



تأثیر نرخ پیشروی در میزان تنش‌های ایجاد شده بر روی ابزار در ماشین‌کاری آلومینیوم

۵۰۸۳

بهنام داودی^{۱*}، محمدرضا اسلامی^۲

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تبریز

* تهران، صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۶۵، bdavoodi@iust.ac.ir

چکیده

نیروهای برشی که در طی فرآیند ماشین‌کاری بر ابزار برشی تأثیر می‌گذارند یکی از مهمترین پارامترهای شناخته شده در انتخاب شرایط بهینه ماشین‌کاری و نگهداری مطمئن و ایمن قطعه‌کار و ابزار در فرآیند براده‌برداری می‌باشد. در این مقاله، تأثیر نرخ پیشروی در ماشین‌کاری آلایز آلومینیوم ۵۰۸۳ مورد کاربرد در ساختارهای سبک در صنایع اتومبیل‌سازی، کشتی‌سازی و هوافضا بر روی تنش‌های ایجاد شده در ابزار برشی مورد بررسی قرار گرفته است. نیروهای برشی با استفاده از آزمایش‌های تجربی اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند و از روش آنالیز اجزاء محدود در کد تجاری آباکوس برای تحلیل توزیع تنش در ابزار برشی استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده تأثیر نرخ پیشروی بر تنش ایجاد شده روی ابزار می‌باشد. **کلید واژگان:** نرخ پیشروی، آلایز آلومینیوم ۵۰۸۳، تنش‌های ابزار برشی، شبیه‌سازی اجزاء محدود

The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of AA5083

Behnam Davoodi^{1*}, Mohammad Reza Eslami²

1- School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Technical & Vocational University of Tabriz, Iran

*P.O.B 16765-163, Tehran, Iran, bdavoodi@iust.ac.ir

ABSTRACT

Cutting forces that affects the cutting tool during machining are one of the important parameters must be known to select the economical cutting conditions and mount the workpiece on machine tools, securely. In this paper, the effects of the feed rate in machining of aluminum alloy 5083, used in lightweight structural application in automotive, shipbuilding and aerospace industries, on the cutting tool stresses have been investigated. Cutting forces were measured by a series of experimental measurements while stress distributions on the cutting tool were analyzed using a commercial finite element method (FEM) (ABAQUS). The results showed that the feed rate is the most relevant cutting parameter affecting cutting tool stresses.

Keywords: AA5083, Cutting Tool Stresses, Feed Rate, Finite Element Method.

بررسی اجمالی تحقیقات انجام گرفته در زمینه براده‌برداری با استفاده از شبیه‌سازی اجزاء محدود، مشخص می‌سازد که اکثر این تحقیقات، فرآیند شکل‌گیری براده در براده‌برداری متعامد را با استفاده از یک کد تجاری اجزاء محدود همچون مارک یا آباکوس شرح داده‌اند [۶،۴]. همچنین بررسی نتایج شبیه‌سازی فرآیندهای براده‌برداری نشانگر این مطلب است که موضوعاتی همچون توزیع حرارت و شکل‌گیری براده [۷-۹]، تحلیل سایش ابزار برشی [۱] و توزیع تنش پسماند [۱۰] مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این مقاله، تأثیر نرخ پیشروی بر مقدار تنش‌های ایجاد شده در ابزار برشی در ماشین‌کاری آلایز آلومینیوم ۵۰۸۳ مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از یک سری آزمایش‌های تجربی، نیروهای برشی اندازه‌گیری شده‌اند. سپس فرآیند ماشین‌کاری به روش اجزاء محدود با استفاده از کد تجاری آباکوس شبیه‌سازی شده و پس از تأیید صحت شبیه‌سازی با استفاده از نتایج تجربی، مقادیر تنش و نحوه توزیع آن در ابزار برشی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، روش اجزاء محدود به منظور آنالیز فرآیندهای ماشین‌کاری توسعه یافته است. در نتیجه‌ی توسعه تکنولوژی کامپیوتر و برنامه‌نویسی، محققین به مدل‌سازی عددی به ویژه شبیه‌سازی اجزاء محدود، توجه زیادی کرده‌اند. تکنیک‌های اجزاء محدود مانند معیار جدایش براده [۱-۴]، مدل‌سازی سایش ابزار برشی [۲-۴]، ناحیه مش‌بندی مجدد [۳]، مدل‌سازی اصطکاک [۱-۴] برای افزایش صحت و تأثیرگذاری تکنیک اجزاء محدود در براده‌برداری به کار گرفته شده‌اند [۵]. از زمان ظهور تکنیک اجزاء محدود، استفاده از این روش تدریجاً افزایش یافته است. این افزایش با محبوبیت بسیار بیشتری در صنعت ماشین‌کاری و براده‌برداری روبرو بوده است چرا که شبیه‌سازی اجزاء محدود حل مسائل با پیچیدگی بسیار زیاد را ممکن می‌سازد. در ابتدا این روش برای بررسی استحکام و امنیت بکار گرفته می‌شد، اما در حال حاضر این روش، فرآیند مناسبی برای محاسبه هزینه ماشین‌کاری و بهینه‌سازی پارامترها در طراحی و توسعه چرخه محصول به حساب می‌آید.

