دهی صفحات پیل سوختی نیز بررسی کردند و اثرات آن را در نحوه شکل‌گیری عمق کانال‌ها نشان دادند. جعفر و همکاران [۱۹] تاثیرات لقی زاویه‌ای دیواره قالب سنبه را بر کیفیت سوراخ ورق فولادی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که برای ایجاد سوراخ‌هایی با کیفیت و افزایش طول عمر ابزار، در طراحی قالب‌های پانچ، فاصله زاویه‌ای ۰,۷۵ درجه در نظر گرفته شود. آکیورک و همکاران [۲۰] لقی و سختی قالب سنبه را بر روی سایش ابزار بررسی نمودند. لقی‌های قالب برش ۳، ۵ و ۸ درصد ضخامت ورق را مطالعه نموده و نتایج نشان داد که صافی لبه برشی به شدت به لقی وابسته است.

ورق فولادی CK15 از نوع فولادهای ضد سایش بوده و همچنین دارای قابلیت آب‌کاری بسیار محدودی است. این فولاد جهت ساخت بسیاری از قطعات صنعتی کاربرد داشته و در صنایع خودروسازی بسیار پرمصرف می باشد. از جمله خصوصیات این نوع فولاد می‌توان به برخورداری از استحکام و سختی‌پذیری متوسط، مقاومت سایشی خوب و مقاومت تنشی برش خیلی خوب اشاره نمود که سبب شده از آن برای ساخت قطعات کوچک ماشین آلات تحت سایش استفاده شود. با بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه برش دقیق ورق‌های فلزی، تحقیقی در ارتباط با تاثیر لقی قالب بر روی وضعیت تنش و کرنش ماده، کیفیت سطح و دقت ابعادی قطعه نهایی و همچنین ناحیه شعاعی و نیروی برش در حین فرایند برش دقیق ورق CK15 یافت نشد. در این مقاله، با انجام آزمایش‌های تجربی و همچنین شبیه‌سازی اجزای محدود با استفاده از نرم‌افزار DEFORM 3D، فرایند برش دقیق یک قطعه صنعتی با هندسه پیچیده از جنس فولاد CK15 بررسی خواهد شد. تاثیر لقی قالب بر روی ویژگی‌های برش از جمله کیفیت سطح، دقت ابعادی و نیروی برش ارزیابی خواهد شد.

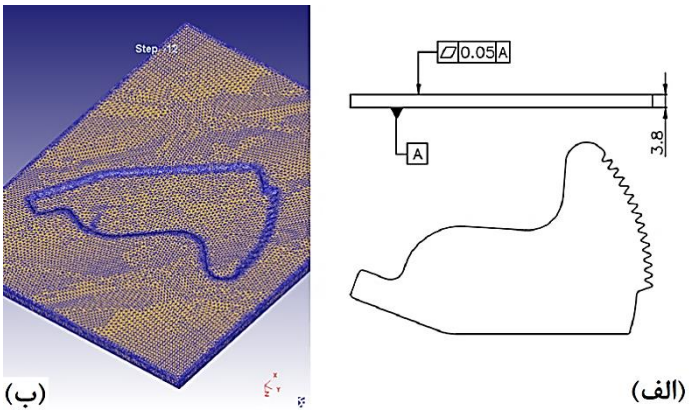
۲- روابط حاکم و شبیه‌سازی فرایند

مهم‌ترین مساله در حل المان محدود فرایندهای برش، بررسی اصولی مکانیزم شکست و روابط مربوط به آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق از مدل آسیب کاکرافت-لاتهام استفاده شده که یکی از مناسب‌ترین مدل‌های موجود در شبیه‌سازی فرایند برش دقیق می‌باشد. این مدل آسیب طبق رابطه ۱ تعریف می‌شود که در آن Dcr، σ_1 و ε_f به ترتیب مقدار آسیب کاکرافت-لاتهام، بیشینه تنش اصلی و کرنش موثر بحرانی می‌باشند [۲۱]. آسیب با این تعریف از جنس انرژی خواهد بود ولی با بی‌بعد کردن بیشینه تنش اصلی به کمک تنش معادل $\bar{\sigma}$، مدل به صورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

$$D_c = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma_1 \overline{d\varepsilon} \quad (۱)$$

$$D_{cr} = \int_0^{\varepsilon_f} \frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}} \overline{d\varepsilon} \quad (۲)$$

