

## رفتار سایشی ابزار کاربید تنگستنی پوشش دار در فرآیند تراش کاری

اینکونل ۷۱۸

بهر روز موحدی

گروه مهندسی نانوفناوری، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان

سعید اخوان

رسول مختاری همامی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۲/۰۷/۲۱ - پذیرش مقاله: ۹۳/۰۶/۲۲)

### چکیده

در این مقاله به ارزیابی رفتار سایشی ابزار برشی کاربید تنگستنی پوشش دار در حین فرآیند ماشین کاری ابرآلیاز اینکونل ۷۱۸ پرداخته شده است. به منظور درک رابطه بین شرایط ماشین کاری و مکانیزم‌های سایشی از مدل سازی، آزمایش و نقشه مکانیزم‌های سایشی بهره گرفته شده است. در این تحقیق از ابزار برشی کاربید تنگستن با پوشش TiAlN به عنوان ابزار برش استفاده شد. مهم ترین پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش، سرعت برشی، سرعت پیشروی، شعاع نوک ابزار، زاویه تنظیم اصلی و همچنین زمان ماشین کاری بود. نتایج نشان داد که بهترین شرایط عمر و کمترین میزان سایش ابزار، مربوط به ابزار با شعاع نوک ۱/۶ میلیمتر است. مطالعات نشان داد که لایه TiAlN به عنوان یک لایه محافظ از انتقال عناصر بین ابزار و قطعه کار در نواحی سایشی آرام و گذرا ممانعت می کند. با این حال با افزایش سرعت برش و نرخ پیش روی (حرکت در ناحیه سایش شدید) این لایه از سطح ابزار ساییده شده و انتقال عناصر اینکونل ۷۱۸ مانند نیکل، کروم و آهن بر سطح آزاد ابزار در مقطع برش باعث افزایش قابل توجه سایش چسبان می گردد.

واژه‌های کلیدی: نقشه مکانیزم سایش ابزار؛ سایش سطح آزاد؛ گودال فرسایش؛ ابزار برش، اینکونل ۷۱۸.

## Wear behaviour of tungsten carbide coated insert in turning of Inconel 718

B. Movahedi

Department of Nanotechnology Engineering, Faculty of Advanced Sciences and Technologies,  
University of Isfahan

R. Mokhtari Homami

Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology

S. Akhavan

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology

(Received 13 October 2013, accepted 13 September 2014)

### Abstract

In this paper the wear behaviour of tungsten carbide coated insert in turning Inconel718 has been carried out. In this approach the modeling and experiment as well as wear mechanism map were used to understand the relationship between the cutting conditions and the wear mechanisms. In this research, the WC insert with TiAlN layer was chosen as a cutting tool. The most important variables under study in this work are the cutting velocity, feed rate, tool nose radius, entering angle and turning time. As a result, the recommended machining conditions with minimal wear would be the selection a tool with a radius of 1.6 mm. The results showed that the TiAlN layer acts as a protection against the transfer of elements between the tool and workpiece in mild and transient wear zones. However, with an increase in the cutting velocity and feed rate, i.e. moving in the severe wear zone, the TiAlN layer breaks off the tool surface resulting in a considerable increase in the adhesive wear due to the transfer of such elements in Inconel718 as Nickel, chrome and iron to the flank face.

**Keywords:** Wear map; Flank wear; Crater wear; Cutting tool; Inconel718.

**E-mail of corresponding author:** b.movahedi@ast.ui.ac.ir

## مقدمه

اینکونل ۷۱۸ ابرآلیاژ سختی رسوبی پایه نیکلی است که به خاطر ویژگی‌های مکانیکی عالی آن در دماهای پایین و متوسط (۷۰۰°C - ۲۵۰°C)، در سال‌های اخیر به طور گسترده در صنعت هوافضا، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و همچنین نیروگاهی استفاده می‌شود. استحکام تسلیم و نهایی بالا، استحکام خستگی بالا، مقاومت در برابر اکسایش و فرسایش، مقاومت در برابر خزش و خوردگی، باعث کاربرد وسیع این آلیاژ در صنعت شده است [۳-۱]. با وجود ویژگی‌های مکانیکی و متالورژیکی مطلوب، این آلیاژ به یکی از سخت تراش‌ترین مواد در صنعت تبدیل شده است [۴-۶]. در حین فرآیند تراشکاری ابرآلیاژ اینکونل ۷۱۸، دمای ابزار به راحتی به خاطر ویژگی‌های ضعیف حرارتی این آلیاژ، افزایش می‌یابد در نتیجه پدیده‌های میکرو جوش در نوک ابزار برش و سطح میانی براده، منجر به تشکیل لبه انباشته<sup>۱</sup> بر روی ابزار برش در حین تراشکاری می‌شود. از طرف دیگر چقرمگی عالی این آلیاژ، شکسته شدن براده را در حین فرآیند تراشکاری به شدت کند می‌کند. علاوه بر این، فاز ثانویه رسوب سختی "۷" همراه با کار سختی در حین تراشکاری، شرایط برشی را حادتر می‌کند. تمامی این مشکلات منجر به سایش شدید ابزار و کاهش نرخ براده برداری می‌گردد. به طور کلی، این آلیاژ به دلیل وجود عواملی نظیر تنش‌های برشی بالا، ظرفیت کار سختی بالا، وجود فازهای کاربیدی سخت و ساینده در ریز ساختار، رسانایی حرارتی و گرمای ویژه پایین و همچنین تمایل زیاد به جوش خوردگی با ابزار برش و تشکیل لبه انباشته، به سختی ماشین‌کاری می‌شود. از این رو نیروهای برشی و دما در منطقه برشی به شدت افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش شدید عمر ابزار است [۷-۱۱]. مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی رفتار سایشی ابزار، سرعت برشی، سرعت پیشروی، شعاع نوک ابزار، زاویه تنظیم اصلی و همچنین

