دانشگاه صنعتی «نوشیروانی» بابل

دانشکده مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته ساخت و تولید

موضوع:

انتخاب مدل مناسب برای پیش بینی نیروهای سنگ زنی با درنظرگرفتن سختی قطعه کار

استاد راهنما:

دکتر حمید باصری

استاد مشاور:

دکتر سید جمال حسینی پور

نام دانشجو:

علی ابراهیمی

شهریور ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی «نوشیروانی» بابل

دانشکده مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته ساخت و تولید

موضوع:

انتخاب مدل مناسب برای پیش بینی نیروهای سنگ زنی با درنظرگرفتن سختی قطعه کار

استاد راهنما:

دکتر حمید باصری

استاد مشاور:

دکتر سید جمال حسینی پور

اساتید داور:

دکتر محسن شاکری

دکتر مجید الیاسی

نام دانشجو:

علی ابراهیمی

شهریور ماه ۱۳۹۲

سپاسگزاری

حمد و سپاس خدای متعال را که در تمامی مراحل زندگی، یاد او آرام بخش دل‌هاست.

ابتدا لازم می‌دانم از زحمات استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر حمید باصری که در تمامی مراحل انجام این پژوهش همراه و یاور من بوده اند و از هیچ کوششی برای پیشبرد اهداف علمی این تحقیق دریغ نفرمودند، کمال تشکر را داشته باشم. همچنین از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر سید جمال حسینی پور و کلیه اساتید محترم دانشکده مهندسی مکانیک که بنده را یاری نمودند سپاسگزارم.

همین طور از حمایت های خانواده ام خصوصاً پدر و مادر دلسوزم که دعای خیرشان همواره بدرقه راه من است و نیز همسر مهربانم که همراهی و پشتیبانی هایش در تدوین این پایان نامه شایسته تقدیر است، نهایت تشکر وقدردانی را داشته باشم.

تقدیم به:

مهربان فرشتگانی که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم به مادری که تار مویی از او بپای من سیاه نماند.

تقدیم به خواهر عزیزم که صبر، امید و تلاش را برایم معنا کرد.

چکیده:

سنگ زنی روشی است که عمدتاً در آخرین مرحله تولید به کار گرفته می شود. به طور کلی، سنگ زنی فرآیندی است که در آن توسط ابزار تشکیل شده از دانه های ریز و مواد ساینده سخت، از یک جسم نرمتر براده برداری می شود. تقریباً تمام مواد سخت و نرم موجود در صنعت و طبیعت قابل سنگ زنی می باشند نظیر: آلومینیوم، فولاد، سرامیک و حتی شیشه والماس. لزوم تولید قطعات با سرعت بالا و کمترین عیوب ممکن موجب تحول عظیم در سنگ زنی شده بطوری که می توان از آن به عنوان جایگزین برای تراشکاری و فرزکاری قطعات سخت نام برد.

هدف از تدوین این پایان نامه ارایه یک مدل جدید برای پیش بینی نیرو در سنگ زنی می باشد که سختی قطعه کار مورد استفاده نیز بطور مستقیم در مدل سازی بکار گرفته شده و این درحالی است که در مدل های پیشین این سختی با یک ضریب ثابت جایگزین شده است که برای قطعات با مواد مختلف نیاز به انجام محاسبات تکراری جهت بدست آوردن ضریب ثابت می باشد. طی فرآیند سنگ زنی تشکیل براده شامل سه مرحله شخم، برش و سایش می باشد. در مدل سازی ، مولفه افقی و عمودی نیروی سنگ زنی در هر مرحله براساس پارامترهایی نظیر سرعت چرخ سنگ ، عمق برش و میزان پیش روی در کنار ضرایب ثابت تجربی فرمول بندی شده و آن ضرایب تحت شرایط مشخصی به کمک نتایج تجربی تعیین می شوند. در این پایان نامه مدل نیروی سنگ زنی با انتخاب مدل های مناسب برای نسبت بین مولفه های مماسی و عمودی برش با در نظر گرفتن تاثیر تغییرات ضریب اصطکاک در طول فرآیند و نیز تغییرات نیروی شخم با توجه به جنس قطعه بهبود یافته، بدین صورت که بجای یک ضریب اصطکاک ثابت از ضریب اصطکاک متغیر برای مدل سازی استفاده شده است. مدل ارایه شده در این پایان نامه برای مواد مختلف براحتی قابل استفاده می باشد .

