



٩٤٢٢٩

۱۷/۱/۱۰۴۸۸۴
۱۷/۱۱/۶۱



گروه: مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

تحلیل تنش در میل‌لنگ موتور چهار سیلندر خطی بنزینی Z24
با استفاده از روش اجزاء محدود

استاد راهنما:

دکتر منصور راسخ

استاد مشاور:

مهندس عبدالحمید حسینی

توسط:

محمد رنجبرکهن

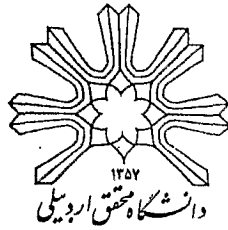
دانشگاه محقق اردبیلی

تابستان ۱۳۸۷

۵ ۴ ۳ ۲ ۱

دانشگاه محقق اردبیلی

۱۳۸۷ / ۱۹ / ۵



تحلیل تنش در میل لنگ موتور چهار سیلندر خطی بنزینی Z24 با
استفاده از روش اجزاء محدود

توسط:

محمد رنجبرکهن

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی
از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه
دکتر منصور راسخ (استاد راهنما و رئیس کمیته داوران) استادیار
دکتر امیرحسین افکاری سیاح (داور داخلی) استادیار
دکتر علی جعفری (داور خارجی) دانشیار
مهندس عبدالحمید حسینی (استاد مشاور) مربی

شهریور - ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر و مادرم

به پاس تشویق و حمایت‌های بی دریغشان

تقدیر و تشکر:

خداوند بخشنده و مهربان را حمد و سپاس می‌گوییم که توفیق به انجام رساندن این پایان‌نامه را به بنده حقیر ارزانی داشت. تمام مشکلات و سختی‌ها را آسان نمود و در تمام لحظات یاور و مددکار من بود.

سپاسگزارم از:

- استاد راهنمای محترم پایان‌نامه، جناب آقای دکتر منصور راسخ که مرا با رهنمودهای بی دریغ خود در طول اجرای این پروژه یاری نمودند ایشان برای من یک معلم علم و اخلاق بودند.

- استاد مشاور محترم پایان‌نامه، جناب آقای مهندس عبدالحمید حسینی که در اجرای مراحل مختلف این پایان‌نامه از هرگونه مساعدت و مشاورت دریغ ننموده‌اند و مرا با نظرهای ارزشمند و راهگشای خویش در طول اجرای این پروژه یاری نمودند.

- قائم مقام مدیر عامل شرکت مگاموتور مهندسی سلیمانی که همکاری‌های لازم برای انجام این پروژه به عمل آوردند. و همچنین کارشناس و پژوهشگر بخش مهندسی این شرکت جناب آقای دکتر نجفی برای مساعدت‌های بی‌دریغشان، و همچنین کارشناس بخش پژوهش و توسعه شرکت مگاموتور مهندسی الیاسی که با اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز، با من همکاری لازم را انجام دادند. همچنین از کارکنان محترم بخش تضمین کیفیت شرکت مگاموتور که با در اختیار قرار دادن فضای کاری و امکانات در تحقق این پایان‌نامه مساعدت داشتند. از مدیران محترم شرکت میل‌لنگ کاران کاشان که به منظور آشنایی هر چه بهتر با مراحل ساخت میل‌لنگ و قرار دادن قطعه‌ای از آن در اختیار بنده مرا یاری نمودند.

- مدیر گروه محترم گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی جناب آقای دکتر عباسپور گیلانده به خاطر تمام مساعدت‌های بی‌شائبه خود.

- خانواده عزیزم که با حمایت‌های بی‌دریغ و همه‌جانبه‌شان توان پیمودن این مسیر را مهیا نموده‌ند.

- دوستان عزیزم که در طول تحصیل و انجام این پژوهش کمک‌های شایانی داشتند.