زمان ماشین‌کاری است. با توجه به نظریه تیلور [۷] رابطه سایش ابزار با سرعت برشی، نرخ پیشروی و عمق برشی به صورت غیر خطی است و این پارامترها بیشترین تاثیر را بر روی عمر ابزار نسبت به سایر پارامترهای ماشین‌کاری دارند [۸]. در این پژوهش رفتار سایشی ابزار برشی و مکانیزم‌های سایش در حین فرآیند ماشین‌کاری ابر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ ارزیابی شده است. بدین منظور از مدلسازی شبکه‌های عصبی، بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و رسم نقشه مکانیزم‌های سایشی استفاده شده است.

## مواد و روش‌ها

برای سرعت برشی، سرعت پیشروی و شعاع نوک ابزار سه مقدار متفاوت و برای زاویه تنظیم اصلی دو مقدار متفاوت تعیین گردید. همچنین بر اساس استاندارد ISO3685، سرعت‌های برشی باید طوری انتخاب شوند که طول عمر ابزار کاربیدی در بالاترین سرعت برشی کمتر از ۵ دقیقه نباشد، لذا در این تحقیق از طراحی آزمایش مختلط کامل با فاکتورهای دو سطحی و سه سطحی به صورت  $2^1 \times 3^3$  استفاده شد [۱۲]. سطوح مربوط به طراحی آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. در این کار پژوهشی از اینکونل ۷۱۸ به عنوان ماده برش که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۲ آمده است، استفاده شد. این ماده توسط فرآیند اکستروژن گرم تولید شده است. سطح نمونه‌ها قبل از تراشکاری کاملاً تمیز شد و فرآیند تراشکاری بدون استفاده از روان‌کار و محلول خنک‌کننده و در دمای محیط انجام گرفت. از ماشین تراش با مدل CNC TC-20 جهت انجام فرآیند تراشکاری استفاده شد. همچنین در این تحقیق از ابزار برشی کاربید تنگستنی S15 که پوششی از جنس TiAlN به روش رسوب فیزیکی بخار بر سطح آن ایجاد شده است، به عنوان ابزار برش استفاده گردید [۹]. برای شروع هر مرحله آزمایش از یک لبه برشی جدید استفاده شد به طوری که اندازه‌گیری سایش ابزار در مراحل مختلف مستقل از هم صورت

<sup>۱</sup> Build-up edge (BUE)

جدول ۱. سطوح و پارامترهای مربوط به طراحی آزمایش [۱۲].

پارامتر	واحد	سطوح		
		۱	۲	۳
سرعت برش ( $V_c$ )	m/min	۴۵	۵۵	۶۵
نرخ پیش‌روی ( $a_f$ )	mm/rev	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
شعاع نوک ( $r_e$ )	mm	۰/۸	۱/۲	۱/۶
زاویه تنظیم ( $K_r$ )	deg	۴۵	۷۵	---

جدول ۲. ترکیب شیمیایی ابرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ با استفاده از آنالیز کوانتومتری.

عنصر	Ni	Cr	Nb	Mo	Fe	Ti	Al	Co	C	Mn	Si	Cu
Wt%	۵۰-۵۵	۱۷-۲۱	۴/۷-۵/۵	۲/۸-۳/۳	۱۱/۵۵	۰/۶۵-۱/۱۵	۰/۲-۰/۸	۱/۰	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰

جنس کاربید تنگستن به کار می‌روند. در این پژوهش امکان دقیق اندازه‌گیری عمق گودال فرسایش فراهم نگردید از این رو در این مقاله، معیار عرض سایش سطح آزاد مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، مطابق شکل ۱-الف، سه حالت قابل بررسی می‌باشد. حالت اول اگر سایش سطح آزاد در منطقه B منظم نباشد، در صورتی که حداکثر عرض سایش سطح آزاد،  $VB_{max}$ ، به  $0/6 \text{ mm}$  برسد عمر ابزار پایان می‌یابد. حالت دوم اگر سایش سطح آزاد در منطقه B منظم باشد، در صورتی که میانگین عرض سایش سطح آزاد،  $VB$ ، به  $0/3 \text{ mm}$  برسد عمر ابزار تمام می‌شود و حالت سوم اگر عمق گودال فرسایش ( $KT$ ) به عدد  $KT = 0.06 + 0.3a_f$  (نرخ پیشروی است) برسد، عمر ابزار تمام می‌شود (شکل ۱-ب). چون در آزمون‌های اولیه مشخص شد [۱۲] که ابزار مورد بررسی در این تحقیق دچار ساییدگی منظم شده است، لذا مقدار  $0/3$  میلیمتر به عنوان معیار عمر ابزار در نظر گرفته شد. همچنین این آزمون‌ها نشان دادند که در سخت‌ترین شرایط، منطقه سایش پایدار تا زمان حدود ۵ دقیقه قابل

