بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

شبیه سازی ارتعاشات چتر در فرایند سوراخ‌کاری

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک

مجتبی درویشی

اساتید راهنما

دکتر جواد زرکوب **دکتر حسن نحوی**

۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این

پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی

اصفهان است.

فهرست مطالب

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ پدیده ارتعاش در سوراخ‌کاری..... ۶

۱-۳ معرفی چتر..... ۹

۱-۳-۱مقدمه..... ۹

۱-۳-۲ تاریخچه تحقیقات..... ۱۰

۱-۳-۳ انواع چتر..... ۱۰

۱-۳-۴ روشهای تشخیص چتر..... ۱۱

۱-۳-۵ مضرات چتر..... ۱۱

۱-۳-۶ روشهای کاهش چتر..... ۱۲

فصل دوم: هندسه مته

۲-۱ نوک اسکنه..... ۱۵

۲-۲ زاویه راس مته..... ۱۶

۲-۳ زاویه مارپیچ مته..... ۱۷

۲-۴ زاویه براده..... ۱۸

۲-۴-۱ تغییرات زاویه براده براساس روش آلتینتاس..... ۱۸

۲-۴-۲ تغییرات زاویه براده بر اساس مدل رینکون..... ۲۲

فصل سوم: نحوه اندازه‌گیری نیرو و گشتاور

۳-۱ دینامومتر..... ۲۹

۳- ۲ آمپلی فایر..... ۳۱

۳-۳ کارت دریافت داده ها..... ۳۳

۳-۴ فیکسچر اندازه گیری گشتاور..... ۳۴

فصل چهارم: مدل نیرویی

۴ -۱ مدل نیرویی آرواژ و اسماعیل..... ۳۹

۴-۲ مدل نیرویی روکما و آلتینتاس..... ۴۱

۴-۳ مدل نیروی چاندراسخاران و هاماده..... ۴۳

۴-۴ اصلاح مدل نیرویی هاماده..... ۴۳

۴-۵ تستهای سوراخکاری جهت تعیین ضرایب معادلات نیرو..... ۴۴

فصل پنجم: شبیه سازی ارتعاشات چتر

۵-۱ مدل ارتعاشی آلتینتاس برای ارتعاشات مته..... ۶۲

۵-۲ مدل ارتعاشی بایلی برای شبیه سازی ارتعاشات محوری و پیچشی مته..... ۶۴

۵-۳ شبیه سازی ارتعاشات محوری و پیچشی..... ۶۶

۵-۴ نتایج..... ۶۸

۵-۴-۱ رسم منحنیهای پایداری..... ۶۸

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری..... ۷۶

۶-۲ پیشنهادات..... ۷۷

مراجع..... ۷۸

چکیده

فرآیندهای ماشین‌کاری، در تولید انبوه با مقدار براده‌برداری زیاد و در ایجاد سطوح با کیفیت بالا در سرعت‌های زیاد با مشکلی بزرگ به نام چتر روبرو هستند. کاهش عمر دستگاه ماشین‌ابزار و کاهش ایمنی کار از دیگر مشکلات ناشی از این پدیده است. چتر یک نوع ارتعاش خودتحریک ناپایدار است که در اثر عوامل متعددی ممکن است رخ دهد. امروزه مهمترین عامل به وجود آورنده ارتعاشات چتر ایجاد موج احیا شونده روی سطح قطعه است که علت آن تقابل مشخصه‌های پاسخ فرکانسی سیستم با شرایط ماشین‌کاری معرفی شده است. با مطالعه‌ی تئوری چتر در فرآیند سوراخ‌کاری و تحلیل پارامترهای موثر در پایداری سیستم، همچنین مدل‌سازی این ارتعاشات و کنار هم قرار دادن سیستم ساده شده‌ی آنها، می‌توان مدلی جهت کنترل ارتعاشات چتر در عملیات‌های سوراخ‌کاری پیشنهاد نمود. یکی از معتبرترین روش‌ها و معیارهای ارزیابی چتر استفاده از نمودارهای پایداری است که مرز شرایط ماشین‌کاری پایدار و ناپایدار را نمایان می‌سازد. در پایان نامه پیش رو، قصد بر این است که با بهره‌گیری از نرم‌افزار مطلب ارتعاشات چتر در فرآیند سوراخ کاری شبیه‌سازی شده و با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته، نمودارهای پایداری رسم شوند. جهت تعیین محدوده‌های پایداری و شرایطی که در آن ارتعاش ابزار پایدار است روش‌های متعددی وجود دارد، که یکی از این روش‌ها شبیه‌سازی ارتعاشات در بازه زمان است. برای شبیه‌سازی در بازه زمان، برآورد نیروهای برشی در سوراخ‌کاری اهمیت بسیاری دارد و هر چه مدل نیرویی دقیق‌تر باشد، دقت شبیه‌سازی بیشتر می‌شود. در این راستا مدل نیرویی ارائه گردید که در مقایسه با سایر مدل‌های نیرویی ارائه شده دارای محدوده کاربرد بیشتری است. عامل مهم دیگر در شبیه‌سازی ارتعاش ابزار، مدل ارتعاشی است. در فرآیند سوراخ‌کاری، تعیین مدل ارتعاشی به دقت بالایی نیاز دارد، چون در این فرآیند درگیری بین ابزار و قطعه کار بسیار زیاد بوده و برای جنس و شرایط مختلف مته و قطعه کار، مدل ارتعاشی تغییر می‌کند. در این پایان‌نامه از مدل ارتعاشی بایلی استفاده شده است که در این مدل تغییر شکل‌های محوری و پیچشی با توجه به فرم هندسی مته به صورت کوپل در نظر گرفته شده اند.

