

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

تحلیل دینامیکی و آنالیز ارتعاشی تغذیه کننده‌های ارتعاشی کاسه‌ای

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

طراحی کاربردی

سید حسین اشرفی‌زاده

استاد راهنما

دکتر سعید ضیایی‌راد

اسفند ۱۳۹۰



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی آقای سید حسین اشرفی زاده

تحت عنوان

تحلیل دینامیکی و آنالیز ارتعاشی تغذیه کننده های ارتعاشی کاسه ای

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۰۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| دکتر سعید ضیایی راد | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر مصطفی غیور | ۲- استاد مشاور پایان نامه |
| دکتر حسن نحوی | ۳- استاد داور |
| دکتر محسن صفوی | ۴- استاد داور |
| دکتر محمدرضا سلیم پور | سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران خداوند یگانه را سزااست که مرا به رفیع‌ترین روشنائی هدایت کرد و در اہم را به نور ہمیشہ فروزان دانش روشن ساخت. اکنون کہ گام دیگری از زندگی خود را پشت سر گذارتم، بر خود واجب می‌دانم مراتب سپاس و تقدیر خود را نشانگر کسانمی کنم کہ حضورشان، همچون ستارگان پر نور، ہمواره فرزندہ را ہم بوده است.

خالصانه‌ترین سپاس را به خانوادہ ام بہ ویژه مادرم و پدرم تقدیم می‌کنم کہ بہ واسطہ تشویق و حمایت های بی‌دریغشان، مراد وادی دانش اندوزی پرورش دادند و اول بار با آئین علم آموزی آشنا نمودند، از خداوند بزرگ سلامت و سعادت برای آن ها خواستارم. لازم می‌دانم از زحمات استاد گرامی جناب آقای دکتر سعید ضیائی را و استاد اہمهای این پیمان نامہ تشکر و قدر دانی کنم. از جناب آقای دکتر مصطفی غمخور استاد مشاورم کہ از اہمهای های ارزندہ ایشان بسیار استفادہ کردم نیز کمال تشکر را دارم. در پیمان از ہمہ ی دوستان و عزیزانی کہ در این راه یاری ام نمودند، سپاسگذاری می‌نمایم.

سید حسین اشرفی زاده

اسفندماہ ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نو آوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

چکیده

تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای یکی از تجهیزات اصلی در خطوط مونتاژ اتوماتیک است که وظیفه آن قرار دادن قطعات با جهت‌گیری صحیح در ابتدای خط می‌باشد. قطعات در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای با مکانیزم لغزیدن و یا پرش به سمت جلو حرکت می‌کنند. در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای دو پارامتر در کارکرد و بازدهی آن تاثیر مهمی دارد. پارامتر اول زاویه بین خط ارتعاش مسیر و مسیر است که با عنوان زاویه ارتعاش شناخته می‌شود. پارامتر دوم فرکانس‌های طبیعی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای و شکل مودهای مربوطه آنهاست. این دو پارامتر بر سرعت تغذیه قطعات و میزان انرژی که تغذیه کننده ارتعاشی مصرف می‌کند اثر مستقیم داشته و به این ترتیب بر بازدهی نهایی آن تاثیرگذار هستند. در قسمت اول این تحقیق از روش المان محدود برای آنالیز مودال و آنالیز ارتعاشی یک تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای که با آهنربا تحریک می‌شود استفاده شد. همچنین برای ارزیابی صحت نتایج به دست آمده از این شبیه سازی، آنالیز مودال و ارتعاشی یک تغذیه کننده ارتعاشی به صورت تجربی نیز انجام گرفت و تطابق خوبی بین نتایج یافت شد. در این قسمت اثبات شد که زاویه ارتعاش لزوماً با مکمل زاویه فرهای تخت با صفحه افقی برابر نیست و اثر پارامترهای مختلف از جمله ضخامت فنر تخت، سختی لاستیک‌ها و جرم کاسه بر زاویه ارتعاش و فرکانس طبیعی کاری سیستم بررسی شد. قسمت دوم این پایان‌نامه به بررسی دینامیک قطعات تغذیه شونده در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای می‌پردازد. قطعات در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای بر خوردهای پشت سر هم با اصطکاک دارند. برای مدل کردن حرکت قطعات از یک روش عددی بر پایه فرمول‌بندی روش المان‌های گسسته و زبان برنامه‌نویسی C استفاده شد. برخلاف تحقیقات گذشته در این مدل فرض شد که قطعه تغذیه شونده جرم ذره‌ای نیست بلکه مستطیل شکل بوده و سه درجه آزادی دارد. این شبیه سازی هر دو رفتار پریودیک و بی‌نظم (آشوب) قطعه را توانست نشان دهد و با انجام محاسبات برای دامنه‌های ارتعاش مختلف تطابق خوبی با نتایج تجربی به دست آمد. اثر زاویه ارتعاش، ابعاد قطعه، ضریب اصطکاک و زاویه مسیر نیز بر سرعت متوسط تغذیه بررسی شد و نتایج حاصل ارائه شده‌اند. همچنین بر خلاف کلیه مدل‌های پیشنهاد شده قبلی این روش می‌تواند برخورد بین قطعات را نیز مدل کند. بنابراین با استفاده از این مدل اثر برخورد قطعات بر سرعت تغذیه بررسی شد و نتایج نشان داد که برخورد قطعات موجب افزایش سرعت بالا رفتن قطعات از مسیر شده که در نهایت موجب افزایش سرعت متوسط تغذیه می‌شود. با وجود آنکه این مدل دوبعدی روشی مناسب برای شبیه سازی قطعات می‌باشد و نتایج آن نیز تطابق نسبتاً خوبی با نتایج تجربی دارد، اما قادر به بیان اثر شتاب کوریولیس و برخوردها با دیواره کاسه، بر رفتار قطعه و سرعت متوسط تغذیه نیست. به همین دلیل در فصل آخر این تحقیق از یک مدل سه بعدی بر پایه فرمول‌بندی روش المان‌های گسسته استفاده شد تا رفتار یک قطعه مکعب شکل با شش درجه آزادی که روی مسیر تغذیه کننده ارتعاشی حرکت می‌کند، بررسی گردد. در فصل چهارم نشان داده شده است که این مدل سه بعدی نیز می‌تواند هر دو رفتار پریودیک و بی‌نظم قطعه را نمایش دهد و با انجام محاسبات برای دامنه‌های ارتعاشی مختلف تطابق خوبی بین نتایج این مدل سه بعدی و نتایج تجربی یافت شد. با استفاده از این مدل سه بعدی نشان داده شد که قطعه در حین حرکت به سمت جلو می‌چرخد. همچنین نشان داده شد که موقعیت شعاعی قطعه ثابت نیست و شتاب کوریولیس بر آن اثر می‌گذارد. این مدل سه بعدی همچنین می‌تواند دلیل وجود دو ماکزیمم در نمودار تجربی سرعت متوسط تغذیه بر حسب دامنه ارتعاش را تفسیر کند و این مهمترین ویژگی این مدل محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای، زاویه ارتعاش، روش المان محدود، سرعت متوسط تغذیه، برخورد بی‌نظم، روش المان

