



تحلیل تجربی تاثیر هندسه براده‌شکن بر نیروهای برشی، دما و کیفیت سطح در تراشکاری خشن و پرداخت فولاد ضد زنگ AISI 304

عادل آزاد، محمد هنرپیشه*، سعید امینی

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: honarpisheh@kashanu.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
ماشین‌کاری فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 304 به دلیل رفتار کارسختی شدید و رسانایی حرارتی پایین، با چالش‌هایی مانند نیروهای برشی بالا، افزایش دما و افت کیفیت سطح همراه است. در این پژوهش، شش نوع هندسه براده‌شکن شامل سه براده‌شکن مخصوص پرداخت و سه براده‌شکن مخصوص خشن‌کاری با ویژگی‌های هندسی متفاوت از نظر عرض و عمق شیار، زاویه براده مؤثر و هندسه ناحیه هدایت براده، به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفتند. اثر این هندسه‌ها بر نیروهای برشی، دمای ناحیه برش، نرخ براده برداری و زبری سطح به صورت تجربی ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه موجب کاهش نیروی برشی در براده شکن‌های پرداخت حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد و در براده شکن‌های خشن‌کاری حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد شد. همچنین، افزایش نرخ پیشروی از ۰/۰۸ به ۰/۱۶ میلی‌متر بر دور باعث افزایش نیروی برشی در پرداخت ۳۰ تا ۴۵ درصد و در خشن‌کاری ۴۰ تا ۶۰ درصد گردید. دمای ناحیه برش در براده‌شکن‌های پرداخت کمتر از سایر هندسه‌ها بود و اختلاف دما بین کمترین و بیشترین نرخ پیشروی در پرداخت ۱۵ تا ۲۵ درصد و در خشن‌کاری ۳۰ تا ۴۵ درصد اندازه‌گیری شد. زبری سطح نیز با افزایش پیشروی ۴۰ تا ۶۰ درصد در پرداخت و ۳۰ تا ۵۰ درصد در خشن‌کاری افزایش یافت، در حالی که براده‌شکن‌های بهینه پرداخت تا ۲۵ تا ۳۵ درصد زبری کمتری نسبت به هندسه‌های غیر بهینه ایجاد کردند. نتایج نشان داد که انتخاب هندسه مناسب براده‌شکن متناسب با نوع عملیات نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش نیرو و دما، بهبود کیفیت سطح و افزایش بهره‌وری تراشکاری AISI 304 دارد.	مقاله پژوهشی دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۴ پذیرش: ۱ شهریور ۱۴۰۵
	کلیدواژگان: تراشکاری هندسه براده‌شکن نیرو زبری سطح

Experimental analysis of the effect of chipbreaker geometry on cutting forces, temperature and surface quality in rough and finish turning of AISI 304 stainless steel

Adel Azad, Mohammad Honarpisheh*, Saeed Amini

Mechanical Engineering Department, University of Kashan, Kashan, Iran

* Corresponding Author's Email: honarpisheh@kashanu.ac.ir

Article Information	Abstract
Original Research Paper Received: 17 February 2026 Accepted: 23 August 2026	Machining AISI 304 austenitic stainless steel is associated with challenges such as high cutting forces, elevated cutting temperatures, and poor surface quality due to its severe work-hardening behavior and low thermal conductivity. In this study, six chip-breaker geometries, including three finishing and three roughing designs with different groove widths, groove depths, effective rake angles, and chip-guiding geometries, were experimentally investigated. The effects of these chip-breaker geometries on cutting force, cutting temperature, material removal rate (MRR), and surface roughness were evaluated. The results showed that increasing the spindle speed from 500 to 1000 rpm reduced the cutting force by approximately 15–30% for the finishing chip breakers and 10–20% for the roughing chip breakers. Moreover, increasing the feed rate from 0.08 to 0.16 mm/rev increased the cutting force by 30–45% in finishing and 40–60% in roughing operations. The cutting temperature was lower for the finishing chip breakers than for the other geometries, while the temperature difference between the lowest and highest feed rates ranged from 15–25% in finishing and 30–45% in roughing operations. Surface roughness increased by 40–60% in finishing and 30–50% in roughing with increasing feed rate, whereas the optimized finishing chip breakers produced up to 25–35% lower surface roughness than the non-optimized geometries. The results demonstrate that selecting an appropriate chip-breaker geometry according to the machining operation plays a decisive role in reducing cutting force and temperature while improving surface quality and machining productivity of AISI 304 stainless steel.
Keywords: Turning Chip Breaker Geometry Force Surface Roughness	

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Azad A, Honarpisheh M, Amini S. Experimental analysis of the effect of chipbreaker geometry on cutting forces, temperature and surface quality in rough and finish turning of AISI 304 stainless steel. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2026 Feb 20;12(12):63-75. doi: 10.22034/ijme.2026.576322.2166 [In Persian]

۱- مقدمه

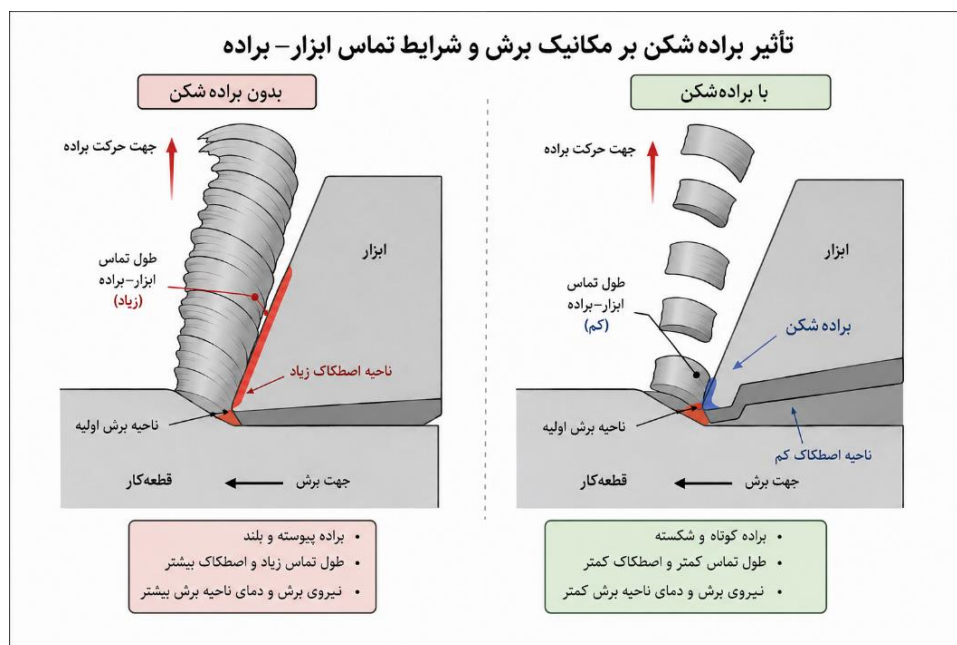
ماشین‌کاری به عنوان یکی از فرایندهای اساسی در صنایع تولیدی، نقش مهمی در دستیابی به دقت ابعادی، کیفیت سطح و عملکرد مکانیکی قطعات ایفا می‌کند. در میان فرایندهای مختلف ماشین‌کاری، تراشکاری به دلیل گستره وسیع کاربردها، انعطاف پذیری بالا و قابلیت ماشین‌کاری طیف وسیعی از مواد مهندسی، از جمله فولادهای زنگ نزن آستنیتی نظیر AISI 304، جایگاه ویژه‌ای در صنعت دارد [۱]. فولاد زنگ نزن AISI 304 به واسطه مقاومت به خوردگی بالا، چقرمگی زیاد و رفتار کارسختی شدید، به طور گسترده در صنایع غذایی، پزشکی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ با این حال، همین ویژگی‌ها ماشین‌کاری آن را با چالش‌هایی نظیر افزایش نیروهای برشی، تولید حرارت زیاد، سایش سریع ابزار و افت کیفیت سطح همراه می‌سازد [۲]. عملکرد فرایند تراشکاری به طور مستقیم تحت تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری، جنس و هندسه ابزار برشی و به ویژه نحوه تشکیل و شکست براده قرار دارد [۳]. در تراشکاری فولادهای زنگ نزن، تمایل به تشکیل براده‌های پیوسته و طولی به ویژه در شرایط نامناسب برش، می‌تواند منجر به مشکلاتی همچون کاهش کیفیت سطح، آسیب به ابزار و قطعه کار، افزایش ناپایداری فرایند و بروز مخاطرات ایمنی برای اپراتور شود. این مسائل در مرحله خشن تراشی به دلیل عمق و نرخ پیشروی بالاتر و در مرحله پرداخت به علت حساسیت کیفیت سطح، اهمیت دوچندانی پیدا می‌کنند.