کلمات کلیدی: فرآیند سوراخ‌کاری، ارتعاشات چتر، نمودارهای پایداری، شبیه‌سازی در بازه زمان، مدل نیرویی

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

عملیات ماشین کاری یکی از مهمترین روش‌های مورد استفاده در ساخت قطعات و ایجاد شکل نهایی قطعه محسوب می‌شود. در این روش تولیدی، با استفاده از شیوه‌های مختلف براده‌برداری مثل تراشکاری، فرزکاری،سوراخ‌کاری، سنگ زنی و غیره، همچنین از ماشین‌های کنترل عددی به کمک کامپیوتر مواد اضافی از قطعه خام برداشته شده و شکل نهایی در قطعه ایجاد می‌گردد. سوراخ کاری یکی ازمتداول ترین عملیات ماشین کاری سنتی است. فرآیند سوراخ کاری یک فرآیند برشی است که همه روشهای ایجاد سوراخ در قطعه کار را شامل شده و پیش نیاز عملیات-هایی مانند برقو کاری ، قلاویز زنی وغیره می‌باشد. در گذشته فرآیند سوراخ کاری بوسیله دستگاههای عمودی سنتی مانند دریل رادیال انجام می شده اما امروزه توسط دستگاههای فرز و تراش NC وCNC بطور گسترده انجام می شود.

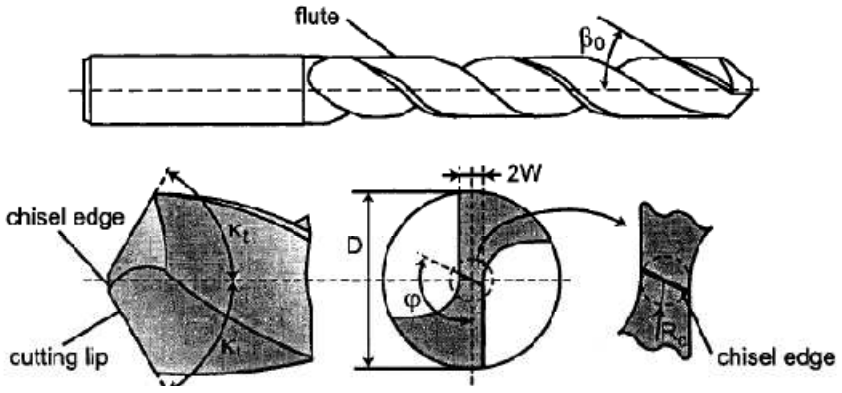
سوراخ کاری را در بسیاری از موارد می توان با تراشکاری و فرزکاری مقایسه کرد. اما در فرآیند سوراخ کاری اهمیت شکل دهی براده و تخلیه آن بیشتر است، بخصوص در سوراخ کاری عمیق اهمیت کنترل فرآیند و تخلیه براده بسیار بیشتر می شود. از نقطه نظر فلزتراشی، سوراخ کاری یک عملیات خیلی سخت است که بار تراشه بزرگ بوده و تراشه‌ها ممکن است به دلیل مشکلات گوناگون در منطقه تراش باقی بمانند و باعث پایین آمدن کیفیت سوراخ شوند.

مهمترین مسئله درعملیات‌های سوراخ کاری کیفیت شکل سوراخ‌ها است و دلیل اصلی بوجود آمدن سوراخ‌های با کیفیت پایین شکستن ابزار در طی عملیات سوراخ کاری است. یکی از مهمترین پدیده هایی که بر این مسئله تاثیر نامطلوب دارد پدیده چتر است و لذا شناخت این پدیده در صنعت سوراخ کاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

سوراخ کاری بطور کلی به دو بخش سوراخ کاری کوتاه (کم عمق) و عمیق تقسیم بندی می شود. سوراخ کاری با عمق کم به سوراخ گفته می شود که عمق سوراخ کاری برای مته هایی با قطر کمتر از ۳۰ میلیمتر $5\text{-}6\times D$ (D : قطر مته) و برای قطرهای مته بالاتر از ۳۰ میلیمتر عمق سوراخ کاری کمتر از $2.5\times D$ باشد، چنانچه عمق سوراخ کاری بیشتر از این مقادیر باشد سوراخ کاری را عمیق گویند. در سوراخ کاری عمیق کیفیت اهمیت بیشتری پیدا می کند در حالی که در سوراخ کاری با عمق کم، بالاترین نرخ براده برداری دارای اهمیت است، بنابراین تفاوت این دو نوع فرآیند سوراخ کاری فقط محدود به نسبت بین عمق سوراخ کاری و قطر مته نیست بلکه پارامترهایی که این دو نوع را از هم متمایز می کنند تخلیه براده ، کیفیت و نرخ براده برداری هستند[1]. در این تحقیق سوراخ کاری های انجام شده از نوع سوراخ کاری با عمق کم می باشد.

فرآیند سوراخ کاری ترکیبی از دو حرکت است: حرکت اصلی دورانی و حرکت خطی پیشروی، در سوراخ کاری سوراخ هایی با عمق کم و با استفاده از ماشین های سنتی معمولا ابزار هر دو حرکت دورانی و پیشروی را بر عهده دارد. در حالی که در ماشین کاری با دستگاههای کنترل عددی در سوراخ کاری با عمق کم، سوراخ کاری می تواند ترکیبی از حرکت دروانی قطعه کار و حرکت خطی ابزار باشد، یا اینکه قطعه کار حرکت خطی را نیز داشته باشد و ابزار کاملا ثابت باشد. تفاوت بین چرخش مته و یا قطعه کار، در دقت سوراخ کاری است ، دقت سوراخ کاری در حالتی که ابزار می چرخد (قطعه کار حرکت دورانی ندارد) بیشتر می‌باشد[1].

همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است در نوک مته مارپیچ، لبه اسکنه وجود دارد که دارای دو لبه برش با زاویه راس $2k_t$ است و شیارهای مارپیچ با زاویه β به آنها می‌رسد. شیارهای مارپیچ نقش برشی ندارند و وظیفه آنها خارج کردن براده از داخل سوراخ ایجاد شده در فرآیند سوراخ کاری است.



شکل۱-۱: خصوصیات هندسی مته مارپیچ[1]

لبه های برش یک انحراف از مرکز مته دارند که ناشی از عرض نوک اسکنه می باشد. فرآیند برش در سوراخ کاری به دو ناحیه تقسیم می‌شود، یک ناحیه مربوط به نوک اسکنه و ناحیه دیگر مربوط به لبه های برش است. نوک اسکنه عمل برش را انجام نمی دهد بلکه با استفاده از مکانیزم نفوذ مواد را به اطراف هدایت می کند، بنابراین برای تعیین نیروهای ناحیه نوک اسکنه بجای استفاده از قوانین برش باید از مکانیزم نفوذ استفاده کرد . اما باید توجه داشت که هندسه لبه برنده بسیار پیچیده است بطوریکه در طول لبه برنده پارامترهای هندسی و برشی تغییرات زیادی دارند[2].