Please cite this article using:

B. Davoodi, M.R. Eslami, The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of AA5083, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference, Vol. 15, No. 13, pp. 39-43, 2015 (in Persian) (فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آلومینیوم فراوان‌ترین فلز و سومین عنصر فلزی است که به مقدار زیاد در پوسته‌ی زمین یافت می‌شود. آلومینیوم در طبیعت به صورت آلومینیوم سیلیکات^۱ پایدار و آلومینیوم هیدرواکسید^۲ وجود دارد.

آلومینیوم دارای خواصی است که موجب شده تا این فلز و آلیاژهای آن بیش از اندازه مورد توجه قرار گیرد. این خواص عبارتند از:

- ۱- چگالی کم
- ۲- رسانش گرمایی بالا و مقاومت حرارتی بالا
- ۳- انعطاف پذیری
- ۴- چکش خواری
- ۵- مقاوم در برابر خوردگی

معروف‌ترین مشخصه آلومینیوم سبکی آن است، چگالی آلومینیوم ۰/۳۳ فولاد و آلیاژهای مس است. نسبت استحکام به وزن بعضی از آلیاژهای آلومینیوم از فولادهای پر استحکام بالاتر است. آلومینیوم چکش‌خواری و شکل‌پذیری خوب، مقاومت زیاد در برابر خوردگی و رسانندگی الکتریکی و گرمایی خوبی دارد. آلومینیوم بسیار خالص در عکاسی به عنوان بازتابنده به کار می‌رود، مزیت آن بازتابندگی زیاد و مات نشدن است.

آلومینیوم دارای قابلیت هدایت حرارتی بالایی می‌باشد که بعد از نقره و مس بهترین هادی حرارتی می‌باشد و دارای دانسیته‌ای در حدود $2/7 \text{ gr/cm}^3$ است.

آلیاژهای سری ۵۰۰۰ در دمای معمولی محیط شامل دو فاز به‌صورت محلول جامدی از منیزیم در آلومینیوم هستند. این آلیاژها، جوش‌پذیری خوب، مقاومت در برابر خوردگی خوب و استحکام متوسطی دارند. آلیاژ ۵۰۸۳ در کاربردهای دریایی و ساختارهای جوشکاری شده به‌کار می‌رود [۱۱]. این آلیاژ در گروه آلیاژهای کار شده آلومینیوم طبقه‌بندی می‌شود که مطابق جدول ۱ عنصر آلیاژی اصلی آن منیزیم می‌باشد [۱۲].

