مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۱۰۰-۱۰۶

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ١٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

اثر سرعت برشی بر روی نیروی برشی و کیفیت سطح در فرآیند خان‌کشی آلومینیوم ۷۰۷۵

محمد اروجی[۱]، مهدی صادقی بجستانی[۲]، بهنام معتکف ایمانی[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
*مشهد، صندوق‌پستی ۱۱۱۱-۹۱۷۷۹۴۸۹۴۴، imani@um.ac.ir

چکیده

خان‌کشی یکی از روش‌های خاص براده برداری است که به‌وسیله‌ی ابزار خان‌کشی (سوزن) برای ایجاد پروفیل‌های ساده و پیچیده و باکیفیت سطح پرداخت‌شده استفاده می‌گردد. خان‌کشی در تولید انبوه کاربرد فراوان دارد که به‌واسطه‌ی خاص بودن، کمتر در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق تغییرات نیروهای برش با کد نویسی در متلب به‌صورت تئوری برای سرعت‌های برشی مختلف بر روی جنس آلومینیوم ۷۰۷۵ بررسی و تحلیل‌شده است. در ادامه جهت صحه‌گذاری به نتایج، تست آزمایشگاهی جهت بررسی تأثیر سرعت برشی بر روی کیفیت سطح و نیروهای برشی انجام شده است. بدین منظور دستگاهی با مکانیسم سرو هیدرولیک و براساس کنترل موقعیت و سرعت طراحی‌شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت برشی از ۲ متر بر دقیقه به ۸ متر بر دقیقه نیروهای برشی به میزان حدود ۲۰٪ کاهش‌یافته و صافی سطح به میزان اندکی بهتر می‌شود که پیش‌بینی می‌شود در سرعت‌های برشی بالاتر که در این تحقیق نیل به آن مقدور نبود، این موضوع بیشتر و بهتر مشاهده شود. در عمل می‌توان از نتایج حاصله در این فرآیند نتیجه گرفت که سرعت‌های برشی بالاتر برای عملیات روی این جنس مناسب‌تر است.

کلید واژگان: خان‌کشی، نیروهای دینامیکی برش، کیفیت سطح، سرعت برشی، آلومینیوم ۷۰۷۵

The effect of cutting speed on cutting force and surface quality in broaching of aluminum 7075

Mohammad Orouji, Mahdi Sadeqi Bajestani, Behnam Moetakef Imani*

Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
*P.O.B. 9177948944-1111, Mashhad, Iran, imani@um.ac.ir

ABSTRACT

As a single-pass machining operation, broaching is extensively used to produce simple and complicated profiles with finished surface quality. Broaching is often used for mass production. Since, it is a special manufacturing process, few researches has been reported in this area. In this research, the dynamic effects of cutting forces for different cutting speeds on Aluminum 7075 have been theoretically and experimentally analyzed using MATLAB. Moreover, to make sure of the results, experimental setup has also been designed to investigate the effect of cutting speed on surface quality and cutting force. For this purpose, a servo hydraulic system based on position control has been designed. With the increase of cutting speed from 2 m/min to 8 m/min, an undeniable decrease in cutting force is observable, while the surface quality experiences an interesting increase. It can be concluded that the higher cutting speeds are to be preferred for processing this material. In practice, it is applicable for especially car manufacturing industry to shorten the time and lower the cost of production.

Keywords: Aluminum 7075, Broaching, Cutting Speed, Dynamic Cutting Forces, Surface Quality

۱- مقدمه

خان‌کشی[۱] نوعی عملیات براده‌برداری شبیه اره‌کاری است که برای ایجاد سطوح تخت، شیارها، هزار خار و سطوح فرم‌دار بر روی قطعات و با یک‌بار حرکت ابزار استفاده می‌شود و در صورتی‌که قطعه‌ای به این عملیات نیاز داشته باشد می‌بایست پس از تراش‌کاری و فرزکاری‌های لازم قطعه را باز و بر روی دستگاه خان‌کشی بست. خان‌کش یکی از روش‌های اقتصادی جهت تولید انبوه در رقابت با تراش‌کاری و فرزکاری است که به‌وسیله‌ی آن می‌توان سطوح با دقت بالا تولید نمود. توسط خان‌کشی می‌توان سطوح داخلی و خارجی قطعات را براده‌برداری کرد. همچنین می‌تواند به‌عنوان عملیات پرداخت نهایی استفاده گردد که این موضوع اهمیت ویژه‌ای به آن می‌بخشد.

1. Broaching

۱-۱- خصوصیات اصلی و پارامترها

ابزارهای خان‌کشی به‌صورت تعداد متعددی دندانه که به‌طور متوالی پشت سر هم قرار گرفته‌اند می‌باشند (لبه برش) بدین‌صورت که عمق بار هر دندانه، مقدار براده‌ی برداشته‌شده[۲] را مشخص می‌کند. عمق برش (h) زاویه براده[۳] (γ) زاویه آزاد[۴] (α) به نوع ماده‌ای که خان‌کشی می‌شود (قطعه‌کار) وابسته است. مقدار زاویه آزاد همچنین به موقعیت قرارگیری دندانه روی سوزن که در قسمت خشن یا پرداخت اولیه یا پرداخت نهایی باشد مشخص می‌گردد. عرض سطح (b_{fa}) برای قسمت‌های پرداخت نهایی متفاوت از دیگر بخش‌های برش روی سوزن می‌باشد و همچنین برای مواد مختلف که خان‌کشی می-

2. Chip load
3. Rake angle
4. Clearance angle

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Orouji, M. Sadeqi Bajestani, B. Moetakef Imani, The effect of cutting speed on cutting force and surface quality in broaching of aluminum 7075, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 100-106, 2015 (in Persian فارسی)