نام خانوادگی دانشجو: رنجبر کهن	نام: محمد
عنوان پایان نامه: تحلیل تنش در میل لنگ موتور چهار سیلندر خطی بنزینی Z۲۴ با استفاده از روش اجزاء محدود	
استاد راهنما: دکتر منصور راسخ	
استاد مشاور: مهندس عبدالحمید حسینی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی
دانشکده: کشاورزی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۷/۶/۲۷ تعداد صفحه: ۱۱۸
کلید واژه: میل لنگ، تحلیل تنش، فرکانس‌های طبیعی، روش اجزاء محدود، سرعت بحرانی، تشدید	
<p>چکیده: میل لنگ به عنوان عضو اصلی موتورهای احتراق داخلی همواره در معرض اعمال بارهای متنوع، بزرگ، آنی و متغیر است و همین موضوع طراحی، مدل‌سازی و افزایش طول عمر آنرا با مشکلات زیادی روبرو ساخته است. در این تحقیق میل لنگ موتور Z۲۴ در دو حالت تمام بار و دنده معکوس با استفاده از روش اجزاء محدود مورد تحلیل تنش قرار گرفته است. به منظور استخراج مقادیر نیروهای محرک اعمالی وارد بر میل لنگ از تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ با دو روش حل معادلات نیوتنی و نرم افزار Adams/Engine استفاده گردید. همچنین به منظور بهینه‌سازی و کاهش تنش‌های ایجاد شده در میل لنگ میزان شعاع فیلت یاتاقان‌ها اصلاح شد. همچنین معلوم شد با افزایش شعاع فیلت یاتاقان‌ها تنش ایجاد شده در این قسمت‌های میل لنگ کاهش می‌یابد. برای مدل‌سازی و اعمال شرایط مرزی بر روی میل لنگ از نرم افزار اجزاء محدود MSC/Patran و برای تحلیل تنش میل لنگ از نرم افزار اجزاء محدود MSC/Nastran استفاده شد. بیشترین تنش ایجاد شده در میل لنگ در سرعت‌های بالای دنده معکوس و در فیلت یاتاقان متحرک چهارم بود. پس از تحلیل تنش در بحرانی‌ترین حالت‌های ایجاد تنش تعداد سیکل‌های خستگی میل لنگ معلوم شد. در نهایت برای بررسی پدیده تشدید در میل لنگ با تحلیل ارتعاشات آزاد میل لنگ توسط نرم افزارهای اجزاء محدود فوق، فرکانس‌های طبیعی میل لنگ در شکل مودهای مختلف استخراج شد. با استفاده از فرکانس‌های طبیعی سرعت‌های بحرانی میل لنگ محاسبه شد و از مقایسه آن با سرعت کاری میل لنگ معلوم شد میل لنگ به حالت تشدید نمی‌رسد.</p>	

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته.....	۱
۱-۱ مقدمه و ضرورت تحقیق.....	۲
۲-۱ اهداف تحقیق.....	۵
۳-۱ مروری بر تحقیقات گذشته.....	۶
۴-۱ ملاحظات طراحی و ساخت میل لنگ.....	۱۲
فصل دوم - مواد و روش ها.....	۱۴
۱-۲ تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ.....	۱۵
۱-۱-۲ مقدمه.....	۱۵
۲-۱-۲ نحوه عملکرد موتور چهار زمانه.....	۱۶
۳-۱-۲ منحنی $P-\theta$ در سیلندر.....	۱۷
۴-۱-۲ مکانیزم لنگ.....	۱۹
۵-۱-۲ تعیین نیروهای وارد بر یاتاقان های متحرک.....	۲۰
۱-۵-۱-۲ تعیین نیروها با روش حل معادلات نیوتنی (روش دستی).....	۲۰
۲-۵-۱-۲ تعیین نیروها توسط تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ در نرم افزار آدامز انجین ۲۰۰۵.....	۲۹
۲-۲ تحلیل تنش و ارتعاشات آزاد میل لنگ.....	۳۱
۱-۲-۲ تحلیل تنش در میل لنگ.....	۳۳
۱-۱-۲-۲ تئوری شکست.....	۳۳
۲-۱-۲-۲ تئوری گسیختگی انرژی واپیچشی.....	۳۴
۲-۱-۲-۲ مدل سازی.....	۳۸
۴-۱-۲-۲ شرایط مرزی.....	۴۱
۵-۱-۲-۲ اعمال خواص مواد.....	۴۷