برای انجام تست‌های تراش‌کاری متعامد و به‌دست آوردن نیروهای تراش-کاری، قطعه‌کار استوانه‌ای به قطر ۶۰ میلی‌متر از جنس آلومینیوم ۵۰۸۳ تهیه شده و از دو طرف پیشانی تراشی، مته‌مرغ‌زنی و همچنین روتراشی شد تا در حین تراش‌کاری حالت تک محوری بودن آن کاملاً رعایت شود.

برای انجام ماشین‌کاری متعامد روی بلوک استوانه‌ای از جنس آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳، تعدادی شیار با عمق متوسط ۹ میلی‌متر ایجاد شد تا در هنگام اجرای آزمایش‌ها با انجام ماشین‌کاری روی لبه‌های برجسته باقی‌مانده بین شیارها با

جدول ۱ عناصر آلیاژی موجود در آلیاژ ۵۰۸۳

عنصر	درصد
سیلیسیم (Si)	۰/۴
آهن (Fe)	۰/۴
مس (Cu)	۰/۱
منگنز (Mn)	۰/۴ - ۱
منیزیم (Mg)	۴ - ۴/۹
روی (Zn)	۰/۲۵
تیتانیوم (Ti)	۰/۱۵
کرم (Cr)	۰/۰۵ - ۰/۲۵
آلومینیوم (Al)	تعادل

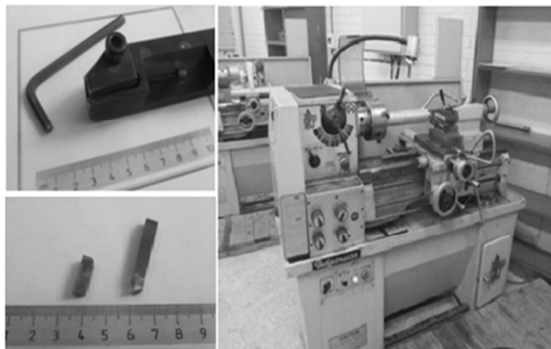
ابزار شیارتراشی، حالت برش متعامد دو بعدی ایجاد شود. منظور از دو بعدی بودن آن است که نیروی محوری حذف و فقط نیروهای شعاعی و محیطی بر ابزار وارد شود. در این حال نیروی شعاعی همان نیروی پیشروی و نیروی محیطی همان نیروی برشی خواهد بود.

براده برداری از نمونه‌های ساخته شده با ماشین‌تراش انیورسال اجرا شده است. این ماشین حالت کنترل دستی داشته و دارای حداکثر قطر کارگیر ۳۰۰ میلی‌متر و حداکثر کورس محور طولی (محور Z) ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر دور محور اسپیندل ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی محورها از ۰/۰۵۲ تا ۱/۳۹۲ میلی‌متر بر دور محور اصلی در حالت پیشروی اتوماتیک در راستای محور طولی و از ۰/۰۱۴ تا ۰/۳۸۰ میلی‌متر بر دور محور اصلی در راستای محور عرضی دستگاه می‌باشد. قطعه‌کار توسط سه نظام مهار شده است. در تمامی تست‌های انجام شده از ابزار شیارتراش کاربردی استفاده شده است. ابزارگیر به‌کار رفته محصول شرکت ماشین‌سازی تبریز می‌باشد. در شکل ۱ پیکربندی ماشین تراش، ابزار و ابزارگیر مورد استفاده نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری نیروها از دینامومتر کیستلر^۳ مدل ۹۲۵YB استفاده شده است. این دینامومتر دارای ظرفیت اندازه‌گیری نیرو در سه راستای X، Y و Z از ۵- تا ۵+ کیلونیوتن می‌باشد. کابل خروجی از صفحه دینامومتر به یک آمپلی‌فایر نوع ۵۰۱۹ وصل می‌شود که وظیفه‌ی آن افزایش دامنه اطلاعات رسیده از صفحه دینامومتر می‌باشد. اطلاعات تقویت شده در آمپلی‌فایر به برد اخذ اطلاعات کامپیوتر وارد می‌شود که وظیفه اصلی آن جمع‌آوری اطلاعات و تبدیل آن به فرمت مورد استفاده در نرم افزار داینور^۴ است.

