

بررسی تجربی اثر سرعت برشی بر ارتعاش چتر در فرایند داخل تراشی

محمد مهدی ابوترابی
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه یزد
abootorabi@yazd.ac.ir

منصور رفیعیان
دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه یزد
rafeeyan@yazd.ac.ir

مریم خلیلی*
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه یزد
maryam.khalili@yazd.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۷

چکیده

وقتی ماشین کاری قطعات مکانیکی با دقت بالا انجام می‌شود، باید از ارتعاشات خود تحریک چتر کاملاً اجتناب شود؛ زیرا این نوع حرکت ارتعاشی باعث بی‌کیفیتی سطح و خطاهای ابعادی غیرقابل قبول می‌شود. به‌طور معمول پدیده ارتعاش ناپایدار زمانی به‌وجود می‌آید که به‌طور کلی سختی سیستم ماشین کاری کم باشد. این پدیده بیشتر در فرایند داخل تراشی با ابزار باریک و بلند رخ می‌دهد. در این مقاله، اثر برخی از پارامترهای مؤثر بر فرایند داخل تراشی به‌صورت آزمایشگاهی روی یک ماشین تراش به‌کمک شتاب‌سنج‌های نصب‌شده روی ابزار برش مطالعه شده است. سپس سیگنال‌های شتاب‌سنج در حوزه زمان و طیف فرکانسی آنها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که سرعت برشی مهمترین پارامتری است که می‌تواند عملیات برشکاری را با محدودیت مواجه کند.

واژگان کلیدی: پدیده چتر، داخل تراشی، سرعت برشی، تبدیل فوریه

۱. مقدمه

درد [۱]. این پدیده در بیشتر فرایندهای ماشین کاری مانند تراشکاری، فرزکاری، سنگ‌زنی و جز این‌ها رخ می‌دهد؛ اما چون در فرایند داخل تراشی ابزاری با طول بلند و قطر کم استفاده می‌شود، بررسی پدیده چتر در آن حائز اهمیت است. وانگ و فی [۲-۳] با استفاده از میراگر مغناطیسی ای. آر. امی و همکاران [۴] با استفاده از میراگر ضربه‌ای، ادهی و همکاران [۵] با استفاده از میراگر اصطکاکی، می [۶] با استفاده از سیستم کنترلی فیدبک‌دار، بختیاری‌نژاد و همکاران [۷] با استفاده از یک جاذب ارتعاشی تنظیم‌پذیر، ساتیانارایانان و همکاران [۸] با استفاده از یک میراگر

در عملیات تراشکاری، آشکارسازی خودکار پدیده‌هایی چون چتر اهمیت زیادی دارد؛ زیرا با تشخیص آثار مخرب آنها بر سطوح، مانع از وارد شدن آسیب به قطعه کار یا ابزار می‌شود و طول عمر ابزار افزایش می‌یابد. چتر، که از ارتعاش نسبی بین ابزار و قطعه کار به‌وجود می‌آید، آثار مخربی مانند کاهش کیفیت سطح قطعه کار، دقت براده‌برداری غیرقابل قبول، ایجاد سروصدای بیش از حد، سایش شدید ابزار براده‌برداری و حتی شکستن آن، آسیب دیدن ماشین ابزار، کاهش نرخ براده‌برداری، افزایش هزینه‌های تولید و هدر رفتن مواد اولیه و انرژی را در پی

مغناطیسی ام. آر. ۲، روبیو و همکاران [۹-۱۰] با استفاده از یک جاذب ارتعاشی غیرفعال و با استفاده از روشی از جنس نانوکامپوزیت‌های کربنی روی ابزار توانستند مقدار ارتعاش ناشی از چتر را در فرایند داخل‌تراشی کاهش دهند. معتکف ایمانی و همکاران [۱۱-۱۲] با رابطه‌ای خطی و سورتینو و همکاران [۱۳-۱۵] با رابطه‌ای غیرخطی نیروی محوری، مماسی و جانبی را وابسته به ناحیه براده، طول لبه تماس، شعاع نوک ابزار، سرعت پیشروی، عمق براده‌برداری، نرخ پیشروی و زاویه براده جانبی به دست آوردند. سپس خواص دینامیکی سیستم را مدل‌سازی نمودند. همچنین آتابی و همکاران [۱۶-۱۸] مکانیک فرایند داخل‌تراشی را برای ابزار با یک لبه برشی و چند لبه برشی بررسی کردند. در این بررسی اثر زاویه براده، شعاع نوک ابزار، عمق برشی، نرخ پیشروی و ضریب اصطکاک بر توزیع نیرو در نوک ابزار برشی ارائه شده است. آنها دریافتند که نیروی برشی تابعی از طول تماس، زاویه براده و سرعت برش است. همچنین یک مدل ریاضی برای دینامیک برش ارائه دادند که هندسه ابزار و قطعه‌کار را به‌عنوان ورودی گرفته و نیروی دینامیکی و ارتعاش را محاسبه می‌کرد. در تحقیقات معرفی‌شده، محدوده کاربردی برای پارامترهای مختلف در فرایند داخل‌تراشی بیان نشده است، اما در مقاله حاضر با استفاده از نتایج آزمون‌های عملی، محدوده‌ای برای سرعت برشی در فرایند داخل‌تراشی بیان شده است که وقوع چتر را مشخص می‌کند و در ادامه، سیگنال‌های شتاب‌سنجی در حوزه زمان و طیف فرکانسی^۳ آنها بررسی و در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

۲. پدیده چتر در فرایند داخل‌تراشی

در فرایند داخل‌تراشی، یک ابزار تک‌لبه، از سطح داخلی قطعه‌کار براده‌برداری کرده تا قطر داخلی آن افزایش یابد. در این حالت قطر و طول سوراخ اولیه تعیین‌کننده اندازه ابزار داخل‌تراشی است. از جمله کارهایی که متخصصان به‌صورت تجربی برای کاهش ارتعاش انجام می‌دهند،

می‌توان به مواردی چون انتخاب سرعت پایین، استفاده از ابزار با شعاع نوک کوچک‌تر، طول کوتا‌تر و قطر بزرگ‌تر، قراردادن وزنه روی قلم و تنظیم نوک ابزار کمی پایین‌تر از مرکز قطعه‌کار اشاره نمود.