برای تعریف سرعت برشی (V: m/min) ابزار مته، از شعاع خارجی مته برای محاسبه و بیان سرعت برشی استفاده می کنیم و به صورت زیر تعریف می شود:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \qquad (۱-۱)$$

که در این رابطه D قطر خارجی مته بر حسب میلیمتر و n دور اسپیندل برحسب دور بر دقیقه (rpm) است. با توجه به اینکه تعداد لبه های مته در (N=2) می باشد، سطح مقطع براده استاتیکی به فرم زیر بیان می شود :

$$A = b \times (f \times \cos(kt)/2) \qquad (۲-۱)$$

در این رابطه b عرض برش شعاعی است که عبارتست از قطر سوراخ منهای قطر پیش مته وf پیشروی بازاء دور(mm/rev) می باشد . بنابراین نرخ حجم براده استاتیکی به فرم زیر تعریف می شود[1].

$$V_{\mathrm{r}} = \mathrm{A} \times \mathrm{V} \qquad (۳-۱)$$

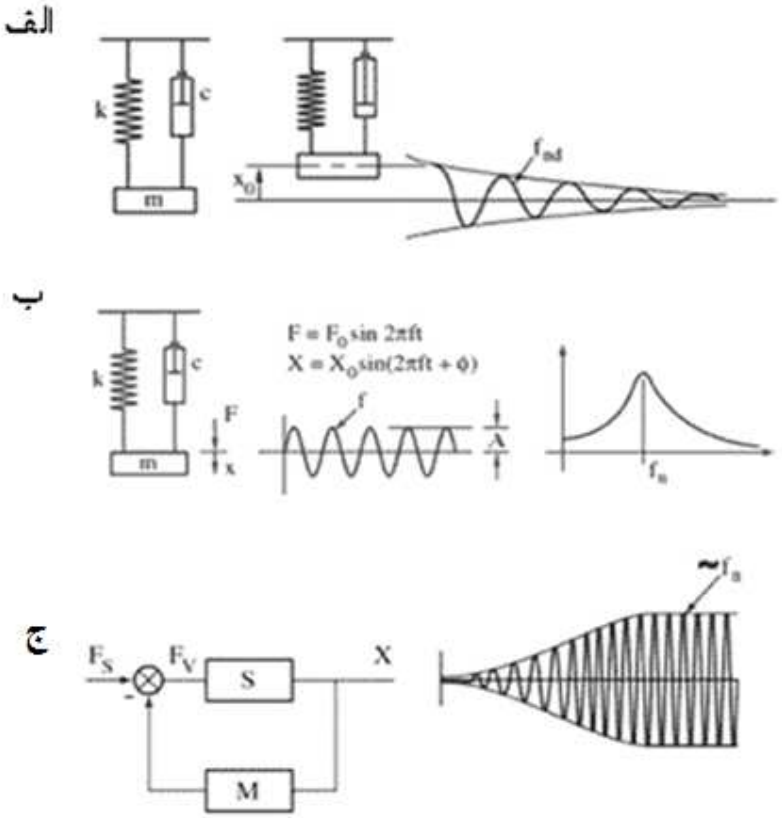
کمتر قطعه صنعتی را می توان یافت که درآن از عملیات سوراخ کاری استفاده نشده باشد. از طرفی، فرآیند سوراخ کاری در فرآیند تولید یک گلوگاه محسوب می شود. بعنوان مثال اگر بخواهیم در قطعه ای سوراخی به قطر ۲۰ میلیمتر ایجاد کنیم، برای جلوگیری از انحراف مته، باید در مراحل متوالی در ابتدا مته مرغک زده، سپس مته به قطر ۸ میلیمتر ودر ادامه مته به قطر۱۵ میلیمتر و در نهایت مته به قطر ۲۰ میلیمتر زده شود. بنابراین در این قطعه برای ماشین کاری یک سوراخ نیاز به چهار تعویض ابزار داریم. اگر از ماشینهای سنتی استفاده شود نیاز به چهار دستگاه داریم و در صورت استفاده از ماشینهای کنترل عددی برای ماشین کاری این سوراخ نیاز به چهار تعویض ابزار داریم که به زمان ماشین کاری اضافه می شود. بنابراین علاوه براینکه باید زمان ماشین کاری را کاهش دهیم باید تعداد ابزارها در عملیات سوراخ کاری و درنتیجه تعداد تعویض ابزار را نیز کاهش دهیم.

برای کاهش زمان ماشین کاری باید پیشروی به ازای دور و سرعت اسپیندل را افزایش دهیم و برای کاهش تعداد ابزار مورد نیاز برای سوراخ کاری باید با افزایش عرض برش (تفاضل بین قطر پیش مته وقطر سوراخ کاری) تعداد مته های مورد نیاز برای سوراخ کاری کاهش یابد.

برای افزایش پیشروی به ازای دور و سرعت اسپیندل و عرض برش دو عامل محدود کننده وجود دارد:

- افزایش دما
- ناپایداری در ارتعاشات

در فرآیند برش بخصوص در عملیات سوراخ کاری که فضای برش محدود و بسته است (مخصوصاً در عمق های زیاد) با افزایش پیشروی به ازای دور وسرعت اسپیندل وعرض برش افزایش دما اجتناب ناپذیر است و می توان به کمک سیال خنک کننده آنرا کنترل کرد. اما عامل دوم عامل مهمتری است چون علاوه بر تاثیر برمحدوده ماشین کاری، بر شکل و تلرانس سوراخ در عملیات سوراخ کاری تاثیر می‌گذارد. بعنوان مثال، در سوراخی که در مرحله بعداز سوراخ کاری قلاویز زده می شود ویا سوراخی که محل قرار گیری پین خواهد شد، این سوراخ‌ها دارای تلرانس‌های بسته‌ای هستند که در سوراخ کاری باید به آن توجه کرد. ارتعاش در ابزار از نوع ارتعاش خود برانگیخته است که در حالت ناپایداری ارتعاش، اصطلاح چتر[1] برای آن بکارمی رود. در شکل۱-۲ تفاوت این نوع ارتعاش با ارتعاش آزاد واجباری نشان داده شده است.