گیرد. لازم به ذکر است که هر آزمایش مشتمل بر ۱۰ مرحله ۳۰ ثانیه‌ای است که در مجموع ۵۴ آزمایش انجام شد [۱۲]. همچنین به منظور بررسی میزان سایش و مکانیزم آن از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل HILIPS XL30 و برای آنالیز شیمیایی سطوح سایشی از EDX استفاده شد.

## نتایج و بحث

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نمودار سایش بر حسب زمان به سه منطقه سایش اولیه، سایش پایدار و سایش شدید تقسیم می‌شود. بر این اساس، به منظور بررسی و مقایسه فرآیند سایشی ابزار برش، می‌بایست آزمایش‌ها در شرایطی که نرخ سایش ثابت است یعنی در منطقه سایش پایدار انجام شود [۱۰ و ۱۱]. همچنین طبق استاندارد ISO3685 [۱۱]، معیارهای عرض سایش سطح آزاد<sup>۱</sup> و عمق گودال فرسایش<sup>۲</sup> از جمله مهمترین معیارهایی هستند که بیشتر مواقع برای ابزارهای برش از

<sup>1</sup> Flank face

<sup>2</sup> Crater waer

همان‌طور که در تصاویر SEM شکل ۲ برای سه ابزار با شعاع‌های نوک مختلف دیده می‌شود، در تمامی آن‌ها سایش خراشان حادث شده است بنحوی که در ابزار با شعاع نوک ۰/۸ این مقدار بیشترین و در ابزار با شعاع نوک ۱/۶ این مقدار کمترین است. دلیل این امر وابسته به شکل نوک ابزار است، زیرا هرچه شعاع نوک ابزار افزایش یابد به دلیل افزایش استحکام لبه برنده ابزار، سایش خراشان کمتری در ابزار اتفاق می‌افتد. در بزرگنمایی بالاتر (شکل ۲-الف) می‌توان مشاهده نمود که قسمتی از ماده ابزار در لبه برنده در اثر سایش و دمای بالا به سمت بالا سیلان پیدا کرده است. این حالت در ابزارهایی با شعاع نوک کمتر، بیشتر حادث می‌شود که علت آن افزایش دما در حین فرآیند ماشین‌کاری است.

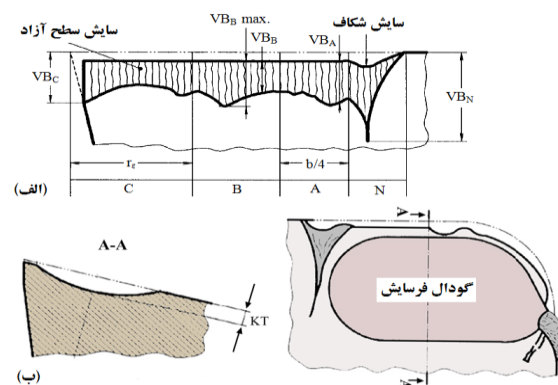
جدول ۳. پارامترهای بهینه بدست آمده توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک [۱۲].

پارامترها	مقادیر بهینه	مقادیر اندازه‌گیری شده
$V_c$ (m/min)	۴۵	۴۵
$a_f$ (mm/rev)	۰/۲۲	۰/۲۲
$r_e$ (mm)	۱/۶	۱/۶
X (deg)	۶۰	۶۰
$VB_B$ max (mm)	۰/۰۹۷۵۰	۰/۱۲

همان‌طور که اشاره شد بهترین شرایط عمر ابزار مربوط به ابزار با شعاع نوک ۱/۶ میلیمتر است. بر این اساس نقشه مکانیزم‌های سایش دو بعدی تحت مقادیر مختلف سرعت برشی ( $V_c$ ) و نرخ پیش‌روی ( $a_f$ ) برای ابزار با شعاع نوک ۱/۶ میلیمتر، در شکل ۳ رسم شده است. با توجه به این نتایج می‌توان نقشه بدست آمده را به سه ناحیه سایش شدید، گذرا و آرام تقسیم بندی نمود. اعداد نمایش داده شده بر روی این نقشه، بیان‌گر بیشینه عرض سایش سطح آزاد ( $VB_{max}$ ) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در

رویت است و در این زمان و در این منطقه، عمر ابزار هنوز به پایان نرسیده است. بر این اساس، زمان ۵ دقیقه برای هر آزمایش انتخاب شده است.

