

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - گرایش طراحی کاربردی

مدل سازی و شبیه سازی غیرخطی پدیده چتر در عملیات ماشین کاری دورانی

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی جلیلی بهابادی

استاد مشاور:

دکتر قاسم امیریان

تهیه و تنظیم:

حجت اله طواری

مهرماه ۱۳۹۲

کلیه حقوق مادی و مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان نامه برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایان نامه منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم که هر لحظه، وجودم را از چشمه سار پر از عشق چشمانشان سیراب می‌کنند...

خداوندا به من توفیق تلاش در شکست، صبر در نومییدی، رفتن بی‌همراه، جهاد بی‌سلاح، کار بی‌پاداش، فداکاری در سکوت، دین بی‌دنیا، عظمت بی‌نام، خدمت بی‌نان، ایمان بی‌ریا، خوبی بی‌نمود، مناعت بی‌غرور و عشق بی‌هوس را عنایت فرما.

تقدیر و تشکر

با سپاس از لطف بی‌کران پروردگار، از پدر و مادر عزیزم ... این دو معلم بزرگوایم ... که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقایان دکتر محمد مهدی جلیلی بهابادی، دکتر قاسم امیریان و دکتر محمدرضا موحدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

پدیده چتر همواره یکی از بزرگترین مشکلات در فرآیندهای ماشین کاری فلزات است. این پدیده یکی از موانع همیشگی در راه دستیابی به کیفیت سطح مطلوب در سرعت‌های برشی بالا می‌باشد. سایش شدید ابزار براده‌برداری و افزایش هزینه‌های تولید نیز از دیگر مشکلات ناشی از پدیده چتر می‌باشد. ارتعاشات ناشی از پدیده چتر یک نوع ارتعاش خودتحریک ناپایدار است که رایج‌ترین نوع آن چتر احیاکننده می‌باشد.

در این پایان‌نامه به منظور بررسی تأثیر پارامترهای مختلف براده‌برداری روی پدیده چتر از یک مدل سه‌بعدی غیر خطی جدید برای فرآیند تراشکاری متعامد استفاده شده است. با توجه به اینکه ابزار براده‌برداری و قطعه‌کار از اجزای اصلی در فرآیند ماشین کاری هستند، قطعه‌کار به عنوان یک محور در حال دوران و ابزار براده‌برداری به عنوان یک تیر یک سر گیردار مدل‌سازی شده‌اند. در ادامه معادلات بدون بعد حرکت برای ارتعاشات عرضی و پیچشی قطعه‌کار و ارتعاشات عرضی و طولی ابزار براده‌برداری بدست آمده‌اند. سپس با استفاده از روش مودهای فرضی، معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر مسئله به صورت معادلات دیفرانسیل عمومی بدست آمده‌اند. در نهایت یک حل عددی برای این مسئله غیر خطی ارائه شده است. تأثیر پارامترهای براده‌برداری همچون موقعیت طولی ابزار براده‌برداری، عرض براده‌برداری، عمق براده‌برداری و شعاع قطعه‌کار برای حالت‌های با و بدون مرغک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که افزایش پارامترهای بدون بعد متناظر با موقعیت طولی ابزار براده‌برداری، عمق براده‌برداری و عرض براده‌برداری که به هندسه ابزار براده‌برداری وابسته است، باعث کاهش پایداری فرآیند براده‌برداری و افزایش احتمال بروز پدیده چتر می‌گردد. با افزایش پارامتر بدون بعد متناظر با شعاع قطعه‌کار، میزان پایداری فرآیند افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از مرغک برای براده‌برداری در موقعیت نزدیک به انتهای طول قطعه‌کار باعث افزایش پایداری فرآیند نسبت به حالت بدون استفاده از مرغک می‌شود. در صورتی که فرآیند ناپایدار باشد و پدیده چتر رخ دهد، مقدار بیشینه دامنه ارتعاشات چتر با افزایش پارامتر بدون بعد متناظر با سرعت دورانی قطعه‌کار افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