شکل۱- ۲: الف: ارتعاش آزاد، ب: ارتعاش اجباری، ج: ارتعاش خود برانگیخته[3]

[1] . Chatter

۱-۲ پدیده ارتعاش در سوراخ‌کاری

از جمله مشکلاتی که در استفاده بهینه از ماشین و ابزار سوراخ‌کاری دامنگیر مصرف کنندگان آن است، ارتعاش ابزار می باشد که باعث محدودیت در رسیدن به قابلیت تولید بالا و دقت ابعادی و نیز افزایش هزینه‌ها می‌شود. اصولا نرخ براده برداری در عملیات ماشین کاری به وسیله یکی از ۳ عامل زیر محدود می‌شود[4] :

۱) محدودیت قدرت یا گشتاور موتور ها در ماشین.
۲) شکست ابزار بر اثر خوردگی یا شکست.
۳) ارتعاش

برای قطعاتی که نیاز به ابزار بلند و باریک دارند بازدهی فرآیند تقریبا همیشه به وسیله ارتعاش(ارتعاش خود تحریک) محدود می شود. افزودن یک میراکننده به ابزار، بالقوه می تواند باعث شود که سیستم در مقابل ارتعاش پایستار بوده و سبب افزیش نرخ تولید شود.

نوع خاصی از لرزش ابزار به خصوص در سوراخ هایی که نسبت قطر به ارتفاع از ۱ به ۵ بیشتر است (سوراخ‌کاری عمیق) از اهمیت بیشتری برخوردار است و ارتعاش نامیده می شود. اهمیت این نوع لرزش به حدی غالب است که گاهی هر نوع لرزش ابزاری به همین نام یعنی ارتعاش خوانده می شود. اما لرزش در فرآیند براده برداری بر اثر دو عامل نیرو و ارتعاش خود تحریک پدید می‌آید.[5]

ارتعاش نیرویی به دلیل عدم توازن قطعات چرخشی به وجود می آید، مانند عدم توازن موتور محرک یا ضربه های یک ابزار چند دندانه. در عمل، ارتعاش نیرو را می توان با مقایسه فرکانس ارتعاش با فرکانس ممکن توابع نیرو، ردیابی کرد. سپس، عملیات لازم می تواند انجام شود تا این نوع ارتعاش حذف شود یا کاهش یابد.

ارتعاش خود تحریک، شامل ۲ قسمت است، نوع به اصطلاح اولیه (غیرخود تحریک) و نوع خود تحریک.

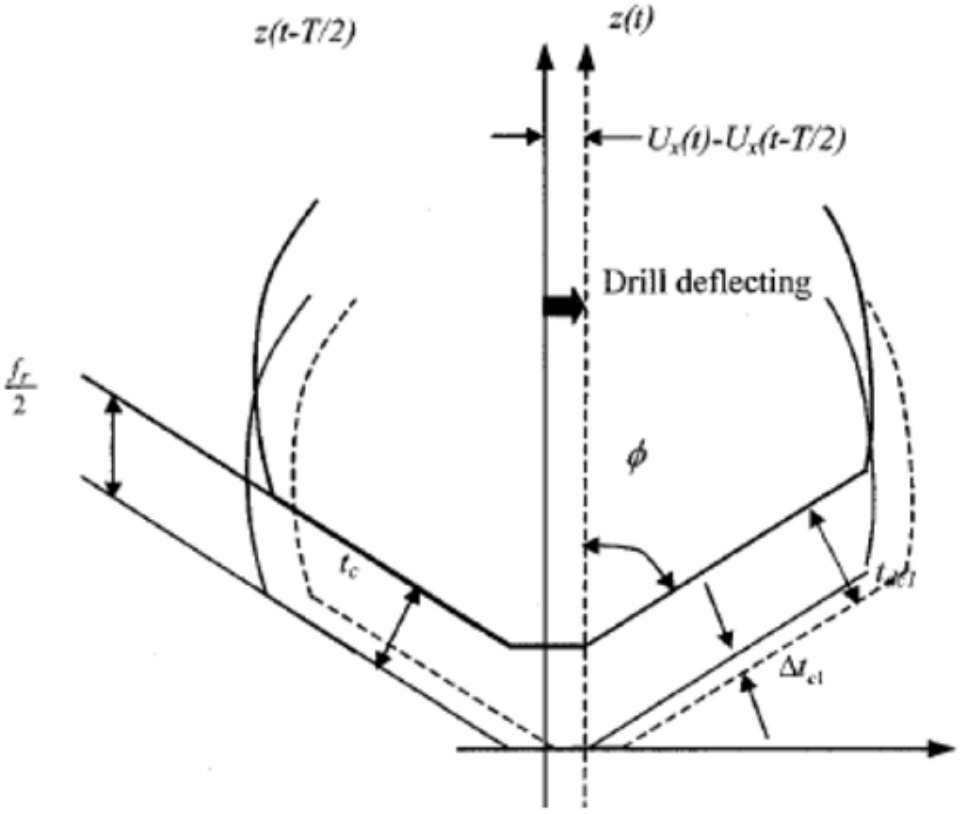
ابتدا نوع اولیه رخ می دهد که تداخلی بین حرکت ارتعاشی سیستم و موج تولید شده از سطح در حرکت دورانی، نیست. در حالی که ارتعاش خود تحریک هنگامی رخ می دهد که بین نیروی برشی و موج تولید شده از سطح که به وسیله پاس قبلی ابزار به وجود آمده، تداخل باشد. ارتعاش نوع خود تحریک مهمترین نوع ارتعاش در اکثر فرآیندهای ماشین کاری است. به عبارتی در عمل، در بیشتر عملیات سوراخ‌کاری، براده برداری در یک پاس خاص در محلی انجام می شود که قبلا براده برداری شده است. با توجه به ناپایدار بودن فرآیند، تموج در سطح براده برداری شده ایجاد می شود .هنگامی که این سطوح تموج یافته به ترتیب براده برداری می شوند سبب ایجاد براده با ضخامت متغیر می شوند، که دوباره سبب ایجاد تحریک دینامیکی ماشین ابزار می شود.

در کل می توان نتیجه گرفت که ارتعاشاتی که هنگام ماشین‌کاری بروز می‌کنند دو نوع‌اند: تحریک شده و خود تحریک.