لازم به ذکر است که در آزمایش‌های اجرا شده در تمامی حالات، زاویه آزاد اصلی ابزار برابر ۱۲ درجه و زاویه براده ابزار صفر درجه در نظر گرفته شد. در این حالت نیرو در راستای محور Z به‌دست آمده از دینامومتر برابر نیروی برشی (F_c) و نیروی بدست آمده در راستای محور X دینامومتر برابر نیروی پیشروی (F_T) خواهد بود.

در انتخاب شرایط ماشین‌کاری مانند سرعت برشی و سرعت پیشروی باید توجه داشت که به‌منظور برقراری حالت کرنش صفحه‌ای که پایه و اساس روابط تحلیلی ارائه شده توسط اکسلی می‌باشد، نسبت پهنای براده جدا نشده به ضخامت براده جدا شده مساوی یا بیشتر از ۱۰ باشد [۱۳]. برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع شماره ۱۳ رجوع شود. تعداد ۳۰ آزمایش با تغییر میزان پیشروی و سرعت برشی مطابق جدول ۲ انجام شده است. مقادیر



شکل ۱ دستگاه تراش، ابزار کاربردی و ابزارگیر

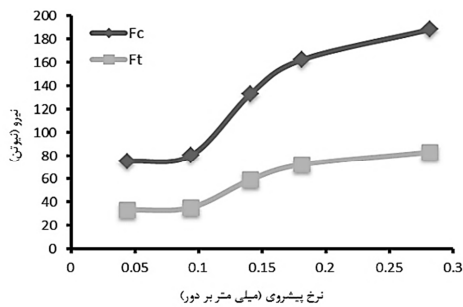
3. Kistler 9257B
4. DynoWare

1. Al(SiO₃)₃
2. Al(OH)₃

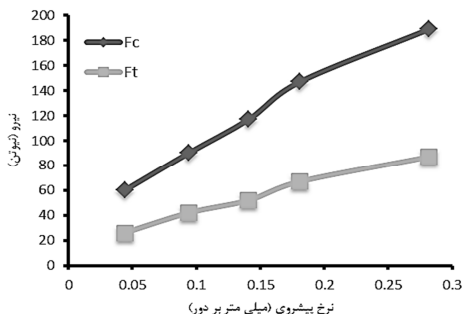
نیروی برشی و نیروی پیشروی اندازه‌گیری شده با دینامومتر در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر نیروهای برشی اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های ماشین‌کاری با تغییر نرخ پیشروی در شکل ۲ نشان داده شده است. در حالت کلی با افزایش نرخ پیشروی در تمام سرعت‌های برشی، نیروهای برشی افزایش می‌یابد. در تمام آزمایش‌های انجام شده نیروی برشی اصلی (F_c) مقدار بیشتری نسبت به نیروی پیشروی (F_T) دارد.