| <u>عنوان</u> | <u>صفحه</u> |
|---|-------------|
| ۱- فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات پیشین..... | ۱ |
| ۱-۱- مقدمه | ۱ |
| ۲-۱- مروری بر تحقیقات پیشین..... | ۳ |
| ۲- فصل دوم: آشنایی با فرآیند تراشکاری و اجزای آن..... | ۱۲ |
| ۱-۲- مفهوم ماشین کاری | ۱۲ |
| ۲-۲- اجزای ماشین تراش | ۱۳ |
| ۱-۲-۲- دستگاه مرغک | ۱۴ |
| ۲-۲-۲- ابزار براده برداری | ۱۴ |
| ۱-۲-۲-۲- مکانیزم‌های سایش ابزار..... | ۱۶ |
| ۲-۲-۲-۲- معیارهای عمر ابزار | ۱۸ |
| ۳-۲- فرآیند تراشکاری | ۱۹ |
| ۴-۲- مکانیک تراشکاری متعامد..... | ۲۰ |
| ۵-۲- انواع براده در تراشکاری [۳۳]..... | ۲۳ |
| ۳- فصل سوم: آشنایی با پدیده چتر..... | ۲۹ |
| ۱-۳- انواع پدیده چتر | ۲۹ |
| ۱-۱-۳- چتر اصطکاکی | ۲۹ |
| ۲-۱-۳- چتر ترمومکانیکی | ۳۰ |
| ۳-۱-۳- چتر جفت‌شدگی مودها | ۳۰ |
| ۴-۱-۳- چتر احیاکننده | ۳۰ |
| ۲-۳- نیروهای براده برداری | ۳۱ |
| ۱-۲-۳- نیروهای براده برداری استاتیکی | ۳۱ |

- ۳-۲-۲- نیروهای براده‌برداری دینامیکی ۳۴
- ۳-۲-۳- مدل آلتینتاش (مدل مورد استفاده در این پژوهش) [۲۸] ۴۱
- ۴- فصل چهارم: مدل‌سازی و به دست آوردن معادلات حرکت ۴۴
- ۴-۱-۱- مدل‌سازی ۴۴
- ۴-۲-۱- معادلات حرکت ۴۵
- ۴-۲-۲-۱- قطعه‌کار ۴۵
- ۴-۲-۲-۱-۱- سیستم‌های مختصات و تبدیل‌ها ۴۵
- ۴-۲-۲-۱-۲- استخراج معادلات با استفاده از اصل هامیلتون ۴۸
- ۴-۲-۲-۲- ابزار براده‌برداری ۵۵
- ۴-۲-۲-۲-۱- ارتعاشات عرضی ابزار براده‌برداری ۵۵
- ۴-۲-۲-۲-۲- ارتعاشات طولی ابزار براده‌برداری ۵۷
- ۴-۳-۱- معادلات بدون بعد ۵۷
- ۵- فصل پنجم: شبیه‌سازی فرآیند براده‌برداری ۶۰
- ۵-۱- آماده‌سازی معادلات حرکت برای حل عددی ۶۰
- ۵-۲- ارائه نتایج ۶۲
- ۵-۲-۱- دلیل استفاده از پارامترهای بدون بعد ۶۳
- ۵-۲-۲- فرآیند براده‌برداری پایدار ۶۵
- ۵-۲-۳- فرآیند براده‌برداری ناپایدار ۷۰
- ۵-۳- تأثیر پارامترهای براده‌برداری بر پایداری فرآیند براده‌برداری در حالت‌های با و بدون مرغک ۷۵
- ۵-۳-۱- تأثیر موقعیت براده‌برداری در امتداد محور قطعه‌کار (x_0^*) ۷۵
- ۵-۳-۲- تأثیر شعاع قطعه‌کار (R^*) ۷۸
- ۵-۳-۳- تأثیر عمق براده‌برداری (h_0^*) ۸۱
- ۵-۳-۴- تأثیر عرض براده‌برداری (a^*) ۸۳