عموما هر دو با نام ارتعاش خوانده می شوند. در این پایان نامه ما بر روی ارتعاشات خود تحریک تمرکز می کنیم که به علت ناپایداری خود فرآیند برش و به طور خاص حالتی که به علت بازتولید اعوجاج سطح که هنگام براده برداری ابزار در پاس پیشین به وجود می آید. این حالت ارتعاش خود تحریک نامیده می شود.

به جهت این اهمیت وافر، تلاش های فراوانی برای شناسایی و کنترل این پدیده انجام شده است. مدل‌های ریاضی مختلف و متنوعی برای بررسی ای پدیده توسعه داده شده و از راههای مختلفی برای تحلیل آن اعم از روش های عددی و تحلیلی و روشهایی جدید، چون شبکه عصبی اشاره کرد و روشهای مختلفی برای جلوگیری یا از بین بردن پدیده ابداع یا به کار گرفته شده است.

در فرآیند سوراخ‌کاری پویا، نیروهای شعاعی برش در یک لبه با نیروهای به وجود آمده در لبه دیگر از بین نمی روند و در نتیجه، سبب تحریک ارتعاش مته می شوند. هنگامی که ارتعاش شروع می شود و سبب انحراف مته می شود، همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، ضخامت براده جدا شده دیگر به اندازه ضخامت براده استاتیک نیست. زمانیکه مته به سمت راست منحرف می‌شود، ضخامت براده تغییر شکل نیافته در سمت راست کاهش و در سمت چپ افزایش می‌یابد.

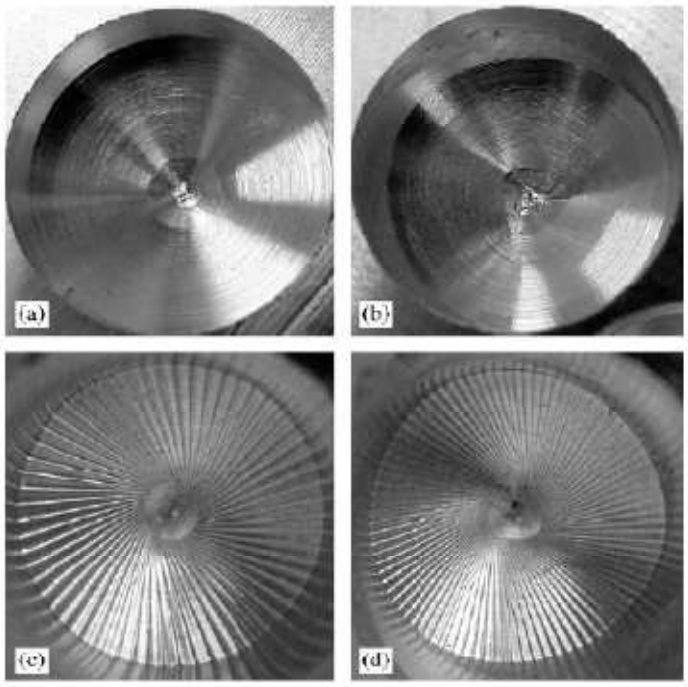


شکل۱-۳: انحراف مته سبب ایجاد ضخامت متغیر براده می شود[4]

برای سوراخ‌کاری عمیق در مته‌ها، به دلیل پایین بودن قابل توجه سختی خمشی و خواص میرایی نسبت به ابزارهای برشی دیگر، امکان ارتعاش دستگاه زیاد است.

ارتعاش نه تنها باعث کاهش عمر ابزار و دقت قطعه کار می‌شود بلکه از کارایی و سرعت عملیات نیز می کاهد.

همانطور که گفته شد لرزش دستگاه می‌تواند سبب ایجاد خطا در شکل و اندازه سوراخ شود که مطلوب نیست، شکل ۱-۴ چهار نوع مختلف سوراخ را نشان می دهد که به وسیله یک نوع مته ایجاد شده است. شکل ۱-۴ a کاملا دایروی است و سطح صاف بدون اعوجاجی دارد. در شکل۱-۴ b در انتهای سوراخ یک چند وجهی دارای سه ضلع، با یک سطح صاف را نشان می دهد، که با لرزش جانبی ایجاد شده است. شکل ۱-۴ c یک الگوی خورشیدی را که بر اثر یک برش ناپایدار (ارتعاش) به وجود آمده، نشان می‌دهد.این سوراخ همانند شکل ۱-۴ a دایروی است. شکل ۱-۴ d یک سوراخ سه وجهی با الگوی خورشیدی در انتها را نشان می دهد، که اثر یک مته تحت ارتعاش و لرزش جانبی بوده است. این عکس‌ها نشان می‌دهند که لرزش جانبی و ارتعاش م توانند مستقل از هم یا همزمان اتفاق بیفتند. تقاضا برای افزایش قابلیت تولید، سازگاری و سوراخ‌کاری با کیفیت بالا، تحقیقات سوراخ‌کاری را برانگیخته است. درک اینکه چه مکانیزم هایی باعث ارتعاش و جلوگیری از آن در سوراخ‌کاری می‌شود، سبب بهبودی در سرعت و دقت عملیات سوراخ‌کاری می شود. تخمین دقیق سیستم نیروهای برشی، خواص دینامیکی ابزار و مکانیسم تولید براده، کلیدی برای تحلیل فرآیند سوراخ‌کاری است.

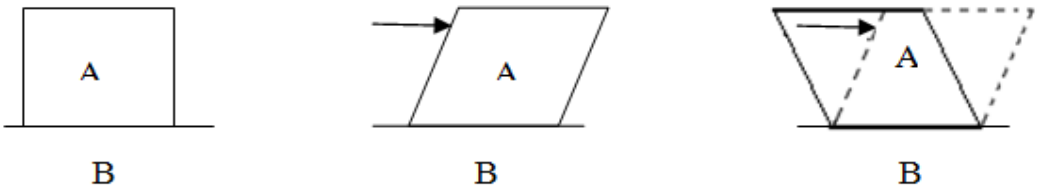


شکل۱-۴: انواع سوراخ ایجاد شده به وسیله یک نوع مته[5]