برای کنترل مؤثر شکل و طول براده، استفاده از براده‌شکن‌ها به عنوان یکی از عناصر کلیدی در طراحی ابزارهای برشی مطرح شده است [۴]. براده‌شکن‌ها عموماً به دو دسته اصلی ساده و فرم دار تقسیم می‌شوند که نوع فرم دار به دلیل کارایی بالاتر، کاربرد گسترده‌تری در عملیات صنعتی دارد [۵]. هندسه براده‌شکن، شامل عمق و عرض شیار، زوایا و موقعیت آن نسبت به لبه برش، تأثیر قابل توجهی بر مکانیزم شکست براده، میزان نیروهای برشی، تولید حرارت و در نهایت کیفیت سطح ماشین‌کاری شده دارد. انتخاب و بهینه‌سازی هندسه براده‌شکن می‌تواند ضمن بهبود کنترل براده، منجر به کاهش نیروهای برشی، کاهش دمای ناحیه برش و افزایش پایداری فرایند در هر دو مرحله خشن تراشی و پرداخت شود [۶، ۷]. از دیدگاه مکانیک برش، تشکیل و جریان براده حاصل تغییر شکل پلاستیک شدید ماده در ناحیه تماس بین ابزار و قطعه کار است. این ناحیه شامل مناطق تغییر شکل اولیه و ثانویه بوده و تحت شرایطی نظیر نرخ‌های کرنش بالا، دماهای زیاد و تنش‌های پیچیده قرار دارد. در چنین شرایطی، رفتار ترمومکانیکی ماده، هندسه ابزار و ویژگی‌های براده‌شکن نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوه تشکیل، پیوستگی و شکست براده ایفا می‌کنند.

براده‌شکن‌ها تنها وظیفه شکستن براده را بر عهده ندارند، بلکه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مکانیک برش محسوب می‌شوند. هندسه براده‌شکن با تغییر مسیر حرکت براده، شعاع خمیدگی آن و طول ناحیه تماس بین براده و سطح براده ابزار، شرایط اصطکاک و انتقال حرارت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش طول ناحیه تماس معمولاً موجب کاهش اصطکاک، کاهش نیروی برش و کاهش دمای ناحیه ماشین‌کاری می‌شود، در حالی که افزایش طول تماس می‌تواند باعث افزایش اصطکاک، تولید حرارت بیشتر و تسریع سایش ابزار گردد. علاوه بر این، میزان خم شدگی براده تنش خمشی ایجاد شده در براده را تعیین می‌کند و در صورتی که این تنش از استحکام شکست ماده بیشتر شود، براده به صورت کنترل شده شکسته خواهد شد. از این رو، طراحی هندسه مناسب براده‌شکن نقش مهمی در کنترل شکل براده، بهبود کیفیت سطح، کاهش مصرف انرژی و افزایش عمر ابزار ایفا می‌کند [۸، ۹]. شکل ۱ به صورت شماتیک نقش براده‌شکن در مکانیک برش را نشان می‌دهد. در ابزارهای فاقد براده‌شکن، براده به صورت پیوسته تشکیل شده و به دلیل طول بیشتر ناحیه تماس ابزار-براده، اصطکاک و تولید حرارت افزایش می‌یابد. در مقابل، وجود براده‌شکن باعث هدایت و خم شدن براده، کاهش طول ناحیه تماس، کاهش اصطکاک و در نهایت شکستن کنترل شده براده می‌شود. این تغییرات معمولاً موجب کاهش نیروی برش، بهبود کیفیت سطح و افزایش عمر ابزار می‌گردد.

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که پارامترهای ماشین‌کاری از قبیل سرعت برش، نرخ پیشروی و عمق برش، در کنار هندسه براده‌شکن، رابطه‌ای پیچیده و غیرخطی با نیروهای برشی، دمای ناحیه برش و کیفیت سطح دارند. خشن تراشی و پرداخت، به ویژه در ماشین‌کاری فولاد زنگ نزن AISI 304، هنوز نیازمند مطالعات تجربی جامع و نظام مند است. زی و همکاران [۱۰] عملکرد ابزارهای بافتدار و دارای روان‌کننده جامد را در ماشین‌کاری خشک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مقایسه با ابزار بدون بافت، نیروهای برش و دمای برش ابزارهای بافتدار و خود روانکار کاهش یافته است. از طرف دیگر، استفاده از ابزار خود روانکار با بافت شیارهای بیضوی روی سطح براده آن، می‌تواند ضریب اصطکاک ابزار و براده و نسبت ضخامت براده را کاهش دهد. عمر ابزارهای بافتدار در مقایسه با ابزار معمولی بهبود یافته است. سامانت و همکاران [۱۱] مروری بر مقالات در زمینه عملکرد ابزار برشی بافتدار حین ماشین‌کاری مواد سخت انجام دادند. بررسی‌ها

نشان از کاهش قابل توجه زبری سطح، نیروی برش، سایش ابزار و دمای برش و افزایش عمر ابزار دارند. آن‌ها بیان داشتند که ابزارهای برش بافتدار، پتانسیل بالایی در بهبود عملکرد داشته و سطح مشترک براده و ابزار را کاهش می‌دهند. شارما و همکاران [۱۲] قابلیت تراشکاری ابزارهای برش بدون بافت و بافتدار را بررسی کردند. کاهش قابل توجهی در دمای ابزار برش و زبری سطح با استفاده از ابزار بافتدار مشاهده کردند. حداقل دمای برش با ابزار برش دارای بافت ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد بود که سبب بهبود ۷۶ درصدی پرداخت سطح گردید.



شکل ۱ نمایش شماتیک تأثیر براده‌شکن بر مکانیک برش و شرایط تماس ابزار - براده

در مطالعه‌ای دیگر چاوشی و همکاران [۱۳] تأثیر سختی قطعه کار و سرعت اسپیندل بر زبری سطح در ماشین کاری فولاد را بررسی کردند. قطعه کارهایی با سختی ۳۵، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ راکول سی را برای انجام آزمایش‌ها انتخاب کردند. آن‌ها با استفاده از نتایج تجربی نشان دادند که زبری سطح با افزایش سختی تا ۵۵ راکول سی کاهش و پس از آن افزایش پیدا می‌کند. زبری سطح قطعات ماشین کاری شده یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین کیفیت قطعات و در بسیاری از مواقع مهم‌ترین معیار برای قبول یا رد کردن قطعات است. جیتانند و همکاران [۱۴] تأثیر پارامترهای برشی روی زبری سطح، سایش ابزار و نیروی برشی با استفاده از ابزار سرامیکی معمولی و ابزار دارای براده‌شکن را روی فولاد ابزار سردکار بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که قطعه کارهای ماشین کاری شده با ابزار دارای براده‌شکن نسبت به ابزار معمولی دارای زبری سطح کمتری است. جوش و همکاران [۱۵] به بررسی تأثیر هندسه براده‌شکن بر عملکرد ابزارهای تراشکاری با انواع براده‌شکن پرداختند. در این مطالعه دو نوع ابزار -یکی بدون براده‌شکن و دیگری با براده‌شکن یکپارچه- تحت پارامترهای خاص فرایند آزمایش شدند تا نقش براده‌شکن در کنترل شکست و شکل گیری براده ارزیابی شود. نتایج نشان داد که ابزار مجهز به براده‌شکن باعث تقسیم بندی بهتر براده و کاهش ساییدگی ابزار می‌شود در حالی که کیفیت سطح قطعه در سطح مشابهی حفظ می‌شود. با این وجود، استفاده از براده‌شکن با افزایش اندکی در نیروهای برشی همراه بود. در مطالعه‌ای دیگر [۱۶] نشان داده شده که استفاده از براده‌شکن‌ها در تراشکاری آلیاژ Ti6Al4V باعث بهبود قابل توجه کنترل براده و جلوگیری از تشکیل براده‌های بلند و درهم تنیده می‌شود. نتایج حاکی از آن است که براده‌شکن می‌تواند نیروهای برشی و دمای ناحیه برش را کاهش داده و در نتیجه شرایط ترمومکانیکی فرایند را بهبود بخشد. این بهبود منجر به افزایش عمر ابزار و کاهش ناپایداری‌های فرایند می‌شود. همچنین کیفیت سطح قطعه کار در مقایسه با ابزارهای بدون براده‌شکن به طور کلی بهتر و یکنواخت‌تر گزارش شده است. ایلماز و همکاران [۱۷] نشان داده‌اند که براده‌شکن‌ها نقش مهمی در کنترل براده و افزایش ایمنی و بهره‌وری در تراشکاری دارند و طراحی شیار مناسب می‌تواند اثرات منفی براده‌های پیوسته را کاهش دهد. کو و همکاران [۱۸] با بررسی تأثیر هندسه شیار اینسرت بر عملکرد شکست براده در تراشکاری، نشان داده‌اند که پارامترهای هندسی مانند عرض شیار و ارتفاع دیواره پشتی تأثیر زیادی بر چگونگی تشکیل و شکست براده دارند. اگرچه

مطالعات متعددی به بررسی عملکرد براده‌شکن‌ها در ماشین‌کاری فولادهای زنگ‌زن، از جمله AISI 304 پرداخته‌اند، اما اغلب این پژوهش‌ها تنها بر یک یا چند هندسه محدود براده‌شکن یا یک مرحله از ماشین‌کاری متمرکز بوده‌اند. در پژوهش حاضر، عملکرد شش هندسه مختلف براده‌شکن در هر دو مرحله خشن‌کاری و پرداخت، تحت شرایط یکسان ماشین‌کاری، به صورت تجربی و با استفاده از شاخص‌های نیروی برش، زبری سطح، دمای برش و نرخ براده برداری مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. این رویکرد امکان تحلیل جامع‌تر تأثیر هندسه براده‌شکن بر عملکرد ماشین‌کاری و انتخاب هندسه مناسب متناسب با نوع عملیات را فراهم می‌سازد.