پس از انجام این آزمایش‌ها، مدل سازی غیر خطی توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی و بهینه‌سازی فرآیند تراشکاری توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد [۱۲]. سپس پارامترهای بهینه شده ارزیابی شدند که نتایج حاصل از آن (جدول ۳) کاهش قابل توجه در سایش پهلو<sup>۱</sup> ابزار را نشان می‌دهند. بر اساس این نتایج، ابزار با شعاع ۱/۶ کمترین میزان سایش را دارد که نتایج آزمایشگاهی نیز موید این مطلب می‌باشد. علت این پدیده آن است که در اثر افزایش شعاع نوک ابزار، چون سطح درگیری ابزار با قطعه کار افزایش می‌یابد، توزیع حرارت راحت‌تر صورت می‌گیرد و در نتیجه دمای فرآیند تراشکاری کاهش می‌یابد و به تبع آن به کاهش میزان سایش ابزار منجر می‌شود. دلیل دیگر کاهش سایش ابزار تحت این شرایط را می‌توان به پایین بودن میزان تنش وارد شده به نوک ابزار نسبت داد. در این حالت، چون سطح درگیری ابزار با قطعه کار افزایش یافته است، نیروی اصلی تراش اندکی افزایش می‌یابد ولی چون تنش از تقسیم نیرو بر سطح تماس بدست می‌آید، با افزایش سطح تماس، تنش نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۱. مناطق مختلف سایشی ابزار (الف) سطح آزاد (ب) گودال

فرسایش [۱۱].

<sup>1</sup> Flank wear

ناحیه سایش شدید که بیشتر مربوط به سرعت برشی  $65\text{m/min}$  است، با افزایش نرخ پیش‌روی از  $0.2$  تا  $0.3\text{mm/rev}$  میزان سایش ابزار نیز افزایش می‌یابد. دلیل اصلی کاهش عمر ابزار در اثر ازدیاد سرعت برشی، افزایش درجه حرارت در سطح ابزار<sup>۱</sup> است. به‌طور کلی با افزایش سرعت برشی، میزان سایش سطح ابزار نیز افزایش می‌یابد بنحوی که در سرعت‌های برشی بالاتر، گودال فرسایش با عمق بیشتری مشاهده می‌شود [۱۰].

اکسایش سطح آزاد ابزار هنگام تراشکاری در سرعت‌های پیش‌روی و برشی بالا اتفاق می‌افتد که این پدیده به دلیل افزایش درجه حرارت می‌باشد و اغلب منجر به خرابی و کاهش عمر ابزار می‌گردد. وجود لایه  $\text{TiAlN}$  مانع از درگیری شدید سطح ابزار با قطعه کار و افزایش درجه حرارت می‌شود و در نتیجه پدیده اکسایش به تاخیر می‌افتد. نکته قابل توجه در زمینه سایش سطح آزاد ابزار، انتقال عناصر آلیاژی اینکونل ۷۱۸ مانند نیکل، کروم و آهن بر سطح آزاد ابزار در مقطع برش است. این مطلب را می‌توان در شکل ۴-ب که مربوط به سرعت برشی  $65\text{ m/min}$  و در ناحیه سایش شدید است، مشاهده نمود. همان‌طور که نمودار آنالیز شیمیایی عنصری (EDX) نشان می‌دهد در مناطقی که پوشش  $\text{TiAlN}$  هنوز از بین نرفته است و بیشتر مربوط به نواحی سایش آرام و سایش گذرا در سرعت‌های  $45$  و  $55\text{ m/min}$  است، نفوذ عناصر حادث نشده و وجود این پوشش مانع از سایش چسبان می‌گردد که نتیجه آن بهبود خواص سایشی ابزار است (شکل ۴-الف).

ملاحظات مربوط به رفتار اصطکاکی در فرایند تراشکاری فلزات باعث بوجود آمدن مدلی شده است که در این مدل، طول تماس براده با ابزار به دو ناحیه تقسیم می‌شود (شکل ۵). در طول  $L_1$  مساحت حقیقی و ظاهری تماس به علت فشار زیاد تقریباً با هم برابر است. این ناحیه را ناحیه چسبنده می‌گویند. در این ناحیه اصطکاک از نوع است تا بیش از  $1000$  درجه سانتی‌گراد نیز افزایش یابد،