۱-۳ معرفی چتر

۱-۳-۱مقدمه

قبل از پرداختن به بحث مدل سازی و کنترل ارتعاش چتر در عملیات ماشین‌کاری، لازم است مفهوم چتر و نحوه بوجود آمدن آن به درستی مشخص شود. لغت چتر به معنای صحبت کردن تند و پیوسته یا به هم خوردن سریع دندان‌ها است، در فیزیک مکانیک به نوعی از ارتعاش که در اثر اصطکاک خشک بین دو سطح ایجاد می‌گردد چتر گفته می‌شود. ارتعاش ایجاد شده در اثر این پدیده معمولاً شدید بوده و دامنه نوسانات بزرگی دارد. مکانیزم وقوع این نوع ارتعاش در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل۱-۵ : ارتعاش بر اثر وجود اصطکاک خشک بین دو جسم

همانطور که در شکل مشخص است، با وارد آمدن نیرو به جسم انعطاف‌پذیر A، جسم دچار تغییر شکل الاستیک می‌شود، ولی به علت اصطکاک خشک بین دو جسم حرکت نمی‌کند. با زیاد شدن نیروی وارد به جسم و نزدیک شدن نیروی اصطکاک به آستانه لغزش، سطح تماس دو جسم از هم جدا شده و انرژی الاستیک ذخیره شده در جسم A آزاد می‌شود. در این حالت جسم A شروع به نوسان می‌کند، در این صورت اگر نیروی اعمال شده F و جابجایی جسم A ادامه داشته باشد، این لرزش‌ها نیز ادامه خواهد داشت.

با توجه به نیاز صنعت پیشرفته امروز، تولید قطعات با دقت بسیار بالا مورد انتظار است. یکی از دلایل اصلی که باعث عدم تولید مناسب و دقت بالا در ماشین‌های ابزار می‌شود، پدیده چتر و ارتعاشات ناخواسته است. چتر در واقع حاصل اشتراک ارتعاش ناشی از حرکت دینامیکی ماشین ابزار و ارتعاش ناشی از عملیات ماشین‌کاری است. مهم‌ترین مسئله در بوجود آمدن چتر، انتخاب پارامترهای نامناسب ماشین‌کاری و به خصوص عمق باردهی زیاد است. با این حال در بعضی از فرآیندها، با اینکه پارامترهای ماشین‌کاری به طور مناسب و صحیح انتخاب می‌شوند، باز هم شاهد ارتعاشات ناخواسته و چتر هستیم، به خصوص در ماشین‌کاری‌های با دور زیاد مانند فرآیندهای سنگ زنی و یا ماشین‌کاری پرسرعت. همچنین در دنیای امروز، دیگر روش‌های ماشین‌کاری با عمق باربرداری زیاد و خشن‌تراشی مثل سابق مرسوم نیست و جایگاه ماشین‌کاری به فرآیندهای نهایی و تمام‌کاری معطوف شده است. با این حال بیش از ۱۵٪ هزینه تولید تمام قطعات، صرف ماشین‌کاری می‌شود. این مقدار هزینه در کشوری مانند آمریکا، در حدود ۲۵۰ میلیارد دلار است. در نتیجه رخ دادن پدیده‌ای مانند چتر در فرآیندهای ماشین‌کاری که می‌بایست صافی سطح نهایی از آنها گرفته شود، بسیار نامناسب بوده و کوچک‌ترین بهبود و پیشرفت در جلوگیری

و کاهش چتر، در هزینه‌های اقتصادی تاثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. به همین دلیل تحقیقات و آزمایشات بسیاری در این زمینه انجام شده است.

۱-۳-۲ تاریخچه تحقیقات

تلاستی، چتر را به عنوان ارتعاشات خودتحریکی تعریف کرد که زمانی که ضخامت براده‌برداری در مقابل سختی دینامیکی سیستم بسیار بزرگ باشد، رخ می‌دهد[3].

اولین مطالبی که در مورد چتر در منابع وجود دارد، مربوط به تیلور در سال ۱۹۰۷ و پس از آن مربوط به شلسینگر در سال ۱۹۳۶ است. اولین مطالعه کامل بر روی چتر را ابتدا دویی، در سال ۱۹۳۷ [6] و بعد از آن به کمک کاتو در سال ۱۹۵۶ انجام داد[7]. تلاستی و پولاسک، تحقیقات خود در زمینه چتر را در سال ۱۹۵۷ منتشر کردند[8]. توبایس و فیشویک نقشه چتر را در سال ۱۹۵۸ ارائه داند[9]. در اوایل دهه ۱۹۶۰ پیترز و وانهرک، آزمایشاتی انجام دادند و تکنیک‌های اندازه‌گیری را برای بحث بر روی مطالعات تلاستی و توبایس ابداع کردند[10]. در حالیکه هنا و توبایس نیز در دهه ۱۹۷۰ مطالعاتی را بر روی رفتار غیرخطی سیستم انجام می‌دادند[11]، گروه رادهارمانان و لوترا، ایده‌هایی را درباره تعیین پارامترهای دینامیکی فرایند ماشین کاری و برش ارائه دادند[12,13]. در اواخر دهه ۱۹۷۰، تلاستی یک مقاله‌ی در رابطه با تحلیل چتر ارائه کرد[14]. در سال ۱۹۹۵ ، آلتینتاس و بوداک روشی تحلیلی برای محاسبه بخشهای پایداری[1] بر اساس نقشه چتر توبایس ارائه کردند که تا کنون معیار بررسی پایداری ارتعاشات چتر قرار گرفته است، این تحقیق در سال ۱۹۹۵ با درنظر گرفتن رفتار قطعه‌کار در دوبعد گسترش یافت[15]. آلتینتاس و بوداک رفتار دینامیکی قطعه‌کار و ابزار ماشین فرز را برای محاسبه عمق بحرانی برش متغیر به کار گرفتند[16].

۱-۳-۳ انواع چتر

چتر در فرایند ماشین‌کاری به دلایل مختلفی رخ می‌دهد. پنج دلیل برجسته‌ی آن از قرار زیر می‌باشند:

الف) چتر احیاشونده[2]

این نوع چتر وقتی رخ می‌دهد که موج‌هایی که در یک دور توسط ابزار روی قطعه‌کار ایجاد شده‌اند با موج‌های ایجاد شونده در دور بعدی تقویت شوند. این نوع ارتعاش ماشین‌ابزار رایج‌ترین نوع چتر است. اگر ارتعاش ایجاد شده از موج‌های تقویت شده به حدی بزرگ شوند که ابزار و قطعه کار تماس خود را از دست دهند، ارتعاش چتر احیا شونده‌ی مضاعف رخ داده است.