۲- مواد و روش‌ها

فولاد زنگ‌زن آستنیتی AISI 304 به عنوان ماده قطعه‌کار در تمامی آزمایش‌ها انتخاب شد. این آلیاژ به دلیل کاربرد گسترده در صنایع مختلف و چالش‌های ماشین‌کاری ناشی از رفتار کارسختی و رسانایی حرارتی پایین، به عنوان یکی از مواد پرکاربرد در مطالعات ماشین‌کاری شناخته می‌شود. ترکیب شیمیایی این آلیاژ در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ خواص شیمیایی فولاد ضد زنگ ۳۰۴

Element	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Fe
Wt %	0.08	2	0.75	0.045	0.03	18-20	8-10	Balance

برای انجام آزمایش‌ها، قطعه‌کارهایی با قطر ۴۰ میلی‌متر و طول ۳۰۰ میلی‌متر آماده‌سازی شدند. عمق برش محوری در تمامی آزمایش‌های مرحله پرداخت مقدار ثابتی برابر با ۰/۵ میلی‌متر و در مرحله خشن‌تراشی ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. طراحی آزمایش‌ها برای هر یک از مراحل پرداخت و خشن‌کاری به صورت مستقل و بر اساس روش فاکتوریل کامل انجام شد. در هر مرحله، سه عامل شامل سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و نوع براده‌شکن، هر یک در سه سطح مورد بررسی قرار گرفتند؛ از این رو، برای هر مرحله ۲۷ آزمایش (۳^۳) انجام شد. در مجموع، ۵۴ آزمایش تحت شرایط ماشین‌کاری خشک (بدون استفاده از روانکار) اجرا گردید. پارامترهای ماشین‌کاری مربوط به هر یک از مراحل پرداخت و خشن‌کاری به صورت مجزا در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲ متغیرهای ماشینکاری مورد استفاده

براده‌شکن خشن‌کاری	براده‌شکن پرداخت‌کاری	نرخ پیشروی (mm/rev)	سرعت اسپیندل (rpm)
		0.08	500
D-E-F	A-B-C	0.12	710
		0.16	1000

در این پژوهش، تأثیر هندسه براده‌شکن در مراحل خشن‌تراشی و پرداخت بر نیروهای برشی، دمای ناحیه برش و زبری سطح (Ra) مورد بررسی قرار گرفت. عملیات تراشکاری با استفاده از اینسرت CNMG120408 ساخت شرکت ACHTECK و هولدر استاندارد DCLNR 2525 M12 انجام شد. هندسه براده‌شکن اینسرت، به عنوان یکی از عوامل کلیدی در کنترل براده و رفتار ترمومکانیکی فرایند، نقش تعیین‌کننده‌ای در تفاوت عملکرد ابزار در خشن‌تراشی و پرداخت ایفا می‌کند. زبری سطح قطعات ماشین‌کاری شده، که به ویژه در مرحله پرداخت از اهمیت بالایی برخوردار است، با استفاده از دستگاه MarSurf PS1 ساخت شرکت Mahr اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، سطوح ماشین‌کاری شده با بهره‌گیری از سیستم VMM 3020/SP-4030 ساخت شرکت Easson مورد بررسی قرار گرفتند. نیروهای برشی حین فرایند ماشین‌کاری نیز توسط دینامومتر Kistler-9527B و تقویت‌کننده Kistler-5070 به صورت پیوسته ثبت شدند. دمای سطح قطعه‌کار با استفاده از ترمومتر لیزری مادون قرمز (Exttech VIR50) با دقت اندازه‌گیری ۰/۱± درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. این دستگاه دارای زمان پاسخ‌گویی حدود ۱۵۰ میلی‌ثانیه بوده که امکان ثبت سریع تغییرات دما در حین فرایند ماشین‌کاری را فراهم می‌کند. در تمامی آزمایش‌ها، فاصله بین ترمومتر و قطعه‌کار در محدوده مؤثر اندازه‌گیری دستگاه، یعنی حداکثر ۱۲۷ سانتی‌متر، حفظ شد. همچنین، با توجه به قابلیت تنظیم ضریب گسیل^۱ برای مواد مختلف، مقدار ضریب گسیل متناسب با جنس قطعه‌کار پیش از انجام آزمایش‌ها تنظیم گردید. ترمومتر Exttech VIR50 قادر به اندازه‌گیری دما در بازه منفی ۵۰ تا ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است.

¹ Emissivity

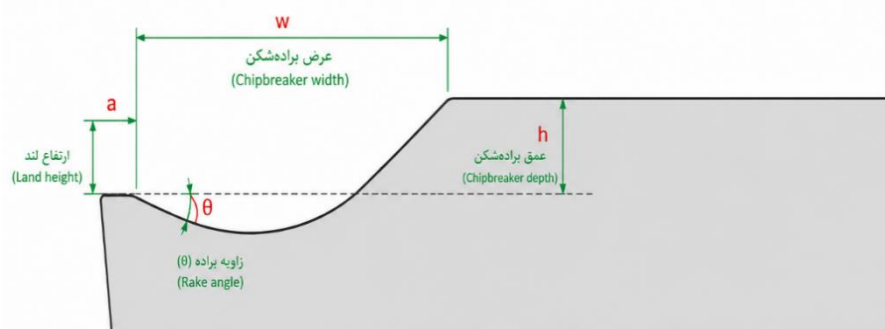


شکل ۲ تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌ها (الف) دستگاه تراش (ب) vmm (ج) هولدر (د) زبری سنج (ه) نیروسنج

در این پژوهش، به منظور بررسی دقیق نقش هندسه براده‌شکن بر رفتار فرایند تراشکاری فولاد زنگ زن AISI 304، شش نوع براده‌شکن مختلف مورد استفاده قرار گرفت. این براده‌شکن‌ها به دو گروه مجزا تقسیم شدند؛ به طوری که سه نوع از آن‌ها برای عملیات پرداخت و سه نوع دیگر برای مرحله خشن تراشی طراحی شده‌اند. این تفکیک امکان تحلیل مقایسه‌ای عملکرد ابزار در شرایط بارگذاری متفاوت و نیازهای متضاد هر یک از این دو مرحله ماشین‌کاری را فراهم می‌سازد.

شکل ۳ پیکربندی هندسی ناحیه براده‌شکن ابزار برشی را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. هندسه براده‌شکن‌های مورد بررسی بر اساس مجموعه‌ای از پارامترهای مؤثر تعریف می‌شود که شامل طول لند (a)، زاویه براده (θ)، عرض شیار (w) و ارتفاع دیواره پشتی (h) است. هر یک از این پارامترها نقش مشخصی در کنترل نحوه تشکیل، انحنا، جریان و شکست براده ایفا می‌کنند و اثرات آن‌ها در عملیات خشن تراشی و پرداخت به طور محسوسی متفاوت است. در براده‌شکن‌های مورد استفاده در خشن تراشی، طراحی هندسی به گونه‌ای انجام شده است که امکان شکست مؤثر براده‌های ضخیم و پیوسته فراهم شده و از افزایش بیش از حد نیروهای برشی و ناپایداری فرایند جلوگیری شود. در مقابل، براده‌شکن‌های ویژه پرداخت با هدف کاهش نیروهای برشی، کنترل بهتر حرارت و دستیابی به کیفیت سطح بالاتر طراحی شده‌اند. لند (a) به عنوان ناحیه‌ای تخت در مجاورت لبه برش، علاوه بر تقویت لبه ابزار، زاویه براده مؤثر را کنترل کرده و نقش مهمی در پایداری ابزار، به ویژه در شرایط خشن تراشی، ایفا می‌کند. زاویه براده (θ) یکی از عوامل کلیدی در تعیین میزان نیروهای برشی و تولید حرارت در ناحیه تماس ابزار و قطعه کار است و تغییر آن تأثیر مستقیمی بر کیفیت سطح، به خصوص در مرحله پرداخت، دارد. عرض شیار (w) و ارتفاع دیواره پشتی (h) با فراهم کردن فضای لازم برای خم شدن و هدایت براده، مکانیزم شکست آن را کنترل می‌کنند؛ به گونه‌ای که افزایش ارتفاع دیواره پشتی معمولاً منجر به تسریع در پیچش براده و تسهیل شکست آن می‌شود.