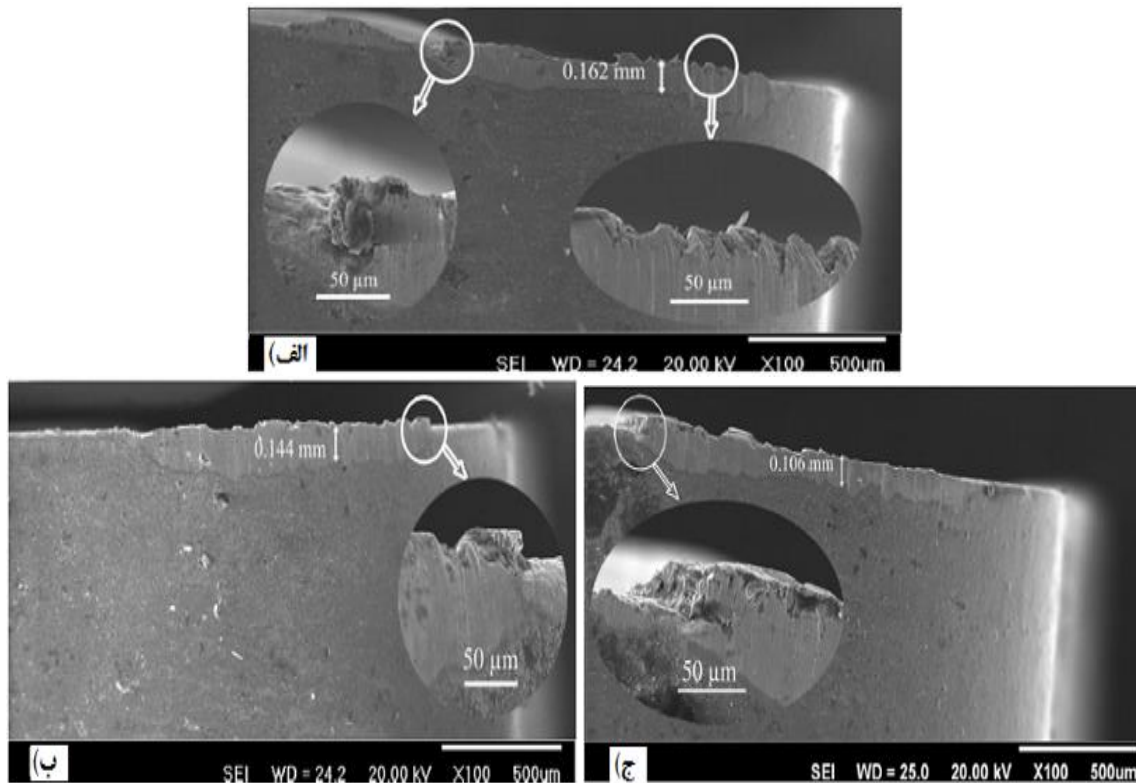
چسبنده بوده و تنش برشی ثابت است. در طول  $L_2$  که از انتهای ناحیه چسبنده شروع و تا نقطه‌ای که تماس براده با ابزار قطع می‌شود ادامه دارد، مساحت حقیقی و ظاهری تماس به علت کمتر بودن فشار، دیگر با هم برابر نیستند، این ناحیه را ناحیه لغزشی می‌گویند. در این ناحیه اصطکاک از نوع لغزشی بوده و ضریب اصطکاک ثابت است. در شرایط اصطکاکی بین ابزار و براده، مقدار متوسط اصطکاک در سطح جلوی ابزار، بستگی به چگونگی توزیع تنش عمودی، طول تماس براده با ابزار، مقدار متوسط مقاومت برشی ماده در ناحیه چسبنده ( $T_f$ ) و ضریب اصطکاک در ناحیه لغزش ( $\mu$ ) دارد. به‌طور کلی مشاهده شده است که ضریب اصطکاک متوسط بین ابزار و براده در اثر تغییر سرعت برشی، زاویه براده و ... به میزان قابل توجهی تغییر می‌کند [۱۴-۱۲]. با توجه به این مطالب، شکل ۶ مدل ایده‌آلی از مناطق مختلف تغییر شکل را در فرایند تراشکاری فلزات نشان می‌دهد. در ناحیه تغییر فرم اولیه، برش در سرتاسر سطح باریک EF، در زاویه صفحه برش  $\Phi$  (زاویه لغزش صفحات) رخ می‌دهد. در این منطقه تغییر فرم پلاستیکی اتفاق افتاده و بلورک‌های ماده در جهت لغزش کشیده و دچار تغییر شکل می‌شوند. این منطقه عمده ترین ناحیه تولید حرارت بوده و در فلزات چکش‌خوار مثل اینکونل ۷۱۸ و فلزات ترد دیده می‌شود. در صورتی که ماده چکش‌خوار باشد بعد از منطقه تغییر فرم اولیه، منطقه تغییر فرم ثانویه حادث می‌شود. وقتی براده از منطقه اولیه به منطقه ثانویه منتقل شود، براده‌های جدا شده بر روی سطح ابزار کشیده می‌شوند و می‌لغزند. این پدیده سبب می‌شود که در اثر اصطکاک چسبنده یا لغزنده بین براده و سطح ابزار، بلورک‌های زیرین براده دچار کشیدگی بیشتری شده و انرژی بیشتری از طریق اصطکاک از بین برود و سبب افزایش دما گردد. از طرفی میل ترکیبی و درجه حرارت بالا بین ابزار و قطعه کار در مناطقی از سطح ابزار، ممکن است تا بیش از  $1000$  درجه سانتی‌گراد نیز افزایش یابد،

ملاحظات مربوط به رفتار اصطکاکی در فرایند تراشکاری فلزات باعث بوجود آمدن مدلی شده است که در این مدل، طول تماس براده با ابزار به دو ناحیه تقسیم می‌شود (شکل ۵). در طول  $L_1$  مساحت حقیقی و ظاهری تماس به علت فشار زیاد تقریباً با هم برابر است. این ناحیه را ناحیه چسبنده می‌گویند. در این ناحیه اصطکاک از نوع