چون ماشین‌کاری فرایندی دینامیکی است، لذا همواره با لرزش همراه است. در برخی موارد این لرزش با عوامل مختلف تقویت شده و دردسرساز می‌شود. لذا شناخت و بررسی انواع ارتعاش و لرزش در این دستگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است. ترکیب ماشین‌ابزار و قطعه‌کار سیستمی است که دینامیک پیچیده‌ای دارد و در شرایطی مشخص دچار ارتعاش می‌شود. در همه ماشین‌ها، ارتعاشات به سه دسته کلی ارتعاش آزاد، ارتعاش اجباری و ارتعاش خودتحریک یا چتر تقسیم می‌شوند [۱۹].

پدیده چتر در ماشین‌ابزارها به دو دسته اصلی چتر اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. چتر اولیه به‌خودی‌خود در فرایند براده‌برداری و به دلائلی چون اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار، اثر ترمومکانیکی در شکل‌گیری براده و یا به‌وسیله جفت‌شدگی مودها ایجاد می‌شود. چتر ثانویه اما در اثر احیای سطح موجدار قطعه‌کار به‌وجود می‌آید. این نوع چتر به‌عنوان چتر احیاکننده نیز شناخته می‌شود و مهمترین دلیل در پیدایش پدیده چتر به‌شمار می‌رود [۱]. چتر اصطکاکی ناشی از تحریک ارتعاشی در جهت نیروی براده‌برداری مماسی، در اثر ساییده‌شدن براده روی سطح آزاد ایجاد می‌شود [۱]. چتر ترمومکانیکی در فرایند براده‌برداری به‌دلیل دما و نرخ کرنش بالا در منطقه تغییر شکل پلاستیک به‌وجود می‌آید. اگر ارتعاشات در جهت نیروی پیشروی موجب ارتعاش در جهت نیروی براده‌برداری مماسی شود و یا برعکس، چتر جفت‌شدگی مودها ایجاد می‌شود. این نوع چتر در اثر پارامترهایی چون اصطکاک روی سطح براده و سطح آزاد ابزار، تغییر ضخامت براده، نوسانات زاویه برش و اثر احیاکنندگی به‌وجود می‌آید [۱]. معمول‌ترین ارتعاش خودتحریک، چتر احیاکننده است که در اغلب فرایندهای ماشین‌کاری به‌وجود می‌آید. در پاس

که می‌تواند با رایانه در ارتباط باشد و اطلاعات را با توجه به پروتکل تعریفی بین دستگاه و رایانه تبادل کند.



شکل ۱. حسگر شتاب‌سنج همراه با آهنربا



شکل ۲. تصویری از دستگاه پالس

اول تراش، ارتعاش ابزار سبب موجدارشدن سطح قطعه‌کار خواهد شد که این فرایند با هر بار تراش تکرار می‌شود، حال اگر ضخامت براده به‌علت تفاوت فازی بین موج قبلی و موج کنونی تغییر یابد، نیروهای براده‌برداری ایجادشده تغییر می‌کنند. اگر فرکانس نیرو و فرکانس طبیعی دستگاه یکسان شود، تشدید رخ می‌دهد [۱۹].

۳. آزمون‌های عملی

۳-۱. طرح‌ریزی آزمون‌های عملی

در طرح‌ریزی آزمون‌های عملی، ابتدا پارامترهای مؤثر بر فرایند داخل‌تراشی مشخص شد. چون تعداد پارامترهای مؤثر بر فرایند داخل‌تراشی زیاد و متنوع است، در این آزمون‌ها پارامترهای موجود در جدول ۱ ثابت در نظر گرفته شده است. متغیرها برای هر آزمون در جدول ۲ تعریف شده‌اند. در ادامه، آزمون‌ها با شماره‌های جدول ۲ مورد ارجاع قرار می‌گیرند.

۳-۲. تجهیزات مورد استفاده در آزمون

۳-۲-۱. حسگر شتاب‌سنج

حسگر شتاب‌سنج مورد استفاده در این آزمون‌ها با نام AP2037No:5111 است (شکل ۱). این حسگر ساخت شرکت امریکایی آی. پی. تک^۴ است. شتاب‌سنج ارتعاشات را در راستای نصب‌شده اندازه‌گیری می‌کند. خصوصیات این حسگر در جدول ۳ ذکر شده است.

۳-۲-۲. دستگاه پالس

دستگاهی که رابط بین حسگرها و محیط نرم‌افزار تایم دیتا رکورد^۵ است، دستگاه پالس^۶ است که در شکل ۲ مشاهده می‌شود. این دستگاه مدل 3560-B-020 و ساخت شرکت بی. اند کی^۷ است می‌تواند شش سیگنال را به‌صورت همزمان دریافت کند که دو پورت اول برای تاکومتر و پورت‌های بعدی برای حسگرهای شتاب‌سنج است (در شکل دو پورت آن فعال است). این پورت‌ها به‌عنوان ورودی دستگاه هستند و خروجی آن یک کابل لن^۸ است

۳-۲-۳. نرم‌افزار تایم دیتا رکورد

این نرم‌افزار از جمله نرم‌افزارهایی است که برای دریافت و ذخیره‌سازی سیگنال به شکل‌های مختلف می‌توان از آن استفاده کرد.

۳-۲-۴. دستگاه تراش

ماشین‌تراش سی. ان. سی. مدل تی. سی. ان. ۱۰ ساخته شده در ماشین‌سازی تبریز با انتقال فناوری از شرکت دانوبات اسپانیا است که در شکل ۳ نمایش داده شده است.

۳-۳. مراحل انجام آزمون

پس از نصب دو حسگر اندازه‌گیری شتاب روی قلم داخل‌تراشی، که حسگر اول در راستای نوک قلم و حسگر دوم عمود بر آن است، مطابق شکل ۴ قلم روی قلم‌گیر دستگاه تراش نصب می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای ثابت در آزمون‌های فرایند داخل تراشی

نوع فک‌های نگهدارنده قطعه	فک‌های نرم
جنس مواد قطعه‌کار	آلومینیوم ۷۰۷۵
هندسه تیغچه قابل تعویض	لوزی
شعاع نوک تیغچه قابل تعویض	۰٫۲ میلی‌متر
فشار فک‌های نگهدارنده قطعه	۲۰ پوند بر اینچ مربع
نوع تراش	متعامد
نوع ماشین	دستگاه تراش سی. ان. سی. مدل تی. سی. ان. ۱۰۱۰
نوع نصب	قرار گرفته روی فنداسیون
قطر خارجی	۸۰ میلی‌متر
سطح مقطع ابزار	دایره‌ای با قطر ۲۸ میلی‌متر
حالت براده‌برداری	خشک
طول ابزار	۱۱۷ میلی‌متر
جنس ابزار برنده	فولاد تندبر