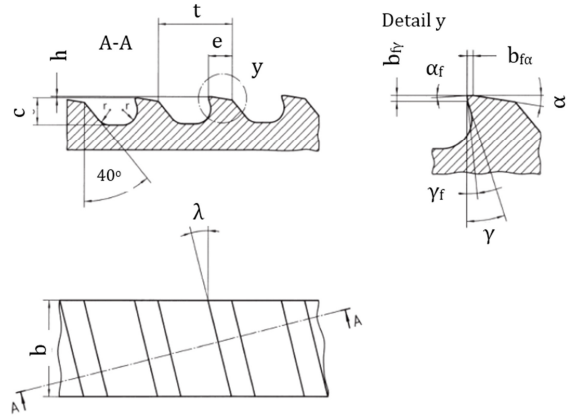
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]

شوند متفاوت است. این سطح موازی با محور قسمت پرداخت نهایی سوزن می‌باشد و در قسمت‌های پرداخت اولیه و خشن به‌صورت صعودی قرار گرفته است و بدین صورت دارای زاویه منفی سطح[1] (γ_f) روی پشت سطح براده به انتهای ابزار است (شکل۱).

۱-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

خان‌کشی به‌طور گسترده‌ای جهت تولیدات مختلف درگذشته استفاده می‌شده است، در بعضی از کاربردهای آن با توجه به توسعه گسترده فرزهای چند محوره کنترل عددی کامپیوتری[2] با انعطاف‌پذیری بالا و سرعت و دقت بالا، جایگزین این فرآیند شده است که این خود می‌تواند دلیلی بر کاهش چاپ و توسعه مراجع در این خصوص باشد؛ اما در ابتدا در کتابچه راهنمای فارست [۱] توسط کمپانی با همین نام، فرآیند خان‌کشی به‌صورت عملی شرح داده شد و عوامل و پارامترهای مختلف مؤثر روی فرآیند به‌تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. گرچه تقریباً منبعی قدیمی محسوب می‌شود، اما بیشتر موارد درج شده در تحقیقات و مطالعات امروزی مرتبط با عملیات خان‌کشی، از آن به‌عنوان مرجع یاد می‌شود. تری و کاترایت در [۲] فرآیند خان‌کشی توسط سیستم‌های طراحی به کمک کامپیوتر تحلیل‌شده است، کیشاوی، حسینی و معتکف ایمانی [۳] انرژی در فرآیند خان‌کشی را مورد بررسی قراردادند و نیروهای برش و سطح قطعه‌کار را نیز بررسی کردند. تتی و همکاران در [۴] با استفاده از حس‌گرهای دقیق و پیشرفته، به مانیتور کردن دقیق فرآیندهای ماشین‌کاری ازجمله خان‌کشی پرداختند، آکسینت و همکاران [۵] و [۶] نیز از این موضوع برای بهبود کیفیت سطح در فرآیندهای ماشین‌کاری استفاده کردند، و به‌طور کاملاً ویژه فرآیند خان‌کشی را بررسی کردند و ابزار را در این فرآیند تحلیل و مانیتور کردند. آکسینت [۷] همچنین خان‌کشی تیتانیم را بررسی کرد و سطح قطعه کار را بعد از انجام ماشین‌کاری تحلیل کرد و [۸] برای اولین بار جنبه‌های مربوط به دینامیک خان‌کشی را، هنگامی‌که اشکالی با هندسه پیچیده تولید می‌شوند، ارائه داد. وی یک آنالیز تجربی از علل و نتیجه ارتعاشات کوپل شده‌ی میرا، هنگام خان‌کشی پروفیل‌های تقریباً باریک و بسته‌ای همانند دم‌چلچله‌ای دیسک‌های موتور توربین گاز را شرح می‌دهد. گیندی در [۹] شرایط بهینه‌ی برش برای آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت براساس نیروهای برش، زبری سطح و سایش ابزار را بررسی کرد. بوداک در [۱۰] به بررسی عوامل مؤثردر طراحی بهینه‌ی ابزار خان‌کش به‌منظور افزایش



شکل۱ جزئیات زوایا و هندسه‌ی ابزار خان‌کشی [۱]

قابلیت تولید پرداخته و به‌طور مشابه اوزتورک و بوداک [۱۱] فرآیند خان-کشی به‌منظور بهبود طراحی ابزار آن را مدل‌سازی کردند، لازم به ذکر است تحقیقات روی طراحی بهینه‌ی ابزار خان‌کشی، به‌واسطه‌ی گران و خاص بودن آن، بیشتر مورد توجه بوده است. اوزلکان و همکاران [۱۲] در خصوص بهینه‌سازی فرآیند خان‌کش و کاربردهای آن در صنعت تحقیق کردند و کارایی فرآیند خان‌کشی را اثبات کردند. حسینی [۱۳] مدل‌سازی دقیق نیرویی برای عملیات خان‌کشی در پروفیل‌های پیچیده را محاسبه و در اجرا نیز صحه‌گذاری کرد که جهت طراحی ابزار و فرآیند موردنیاز است. آلتینتاس و همکاران در [۱۴] دمپینگ فرآیند را به‌عنوان تابعی خطی از سرعت برشی در نظر گرفته‌اند. آنان با در نظر گرفتن اثر ضخامت براده بازیابی شده، سرعت برش و ترم‌های سرعت و شتاب ابزار در محاسبه نیروهای برشی، یک مدل نیرویی جدید ارائه داده‌اند. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که محدوده پایداری فرآیند در سرعت‌های برشی پایین، به‌دلیل افزایش دمپینگ فرآیند، افزایش می‌یابد.