۶- فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۷

۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۷

۶-۲- پیشنهادات برای ادامه پژوهش ۸۹

پیوست ۹۰

پیوست الف ۹۰

مراجع ۹۵

فهرست شکل‌ها

| <u>عنوان</u> | <u>صفحه</u> |
|---|-------------|
| شکل ۱-۱: کاهش کیفیت سطح قطعه کار در اثر پدیده چتر در تراشکاری [۲] | ۲ |
| شکل ۲-۱: مدل یک درجه آزادی برای تراشکاری [۱۳] | ۷ |
| شکل ۱-۲: یک دستگاه ماشین تراش [۳۰] | ۱۳ |
| شکل ۲-۲: مهار قطعه کار توسط دستگاه مرغک در حین ماشین کاری | ۱۴ |
| شکل ۳-۲: انواع ابزارهای براده برداری | ۱۵ |
| شکل ۴-۲: زوایای ابزار براده برداری [۳۱] | ۱۵ |
| شکل ۵-۲: فرآیند براده برداری در تراشکاری [۳۰] | ۲۰ |
| شکل ۶-۲: تراشکاری متعامد [۳۲] | ۲۱ |
| شکل ۷-۲: فرآیند براده برداری متعامد | ۲۲ |
| شکل ۸-۲: دو نوع از مکانیزم‌های براده برداری: (الف) براده برداری متعامد؛ (ب) براده برداری مایل | |
| [۳۳] | ۲۳ |
| شکل ۹-۲: براده گسسته [۳۳] | ۲۴ |
| شکل ۱۰-۲: براده پیوسته [۳۳] | ۲۵ |
| شکل ۱۱-۲: براده‌های پیوسته با لبه انباشته [۳۳] | ۲۶ |
| شکل ۱۲-۲: براده‌های قطعه قطعه [۳۴] | ۲۷ |
| شکل ۱۳-۲: براده‌های دندان‌اره ای [۳۵] | ۲۸ |
| شکل ۱-۳: اختلاف فاز در سطوح موج‌دار متوالی در تراشکاری | ۳۱ |
| شکل ۲-۳: دو مدل اصلی در بررسی منطقه برش در فرآیند براده برداری: (الف) صفحه برشی ضخیم؛ (ب) صفحه برشی نازک [۳۷] | ۳۲ |
| شکل ۳-۳: نیروهای حاصل از براده برداری متعامد بر اساس مدل مرجانت [۳۸] | ۳۳ |
| شکل ۴-۳: براده برداری متعامد دینامیکی [۳۸] | ۳۵ |
| شکل ۵-۳: سطح قطعه کار در دور قبلی و فعلی دوران و نیروهای براده برداری متعامد | ۴۲ |

- شکل ۳-۶: مدل دو درجه آزادی از فرآیند براده‌برداری [۴۰]..... ۴۳
- شکل ۴-۱: مدل‌سازی قطعه‌کار به عنوان تیر یک سر گیردار..... ۴۴
- شکل ۴-۲: مدل‌سازی قطعه‌کار به عنوان تیر یک سر گیردار یک سر مفصل..... ۴۵
- شکل ۴-۳: مدل‌سازی ابزار براده‌برداری به عنوان تیر یک سر گیردار..... ۴۵
- شکل ۴-۴: دستگاه‌های مختصات قبل از تغییر شکل تیر..... ۴۶
- شکل ۴-۵: وضعیت تیر قبل و بعد از جابجایی‌های الاستیک..... ۴۷
- شکل ۴-۶: مختصات سطح مقطع تیر بعد از تغییر شکل..... ۴۷
- شکل ۴-۷: تغییر شکل‌های خمشی و برشی: (الف) تیر بدون تغییر شکل؛ (ب) تیر فقط با تغییر شکل برشی؛ (ج) تیر فقط با تغییر شکل خمشی؛ (د) تیر با تغییر شکل کلی [۴۲]..... ۵۶
- شکل ۴-۸: ابزار براده‌برداری تحت نیروی عرضی و محوری..... ۵۷
- شکل ۵-۱: براده‌برداری پایدار: (الف) حالت اول؛ (ب) حالت دوم..... ۶۴
- شکل ۵-۲: براده‌برداری ناپایدار: (الف) حالت اول؛ (ب) حالت دوم..... ۶۴
- شکل ۵-۳: نمودار $(v^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۵
- شکل ۵-۴: نمودار $(w^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۶
- شکل ۵-۵: نمودار $(r^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۶
- شکل ۵-۶: نمودار $(u_t^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۷
- شکل ۵-۷: نمودار $(w_t^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۷
- شکل ۵-۸: نمودار مسیر $(w^* - v^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۸
- شکل ۵-۹: نمودار فاز $(\dot{v}^* - v^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۸
- شکل ۵-۱۰: نمودار فاز $(\dot{w}^* - w^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۹
- شکل ۵-۱۱: نمودار فاز $(\dot{r}^* - r^*)$ در حالت براده‌برداری پایدار..... ۶۹
- شکل ۵-۱۲: نمودار $(v^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری ناپایدار..... ۷۰
- شکل ۵-۱۳: نمودار $(w^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری ناپایدار..... ۷۱
- شکل ۵-۱۴: نمودار $(r^* - t^*)$ در حالت براده‌برداری ناپایدار..... ۷۱