- ۵۰ ۶-۱-۲-۲ تحلیل تنش در میل‌لنگ تحت بارگذاری‌های مختلف.
- ۵۰ ۳-۲ بهینه‌سازی میل‌لنگ با تغییر شعاع فیلت یاتاقان‌ها.
- ۵۱ ۴-۲ تحلیل تنش میل‌لنگ در دنده معکوس.
- ۵۱ ۱-۴-۲ گشتاور اعمال شده به کلاچ.
- ۵۴ ۲-۴-۲ مدل‌سازی دنده معکوس.
- ۵۸ ۳-۴-۲ معادلات سیستم انتقال قدرت.
- ۶۱ ۵-۲ خستگی.
- ۶۵ ۶-۲ ارتعاشات آزاد میل‌لنگ.
- ۶۶ ۱-۶-۲ تعیین فرکانس‌های طبیعی میل‌لنگ.
- ۶۹ ۲-۶-۲ سرعت بحرانی.
- ۷۰ فصل سوم- نتایج.
- ۷۱ ۱-۳ نتایج تحلیل دینامیکی مکانیزم لنگ.
- ۷۱ ۱-۱-۳ نتایج تحلیل سینماتیکی مکانیزم لنگ.
- ۷۳ ۲-۱-۳ نتایج بخش تحلیل سینتیکی.
- ۸۰ ۲-۳ نتایج حل عددی دنده معکوس.
- ۸۵ ۳-۳ نتایج تحلیل تنش میل‌لنگ.
- ۸۵ ۱-۳-۳ نتایج تحلیل تنش میل‌لنگ در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه (حالت تمام بار).
- ۸۸ ۲-۳-۳ نتایج تحلیل تنش میل‌لنگ در سرعت دورانی ۴۸۰۰ دور بر دقیقه (حالت تمام بار).
- ۹۲ ۳-۳ نتایج تحلیل تنش میل‌لنگ در دنده معکوس.
- ۱۰۳ ۴-۳ نتایج تحلیل تنش میل‌لنگ با تغییر شعاع فیلت‌ها.
- ۱۰۶ ۵-۳ نتایج مربوط به خستگی میل‌لنگ.
- ۱۰۷ ۶-۳ نتایج تحلیل ارتعاشات آزاد میل‌لنگ.
- ۱۰۷ ۱-۶-۳ تحلیل ارتعاشی میل‌لنگ برای تعیین فرکانس‌های طبیعی میل‌لنگ در حالت آزاد- آزاد.

۳-۶-۲ تحلیل ارتعاشی میل‌لنگ برای تعیین فرکانس‌های طبیعی میل‌لنگ و چرخ طیار در حالت آزاد- آزاد

۱۰۹.....

۱۱۳..... فصل چهارم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۴..... ۱-۴ نتیجه‌گیری

۱۱۵..... ۲-۴ پیشنهادات

۱۱۶..... فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ حساسیت پارامتری فرکانس طبیعی میل‌لنگ در مودهای مختلف به ازای ۲۰ درصد افزایش پارامتر ۹
- شکل ۲-۱ تمرکز تنش در اجزای لنگ ۱۲
- شکل ۱-۲ طرح‌واره اجزاء اصلی موتور ۱۶
- شکل ۲-۲ سیکل‌های موتور چهار زمانه اتو ۱۶
- شکل ۳-۲ منحنی فشار حاصل از احتراق در سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت تمام بار ۱۸
- شکل ۴-۲ منحنی فشار حاصل از احتراق در سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت تمام بار ۱۸
- شکل ۵-۲ منحنی فشار حاصل از احتراق در سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت بدون بار ۱۹
- شکل ۶-۲ اجزاء مکانیزم لنگ موتور ۲۰
- شکل ۷-۲ طرح‌واره‌ای از مکانیزم لنگ موتور ۲۱
- شکل ۸-۲ شتاب‌های عمودی و مماسی دسته پیستون ۲۴
- شکل ۹-۲ نیروهای وارد بر پیستون در نقطه تلاقی دسته پیستون ۲۷
- شکل ۱۰-۲ دسته پیستون و نیروهای وارد بر آن ۲۸
- شکل ۱۱-۲ تعیین گشتاور میل‌لنگ ۲۹
- شکل ۱۲-۲ مجموعه مدل‌سازی شده در نرم‌افزار تحلیل‌گر دینامیکی آدامز انجین ۲۰۰۵ ۳۰
- شکل ۱۳-۲ مجموعه اجزاء محدود میل‌لنگ، مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار MSC/Patran ۳۹
- شکل ۱۴-۲ نحوه دقیق ایجاد المان‌ها ۴۰
- شکل ۱۵-۲ اندازه المان‌ها در نقاط مختلف ۴۰
- شکل ۱۶-۲ محل اعمال فشار بر یاتاقان ۴۳
- شکل ۱۷-۲ تصویر سطح مؤثر یاتاقان ۴۴
- شکل ۱۸-۲ تعیین لزجت دینامیکی روغن بر حسب دما ۴۵
- شکل ۱۹-۲ استخراج زاویه ماکزیمم فشار و زاویه رها شدگی فشار یاتاقانی ۴۶