جدول ۲. مقادیر پارامترهای متغیر برای هر آزمون

شماره	قطر داخلی (میلی‌متر)	نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دور)	سرعت اسپیندل (دور بر دقیقه)	عمق برش (میلی‌متر)
۱	۵۸	۰/۲۰۰	۴۰۰	۰/۲۵۰
۲	۵۹/۲۵	۰/۰۵۰	۴۰۰	۰/۲۵۰
۳	۶۰	۰/۰۷۵	۴۰۰	۰/۱۲۵
۴	۵۸	۰/۰۷۵	۵۰۰	۰/۲۵۰
۵	۵۸	۰/۱۷۵	۵۰۰	۰/۲۵۰
۶	۵۸/۷۵	۰/۱۲۵	۵۰۰	۰/۳۷۵
۷	۶۰/۰۰	۰/۰۲۵	۵۰۰	۰/۱۲۵
۸	۴۰/۰۰	۰/۱۵۰	۸۰۰	۰/۳۷۵
۹	۴۲/۲۵	۰/۰۷۵	۸۰۰	۰/۶۲۵
۱۰	۵۸/۰۰	۰/۰۲۵	۶۰۰	۰/۲۵۰
۱۱	۵۸/۷۵	۰/۱۷۵	۶۰۰	۰/۳۷۵
۱۲	۳۹/۲۵	۰/۰۵۰	۹۰۰	۰/۱۲۵
۱۳	۴۴/۲۵	۰/۱۰۰	۸۰۰	۰/۲۵۰
۱۴	۵۹/۲۵	۰/۰۷۵	۶۰۰	۰/۲۵۰

جدول ۲. مقادیر پارامترهای متغیر برای هر آزمون (ادامه)

شماره	قطر داخلی (میلی متر)	نرخ پیشروی (میلی متر بر دور)	سرعت اسپیندل (دور بر دقیقه)	عمق برش (میلی متر)
۱۵	۴۰/۰۰	۰/۰۵۰	۹۰۰	۰/۳۷۵
۱۶	۶۰/۰۰	۰/۱۰۰	۶۰۰	۰/۱۲۵
۱۷	۴۶/۰۰	۰/۰۵۰	۸۰۰	۰/۵۰۰
۱۸	۳۸/۲۵	۰/۰۵۰	۱۰۰۰	۰/۱۲۵
۱۹	۴۳/۷۵	۰/۱۰۰	۹۰۰	۰/۷۵۰
۲۰	۴۰/۰۰	۰/۰۷۵	۱۰۰۰	۰/۳۷۵
۲۱	۴۱/۰۰	۰/۰۷۵	۱۰۰۰	۰/۵۰۰
۲۲	۴۶/۰۰	۰/۰۷۵	۹۰۰	۰/۵۰۰
۲۳	۵۹/۲۵	۰/۰۵۰	۷۰۰	۰/۲۵۰
۲۴	۶۰/۰۰	۰/۲۰۰	۷۰۰	۰/۱۲۵
۲۵	۴۳/۷۵	۰/۱۰۰	۱۰۰۰	۰/۶۲۵
۲۶	۵۰/۰۰	۰/۱۷۵	۸۰۰	۰/۷۵۰
۲۷	۴۱/۰۰	۰/۱۰۰	۱۱۰۰	۰/۵۰۰
۲۸	۵۹/۲۵	۰/۲۰۰	۸۰۰	۰/۲۵۰
۲۹	۶۰/۰۰	۰/۱۲۵	۸۰۰	۰/۱۲۵
۳۰	۴۱/۰۰	۰/۱۰۰	۱۲۰۰	۰/۵۰۰
۳۱	۵۸/۰۰	۰/۱۰۰	۹۰۰	۰/۲۵۰
۳۲	۶۰/۰۰	۰/۱۵۰	۹۰۰	۰/۳۷۵
۳۳	۵۰/۰۰	۰/۲۰۰	۱۱۰۰	۰/۶۲۵
۳۴	۴۰/۰۰	۰/۰۲۵	۱۴۰۰	۰/۳۷۵
۳۵	۴۴/۲۵	۰/۱۵۰	۱۳۰۰	۰/۲۵۰
۳۶	۵۰/۰۰	۰/۰۵۰	۱۴۰۰	۰/۶۲۵
۳۷	۵۹/۲۵	۰/۰۲۵	۱۰۰۰	۰/۲۵۰
۳۸	۵۹/۲۵	۰/۱۲۵	۱۰۰۰	۰/۲۵۰
۳۹	۴۶/۰۰	۰/۰۲۵	۱۳۰۰	۰/۵۰۰
۴۰	۵۰/۰۰	۰/۰۲۵	۱۲۰۰	۰/۶۲۵
۴۱	۶۰/۰۰	۰/۱۵۰	۱۰۰۰	۰/۱۲۵
۴۲	۴۱/۰۰	۰/۰۵۰	۱۵۰۰	۰/۵۰۰
۴۳	۴۳/۷۵	۰/۰۷۵	۱۵۰۰	۰/۷۵۰

جدول ۲. مقادیر پارامترهای متغیر برای هر آزمون (ادامه)

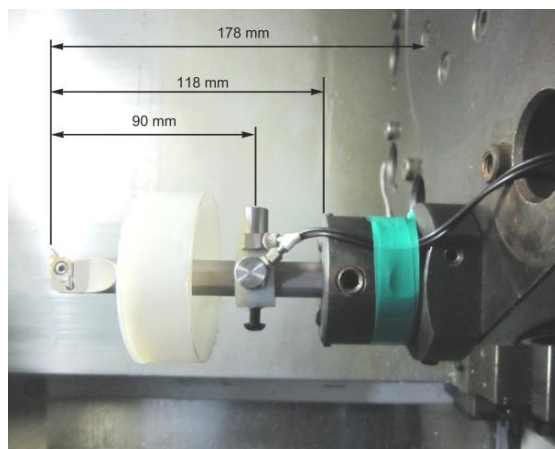
شماره	قطر داخلی (میلی متر)	نرخ پیشروی (میلی متر بر دور)	سرعت اسپیندل (دور بر دقیقه)	عمق برش (میلی متر)
۴۴	۴۵/۰۰	۰/۰۲۵	۱۵۰۰	۰/۳۷۵
۴۵	۵۰/۰۰	۰/۰۵۰	۱۵۰۰	۰/۶۲۵
۴۶	۵۵/۰۰	۰/۰۵۰	۱۴۰۰	۰/۷۵۰
۴۷	۵۵/۷۵	۰/۲۰۰	۱۴۰۰	۰/۱۲۵
۴۸	۵۷/۰۰	۰/۰۲۵	۱۴۰۰	۰/۵۰۰