۱-۳- مدل‌سازی فرآیند خانکشی در متلب

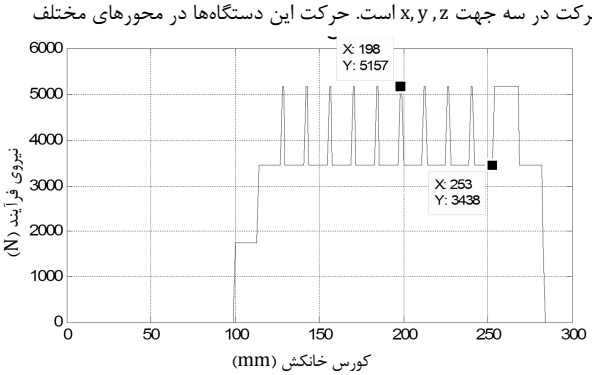
در مرحله‌ی اول، برای بررسی نیروهای خانکشی، فرآیند در نرم‌افزار متلب مدل شده و نمودارهای نیرویی به‌عنوان خروجی گرفته شده‌اند. در شکل۲ نمودار نیرویی فرآیند خانکشی در سرعت ۲ متر بر دقیقه که توسط متلب مدل‌سازی شده است را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است در این آزمایش عینا مشخصات سوزن خان‌کش و همچنین قطعه‌کار طبق اطلاعات دریافتی از دستگاه دیجیتایزر مدل‌سازی شده است. محور افقی کورس خانکشی و محور عمودی نیرو را نشان می‌دهد.

در ادامه به بررسی سیستم آزمایشگاهی تدوین‌شده توسط نویسندگان خواهیم پرداخت و خواهیم دید که نتایج به‌دست‌آمده از طریق آزمایش‌ها همخوانی بسیار خوبی با نتایج مدل‌سازی تئوری دارد.

۲- مشخصات فنی

۲-۱- مشخصات و هندسه‌ی سوزن خان‌کشی

روابط ابزار خان‌کشی مورد استفاده در این تحقیق از جنس 210Cr46 با سختی ۷۸۰ ویکرز معادل ۶۳/۵ راکول‌سی است. مشخصات هندسی دقیق سوزن خان‌کش توسط دستگاه دیجیتایزر رنی شاو[3] استخراج شده است (شکل۴). این دستگاه که در مهندسی معکوس[4] کاربرد فراوانی دارد، قادر به حرکت در سه جهت x, y , z است. حرکت این دستگاه‌ها در محورهای مختلف



شکل۲ مدل‌سازی نیرویی فرآیند در نرم‌افزار متلب در سرعت برشی ۲ متر بر دقیقه

1. Land angle
2. Computer Numerical Control (CNC)
3. Renishaw Cyclone Digitizer
4. Reverse engineering

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]

به‌کمک شیرهای هیدرولیکی انجام می‌شود. از کاربردهای مهم این دستگاه می‌توان به‌دست آوردن اطلاعات ابعادی قطعاتی که ابعاد آن‌ها در دسترس نیست و تبدیل این اطلاعات به داده‌های قابل استفاده در طراحی به کمک کامپیوتر[1] اشاره کرد. با اندازه‌گیری‌ها مشخص شد که عمق بار به ازای هر دندانه در منطقه‌ی دندانه‌های خشن تراشی ۰/۰۹ میلی‌متر، در منطقه‌ی پرداخت ۰/۰۰۵ و در دندانه‌های انتهایی صفر است. در شکل۳ و شکل۴ تصویر سوزن مورد استفاده در این تحقیق مشاهده می‌شود. لازم به توضیح است برای انجام فرآیند خانکشی، در انتهای سوزن خانکش یک عدد سوراخ راه به در با شعاع ۳/۵ مشاهده می‌شود که به برای کشیدن سوزن از آن استفاده می‌شود.

۲-۲- قطعه‌کار

قطعه‌کار در این آزمایش از جنس آلومینیم ۷۰۷۵ انتخاب گردیده است و مطابق شکل ابعاد قطعه‌کار ۳۹/۶×۴۰×۲۹/۳ است که پس از خان‌کشی به صورت شکل ۵ و مشخصات خواص فیزیکی و استحکام جدول ۱ می‌باشد. قسمت قیدوبند قطعه‌کار و سوزن خان‌کش نیز توسط نویسندگان طراحی و ساخته شده است. لازم به‌ذکر این قسمت از جنس Mo40 و با عملیات حرارتی و رسیدن به سختی حدود ۳۹ راکول‌سی ساخته شده و قبل از نصب نیز با دستگاه دیجیتازر دیجیت گردیده است. در شکل۷ محل قرارگیری قطعه‌کار و لودسل و همچنین جهت حرکت سوزن خانکش نشان داده شده است.

۲-۳- مشخصات دستگاه سرو هیدرولیک

با توجه به تعریف اعمال شرایط بارگذاری مختلف بر روی سوزن که شامل تغییرات نیروی بارگذاری و نحوه بارگذاری می‌باشد و همچنین جهت اعمال بارگذاری با سرعت‌های برشی مختلف با توجه به دبی پمپ انتخاب شده و آکومولاتور موردنظر جهت انجام تست‌ها از دستگاه سرو هیدرولیک که تصویر آن در شکل۶ مشاهده می‌گردد، استفاده شده است.