گسسته، شتاب کوریولیس

فهرست مطالب

چکیده

فصل اول: پیش نوشت

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۲
۱-۲-۱	کاسه	۳
۲-۲-۱	پایه	۴
۳-۲-۱	فنر	۴
۴-۲-۱	تکیه گاه	۴
۵-۲-۱	آهنربا	۴
۳-۱	نحوه کار تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۵
۴-۱	مرور بر تحقیقات گذشته	۶
۵-۱	بررسی حرکت کاسه و پایه	۷
۶-۱	بررسی حرکت قطعات روی مسیر ماریچی کاسه	۱۰
۷-۱	طراحی تله ها و نصب موانع برای تصحیح جهت قطعات	۱۳
۸-۱	هدف از تحقیق جاری	۱۷

فصل دوم: آنالیز ارتعاشی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای

۱-۲	مقدمه	۱۸
۲-۲	تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۱۹
۳-۲	آزمایش های تجربی	۲۰
۱-۳-۲	تست مودال تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۲۰
۲-۳-۲	آنالیز ارتعاشی و محاسبه زاویه ارتعاش	۲۲
۴-۲	شبیه سازی تغذیه کننده ارتعاشی با استفاده از روش المان محدود	۲۳
۱-۴-۲	پارامترهای مدل و فرمولاسیون مسئله	۲۳
۲-۴-۲	شرایط مرزی و نیروی تحریک	۲۶
۵-۲	بحث و بررسی نتایج	۲۸
۱-۵-۲	نتایج حاصل از شبیه سازی	۲۸
۲-۵-۲	اثر سطح مقطع فنر تخت بر زاویه ارتعاش و فرکانس طبیعی سوم	۳۳
۳-۵-۲	بررسی اثر ساپرت ها بر زاویه ارتعاش و فرکانس طبیعی سوم	۳۵
۴-۵-۲	اثر جرم و ممان اینرسی کاسه بر زاویه ارتعاش و فرکانس طبیعی سوم	۳۶
۶-۲	جمع بندی	۳۸

فصل سوم: بررسی دوبعدی حرکت قطعات در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای با استفاده از روش المان‌های گسسته

۱-۳	مقدمه	۳۹
۲-۳	روش المان‌های گسسته	۴۰
۳-۳	شبه سازی دوبعدی حرکت قطعات روی مسیر	۴۲
۱-۳-۳	پارامترهای مدل و فرمولاسیون مسئله	۴۲
۲-۳-۳	شرایط مرزی	۴۴
۴-۳	روش جرم ذره‌ای برای مکانیزم حرکت لغزش قطعه	۴۵
۵-۳	روش المان‌های گسسته برای مکانیزم حرکت لغزش قطعه	۴۷
۶-۳	روش المان‌های گسسته برای مکانیزم حرکت پرش قطعه	۴۸
۷-۳	اثر زاویه ارتعاش، زاویه مسیر و ضریب اصطکاک بر سرعت متوسط تغذیه	۵۹
۸-۳	بررسی اثر برخورد قطعات با یکدیگر	۶۲
۹-۳	بالا رفتن قطعات از روی مسیر و اثر آن بر سرعت متوسط تغذیه	۶۳
۱۰-۳	جمع بندی	۷۰

فصل چهارم: بررسی سه‌بعدی حرکت قطعه در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای با استفاده از روش المان‌های گسسته

۱-۴	مقدمه	۷۱
۲-۴	شبه سازی سه بعدی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۷۲
۱-۲-۴	پارامترهای مدل و فرمولاسیون مسئله	۷۲
۳-۴	شرایط مرزی	۷۵
۱-۳-۴	برخورد با مسیر	۷۵
۲-۳-۴	برخورد با دیواره کاسه	۷۹
۳-۳-۴	اثر شتاب جاذبه	۸۰
۴-۴	روش المان‌های گسسته برای مکانیزم حرکت لغزش قطعه	۸۱
۵-۴	روش المان‌های گسسته برای مکانیزم حرکت پرش قطعه	۸۱
۶-۴	اثر شتاب کوریولیس بر حرکت قطعه در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای	۸۶
۷-۴	بررسی اثر ضریب اصطکاک دیواره و شعاع کاسه بر سرعت متوسط تغذیه	۹۳
۸-۴	جمع بندی	۹۸