در پایان مدل ارایه شده با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات انجام شده در مقالات معتبر قبلی ارزیابی شد و نتایج بدست آمده حکایت از مطابقت کمی منطقی بین مدل و نتایج تجربی دارد. همچنین خطای جذر میانگین مربعات برای مدل ارایه شده ۲/۱۵ بدست آمده است.

واژه های کلیدی: نیرو، سنگ زنی، اصطکاک، سختی، شخم زنی، عمق برش و انرژی مخصوص.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول..... ۱

۱)معرفی فرآیند سنگ زنی ۲

۱-۱- سنگ زنی ۲

۱-۱-۱- مزایا و معایب سنگ زنی ۳

۱-۱-۲- ابزار سنگ زنی..... ۴

۱-۱-۳- ساختار و درجه سنگ سنباده و مکان نگاری..... ۹

۱-۱-۴- مکانیزم براده برداری در سنگ زنی ۱۰

۱-۱-۵- طول تماس..... ۱۵

۱-۱-۶- نسبت سنگ زنی ۱۶

۱-۱-۷- جنس قطعه کار..... ۱۷

۱-۲- نیروها، توان و انرژی مخصوص سنگ زنی..... ۱۸

۱-۲-۱- انرژی و نیروی برش یا تشکیل براده..... ۲۰

۱-۲-۲- انرژی و نیروی شخم زنی..... ۲۱

۱-۲-۳- نیروی اصطکاک ۲۱

۱-۲-۴- توان و انرژی مخصوص..... ۲۲

۱-۲-۵- اثر اندازه..... ۲۳

۱-۳- مروری بر تحقیقات انجام گرفته ۲۴

۱-۳-۱- اهمیت مدل سازی نیرو در سنگ زنی ۲۴

۱-۳-۲- مدل های پیشین نیروی سنگ زنی ۲۴

۱-۴- اهداف این پایان نامه ۳۸

فصل دوم ۴۰

۲) مدل سازی ریاضی نیروها ۴۱

۲-۱- نیروی تشکیل براده ۴۱

۲-۱-۱- مولفه عمودی نیروی تشکیل براده ۴۳

۲-۱-۲- فاکتور مالش یا اصطکاک در تشکیل براده ۴۳

۲-۱-۳- مولفه افقی نیروی تشکیل براده ۴۶

۲-۲- نیروی اصطکاک ۴۶

۲-۲-۱- مولفه عمودی نیروی اصطکاک ۴۷

۲-۲-۲- ضریب اصطکاک ۴۸

۲-۲-۳- مولفه افقی نیروی اصطکاک ۵۰

۲-۳- نیروی شخم زنی ۵۱

۲-۳-۱- مولفه عمودی نیروی شخم زنی ۵۱

۲-۳-۲- نسبت مولفه مماسی به عمودی نیروی شخم زنی ۵۳

۲-۳-۳- مولفه افقی نیروی شخم زنی ۵۶

۲-۴- مدل نهایی نیروی سنگ زنی ۵۸

۲-۵- توان و انرژی مخصوص ۵۹

فصل سوم ۶۱

۳) تجهیزات مورد استفاده و روش آزمایش ۶۲
۳-۱- مشخصات تجهیزات ۶۲
۳-۲- مشخصات قطعه کار ۶۴
۳-۳- تعیین ضرایب تجربی ۶۵
۳-۳-۱- تست تک دانه ۶۵
۳-۳-۲- اندازه گیری پارامترهای هندسی ۶۷
۳-۳-۳- اندازه گیری هندسه دانه ۶۷
۳-۳-۴- ضرایب تجربی نیروی شخم ۶۹
۳-۳-۵- ضرایب تجربی نیروی تشکیل براده و نیروی اصطکاک ۷۱
۳-۴- مدل نهایی نیروی سنگ زنی ۷۲
۳-۵- زبان برنامه نویسی فورترن ۷۲
۳-۶- نرم افزار مینی تب ۷۳
فصل چهارم ۷۵
۴) تجزیه و تحلیل مدل با نتایج آزمایشگاهی ۷۶
۴-۱- مقایسه مدل با نتایج تجربی ۷۶
۴-۱-۱- نسبت نیرو به سرعت چرخ سنگ ۷۶
۴-۱-۲- نسبت نیرو به سرعت قطعه کار ۷۸
۴-۱-۳- نسبت نیرو به عمق برش ۷۹
۴-۱-۴- تحلیل مدل ۸۱
فصل پنجم ۸۹

