

بررسی فرایند سنگ زنی به کمک خراش ایجاد شده توسط یک دانه ساینده

عبدالحمید عزیزی^{1*}، مهرداد محمدیاری²

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ایلام، ایلام

2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد Dezful، Dezful

*ایلام، صندوق پستی 516-69315، ah.azizi@ilam.ac.ir

چکیده

تحقیقات بر روی فرایندهای خراش اغلب به منظور بررسی فرایندهای پرداختکاری مانند سنگ زنی انجام می‌گیرند. فرایند سنگ زنی به گونه‌ای است که تعدادی لبه ساینده با توزیع آماری خاص با سطح قطعه کار درگیر شده و از آن براده‌برداری می‌کند. در این تحقیق فرایند خراش و براده‌برداری را برای یک تک‌دانه‌های ساینده از تعداد بی‌شمار دانه‌های ساینده قید شده بر روی چرخ سنگ به عنوان یک المان کوچکتر در نظر گرفته می‌شود. اکنون می‌توان با یک توزیع آماری فرایند براده‌برداری را برای همه لبه‌های ساینده درگیر در عملیات سنگ زنی بسط و توسعه داد. این امر منتج به بهبود کارایی و کیفیت ماشینکاری بخصوص سنگ زنی شده و همچنین از مکانیک سنگ زنی بینشی وسیع حاصل خواهد شد. پس از ایجاد خراش و بررسی آن، از زاویه‌ای دیگر فرایند براده برداری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تأثیر پارامترهای توپوگرافی چرخ سنگ و همچنین تأثیر پارامترهای سینماتیکی و ورودی‌های فرایند بر روی مکانیزم براده برداری مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از آن است که افزایش سرعت برشی منجر به تغییر مکانیزم براده‌برداری از شخم به برش می‌گردد. شکل دانه‌های ساینده تأثیر قابل توجهی بر مکانیزم‌های براده برداری دارد. در دانه‌های کند با افزایش عمق برش، پدیده شخم زنی بیشتر اتفاق می‌افتد و کارایی فرایند کمتر است. اما در دانه‌های ساینده تیز با یک لبه برند عکس حالت فوق رخ می‌دهد. در صورتی که دانه‌ای در حین فرایند بشکند و چند لبه شود تا حدودی رفتار آن به سمت دانه کند میل می‌کند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 29 تیر 1393

پذیرش: 20 مرداد 1393

ارائه در سایت: 16 مهر 1393

کلید واژگان:

سنگ زنی

خراس زنک دانه

دانه ساینده

براده برداری

Grinding process investigation using creating scratch by an abrasive grit

Abdolhamid Azizi^{1*}, Mehrdad Mohamadyari²

1- Department of Mechanical Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Dezful Branch, Dezful, Iran

*P.O.B. 69315-516 Ilam, Iran, ah.azizi@ilam.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 20 July 2014

Accepted 11 August 2014

Available Online 08 October 2014

Keywords:

Grinding

Abrasive Scratch

Abrasive Grit

Metal Removal

ABSTRACT

The creating scratch by an abrasive grit is mostly investigated to enhance the finishing processes. In grinding, many distributed abrasive grits on grinding wheel surface are engaged with the workpiece to remove material. To investigate the material removal mechanism in grinding process a scratch and removed material by an abrasive grit is assumed and simulated. The results are developed for all engaged abrasive grits on grinding wheel surface. This leads to improve the machining process and gaining deeper insight to the grinding mechanism. By analyzing a creating scratch by a single abrasive grit, the material removal mechanism is scrutinized from a different view. The effect of grinding wheel surface topography and input parameters on material removal mechanism is investigated. Results show that increasing cutting speed leads to changing material removal mechanism from ploughing to cutting. The shape of abrasive grits has more effect on material removal mechanism. In worn grits increasing the cutting depth causes the ploughing to become the dominant mechanism in machining. This leads to less cutting efficiency. But in abrasive grits with sharp single cutting edge the converse result is achieved. When grit breaks down and self dressing occurs during machining, the multiple edges are formed on grit and the grit acts like a dull abrasive.

آزمایشات نشان داد که توانایی برشی دانه با تغییر شکل لبه برند تغییر می‌کند. دانه‌هایی با تنها یک لبه برند دارای کارایی برشی بالاتری هستند.

عزیزی و همکارانش [2] با بررسی مکانیک خراش ایجاد شده توسط یک دانه ساینده توانستند فرایند سنگ زنی را مدل‌سازی کنند. ورودی‌های این مدل علاوه بر پارامترهای درگیر در سنگ زنی به طور ویژه شامل توپوگرافی و

برای بیش‌بینی و بهره‌گیری عمیق‌تر از دانش فرایند سنگ زنی و فرایندهای برش، مطالعات تجربی و مدل‌سازی‌های تحلیلی از اهمیت زیادی برخوردارند. در بررسی که در سال 2012 توسط تھسین و همکارانش [1] ارائه شد، دریافتند که مقاومت براده‌برداری مواد در طول خراش تک‌دانه تغییر می‌کند.