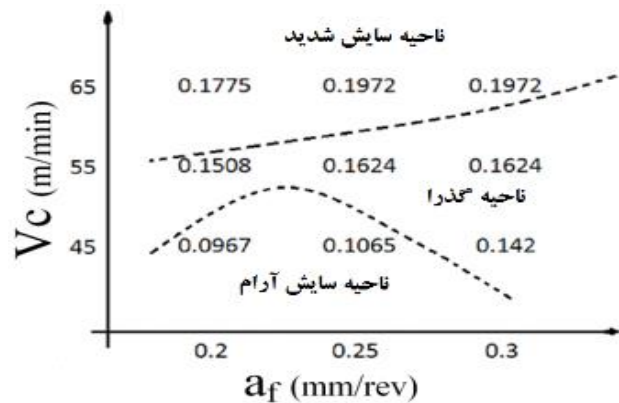
<sup>1</sup> Race face

این منطقه از نوع چسبنده بوده و در جایی که براده کنده شده است اصطکاک لغزنده است [۱۴-۱۵].

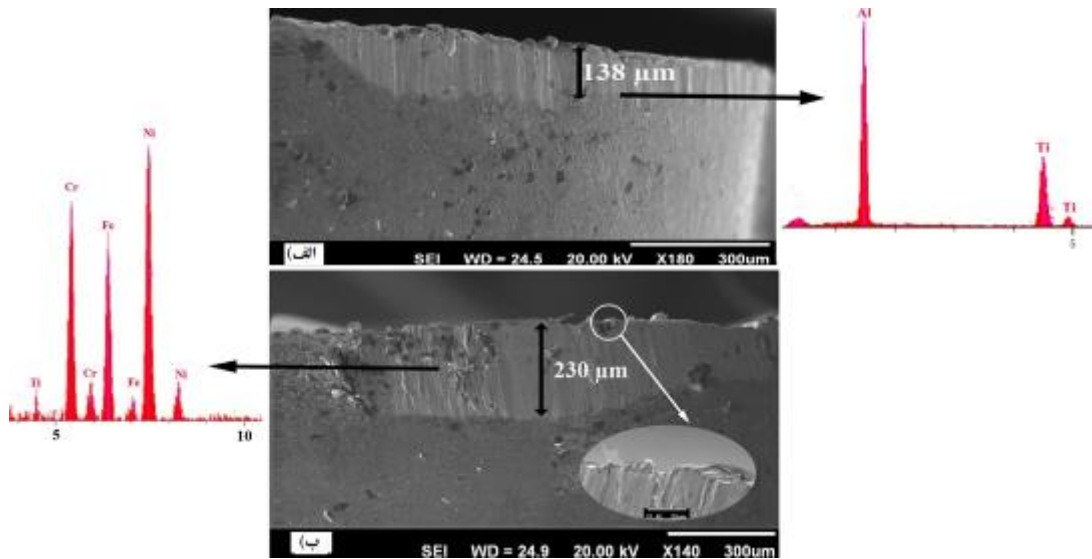
این موضوع بیش از هر عامل دیگری سبب سایش سطح ابزار می‌گردد [۱۳]. جایی که براده و ابزار در اثر اصطکاک در منطقه ثانویه با هم در تماس هستند گودال فرسایش نام دارد. در این منطقه بالاترین دما وجود دارد و اصطکاک در



شکل ۲. تصاویر SEM از سطح آزاد ابزار در سرعت برشی ۴۵ متر بر دقیقه، زاویه تنظیم ۴۵ درجه و سرعت پیشروی ۰/۲۲ میلیمتر بر دور الف) ابزار برش با شعاع نوک ۰/۸ ب) ابزار برش با شعاع نوک ۱/۲ ج) ابزار برش با شعاع نوک ۱/۶.

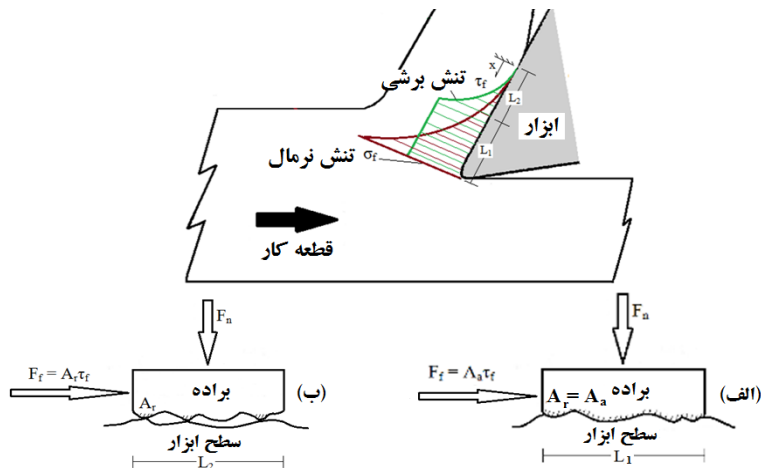


شکل ۳. نقشه مکانیزم سایش ابزار برش با شعاع نوک ۱/۶ میلیمتر در ماشین کاری اینکونل ۷۱۸ (اعداد نمایش داده شده بر روی نقشه، بیانگر بیشینه عرض سایش سطح آزاد،  $VB_{max}$  است).