فصل پنجم: دستاوردها و پیشنهادها

۱-۵	دستاوردها	۹۹
۲-۵	پیشنهادها	۱۰۲
	مراجع	۱۰۴

فهرست تصاویر

- شکل ۱-۱: اجزای تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای ۳
- شکل ۲-۱: ارتعاش مسیر با زاویه ψ به دلیل حرکت عمودی و چرخشی کاسه ۵
- شکل ۳-۱: زاویه ارتعاش اپتیمم بر حسب ضریب اصطکاک ۱۰
- شکل ۴-۱: استفاده از تله گیوتین برای بازگرداندن قطعات با جهت گیری نامناسب به داخل کاسه ۱۳
- شکل ۵-۱: استفاده از تله گیوتین برای بازگرداندن قطعات با جهت گیری نامناسب به داخل کاسه ۱۴
- شکل ۶-۱: استفاده از تله ۷- شکل برای بازگرداندن قطعات با جهت گیری نامناسب به داخل کاسه ۱۴
- شکل ۷-۱: استفاده از صفحه تیغه ای شکل برای بازگرداندن قطعات با جهت گیری نامناسب به داخل کاسه ۱۵
- شکل ۸-۱: چند نمونه از موانع مکانیکی و مدل جایگزین آن با استفاده از سنسور و جت باد ۱۵
- شکل ۱-۲: شماتیکی از تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای و اجزای تشکیل دهنده آن ۱۹
- شکل ۲-۲: شماتیکی از تست مودال برای محاسبه چند فرکانس طبیعی اول ۲۱
- شکل ۳-۲: نمودار FRF حاصل از تست مودال تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای ۲۱
- شکل ۴-۲: موقعیت شتاب سنج روی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای ۲۲
- شکل ۵-۲: شبکه نهایی مدل تغذیه کننده ارتعاشی در نرم افزار آباکوس ۲۴
- شکل ۶-۲: نحوه محاسبه $a_{(0)}$ و $b_{(0)}$ در روش پیک پیکینگ ۲۶
- شکل ۷-۲: نیروی آهنربا اعمال شده به کاسه و پایه به صورت بار گسترده ۲۷
- شکل ۸-۲: سه شکل مود اول تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای ۳۰
- شکل ۹-۲: انرژی کرنشی مجازی، انرژی جنبشی، انرژی کرنشی و انرژی کل با تابعیت زمان ۳۱
- شکل ۱۰-۲: شتاب اندازه گیری شده توسط دستگاه مختصات محلی تعریف شده در دو جهت مماسی و عمودی ۳۲
- شکل ۱۱-۲: زاویه ارتعاش به صورت تابعی از ضخامت فنر ۳۴
- شکل ۱۲-۲: فرکانس طبیعی سوم به صورت تابعی از ضخامت فنر تخت ۳۴
- شکل ۱۳-۲: ممان اینرسی سطح به صورت تابعی از ضخامت فنر تخت ۳۵
- شکل ۱۴-۲: زاویه ارتعاشی به عنوان تابعی از ممان اینرسی کاسه ۳۷
- شکل ۱-۳: شماتیکی از برخورد دو کره و فنر و مستهلک کننده‌های عمودی و مماسی در روش المان‌های گسسته ۴۱
- شکل ۳-۳: یک قطعه مستطیل شکل با ابعاد $mm\ 8\ 8\ 27$ گسسته شده با ۳۵۰ دایره ۴۴
- شکل ۴-۳: جابجایی افقی قطعه نسبت به دستگاه مختصات اصلی ۴۷
- شکل ۵-۳: شماتیکی از قطعه مستطیل شکل روی مسیر ۴۸
- شکل ۶-۳: مقایسه جابجایی افقی محاسبه شده برای دو حل جرم ذره ای و روش المان‌های گسسته ۴۸
- شکل ۷-۳: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش ۴۹
- شکل ۸-۳: سرعت افقی و جابجایی عمودی قطعه و مسیر برای دامنه ارتعاش $1.4a_{0max}$ ۵۲
- شکل ۹-۳: سرعت افقی و جابجایی عمودی قطعه و مسیر برای دامنه ارتعاش $1.6a_{0max}$ ۵۳
- شکل ۱۰-۳: سرعت افقی و جابجایی عمودی قطعه و مسیر برای دامنه ارتعاش $2.2a_{0max}$ ۵۴