1- مقدمه

Please cite this article using:

A. Azizi, M. Mohamadyari, Grinding process investigation using creating scratch by an abrasive grit, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 13, pp. 245-250, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

In DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.13.11.4]

2- کار تجربی و آزمایشگاهی

1- آزمایش خراش تک دانه

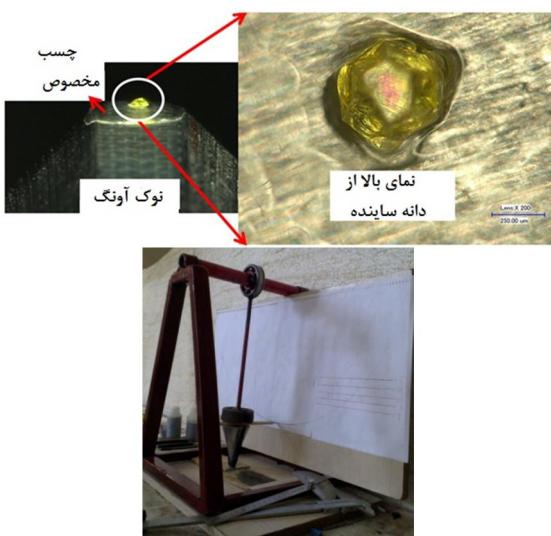
آزمایش تک دانه سنگزنی توسط دستگاه پاندول انجام شد. دانه ساینده توسط چسب به نوک پاندول چسبانده می شود. به کمک پاندول می توان با سرعت زیاد بر روی قطعه کار خراش ایجاد نمود. قطعه کارها با استفاده از قید و بند مناسب مهار می گرددند به گونه ایکه مرکز نوک آونگ و مرکز قطعه کار دقیقا در یک راستا قرار گیرند. با ایجاد یک خراش، قطعه کار در جهت متنافر با حرکت آونگ مقداری حرکت داده می شود تا برای انجام خراش بعدی آماده گردد. اساس کار این روش تبدیل انرژی پتانسیل جهت تامین نیرو و انرژی لازم برای ایجاد خراش بر روی قطعه کار فولادی است. آونگ و دانه ساینده نصب شده روی نوک آونگ در شکل 1 نشان داده شده است.

2- مواد و روش ها

در طول این بررسی از دانه ساینده آلومینیا با اندازه مشاهی مختلف و چسب مخصوص برای چسباندن این دانه به سر آونگ و قطعه کار فولادی HSS برای انجام آزمون های خراش استفاده می شود. سطح قطعه کار از قبل پرداخت شده و برای انجام خراش آماده می گرددن. طول آونگ با در نظر گرفتن دانه های نوک آونگ 40cm اندازه گیری شد. پاندول از ارتفاع های اولیه مشخص رها گردید و ارتفاع های ثانویه دانه ساینده نصب شده، پس از ایجاد خراش بر روی قطعه کار، اندازه گیری و ثبت گردید. با تکمیل این فرایند چندین خراش بر روی قطعه کار ایجاد و این روال برای قطعه کارهای دیگر تکرار می شود.

3- بررسی تأثیر سرعت برشی بر روی انرژی و نیرو

در این آزمایش جرم آونگ و میله متصل به آن به صورت ثابت و برابر 0/6kg و طول آونگ 0/4m در نظر گرفته شده است. با رها کردن آونگ از ارتفاع های اولیه مختلف و همچنین تغییر میزان عمق در گیری دانه ساینده با سطح قطعه کار، ارتفاع های ثانویه مختلفی حاصل خواهد شد. با توجه به ارتفاع رها شده آونگ و از دینامیک می توان سرعت برخورد ذره ساینده با سطح قطعه کار را محاسبه کرد. از طریق اختلاف ارتفاع اولیه و ثانویه می توان انرژی



شکل 1 تصویری از آونگ و دانه ساینده نصب شده مورد استفاده در این تحقیق صرف شده جهت ایجاد خراش را بدست آورد. با اندازه گیری طول خراش و تقسیم انرژی بر طول خراش می توان نیرو را محاسبه کرد. زیرا کار انجام شده توسط نیرو برابر است با نیرو ضرب در طول خراش که این مقدار کار با انرژی

هندسه دانه های ساینده و خروجی مدل نیز انرژی و راندمان سنگ زنی بود. مرور دقیق روش های مختلف شبیه سازی در سنگزنی را می توان در کار تونشاف و همکارانش و همچنین در کار برینکزمر و همکارانش در سال 2006 [3] یافت. آنها اظهار داشتند که روش های سینماتیک، آنالیز المان محدود و مدل سازی دینامیک مولکولی بهترین تکنیک ها برای مدل سازی و بررسی فرایند سنگ زنی می باشند.