- شکل ۵-۱۵ : نمودار $(u_t^* - t^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۲
- شکل ۵-۱۶ : نمودار $(w_t^* - t^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۲
- شکل ۵-۱۷ : نمودار مسیر $(w^* - v^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۳
- شکل ۵-۱۸ : نمودار فاز $(\dot{v}^* - v^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۳
- شکل ۵-۱۹ : نمودار فاز $(\dot{w}^* - w^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۴
- شکل ۵-۲۰ : نمودار فاز $(\dot{r}^* - r^*)$ در حالت برادبرداری ناپایدار ۷۴
- شکل ۵-۲۱ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری بدون مرغک ۷۶
- شکل ۵-۲۲ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری با مرغک ۷۶
- شکل ۵-۲۳ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $x_0^* = ۰/۷۵$ ۷۶
- شکل ۵-۲۴ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $x_0^* = ۰/۵$ ۷۷
- شکل ۵-۲۵ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری بدون مرغک ۷۹
- شکل ۵-۲۶ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری با مرغک ۷۹
- شکل ۵-۲۷ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $R^* = ۰/۰۷$ ۷۹
- شکل ۵-۲۸ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $R^* = ۰/۰۸$ ۸۰
- شکل ۵-۲۹ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری بدون مرغک ۸۱
- شکل ۵-۳۰ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری با مرغک ۸۲
- شکل ۵-۳۱ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $h_0^* = ۰/۰۰۰۲۵$ ۸۲
- شکل ۵-۳۲ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $h_0^* = ۰/۰۰۰۷۵$ ۸۲
- شکل ۵-۳۳ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری بدون مرغک ۸۴
- شکل ۵-۳۴ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری با مرغک ۸۴
- شکل ۵-۳۵ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $a^* = ۰/۰۰۱$ ۸۵
- شکل ۵-۳۶ : نمودار $(v^* - \Omega^*)$ در حالت برادبرداری در $a^* = ۰/۰۰۲$ ۸۵

فهرست جدول‌ها

| <u>عنوان</u> | <u>صفحه</u> |
|---|-------------|
| جدول ۱-۲: زوایای ابزار براده‌برداری..... | ۱۶ |
| جدول ۱-۴: پارامترهای بدون بعد قطعه‌کار و ابزار براده‌برداری..... | ۵۸ |
| جدول ۱-۵: پارامترهای براده‌برداری..... | ۶۳ |
| جدول ۲-۵: مقادیر پارامترهای براده‌برداری بدون بعد در حالت پایدار..... | ۶۵ |