- شکل ۳-۱۱: سرعت افقی و جابجایی عمودی قطعه و مسیر برای دامنه ارتعاش $2.6a_{0max}$ ۵۵
- شکل ۳-۱۲: وضعیت برخورد قطعه با مسیر ۵۸
- شکل ۳-۱۳: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای قطعه مستطیلی با پهناهای مختلف ۵۹
- شکل ۳-۱۴: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از زاویه ارتعاش برای چندین دامنه ارتعاش ۶۰
- شکل ۳-۱۵: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای چندین ضریب اصطکاک ۶۱
- شکل ۳-۱۶: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای چندین زاویه مسیر ۶۲
- شکل ۳-۱۷: شماتیکی از پنج قطعه قرار گرفته کنار هم ۶۳
- شکل ۳-۱۸: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای یک قطعه و پنج قطعه ۶۳
- شکل ۳-۱۹: شماتیکی از قطعه روی مسیر و قبل از آن و زوایای ارتعاش برای این دو حالت ۶۵
- شکل ۳-۲۰: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای سه زاویه مسیر ۲، ۵ و ۸ درجه ۶۵
- شکل ۳-۲۱: جابجایی به عنوان تابعی از زمان برای زوایای مسیر ۲، ۵ و ۸ درجه ۶۷
- شکل ۳-۲۲: شماتیکی از بالا رفتن قطعه از مسیر ۶۷
- شکل ۳-۲۳: جابجایی قطعه جلویی به عنوان تابعی از زمان برای حالتی که پنج قطعه با فاصله از مسیر قرار داده شده اند ۶۹
- شکل ۴-۱: شماتیکی از یک قطعه مکعب شکل گسسته شده با حدودا ۴۰۰۰ کره ۷۲
- شکل ۴-۲: شماتیکی از مسیر، کاسه و مسیر ماریچی با شعاع R_I ۷۶
- شکل ۴-۳: شماتیکی از روش استفاده شده برای بررسی برخورد هر کره با مسیر ۷۷
- شکل ۴-۴: دستگاه مختصات محلی تعریف شده در نقطه O برای کره‌هایی که با مسیر برخورد کرده اند ۷۸
- شکل ۴-۵: نمای از بالا کاسه و سرعت مماسی دیواره به دلیل حرکت چرخشی کاسه ۷۹
- شکل ۴-۶: جابجایی به عنوان تابعی از زمان برای مکانیزم لغزیدن ۸۰
- شکل ۴-۷: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش ۸۱
- شکل ۴-۸: شماتیکی از قطعه مستطیل شکل روی مسیر ماریچ کاسه ۸۳
- شکل ۴-۹: وضعیت برخورد قطعه با مسیر ۸۶
- شکل ۴-۱۰: مسیر هلیکال کاسه و قطعه مکعب شکل روی آن ۸۷
- شکل ۴-۱۱: حرکت قطعه و نیروهای وارد به آن در نیم سیکل اول حرکت قبل از بلند شدن قطعه از روی مسیر ۸۷
- شکل ۴-۱۲: حرکت قطعه و نیروهای وارد به آن در نیم سیکل دوم حرکت هنگام برخورد قطعه با مسیر ۸۸
- شکل ۴-۱۳: زاویه η معیاری برای بیان اندازه چرخش قطعه در حین حرکت رو به جلو روی مسیر ۸۸
- شکل ۴-۱۴: اندازه چرخش قطعه به عنوان تابعی از زمان برای دامنه های ارتعاشی مختلف (شعاع کاسه = ۱۶۰ میلیمتر) ۸۹
- شکل ۴-۱۵: موقعیت شعاعی قطعه به عنوان تابعی از زمان ۹۲
- شکل ۴-۱۶: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از زمان برای دو حالت ضریب اصطکاک دیواره کاسه ۹۳
- شکل ۴-۱۷: سرعت متوسط تغذیه به عنوان تابعی از دامنه ارتعاش برای دو کاسه با اندازه های مختلف ۹۵
- شکل ۴-۱۸: اندازه چرخش قطعه به عنوان تابعی از زمان برای دامنه های ارتعاشی مختلف (شعاع کاسه = ۱۰۰ میلیمتر) ۹۵
- شکل ۴-۱۹: موقعیت شعاعی قطعه به عنوان تابعی از زمان ۹۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مشخصات تغذیه کننده ارتعاشی استفاده شده در این تحقیق ۱۹
- جدول ۲-۲ نتایج حاصل از آنالیز ارتعاشی ۲۳
- جدول ۳-۲ سه فرکانس طبیعی سه مودشپ اول ۳۰
- جدول ۴-۲: مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی المان محدود و نتایج تجربی ۳۲
- جدول ۵-۲: سختی های استفاده شده برای ساپرت تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای ۳۶
- جدول ۱-۳: مشخصات فیزیکی استفاده شده در این مدل ۴۷
- جدول ۲-۳: مقایسه نتایج حاصل از حل روش المان های گسسته پیشنهادی و نتایج تجربی ۴۹
- جدول ۳-۳: شرح نقاط کمکی A, B, C, D و E ۵۰
- جدول ۱-۴: مقایسه نتایج حاصل از حل روش عددی پیشنهادی و نتایج تجربی ۸۱

فصل اول:

پیش نوشت

۱- مقدمه

ظهور خطوط مونتاژ به طور قابل ملاحظه‌ای دنیای صنعت را تحت تاثیر قرار داده است. پیش از آن، کلیه فرایند سرهم سازی قطعه توسط یک اپراتور انجام می‌گرفت و در بعضی خطوط تولید حساس، مانند ساعت سازی، حتی ساخت اجزا هم توسط همان اپراتور مونتاژ انجام می‌شد. این به معنای این بود که یک اپراتور کارهای زیادی انجام می‌داد که نتیجه نهایی آن کاهش در سرعت تولید بود. در دهه‌های اخیر ماشین‌های صنعتی توانسته‌اند تا حد زیادی جایگزین نیروی انسانی شوند. ماشین‌ها قادرند قطعات را با سرعت بیشتر، هزینه کمتر و تکرارپذیری دقیق‌تری تولید نمایند بدون این که نیاز به استفاده از کارگرهای ماهر باشد. با پیشرفت علم و خصوصا علم الکترونیک، ماشین‌ها و ربات‌های صنعتی هر چه بیشتر جایگزین نیروی انسانی شده‌اند و با پیشرفت ماشین‌ها و خطوط مونتاژ اتوماتیک، امکان راه‌اندازی خطوط مونتاژ پیشرفته‌ای مانند خطوط مونتاژ اتومبیل نیز میسر شده است [۱].

یک سیستم مونتاژ اتوماتیک معمولا از سه بخش اصلی ماشین انجام دهنده عملیات مونتاژ، سیستم تغذیه قطعات اولیه (بستگی به شرایط یک یا چند عدد در نقاط مختلف خط تولید) و سیستم انتقال و حرکت قطعه تشکیل می‌شود. در هر

خط تولیدی قطعات اولیه باید ابتدا با جهت‌گیری مناسب وارد خط تولید شوند. بنابراین تغذیه‌کننده‌هایی^۱ که برای این منظور استفاده می‌شوند از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. به هر دستگامی که ورودی آن تعدادی قطعات با جهت‌گیری بی‌نظم و خروجی آن قطعات با جهت‌گیری مشخص به مکان موردنظر است، یک تغذیه‌کننده قطعات گفته می‌شود [۲].