هندسه براده‌شکن اینسرت

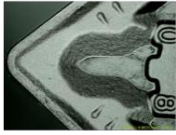
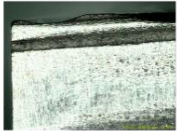
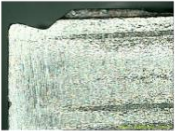
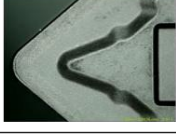


شکل ۳ شماتیک ناحیه براده‌شکن

به طور کلی، انتخاب هدفمند و بهینه هندسه براده‌شکن متناسب با نوع عملیات ماشین کاری، نقش تعیین کننده‌ای در کنترل براده، افزایش ایمنی فرایند، بهبود عمر ابزار و ارتقای پایداری و کارایی کلی تراشکاری فولاد زنگ نزن AISI 304 ایفا می‌کند. جدول ۳ و شکل ۴ مشخصات هندسی شش نوع براده‌شکن مورد استفاده در این پژوهش و دسته بندی آن‌ها بر اساس عملیات خشن تراشی و پرداخت را ارائه می‌دهند.

جدول ۳ مشخصات ابزارهای برشی مورد استفاده

ارتفاع دیواره پشتی بر حسب میلی‌متر (h)	عرض شیار بر حسب میلی‌متر (w)	زاویه براده بر حسب زاویه (θ)	لند بر حسب میلی‌متر (a)	گرید	شماره براده‌شکن	براده‌شکن	کد ابزار
0.24	1.29	15	0	AP301M	A	MB2	CNMG 120408
0.28	1.16	20	0.12	AC150P	B	PB3	
0.13	1.2	18	0.2	C150P	C	PD3	
0.1	1.32	22	0.29	AP301M	D	MC3	
1.12	1.38	17	0.25	AC350P	E	PD5	
0.08	1.27	10	0.3	AC100K	F	KC4	

مرحله خشن			مرحله پرداخت		
نمای کناری ابزار	نمای بالایی ابزار	کد ابزار	نمای کناری ابزار	نمای بالایی ابزار	کد ابزار
		D			A
		E			B
		F			C

شکل ۴ شکل انواع براده‌شکن مورد استفاده در آزمایش‌ها

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر متغیرهای ماشین کاری و هندسه براده‌شکن بر نیروی برشی

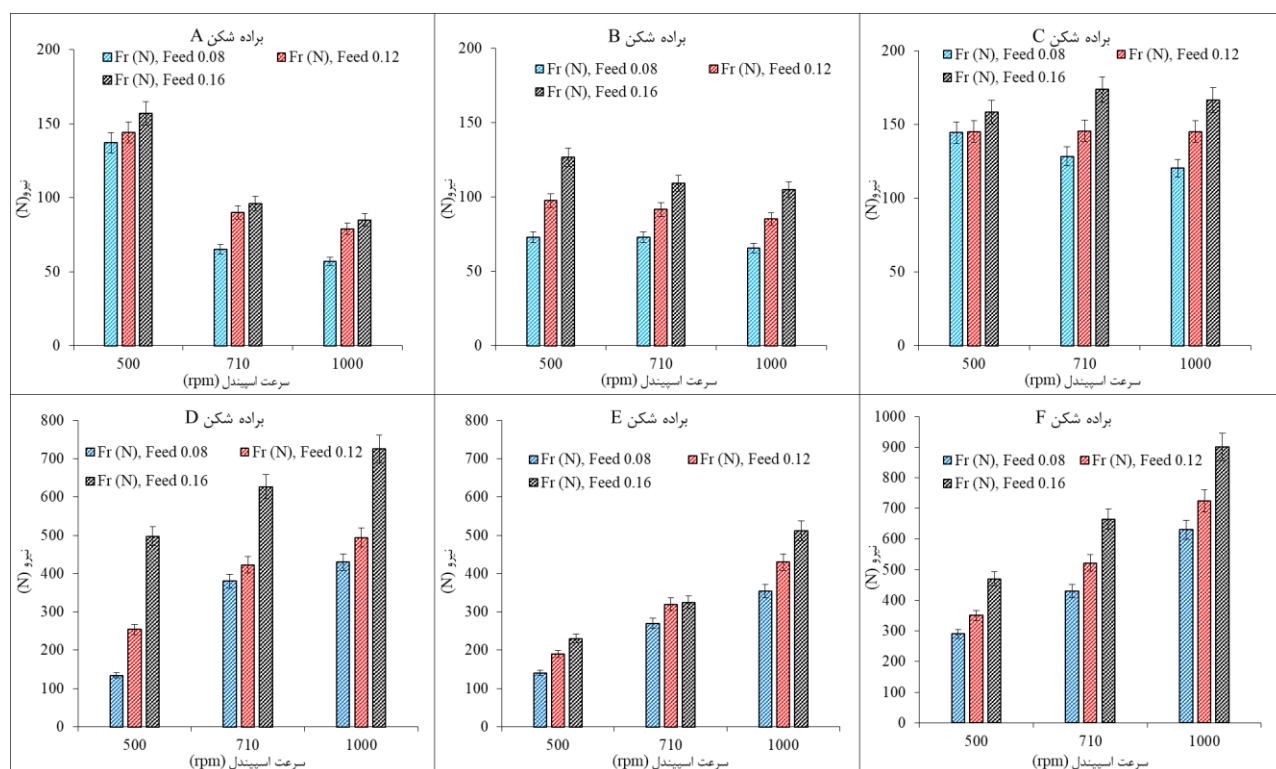
شکل ۵ اثر سرعت اسپیندل بر نیروی برشی F_r را در سه نرخ پیشروی مختلف (۰/۱۲، ۰/۰۸ و ۰/۱۶ میلی‌متر بر دور) برای شش نوع براده‌شکن مورد استفاده در مراحل پرداخت (A-B-C) و خشن تراشی (D-E-F) نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که نیروی برشی به طور هم زمان تحت تأثیر سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی و هندسه براده‌شکن قرار دارد و رفتار آن در عملیات پرداخت و خشن تراشی تفاوت محسوسی از خود نشان می‌دهد.

در براده‌شکن‌های مخصوص پرداخت (A-B-C)، به طور کلی افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه موجب کاهش نیروی برشی می‌شود. این کاهش بسته به هندسه براده‌شکن و نرخ پیشروی در محدوده تقریبی ۱۰ تا ۳۰ درصد قرار دارد. به عنوان نمونه، در براده‌شکن A و نرخ پیشروی ۰/۱۲ میلی‌متر بر دور، نیروی برشی از حدود ۸۵ نیوتن در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه به حدود ۶۵ نیوتن در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه کاهش می‌یابد.

نیوتن در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه کاهش یافته است که معادل کاهشی تقریبی ۲۴ درصد است. این رفتار را می‌توان به افزایش دمای ناحیه برش و کاهش مقاومت برشی ماده در سرعت‌های بالاتر نسبت داد. در میان براده‌شکن‌های پرداخت، براده‌شکن B در اغلب شرایط کمترین نیروی برشی را ایجاد می‌کند، در حالی که براده‌شکن C بیشترین مقدار نیرو را نشان می‌دهد. این اختلاف را می‌توان به تفاوت در زاویه براده مؤثر، عرض شیار و نحوه هدایت براده نسبت داد که موجب تغییر سطح تماس ابزار-براده و میزان اصطکاک می‌شود.