فهرست نمادها

| مفهوم | نماد |
|--|-----------------------------|
| سطح مقطع | A |
| عرض براده‌برداری | a |
| عبارت‌های مرزی انرژی کرنشی | $b(U)$ |
| مدول یانگ | E |
| نیروی براده‌برداری عمودی | F_f |
| نیروی براده‌برداری مماسی | F_t |
| مدول برشی | G |
| عمق براده‌برداری | h |
| عمق براده‌برداری نامی | h_0 |
| بردارهای یکه متصل به دستگاه مختصات محور بعد از تغییر شکل | $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ |
| بردارهای یکه ثابت | $\vec{I}, \vec{J}, \vec{K}$ |
| گشتاور اینرسی سطح مقطع محور نسبت به محور y' | $I_{y'}$ |
| گشتاور اینرسی سطح مقطع محور نسبت به محور z' | $I_{z'}$ |
| ثابت صلبیت پیچشی | J |
| ضریب نیروی براده‌برداری عمودی | K_f |
| ضریب نیروی براده‌برداری مماسی | K_t |
| ضریب تصحیح برشی | k |
| طول قطعه کار | L |
| مؤلفه‌های نیروهای تعمیم‌یافته ناپایستار در جهت‌های x ، y و z . | L_u, L_v, L_w |
| جرم بر واحد طول محور | m |
| نقطه ثابت در چارچوب \mathcal{R} و \mathcal{B} | o |
| شعاع سطح مقطع قطعه کار | R |
| گشتاور پیچشی در اثر تنش برشی | S_{x_i} |
| انرژی جنبشی | T |
| زمان | t |
| جابجایی طولی ابزار براده‌برداری | u_t |

| | |
|--|----------------------------|
| جابجایی‌های الاستیک در جهت‌های x ، y و z | u, v, w |
| انرژی کرنشی | U |
| نیروی محوری در جهت‌های x و x' | $V_x, V_{x'}$ |
| نیروی برشی در جهت‌های y ، y' ، z و z' | $V_y, V_{y'}, V_z, V_{z'}$ |
| بردار سرعت نقطه P در چارچوب \mathcal{R} | \vec{V} |
| تابع زمانی موج‌های روی سطح قطعه‌کار | $y(t)$ |
| دستگاه مختصاتی که محور x آن در امتداد قطعه‌کار قبل از تغییر شکل است. | x, y, z |

| | |
|---|-----------------|
| دستگاه مختصات مماس بر محور تغییر شکل یافته | x', y', z' |
| مختصات یک نقطه بر روی محور قبل از تغییر شکل | x_0, y_0, z_0 |
| مختصات یک نقطه (که قبلاً نقطه x_0, y_0, z_0 بوده است) بر روی محور تغییر شکل یافته | x_1, y_1, z_1 |

عبارت‌هایی برای بیان انرژی

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{Y}_v, \bar{Y}_w, \bar{Y}_\varphi \\ Z_v, \bar{Z}_v, Z_{v'}, \bar{Z}_{v'} \\ Z_w, \bar{Z}_w, Z_{w'}, \bar{Z}_{w'} \\ Z_\varphi, \bar{Z}_\varphi \end{array} \right.$$

| | |
|---|----------------|
| پارامتر بدون بعد | $()^*$ |
| معرف ابزار براده‌برداری (به جز پارامترهای F_t و K_t و φ_t) | $()_t$ |
| واریشن | $\delta()$ |
| $\partial/\partial x$ | $()'$ |
| $\partial/\partial t$ | $(\dot{\ })$ |
| علامت بردار | $(\vec{\ })$ |

حروف یونانی

| | |
|--|---|
| چارچوب مرجع که با سرعت Ω نسبت به چارچوب اینرسی ثابت \mathcal{R} دوران می‌کند. | \mathfrak{B} |
| چارچوب اینرسی | \mathcal{R} |
| پارامتری کوچک | ε |
| مؤلفه‌های کرنش مهندسی | $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{x\eta}, \varepsilon_{x\xi}$ |
| مختصات مقطعی عمود بر محور η در محور الاستیک | ξ |
| مختصات مقطعی متناظر با محور اصلی برای یک نقطه روی محور الاستیک | η |
| چگالی | ρ |

| | |
|---|--|
| تنش‌های مهندسی | $\sigma_{xx}, \sigma_{x\eta}, \sigma_{x\xi}$ |
| پیچش الاستیک قطعه کار حول محور الاستیک | φ |
| زاویه دوران سطح مقطع ابزار براده‌برداری | φ_t |
| سرعت دورانی قطعه کار | Ω |
| بازه زمانی یک دور دوران قطعه کار | τ |
| تابع دلتای دیراک | δ_D |