جدول ۱ مشخصات مکانیکی قطعه‌کار (آلومینیوم ۷۰۷۵)

مشخصه	مقدار
مدول الاستیسیته	۶۴ مگاپاسکال
تنش تسلیم	۱۳۵ مگاپاسکال
تنش نهایی	۲۸۰ مگاپاسکال
تنش برشی	۷۸ مگاپاسکال

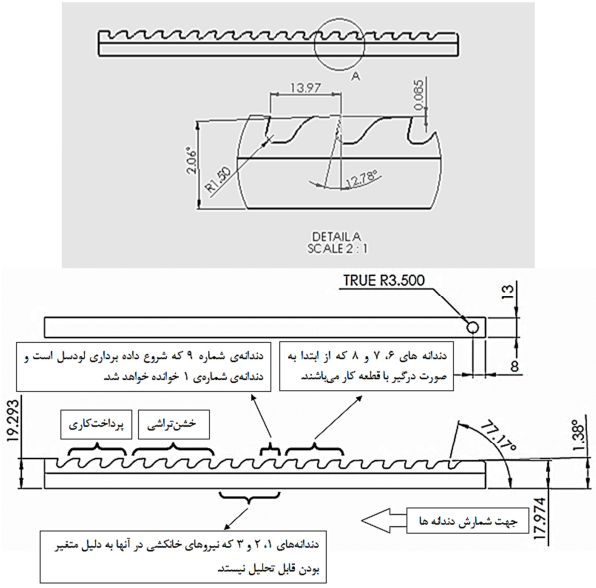
جدول۲ مشخصات کاری سیستم هیدرولیکی مورد استفاده در این تحقیق

مشخصه کاری	محدوده کاری
دمای کاری	۴۰-۴۵ درجه سانتی‌گراد
فشار کاری	۱۵۰ بار
حداکثر محدوده سرعت	۹ متربردقیقه
حداکثر فشاری	۳۵۰ بار
محدوده موقعیت کاری	۲۱۵- ۵ میلی‌متر

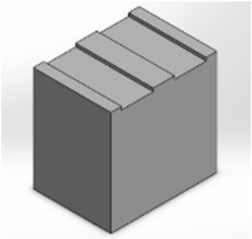
شکل۳ تصویر سوزن خان‌کش مورد استفاده در این تحقیق و براده‌های حاصل

1. Computer Aided Design (CAD)

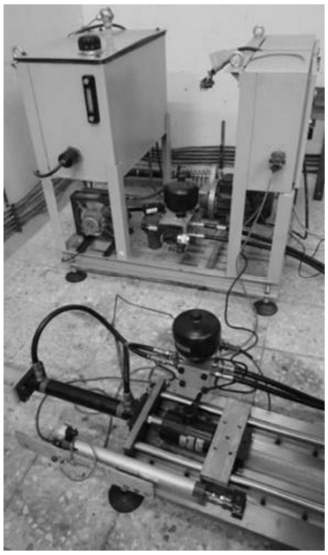
با عنایت به سوزن انتخاب شده و بار به ازای هر دندانه و همچنین ضخامت قطعه‌کار و محدودیت در کورس حرکت جک که بیشینه به اندازه ۱۹۰ میلی‌متر و با قطر پیستون و سیلندر۴۰×۲۵ می‌باشد، سایر مشخصات دستگاه مذکور در**جدول۲** قابل مشاهده است. شکل۸ نیز نمایش مدل سه بعدی طراحی شده از مکانیزم مورد استفاده در تحقیق می‌باشد.



شکل۴ مشخصات و زوایای سوزن خان‌کش و توضیحات شماره‌ی دندانه‌ها

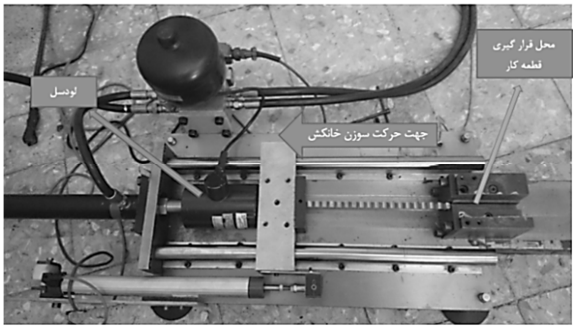


شکل ۵ تصویر سه‌بعدی قطعه‌کار بعد از انجام فرآیند خان‌کشی

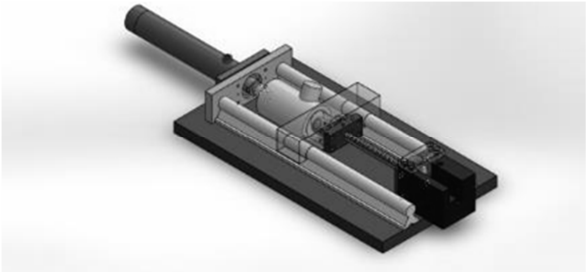


شکل۶ ستاپ سیستم آزمایش

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]



شکل ۷ نحوه‌ی چیدمان اجزای سیستم و جهت حرکت سوزن



شکل ۸ مدل سه‌بعدی مکانیزم مورداستفاده در آزمایش‌ها

۲-۴- اجزا سیستم هیدرولیک

لودسل با برند داسل و ظرفیت ۵ تن با توجه به نیروی کششی موردنیاز که با فرض ثابت برش (Kc) نیوتون بر میلی‌مترمربع و ضریب اطمینان ۱/۴ موردنظر مشخص و انتخاب گردیده است. سایر مشخصات فنی لودسل مذکور جهت تبدیل از ولتاژ تحریک ۱۰ ولت و نسبت ولتاژ خروجی ۲ میلی‌ولت بر ولت استفاده شده است. لازم به ذکر است فرکانس نمونه‌برداری در لودسل برابر ۳۳۳ نمونه در ثانیه می‌باشد.