جدول ۲ نتایج تست‌های ماشین‌کاری

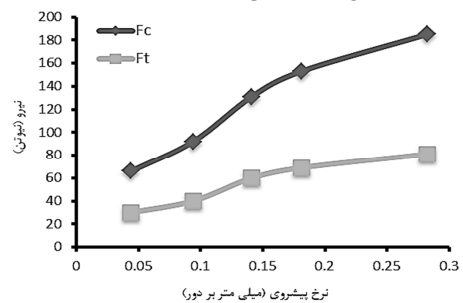
شماره تست	مقدار پیشروی (mm/rev)	سرعت برشی (m/min)	نیروی برشی (N)	نیروی پیشروی (N)
۱	۰/۰۴۴	۵۰	۵۵	۲۴
۲	۰/۰۴۴	۷۵	۷۵	۳۳
۳	۰/۰۴۴	۱۰۰	۶۰	۲۶
۴	۰/۰۴۴	۱۲۵	۶۶	۳۰
۵	۰/۰۴۴	۱۵۰	۶۳	۲۷
۶	۰/۰۴۴	۱۷۵	۸۷	۳۸
۷	۰/۰۹۴	۵۰	۴۵	۲۰
۸	۰/۰۹۴	۷۵	۸۰	۳۵
۹	۰/۰۹۴	۱۰۰	۹۰	۴۲
۱۰	۰/۰۹۴	۱۲۵	۹۲	۴۰
۱۱	۰/۰۹۴	۱۵۰	۸۰	۳۵
۱۲	۰/۰۹۴	۱۷۵	۱۰۵	۴۷
۱۳	۰/۱۴۱	۵۰	۱۴۳	۶۵
۱۴	۰/۱۴۱	۷۵	۱۳۳	۵۹
۱۵	۰/۱۴۱	۱۰۰	۱۱۷	۵۲
۱۶	۰/۱۴۱	۱۲۵	۱۳۱	۶۰
۱۷	۰/۱۴۱	۱۵۰	۱۷۴	۸۲
۱۸	۰/۱۴۱	۱۷۵	۱۵۶	۷۰
۱۹	۰/۱۸۸	۵۰	۱۳۱	۶۳
۲۰	۰/۱۸۸	۷۵	۱۶۲	۷۲
۲۱	۰/۱۸۸	۱۰۰	۱۴۷	۶۷
۲۲	۰/۱۸۸	۱۲۵	۱۵۳	۶۹
۲۳	۰/۱۸۸	۱۵۰	۱۵۷	۷۰
۲۴	۰/۱۸۸	۱۷۵	۶۶	۳۱
۲۵	۰/۲۸۲	۵۰	۱۴۹	۶۵
۲۶	۰/۲۸۲	۷۵	۱۸۸	۸۳
۲۷	۰/۲۸۲	۱۰۰	۱۸۹	۸۷
۲۸	۰/۲۸۲	۱۲۵	۱۸۵	۸۱
۲۹	۰/۲۸۲	۱۵۰	۱۴۹	۶۲
۳۰	۰/۲۸۲	۱۷۵	۹۳	۴۷