جدول ۳. مشخصات حسگر شتاب سنج

۱۰/۲	حساسیت محوری (mV/g)
< ۳/۸	حساسیت عرضی نسبی (درصد)
+۱۵ تا ۳۰	ولتاژ تأمین (ولت)
< ۰/۰۰۰۵	سطح صدا 1 Hz-10 k Hz (g)
۲۰ تا ۲	جریان تأمین (میلی آمپر)
۱۱ تا ۸	ولتاژ خروجی اصلی (ولت)
< ۵۰۰	امپدانس خروجی
۵۰۰۰	حداکثر محدوده شوک (g peak)
> ۴۵	فرکانس رزونانس (کیلوهرتز)
-۴۰ تا +۱۲۵	محدوده دما (سانتی گراد)
۸	وزن بدون کابل (گرم)
آلیاژ تیتانیوم	مواد سازنده



شکل ۳. نمایی از ماشین تراش سی. ان. سی.



شکل ۴. قلم آماده‌شده برای انجام آزمون

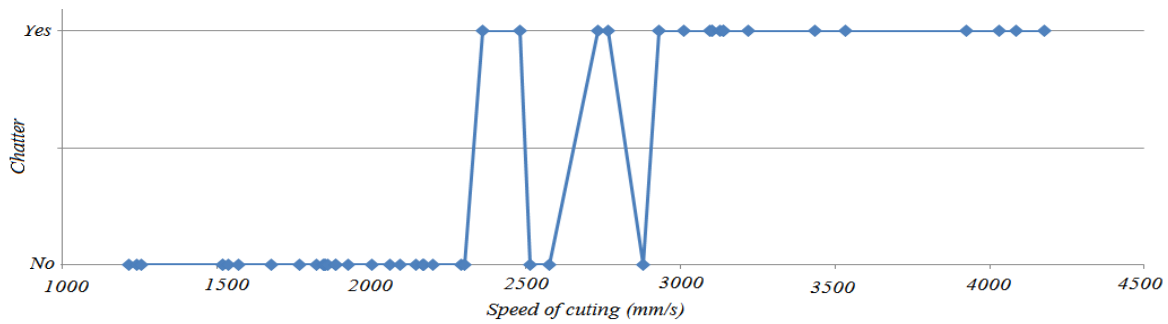
همچنین از قطعه اولیه از جنس آلومینیوم ۷۰۷۵، که خواص مکانیکی مطلوبی دارد و کاربردهای صنعتی زیادی در حوزه صنایع هواپیماسازی و اتومبیل‌سازی دارد، است [۲۰]. برای کاهش اثر ارتعاش قطعه بر نتایج، قطعه‌ای به طول ۸ سانتی‌متر جدا شد که کاملاً در داخل فک‌های سه‌نظام، که از نوع نرم هستند، قرار گیرد. برنامه لازم در نرم‌افزار دستگاه نوشته و پارامترهای متغیر در هر آزمون برای دستگاه تعریف می‌شود. از طرفی حسگرها به ورودی‌های شماره ۲ و ۳ دستگاه پالس متصل شدند و خروجی دستگاه نیز به کامپیوتری که نرم‌افزار تایم دیتا رکورد روی آن نصب بود، متصل شد. در هر پاس چند آزمون با متغیرهای مختلف انجام می‌شود. با شروع هر آزمون دکمه شروع داده‌برداری در نرم‌افزار نیز زده شده و به‌طور خودکار ۴ ثانیه داده‌ها ثبت می‌شود. داده‌های حاصل از نرم‌افزار در یک فایل با پسوند pti که قابل تبدیل به پسوند‌های مختلف مانند wav و mat ذخیره می‌شود.

۳-۴. نتایج حاصل از آزمون‌ها

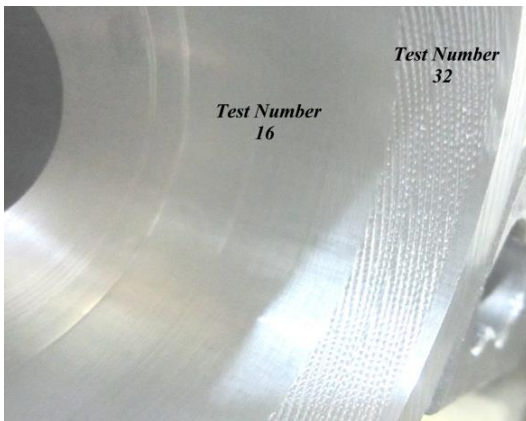
روی نتایج به‌دست‌آمده پردازش‌های زیادی صورت گرفت و مشخص شد که محدوده سرعت برشی که با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید، تأثیر زیادی بر پدیده چتر دارد.

$$V_c = N d \pi \quad (1)$$

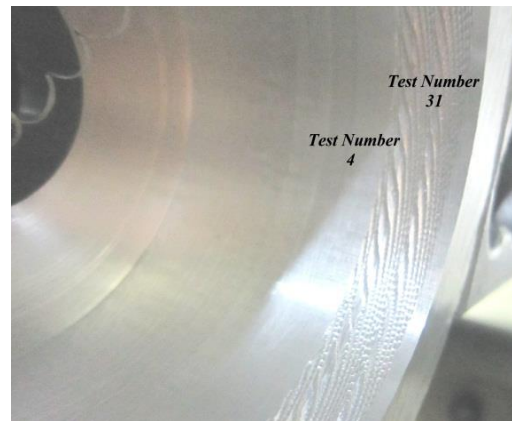
به‌طوری‌که در این رابطه V_c سرعت برشی بر حسب میلی‌متر بر ثانیه، N سرعت دورانی اسپیندل بر حسب دور بر دقیقه و d قطر داخلی بر حسب میلی‌متر است. در شکل ۵ محور افقی، سرعت براده‌برداری و محور عمودی وجود یا عدم وجود پدیده چتر است. این شکل نشان می‌دهد که در سرعت‌های برشی کمتر از ۲۳۶۰ میلی‌متر بر ثانیه پدیده چتر اتفاق نمی‌افتد و در سرعت‌های برشی بزرگتر از ۲۷۸۷ میلی‌متر بر ثانیه همواره پدیده چتر رخ می‌دهد. در محدوده بین این دو سرعت برشی، که حدود ۱۱ درصد از بازه را دربر گرفته است، هر دو حالت به‌وجود می‌آید که وابسته به دیگر پارامترهاست. مشخص است که با پارامترهای ثابت در نظر گرفته شده، این نتیجه به‌دست آمده است. بررسی نتایج بر حسب عمق برش و نرخ پیشروی نشان می‌دهد که در تمامی عمق‌های برش و نرخ پیشروی‌ها هر دو حالت وقوع یا عدم وقوع چتر وجود دارد و نمی‌توان نتیجه خاصی از آن گرفت. همان‌طور که در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است، وقتی چتر رخ نداده است (نمونه‌های ۴، ۱۶ و ۲۶)، سطح حاصل از تراش با کیفیت است و از نظر تراش‌کاری سطحی با ابعاد قابل قبول است و در حالتی که چتر اتفاق می‌افتد (نمونه‌های ۳۱، ۳۲ و ۳۶) سطحی ناصاف و با ابعاد غیرقابل قبول به‌دست می‌آید که اگر در مرحله پرداخت، چتر رخ دهد، قطعه کاملاً خراب می‌شود و قابل استفاده نخواهد بود.