شیر هیدرولیک با بیشینه فشار ۳۵۰ بار و به مشخصات MCD6 – SP/51N/K با یک ورودی و تخلیه به تانک و با آب‌بندی کاسه نمدی از جنس NBR جهت روغن‌پایه معدنی می‌باشد. خط‌کش مورد استفاده جهت اندازه‌گیری موقعیت لحظه‌ای جک هیدرولیک در هر لحظه استفاده شده است. مدل این خط‌کش LPC – LM300 می‌باشد و خطای خطی‌سازی آن در حالت بیشینه ٪۰/۰۵ و جریان تحریک پیشنهادی ۱ میکروآمپر و کورسی معادل ۳۰ میلی‌متر دارد. مجموعه دستگاه سرو هیدرولیک که در آن دارای قطر پیستون ۲۵ میلی‌متر و قطر سیلندر ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به سطح مقطع سیلندر پیستون مورد استفاده و همچنین دبی پمپ -که خود یکی از عوامل محدود کننده‌ی سرعت است- و با در نظر گرفتن رابطه‌ی می‌توانیم سرعت جک که همان سرعت حرکت سوزن خان‌کش است را محاسبه کنیم.

$$Q = A\dot{x} \quad (1)$$

با توجه به این‌که در سیستم از آکومولاتور استفاده می‌شود حداکثر سرعت انتخاب شده با توجه به شرایط و تجهیزات مورد استفاده در عمل و در حالت بیشینه به ۸ متر بر دقیقه خواهد رسید و بیش از این مقدار پمپ و آکومولاتور با افزایش ولتاژ تحریک توان پر نمودن جک از سرعت اعلام شده را ندارند. لازم به ذکر است کلیه تست‌های انجام شده با دستگاه مذکور به ترتیب با سرعت‌های برشی ۲، ۴، ۶ و ۸ متر بر دقیقه انجام شده است.

۳- نتایج

۳-۱- تحلیل رفتار نیرویی

همان‌طور که در نمودارهای رسم شده مشاهده می‌گردد در شکل۹ با توجه به محدودیت طول کورس حرکت جک به‌اندازه ۱۹۰ میلی‌متر و اندازه طول سوزن خان‌کش که برابر ۲۹۰ میلی‌متر می‌باشد، امکان استفاده از کل دندانه-های موجود بر روی سوزن نمی‌باشد. به‌طورکلی در سوزن خانکشی مورد استفاده در این تحقیق ۱۹ دندانه وجود دارد که به‌واسطه‌ی محدودیت مذکور از ۵ دندانه‌ی ابتدایی استفاده نشده و شروع فرآیند به‌گونه‌ای است که دندانه‌های ۶، ۷ و ۸ به‌صورت درگیر با قطعه‌کار می‌باشند. لازم به توضیح است که در شکل۹ محور افقی نشان‌دهنده خانکش و محور عمودی نیروی اندازه‌گیری شده توسط لودسل است که نمودار نیرویی فرآیند خانکشی را نشان می‌دهد. داده‌های نمودارها مربوط به دندانه‌های ۹ تا ۱۹ سوزن خانکشی می‌باشند.

در قسمت‌های آتی، دندانه‌ی شماره ۹ درروی سوزن خانکشی برای سهولت بررسی، دندانه‌ی شماره‌ی ۱ خوانده خواهد شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نیروهای وارد به دندانه‌های ۱، ۲ و ۳ بسیار متغیر هستند که به همین واسطه نمی‌توان تحلیل دقیقی از آن‌ها داشت، لازم به ذکر است این تغییرات نیرویی غیرقابل پیش‌بینی در این ناحیه می‌تواند دلایل مختلفی از جمله لرزش قطعه کار به‌واسطه‌ی عدم جای‌گیری درست آن قیدوبند داشته باشد.

۳-۲- تفسیر نمودارها

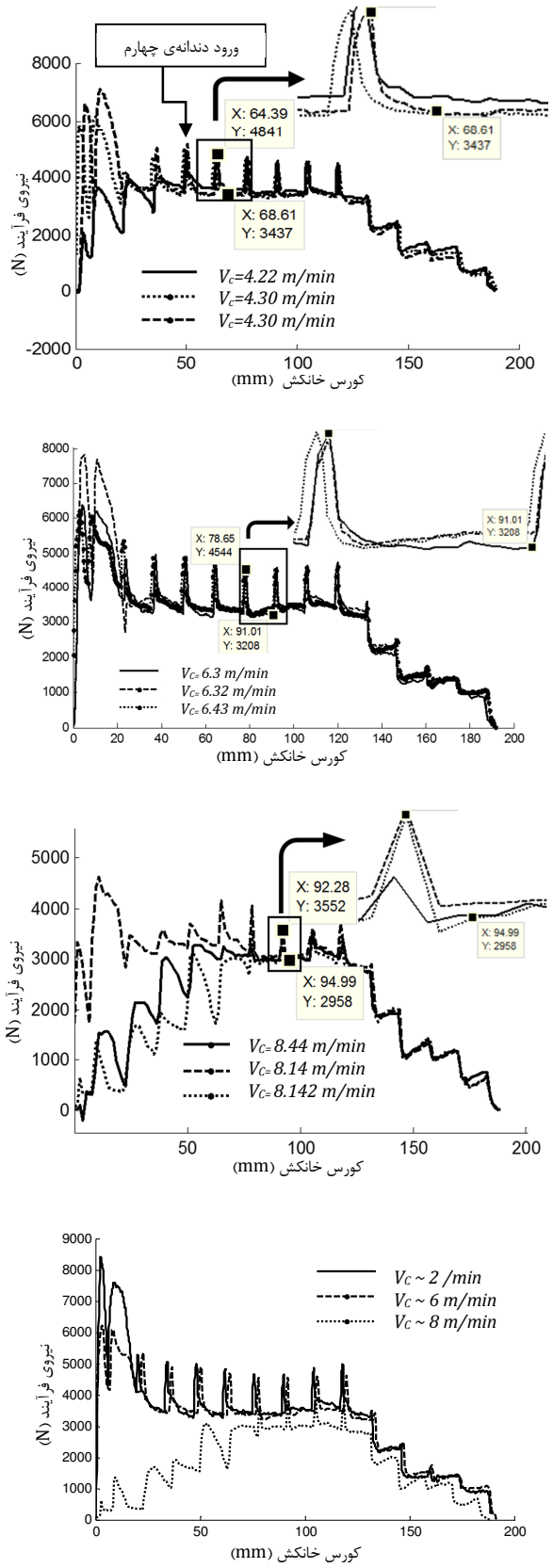
همان‌طور که در قبل اشاره شد، با توجه به محدودیت کورس جک و با توجه به درگیری همزمان دندانه‌های ۱ و ۲ و ۳ قبل از شروع خان‌کشی و همچنین متغیر بودن بار در دندانه‌های مذکور، نمی‌توان تحلیل دقیقی از گزارش‌های نمودار ارائه کرد و فقط روند افزایش نیرو مشهود است.