بستگی به نوع نیروی تحریک، تغذیه‌کننده‌های قطعات به دو نوع ارتعاشی^۲ و غیرارتعاشی^۳ تقسیم می‌شوند. تغذیه‌کننده‌های غیرارتعاشی معمولاً به صورت خاص برای خطوط مشخصی طراحی می‌شوند و در خطوط تولید بزرگ از آنها استفاده می‌شود. در حالی که تغذیه‌کننده‌های ارتعاشی عمومیت بیشتری داشته و با انجام یک سری تغییرات جزئی می‌توانند برای تغذیه چندین قطعه اولیه در خطوط تولید گوناگون استفاده شوند. تغذیه‌کننده‌های ارتعاشی به دو نوع خطی^۴ و کاسه‌ای شکل^۵ تقسیم می‌شوند. در حال حاضر تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه‌ای^۶ معمول‌ترین نوع تغذیه‌کننده برای تغذیه قطعات کوچک در خطوط مونتاژ است [۳].

۱-۲ تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه‌ای

همان‌طور که اشاره شد رایج‌ترین نوع تغذیه‌کننده ارتعاشی به صورت یک کاسه که مسیر ماریچی در آن تعبیه شده، طراحی و تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه‌ای نامیده می‌شود. قطعات در این کاسه ریخته و سپس در مسیر به سمت بالا حرکت می‌کنند تا به ابتدای خط تولید برسند. در ضمن این حرکت جهت‌گیری قطعات نیز بررسی می‌شود و چنانچه به صورت مطلوب نباشند یا به داخل کاسه برگردانده می‌شوند و یا با استفاده از مکانیزم‌هایی به جهت موردنظر تغییر داده می‌شوند [۴].

تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه‌ای از پنج بخش اصلی تشکیل می‌شود:

۱- کاسه^۷

۲- پایه^۸

۳- فنر تخت^۹

¹ Part feeders

² Vibratory part feeders

³ Non-vibratory part feeders

⁴ Linear

⁵ Bowl configuration

⁶ Vibratory bowl feeder (VBF)

⁷ Bowl

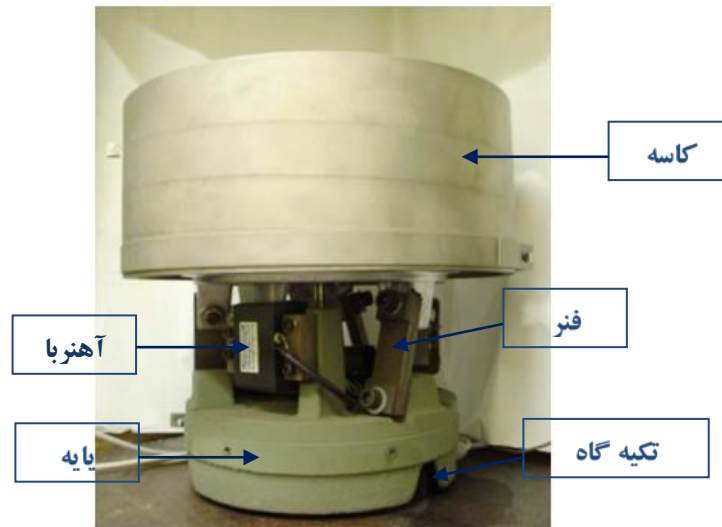
⁸ Base

⁹ Leaf spring

۴- تکیه‌گاه^۱

۵- آهنربا^۲

شکل ۱-۱ یک تغذیه کننده ارتعاشی را با پنج قسمت اصلی آن نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: اجزای تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای [۵]

۱-۲-۱ کاسه

قطعات تغذیه شونده ابتدا داخل کاسه ریخته می‌شوند و به دلیل ارتعاشات کاسه روی مسیر مارپیچ ایجاد شده در دیواره حرکت می‌کنند تا به ابتدای خط تولید برسند. روی کاسه و در مسیر حرکت قطعات موانع مکانیکی، سنسور و جت باد نیز برای تشخیص و اصلاح جهت قطعات نصب می‌شود. کاسه معمولاً از جنس فولاد ساخته می‌شود، که گاهی برای بالا بردن ضریب اصطکاک و همچنین کاهش صدای برخورد قطعات با کاسه یک پوشش پلیمری روی سطح کاسه و سطح مسیر که روی بدنه آن وجود دارد، نیز داده می‌شود [۶].

¹ Support

² Magnet

۱-۲-۲ پایه

پایه معمولاً از جنس فولاد ساخته و به گونه‌ای طراحی می‌شود که از کاسه سنگین تر باشد. پایه معمولاً از طریق تکیه‌گاه به زمین متصل می‌شود.

۱-۲-۳ فنر تخت

در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای، کاسه از طریق سه یا چهار فنر تخت به پایه متصل می‌شود. جنس فنرهای تخت معمولاً از فولاد فنی بوده و به گونه‌ای نصب می‌شوند که خمش و پیچش آنها حرکت موردنظر کاسه را موجب شود [۷].

۱-۲-۴ تکیه‌گاه

تکیه‌گاه‌ها پایه را به زمین متصل می‌کنند. تغذیه کننده در کنار یک خط تولید قرار می‌گیرد. چنانچه ارتعاشات زیادی از طریق تکیه‌گاه‌ها به خط تولید منتقل شود می‌تواند در کارکرد کلی خط تولید ایجاد نقص و اشکال نماید. بنابراین انتخاب نوع تکیه‌گاه از این جهت دارای اهمیت است.