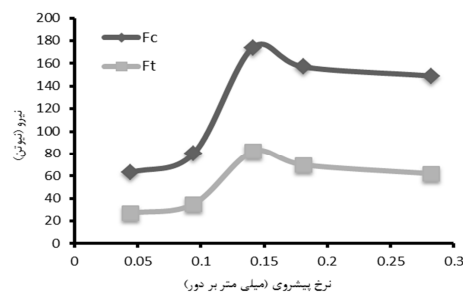
ب) سرعت برشی ۷۵ متر بر دقیقه



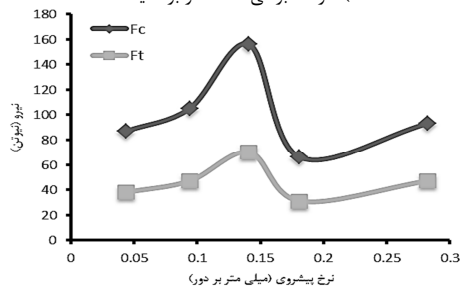
ج) سرعت برشی ۱۰۰ متر بر دقیقه



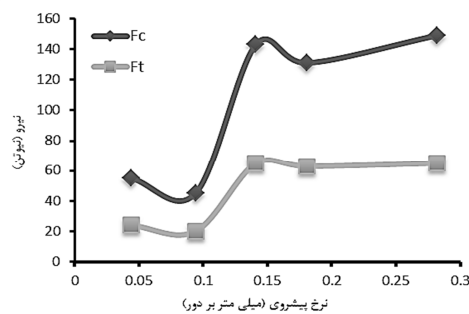
د) سرعت برشی ۱۲۵ متر بر دقیقه



ه) سرعت برشی ۱۵۰ متر بر دقیقه



و) سرعت برشی ۱۷۵ متر بر دقیقه



الف) سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه

شکل ۲ تأثیر نرخ پیشروی بر نیروهای برشی در سرعت‌های برشی متفاوت

۲-۲- مدل‌سازی ابزار برشی

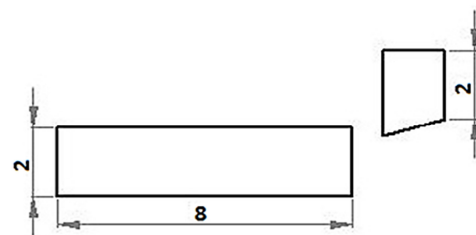
توزیع تنش روی ابزار برشی با استفاده از شبیه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری با شرایط اعمال شده در آزمایش‌های تجربی و استفاده از کد تجاری آباکوس مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. صحت شبیه‌سازی با مقایسه نیروهای اندازه‌گیری شده توسط دینامومتر و مقادیر بدست آمده از نیروهای معادل در شبیه‌سازی و اعمال خطاهای ممکن حاصل شده است.

با مشخص کردن مختصات گوشه‌های یک مستطیل قطعه‌کار دو بعدی را ایجاد می‌کنیم. باید توجه نمود که با بزرگ‌تر شدن ابعاد قطعه کار تعداد المان‌ها بیشتر شده و زمان محاسبات به‌صورت تصاعدی افزایش خواهد یافت. با توجه به ضخامت براده جدا نشده در تست‌های عملی، ارتفاع مستطیل را ۲ میلی‌متر و طول آن را ۸ میلی‌متر در نظر می‌گیریم. برای ایجاد ابزار نیز با محاسبه زاویه براده و همچنین زاویه آزاد ابزار، شکل هندسی آن را با وارد کردن مختصات گوشه‌های ابزار، ایجاد می‌کنیم (شکل ۳).

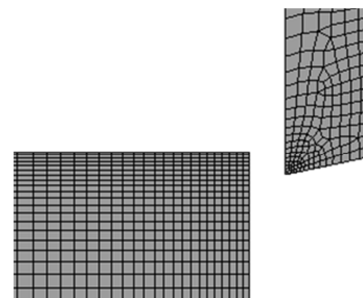
مدل‌سازی مواد برای ابزار کاربیدی و قطعه‌کار در شکل ۴ نشان داده شده است. (مدول الاستیسیته و ضریب پواسون برای ابزار کاربیدی به ترتیب ۸۰۰ گیگا پاسکال و ۰/۲ می‌باشد).

برای مش‌بندی قطعه‌کار و ابزار از المان‌های مربعی با چهار گره استفاده شده است و برای داشتن تحلیل درست، مش‌بندی مجدد مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه المان‌های اولیه باید از ضخامت براده جدا نشده کوچکتر باشد تا با شروع برخورد ابزار و قطعه کار، جدایش المان‌ها و ایجاد براده رخ دهد اما این‌که میزان کمتر بودن اندازه المان‌های اولیه در چه حدی باید باشد یکی از موضوعاتی است که زمان تحلیل مسئله و دقت نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. چرا که با ریز شدن المان‌ها از یک حد بحرانی به بعد، دقت نتایج تغییر چندانی نکرده در حالی که زمان تحلیل به سرعت افزایش خواهد یافت.

در این مقاله با توجه به ابعاد انتخابی برای قطعه‌کار، طول قطعه را به ۵۰ قسمت و عرض آن را به ۲۵ قسمت تقسیم کردیم که در این حالت زمان تحلیل قابل قبول بوده و نتایج بدست آمده نیز کمترین خطا را داشته است. برای کاهش زمان تحلیل، فرضیاتی در نظر گرفته شده است: وزن ابزارگیر و اینسرت در نظر گرفته نشده است. اینسرت به‌کار رفته نو و کاملاً تیز و بدون



شکل ۳ نقشه دو بعدی مدل قطعه و ابزار



شکل ۴ مدل ایجاد شده برای ابزار کاربیدی و قطعه کار در شبیه‌سازی اجزاء محدود

شعاع نوک در نظر گرفته شده است. ارتعاشات بوجود آمده در حین براده برداری در نظر گرفته نشده است.