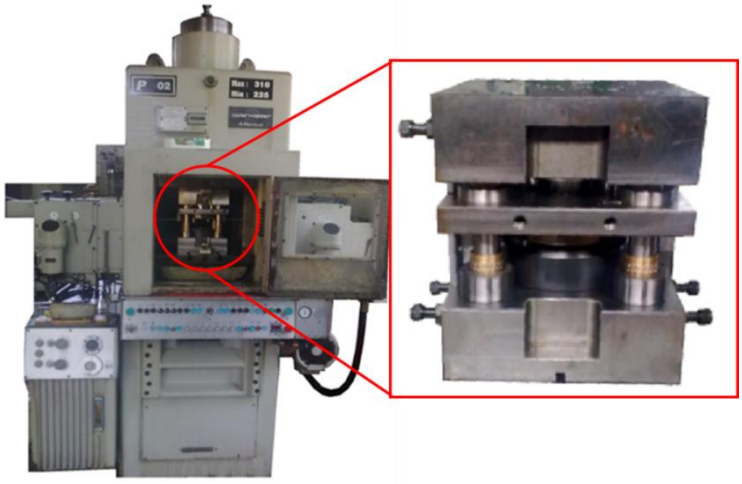
به منظور شبیه‌سازی فرایند برش دقیق، از نرم‌افزار تجاری DEFORM استفاده شد. با توجه به در دسترس بودن معیار آسیب کاکرافت-لاتهام در این نرم‌افزار، برای معیار اولیه پیش‌بینی ترک و شکل‌های اصلاح شده از معادلات موجود در این نرم افزار استفاده شد. ابتدا قطعه نهایی در نرم‌افزار CATIA مدل‌سازی شده و سپس با فرمت STL وارد نرم‌افزار DEFORM شد. شکل ۲ شماتیک دوبعدی قطعه‌کار به همراه مدل مش‌بندی شده را نشان می‌دهد. اجزا قالب برش دقیق از نوع صلب درنظر گرفته شدند و ورق نیز از نوع شکل‌پذیر انتخاب شد. در سطوح تماس ورق با اجزای قالب، مدل اصطکاک کولمب با ضریب اصطکاک ۰/۰۸در نظر گرفته شد [۱۱]. دمای محیط در طول شبیه‌سازی برابر با ۲۰ درجه سانتی‌گراد و از تغییرات دمایی در طول فرایند صرف نظر شد. از ماده CK15 به عنوان ورق اولیه استفاده شد. برای مش‌بندی ورق، تعداد ۱۰۰۰۰۰ المان با کمترین اندازه ۱/۱۶ میلی‌متر و تعداد ۹۹۳۵ گره در نظر گرفته شد.



شکل ۲ هندسه قطعه‌کار: الف) نمای دوبعدی ب) مدل سه‌بعدی مش‌بندی شده

۳- مراحل تجربی

برای بررسی صحت مدل‌سازی انجام شده، از نتایج آزمایش‌های تجربی استفاده شد. به همین منظور، یک قالب برش دقیق مطابق با شکل و ابعاد مدل‌سازی شده در قسمت قبلی ساخته شد. در این قالب از رینگ V شکل با ارتفاع ۰/۸ میلی‌متر، زاویه ۹۰ درجه و فاصله ۲/۲ میلی‌متر از لبه قالب استفاده شد. لقی بین سنبه و ماتریس به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ ضخامت ورق درنظرگرفته شد. برای انجام عملیات برش دقیق، از یک دستگاه پرس با ظرفیت ۱۶۰ تن استفاده شد. شکل ۳ قالب ساخته شده و دستگاه پرس استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همچنین سرعت حرکت سنبه ثابت و برابر ۳۰ ضربه در دقیقه تنظیم شد. مطابق با ماده تعریف شده در شبیه‌سازی، از ورق فولادی CK15 با ضخامت ۳/۸ میلی‌متری به عنوان قطعه‌کار استفاده شد.