در اجمن تکنولوژی ساخت و تولید و سیستم های تولید، شبیه سازی سینماتیک فرایند سنگزنی توسعه داده شد. ابتدا توسط وورنک و زیت [4] برای بهینه سازی فرایند بکار رفت. این ابزار شبیه سازی قادر به محاسبه پارامترهای براده مانند ضخامت های میانگین براده یا مساحت مقطع برش براده تغییر شکل نیافته در هر تک دانه فعل در توبوگرافی چرخ سنگ می باشد که بیشتر برای بهینه سازی ابزار سنگزنی توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفت. ویلیام و زای [5] با در نظر گرفتن سایش، برش و شخم در محدوده تغییر شکل توانستند تا محدودیت این مدل را برطرف کنند. به گونه ای که طبق مدل جدید، میزان برش با افزایش زاویه حمله (شبیب ذرات ساینده بر روی سطح چرخ سنگ) و کاهش ضریب اصطکاک افزایش می یابد. مساحت مقطع براده و نیروی مخصوص سنگزنی برای محاسبه نیروهای تک دانه در روش کینزل [7] مورد استفاده واقع شده است. روش کینزل در اصل برای فرایندهای تراشکاری ارائه شد، اما با بسط آن برای بیشمار دانه ساینده روی سطح چرخ سنگ می تواند این فرایند را نیز شبیه سازی کند.

امکان مدل سازی ذرات ساینده با استفاده از چندوجهی های ایجاد شده به صورت تصادفی توسط پلگرین و همکارانش [8] بررسی گردیده است.

تورنس [9] به این نتیجه دست یافت که نرخ سایش کل به چسبندگی دانه ها و ذرات بستگی دارد و همچنین کارایی بیشتر نیازمند چسبندگی و پراکنده گی بیشتر لایه های ذرات ساینده است.

نتایج حاصل از تحقیق حمدی [10] نشان می داد که در آزمون خراش با سرعت بالا نسبت به آزمون خراش استاندارد به واقعیت نزدیکتر بوده و اطلاعات فیزیکی و کیفی بیشتری از فرایند سنگزنی می دهد و همچنین در آزمون خراش با سرعت بالا مطالعه تاثیر سرعت بر روی رفتار دانه دارای اهمیت بیشتری است.

لازم به ذکر است که مکانیزم براده بداری مواد در سنگزنی ابتدا توسط هان [11] در سال 1962 ارائه گردید. وی نشان داد که براده بداری مواد شامل سه فاز مالش، شخم و برش است.

در این تحقیق با ایجاد خراش روی سطح قطعه کار، تاثیر پارامترهای سینماتیکی و هندسی بر روی نیرو و انرژی فرایند مورد مطالعه قرار می گیرد و در نهایت پروفیل خراش ها با استفاده از میکروسکوپ مورد بررسی واقع می شود. در طول این بررسی از دانه ساینده آلومینیا برای انجام آزمون خراش بر روی قطعه کار فولادی استفاده شده که خراش های حاصل شده برای درک عمیق و دقیق مکانیزم براده بداری در سنگزنی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. با مطالعه دقیق فرایند خراش توسط یک یا چند لبه ساینده می توان دروازه ای به شبیه سازی فرایندهای ماشینکاری بخصوص سنگزنی گشود و کیفیت این فرایند ماشینکاری را بالا برد. همچنین زمان و هزینه بررسی های تجربی را می توان کاهش داد و یک آنالیز دقیق از فرایند سنگزنی انجام داد که در عمل بسیار مشکل است. با توجه به گستره بودن دامنه کاری فرایندهای ماشینکاری، نتیجه این تحقیق می تواند در آینده راهنمایی مدل سازی فرایند سنگزنی باشد.

بیشتری کم می‌شود. از این شکل نیز نتیجه گرفته می‌شود که در سرعت‌های پایین که با برش همراه نیست، نیروهای سنگ زنی زیاد است اما این نیرو و انرژی صرف تغییر شکل براده می‌گردد نه برش خالص.

4- بررسی شکل خراش‌ها و استخراج پروفیل خراش
هدف دیگر آزمایش، بررسی مکانیزم براده برداری از طریق مطالعه هندسه خراش‌های ایجاد شده می‌باشد. پروفیل خراش برای نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ اندازه‌گیری شد. نمونه‌ای از پروفیل خراش‌های ایجاد شده در شکل 4 نشان داده شده است. با توجه به این بررسی‌ها می‌توان از طریق هندسه خراش‌های ایجاد شده مکانیزم برداشت براده را مورد بحث قرار داد.

در پروفیل‌های سه بعدی خراش‌ها جهت استخراج عمق شیار، مساحت شیار و سایر اطلاعات دیگر، از عمیق ترین نقطه پروفیل استفاده می‌شود. عمیق ترین نقطه در وسط خراش‌ها بوده اما بعضی اوقات با توجه به عدم مسطح بودن قطعه کار از وسط شیارها دور می‌شود. انواع مختلف پروفیل خراش با هندسه مختلف در این آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت.
پیش‌بینی‌ها در مرحله اول خراش‌ها درست بودند. تک‌خراش‌ها برای همه فعل و انفعالات توسط تک‌دانه ساینده ایجاد شدند، تا اینکه لبه برشی دانه ساینده دچار سایش می‌گردد.