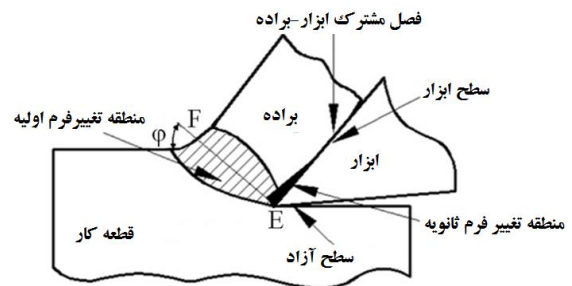
شکل ۴. تصاویر SEM و آنالیز EDX از سطح آزاد ابزار (الف) ناحیه سایش گذرا با سرعت برشی ۵۵ m/min

(ب) ناحیه سایش شدید با سرعت برشی ۶۵ m/min



شکل ۵. مدل اصطکاکی بین براده و ابزار در فرآیند تراشکاری (الف) اصطکاک چسبنده (ب) اصطکاک لغزنده.

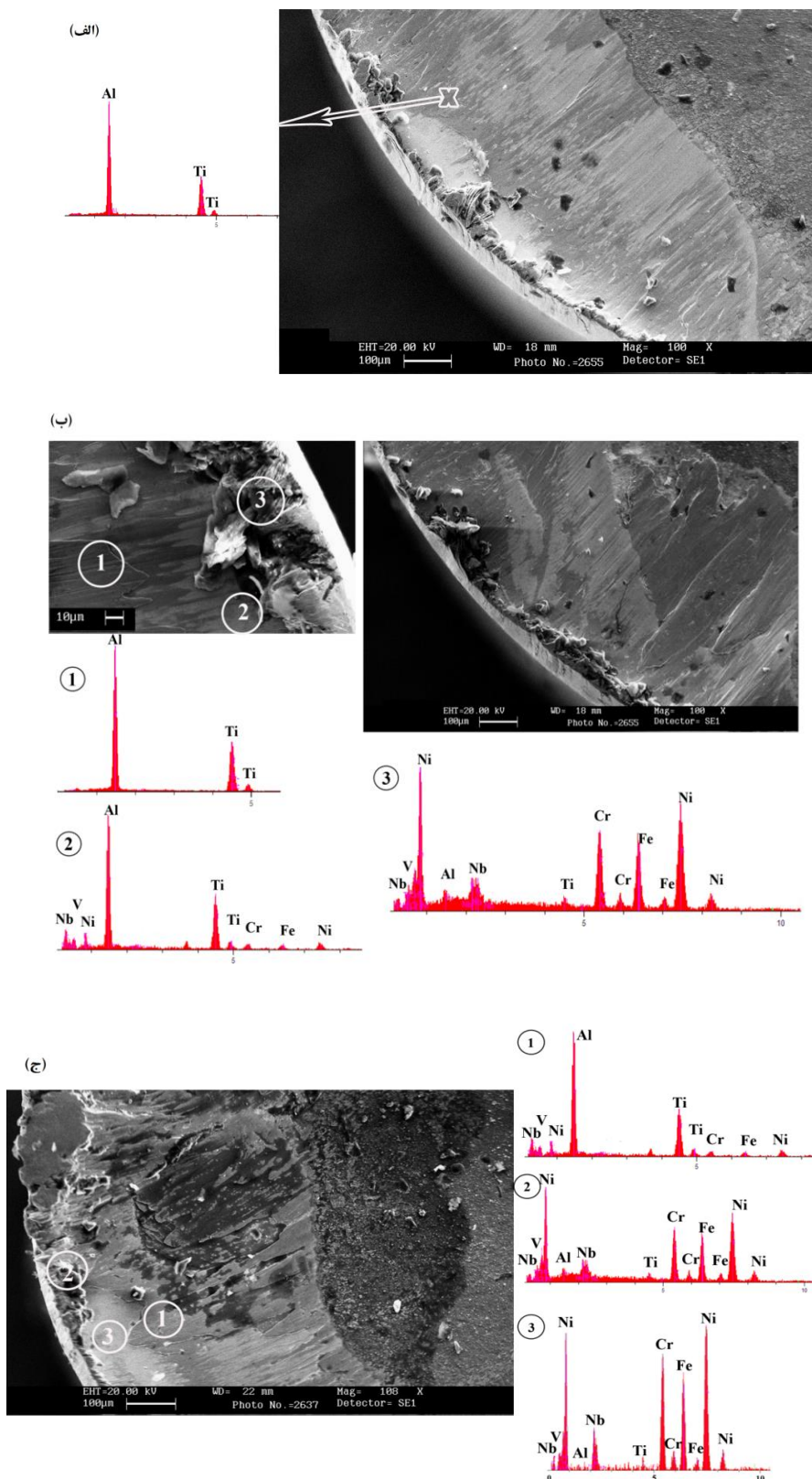
می‌دهد. با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی EDX که از سطح ابزار تهیه شده است، مشاهده می‌شود که در سرعت‌های پایین و متوسط (۴۵ و ۵۵ m/min) نفوذ عناصر از قطعه کار به سطح ابزار صورت نگرفته است که علت آن حفظ و پایداری لایه TiAlN در این سرعت‌ها است. اما در سرعت ۶۵ m/min با ساییده شدن و از بین رفتن پوشش TiAlN، انتقال عناصری از قطعه کار به سطح ابزار صورت گرفته که نتیجه آن سایش شدید و به تبع آن افزایش عمق گودال فرسایش است.