۱- فصل اول: مقدمه و مروری بر تحقیقات پیشین

۱-۱- مقدمه

امروزه برش فلزات یکی از فرآیندهای مهم شکل‌دهی در صنعت ساخت و تولید قطعات به شمار می‌رود. دو عامل تأثیرگذار در این فرآیند، ماشین ابزار^۱ و ابزار براده‌برداری^۲ است. تاکنون تلاش‌های زیادی در جهت بهبود کارایی این دو مؤلفه در ماشین‌کاری انجام شده است. عملکرد بهینه، منحصراً به ساخت ماشین ابزار و ابزار براده‌برداری قوی‌تر و پایدارتر خلاصه نمی‌شود؛ بلکه می‌توان با استفاده بهتر از این مجموعه به بهترین کارایی دست یافت. یک هدف اصلی و همیشگی در تحقیقات مربوط به صنعت ساخت و تولید در زمینه عملیات براده‌برداری، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری است. افزایش بهره‌وری نیازمند ماشین‌کاری در کمترین زمان و با کمترین تلفات انرژی می‌باشد. به این منظور باید تمام پارامترهای ماشین‌کاری همچون سرعت برشی^۳، سرعت پیشروی^۴ و عمق براده‌برداری^۵ در حد مناسب در نظر گرفته شوند. افزایش این پارامترها باعث

¹ Machine tool

² Cutting tool

³ Cutting speed

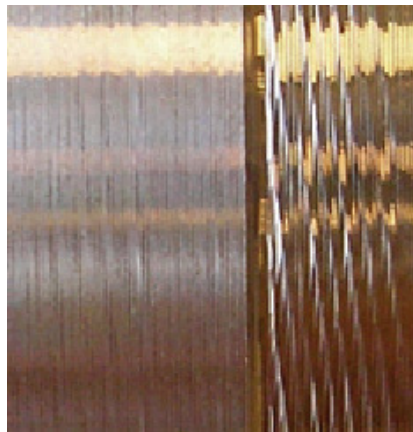
⁴ Feed velocity

⁵ Depth of cut

افزایش نیروهای براده‌برداری و دما در منطقه برش^۱ می‌گردد. افزایش نیروهای براده‌برداری موجب ایجاد شرایط مناسب برای رخداد ارتعاشات احیاکننده^۲ می‌شود. به این نوع از ارتعاشات، چتر^۳ گفته می‌شود.

تعدادی از اثرات مخرب چتر به شرح زیر است [۱]:

- کاهش کیفیت سطح قطعه‌کار^۴ (مطابق شکل ۱-۱)
- دقت براده‌برداری غیر قابل قبول
- ایجاد سر و صدای بیش از حد
- سایش شدید ابزار براده‌برداری و حتی شکستن آن
- آسیب دیدن ماشین ابزار
- کاهش نرخ براده‌برداری^۵
- افزایش هزینه‌های تولید
- هدر رفتن مواد اولیه و انرژی



(الف) (ب)

شکل ۱-۱: کاهش کیفیت سطح قطعه‌کار در اثر چتر در تراشکاری: (الف) با چتر؛ (ب) بدون چتر [۲]

¹ Cutting zone

² Regenerative vibration

³ Chatter

⁴ Workpiece

⁵ Material removal rate (MRR)