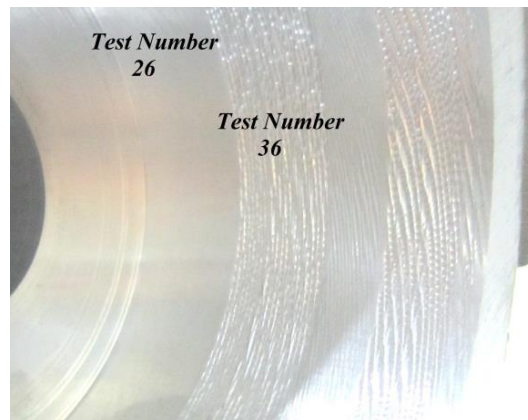
شکل ۵. نمودار وجود یا عدم وجود چتر بر حسب سرعت براده برداری



شکل ۷. تصویر نمونه پس از آزمون‌های شماره ۱۶ که چتر رخ نداده و آزمون شماره ۳۲ که چتر رخ داده است



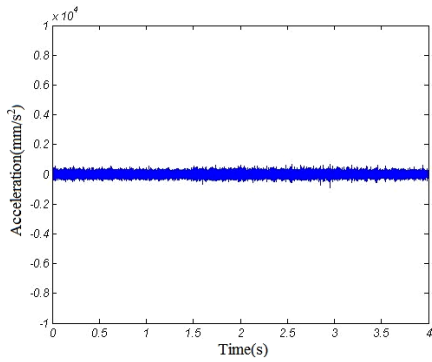
شکل ۶. تصویر نمونه پس از آزمون‌های شماره ۴ که چتر رخ نداده و آزمون شماره ۳۱ که چتر رخ داده است



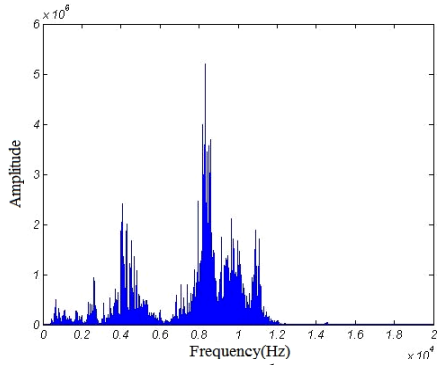
شکل ۸. تصویر نمونه پس از آزمون‌های شماره ۲۶ که چتر رخ نداده و آزمون شماره ۳۶ که چتر رخ داده است

آزمون‌ها کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر بر مجذور ثانیه است و قسمت‌های ب و د نشان می‌دهد که در سیگنال، طیف‌های فرکانسی مختلف، با دامنه‌های متفاوت وجود دارد.

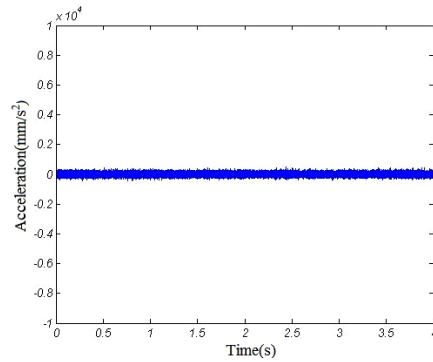
مطابق قسمت‌های الف و ج از شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱، نمودارهای شتاب در حوزه زمان دارای دامنه کوچک‌اند که در طول زمان ثابت باقی می‌ماند و مقدار آن در تمام



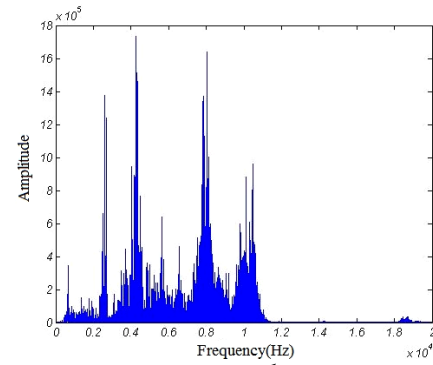
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



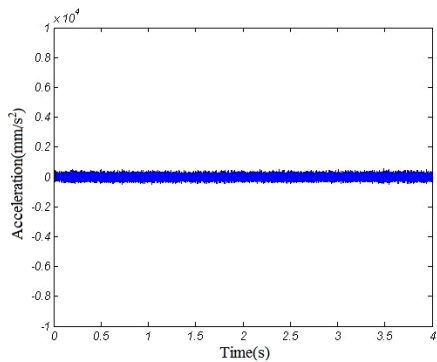
ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



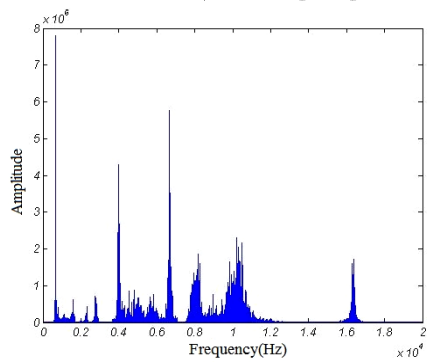
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



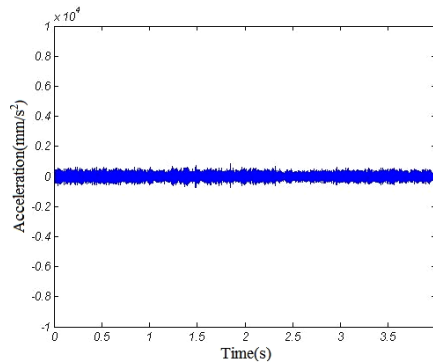
ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