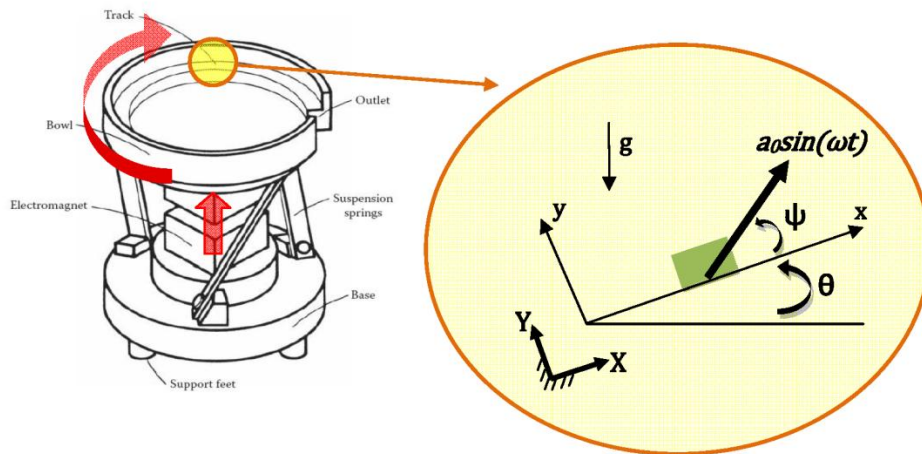
۱-۲-۵ آهنربا

یکی از محرک‌های رایج برای ایجاد ارتعاشات در تغذیه کننده‌های ارتعاشی آهنربا است. آهنربا شامل یک قسمت ثابت، یک قسمت متحرک، کیت الکتریکی و یک هسته آهنی است. قسمت ثابت آهنربا به پایه متصل شده و قسمت متحرک آن به کاسه وصل می‌شود. همان‌طور که اشاره شد اتصال بین کاسه و پایه توسط المان‌های الاستیک (فنرهای تخت مایل) است. عبور جریان برق از هسته آهنی میدان مغناطیسی ایجاد کرده و این میدان مغناطیسی سبب جذب قسمت ثابت و متحرک آهنربا به سمت هم و در نهایت ایجاد ارتعاش در کاسه و پایه می‌شود [۸]. آهنربا به گونه‌ای انتخاب می‌شود که فرکانس ارتعاش آن نزدیک فرکانس طبیعی اول مجموعه باشد. امروزه همچنین می‌توان از کنترل کننده‌های ولتاژ-جریان^۱ برای افزایش بازدهی تغذیه کننده‌های ارتعاشی که با آهنربا کار می‌کنند استفاده نمود. لازم به ذکر است که در بعضی از انواع جدیدتر تغذیه کننده‌ها از پیزو الکتریک‌ها به دلیل کنترل پذیری بالاتر آنها به جای آهنربا استفاده می‌شود [۹].

¹ Power supplies

۳-۱ نحوه کار تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای

حرکت کاسه در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای به گونه‌ای است که زمانی که آهنربا آن را به سمت پایین (به طرف پایه) می‌کشد یک حرکت چرخشی نیز حول محور حرکت عمودی خود انجام می‌دهد. نسبت حرکت چرخشی به حرکت عمودی در هر سیکل به شکل فرهای تخت، طول، ضخامت و پارامترهای هندسی نصب آنها بستگی دارد. این حرکت رفت و برگشتی به گونه‌ای است که هر نقطه از مسیر داخل کاسه در راستای یک خط زاویه دار نسبت به مسیر به صورت هارمونیک ارتعاش می‌کند. زاویه بین خط ارتعاش قطعات و مسیر به عنوان زاویه ارتعاش شناخته شده و با علامت ψ نشان داده می‌شود. زاویه مسیر ماریچ با سطح کاسه، زاویه مسیر نامیده شده و با علامت θ نشان داده می‌شود. قطعات موجود روی مسیر به دلیل این ارتعاشات به سمت جلو حرکت می‌کنند تا به ابتدای خط تولید برسند. در شکل ۲-۱ حرکت کاسه و زاویه ψ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲-۱: ارتعاش مسیر با زاویه ψ به دلیل حرکت عمودی و چرخشی کاسه

قطعات در تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای توسط دو مکانیزم لغزش^۱ و پرش^۲ به سمت جلو حرکت می‌کنند. در مکانیزم لغزش زمانی که کاسه به سمت بالا حرکت می‌کند و در جهت رو به جلو مسیر می‌چرخد، اصطکاک بین مسیر و قطعات افزایش یافته و قطعات همراه کاسه حرکت می‌کنند. در قسمت دوم سیکل حرکتی، کاسه به سمت پایین حرکت کرده و در جهت عکس می‌چرخد. در اثر حرکت رو به پایین کاسه اصطکاک بین قطعات و مسیر کاهش یافته و قطعات دیگر

¹ Sliding

² Hopping

همراه کاسه حرکت نمی‌کنند. بلکه نسبت به مسیر لغزیده و بنابراین در جای خود باقی می‌مانند. با تکرار این پروسه قطعه نسبت به مسیر به سمت جلو پیش می‌رود [۱۰].

در مکانیزم حرکتی پرش، نیروی آهنربا آنقدر افزایش می‌یابد که شتاب حرکت عمودی مسیر بیشتر از شتاب جاذبه شده ($9/8 \text{ m/s}^2$) و قطعه از روی مسیر بلند شده و به سمت جلو پرتاب می‌شود. در واقع در این مکانیزم در نیم سیکل اول که کاسه به سمت بالا و در جهت مسیر می‌چرخد، قطعه به سمت جلو پرتاب شده و در نیم سیکل دوم قطعه به مسیر بازگشته و عملیات پیشروی به این ترتیب تکرار می‌شود.

پارامترهای زیادی می‌توانند بر روی سرعت متوسط تغذیه قطعه اثر بگذارند. بعضی از این پارامترها تابع مشخصات ساختاری تغذیه کننده ارتعاشی می‌باشند از آن جمله می‌توان به زاویه ارتعاش، زاویه مسیر، فرکانس ارتعاش و دامنه ارتعاش اشاره نمود. بعضی دیگر از پارامترهای موثر بر سرعت تغذیه تابع جنس قطعه تغذیه شونده و مشخصات هندسی و فیزیکی آن می‌باشند. برای مثال می‌توان به ضریب اصطکاک بین قطعه و مسیر، ضریب برگشت پذیری بین قطعه و مسیر، چگالی قطعه و ابعاد قطعه اشاره نمود.

