



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

عبدالحمید عزیزی<sup>1\*</sup>، مهرداد محمدیاری<sup>2</sup>

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ایلام، ایلام

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

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

## اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 29 تیر 1393

پذیرش: 20 مرداد 1393

ارائه در سایت: 16 مهر 1393

کلید واژگان:

سنگ زنی

خراش تک دانه

دانه ساینده

براده برداری

## چکیده

تحقیقات بر روی فرایندهای خراش اغلب به منظور بررسی فرایندهای پرداختکاری مانند سنگ‌زنی انجام می‌گیرند. فرایند سنگ‌زنی به گونه‌ای است که تعدادی لبه ساینده با توزیع آماری خاص با سطح قطعه‌کار درگیر شده و از آن براده‌برداری می‌کند. در این تحقیق فرایند خراش و براده‌برداری را برای یک تک‌دانه 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 سنگ‌زنی بسط و توسعه داد. این امر منتج به بهبود کارایی و کیفیت ماشینکاری بخصوص سنگ‌زنی شده و همچنین از مکانیک سنگ‌زنی 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 چرخ‌سنگ 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 دارند. 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 برنده 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.

## Grinding process investigation using creating scratch by an abrasive grit

Abdolhamid Azizi<sup>1\*</sup>, Mehrdad Mohamadyari<sup>2</sup>

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

2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Dezfoul Branch, Dezfoul, 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.

## 1- مقدمه

آزمایشات نشان داد که توانایی برشی دانه با تغییر شکل لبه برنده تغییر می‌کند. دانه‌هایی با تنها یک لبه برنده 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 پیش‌بینی و بهره‌گیری عمیق‌تر از دانش فرایند سنگ‌زنی و فرایندهای برش، مطالعات تجربی و مدل‌سازی‌های تحلیلی از اهمیت زیادی برخوردارند. در بررسی که در سال 2012 توسط تهسین و همکارانش [1] ارائه شد، دریافتند که مقاومت براده‌برداری مواد در طول خراش تک‌دانه تغییر می‌کند.

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:

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)

## 2- کار تجربی و آزمایشگاهی

### 2-1- آزمایش خراش تک دانه

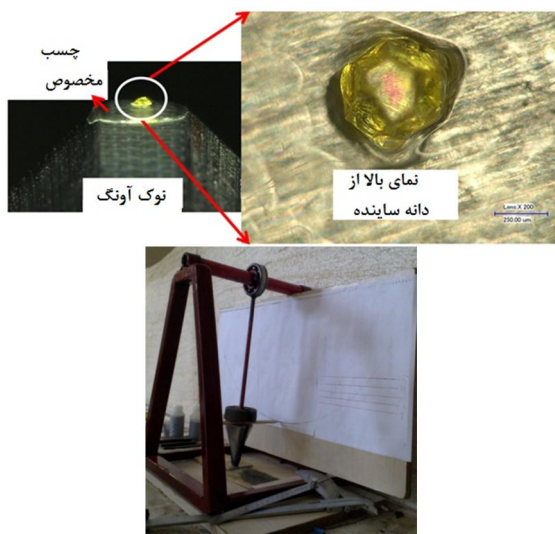
آزمایش تک دانه سنگ‌زنی توسط دستگاه پاندول انجام شد. دانه ساینده توسط چسب به نوک پاندول چسبانده می‌شود. به کمک پاندول می‌توان با سرعت زیاد بر روی قطعه کار خراش ایجاد نمود. قطعه‌کارها با استفاده از قید و بند مناسب مهار می‌گردند به گونه‌ای که مرکز نوک آونگ و مرکز قطعه‌کار دقیقاً در یک راستا قرار گیرند. با ایجاد یک خراش، قطعه‌کار در جهت متناظر با حرکت آونگ مقداری حرکت داده می‌شود 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 قطعه‌کار فولادی است. آونگ و دانه ساینده نصب شده روی نوک آونگ در شکل 1 نشان داده شده است.