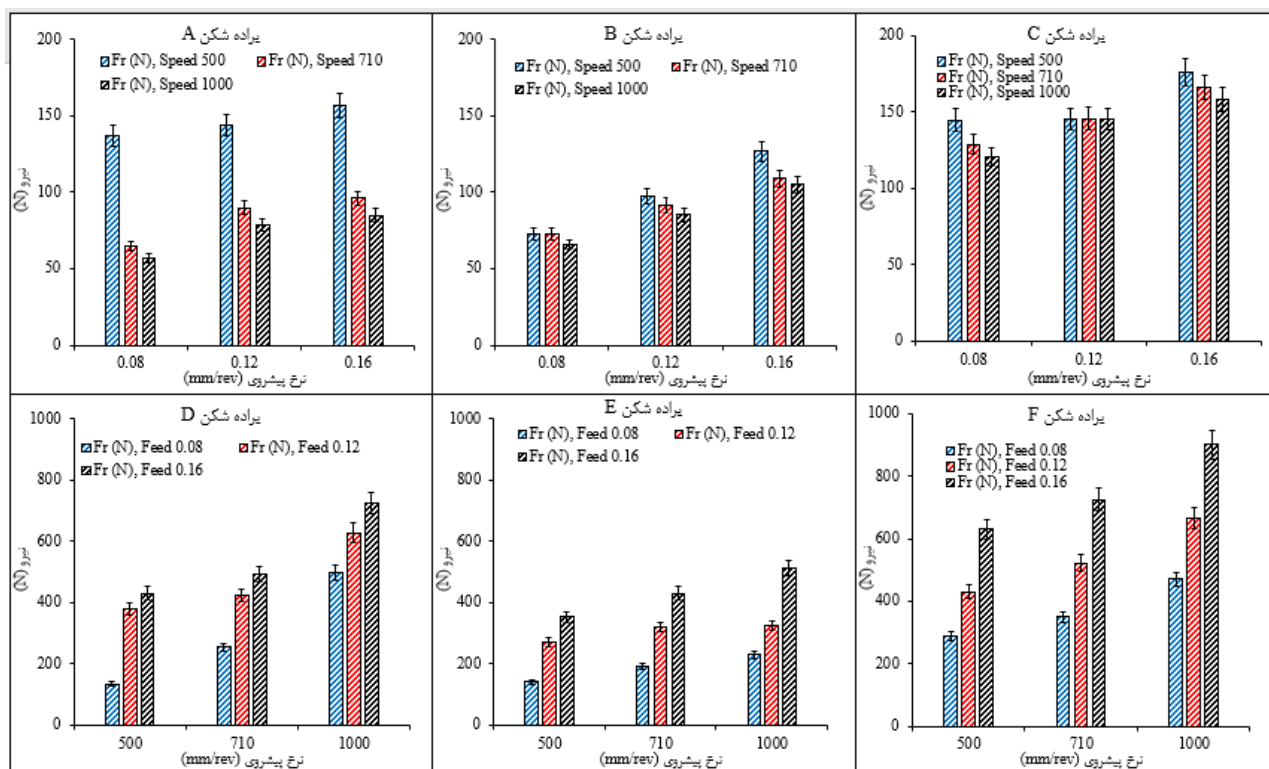
در مقابل، در براده‌شکن‌های خشن تراشی (D-E-F) روند تغییرات متفاوت است. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، افزایش سرعت اسپیندل الزاماً موجب کاهش نیروی برشی نشده و در بسیاری از شرایط، به ویژه در براده‌شکن‌های D و F، افزایش نیروی برشی نیز مشاهده می‌شود. این رفتار را می‌توان به تفاوت عملکرد هندسه براده‌شکن‌های خشن در شرایط باربرداری زیاد نسبت داد؛ به گونه‌ای که در عمق برش بیشتر و ضخامت بالاتر براده، اثر افزایش سرعت برش تحت تأثیر نحوه هدایت براده، افزایش سطح تماس ابزار-براده و تغییرات مکانیزم تشکیل براده قرار گرفته و روندی متفاوت از حالت پرداخت ایجاد می‌کند. در بین براده‌شکن‌های خشن، براده‌شکن E در اکثر شرایط کمترین نیروی برشی را ایجاد کرده، در حالی که بیشترین مقادیر نیرو مربوط به براده‌شکن F است.

همچنین، افزایش نرخ پیشروی از ۰/۸ به ۰/۱۶ میلی‌متر بر دور در تمامی براده‌شکن‌ها موجب افزایش قابل توجه نیروی برشی شده است، به طوری که این افزایش در مرحله پرداخت حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد و در مرحله خشن تراشی حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد برآورد می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت براده، سهم تغییر شکل پلاستیک و سطح تماس ابزار-براده افزایش یافته و در نتیجه نیروی برشی بیشتری برای جدایش ماده مورد نیاز است. به طور کلی، نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که اثر سرعت اسپیندل بر نیروی برشی به هندسه براده‌شکن و نوع عملیات ماشین‌کاری وابسته بوده و انتخاب مناسب هندسه براده‌شکن نقش مهمی در کنترل نیروهای برشی و بهبود عملکرد فرایند تراشکاری فولاد ضد زنگ AISI 304 دارد.



شکل ۵ اثر سرعت اسپیندل بر نیرو در سه پیشروی مختلف برای شش نوع براده‌شکن مختلف

شکل ۶ تغییرات نیروی برشی F_r را بر حسب نرخ پیشروی در سه مقدار سرعت اسپیندل (۵۰۰، ۷۱۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه) برای شش نوع براده‌شکن A تا F نشان می‌دهد. مطابق نتایج، در تمامی براده‌شکن‌ها با افزایش نرخ پیشروی از ۰/۸ به ۰/۱۶ میلی‌متر بر دور، نیروی برشی روند افزایشی مشخصی دارد. این رفتار به افزایش ضخامت براده و در نتیجه افزایش سطح مقطع برش و حجم ماده تغییر شکل یافته در واحد زمان مربوط می‌شود که به نیروی بیشتری برای برش نیاز دارد.



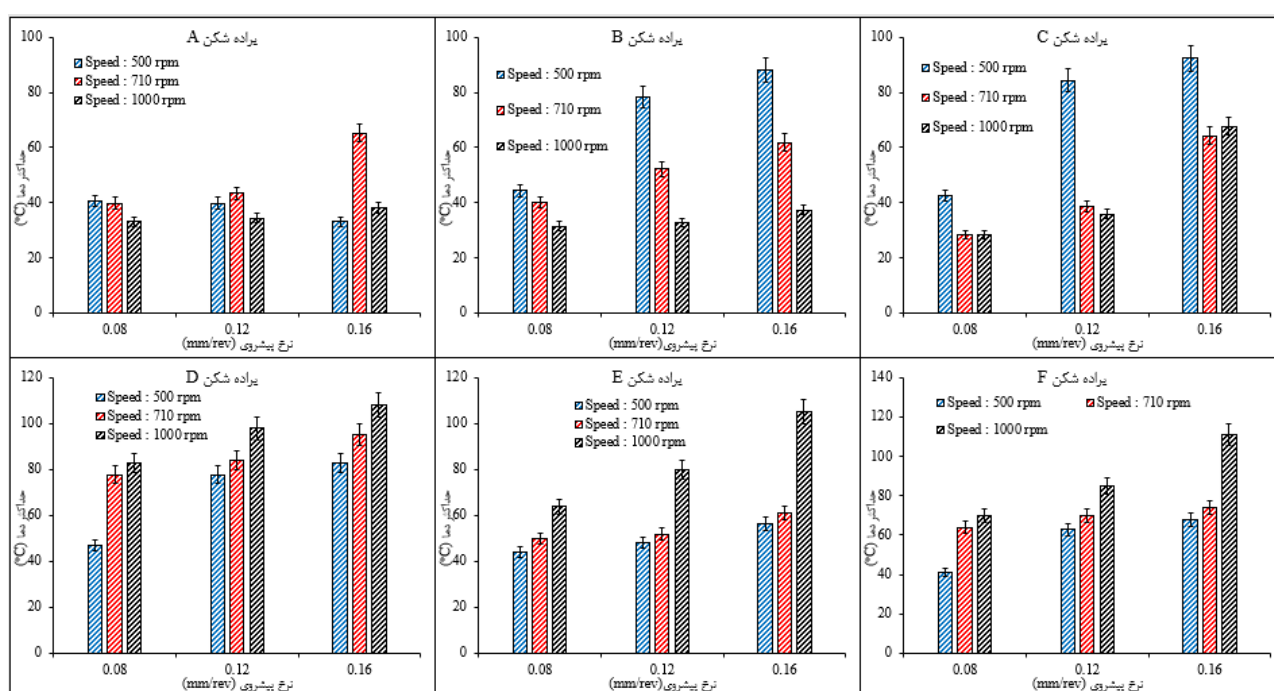
شکل ۶ اثر نرخ پیشروی بر نیرو در سه پیشروی مختلف برای شش نوع براده‌شکن مختلف

در براده‌شکن نوع A، افزایش نرخ پیشروی موجب افزایش نیروی برشی در حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد شده است. در مقابل، براده‌شکن نوع B کمترین حساسیت را نسبت به تغییر نرخ پیشروی نشان می‌دهد و افزایش نیرو در این حالت حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد برآورد می‌شود. این رفتار را می‌توان به عملکرد مناسب‌تر هندسه براده‌شکن B در هدایت و کنترل جریان براده نسبت داد که موجب کاهش مقاومت در ناحیه تماس ابزار-براده می‌شود. براده‌شکن نوع C رفتاری بینابینی داشته و افزایش نیروی برشی آن در محدوده ۳۰ تا ۴۰ درصد قرار دارد. در مقابل، براده‌شکن‌های D، E و F حساسیت بیشتری به افزایش نرخ پیشروی نشان می‌دهند، به گونه‌ای که بیشترین افزایش نیرو مربوط به براده‌شکن F بوده و اختلاف نیروی برشی بین کمترین و بیشترین نرخ پیشروی در برخی شرایط به حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد می‌رسد. این رفتار احتمالاً ناشی از تفاوت در هندسه شیار براده‌شکن و نحوه هدایت و تغییر شکل براده در شرایط باربرداری بالاتر است که موجب افزایش مقاومت در برابر جریان براده و در نتیجه افزایش نیروی برشی می‌شود. به طور کلی، نتایج شکل ۶ نشان می‌دهد که حساسیت نیروی برشی به نرخ پیشروی به هندسه براده‌شکن وابسته است و برخی هندسه‌ها در شرایط یکسان ماشین‌کاری توانایی بیشتری در کنترل افزایش نیرو با افزایش نرخ پیشروی دارند.