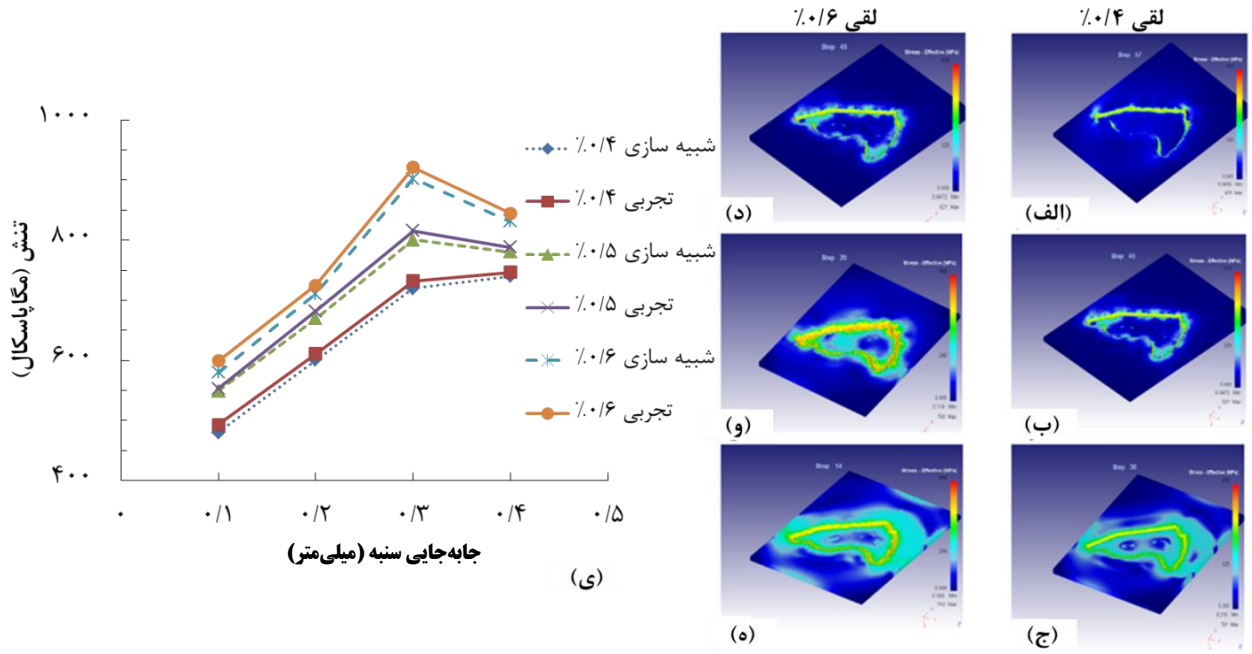


شکل ۳ دستگاه پرس و قالب برش دقیق استفاده شده

۴– نتایج و بحث

۴–۱– تاثیر لقی قالب بر روی توزیع تنش

به‌منظور بررسی تاثیر لقی بر روی رفتار ورق اولیه و توزیع تنش بر روی آن، سه لقی برابر با ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ ضخامت ورق درنظر گرفته شد. شکل ۴ مقدار تنش وارد شده به خط جدایش به صورت تجربی و شبیه‌سازی برای لقی‌های مذکور با نفوذ سنبه به میزان ۳۰، ۶۰ و ۹۰٪ کورس حرکت را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج تجربی و عددی حاکی از مطابقت خوب نتایج و دقت شبیه‌سازی انجام شده است. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش لقی بین سنبه و ماتریس در فرایند برش دقیق، گسترش تنش معادل و ناحیه تحت تاثیر تنش در ورق افزایش یافته و قسمت بیشتری از فضای ماده خام در حین فرایند برش، دچار تغییرشکل پلاستیک می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود در لقی ۰/۴٪ تنش وارد شده بر خط برش، متمرکز است ولی با افزایش لقی تا ۰/۶٪ ناحیه تحت تاثیر تنش بزرگتر می‌شود. می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با کاهش لقی در فرایند برش دقیق، تنش اعمال شده توسط سنبه بر نواحی خط برش، متمرکز شده و ناحیه تغییرشکل پلاستیک در منطقه شعاعی کوچک می‌شود. این موضوع سبب افزایش کیفیت و دقت ابعادی لبه برش شده و از طرف دیگر اعوجاج نواحی اطراف خط برش کاهش می‌یابد. این پدیده سبب کاهش شکل‌گیری عیوب هندسی در قطعات بعدی خواهد شد که توسط نوار تغذیه وارد قالب برش می‌شوند. همچنین، نتایج حاصل نشان داد که با کاهش لقی و کوچک شدن فاصله بین سنبه و ماتریس تنش وارد بر قطعه‌کار جهت برش کاهش می‌یابد. این پدیده به دلیل تمرکز تنش در لقی‌های کم رخ می‌دهد. مقدار تنش وارد شده بر خط جدایش در لقی‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ ضخامت به ترتیب برابر ۷۲۰، ۸۱۰ و ۹۰۰ مگاپاسگال اندازه‌گیری شد.