### 2-2- مواد و روش‌ها

در طول این بررسی از دانه ساینده آلومینا با اندازه مش‌های مختلف و چسب مخصوص برای چسباندن این دانه به سر آونگ و قطعه‌کار فولادی HSS برای انجام آزمون‌های خراش استفاده می‌شود. سطح قطعه‌کار از قبل پرداخت شده و برای انجام خراش آماده می‌گردند. طول آونگ با در نظر گرفتن دانه‌های نوک آونگ 40cm اندازه‌گیری شد. پاندول از ارتفاع‌های اولیه مشخص رها گردید و ارتفاع‌های ثانویه دانه ساینده نصب شده، پس از ایجاد خراش بر روی قطعه‌کار، اندازه‌گیری و ثبت گردید. با تکمیل این فرایند چندین خراش بر روی قطعه‌کار ایجاد و این روال برای قطعه‌کارهای دیگر تکرار می‌شود.

### 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 ارتفاع‌های اولیه مختلف و همچنین تغییر میزان عمق درگیری دانه ساینده با سطح قطعه‌کار، ارتفاع‌های ثانویه مختلفی حاصل خواهد شد. با توجه به ارتفاع رها شده آونگ و از دینامیک می‌توان سرعت برخورد ذره ساینده با سطح قطعه‌کار را محاسبه کرد. از طریق اختلاف ارتفاع اولیه و ثانویه می‌توان 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 اندازه‌گیری طول خراش و تقسیم انرژی بر طول خراش می‌توان 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 دانه‌های ساینده و خروجی مدل نیز انرژی و راندمان سنگ زنی بود. مرور دقیق روش‌های مختلف شبیه‌سازی در سنگ‌زنی را می‌توان در کار تونشاف و همکارانش و همچنین در کار برینکرمیر و همکارانش در سال 2006 [3] یافت. آنها اظهار داشتند که روش‌های سینماتیک، آنالیز المان محدود و مدل‌سازی دینامیک مولکولی بهترین تکنیک‌ها برای مدل‌سازی و بررسی فرایند سنگ زنی می‌باشند.

در انجمن تکنولوژی ساخت و تولید و سیستم‌های تولید، شبیه‌سازی سینماتیک فرایند سنگ‌زنی توسعه داده شد. ابتدا توسط وورنک و زیت [4] برای بهینه‌سازی فرایند بکار رفت. این ابزار شبیه‌سازی قادر به محاسبه پارامترهای براده مانند ضخامت‌های میانگین براده یا مساحت مقطع برش براده تغییر شکل نیافته در هر تک‌دانه فعال در توپوگرافی چرخ سنگ می‌باشد که بیشتر برای بهینه‌سازی ابزار سنگ‌زنی توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفت. ویلیام و زای [5,6] با در نظر گرفتن سایش، برش و شخم در محدوده تغییرشکل توانستند تا محدودیت این مدل را برطرف کنند. به گونه‌ای که طبق مدل جدید، میزان برش با افزایش زاویه حمله (شیب ذرات ساینده بر روی سطح چرخ‌سنگ) و کاهش ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. مساحت مقطع براده و نیروی مخصوص سنگ‌زنی برای محاسبه نیروهای تک‌دانه در روش کینزل [7] مورد استفاده واقع شده است. روش کینزل در اصل برای فرایندهای تراشکاری ارائه شد، اما با بسط آن برای بشمار دانه ساینده روی سطح چرخ سنگ می‌تواند این فرایند را نیز شبیه‌سازی کند. امکان مدل‌سازی ذرات ساینده با استفاده از چندوجهی‌های 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 دانه‌ها و ذرات بستگی دارد و همچنین کارایی بیشتر نیازمند چسبندگی و پراکندگی بیشتر لایه‌های ذرات ساینده است.

نتایج حاصل از تحقیق حمدی [10] نشان می‌داد 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 می‌دهد و همچنین در آزمون خراش با سرعت بالا مطالعه تأثیر سرعت بر روی رفتار دانه دارای اهمیت بیشتری است.