به طور کلی افزایش دامنه ارتعاش موجب افزایش سرعت تغذیه می‌شود. اگرچه در بعضی شرایط افزایش دامنه بیش از حد مشخصی ممکن است نه تنها موجب افزایش بیشتر سرعت تغذیه نشده بلکه منجر به کاهش آن شود. یکی از پارامترهایی که بر سرعت تغذیه تاثیر گذار است، زاویه ارتعاش است. به نظر می‌رسد برای هر قطعه با مشخصات فیزیکی و هندسی خاص یک زاویه ارتعاش اoptimum وجود داشته که سرعت تغذیه را ماکزیمم می‌نماید.

با ساخت مسیر از مواد پلاستیکی یا لاستیکی، ضریب اصطکاک بین قطعه و مسیر افزایش یافته که می‌تواند موجب افزایش سرعت تغذیه شود. اثر دیگر آن افزایش ضریب برخورد می‌باشد که می‌تواند موجب افزایش سرعت تغذیه گردد. همچنین یکی از مشکلات تغذیه کننده‌های ارتعاشی سر و صدای قطعات تغذیه شونده در اثر برخورد با مسیر می‌باشد که در صورت استفاده از لاستیک یا پلاستیک سر و صدای ناشی از برخورد قطعات نیز تا حد زیادی کاهش می‌یابد [۳].

۱-۴ مرور بر تحقیقات گذشته

تا کنون تحقیقات زیادی روی تغذیه کننده‌های ارتعاشی صورت گرفته است. پویدایلو در سال ۱۹۵۹ قدم‌های طراحی یک تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای را شرح داد [۱۱]. در سال ۱۹۸۴ این تحقیق با اضافه نمودن مباحث استفاده از سنسورها

و تجهیزات الکترونیکی کامل گردید [۱۲]. تعدادی از تحقیقات در رابطه با اهمیت و کاربرد تغذیه کننده ارتعاشی در صنعت بحث می کنند که از آن جمله می توان به مرجع [۳] اشاره نمود.

اسمیث فاکتورهای اصلی برای انتخاب تغذیه کننده ارتعاشی مناسب در یک خط مونتاژ را مورد بحث قرار داد [۱۳]. تحقیقاتی شبیه کار اسمیث برای انتخاب تغذیه کننده ارتعاشی مناسب را می توان در مرجع [۱۴] نیز یافت.

به جز تحقیقات انجام شده که بیانگر کلیاتی از اهمیت تغذیه کننده ارتعاشی در صنعت هستند، به طور کلی روند تحقیقات در دو دهه اخیر در مورد تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای را می توان به سه بخش کلی تقسیم کرد:

- بررسی حرکت کاسه و پایه
- بررسی حرکت قطعات روی مسیر هلیکال کاسه
- طراحی تله ها و مسیر

با توجه به اینکه حرکت قطعات وابسته به حرکت مسیر است و حرکت مسیر در واقع همان حرکت کاسه می باشد، در بعضی از مقالات بخش اول و دوم با هم بررسی شده اند، به این معنا که ابتدا معادلات حرکت کاسه استخراج شده، سپس این معادلات به عنوان شرایط مرزی برای بررسی نحوه حرکت قطعات روی مسیر اعمال می شوند. لازم به ذکر است به دلیل جرم کم قطعات تغذیه شونده نسبت به جرم کاسه و پایه، معادلات دسته اول با تقریب خوبی از معادلات دسته دوم مستقل می باشند.

در ادامه تحقیقات انجام شده در هر کدام از این سه بخش به طور جداگانه بررسی می گردد.

۱-۵ بررسی حرکت کاسه و پایه

بدیهی است که شبیه سازی یک سیستم قبل از عملیات ساخت مزایای اقتصادی زیادی داشته و می تواند در بالا بردن کیفیت نهایی محصول نیز تاثیر گذار باشد. در گذشته که هنوز علم نرم افزار و سخت افزار پیشرفت نکرده بود، برای طراحی یک قطعه یا تعداد زیادی آزمایش تجربی صورت می گرفت و یا از مدل های ساده ریاضی استفاده می شد. اگرچه آزمایش های تجربی روشی مطمئن برای طراحی است، اما با انجام هر تغییر کوچک در طراحی تمام این آزمایش ها باید دوباره تکرار شوند. این کار علاوه بر وقت گیر بودن هزینه های چشمگیری نیز بر تولید کننده تحمیل می کنند. تا به حال چندین مدل برای تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای پیشنهاد شده است که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می شود.

مری و موترزهد از یک مدل هشت درجه آزادی برای به دست آوردن هشت فرکانس طبیعی تغذیه کننده ارتعاشی استفاده کردند. در این تحقیق از روش جرم متمرکز^۱ استفاده گردیده که در آن کاسه و پایه صلب توسط سه عدد فنر تخت از یکدیگر جدا می‌شوند. در این مدل فرض شده که کاسه و پایه هر کدام چهار درجه آزادی دارند؛ حرکت عمودی و چرخشی حول محور Z، حرکت چرخشی حول محور X و حرکت چرخشی حول محور Y. برای به دست آوردن معادلات حاصل از خمش تیرها از مدل تیر اویلر-برنولی استفاده شده است. همچنین فرض شده که جرم در کاسه و پایه به صورت یکنواخت حول محور Z توزیع و هر سه فنر تخت کاملاً شبیه هم می‌باشند. بنابراین سختی خمشی یکسانی برای همه آنها در معادلات در نظر گرفته شده است. برای بررسی صحت معادلات و فرضیات صورت گرفته، نتایج مدل با نتایج تجربی مقایسه و نشان داده شده است که در فرکانس‌های تحریک بالا برای به دست آوردن فرکانس‌های طبیعی، جواب‌ها با نتایج تجربی همخوانی نداشته و مدل بیش از حد قیدگذاری گردیده است^۲ [۱۵].