- شکل ۲-۲۰ استخراج نسبت فشار متوسط به فشار ماکزیمم..... ۴۶
- شکل ۲-۲۱ نمونه برش خورده یاتاقان متحرک میل‌لنگ موتور Z۲۴..... ۴۸
- شکل ۲-۲۲ تصویر میکروسکوپی مناطق مرکزی نمونه یاتاقان متحرک میل‌لنگ Z۲۴..... ۴۹
- شکل ۲-۲۳ تصویر زیرساختار نمونه در مناطق سخت‌کاری شده..... ۴۹
- شکل ۲-۲۴ نیروی عمودی اعمال شده توسط فنر خورشیدی به صفحه کلاچ..... ۵۲
- شکل ۲-۲۵ گشتاور پیچشی صفحه کلاچ بر حسب زاویه دورانی آن..... ۵۴
- شکل ۲-۲۶ موتور و عناصر اصلی سیستم انتقال قدرت..... ۵۸
- شکل ۲-۲۷ طرح‌واره در نظر گرفته شده برای مدل کردن درگیری کلاچ..... ۵۹
- شکل ۲-۲۸ نمودار S-N که با استفاده از نتیجه آزمون‌های خستگی محوری کاملاً معکوس شونده رسم شده است..... ۶۲
- شکل ۲-۲۹ ضریب اصلاحی پرداخت سطح..... ۶۴
- شکل ۲-۳۰ مدل اجزاء محدود مجموعه میل‌لنگ و چرخ طیار..... ۶۸
- شکل ۳-۱ شتاب پیستون در سرعت‌های دورانی ۲۸۰۰، ۴۸۰۰، ۵۷۰۰ و ۶۵۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۱
- شکل ۳-۲ شتاب عمودی دسته پیستون در سرعت‌های دورانی ۲۸۰۰، ۴۸۰۰، ۵۷۰۰ و ۶۵۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۲
- شکل ۳-۳ شتاب افقی دسته پیستون در سرعت‌های دورانی ۲۸۰۰، ۴۸۰۰، ۵۷۰۰ و ۶۵۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۲
- شکل ۳-۴ نیروهای وارد بر پیستون و یاتاقان متحرک در حالت تمام بار و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۳
- شکل ۳-۵ نیروهای وارد بر پیستون و یاتاقان متحرک در حالت تمام بار و در سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۴
- شکل ۳-۶ نیروهای عمودی وارد بر تمام یاتاقان‌های متحرک در حالت تمام بار و در سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل‌لنگ..... ۷۵
- شکل ۳-۷ نیروهای عمودی وارد بر تمام یاتاقان‌های متحرک در حالت تمام بار و در سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه

- حسب زوایای مختلف دوران میل لنگ ۷۵
- شکل ۳-۸ نیروهای عمودی وارد بر یاتاقان متحرک با استفاده از دو روش دستی و نرم‌افزاری در حالت تمام بار و در سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل لنگ ۷۶
- شکل ۳-۹ نیروهای عمودی وارد بر یاتاقان متحرک با استفاده از دو روش دستی و نرم‌افزاری در حالت تمام بار و در سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل لنگ ۷۷
- شکل ۳-۱۰ گشتاور خروجی میل لنگ حاصل از دو روش دستی و نرم‌افزاری در حالت تمام بار و در سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل لنگ ۷۸
- شکل ۳-۱۱ گشتاور خروجی میل لنگ حاصل از دو روش دستی و نرم‌افزاری در حالت تمام بار و در سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه بر حسب زوایای مختلف دوران میل لنگ ۷۸
- شکل ۳-۱۲ گشتاور خروجی موتور در سرعت‌های دورانی مختلف ۷۹
- شکل ۳-۱۳ قدرت خروجی موتور در سرعت‌های دورانی مختلف ۸۰
- شکل ۳-۱۴ دنده معکوس از ۳ به ۱ در ۳ ثانیه ۸۱
- شکل ۳-۱۵ دنده معکوس از ۴ به ۱ در ۵ ثانیه ۸۱
- شکل ۳-۱۶ دنده معکوس از ۴ به ۲ در ۳ ثانیه ۸۲
- شکل ۳-۱۷ نیروهای عمودی وارد بر یاتاقان متحرک در دورهای مختلف در اثر استفاده از دنده معکوس در سرعت‌های دورانی مختلف بر حسب زاویه دوران میل لنگ ۸۳
- شکل ۳-۱۸ نیروهای افقی وارد بر یاتاقان متحرک در اثر استفاده از دنده معکوس در سرعت‌های دورانی مختلف موتور بر حسب زاویه دوران میل لنگ ۸۴
- شکل ۳-۱۹ گشتاور خروجی میل لنگ در اثر استفاده از دنده معکوس در سرعت‌های دورانی مختلف موتور بر حسب زاویه دوران میل لنگ ۸۴
- شکل ۳-۲۰ توزیع تنش ون-میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه، 20° بعد از احتراق سیلندر ۱ یا 20° درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۶
- شکل ۳-۲۱ توزیع تنش ون-میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه، 20° بعد از احتراق سیلندر ۳ یا 20° درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۶

شکل ۳-۲۲ توزیع تنش ون- میسز میل لنگ در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق سیلندر ۴

یا ۳۸۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۷

شکل ۳-۲۳ توزیع تنش ون- میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق

سیلندر ۲ یا ۵۶۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۷

شکل ۳-۲۴ توزیع تنش ون- میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۴۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق

سیلندر ۱ یا ۲۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۹

شکل ۳-۲۵ توزیع تنش ون- میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۴۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق

سیلندر ۳ یا ۲۰۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۸۹

شکل ۳-۲۶ توزیع تنش ون- میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۴۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق

سیلندر ۴ یا ۳۸۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۹۰

شکل ۳-۲۷ توزیع تنش ون- میسز در میل لنگ در سرعت دورانی ۴۸۰۰ دور بر دقیقه، ۲۰° بعد از احتراق

سیلندر ۲ یا ۵۶۰ درجه بعد از چرخش میل لنگ ۹۰

شکل ۳-۲۸ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{max}

..... ۹۳

شکل ۳-۲۹ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۲۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{min}

..... ۹۴

شکل ۳-۳۰ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{max}

..... ۹۵

شکل ۳-۳۱ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۴۸۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{min}

..... ۹۶

شکل ۳-۳۲ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۵۷۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{max}

..... ۹۷

شکل ۳-۳۳ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۵۷۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{min}

..... ۹۸

شکل ۳-۳۴ توزیع تنش ون میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۶۵۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{max}

۹۹

شکل ۳-۳۵ توزیع تنش ون-میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۶۵۰۰ دور بر دقیقه در حالت T_{min}

۱۰۰

شکل ۳-۳۶ توزیع تنش ون-میسز میل لنگ در دنده معکوس و سرعت ۶۵۰۰ دور بر دقیقه در حالت $T=0$

۱۰۱

شکل ۳-۳۷ توزیع تنش ون میسز میل لنگ با تغییر شعاع فیلتهای یاتاقانهای ثابت و متحرک به $1/5(mm)$

۱۰۴

شکل ۳-۳۸ توزیع تنش ون میسز میل لنگ با تغییر شعاع فیلتهای یاتاقانهای ثابت و متحرک به $2/5(mm)$

۱۰۵

شکل ۳-۳۹ فرکانسهای طبیعی میل لنگ در حالت آزاد-آزاد.....