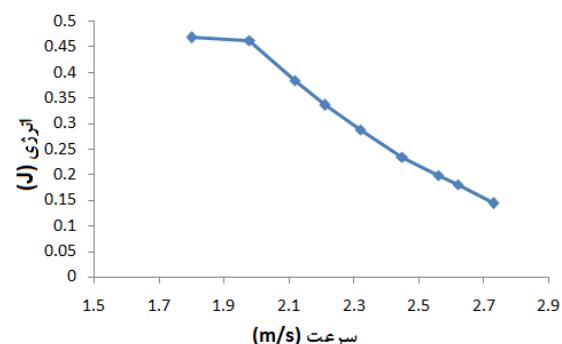
پدیده سایش دانه شامل سایش دانه و شکست دانه بوده که در نهایت منجر به ایجاد لبه‌های برشی جدید در دانه ساینده می‌شود. در اینجا دانه ساینده آلومینیوم اکسید (Al_2O_3) با مشاهده اندازه‌های مختلف در تمام مراحل آزمایش استفاده شده است. دانه‌های ساینده به دلیل چسبندگی نامناسب جدا می‌شوند و یا اینکه در طول خراش و در حداکثر عمق برش بخار نیروهای بالای براده برداری دچار شکست شدید می‌گردند. با وجود اتفاقات ذکر شده چاره‌ای جز نصب مجدد دانه ساینده جدید برای ادامه آزمایش نیست. حال اگر چسبندگی دانه مناسب بوده و در حین انجام خراش‌ها شکسته نشود، در ادامه آزمون فرسوده شده و خراش‌های بزرگتری ایجاد خواهد کرد. زمانی که دانه در حین خراش شکسته می‌شود، لبه‌های برشی جدید بر روی دانه ساینده ایجاد شده و نتیجه آن خراش چندلبه بر روی قطعه کار خواهد بود. سیر تکاملی خراش‌های تکلبه و چندلبه که تحت تأثیر شکل دانه ساینده قرار گرفته است، در شکل 5 نشان داده شده است. در

صرف شده اجابت ایجاد خراش تقریباً برای است. طول در گیری دانه ساینده با قطعه کار، انرژی و نیرو اندازه‌گیری شده در جدول 1 نشان داده شده است.

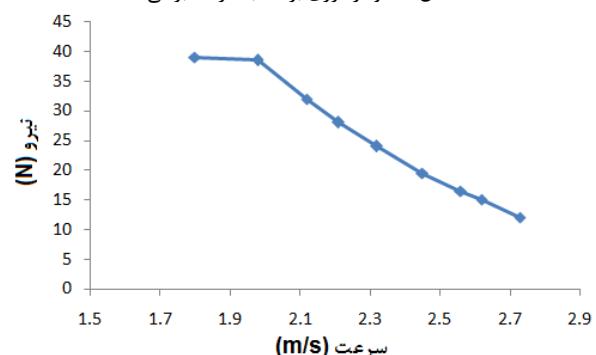
تغییرات انرژی و نیروی برش بر حسب تغییرات سرعت برشی به ترتیب در شکل 2 و 3 نشان داده شده است. شکل 2 نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی ذره ساینده انرژی براده برداری کاهش می‌یابد. مشاهده می‌گردد که هر چقدر سرعت بیشتر می‌شود، انرژی با شبیه‌بیشتری کم می‌شود. اما در سرعت‌های کم انرژی تقریباً ثابت بوده و سپس شروع به کاهش می‌نماید که دلیل این امر نوع مکانیزم براده برداری است. در این محدوده برش اتفاق نمی‌افتد و انرژی صرف شخم و تغییر شکل براده می‌گردد.

جدول 1 داده‌های مربوط به طول در گیری دانه ساینده، سرعت برشی، نیرو و انرژی

نیرو (N)	انرژی (J)	سرعت (m/s)	طول در گیری دانه ساینده (m)
12	0/144	2/73	0/012
15	0/180	2/62	0/012
16/5	0/198	2/56	0/012
19/5	0/234	2/45	0/012
24	0/288	2/32	0/012
28	0/336	2/21	0/012
32	0/384	2/12	0/012
38/5	0/462	1/98	0/012
39	0/468	1/80	0/012