از دندانه‌ی ۴ تا دندانه‌ی ۷ که منطقه‌ی خشن تراشی سوزن خانکش نیز هست، تحلیل نیرویی قابل انجام است. هر کدام از قله‌های نمودار نشان‌دهنده‌ی ورود یک دندانه‌ی جدید از سوزن خانکش به قطعه کار است. لازم به ذکر است، در مناطق قعر نمودار به‌طور همزمان دو دندانه با قطعه کار درگیر می‌باشد، درحالی‌که در قله‌ها سه دندانه به‌طور همزمان درگیرند. افزایش نیرو به‌واسطه‌ی ورود دندانه‌ی جدید در سرعت‌های برشی پایین بیشتر از سرعت‌های برشی بالا می‌باشد. به‌طور مثال در سرعت برشی ۴ متر بر دقیقه افزایش نیرویی معادل ۱۲۰۰ نیوتون مشاهده می‌شود که این مقدار در سرعت برشی ۸ متر بر دقیقه تا ۷۰۰ نیوتون کاهش می‌یابد که این موضوع به خاطر افزایش سرعت برشی می‌باشد، علاوه بر این خود قله‌های نیرویی نیز رابطه‌ای عکس با سرعت برشی دارند.

برای اطمینان از صحت آزمایش‌های انجام‌شده و همچنین تکرارپذیری آن‌ها، در هر سرعت برشی، هر آزمایش چهار مرتبه تکرار شده است، که نتایج به‌دست‌آمده در هر بار تکرار مؤید صحت آزمایش‌ها مراحل قبل بوده‌اند. در هر مرتبه تکرار آزمایش بواسطه‌ی کنترل سزعت و کنترل موقعیت اعمالی روی سیستم سروهیدرولیک، این دو پارامتر مهم در کل زمان تست رصد شده است.

اختلافات جزئی موجود نیز با دلایلی از قبیل افزایش طول فاصله سوزن گیر تا قطعه در حین خان‌کشی، عدم هم‌راستای قید و بند با سوزن گیر و اصطکاک و نوسانات قابل توجیه می‌باشند، که این در این تحقیق سعی بر آن

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]



شکل۹ نمودار تغییرات نیروی وارد شده به ابزار خان‌کش در سرعتهای برشی مختلف

شده است تا موارد ایجاد کننده‌ی خطا بخصوص خطاهای انسانی با تکرار آزمایش‌ها به حداقل برسد. لازم به ذکر است برای کاهش خطاهای مذکور، گیره‌بندی مجموعه توسط نویسندگان طراحی و ساخته شده است.

به‌محض ورود دندانه‌های ۸ الی ۱۰ (دندانه‌های پرداخت نهایی) مجدداً اختلاف به علت تغییر در ضخامت براده (صفر شدن ضخامت براده) بیشتر می‌شود. اندازه نیرو با ورود دندانه‌های جدید که بدون بار می‌باشند حدود ۱۰۰ نیوتن افزایش می‌یابند که این موضوع فقط به علت اصطکاک و لهیدگی سطح قطعه کار است. با خروج این دندانه‌ها نیرو حدود ۱۰۰۰ نیوتن کاهش می‌یابد و تکرارپذیری نیرو برای سرعت‌های برشی انجام شده حکایت از صحت مورد مذکور را دارد. مقدار بار مانده در سیستم پس از خروج آخرین دندانه و تا خروج کامل سوزن از قیدوبند حدود ۴۵۰ نیوتن می‌باشد که به‌محض خروج سوزن خان‌کش نیرو به حدود ۱۵۰ نیوتن کاهش و سپس نیرو پس از تخلیه روغن سرو هیدرولیک به تانک حدود صفر می‌باشد که در اصل برابر نویز سیستم متغیر می‌باشد.

مقایسه نمودارهای نیرویی به‌دست آمده در شکل۹ به رابطه‌ی (۲) منتج می‌شود که نماینده‌ی رابطه‌ای معکوس بین سرعت خان‌کشی نیروی وارده بر ابزار در این فرآیند است، بدین‌صورت که افزایش سرعت خانکشی باعث کاهش نیروهای خانکشی خواهد شد.

$$V_c \propto \frac{1}{f_b} \qquad (۲)$$

لازم به توضیح مجدد است که در این تحقیق ادعا شده است که سرعت‌های بالاتر باعث کاهش ۲۰ درصدی نیروها شده‌اند، که این موضوع به‌وضوح در نمودارهای رسم شده قابل مشاهده است.

۳-۳- تحلیل تأثیر سرعت برشی بر کیفیت سطح در سرعت‌های مختلف

بررسی دادگان کیفیت سطح موجود در جدول۳ در سرعت‌های برشی مختلف حاکی از آن است که کیفیت سطح با افزایش سرعت برشی، بهبود یافته است.

این موضوع مؤید تحقیقات انجام شده توسط فارست [۱] است، که برای جنس آلومینیوم ۷۰۷۵ استفاده شده است.