۱۰۸

شکل ۳-۴۰ فرکانسهای طبیعی مجموعه میل لنگ و چرخ طیار در حالتهای آزاد-آزاد.....

۱۱۰

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مشخصات مکانیکی چدن نشکن به عنوان ماده تشکیل دهنده میل لنگ موتور Z۲۴ ۵۰
- جدول ۱-۳ توزیع تنش ون- میسز و برشی در میل لنگ در حالت تمام بار ۹۱
- جدول ۲-۳ نحوه توزیع تنش ون- میسز و برشی در یاتاقان های ثابت و متحرک در دنده معکوس ۱۰۲
- جدول ۳-۳ تغییرات تنش ون میسز و برشی میل لنگ با تغییر شعاع فیلت یاتاقان های ثابت و متحرک ۱۰۶
- جدول ۴-۳ فرکانس های طبیعی میل لنگ در هر شکل مود ۱۰۹
- جدول ۵-۳ فرکانس های طبیعی و مجموعه میل لنگ و چرخ طیار در هر شکل مود ۱۱۱

فهرست علائم

A_c	..... سطح درگیری کلاچ
a	..... ضریبی که به مدت زمان درگیری کلاچ بستگی دارد
a_{cx}	..... شتاب عمودی دسته پیستون
a_{cy}	..... شتاب افقی دسته پیستون
a_g	..... شتاب مرکز جرم دسته پیستون
$a_{g/p}$	..... شتاب در مرکز جرم دسته پیستون از دیدگاه ناظر غیر دورانی متحرک در مرکز گزن پین
a_n	..... شتاب عمودی در مرکز جرم دسته پیستون
a_p	..... شتاب متوسط پیستون
a_t	..... شتاب مماسی در مرکز جرم دسته پیستون
B	..... ماتریس رابط مؤلفه‌های کرنش نقاط داخلی المان با مقادیر جابجایی گره‌ای المان
C	..... دمپینگ استهلاک ناشی از اصطکاک
C_{cl}	..... دمپر کلاچ
C_d	..... دمپر دیفرانسیل
C_g	..... دمپر جعبه دنده
C_t	..... دمپینگ معادل کلاچ برای هم‌دور کردن سیستم انتقال قدرت
C_v	..... دمپینگ معادل خودرو
c	..... لقی یاتاقان
D	..... قطر محور یاتاقان
E	..... مدول الاستیسیته
E_1	..... مجموع انرژی معادل شده در شفت کلاچ و انرژی موتور بعد از تعویض دنده معکوس
E_2	..... انرژی کل مجموعه بعد از درگیری کلاچ
e	..... نسبت فاصله مرکز جرم دسته پیستون از مرکز چشم کوچک به طول مفید دسته پیستون

F_g	نیروی عمودی وارد پیستون
F_s	نیروی افقی وارد بر پیستون
f	نیروی گره‌ای المان
f_n	فرکانس طبیعی میل‌لنگ
I_A	گشتاور اینرسی در مرکز گزن‌پین
J_e	ممان اینرسی معادل موتور
J_v	ممان اینرسی معادل خودرو
J_{veq}	ممان اینرسی معادل خودرو در محور کلاچ
J_w	ممان اینرسی معادل چرخ محرک
K	ماتریس سختی
k	سختی
k_a	ضریب سطح
k_b	ضریب اندازه
k_c	ضریب قابلیت اعتماد
k_d	ضریب دما
k_e	ضریب اصلاحی برای تمرکز تنش
k_f	ضریب اثرهای دیگر
l	طول مفید دسته پیستون
l_b	طول محور یاتاقان
M	ماتریس جرم
m	جرم خودرو