۳-۲- حداکثر دما و نوع براده‌شکن در شرایط مختلف ماشینکاری

شکل ۷ اثر نرخ پیشروی بر دمای ناحیه برش را در مراحل خشن و پرداخت تحت سرعت‌های مختلف اسپیندل برای شش نوع براده‌شکن نشان می‌دهد. مطابق نتایج، در تمامی براده‌شکن‌ها و در هر سه سرعت اسپیندل، با افزایش نرخ پیشروی از ۰/۰۸ به ۰/۱۶ میلیمتر بر دور دمای برش روند افزایشی مشخصی از خود نشان می‌دهد که این رفتار به افزایش ضخامت براده، افزایش حجم ماده برداشته شده و افزایش کار تغییر شکل پلاستیک در ناحیه برش نسبت داده می‌شود. این افزایش دما در مرحله پرداخت ملایم‌تر بوده و اختلاف دمای ایجادشده بین کمترین و بیشترین نرخ پیشروی به طور متوسط در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد برآورد می‌شود، در حالی که در مرحله خشن به دلیل بار برشی بالاتر و تماس گسترده‌تر ابزار و قطعه‌کار، اختلاف دما به حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که برخلاف نیروی برشی، با افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه دمای ناحیه برش در تمامی براده‌شکن‌ها افزایش یافته است که این موضوع به افزایش نرخ کرنش، افزایش اصطکاک لغزشی براده روی سطح ابزار و کاهش زمان انتقال حرارت از ناحیه برش

نسبت داده می‌شود. این اثر در مرحله خشن برجسته‌تر است؛ به طوری که در براده‌شکن نوع F اختلاف دما بین سرعت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد می‌رسد. بررسی اثر هندسه براده‌شکن نشان می‌دهد که براده‌شکن‌های A و B کمترین دمای برش را در هر دو مرحله خشن و پرداخت ایجاد کرده‌اند که این رفتار ناشی از هندسه ساده‌تر، شیارهای کم عمق‌تر و تسهیل خروج براده از ناحیه برش است. در مقابل، براده‌شکن‌های E و به ویژه F بیشترین دمای برش را نشان داده‌اند، به طوری که در مرحله خشن دمای برش در براده‌شکن F نسبت به نوع A حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر است که این اختلاف به شیارهای عمیق‌تر، زاویه براده منفی‌تر و افزایش سطح تماس براده با ابزار و در نتیجه افزایش اصطکاک و تمرکز حرارت در ناحیه برش نسبت داده می‌شود. براده‌شکن‌های C و D رفتار میانی داشته و تعادل نسبی بین کنترل براده و تولید حرارت برقرار کرده‌اند، به ویژه در مرحله پرداخت که اختلاف دمای آن‌ها نسبت به براده‌شکن‌های ساده‌تر کمتر از ۲۰ درصد بوده است. به طور کلی، نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که انتخاب مناسب هندسه براده‌شکن متناسب با نرخ پیشروی، سرعت اسپیندل و مرحله ماشین‌کاری نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل دمای برش و بهبود شرایط حرارتی فرایند دارد.



شکل ۷ اثر نرخ پیشروی بر دما در مرحله خشن و پرداخت در سرعت اسپیندل مختلف

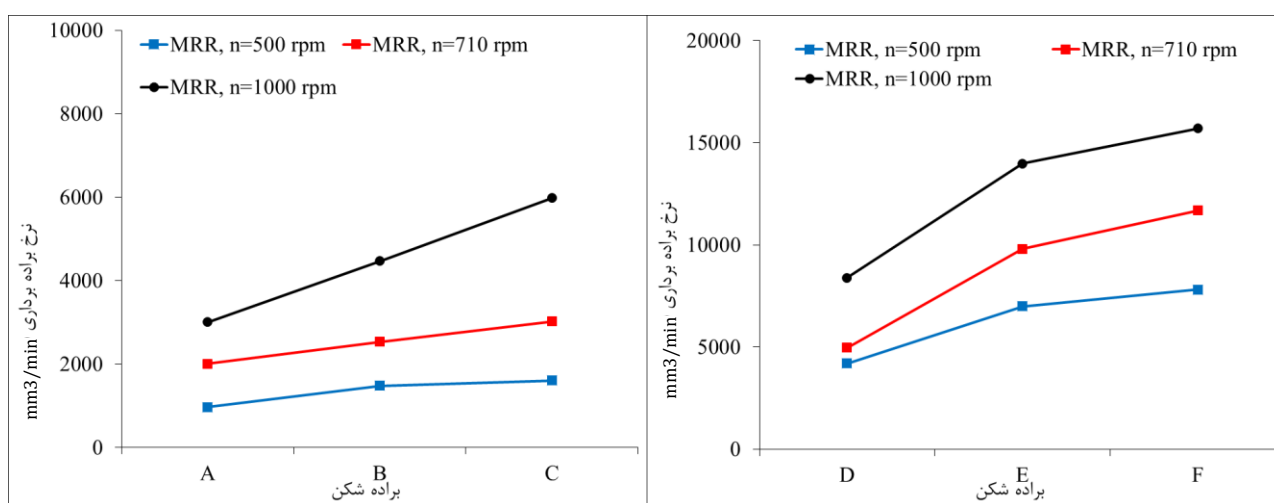
۳-۳- نرخ براده برداری و نوع براده‌شکن

شکل ۸ اثر نوع براده‌شکن بر نرخ برداشت ماده (MRR) را در نرخ پیشروی ۰/۰۸ میلی‌متر بر دور و سرعت‌های مختلف اسپیندل نشان می‌دهد. در این پژوهش، MRR به صورت تجربی و بر اساس کاهش جرم قطعه کار قبل و بعد از ماشین‌کاری محاسبه شد؛ بنابراین، مقادیر ارائه شده بیانگر نرخ برداشت ماده واقعی^۱ هستند. شکل ۸ اثر نوع براده‌شکن بر نرخ برداشت ماده (MRR) را در نرخ پیشروی ۰/۰۸ میلی‌متر بر دور و سرعت‌های مختلف اسپیندل نشان می‌دهد. مطابق نتایج، در تمامی براده‌شکن‌ها با افزایش سرعت اسپیندل از ۵۰۰ به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، نرخ برداشت ماده افزایش یافته است. این رفتار ناشی از افزایش سرعت برش و در نتیجه افزایش حجم ماده برداشته شده در واحد زمان است.

در مجموعه براده‌شکن‌های A تا C، بیشترین مقدار MRR مربوط به براده‌شکن C است؛ به طوری که در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، مقدار MRR آن نسبت به براده‌شکن A حدود ۹۰ تا ۱۰۰ درصد بیشتر است، در حالی که براده‌شکن B رفتاری بینابینی داشته و مقدار MRR آن حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از براده‌شکن A است. از آنجا که مقادیر MRR در این پژوهش به صورت تجربی و بر اساس

¹ Actual MRR

جرم واقعی ماده برداشته شده تعیین شده‌اند، این اختلاف‌ها بیانگر تفاوت در راندمان واقعی برداشت ماده تحت تأثیر هندسه براده‌شکن است. احتمالاً عملکرد مناسب‌تر برخی هندسه‌ها در هدایت براده، کاهش تشکیل لبه انباشته (Built-Up Edge) و افزایش پایداری فرایند، موجب افزایش راندمان واقعی برداشت ماده شده است. در مجموعه براده‌شکن‌های D تا F نیز روند مشابهی مشاهده می‌شود؛ به گونه‌ای که در سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، مقدار MRR براده‌شکن F حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد بیشتر از براده‌شکن D است. این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت هندسه براده‌شکن‌ها می‌تواند بر راندمان واقعی فرایند برش اثرگذار باشد، هرچند پارامترهای اسمی ماشین‌کاری در تمامی آزمایش‌ها یکسان بوده‌اند. همچنین، مقایسه دو مجموعه نشان می‌دهد که براده‌شکن‌ها D تا F به طور کلی مقادیر MRR بالاتری نسبت به براده‌شکن‌های A تا C ایجاد کرده‌اند؛ به طوری که در سرعت ۷۱۰ دور بر دقیقه، مقدار MRR براده‌شکن F حدود ۲ تا ۲/۵ برابر براده‌شکن A است. این اختلاف را می‌توان به تفاوت در عملکرد هندسه براده‌شکن‌ها در شرایط خشن کاری و پرداخت و تأثیر آن‌ها بر راندمان واقعی برداشت ماده نسبت داد. به طور کلی، نتایج شکل ۸ نشان می‌دهد که اگرچه افزایش سرعت اسپیندل عامل اصلی افزایش MRR است، اما هندسه براده‌شکن نیز با تأثیر بر راندمان واقعی فرایند ماشین‌کاری می‌تواند موجب تفاوت در مقادیر MRR اندازه‌گیری شده شود.