جدول۳ تأثیر سرعت برشی بر کیفیت سطح در فرآیند خان‌کشی

سرعت برشی	شماره شیار و قطعه	R_z (mm) طولی	R_z (mm) عرضی	R_a(mm) طولی	R_a(mm) عرضی
۸ متر بر دقیقه	شیار ۴ قطعه ۱	۳/۸۳	۰/۹۵۵	۰/۲۳۱	۷/۳
	شیار ۳ قطعه ۱	۲/۵۱	۰/۹۵۹	۰/۲۷۴	۵/۵۷
	شیار ۲ قطعه ۱	۰/۸۷۵	۰/۸۳۱	۰/۱۴۸	۶/۲۱
	شیار ۱ قطعه ۱	۰/۵۹۵	۰/۶۹۸	۰/۰۷۴	۴/۲۹
	میانگین	۱/۹۵۲	۰/۸۶۱	۰/۱۸۱	۵/۸۴۲
۴ متر بر دقیقه	شیار ۴ قطعه ۲	۲/۱۲	۰/۷۵۶	۰/۲۴۲	۶/۳۲
	شیار ۳ قطعه ۲	۲/۶۷	۰/۹۴۲	۰/۲۰۸	۶/۹۵
	شیار ۲ قطعه ۲	۲/۸	۰/۸۱۷	۰/۴۲	۱۰/۵
	شیار ۱ قطعه ۲	۱/۵۹	۰/۸۱۱	۰/۱۳۸	۵/۸
	میانگین	۲/۲۹۵	۰/۸۳۱	۰/۲۵۲	۷/۳۹۲
۲ متر بر دقیقه	شیار ۴ قطعه ۳	۶/۰۳	۰/۹۱۸	۰/۶۸۱	۷/۰۴
	شیار ۳ قطعه ۳	۲/۹۹	۰/۹۳	۰/۱۵۸	۶/۹۹
	شیار ۲ قطعه ۳	۵/۹۲	۰/۹۶۹	۱/۲۹	۷/۹
	شیار ۱ قطعه ۳	۱/۹۱	۱/۶۷	۰/۲۶	۱۱/۹
	میانگین	۴/۲۱۲	۱/۱۲	۰/۵۹۷	۸/۴۵۷

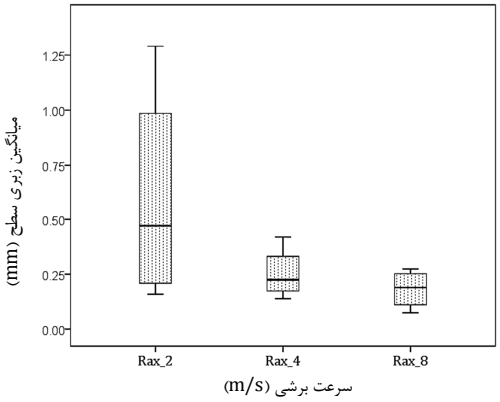
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

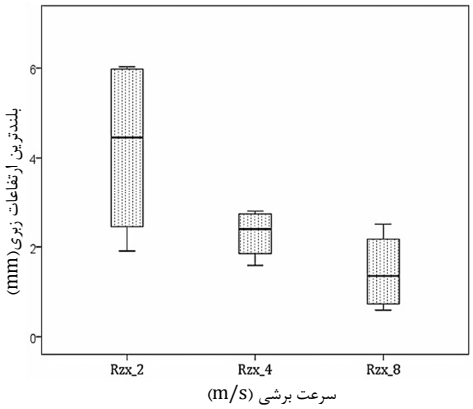
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]

لازم به توضیح است زبری نمونه‌های آزمایش توسط دستگاه زبری‌سنج تیلر هابسن سارترونیک[1] اندازه‌گیری شده است. شکل۱۰ نشان‌دهنده‌ی نمودار جعبه‌ای زبری سطح می‌باشد. در هر شکل جعبه‌های اول تا سوم به ترتیب سرعت‌های ۲، ۴ و ۸ متر بر دقیقه را نشان می‌دهند که شکل بالا میانگین زبری سطح (R_a) و شکل پایین بلندترین ارتفاعات زبری (R_z) را نشان می‌دهد.

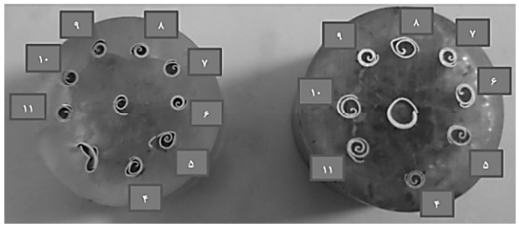
۳-۴- بررسی ضخامت براده

همان‌طور که درشکل۱۱ مشاهده می‌گردد، براده‌های برداشته شده با توجه به شماره دندانه آن‌ها که در شکل مشخص شده مانت شده‌اند و ضخامت آن‌ها توسط میکروسکوپ مدرج اندازه‌گیری شده است. شکل سمت چپ مربوط به‌سرعت برشی ۲ متربردقیقه و سمت راست مربوط به ۶ متر بر دقیقه است. ضخامت مربوط به هر دندانه در جدول۴ درج گردیده است. ضخامت براده در سرعت برشی‌های مختلف را با تقریب مناسبی می‌توان ثابت در نظر گرفت.





شکل۱۰ نمودار جعبه‌ای میانگین زبری سطح میانگین بلندترین ارتفاعات زبری



شکل۱۱ بررسی ضخامت براده‌های خان‌کشی برای هر دندانه از ابزار. شکل سمت چپ مربوط به سرعت برشی ۲ و سمت راست مربوط به ۶ متر بر دقیقه است.