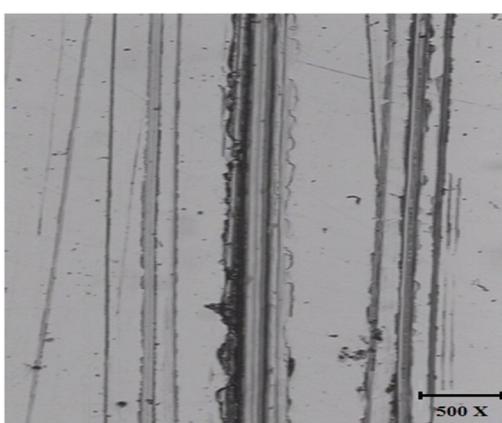


شکل 2 نمودار انرژی بر حسب سرعت برشی



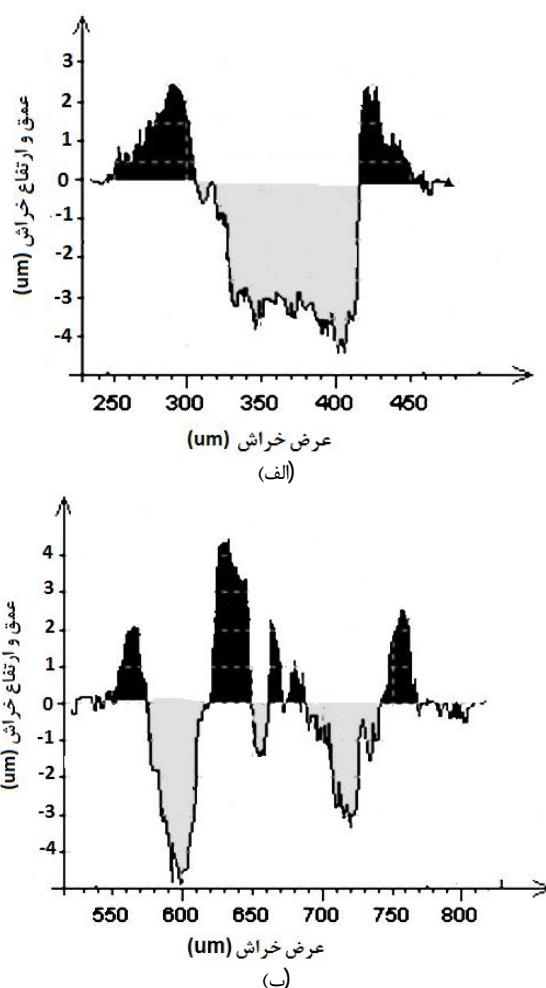
شکل 3 نمودار نیروی مماسی بر حسب سرعت برشی

چنین ارتباطی بین نیروی مماسی و سرعت برشی ذره ساینده در شکل 3 نیز وجود دارد. با توجه به این شکل مشخص است که با افزایش سرعت، نیرو مماسی کاهش می‌یابد و هر اندازه سرعت بیشتر باشد، نیرو با شبیه

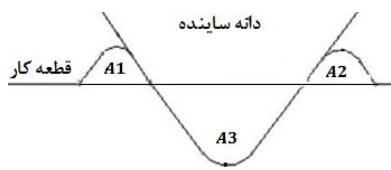


شکل 4 مثالی از پروفیل خراش‌ها

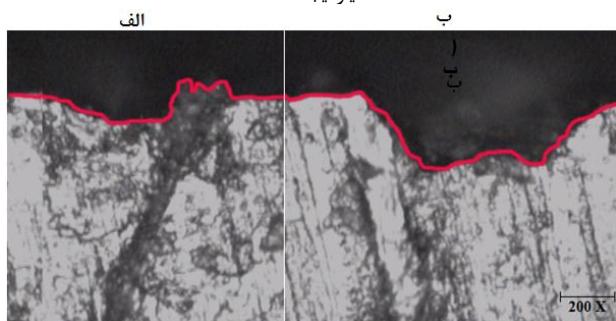
این شکل خراش سمت چپ توسط یک دانه ساینده با یک لبه برشی تیز ایجاد شده حال آنکه در طول عملیات دانه ساییده شده و شکل خراش‌های



شکل 6 سطح مقطع جریان‌های جانبی مواد و سطح مقطع شیار برای (الف) خراش تکله در یک پاس. (ب) خراش چندله در یک پاس.



شکل 7 پروفیل خراش ایجاد شده. A1+A2 مساحت جریان جانبی براده و A3 مساحت شیار ایجاد شده



شکل 8 پروفیل مقطع عرضی ایجاد شده توسط (الف) دانه تکله (ب) دانه چندله مقدار جریان‌های جانبی مواد و مقاومت براده برداری برای خراش‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشاهده گردید که با افزایش عمق برش و مساحت شیار، مقدار جریان‌های جانبی مواد افزایش می‌یابد. این افزایش مقدار

بعدی ایجاد شده با آن تغییر می‌کند که این موضوع در شکل خراش‌های سمت راست مشخص است.

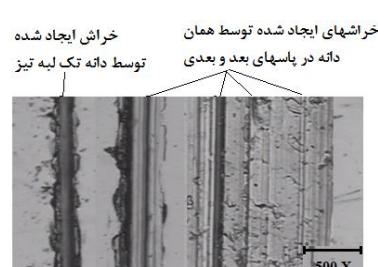
براساس نتایج بدست آمده، خراش‌های تکله و چندله تفاوت‌های زیادی از لحاظ مکانیزم براده برداری نشان می‌دهند. در این کار فاز مالش و شخم در مکانیزم براده برداری برای بررسی ارتباط میان پارامترهای مختلف از قبیل عمق برش، مساحت شیار، مقدار جریان‌های جانبی مواد و غیره بررسی شده‌اند. به منظور انجام این بررسی، مساحت مقدار جریان‌های جانبی مواد شده‌اند. به منظور انجام این بررسی، مساحت نقطه با استفاده از روش انگرال‌گیری عددی محاسبه شده‌اند. مقدار جریان‌های جانبی مواد که برابر مقدار مساحت جریان‌های جانبی مواد به مساحت مقطع شیار می‌باشد، شاخص مناسبی برای نمایش اثر شخم بر روی براده برداری مواد می‌باشد [1]. مساحت جریان‌های جانبی مواد و مساحت مقطع شیار برای خراش تکله و خراش چندله در شکل 6 نشان داده شده است.