شکل ۸ اثر نوع براده‌شکن بر نرخ براده برداری در پیشروی ۰/۰۸ و سرعت اسپیندل مختلف

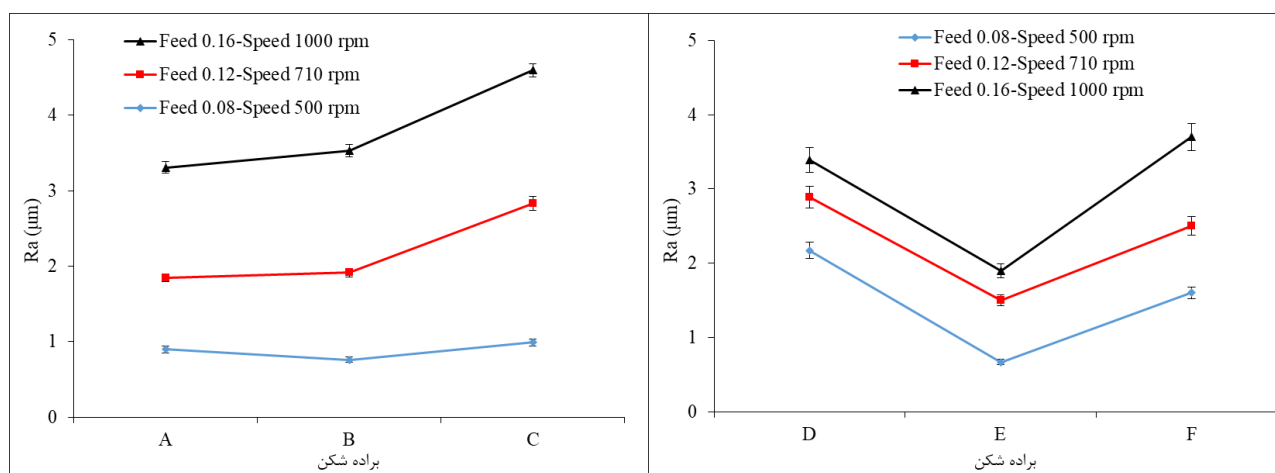
۳-۴- کیفیت سطح و نوع براده‌شکن

شکل ۹ اثر نوع براده‌شکن را بر زبری سطح (R_a) تحت شرایط مختلف تراشکاری نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، زبری سطح به شدت تحت تأثیر هندسه براده‌شکن، نرخ پیشروی و سرعت اسپیندل قرار دارد و رفتار آن در براده‌شکن‌های مخصوص پرداخت (A, B, C) و خشن‌تراشی (D, E, F) تفاوت محسوسی از خود نشان می‌دهد. به طور کلی، کمترین مقادیر زبری سطح مربوط به شرایط با نرخ پیشروی پایین‌تر (۰/۰۸ میلیمتر بر دور) و سرعت اسپیندل کمتر بوده، در حالی که با افزایش نرخ پیشروی و سرعت اسپیندل، زبری سطح در تمامی براده‌شکن‌ها افزایش یافته است. این روند به افزایش ضخامت براده، ناپایداری موضعی جریان براده و تشدید ارتعاشات ابزار نسبت داده می‌شود.

در براده‌شکن‌های مرحله پرداخت (A, B, C)، براده‌شکن B در تمامی شرایط کمترین مقدار زبری سطح را نشان می‌دهد، به طوری که مقدار R_a در این براده‌شکن به طور متوسط حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد کمتر از براده‌شکن A و حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد کمتر از براده‌شکن C است. این رفتار را می‌توان به هندسه بهینه‌تر براده‌شکن B نسبت داد که شامل زاویه براده مؤثر مناسب‌تر و عرض شیار متعادل‌تری است و در نتیجه موجب جریان یکنواخت‌تر براده، کاهش تماس ثانویه ابزار-براده و کاهش ناپایداری‌های موضعی در ناحیه برش می‌شود. در مقابل، براده‌شکن C بیشترین زبری سطح را در مرحله پرداخت ایجاد کرده است که این موضوع به ارتفاع بیشتر دیواره پشتی شیار و محدود شدن حرکت آزاد براده نسبت داده می‌شود؛ عاملی که باعث افزایش اصطکاک، نوسانات نیروی برشی و در نهایت افت کیفیت سطح می‌گردد.

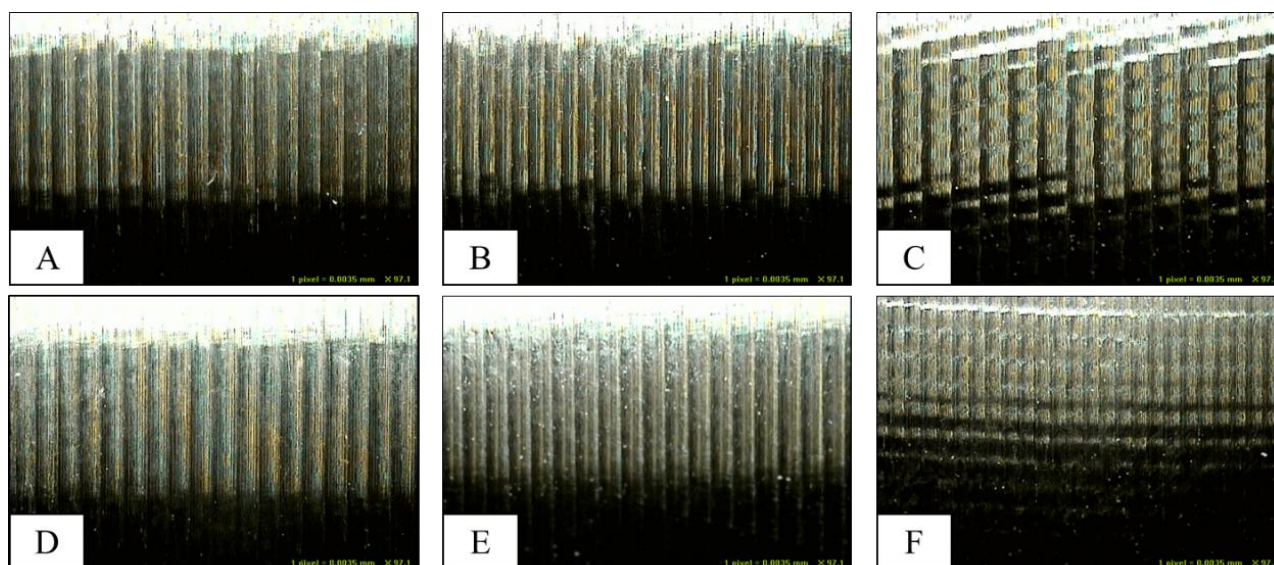
در براده‌شکن‌های مرحله خشن تراشی (D, E, F)، مقادیر زبری سطح به طور کلی بالاتر از حالت پرداخت است که ناشی از ضخامت بیشتر براده و بار مکانیکی بالاتر در این مرحله است. با این حال، اختلاف قابل توجهی میان هندسه‌های مختلف مشاهده می‌شود. براده‌شکن E کمترین مقدار R_a را در تمامی شرایط خشن تراشی نشان می‌دهد، به طوری که زبری سطح ایجادشده توسط آن به طور متوسط حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از براده‌شکن D و حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد کمتر از براده‌شکن F است. این کاهش زبری را می‌توان به طراحی متعادل‌تر شیار و ارتفاع مناسب دیواره پشتی در براده‌شکن E نسبت داد که امکان شکست مؤثر براده‌های ضخیم را بدون ایجاد ناپایداری شدید در جریان براده فراهم می‌کند. در مقابل، براده‌شکن F به دلیل دیواره پشتی بلندتر و محدودیت بیشتر در مسیر خروج براده، موجب افزایش درهم ریختگی جریان براده و تشدید ارتعاشات ابزار شده و در نتیجه زبری سطح بالاتری را ایجاد می‌کند.

همچنین، مقایسه شرایط مختلف ماشین‌کاری نشان می‌دهد که افزایش نرخ پیشروی از ۰/۸ به ۰/۱۶ میلیمتر بر دور باعث افزایش زبری سطح به طور متوسط در بازه ۴۰ تا ۶۰ درصد در مرحله پرداخت و حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد در مرحله خشن تراشی شده است. این موضوع بیانگر آن است که در نرخ‌های پیشروی بالا، نقش هندسه براده‌شکن در حفظ پایداری جریان براده و جلوگیری از ناپایداری‌های دینامیکی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. به طور کلی، نتایج شکل ۹ نشان می‌دهد که انتخاب صحیح هندسه براده‌شکن متناسب با نوع عملیات (پرداخت یا خشن تراشی) نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود کیفیت سطح دارد و براده‌شکن‌های بهینه می‌توانند حتی در شرایط برشی سخت، زبری سطح را به طور قابل توجهی کاهش دهند.