۳- تنش‌ها بر روی ابزار برشی

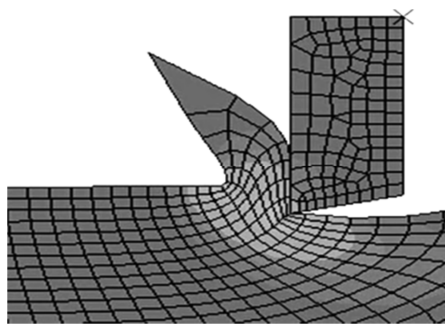
با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر تجربی و تایید صحت شبیه‌سازی توزیع تنش در روی ابزار برشی در شبیه‌سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. شکل ۵ - الف توزیع تنش در سرعت برشی ۱۲۵ متر بر دقیقه در نرخ پیشروی ۰/۰۹۴ و شکل ۵ - ب توزیع تنش در همین سرعت برشی را در نرخ پیشروی ۰/۱۸۸ نشان می‌دهد.

تأثیر تغییر در نرخ پیشروی برای هر یک از سرعت‌های برشی با استفاده از معیارهای تسلیم فون میزز و ترسکا در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش نرخ پیشروی مقادیر تنش بر روی ابزار افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار در معیار فون میزز با سرعت برشی ۱۰۰ m/min و نرخ پیشروی ۰/۲۸۲ mm/rev برابر ۶۰۳ MPa بدست آمده است و بیشترین مقدار تنش بر مبنای معیار ترسکا نیز در سرعت برشی ۱۲۵ m/min و نرخ پیشروی ۰/۲۸۲ mm/rev برابر ۶۹۶ MPa بدست آمده است. با افزایش سرعت برشی تنش فون میزز نیز افزایش می‌یابد. تأثیر نرخ پیشروی روی تنش فون میزز به طور وضوح در سرعت برشی ۱۲۵ متر بر دقیقه قابل مشاهده می‌باشد.

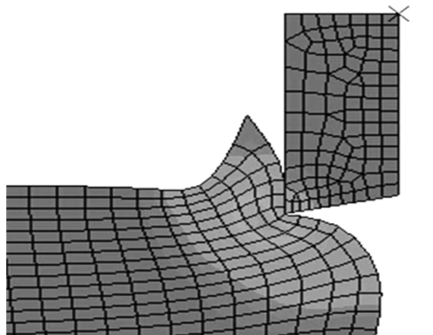
۴- نتیجه‌گیری

به کمک آزمایش‌های تجربی ماشین‌کاری بر روی آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ و شبیه‌سازی فرآیند ماشین‌کاری نتایجی به شرح ذیل حاصل شده است.

- با افزایش نرخ پیشروی، تنش بر روی ابزار برشی افزایش می‌یابد.
- با این‌که نیروی برآیند در براده‌برداری تقریباً در همه آزمایش‌ها یکسان می‌باشد، تنش‌های ابزار برشی متأثر از نیروی پیشروی می‌باشد و از