m_c	جرم دسته پیستون
m_p	جرم پیستون
N	تعداد چرخه‌های تنش
N_{cr}	سرعت دورانی میل‌لنگ
N_x	نیروی عمودی وارد بر یاتاقان متحرک
N_y	نیروی افقی وارد بر یاتاقان متحرک
n	نسبت شعاع لنگ به طول مفید دسته پیستون
n_s	ضریب اطمینان طراحی
P	فشار وارد بر پیستون
P_m	فشار متوسط وارد بر واحد تصویر سطح یاتاقان
P_{max}	بیشترین فشار لایه روغن
p	فشار نسبی وارد بر صفحه کلاچ
q	مرتبه سرعت دورانی
R_x	نیروی عمودی وارد بر چشم کوچک دسته پیستون
R_y	نیروی افقی وارد بر چشم کوچک دسته پیستون
R_w	شعاع چرخ‌های محرک خودرو
r	شعاع لنگ
r_b	شعاع محور یاتاقان
r_d	نسبت سرعت زاویه‌ای محور خروجی جعبه دنده به سرعت زاویه‌ای چرخ‌های محرک خودرو
r_g	نسبت سرعت زاویه‌ای محور ورودی جعبه دنده به سرعت زاویه‌ای محور خروجی جعبه دنده
$r_{g/p}$	فاصله برداری مرکز جرم دسته پیستون از مرکز گزن پین
r_i	شعاع داخلی صفحه کلاچ
r_o	شعاع خارجی صفحه کلاچ

S_e	حد دوام جزء مکانیکی
S_f	استحکام خستگی واقعی
S_m	عدد سامرفیلد
S_{ut}	استحکام کششی
S_y	استحکام تسلیم
S'_e	حد دوام نمونه تیر چرخان
S'_f	استحکام خستگی
s	فاصله مرکز جرم دسته پیستون از مرکز چشم کوچک
T	گشتاور لنگ
T_{cl}	گشتاور اعمال شده به کلاچ
T_e	گشتاور خروجی میل لنگ
T_{max}	ماکزیمم گشتاور میل لنگ
T_{min}	مینیمم گشتاور میل لنگ
t	زمان
V	سرعت متوسط پیستون
v	سرعت سایش صفحات کلاچ
W	برآیند نیروهای وارد بر یاتاقان
x	فاصله مرکز گژن پین از مرکز لنگ
α	شتاب زاویه‌ای میل لنگ
β	زاویه موقعیت دسته پیستون با امتداد حرکت پیستون
γ_{xy}	کرنش برشی در صفحه XY
γ_{xz}	کرنش برشی در صفحه XZ
γ_{yz}	کرنش برشی در صفحه YZ
δd	جابجایی مجازی گره‌ای

- δu_e انرژی کرنشی ظاهری ناشی از تنش‌های داخلی
- δw_e انرژی مجازی انجام شده توسط نیروهای خارجی
- ε نسبت خارج از مرکزی
- ε_x کرنش در راستای محور X
- ε_y شتاب زاویه‌ای میل لنگ
- ε_z زاویه موقعیت دسته پیستون با امتداد حرکت پیستون
- η شتاب زاویه‌ای مرکز جرم دسته پیستون
- θ زاویه چرخش لنگ
- $\theta_{P_{max}}$ زاویه ماکزیمم فشار وارد بر یاتاقان
- θ_{P_0} زاویه رها شدن فشار در یاتاقان
- λ سرعت زاویه‌ای مرکز جرم دسته پیستون
- μ ضریب اصطکاک بین صفحات کلاچ
- μ_0 لزجت دینامیکی روغن موتور
- μ_{max} ضریب اصطکاک بین صفحات کلاچ در زمان لغزش صفحات کلاچ روی هم
- μ_{min} ضریب اصطکاک بین صفحات کلاچ در زمان کوپل شدن صفحات کلاچ روی هم
- μ_s ضریب اصطکاک استاتیکی صفحه کلاچ
- ν ضریب پواسون
- ρ چگالی جرمی
- σ' تنش معیار ون-میسز
- σ_1 تنش اصلی در محور اول
- σ_2 تنش اصلی در محور دوم
- σ_3 تنش اصلی در محور سوم
- ϕ بردارهای ویژه