شکل ۹ اثر نوع براده‌شکن بر زبری سطح در شرایط مختلف تراشکاری

شکل ۱۰ اثر نوع براده‌شکن بر کیفیت سطح ایجادشده پس از ماشین‌کاری را نشان می‌دهد. مطابق تصاویر، تغییر هندسه براده‌شکن تأثیر مستقیمی بر یکنواختی شیارها، شدت رد ابزار و نظم بافت سطح دارد. در براده‌شکن‌های نوع A و B، شیارهای سطحی به صورت نسبتاً یکنواخت و موازی مشاهده می‌شوند و آثار کشیدگی پلاستیک و پارگی موضعی سطح محدودتر است که این رفتار به پایداری بیشتر فرایند برش، شکست مناسب براده و کاهش نوسانات نیروی برشی نسبت داده می‌شود. در براده‌شکن نوع C، با وجود افزایش نرخ براده برداری، شدت رد ابزار افزایش یافته و ناهمگنی موضعی در بافت سطح قابل مشاهده است که نشان دهنده افزایش بار برشی و تماس متناوب براده با سطح ماشین‌کاری شده است. در براده‌شکن‌های نوع D و E، الگوی سطح نسبت به A و B خشن‌تر بوده و رد ابزار عمیق‌تر و نامنظم‌تر مشاهده می‌شود که این رفتار به افزایش ضخامت براده، افزایش اصطکاک ابزار-براده و تمرکز تنش در لبه برشی مربوط می‌شود. در نهایت، براده‌شکن نوع F ضعیف‌ترین کیفیت سطح را نشان می‌دهد؛ به طوری که شیارهای نامنظم، اثرات لهیدگی سطح و ناپیوستگی بافت به طور واضح دیده می‌شود. این موضوع به هندسه تهاجمی‌تر براده‌شکن، شیارهای عمیق و زاویه منفی‌تر نسبت داده می‌شود که اگرچه منجر به افزایش نرخ براده برداری می‌گردد، اما باعث افزایش نوسانات نیرو، افزایش دمای موضعی و تشدید تغییر شکل پلاستیک سطح می‌شود. به طور کلی، نتایج شکل ۱۰ نشان می‌دهد که براده‌شکن‌های با هندسه ساده‌تر کیفیت سطح بهتری ایجاد می‌کنند، در حالی که براده‌شکن‌های با قابلیت برداشت ماده بالاتر، اگر بدون بهینه‌سازی پارامترهای فرایند به کار روند، می‌توانند منجر به افت کیفیت سطح شوند.



شکل ۱۰ اثر نوع براده‌شکن بر سطح ایجاد شده

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر به بررسی تأثیر هندسه براده‌شکن بر عملکرد تراشکاری فولاد زنگ نزن AISI 304 در مراحل خشن تراشی و پرداخت پرداخته است. نتایج تجربی نشان دادند که هندسه براده‌شکن نقش تعیین کننده‌ای در کنترل جریان براده، کاهش نیروهای برشی و دمای ناحیه برش و بهبود کیفیت سطح دارد. براده‌شکن‌های مرحله پرداخت با زاویه براده مناسب و شیارهای متعادل توانستند نیروی برشی را تا ۳۰ درصد و زبری سطح را تا ۳۵ درصد کاهش دهند، در حالی که براده‌شکن‌های خشن کاری با طراحی مناسب امکان افزایش نرخ برداشت ماده تا ۱۰۰ درصد را فراهم کردند. افزایش سرعت اسپیندل موجب کاهش نیروهای برشی و افزایش دما شد، در حالی که افزایش پیشروی باعث افزایش محسوس نیرو و زبری سطح گردید. تحلیل نتایج نشان داد که بهینه‌سازی هندسه براده‌شکن متناسب با نوع عملیات (پرداخت یا خشن کاری) می‌تواند عملکرد ابزار را بهبود داده، پایداری فرایند را افزایش دهد و کیفیت سطح قطعات ماشین‌کاری شده را ارتقا بخشد. این یافته‌ها اهمیت طراحی دقیق براده‌شکن و انتخاب هندسه مناسب را در دستیابی به بهره‌وری بالا و کاهش هزینه‌های تولید در تراشکاری فولاد ضدزنگ AISI 304 تأکید می‌کنند.

References

- [1] Azarhoushang B, Paknejad M, Böisinger R, Benner HM. The effects of alloy composition and surface integrity on the machinability of austenitic stainless steels 304 and 304L. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2024 Oct 25;8(6):238. doi: 10.3390/jmmp8060238
- [2] Lin T, Wang Y, Lu M. The chip breaking methods in turning of stainless steel: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2026 Jun 16:1-21. doi: 10.1007/s00170-024-14223-1
- [3] Yılmaz B, Karabulut Ş, Güllü A. Performance analysis of new external chip breaker for efficient machining of Inconel 718 and optimization of the cutting parameters. *Journal of Manufacturing Processes*. 2018 Apr 1;32:553-63. doi: 10.1016/j.jmapro.2018.03.021
- [4] Sristi NA, Zaman PB. A review of textured cutting tools' impact on machining performance from a tribological perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024 Aug;133(9):4023-57. doi: 10.1007/s00170-024-13865-5
- [5] Yang D, Xu L, Zhang Z, Liu M, Liu B. Review of microtextured tools: pattern types, machining methods, and cutting performance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2024 Jan;130(1-2):1-33. doi: 10.1007/s00170-023-12628-y
- [6] Zhuang K, Fu C, Weng J, Hu C. Cutting edge microgeometries in metal cutting: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021 Oct;116(7):2045-92. doi: 10.1007/s00170-021-07559-9
- [7] Pereira Guimaraes BM, da Silva Fernandes CM, Amaral de Figueiredo D, Correia Pereira da Silva FS, Macedo Miranda MG. Cutting temperature measurement and prediction in machining processes: comprehensive

- review and future perspectives. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022 May;120(5):2849-78. doi: [10.1007/s00170-022-08970-y](https://doi.org/10.1007/s00170-022-08970-y)
- [8] Aşcıoğlu M, Boy M. Machining characteristics investigations of duplex stainless steel by considering dual effect of chip breaker and cooling conditions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2022 Jul;236(14):7885-98. doi: [10.1177/09544062211070244](https://doi.org/10.1177/09544062211070244)
- [9] Denkena B, Bergmann B, Murrenhoff M. Influence of chip breaker geometries on chip breaking behaviour during profile grooving. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2024 Oct 1;53:95-102. doi: [10.1016/j.cirpj.2024.05.011](https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.05.011)
- [10] Ze W, Jianxin D, Yang C, Youqiang X, Jun Z. Performance of the self-lubricating textured tools in dry cutting of Ti-6Al-4V. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012 Oct;62:943-51. doi: [10.1007/s00170-011-3853-x](https://doi.org/10.1007/s00170-011-3853-x)
- [11] Samant A, Sahoo AK, Kumar R, Panda A. Performance improvement through textured cutting tool during machining hard-to-cut materials: A review. AIP Conference Proceedings. 2024 Feb 20;3007(1):020005. doi: [10.1063/5.0194459](https://doi.org/10.1063/5.0194459)
- [12] Sharma R, Pradhan S, Bathe RN. Machinability Aspects of Non-Textured and Micro-Textured Cutting Inserts in Turning of Titanium gr 2. Surface Review and Letters. 2024 Feb;31(02):2450011. doi: [10.1142/S0218625X2450011X](https://doi.org/10.1142/S0218625X2450011X)
- [13] Chavoshi SZ, Tajdari M. Surface roughness modelling in hard turning operation of AISI 4140 using CBN cutting tool. International Journal of Material Forming. 2010 Dec;3(4):233-9. doi: [10.1007/s12289-009-0671-5](https://doi.org/10.1007/s12289-009-0671-5)
- [14] Gaitonde VN, Karnik SR, Figueira L, Davim JP. Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2009 Jul 1;27(4):754-63. doi: [10.1016/j.ijrmhm.2008.11.008](https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.11.008)
- [15] Joch R, Cedzo M, Czán A, Šajgalík M, Holubják J, Drbúl M, et al. Impact of Chip Breaker Geometry on the Performance of Actively Rotary Monolithic Turning Tools. Materials. 2025 Mar 4;18(5):1154. doi: [10.3390/ma18051154](https://doi.org/10.3390/ma18051154)
- [16] Shu S, Hu Z, Li X, Huang Q. Impact of active chip breakers on Ti6Al4V turning process. Materials and Manufacturing Processes. 2025 Jun 11;40(8):1123-32. doi: [10.1080/10426914.2024.2372740](https://doi.org/10.1080/10426914.2024.2372740)
- [17] Yilmaz Y, Kiyak M. Investigation of chip breaker and its effect in turning operations. Journal of Advances in Manufacturing Engineering. 2020 Mar 3;1(1):29-37. doi: [10.47119/IJASRE.2020.33724](https://doi.org/10.47119/IJASRE.2020.33724)
- [18] Kuo RY, Wang JJ, Lee RN. Effect of insert groove geometry on chip breaking performance. Journal of Mechanics. 2018 Feb;34(1):67-73. doi: [10.1017/jmech.2017.38](https://doi.org/10.1017/jmech.2017.38)