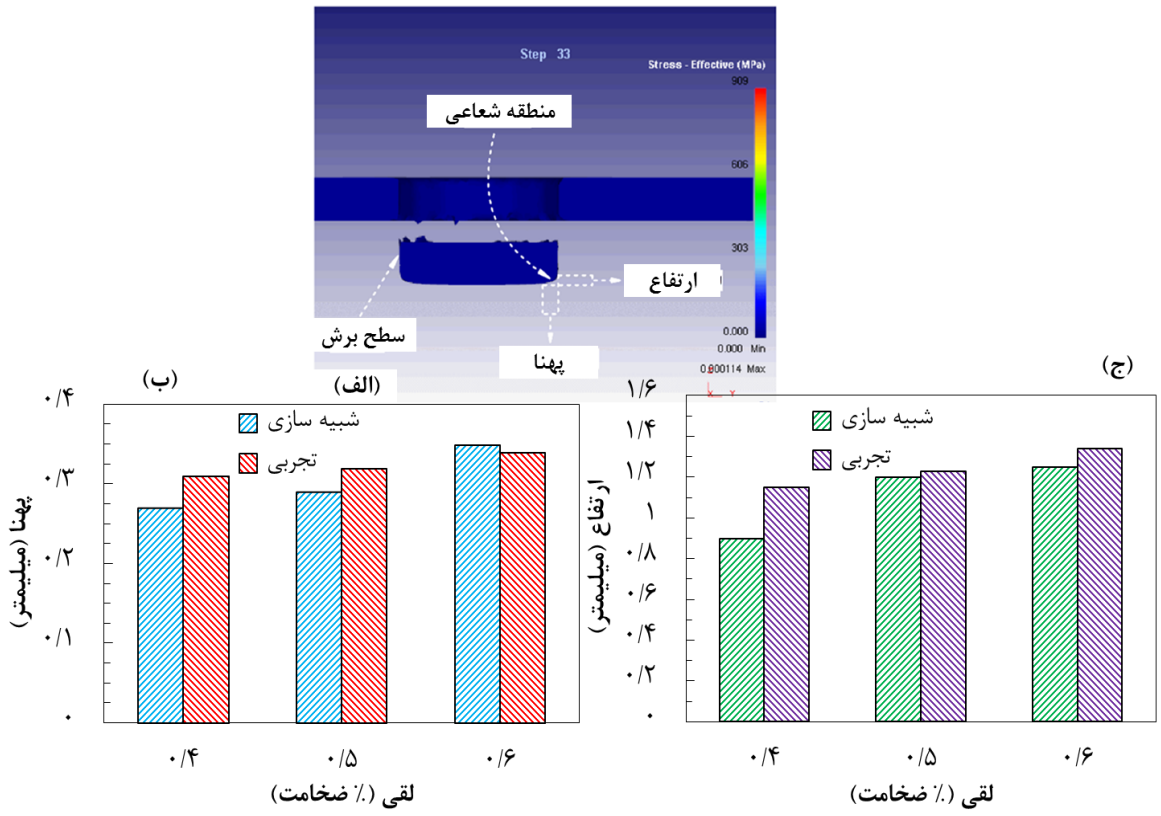


شکل ۴ توزیع تنش در ورق با مقدار نفوذ سنبه الف) ۳۰٪ ب) ۶۰٪ ج) ۹۰٪ با لقی ۰/۴٪ ضخامت ورق د) ۳۰٪ و) ۶۰٪ ه) ۹۰٪ با لقی ۰/۶٪ ضخامت ورق ی) مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی مقدار تنش وارد شده بر ورق

۴–۲– تاثیر لقی بر روی ابعاد منطقه شعاعی

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، لقی قالب تاثیر زیادی بر روی منطقه شعاعی قطعه‌کار دارد. زیاد بودن انحنای لبه (منطقه شعاعی) قطعه تولید شده تاثیر فراوانی بر روی کیفیت نهایی آن دارد. به‌منظور بررسی اثر لقی قالب بر روی ابعاد منطقه شعاعی ابتدا از نتایج شبیه‌سازی استفاده و سپس با نتایج تجربی مقایسه شد. شکل ۵-الف نمای دوبعدی از سطح جداشده قطعه‌کار از ورق اولیه و نواحی مختلف آن حاصل از شبیه‌سازی عددی را نشان می‌دهد. طبق شکل، در ابتدای نفوذ سنبه به داخل ورق فولادی، تغییرشکل زیادی در

منطقه پایین قطعه ایجاد می‌شود، اما در نهایت با نفوذ بیشتر سنبه در عمقی به اندازهٔ شعاع لبه قالب، منطقه برش با قالب تماس پیدا کرده و منطقه شعاعی در قسمت پایین قطعه به وجود می‌آید. اندازه منطقه شعاعی بستگی زیادی به لقی قالب دارد که در این ناحیه شکل می‌گیرد. در شکل‌های ۵-ب و ۵-ج اثر لقی قالب به ترتیب بر روی پهنا و ارتفاع منطقه شعاعی قطعه‌کار نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش لقی سنبه قالب، پهنای منطقه شعاعی افزایش می‌یابد. با استفاده از شبیه‌سازی، پهنای لبه شعاعی در لقی‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ ضخامت به ترتیب برابر با ۰/۲۷، ۰/۲۹ و ۰/۳۵ میلی‌متر به‌دست آمد. مقادیر مذکور با استفاده از آزمایش‌های تجربی به ترتیب برابر با برابر ۰/۳۱، ۰/۳۲ و ۰/۳۴ میلی‌متر به‌دست آمد. روند افزایشی پهنای منطقه شعاعی با افزایش لقی سنبه قالب، در مورد ارتفاع منطقه شعاعی نیز صادق است. ارتفاع لبه شعاعی در لقی‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ ضخامت ورق در شبیه‌سازی به ترتیب برابر با ۰/۹، ۱/۱۶ و ۱/۲ میلی‌متر و به صورت تجربی به ترتیب برابر با ۱/۱۵، ۱/۲۳ و ۱/۳۵ میلی‌متر به‌دست آمد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که در قطعات دوربری دقیق، یک تغییرشکل معین در سمت ماتریس قطعات حاصل می‌شود که این تغییرشکل به‌صورت لبه شعاعی قطعه نهایی مشاهده می‌شود. با کاهش لقی قالب جریان ماده در حین فرایند برش، بین سنبه و ماتریس قابل کنترل بوده و ابعاد منطقه شعاعی به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. با افزایش لقی بین سنبه و ماتریس، جریان داخلی مواد در ورق افزایش یافته و شروع و رشد ترک در لبه خارجی قطعه کاهش می‌یابد. این پدیده سبب شده تا زبری سطوح برش محصول افزایش یابد. نتایج حاصل نشان داد که کیفیت لبه برش علاوه بر وجود رینگ V شکل، به لقی بین سنبه و ماتریس وابسته است.