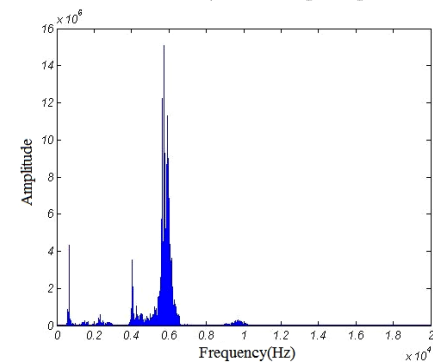
ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس



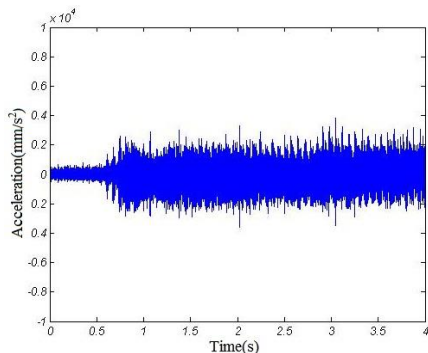
ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



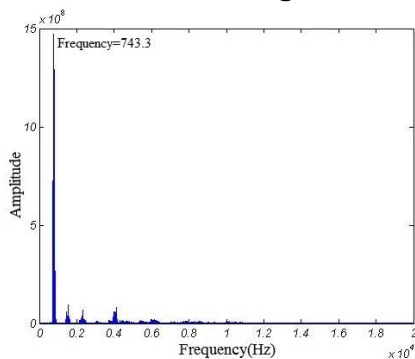
د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس

شکل ۱۰. آزمون شماره ۱۶ با عمق براده‌برداری ۰/۱۲۵ میلی‌متر، سرعت اسپیندل ۶۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۱ میلی‌متر در هر دور و قطر داخلی ۶۰ میلی‌متر، بدون چتر

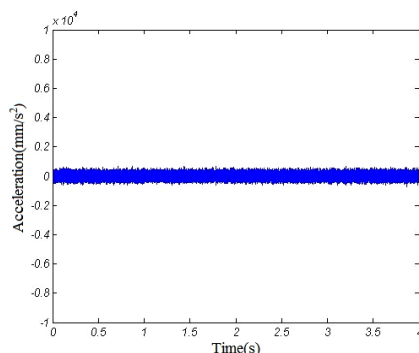
شکل ۹. آزمون شماره ۴ با عمق براده‌برداری ۰/۲۵ میلی‌متر، سرعت اسپیندل ۵۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۰۷۵ میلی‌متر در هر دور و قطر داخلی ۵۸ میلی‌متر، بدون چتر



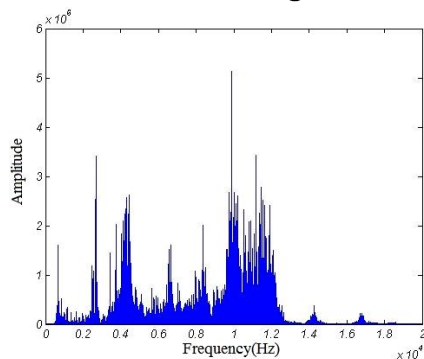
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



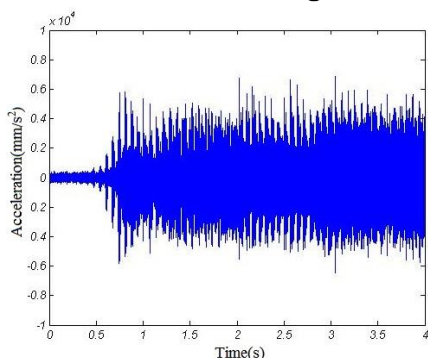
ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



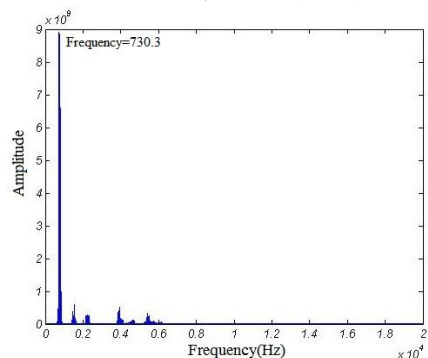
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



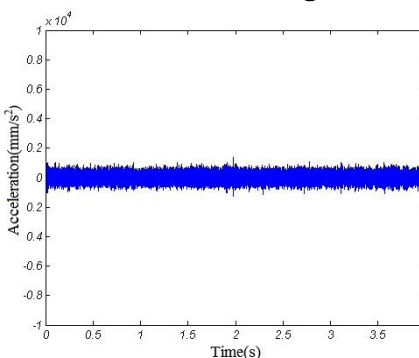
ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



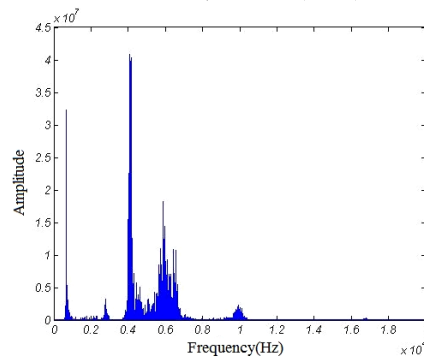
ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس



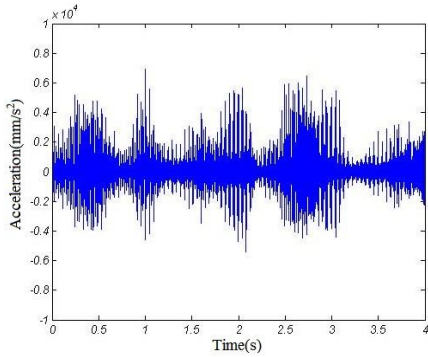
ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



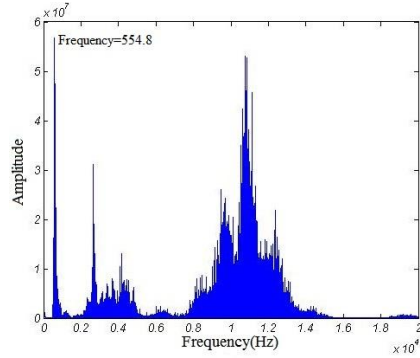
د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس

شکل ۱۲. آزمون شماره ۳۱ با عمق براده برداری ۰/۲۵ میلی متر، سرعت اسپیندل ۹۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۱ میلی متر در هر دور و قطر داخلی ۵۸ میلی متر، چتر رخ داده است