فرآیند براده‌برداری فلزات اغلب با ارتعاشات شدید بین قطعه‌کار و ابزار براده‌برداری همراه است. ارتعاشات در فرآیند براده‌برداری می‌تواند از نوع ارتعاشات آزاد^۱، اجباری^۲ و احیاکننده باشد. ارتعاشات آزاد زمانی ایجاد می‌شود که سیستم دینامیکی از حالت تعادل خود جابجا شده و به صورت آزاد ارتعاش کند. در یک فرآیند ماشین‌کاری این امکان وجود دارد که ارتعاش آزاد نیز رخ دهد؛ برای مثال، در نتیجه تعریف مسیر نادرست برای حرکت ابزار براده‌برداری، ابزار با قطعه‌کار برخورد کرده و ارتعاش آزاد به وجود می‌آید. ارتعاش اجباری به علت تحریک متناوب خارجی ایجاد می‌شود. در صورت شناسایی عوامل به وجود آورنده ارتعاشات آزاد و اجباری در عملیات ماشین‌کاری^۳ می‌توان از آنها جلوگیری کرد. اما ارتعاشات احیاکننده که عامل اصلی در به وجود آمدن چتر است، انرژی خود را از اثر متقابل بین قطعه‌کار و ابزار براده‌برداری در طول فرآیند ماشین‌کاری دریافت می‌کند. این نوع ارتعاشات باعث ناپایداری^۴ سیستم می‌شود و اغلب نامطلوب و کمتر کنترل‌پذیر است. به همین دلیل چتر یک موضوع مهم در تحقیقات دانشگاهی و صنعتی به شمار می‌رود [۱].

۱-۲- مروری بر تحقیقات پیشین

ارتعاشات چتر برای بیش از یک قرن است که مورد بررسی قرار می‌گیرد و هنوز یکی از موانع اصلی در دستیابی به اتوماسیون^۵ برای اغلب فرآیندهای ماشین‌کاری همچون تراشکاری^۶، فرزکاری^۷ و سوراخ‌کاری^۸ به شمار می‌رود. به عنوان نمونه‌هایی از این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

¹ Free vibration
² Forced vibration
³ Machining
⁴ Instability
⁵ Automation
⁶ Turning
⁷ Milling
⁸ Drilling

در ابتدا پدیده چتر به عنوان یک محدودکننده بهره‌وری در فرآیندهای ماشین‌کاری توسط تیلور^۱ معرفی شد. او از جمله افرادی بود که مطالعات زیادی بر روی فرآیندهای براده‌برداری فلزات انجام داد [۳].

آرنولد^۲ تأثیر استفاده از ابزارهای براده‌برداری گوناگون را به هنگام براده‌برداری بر روی انواع ماشین‌های ابزار، به صورت تحلیلی^۳ و آزمایشگاهی^۴ بررسی کرد. وی همچنین مکانیزم‌های ایجاد چتر را بیان کرده و نیروهای براده‌برداری^۵ را به عنوان یک تابع از سرعت برشی پیشنهاد داد [۴].

پدیده چتر در اثر ناپایداری در فرآیند براده‌برداری به وجود می‌آید. تقریباً در یک زمان اما به طور مستقل توبیاس^۶ و فیثویک^۷ [۵] و همچنین تلاستی^۸ و پولاسک^۹ [۶] به این موضوع پی بردند. توبیاس و فیثویک مشاهده کردند که در اثر ارتعاشات حاصل از نیروهای براده‌برداری دینامیکی در حین دوران قطعه‌کار، ضخامت براده^{۱۰} دچار تغییراتی می‌شود که باعث افزایش دامنه ارتعاشات می‌گردد. این ارتعاشات به عنوان چتر احیاکننده شناخته می‌شود. آنها پارامتر عمق براده‌برداری را به عنوان یک پارامتر کلیدی در پایداری فرآیند براده‌برداری شناسایی کردند. تلاستی و پولاسک توانستند یک دیاگرام نواحی پایداری^{۱۱} را بر اساس دینامیک فرآیند براده‌برداری متعامد^{۱۲} رسم کنند. آنها همچنین به صورت تحلیلی نشان دادند که برای عمق‌های براده‌برداری بزرگتر از حد پایداری، دامنه نیروهای براده‌برداری و ارتعاشات سیستم افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث ناپایداری فرآیند و رخداد پدیده چتر می‌شود. آنها با در نظر گرفتن نیروهای براده‌برداری، یک پاسخ تقریبی برای سیستم یک درجه آزادی به دست آوردند.

¹ Taylor

² Arnold

³ Analytically

⁴ Experimentally

⁵ Cutting force

⁶ Tobias

⁷ Fishwick

⁸ Tlusty

⁹ Polacek

¹⁰ Chip thickness

¹¹ Stability lobe diagram (SLD)

¹² Orthogonal cutting