[1] Stability Lobes
[2] Regenerative Chatter

ب) اتصال مودها[1]

این چتر زمانی رخ می‌دهد که ارتعاش نسبی ما بین ابزار و قطعه‌کار در یک زمان حداقل در دو جهت در صفحه برش موجود باشد. در این هنگام، قطعه‌کار از مسیر بیضی‌گون تراش خود خارج می‌شود.

پ) اثر اصطکاکی

نیروهای برش به طریقی وابسته به سرعت بوده و باعث ایجاد نوعی میرایی منفی در سیستم می‌شوند. این مکانیزم به عنوان اثر اصطکاکی شناخته می‌شود و مشخصات آن شبیه اسیلاتور معروف ریلی می باشد.

ت) اثرات ترمومکانیکی

اثرات ترمومکانیکی به علت تغییرات دمایی و به خصوص تغییر ناگهانی دما در نوک ابزار به وقوع می‌پیوندد.

ث) اثر برش منقطع

یکی از علل رایج ارتعاشات در ماشین تراش چرخش قطعات نابالانس و یا غیر تنظیم بودن قطعه‌کار است. در مورد ماشین سوراخ کاری نیز، فرسایش ابزار و خطای تنظیم اسپیندل سبب ایجاد نوعی ارتعاش می‌شوند که آن را چتر برش منقطع می‌نامند. این چتر منجر به ایجاد نوسان ضربه‌ای می‌شود. این نوسان گونه‌ای از ارتعاش اجباری ماشین‌ابزار است.

۱-۳-٤ روش‌های تشخیص چتر

- استفاده از سیگنال‌های صوتی و رادیویی برای تشخیص و اندازگیری پایداری ماشین
- استفاده از سنسورهای مافوق صوت
- استفاده از سنسورهای نوری و لیزری و اپتیکال
- استفاده از روش های محاسباتی آنالیز مودال و المان محدود
- شبیه‌سازی کامپیوتری و شبیه‌سازی دینامیکی سیستم
- اندازگیری انرژی ارتعاشی و بررسی انرژی شکست ابزار در ارتعاش با فرکانس و دامنه زیاد

۱-۳-۵ مضرات چتر

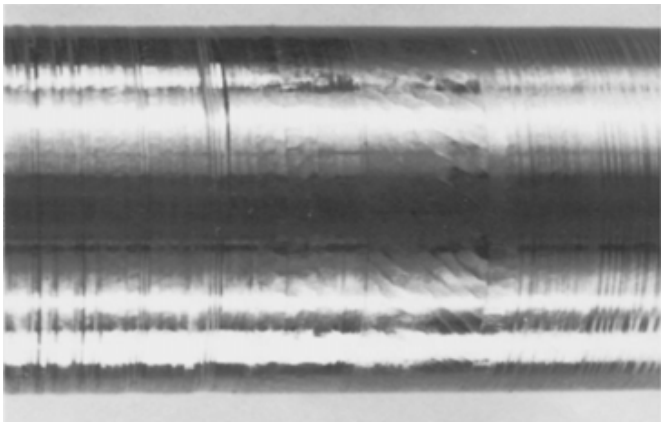
مضرات چتر عبارتند از:

- روند ماشین کاری نا متعادل
- کیفیت سطح نامطلوب(شکل ۱-۶)
- کاهش تولید
- صدمه زدن به ابزار و ماشین

1 Mode Coupling

- افزایش نیروهای ماشین کاری
- ایجاد انرژی بیشتر و درنتیجه افزایش درجه حرارت بیشتر

مشکل اصلی ارتعاشات ناخواسته وقتی بیشتر نمایان می‌شودکه ماشین‌کاری فوق دقیق و یا ماشین‌کاری مواد سخت مورد نظر باشد.



شکل۱-۶: کیفیت سطح نامطلوب ناشی از چتر[5]

۱-۳-٦ روش‌های کاهش چتر

روش‌های کاهش چتر را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- انتخاب پارامترهای مناسب ماشین‌کاری برای حداقل کردن چتر
- استفاده از کنترل‌های مدار بسته و سنسورهای ظریف، به این صورت که با استفاده از فیدبک موقعیت مکانی ابزار یا اسپیندل را در هر لحظه شناسایی نموده و با استفاده از سیستم کنترل آن را اصلاح نمود.
- استفاده از ابزارهای مکانیکی و یا الکتریکی مناسب که به صورت غیرفعال انرژی ارتعاشی را در خود ذخیره نموده و باعث کاهش چتر و ارتعاش می‌شوند.
- استفاده از برینگ‌های مغناطیسی در ماشین‌کاری سریع
- استفاده از روش‌های المان محدود و بررسی رفتار دینامیکی نقاط مختلف برای پیش‌بینی نقاط با حداکثر ارتعاش. در این روش ابزار و قطعه‌کار با روش المان محدود مدل شده و نقاطی که بیشترین چتر و تغییر شکل را دارند با استفاده از نقشه‌های رنگی مشخص می‌شوند. سپس از این نقشه‌ها برای جلوگیری از ارتعاش در آن نقطه استفاده می‌شوند.

برای کنترل چتر نیاز به شناخت محدوده هایی است که در آن محدوده ها ارتعاشات مته پایدار باشد و دراین محدوده ها عملیات سوراخ کاری انجام شود.

ارتعاشات مته دارای درجات آزادی زیر است:

- یک درجه ارتعاشات محوری
- یک درجه ارتعاشات پیچشی
- دو درجه ارتعاشات عرضی

که در هر جهت بطور جداگانه محدوده پایداری آن باید بررسی شود.

در اینجا مته به صورت جرم (متمرکز) و فنر مدل می شود ، معادلات حرکت به صورت زیر می‌باشد.

$$m\ddot{z}(t) + c\dot{z}(t) + kz(t) = k_z \times b(z(t) - z(t-\tau)) \qquad (۴-۱)$$

در این معادله m جرم ، c دمپینگ ، k سختی مته ، k_z فشار برشی محوری (که با تنش برشی بدست آمده از تست های کششی و برشی در مقاومت مصالح تفاوت داشته و از تست های برش بدست می آید)، b عرض برش شعاعی (تفاضل قطر پیش مته از مته ای که می خواهیم بزنیم) ، $z(t)$ موقعیت لبه برنده مته در زمان t و $z(t-\tau)$ موقعیت لبه مته در یک دوره زمانی (τ) قبل می‌باشد. برای حل این معادله و تعیین نواحی پایداری می توان از روشهای تحلیلی و یا از روشهای عددی (شبیه سازی در بازه زمان) استفاده کرد. روشهای تحلیلی محدود بوده وچنانچه پارامتری در طول زمان تغییرکند ویا عوامل غیر خطی در معادله وارد شود حل تحلیلی با مشکل مواجه می شود، اما روشهای عددی که در این پایان نامه از آن استفاده می شود، علاوه بر نداشتن مشکل فوق ، توانایی مدل کردن سطح ماشین کاری و شکل سوراخ را دارد. یکی از روش‌هایی که بطور گسترده در تحلیل محدوده پایداری از آن استفاده می شود شبیه سازی در بازه زمان است. این راهکار دید بهتری از دینامیک برش را نتیجه می دهد.