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

در این تحقیق با ایجاد خراش روی سطح قطعه کار، تأثیر پارامترهای سینماتیکی و هندسی بر روی نیرو و انرژی فرایند مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در نهایت پروفیل خراش‌ها با استفاده از میکروسکوپ مورد بررسی واقع می‌شود. در طول این بررسی از دانه ساینده آلومینا برای انجام آزمون خراش بر روی قطعه‌کار فولادی استفاده شده که خراش‌های حاصل شده برای درک عمیق و دقیق مکانیزم براده‌برداری در سنگ‌زنی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. با مطالعه دقیق فرایند خراش توسط یک یا چند لبه ساینده می‌توان دروازه‌ای به شبیه‌سازی فرایندهای ماشینکاری بخصوص سنگ‌زنی گشود و کیفیت این فرایند ماشینکاری را بالا برد. همچنین زمان و هزینه بررسی‌های تجربی را می‌توان کاهش داد و یک آنالیز دقیق از فرایند سنگ‌زنی انجام داد که در عمل بسیار مشکل است. با توجه به گسترده بودن دامنه کاری فرایندهای ماشینکاری، نتیجه این تحقیق می‌تواند در آینده راهگشای مدل‌سازی 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.

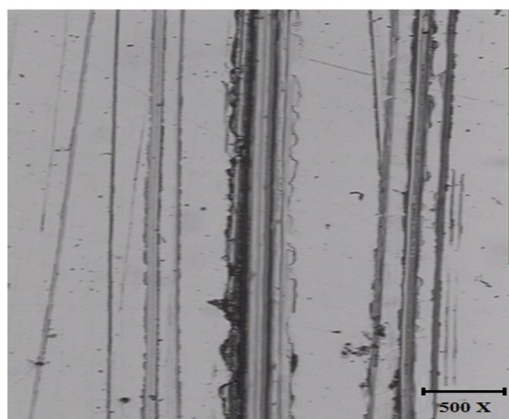
#### 4- بررسی شکل خراش‌ها و استخراج پروفیل خراش

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. عمیق‌ترین نقطه در وسط خراش‌ها بوده اما بعضی اوقات با توجه به عدم مسطح بودن قطعه‌کار 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 مش‌ها و 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 بخاطر 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 قطعه‌کار 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



شکل 4 مثالی از پروفیل خراش‌ها

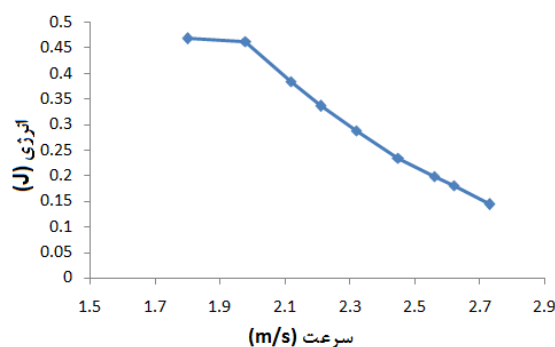
این شکل خراش سمت چپ توسط یک دانه ساینده با یک لبه برشی تیز ایجاد شده حال آنکه در طول عملیات دانه ساییده شده و شکل خراش‌های

صرف شده جهت ایجاد خراش تقریباً برابر است. طول درگیری دانه ساینده با قطعه‌کار، انرژی و نیرو اندازه‌گیری شده در جدول 1 نشان داده شده است.

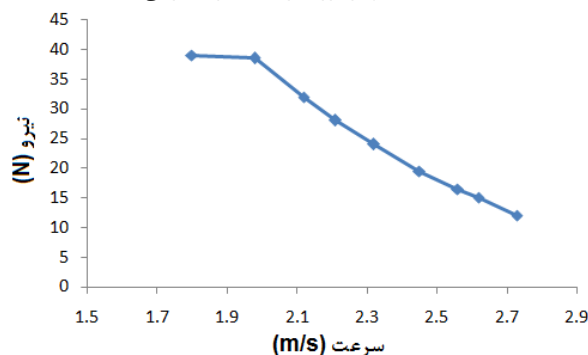
تغییرات انرژی و نیروی برش برحسب تغییرات سرعت برشی به ترتیب در شکل 2 و 3 نشان داده شده است. شکل 2 نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی ذره ساینده انرژی براده برداری کاهش می‌یابد. مشاهده می‌گردد که هر چقدر سرعت بیشتر می‌شود، انرژی با شیب بیشتری کم می‌شود. اما در سرعت‌های کم انرژی تقریباً ثابت بوده و سپس 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 درگیری دانه ساینده، سرعت برشی، نیرو و انرژی