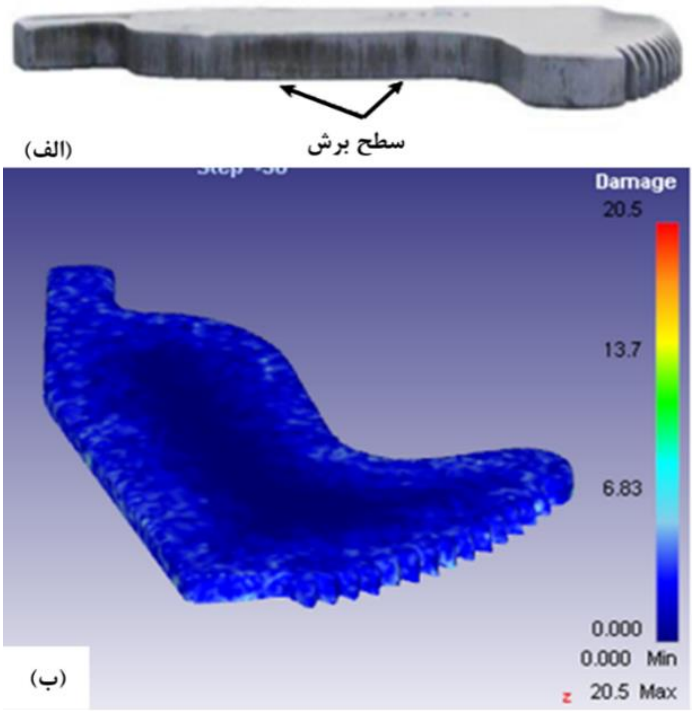


شکل ۵ الف) نمونه جدا شده از ورق اولیه، مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی بین لقی قالب و ب) پهنای انحنای لبه شعاعی ج) ارتفاع انحنای لبه شعاعی

۴-۳- تاثیر لقی بر روی کیفیت سطح قطعه

پس از نفوذ سنبه به درون ورق و اتمام عملیات برش، سنبه به وضعیت اولیه خود باز می‌گردد. در زمان بازگشت سنبه به عقب، سطح قطعه برش‌کاری شده که درون قالب می‌ماند با سنبه تماس پیدا می‌کند. لقی قالب در زمان برش قطعه‌کار و برگشت قالب، تاثیر زیادی بر کیفیت سطح برش و سنبه دارد. اگرچه این نوع اثر بر کیفیت سطح در فرایند برش دقیق به اندازه برش‌کاری و دوربری معمولی

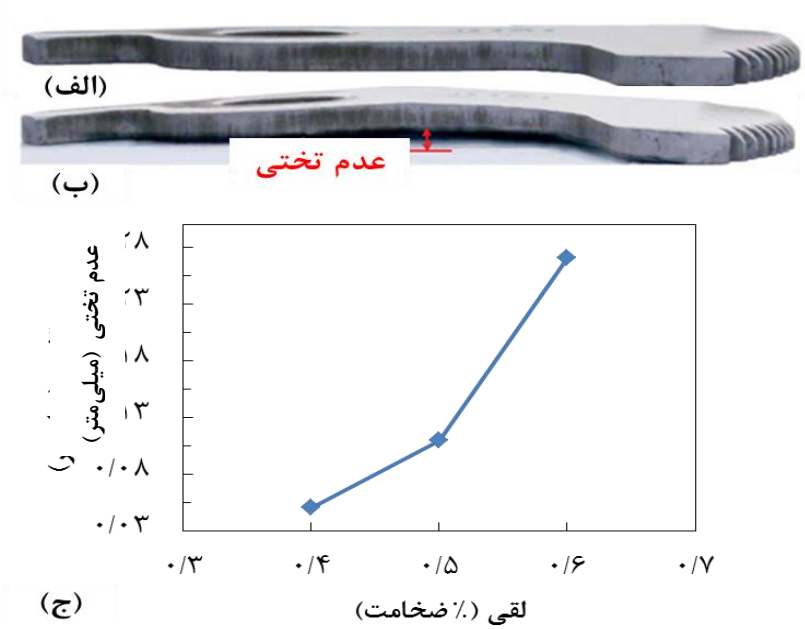
نیست، ولی در برش دقیق قطعات نامتقارن و پیچیده بیشتر دیده می‌شود [۲۲]. جهت پیش‌بینی این نوع عیب سطحی و جلوگیری از آن، بررسی لقی و ارتباط آن با سطح برش و سطح داخلی سنبه ضروری به نظر می‌رسد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در لقی ۰/۴٪ ضخامت، کیفیت سطحی مناسبی به‌دست می‌آید. شکل ۶ قطعه نهایی حاصل از آزمایش تجربی و پیش‌بینی مقدار آسیب لبه‌های قطعه حاصل از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. طبق شکل، سطح برش دارای ترک‌های زیادی نیست و این قطعه با توجه به جنس فولاد CK15 دارای کیفیت سطح مناسب و بدون نقص می‌باشد. همچنین نتایج حاصل نشان از شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش لقی در فرایند برشکاری دقیق، کیفیت سطح برش در محصول کاهش یافته وضعیت کیفیت سطح برش در قطعاتی که با لقی‌های ۰/۵ و ۰/۶٪ برش‌کاری شدند به ترتیب کاهش یافت.