یکی از مسائل مهم در بررسی ارتعاشات مته نحوه مدل کردن مته است.

آلتینتاس و روکما [17] مته را به صورت جرم متمرکز، فنر و مستهلک کننده[1] و شرایط مرزی را به صورت یک تیر یک سر گیر دار و یک سر آزاد مدل کردند. آنها برای مته چهار درجه آزادی در نظر گرفتند که دو درجه آزادی مربوط به ارتعاش عرضی در دو جهت، یک درجه آزادی در جهت محور مته و یک درجه مربوط به پیچش می باشد. بایلی و همکاران[18] در مدلی که برای ارتعاشات محوری وپیچشی ارائه کردند ارتعاشات محوری و پیچشی را به صورت کوپل در نظر گرفتند، بدین معنی که با توجه به شکل هندسی مته تغییر شکل محوری و پیچشی را به یکدیگر مربوط بوده و در اثر تغییر شکل پیچشی، مته مقداری جابجایی محوری نیز خواهد داشت. بنابراین جابجای پیچشی بر نیرو وتغییر شکل محوری تاثیر خواهد داشت. اما و همکاران [19] برای بررسی ارتعاشات عرضی ، مته را با شرایط مرزی تیر یک سر گیر دار و یک سر لولا مدل کردند و با توجه به حرکت دورانی مته تاثیر نیروی گریز از مرکز نیز در این مدل لحاظ گردید.

یکی از پارامترهای مهم در معادله ۱-۴ فشار برش است که روشهای متعددی برای تعیین آن وجود دارد .

[1] -Damper

آرماریگو و همکاران [20] با استفاده از اطلاعات پایه در برش عمودی[1] و استفاده از روابط انتقال برش عمودی به برش مایل[2] فشار برش را بدست آوردند (با بکارگیری یک مقدار متوسط برای زاویه برش). آلتینتاس و روکما[17] جهت تعیین فشارهای برش، با یک مته با قطر و سرعت دورانی وماده مشخص و با پیشرویهای متفاوت، تست های سوراخ کاری برای عرض‌های برشی متفاوت را انجام دادند و فشارهای برشی را در طول لبه برنده برای پیشروی‌های مختلف به صورت تابع درجه دو از ضخامت براده تغییر شکل نیافته و درجه سه از شعاع مته ارائه کردند. هاماده و همکاران [24] برای تعیین نیروهای برشی در سوراخ کاری مواد کامپوزیتی و همچنین برای بدست آوردن ضرایب نیروهای برشی در برش عمودی در فرآیند سوراخ کاری روابط زیر را برای فشارهای برشی ارائه کردند.

$$C_{nc} = \frac{F_{nc}}{bh} = a_1 h^1 v^1 (1 - \sin(\alpha))^{d_1} \quad (۵-۱)$$

$$C_{tc} = \frac{F_{tc}}{bh} = a_2 h^2 v^2 (1 - \sin(\alpha))^{d_2} \quad (۶-۱)$$

که در این روابط h ضخامت براده تغییر شکل نیافته، V سرعت خطی در المان برشی وα زاویه براده المان برشی هستند، ضرایب ($a_1,a_2,b_1,b_2,c_1,c_2,d_1,d_2$) با انجام تست های سوراخ کاری تعیین می شود. با کمک روابط ۱-۵ و۱-۶ تغییرات فشاربرش در جهت‌های عمود ومماس برلبه برنده بدست می‌آیند.

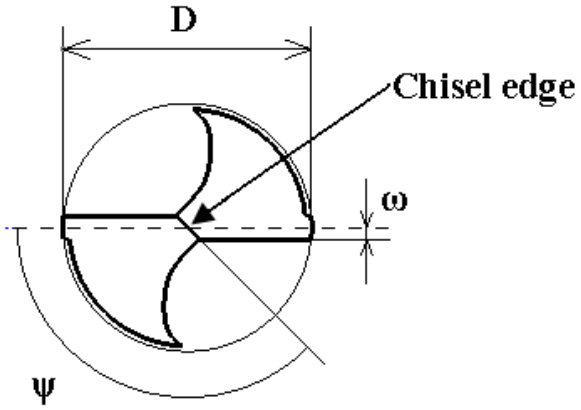
با داشتن مدلی برای فشارهای برشی و مدلی مناسب برای ارتعاشات می توان معادله شبیه سازی ارتعاشات مته را انجام داد و در مورد پایداری یا عدم پایداری ارتعاشات بحث کرد.

[1] - orthogonal cutting
[2] - oblique cutting

فصل دوم: هندسه مته

۲-۱ نوک اسکنه[1]

نوک اسکنه برای افزایش استحکام و جلوگیری از شکستن نوک مته ایجاد می شود همانطور که در شکل ۲-۱ مشاهده می شود از دو اندازه برای معرفی نوک اسکنه استفاده می شود یکی نصف عرض نوک اسکنه (ω) و دیگری زاویه نوک اسکنه (ψ) می باشد.



شکل۲-۱ : نوک اسکنه و پارامترهای آن[2]

مقدار عرض نوک اسکنه از نوک مته به سمت ساقه مته افزایش می یابد و به عبارتی جان مته به صورت مخروطی از نوک مته به سمت ساقه مته می باشد.

همانطور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، در نوک اسکنه دو ناحیه وجود دارد در مرکز این لبه که سرعت برشی به سمت صفر می رود عمل برش انجام نمی شود و نوک اسکنه در این ناحیه در قطعه کار بوسیله مکانیزم نفوذ

[1] - chisel edge