نیرو (N)	انرژی (J)	سرعت (m/s)	طول درگیری 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

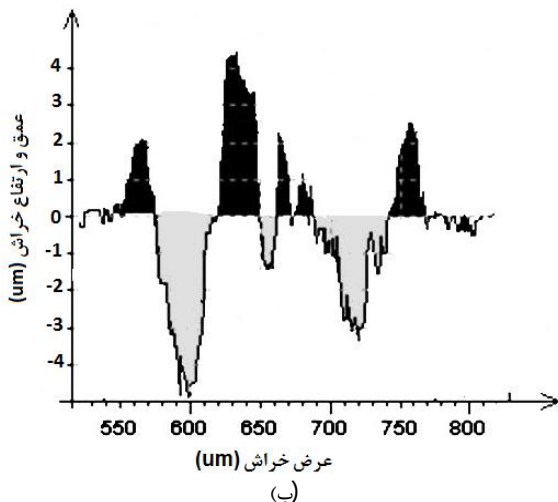
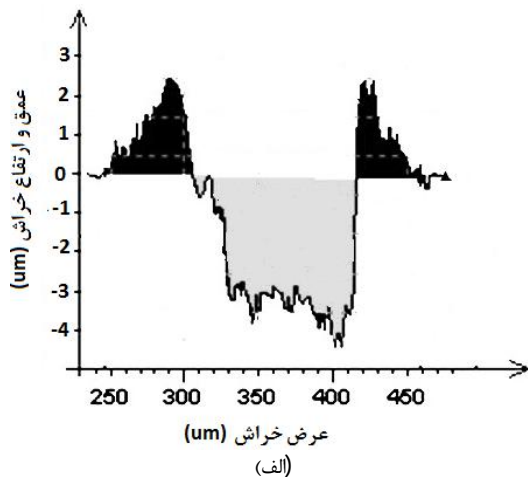


شکل 2 نمودار انرژی برحسب سرعت برشی

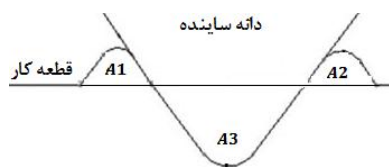


شکل 3 نمودار نیروی مماسی برحسب سرعت برشی

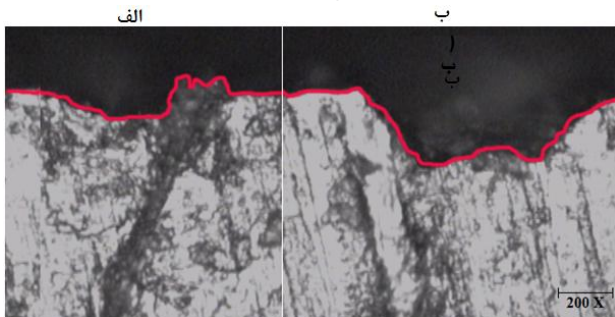
چنین ارتباطی بین نیروی مماسی و سرعت برشی ذره ساینده در شکل 3 نیز وجود دارد. با توجه به این شکل مشخص است که با افزایش سرعت، نیرو مماسی کاهش می‌یابد و هراندازه سرعت بیشتر باشد، نیرو با شیب



شکل 6 سطح مقطع جریان‌های جانبی مواد و سطح مقطع شیار برای (الف) خراش تک‌لبه در یک پاس. (ب) خراش چندلبه 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 چندلبه (ب) دانه تک لبه

مقدار جریان‌های جانبی مواد و مقاومت براده‌برداری 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 تک‌لبه و چندلبه تفاوت‌های زیادی از لحاظ مکانیزم براده‌برداری نشان می‌دهند. در این کار فاز مالش و شخم در مکانیزم براده‌برداری 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 خراش‌ها و مساحت شیار در عمیق‌ترین نقطه با استفاده از روش انتگرال‌گیری 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 براده‌برداری مواد می‌باشد [1]. مساحت جریان‌های جانبی مواد و مساحت مقطع شیار برای خراش تک‌لبه و خراش چندلبه در شکل 6 نشان داده شده است.