شکل ۶ قطعه نهایی برش شده الف) تجربی ب) شبیه‌سازی

۴-۴- تاثیر لقی بر روی دقت ابعادی قطعه

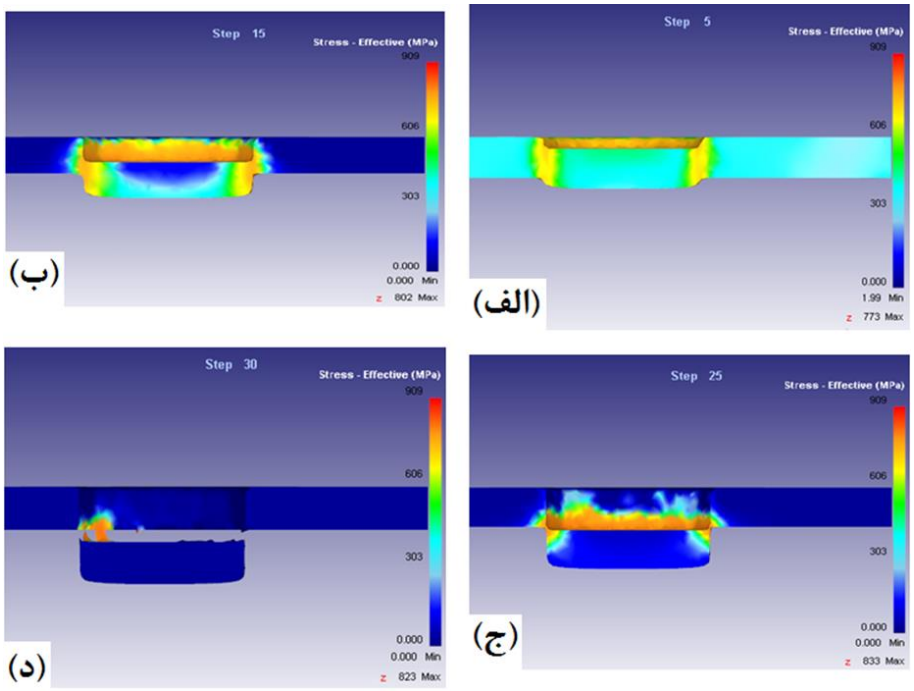
یکی دیگر از ویژگی‌های قطعه‌کار که به لقی قالب وابسته است، عدم تخت بودن (بشقابی شدن) قطعه نهایی می‌باشد. به دلیل توزیع نامناسب تنش و کرنش در لقی زیاد قالب، نیروی رینگ V شکل هم قادر به کنترل جریان داخلی مواد نیست. در این وضعیت قطعه که در زیر سنبه قرار دارد از لبه‌های ماتریس تحت تنش فشاری قرار گرفته و سبب عدم تختی قطعه‌کار می‌شود. شکل ۷ قطعاتی را نشان می‌دهد که با لقی‌های ۰/۴ و ۰/۶٪ ضخامت ورق برش‌کاری دقیق شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، قطعه نهایی که با لقی ۰/۶٪ برشکاری شده دچار پدیده بشقابی قابل رویت شده است. نتایج اندازه‌گیری عدم تختی قطعات نیز در شکل ۷-ج نشان داده شده است. طبق شکل، عدم تختی به طور کلی در تمامی قطعات وجود دارد ولی مقدار آن متفاوت است. هندسه پیچیده قطعه کار سبب می‌شود تا توضیع نیرو در برخی نقاط یکنواخت نباشد و کنترل جریان مواد نیز دچار تغییرات شود. مقدار عدم تختی قطعاتی که با لقی‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ برش‌کاری شده‌اند به ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۱۱ و ۰/۲۶ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که ایجاد عدم تختی در تمامی قطعات برش‌کاری دقیق با هندسه پیچیده اجتناب ناپذیر بوده و تنها با کنترل لقی قالب می‌توان آن را به حداقل رساند.