1. Taylor-Habson Surtronic

جدول۴ بررسی تأثیر سرعت برشی بر ضخامت براده‌ی تشکیل شده

شماره دندانه	ضخامت براده‌ی تغییر شکل نیافته (میلی‌متر)	ضخامت براده در ۲ متر بر دقیقه (میلی‌متر)	ضخامت براده در ۶ متر بر دقیقه (میلی‌متر)
۴	۰/۷۵	۰/۱۷	۰/۱۶
۵	۰/۸۰	۰/۱۶	۰/۱۴
۶	۰/۹۰	۰/۱۹	۰/۱۹
۷	۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۲۰
۸	۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۱۹
۹	۰/۸۵	۰/۱۹	۰/۱۷
۱۰	۰/۸۵	۰/۱۸	۰/۱۹

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق در ابتدا نیروهای فرآیند خان‌کشی توسط نرم‌افزار متلب مدل-سازی شده است، سپس نتایج این مدل‌سازی توسط آزمایش‌های عملی با تکراری‌پذیری بالا صحه‌گذاری شده‌اند. لازم به توضیح است آزمایش‌های مذکور بر روی سیستم سرو هیدرولیک با کنترل دقیق موقعیت و سرعت در آزمایشگاه طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفته‌اند. نمونه‌برداری نیرویی توسط لودسل با فرکانس نمونه‌برداری ۳۳۳ نمونه در ثانیه انجام شده است و نمونه‌برداری موقعیت نیز توسط خط‌کش اندازه‌گیری صورت گرفته است که پیش‌تر در مورد هردو به‌تفصیل توضیح داده شد. علاوه بر اندازه‌گیری نیرو، از تمامی نمونه‌ها بلافاصله بعد از انجام آزمایش، تست زبری گرفته شده و همچنین ضخامت براده‌های حاصل توسط میکروسکوپ مدرج به‌طور دقیق اندازه‌گیری شده است.

نتایج تحقیق فوق نشان می‌دهد که در خان‌کشی آلومینیوم ۷۰۷۵، با تغییر سرعت برشی از ۲ متر بر دقیقه تا ۸ متر بر دقیقه میزان نیروی فرآیند تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد. علاوه بر این، زبری سطح به میزان قابل قبولی کاهش و کیفیت سطح بهبود می‌یابد، این در حالی است که با تغییرات سرعت، تغییر قابل ملاحظه‌ای در ضخامت براده مشاهده نمی‌شود. بدین ترتیب، به‌طورکلی برای خان‌کشی آلومینیوم ۷۰۷۵، سرعت‌های برشی بالاتر پیشنهاد می‌شود چرا که نه‌تنها باعث کاهش نیرو، بلکه باعث بهبود کیفیت سطح نیز می‌شود.

۵- فهرست علایم

A مساحت سطح مقطع (m^2)

$b_{f\alpha}$ عرض سطح (mm)

f_b نیروی خانکشی (N)

h عمق برش (mm)

Q دبی (m^3/s)

R_a میانگین ارتفاعات زبری سطح (μm)

R_z میانگین زبری سطح (μm)

Vc سرعت برشی ($mmin^{-1}$)

$\dot{x}$ سرعت خطی (ms^{-1})

علایم یونانی

α زاویه آزاد

γ زاویه براده

γ_f زاویه سطح

۶- مراجع

[1] O. Forst, *Forst Broaching Manual*, Vol. 3, 1932. English
[2] W. R. Terry, K. Cutright, Computer aided design of a broaching process,

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]

[3] H. A. Kishawy, A. Hosseini, B. Moetakef-Imani, V. P. Astakhov, An energy based analysis of broaching operation: Cutting forces and resultant surface integrity, *CIRP Annals-Manufacturing Technology,* Vol. 61, No. 1, pp. 107-110, 2012.

[4] R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld, Advanced monitoring of machining operations, *CIRP Annals-Manufacturing Technology,* Vol. 59, No. 2, pp. 717-739, 2010.

[5] D. A. Axinte, N. Gindy, K. Fox, I. Unanue, Process monitoring to assist the workpiece surface quality in machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 44, No. 10, pp. 1091-1108, 2004.

[6] D. A. Axinte, N. Gindy, Tool condition monitoring in broaching, *Wear,* Vol. 254, No. 3, pp. 370-382, 2003.

[7] D. Axinte, F. Boud, J. Penny, N. Gindy, D. Williams, Broaching of Ti-6-4–Detection of workpiece surface anomalies on dovetail slots through process monitoring, *CIRP Annals-Manufacturing Technology,* Vol. 54, No. 1, pp. 87-90, 2005.

[8] D. Axinte, An experimental analysis of damped coupled vibrations in broaching, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 47, No. 14, pp. 2182-2188, 2007.

[9] S. Mo, D. Axinte, T. Hyde, N. Gindy, An example of selection of the cutting conditions in broaching of heat-resistant alloys based on cutting forces, surface roughness and tool wear, *Journal of materials processing technology,* Vol. 160, No. 3, pp. 382-389, 2005.

[10] U. Kokturk, E. Budak, Optimization of broaching tool design, *Proceeding of the CIRP ICME,* Vol. 4, 2004.

[11] O. Ozturk, E. Budak, Modeling of broaching process for improved tool design*, in Proceeding of American Society of Mechanical Engineers,* pp. 291-300.

[12] E. Özelkan, Ö. Öztürk, E. Budak, Optimization of broaching design, *Industrial Engineering Research Conference,* USA, 2007.

[13] A. HOSSEINI, H. KISHAWY, Prediction of cutting forces in broaching operation, *Journal of Advanced Manufacturing Systems,* Vol. 12, No. 01, pp. 1-14, 2013.

[14] Y. Altintas, M. Eynian, H. Onozuka, Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, International Academy for Production Engineering,* 2008.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.68.8]