اوکاب با انجام ساده سازی‌هایی در مورد تغییر شکل فنرهای تخت، مدلی را برای اندازه‌گیری فرکانس‌های طبیعی ارائه داد. در این مدل فرض شد که تغییر شکل فنرهای تخت از یکدیگر مستقل بوده و جابجایی نهایی کاسه از مجموع این تغییر شکل‌ها محاسبه می‌شود. این روش محاسبه سختی معادل فنرهای تخت را بسیار آسان‌تر کرد. اوکاب فرکانس‌های طبیعی را برای حالت پایه ثابت و معلق محاسبه نمود و با انجام تست‌های تجربی اظهار کرد که نتایج حاصل از این مدل فقط برای حالتی که ضخامت فنرهای تخت نسبتاً کوچک باشد، قابل قبول است [۱۶].

ماول و توماس [۱۰] یک مدل ریاضی فضایی^۳ پیشنهاد دادند که دارای سه درجه آزادی به صورت حرکت عمودی پایه، چرخشی پایه و خمش فنرهای تخت می‌باشد. حرکت کاسه نیز مقید به حرکت پایه و خمش فنرهای تخت شده و از این طریق محاسبه گردید. کاسه و پایه هر دو به صورت صلب در نظر گرفته شدند و فرض گردید چنان مقید شده اند که فقط می‌توانند حرکت عمودی در جهت Z و چرخش حول این محور داشته باشند. از جرم فنرهای تخت صرف نظر گردید و به صورت جرم معادل به کاسه و پایه اضافه گردید. همچنین فرض گردید فنرهای تخت فقط خمش داشته و از کشش و پیچش آنها صرف نظر گردید. از قانون دوم نیوتن برای استخراج معادلات استفاده شد. اما ماول بعضی پارامترهای هندسی را در معادلات خود در نظر نگرفت. در سال ۲۰۰۵ دای [۵] این پارامترها را نیز در نظر و معادلات حرکت را مجدداً از روش قانون دوم نیوتن استخراج نمود. وی همچنین برای نشان دادن صحت معادلات به دست آمده، معادلات حرکت را از روش لاگرانژ نیز محاسبه و با معادلات قبلی تطبیق داد.

^۱ Lumped parameter approach

^۲ Over constrained

^۳ State space

آهنربا فقط نیروی جاذبه اعمال می‌کند و نمی‌تواند نیروی دافعه ایجاد نماید. بنابراین با توجه به اینکه آهنربا با ولتاژ متناوب کار می‌کند و برای ولتاژ مثبت و منفی هر دو نیروی جاذبه ایجاد می‌کند، پس فرکانس کاری آن دو برابر فرکانس ولتاژ متناوب متصل به آن است. نیروی آهنربا تابع جابجایی نیز می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ ویلان [۸] با فرض اینکه پایه کاملاً ثابت باشد، اثر جابجایی بر نیروی آهنربا را وارد معادلات کرد. سپس با انجام فرضیات و ساده سازی‌هایی معادلات حرکت را حل نمود و از جواب‌های به دست آمده برای بررسی نحوه حرکت قطعات روی مسیر کاسه استفاده نمود. اما در تحقیق ویلان یک اشتباه بارز وجود دارد و آن دامنه ارتعاش کاسه است. ویلان در حل معادلات دامنه ارتعاش کاسه را نزدیک یک میلیمتر در نظر می‌گیرد. برای این دامنه ارتعاش اثر جابجایی بر نیروی آهنربا قابل توجه است، اما واقعیت آن است که در تغذیه کننده‌های ارتعاشی کاسه‌ای دامنه ارتعاش به ندرت از ۰/۲ میلیمتر بیشتر می‌شود که برای این دامنه ارتعاش دیگر اثر جابجایی بر نیروی آهنربا قابل اغماض بوده، بدون اینکه به خطای زیادی منتهی شود.

دانستن فرکانس‌های طبیعی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای بسیار مهم است. زیرا فرکانس آهنربا باید نزدیک فرکانس طبیعی مورد نظر باشد تا با حداقل انرژی که به آهنربا داده می‌شود، ارتعاشات با دامنه مورد نظر حاصل شود. در سال ۲۰۰۳ چوی [۹] با استفاده از روش المان محدود فرکانس‌های طبیعی و مود شیب‌های مربوطه را برای یک تغذیه کننده ارتعاشی محاسبه نمود. چوی همچنین با انجام تست مودال به صورت تجربی صحت نتایج به دست آمده از این شبیه سازی را کنترل نمود. چوی با توجه به تطابق خوب بین نتایج حاصل از شبیه سازی و تست مودال روش المان محدود را به عنوان روشی مناسب برای آنالیز مودال تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای معرفی کرد.

در سال ۲۰۰۶ دای ماتریس سختی تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای را با فرض اینکه فنرهای تخت در حین حرکت دچار خمش، پیچش و کشش می‌شوند، محاسبه نمود. او نشان داد که سختی سیستم فقط تابع سختی خمشی فنرهای تخت نبوده و تابع سختی پیچشی و کششی آنها نیز می‌باشد [۷]. دای از فرضیات و ساده سازی‌هایی برای محاسبه میزان پیچش فنرهای تخت و محاسبه سختی پیچشی آنها استفاده کرد که لزوماً صحیح نبوده و بستگی به اندازه و شکل فنر تخت ممکن است دقت کافی را نداشته باشند.

بوترید به صورت تجربی نشان داد که زاویه ارتعاش تاثیر چشمگیری بر سرعت متوسط تغذیه داشته و بستگی به پارامترهای فیزیکی قطعه تغذیه شونده، یک زاویه ارتعاش اپتیمم وجود دارد که سرعت متوسط تغذیه را ماکزیمم می‌نماید [۳]. برای مثال این زاویه ارتعاش اپتیمم بر حسب ضریب اصطکاک در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.