شکل ۶. مناطق مختلف تغییر شکل در ابزار برش در حین عملیات

تراشکاری [۱۵].

شکل ۷، سطح ابزار را بعد از فرآیند تراشکاری اینکونل ۷۱۸ در سرعت‌های برشی ۴۵، ۵۵ و ۶۵ m/min نشان



شکل ۷. تصاویر SEM و آنالیز EDX از سطح براده ابزار در شعاع نوک ۱/۶، زاویه تنظیم ۴۵ درجه و سرعت پیشروی ۰/۲۲ میلیمتر بر دور الف) (سرعت برشی ۴۵ ب) (سرعت برشی ۵۵ ج) سرعت برشی ۶۵ متر بر دقیقه.



### نتیجه‌گیری

(۱) بهترین شرایط عمر ابزار، مربوط به ابزار با شعاع نوک ۱/۶ میلیمتر است. تحت این شرایط ابزار کمترین میزان سایش را دارد.

(۲) در ناحیه سایش شدید که بیشتر مربوط به سرعت برشی ۶۵m/min است، با افزایش نرخ پیشروی از ۰/۲ تا ۰/۳mm/rev میزان سایش ابزار افزایش می‌یابد.

(۳) انتقال عناصر آلیاژی اینکونل ۷۱۸ مانند نیکل، کروم و آهن بر سطح آزاد ابزار در مقطع برش در حین ماشین‌کاری این آلیاژ حادث می‌شود. این پدیده در شرایطی که سرعت برشی ۶۵ m/min و در ناحیه سایش شدید است، مشاهده می‌شود. در مناطقی که پوشش TiAlN هنوز از بین نرفته است و بیشتر مربوط به نواحی سایش آرام و سایش گذرا در سرعت‌های ۴۵ و ۵۵ m/min است، نفوذ عناصر صورت نگرفته و وجود این پوشش مانع از سایش چسبان می‌گردد که نتیجه آن بهبود خواص سایشی ابزار است.

### مراجع

1. R. M. Arunachalam, M. A. Mannan, A.C. Spowage, *Surface Integrity when Machining Age Hardened Inconel 718 with Coated Carbide Cutting Tools*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44(2004) 1481-1491.
2. E. O. Ezugwu, I. R. Pashby, *High Speed Milling of Nickel-Based Superalloys*, Journal of Materials Processing Technology, 33 (1992) 429-437.
3. M. Rahman, W. K. H. Seah, T. T. Teo, *The Machinability of Inconel718*, Journal of Materials Processing Technology, 63(1997) 199-204.
4. E. O. Ezugwu, *Key Improvements in the Machining of Difficult-to-Cut Aerospace Superalloys*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45(2005) 1353-1367.
5. D. G. Thakur, B. Ramamoorthy, L. Vijayaraghavan, *Study on the Machinability Characteristics of Superalloy Inconel 718 during High Speed Turning*, Materials and Design, 30(2009) 1718-1725.
6. R. Arunachalam, M. A. Mannan, *Machinability of Nickel-based High Temperatures Alloys*, Machining Science and Technology, 4(2000) 127-168.
7. T. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa, Y. Yamane, *Metal Machining: Theory and Applications*, New York, Wiley, 2000.
8. M. Nalbant, A. Altin, H. Gökkaya, *The Effect of Cutting Speed and Cutting Tool Geometry on Machinability Properties of Nickel-base Inconel 718 Super Alloys*, Materials & Design, 28(2007) 1334-1338.
9. Sandvik Turning Inserts Catalog, Sandvik Coromant, 2009, pp. A433.
10. H. Z. Li, H. Zeng, X. Q. Chen, *An Experimental Study of Tool Wear and Cutting Force Variation in the End Milling of Inconel 718 with Coated Carbide Inserts*, Journal of Materials Processing Technology, 180 (2006) 296-304.
11. ISO3685, *Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools*, International Organization for Standardization, Genève, Switzerland, 2003.

12. R. Mokhtari Homami, A. R. Fadaei Tehrani, H. Mirzadeh, B. Movahedi, F. Azimifar, *Optimization of Turning Process using Artificial Intelligence Technology*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70 (2014) 1205-1217.
13. D. O'Sullivan, M. Cotterell, *Temperature Measurement in Single Point Turning*, Journal of Materials Processing Technology, 118 (2001) 301-308.
14. D. Jianxin, L. Lili, L. Jianhua, Z. Jinlong, Y. Xuefeng, *Failure Mechanisms of TiB<sub>2</sub> Particle and SiC Whisker Reinforced Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic Cutting Tools when Machining Nickel-Based Alloys*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45 (2005) 1393-1401.
15. J. Monaghan, T. MacGinley, *Modelling the Orthogonal Machining Process using Coated Carbide Cutting Tools*, Computer and Materials Science, 16 (1999) 275-284.