کارایی براده برداری با کم کردن مقدار جریان‌های جانبی مواد از مساحت کلی شیار محاسبه می‌شود. برای محاسبه کارایی براده برداری (η) می‌توان به کمک شکل 7 و از رابطه 1 استفاده نمود. بنابراین با تجزیه و تحلیل مقدار جریان‌های جانبی مواد و کارایی براده برداری، مکانیزم براده برداری در آزمون‌های خراش تکدانه آشکار می‌گردد. با توجه به این حقیقت و شکل 6 می‌توان گفت که در خراش‌های تکله مقدار جریان جانبی براده در مقایسه با دانه ساینده چند لبه بیشتر بوده و در نتیجه کارایی برش برای دانه تکله نیز بیشتر است. به صورت تقریبی و با توجه به شکل 6 می‌توان گفت که کارایی براده برداری برای خراش تکله 220 میکرومترمربع و برای خراش چند لبه برابر با 40 میکرومترمربع می‌باشد.

$$\eta = A3 - (A1 + A2) \quad (1)$$

5- مقطع عرضی پروفیل ایجاد شده در تست‌های خراش تکدانه

براساس مشاهدات آزمایش، شکل لبه برنده در طول مسیر خراش با توجه به پدیده سایش و شکست لبه برنده دانه به طور مداوم تغییر می‌کرد. دانه ساینده نو با تکله برندۀ خراش‌های تکله ایجاد می‌کند. با افزایش تعداد خراش‌های انجام شده با همان دانه، شکل لبه برنده دانه تغییر کرده و خراش‌ها به صورت چند لبه ظاهر می‌شوند. خراش‌های ایجاد شده با دانه‌های تکله و چندله خصوصیات متفاوتی از لحاظ مکانیزم براده برداری مواد نشان می‌دهند. در شکل 8 نمونه‌ای از پروفیل مقاطع عرضی ایجاد شده توسط دانه‌های ساینده تکله و چندله نشان داده شده است.



شکل 5 سیر تکاملی شکل خراش‌ها در تست خراش تکدانه (شکل دانه برشی به دلیل سایش دانه تغییر می‌کند)

خراش تنها فاز برش مفروض است. نمی‌توان فرض کرد که فاز مالش در ابتدای نفوذ دانه به داخل قطعه کار اتفاق می‌افتد. فاز مالش برای تغییر شکل الاستیک تعريف شده و عمدها در آغاز فعل و انفعالات دانه و قطعه کار و در منطقه‌ای بسیار کوچک اتفاق می‌افتد که ممکن است قبل مشاهده نباشد. در اینجا به بررسی مکانیزم براده‌برداری بر روی مقدار جریان‌های جانبی مواد و برداشت مواد در طول مسیر خراش تأکید خواهد شد.

تغییرات مقدار جریان‌های جانبی مواد در امتداد تک‌خراش در شکل 10 نشان داده شده است، به‌طوری که نقطه با کارایی برشی بالا را می‌توان با مشاهده تغییرات مقدار جریان‌های جانبی مواد در امتداد طول خراش پیدا نمود.

در مرحله اول فعل و انفعالات دانه و قطعه کار، درصد مقدار جریان‌های جانبی مواد نسبتاً بالا (حدود 1 الی 3) مشاهده گردید که نشان می‌دهد در آن منطقه با توجه به تغییر شکل پلاستیک، برآمدگی مواد اتفاق افتاده است. قبل از شروع این مرحله فرض شد که فاز مالش اتفاق می‌افتد، اما نمی‌توان آن را مشاهده کرد. سپس هنگامی که عمق خراش بیشتر می‌شود (تا حد اکثر عمق خراش)، مقدار جریان‌های جانبی مواد کم می‌شود. با نزدیک شدن به انتهای خراش، عمق خراش نیز رفته‌رفته کم شده تا جایی که فعل و انفعالات قطعه کار به پایان می‌رسد (انتهای کار). هنگامی که دانه به سمت انتهای کار در حرکت است، مواد سخم داده شده را به جلو هل می‌دهد. برخی از قسمت‌های این مواد در طول دو طرف شیار به حرکت در می‌آیند. در نتیجه‌ی جریان‌های جلویی و جریان‌های کناری، درصد مقدار جریان‌های جانبی مواد از عمیق‌ترین نقطه خراش تا انتهای کار به بالاترین درصد خود (حتی تا 30) می‌رسد. شکل 11 تغییرات کارایی براده‌برداری با تغییر عمق برشی را نشان می‌دهد.

حداکثر کارایی براده‌برداری در بیشترین عمق برش اتفاق می‌افتد. در براده‌برداری با زاویه حمله منفی نشان داده می‌شود که مواد انباسته شده به سوی انتهای خراش منتقل می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در

جریان‌های جانبی مواد، اثرات شکل لبه برشی دانه ساینده را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش عمق برش، مقاومت براده‌برداری نیز افزایش می‌یابد. برخلاف نتایج گفته شده در بالا که برای دانه‌های ساینده با لبه برندۀ صاف بود، رفتار براده‌برداری مواد برای دانه‌های ساینده با لبه برندۀ تیز، کاملاً متفاوت بوده و عکس موارد ذکر شده در قبل می‌باشد. درحالی‌که دانه ساینده لبه تیزی دارد، با افزایش عمق برش و مساحت شیار، مقدار جریان‌های جانبی مواد کاهش و در نتیجه کارایی براده‌برداری افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج پروفیل عرضی خراش‌های ایجاد شده با لبه برندۀ صاف و لبه برندۀ تیز نشان می‌دهد که شکل دانه ساینده تأثیر قابل توجهی بر روی مقدار جریان‌های جانبی مواد دارد. با بکارگیری دانه‌های تیز یا دانه‌های صاف و بی‌نوك، رفتار براده‌برداری مواد بسیار متفاوت است.