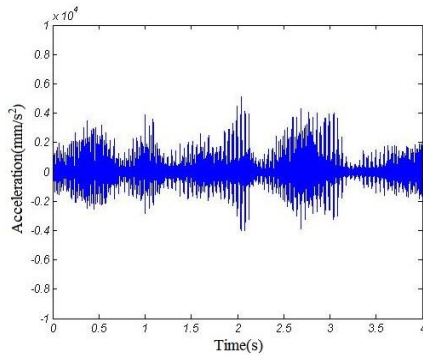
شکل ۱۱. آزمون شماره ۲۶ با عمق براده برداری ۰/۷۵ میلی متر، سرعت اسپیندل ۸۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۱۷۵ میلی متر در هر دور و قطر داخلی ۵۰ میلی متر، بدون چتر



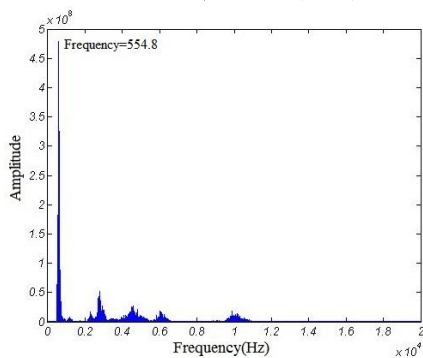
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



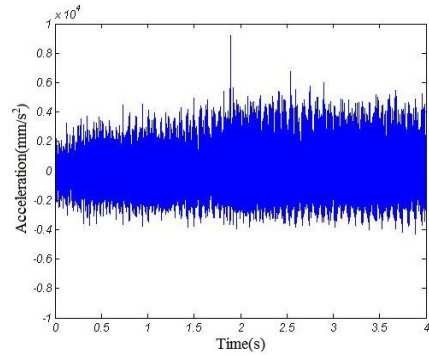
ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



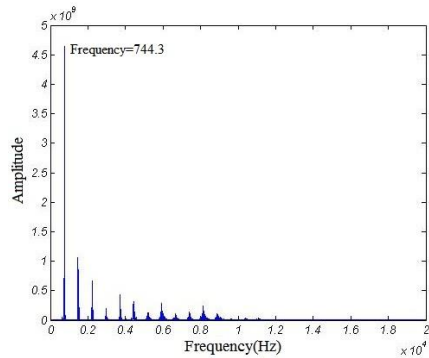
ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



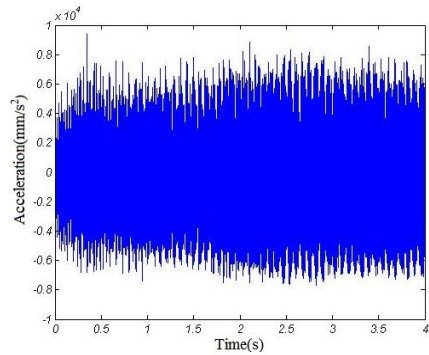
د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس



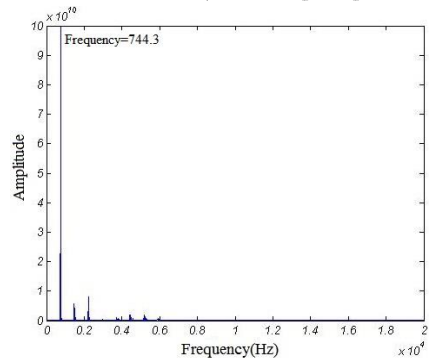
الف) نتایج حسگر اول در حوزه زمان



ب) نتایج حسگر اول در حوزه فرکانس



ج) نتایج حسگر دوم در حوزه زمان



د) نتایج حسگر دوم در حوزه فرکانس

شکل ۱۴. آزمون شماره ۳۶ با عمق براده‌برداری ۰/۵۱۲ میلی‌متر،
 سرعت اسپیندل ۱۴۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۰۵ میلی‌متر
 در هر دور و قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر، چتر رخ داده است

شکل ۱۳. آزمون شماره ۳۲ با عمق براده‌برداری ۰/۳۲۵ میلی‌متر،
 سرعت اسپیندل ۹۰۰ دور بر ثانیه، سرعت پیشروی ۰/۱۵ میلی‌متر در
 هر دور و قطر داخلی ۶۰ میلی‌متر، چتر رخ داده است

$$\omega_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1.8752}{0.1365} \right)^2 \times \sqrt{\frac{2.09 \times 10^{11} \times \pi \times \frac{0.02^2}{64}}{7850 \times \pi \times \frac{0.02^2}{4}}}$$

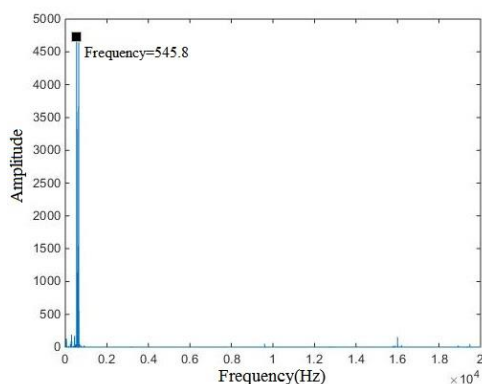
$$\omega_n = 774.92 \text{ Hz}$$

وقتی دستگاه روشن است، ولی تراش انجام نمی‌شود، برای سرعت‌های مختلف اسپیندل، سیگنال‌های شتاب اندازه‌گیری شد که نمودار فرکانسی حسگر اول برخی از آنها در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، یکی از فرکانس‌های طبیعی دستگاه حدود ۵۴۵ هرتز است. قسمت‌های ب و د شکل ۱۴ نشان می‌دهد که در این آزمون، افزایش دامنه در همان فرکانسی است که در شکل ۱۵ نشان داده شده است و بنابراین در این شکل نیز پدیده تشدید اتفاق افتاده است.