شکل ۷ قطعه نهایی برش شده با لقی الف) ۰/۴٪ ب) ۰/۶٪ ج) نمودار عدم تختی قطعات نهایی بر اساس لقی قالب

۴-۵- تاثیر لقی بر روی نیروی برش و کرنش

همانند فرایند برش‌کاری غیردقیق، در برش‌کاری دقیق نیز مقدار لقی قالب بر روی نیروی برش تاثیر می‌گذارد. با توجه به پارامترهای لقی قالب که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، می‌توان گفت که تغییرات مقدار نیروی برش ناشی از تغییر لقی قالب اختلاف خیلی زیادی با یک‌دیگر ندارند. افزایش لقی قالب سبب افزایش کشش در قطعه‌کار حین عملیات برش دقیق می‌شود. با توجه به این موضوع، کشش مواد اطراف قالب بیشتر شده که این مسئله نیز افزایش کرنش محل برش را به دنبال دارد. میانگین کرنش مواد در محیط اطراف خط برش برابر با ۰/۵۱، ۰/۷۹ و ۰/۹۳ میلی‌متر به ترتیب برای لقی‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ به‌دست آمد. مطابق با شکل ۸ شبیه‌سازی فرایند برش دقیق با لقی ۰/۴٪ را در عمق نفوذهای مختلف سنبه نشان می‌دهد. با افزایش کرنش محل برش، در واقع حد الاستیک منطقه بیرونی قطعه‌کار افزایش یافته و این پدیده نیز سبب افزایش نیروی برش‌کاری می‌شود.



شکل ۸ توزیع تنش اعمال شده بر روی قطعه حاصل از برش با لقی ۰/۴٪ و مقدار نفوذ سنبه الف) ۳۰٪ ب) ۶۰٪ ج) ۹۰٪ د) برش کامل

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، فرایند برش دقیق یک قطعه با هندسه پیچیده از جنس فولاد CK15 به صورت تجربی و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر لقی قالب بر روی توزیع تنش و کرنش، ابعاد منطقه شعاعی، کیفیت سطح و دقت ابعادی قطعه و همچنین نیروی برش بررسی شد. با توجه با نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- با کاهش لقی در فرایند برش دقیق، تنش اعمال شده توسط سنبه بر نواحی خط برش، متمرکز شده ناحیه تغییرشکل پلاستیک اندازه منطقه شعاعی کوچک می‌شود.

۲- کاهش لقی قالب منجر به بهبود کیفیت و دقت ابعادی لبه برش می‌شود و از طرف دیگر اعوجاج نواحی اطراف خط برش را کاهش می‌دهد.

۳- با افزایش لقی قالب از مقدار ۰/۴ تا ۰/۶٪ ضخامت ورق، مقدار تنش وارد شده بر خط جدایش ورق به میزان ۲۵٪ افزایش می‌یابد.

۴- با افزایش لقی از مقدار ۰/۴ تا ۰/۶٪، میانگین کرنش مواد در محیط اطراف خط برش در حدود ۸۲٪ افزایش یافته و در نتیجه نیروی مورد نیاز برای عملیات برش‌کاری افزایش می‌یابد.

۵- با افزایش لقی قالب، پهنا و ارتفاع منطقه شعاعی در قطعه نهایی افزایش می‌یابد؛ به علاوه، با کاهش لقی، کیفیت سطحی قطعه نهایی مناسب‌تر خواهد بود و پدیده بشقابی شدن به حداقل می‌رسد.

References

[1] Wang JP. A novel fine-blanking approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology: 2015 May;78:1015-9. doi: 10.1007/s00170-014-6701-y

[2] Aravind U, Chakkingal U, Venugopal P. A review of fine blanking: Influence of die design and process parameters on edge quality. Journal of Materials Engineering and Performance: 2021 Jan;30:1-32. doi: 10.1007/s11665-020-05339-y

[3] Sahli M, Roizard X, Assoul M, Colas G, Giampiccolo S, Barbe JP. Finite element simulation and experimental investigation of the effect of clearance on the forming quality in the fine blanking process. Microsystem Technologies: 2021 Mar;27:871-81. doi: 10.1007/s00542-020-04983-7

[4] Montazeri S, Elyasi M, Moradpour A. Investigating the energy absorption, SEA and crushing performance of holed and grooved thin-walled tubes under axial loading with different materials. Thin-Walled Structures: 2019 Jan 10;131:646-653. doi.org/10.1016/j.tws.2018.07.024