الف) سرعت برشی ۱۲۵ متر بر دقیقه در نرخ پیشروی ۰/۰۹۴



ب) سرعت برشی ۱۲۵ متر بر دقیقه در نرخ پیشروی ۰/۱۸۸

شکل ۵ توزیع تنش در ابزار برشی

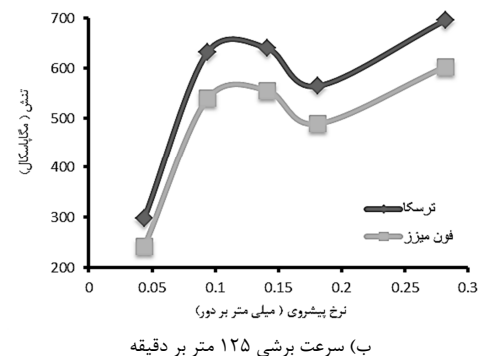
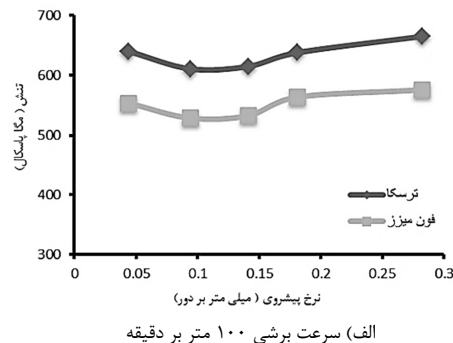
field and crater wear in metal cutting using a quasi finite element approach, *International Journal of Production Research* 2 (1), pp. 59-68, 1973.

[10] A. B. Sadat, M. Y. Reedy, P. B. Yang, Plastic deformation analysis in machining of Inconel 718 nickel base super alloy using both experimental and numerical methods, *International Journal of Mechanical Sciences*, pp. 829-842, 1991.

[11] S. J. Hosseini-pour, An investigation into hot deformation of aluminum alloy 5083, *Materials and Design* 30, pp. 319-322, 2009.

[12] M. Albert, J. Ciurana, C. A. Rodriguez, Experimental analysis of dimensional error vs. cycle time in high-speed milling of aluminium alloy. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, pp. 236-246, 2007.

[13] P. L. B. Oxley, *Mechanics of Machining: An Analytical Approach to Assessing Machinability*. Ellis Horwood, Chichester, pp. 380-381, 1989.



شکل ۶ تأثیر نرخ پیشروی بر روی تنش ایجاد شده در ابزار برشی در سرعت‌های برش ۱۰۰ و ۱۲۵ متر بر دقیقه

نیروی برشی اصلی در ماشین‌کاری آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ تأثیر زیادی نمی‌پذیرد.

- با در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی در فرآیند ماشین‌کاری، سرعت برشی باید بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر بر دقیقه و مقدار پیشروی بین ۰/۰۹۴ تا ۰/۱۸۸ میلی متر بر دور انتخاب شوند تا کمترین صدمه به ابزار برش وارد آید.
- به عنوان یک نتیجه از تحلیل تنش در ابزار برشی، بویژه با استفاده از تنش فون میز، ابزار برشی ممکن است در فاصله برابر با عمق برش بر روی لبه برش ابزار دچار فرسایش و شکست شود.

۵- مراجع

[1] K. Komvopoulos, S. A. Erpenbeck, Finite element modelling of orthogonal metal cutting, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 113, pp. 253-267, 1991.

[2] K. Ueda, K. Manabe, Chip formation in micro cutting of an amorphous metal, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, pp. 129-132, 1992.

[3] A. Shih, H. T.Y. Yang, Experimental and finite element predictions of residual stresses due to orthogonal metal cutting, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 36, pp. 1487-1507, 1993.

[4] A. Shih, Finite element simulation of orthogonal metal cutting, *Journal of Engineering for Industry*, 117, pp. 84-93, 1995.

[5] E. Kose, A. Kurt, U. Seker, The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of Inconel 718. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007.

[6] B. Zang, A. Bagchi, Finite element simulation of chip formation and comparison with machining experiment, *Journal of Engineering for Industry*, 116, pp. 289-297, 1994.

[7] J. S. Strenkowski, K. J. Moon, Finite element prediction of chip geometry and tool/work piece temperature, *Journal of Engineering for Industry*, 112, pp. 313-318, 1990.

[8] M.G. Stevenson, P.K. Wright, J.G. Chow, Further development in applying the finite element method to the calculation of temperature distribution in machining and comparison with experiment, *Journal of Engineering for Industry*, pp. 149-154, 1983.

[9] W.M. Mansour, M. O. M. Osman, T. S. Sankar, A. Mazzawi, Temperature