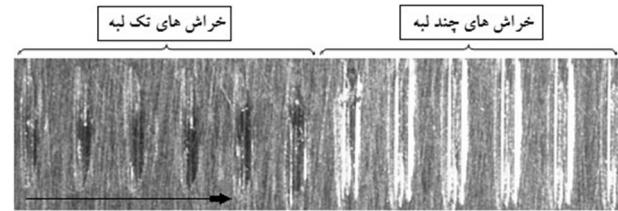
در طول فرایند خراش، شکل لبه برشی دانه ساینده با توجه به مکانیزم‌های سایش مختلف که در دانه بوجود می‌آید، مدام تغییر می‌کند. در آغاز آزمایش و با توجه به تک‌لبه بودن دانه، خراش‌های تک‌لبه ایجاد می‌شود. سپس بر اثر سایش لبه برشی دانه ساینده (سایش و شکست لبه دانه)، دانه تک‌لبه به دانه چندلبه تبدیل می‌شود. شکل 9 تصویر گرفته شده از خراش‌های ایجاد شده (خراش‌های تک‌لبه و خراش‌های چندلبه) را نشان می‌دهد. این عکس تفاوت معنادار مکانیزم براده‌برداری مواد توسط دانه تک‌لبه و چندلبه را نشان می‌دهد.

مشاهده شد که مقدار جریان‌های جانبی مواد در خراش‌های چندلبه در مقایسه با خراش‌های تک‌لبه به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. این مقدار بالای جریان‌های جانبی مواد در دانه‌های ساینده چندلبه را می‌توان به حاکم بودن پدیده شخمزنی نسبت داد. در دانه‌های ساینده چندلبه، هر یک از لبه‌های برشی یک لبه برشی کوچکتر و پهن‌تر دارد. براده‌برداری مواد به منظور تغییر شکل براده تنها در قسمت جلویی لبه برشی دانه اتفاق می‌افتد. بنابراین دو دلیل برای بالا بودن مقدار جریان‌های جانبی مواد برای خراش‌های چند لبه وجود دارد: (1) هر لبه برندۀ با توجه به عرض در گیری کوچکتر در مقایسه با کل دانه عمق برشی کمتری داردند. (2) مواد در وسط خراش به دام افتاده و در نتیجه برداشته نخواهند شد. بنابراین در خراش‌های چندلبه در مقایسه با خراش‌های تک‌لبه کارایی براده‌برداری کمتر است.

6- براده‌برداری مواد در طول مسیر خراش

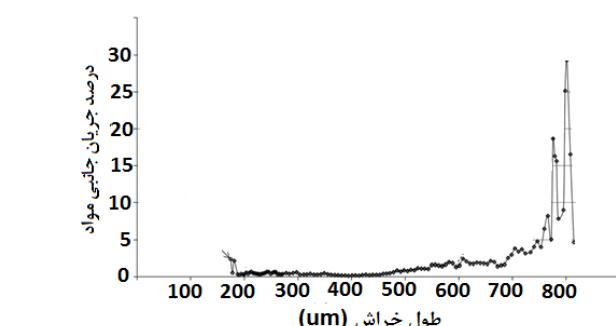
در قسمت‌های قبل مکانیزم براده‌برداری مواد با مقدار جریان‌های جانبی مواد و براده‌برداری مواد از پروفیل مقطع خراش‌ها و در عمیق‌ترین نقطه (وسط خراش) مورد بررسی قرار گرفت.

این بررسی مکانیزم براده‌برداری مواد در مرحله اولیه نفوذ دانه به داخل قطعه کار و یا در انتهای مرحله خراش، زمانی که دانه از قطعه کار جدا می‌شود را نشان می‌دهد. سه فاز مکانیزم براده‌برداری مواد در سنتگزنا، سخم و برش نامیده می‌شوند که امکان مشاهده همه مراحل زمانی که تنها پروفیل مقطع خراش‌ها در نظر گرفته شده است وجود ندارد. زیرا در وسط

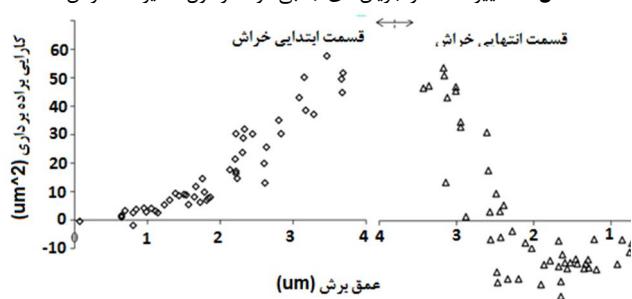


جهت حرکت خراش با افزایش عمق برش

شکل 9 تصویر میکروسکوپی از خراش‌ها با دو لبه برشی مختلف



شکل 10 تغییرات مقدار جریان‌های جانبی مواد در طول مسیر تک‌خراش



شکل 11 تغییرات کارایی براده‌برداری بر حسب عمق برش در امتداد مسیر تک‌خراش

(برش) نسبت به سمت خروجی خراش (از حداکثر عمق برش تا پایان کار) برجسته‌تر است. انباشته شدن مواد در محدوده انتهایی خراش در اطراف و جلوی دانه بیشتر است. این پدیده به بیان رفتارهای مختلف سنگزنی در سنگزنی موافق و سنگزنی مخالف کمک می‌کند.