[5] Modanloo V, Talebi-Ghadikolaee H, Akhoundi B, Mashayekhi A, Ahmadi Khatir F, Zeinolabedin Beygi A. Investigation of process parameters of the hydrodynamic deep drawing assisted by radial pressure using Taguchi and finite element methods. Iranian Journal of Manufacturing Engineering: 2022. 9(10), pp. 11-20. (In Persian). doi: 10.22034/IJME.2023.390896.1762

[6] Modanloo V, Akhoundi B, Mashayekhi A, Talebi-Ghadikolaee H, Zeinolabedin Beygi A. The study of forming of steel cups using hydrodynamic deep drawing process. Iranian Journal of Manufacturing Engineering: 2022. 9(8), pp. 56-64. (In Persian). doi: 10.22034/IJME.2023.385634.1748

[7] Kwak TS, Kim YJ, Seo MK, Bae WB. The effect of V-ring indenter on the sheared surface in the fine-blanking process of pawl. Journal of Materials Processing Technology: 2003 Dec 20;143:656-61. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00311-X

[8] Kondo K, Suzuki H. Research on the accuracy of sheared products by different working principles in precision shearing. Journal of materials processing technology: 1996 Jan 1;56(1-4):70-7. doi: 10.1016/0924-0136(95)01822-0

[9] Fan WF, Li JH. An investigation on the damage of AISI-1045 and AISI-1025 steels in fine-blanking with negative clearance. Materials Science and Engineering: 2009 Jan 15;499(1-2):248-51. doi: 10.1016/j.msea.2007.11.108

[10] Hatanaka N, Yamaguchi K, Takakura N, Iizuka T. Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals. Journal of Materials Processing Technology: 2003 Sep 22;140(1-3):628-34. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00803-3

[11] Chen ZH, Chan LC, Lee TC, Tang CY. An investigation on the formation and propagation of shear band in fine-blanking process. Journal of materials processing technology: 2003 Jul 20;138(1-3):610-4. doi: 10.1016/S0924-0136(03)00141-9

[12] Thipprakmas S, Jin M, Tomokazu K, Katsuhiro Y, Murakawa M. Prediction of Fineblanked surface characteristics using the finite element method (FEM). Journal of Materials Processing Technology: 2008 Mar 3;198(1-3):391-8. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.07.027
[13] Thipprakmas S, Jin M. Investigation mechanism of V-ring indenter geometry in fine-blanking process. Key Engineering Materials: 2009 Oct 1;410:305-12. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.410-411.305
[14] Mao H, Zhou F, Liu Y, Hua L. Numerical and experimental investigation of the discontinuous dot indenter in the fine-blanking process. Journal of Manufacturing Processes: 2016 Oct 1;24:90-9. doi: 10.1016/j.jmapro.2016.08.001
[15] Zhao PJ, Chen ZH, Dong CF. Experimental and numerical analysis of micromechanical damage for DP600 steel in fine-blanking process. Journal of materials processing technology: 2016 Oct 1;236:16-25. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.05.002
[16] Elyasi M, Daeizadeh V. Effect of shape of workpiece on forming force in fine blanking process. Materials Research Innovations: 2011 Feb 1;15(sup1):s386-9. doi: 10.1179/143307511X12858957675075
[17] Elyasi M. Force parameters and experimental characterisation in fine-blanking process. Advances in Materials and Processing Technologies: 2015 Apr 3;1(1-2):234-42. doi: 10.1080/2374068X.2015.1121707
[18] Elyasi, M., Ahmadi Khatir, F. and Hosseinzadeh, M., 2017. Investigation of die clearance in rubber pad forming of metallic bipolar plates. AUT Journal of Mechanical Engineering: 1(1), pp.89-98. doi: 10.22060/MEJ.2016.719
[19] Jaafar, N.A., Abdullah, A.B. & Samad, Z. Effect of punching die angular clearance on punched hole quality of S275 mild steel sheet metal. Int J Adv Manuf Technol: 101, 1553–1563 (2019). doi: 10.1007/s00170-018-3040-4
[20] Akyürek, F., Yaman, K. & Tekiner, Z. An Experimental Work on Tool Wear Affected by Die Clearance and Punch Hardness. Arab J Sci Eng: 42, 4683–4692 (2017). doi: 10.1007/s13369-017-2621-0
[21] Wai Myint P, Hagihara S, Tanaka T, Taketomi S, Tadano Y. Application of Finite Element Method to Analyze the Influences of Process Parameters on the Cut Surface in Fine Blanking Processes by Using Clearance-Dependent Critical Fracture Criteria. Journal of Manufacturing and Materials Processing: 2018 Apr 23;2(2):26. doi: 10.3390/jmmp2020026
[22] Leung YC, Chan LC, Cheng CH, Lee TC. The effects of tool geometry change on shearing edge finish in fine-blanking of different materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture: 2003 Aug 1;217(8):1057-62. doi: 10.1177/095440540321700803