کارایی براده‌برداری با کم کردن مقدار جریان‌های جانبی مواد از مساحت کلی شیار محاسبه می‌شود. برای محاسبه کارایی براده‌برداری ( $\eta$ ) می‌توان به کمک شکل 7 و از رابطه 1 استفاده نمود. بنابراین با تجزیه و تحلیل مقدار جریان‌های جانبی مواد و کارایی براده‌برداری، مکانیزم براده‌برداری در آزمون‌های خراش تک‌دانه آشکار می‌گردد. با توجه به این حقیقت و شکل 6 می‌توان گفت که در خراش‌های تک لبه مقدار جریان جانبی براده در مقایسه با دانه ساینده چند لبه بیشتر بوده و در نتیجه کارایی برش برای دانه تک لبه نیز بیشتر است. به صورت تقریبی و با توجه به شکل 6 می‌توان گفت که کارایی براده‌برداری برای خراش تک لبه 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 می‌کند. دانه ساینده نو با تک‌لبه برنده خراش‌های تک‌لبه 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 تک‌لبه و چندلبه خصوصیات متفاوتی از لحاظ مکانیزم براده‌برداری مواد نشان می‌دهند. در شکل 8 نمونه‌ای از پروفیل مقاطع عرضی ایجاد شده توسط دانه‌های ساینده تک‌لبه و چندلبه نشان داده شده است.



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

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 برنده صاف بود، رفتار براده‌برداری مواد برای دانه‌های ساینده با لبه برنده تیز، کاملاً متفاوت بوده و عکس موارد ذکر شده در قبل می‌باشد. درحالتی که 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 برنده صاف و لبه برنده تیز نشان می‌دهد که شکل دانه ساینده تأثیر قابل توجهی بر روی مقدار جریان‌های جانبی مواد دارد. با بکارگیری دانه‌های تیز و یا دانه‌های صاف و بی‌نوک، رفتار براده‌برداری مواد بسیار متفاوت است.

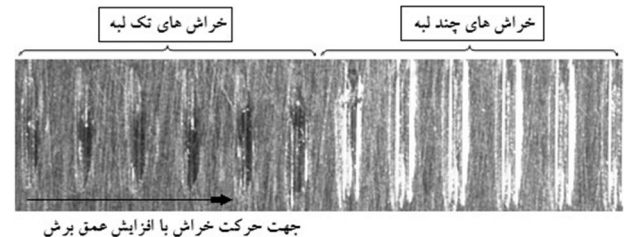
در طول فرایند خراش، شکل لبه برشی دانه ساینده با توجه به مکانیزم‌های سایش مختلف که در دانه وجود می‌آید، مدام تغییر می‌کند. در آغاز آزمایش و با توجه به تک‌لبه بودن دانه، خراش‌های تک‌لبه ایجاد می‌شود. سپس بر اثر سایش لبه برشی دانه ساینده (سایش و شکست لبه دانه)، دانه تک‌لبه به دانه چندلبه تبدیل می‌شود. شکل 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 به‌طور 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 برنده با توجه به عرض درگیری کوچکتر در مقایسه با کل دانه عمق برشی کمتری دارند. (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.

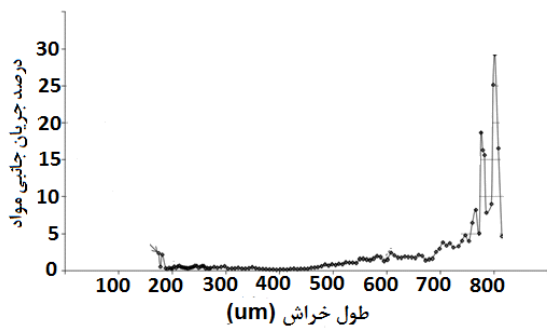
### 6- براده‌برداری مواد در طول مسیر خراش

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.