8- تقدیر و تشکر

نویسنده‌گان از کمک آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشگاه صنعتی امیرکبیر در انجام آزمایش‌های تجربی و بررسی آنها تشکر و قدردانی می‌نمایند.

9- مراجع

- [1] T. Tecelli, X. Chen, Experimental investigation of material removal mechanism in single grit grinding, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, pp. 32-40, 2012
- [2] A Azizi, S M Rezaei, A Rahimi, Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance, *Int J Adv Manuf Technol*, DOI 10.1007/s00170-009-2227-0, 2009
- [3] E. Brinksmeier, J. C. Aurich, E. Govekar, Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, vol 55/2, pp. 667-696,2008
- [4] G. Warnecke, U. Zitt, Kinematic Simulation for Analyzing and Predicting High-Performance Grinding Processes, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol 47/1, pp. 265-270, 1998
- [5] Y. Xie, J. A. Williams, The generation of worn surfaces by the repeated interaction of parallel grooves, *Wear*, vol. 164, pp. 864-887, 1993
- [6] Y. Xie, J. A. Williams, The prediction of friction and wear when a soft surface slides against a harder rough surface, *Wear*, vol. 196, pp.21-34, 1996.
- [7] H. C. Chang, J. J. Junz , A stochastic grinding force model considering random grit distribution, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 48, pp. 1335-1344, 2008
- [8] D.V. De Pellegrin, G.W. Stachowiak, Simulation of 3-dimensional abrasive particles, *Wear*, vol 32, pp. 208-216, 2005.
- [9] A. A. Torrance, The effect of grit size and asperity blunting on abrasive wear, *Wear*, vol. 12, pp. 813-819, 2002
- [10] H. Hamdi , M Dursapt, H Zahouani, Characterization of abrasive grain's behavior and wear mechanisms, *Wear*, vol 25, pp. 1294-1298, 2003
- [11] R.S. Hahn, On the nature of the grinding process, in: *Proceedings of the 3rd International Machine Tool Design & Research Conference, Manchester*, 1962.

شروع خراش تا رسیدن به حداکثر عمق برش، کارایی برشی افزایش یافته و از حداکثر عمق برشی تا انتهای خراش کارایی برش کم می‌شود.

7- نتایج

در این تحقیق به بررسی تجربی ایجاد خراش توسط یک دانه ساینده و سپس مطالعه آن پرداخته شد. نتایج گفته شده در ادامه را می‌توان از این تحقیق استخراج نمود.

با بررسی هندسه خراش‌ها به وضوح مشخص گردید که کارایی براده‌برداری به طور دائم در طول خراش تک‌دانه تغییر می‌کند. مشابه فرایند سنگزنی واقعی، دانه‌های مورد استفاده در تحقیق اشکالی نامنظم داشته که در طول فرایند خراش و با توجه به ماهیت سایش تغییر می‌کنند. نشان داده شد که مقدار جریان‌های جانبی مواد را می‌توان به عنوان شاخصی مناسب برای کارایی برش در نظر گرفت که مقدار آن به شدت بستگی به شکل لبه برندۀ دانه دارد. این اندازه‌گیری می‌تواند اطلاعات مفیدی از تیزی دانه را نیز فراهم کند. همچنین مشخص شد که توانایی برشی دانه با شکل لبه برندۀ دانه تغییر خواهد کرد. مقدار جریان‌های جانبی مواد ، زمانی که شکل لبه برندۀ دانه تخت است، با افزایش عمق برش، افزایش می‌یابد. همچنین مقدار جریان جانبی مواد زمانی که شکل لبه برندۀ دانه تیز است، با افزایش عمق برش، کاهش می‌یابد. اگرچه ممکن است دانه‌های چندلبه به صورت هندسی تیزتر به نظر برسند، اما دانه تک‌لبه دارای کارایی برشی بالاتری است. زیرا مقدار جریان‌های جانبی مواد خراش‌های چندلبه در مقایسه با خراش‌های تک‌لبه خیلی بالاتر است. بنابراین به منظور بهبود کارایی سنگزنی، می‌بایست استراتژی درسینگ مناسب برای لبه‌های برندۀ موجود بر روی سطح چرخ‌سنگ به کار گرفته شود. علاوه بر موارد ذکر شده، مکانیزم براده‌برداری مواد در طول مسیر خراش نیز مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه گردید که برداشت مواد در سمت ورود خراش (شروع خراش تا حداکثر عمق