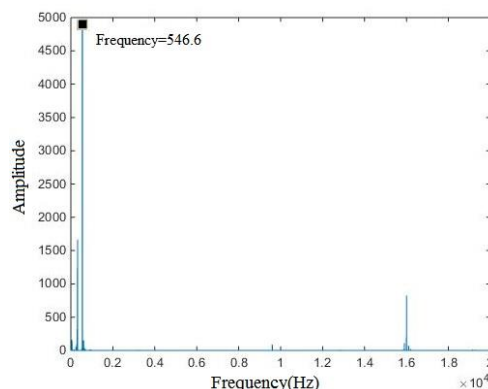
شکل‌های ۱۲ و ۱۳ وقوع چتر را نشان می‌دهند؛ زیرا دامنه در یک فرکانس خاص که تقریباً برابر با فرکانس طبیعی ابزار است، افزایش زیادی داشته است و نشان‌دهنده تشدید و خودتحریک بودن این نوع چتر است و دامنه نتایج حسگرها نیز همین موضوع به‌خوبی دیده می‌شود. با توجه به روابط مرجع [۱۲] فرکانس طبیعی اول ابزار که به‌صورت یک تیر یک‌سرگیردار و یک‌سر آزاد در نظر گرفته شده است، از رابطه ۲ و ۳ به‌دست می‌آید که با توجه به همین مرجع مقدار واقعی آن همواره کمتر از این مقدار است.

$$\beta_n = \frac{1.8752}{L} \quad (2)$$

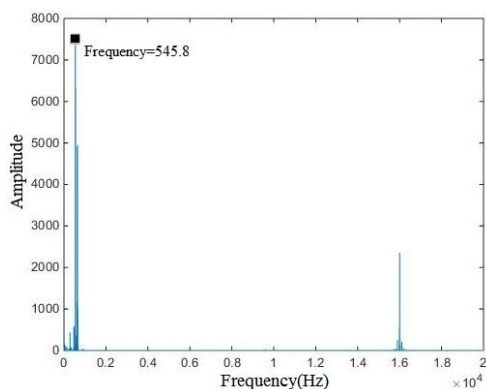
$$\omega_n = \frac{\beta_n^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (3)$$



ب) سرعت دوران اسپیندل برابر ۵۰۰ دور بر دقیقه



الف) سرعت دوران اسپیندل برابر صفر



ج) سرعت دوران اسپیندل برابر ۱۰۰۰ دور بر دقیقه

شکل ۱۵: نتایج FFT مربوط به آزمون‌های مختلف در حالتی که تراش انجام نمی‌شود و فقط موتور دستگاه روشن و اسپیندل با سرعت‌های مختلف در حال چرخش است

۴. جمع‌بندی

حداکثر سرعت برشی مجاز به دیگر پارامترهایی بستگی دارد که در این آزمون ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج حسگرها در دو جهت تقریباً یکسان است که نشان می‌دهد استفاده از یک حسگر و بررسی در یک جهت نیز برای مشخص کردن پدیده چتر کافی است. همچنین وقتی پدیده چتر رخ نمی‌دهد، نتایج حاصل از حسگرهای آزمون در حوزه زمان کاملاً یکنواخت و با دامنه کوچک است.

بر اساس مشاهدات می‌توان بیان نمود که برای تشخیص پدیده چتر در فرایند داخل‌تراشی استفاده از نتایج حسگرهای شتاب در حوزه زمان و فرکانس مناسب‌اند. با توجه به محدوده مشخص شده در مقاله، قبل از انجام تراش، با داشتن قطر داخلی می‌توان سرعت اسپیندل را در محدوده‌های قرار داد که پدیده چتر اتفاق نیافتد. مقدار

۵. مأخذ

- [1] Quintana, G., J. Ciurana. "Chatter in machining processes: A review." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, 2011, pp. 363-376.
- [2] Wang, M., R. Fei. "Chatter suppression based on nonlinear vibration characteristic of electro rheological fluids." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, 1999, pp. 1925-1934.
- [3] Wang, M., R. Fei. "On-line chatter detection and control in boring based on an electro rheological fluid." *Mechatronics*, Vol. 11, 2001, pp. 779-792.
- [4] Ema, S., E. Marui. "Suppression of chatter vibration of boring tools using impact dampers." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, 2000, pp. 1141-1156.
- [5] Edhi, E., T. Hoshi. "Stabilization of high frequency chatter vibration in fine boring by friction damper." *Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology*, Vol. 25, 2001, pp. 224-234.
- [6] Mei, C. "Active regenerative chatter suppression during boring manufacturing process." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 21, 2005, pp. 153-158.
- [7] Moradi, H., F. Bakhtiari-Nejad, M. R. Movahhedy. "Tuneable vibration absorber design to suppress vibrations: An application in boring manufacturing process." *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 318, 2008, pp. 93-108.
- [8] Sathianarayanan, D., L. Karunamoorthy, J. Srinivasan, G. S. Kandasami, K. Palanikumar. "Chatter suppression in boring operation using magnetorheological fluid damper." *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 23, 2008, pp.329-335.
- [9] Miguelez, M. H., L. Rubio, J. A. Loya, J. Fernandez-Sáez. "Improvement of chatter stability in boring operations with passive vibration absorbers." *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 52, 2010, pp. 1376-1384.
- [10] L. Rubio, J. A. Loya, M. H. Miguélez, J. Fernández-Sáez. "Optimization of passive vibration absorbers to reduce chatter in boring." *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 41, 2013, pp. 691-704.
- [11] Yussefian, N. Z., B. Moetakef-Imani, H. El-Mounayri. "The prediction of cutting force for boring process." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48, 2008, pp. 1387-1394.

- [12] Moetakef-Imani, B., N. Z. Yussefian. "Dynamic simulation of boring process." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 49, 2009, pp. 1096-1103.
- [13] Sortino, M., G. Totis, F. Prospero. "Development of a practical model for selection of stable tooling system configurations in internal turning." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 61, 2012, pp. 58-70.
- [14] Sortino, M., G. Totis, F. Prospero. "Modeling the dynamic properties of conventional and high-damping boring bars." *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 34, 2013, pp. 340-352.
- [15] Totis, G., M. Sortino. "Robust analysis of stability in internal turning." *Procedia Engineering*, Vol. 69, 2014, pp. 1306-1315.
- [16] Atabey, F., I. Lazoglu, Y. Altintas. "Mechanics of boring processes-Part I." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, 2003, pp. 463-476.
- [17] Atabey, F., I. Lazoglu, Y. Altintas. "Mechanics of boring processes-Part II-multi-insert boring heads." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, 2003, pp. 477-484.
- [18] Lazoglu, I., F. Atabey, Y. Altintas. "Dynamics of boring processes: Part III-time domain modeling." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, 2002, pp. 1567-1576.
- [19] Siddhpura, M., R. Paurobally. "A review of chatter vibration research in turning." *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 61, 2012, pp. 27-47.
- [20] Shaeri, M. H., M. T. Salehi, S. H. Seyyedein, M. R. Abutalebi, J. K. Park. "Microstructure and mechanical properties of Al-7075 alloy processed by equal channel angular pressing combined with aging treatment." *Materials and Design*, Vol.57, 2014, pp. 250-257.

پی نوشت

-
1. ER
 2. MR
 3. FFT
 4. AP tech
 5. Time Data Recorder
 6. PULSE
 7. B&K
 8. LAN
 9. CNC
 10. TCN-10