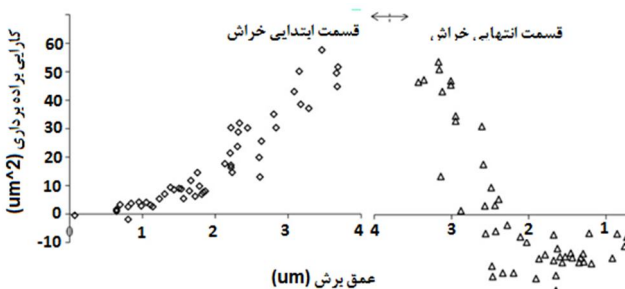
این بررسی مکانیزم براده‌برداری مواد در مرحله اولیه نفوذ دانه به داخل قطعه کار و یا در انتهای مرحله خراش، زمانی که دانه از قطعه کار جدا می‌شود را نشان نمی‌دهد. سه فاز مکانیزم براده‌برداری مواد در سنگ‌زنی، مالش، شخم و برش نامیده می‌شوند که امکان مشاهده همه مراحل زمانی که تنها پروفیل مقطع وسط خراش‌ها در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



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 برحسب عمق برش در امتداد مسیر تک‌خراش

برش) نسبت به سمت خروجی خراش (از حداکثر عمق برش تا پایان کار) برجسته تر است. انباشته شدن مواد در محدوده انتهایی خراش در اطراف و جلوی دانه بیشتر است. این پدیده به بیان رفتارهای مختلف سنگ زنی در سنگ زنی موافق و سنگ زنی مخالف کمک می کند.

#### 8- تقدیر و تشکر

نویسندگان از کمک آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشگاه صنعتی امیرکبیر در انجام آزمایش های تجربی و بررسی آنها تشکر و قدردانی می نمایند.

#### 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 می شود.

#### 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 می توان از این تحقیق استخراج نمود.

با بررسی هندسه خراش ها به وضوح مشخص گردید که کارایی براده برداری به طور دائم در طول خراش تک دانه تغییر می کند. مشابه فرایند سنگ زنی واقعی، دانه های مورد استفاده در تحقیق اشکالی نامنظم داشته که در طول فرایند خراش و با توجه به ماهیت سایش تغییر می کنند. نشان داده شد که مقدار جریان های جانبی مواد را می توان به عنوان شاخصی مناسب برای کارایی برش در نظر گرفت که مقدار آن به شدت بستگی به شکل لبه برنده دانه دارد. این اندازه گیری می تواند اطلاعات مفیدی از تیزی دانه را نیز فراهم کند. همچنین مشخص شد که توانایی برشی دانه با شکل لبه برنده دانه تغییر خواهد کرد. مقدار جریان های جانبی مواد، زمانی که شکل لبه برنده دانه تخت است، با افزایش عمق برش، افزایش می یابد. همچنین مقدار جریان جانبی مواد زمانی که شکل لبه برنده دانه تیز است، با افزایش عمق برش، کاهش می یابد. اگرچه ممکن است دانه های چندلبه به صورت هندسی تیزتر به نظر برسند، اما دانه تکلبه دارای کارایی برشی بالاتری است. زیرا مقدار جریان های جانبی مواد خراش های چندلبه در مقایسه با خراش های تکلبه خیلی بالاتر است. بنابراین به منظور بهبود کارایی سنگ زنی، می بایست استراتژی درسینگ مناسب برای لبه های برنده موجود بر روی سطح چرخ سنگ به کار گرفته شود. علاوه بر موارد ذکر شده، مکانیزم براده برداری مواد در طول مسیر خراش نیز مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظه گردید که برداشت مواد در سمت ورود خراش (شروع خراش تا حداکثر عمق