۵) نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۰

۵-۱ - نتیجه گیری ۹۰

۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۹۲

مراجع ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: برخورد ذرات ساینده با زاویه براده متفاوت ۶

شکل ۱-۲: کنش بین دانه و سطح قطعه کار ۶

شکل ۱-۳: تصویری از یک دانه تیز از جنس آلومینیوم اکساید ۷

شکل ۱-۴: تصویری از یک دانه کند ۷

شکل ۱-۵: تصویری از شکست دانه ۸

شکل ۱-۶: تصویری از شخم زنی و براده برداری ۸

شکل ۱-۷: تصویری از سطح چرخ سنگ با بزرگنمایی ۳۲ برابر ۹

شکل ۱-۸: شماتیک ابزار سنگ زنی ۱۰

شکل ۱-۹: تشکیل براده در سنگ زنی ۱۱

شکل ۱-۱۰: مقایسه بین براده برداری در سنگ زنی و سایر ماشین کاری ها ۱۲

شکل ۱-۱۱: انواع براده در سنگ زنی ۱۳

شکل ۱-۱۲: طول تماس واقعی و ظاهری ۱۶

شکل ۱-۱۳: نیرهای تشکیل براده، اصطکاک و شخم زنی ۲۰

شکل ۱-۱۴: تغییرات انرژی مخصوص سنگ زنی با نرخ براده برداری ۲۱

شکل ۱-۱۵: تغییرات نیروی سنگ زنی با درصد سطح سایش چرخ سنگ ۲۲

شکل ۱-۱۶: توپوگرافی سه بعدی از چرخ سنگ ۳۰

شکل ۱-۱۷: تعداد دانه های فعال در واحد سطح ۳۰

شکل ۱-۱۸: نمودار ولتاژ – زمان ارایه شده توسط کیو آی برای بدست آوردن طول تماس ۳۱

شکل ۱-۱۹: طول تماس را براساس عمق برش و میزان انحراف چرخ سنگ و قطعه ۳۲
شکل ۱-۲۰: مولفه های نیرو در مدل پارک..... ۳۳
شکل ۱-۲۱: ترکیب هندسی دانه کروی در مدل پارک..... ۳۳
شکل ۱-۲۲:مقایسه مدل های پارک و دورگوماهانتی با نتایج تجربی..... ۳۶
شکل ۱-۲۳: تغییرات ضریب اصطکاک براساس سرعت قطعه در مدل فنگ ۳۶
شکل ۱-۲۴: تغییرات ضریب اصطکاک براساس مدل دورگوماهانتی..... ۳۷
شکل ۱-۲۵: تغییرات ضریب اصطکاک براساس زاویه راس دانه طبق مدل ژنگ..... ۳۸
شکل ۲-۱: فلوچارت مدل سازی نیروی سنگ زنی ۴۲
شکل ۲-۲: مدل تشکیل براده دو بعدی چالان و اکسلی بر مبنای مدل لی و شافر..... ۴۵
شکل ۲-۳: مدل سه بعدی تشکیل براده با در نظر گرفتن شخم زنی ۴۶
شکل ۲-۴: ارتباط بین ضریب اصطکاک کلی و ضریب اصطکاک بین دو سطح ۴۹
شکل ۲-۵: نمای شماتیک از پدیده شخم زنی و مواد برآمده در اثر آن..... ۵۱
شکل ۲-۶: هندسه شیار ایجاد شده در اثر شخم زنی ۵۲
شکل ۲-۷: ارتباط بین زاویه حمله و نسبت سختی سطحی قطعه به سختی حجمی ماده..... ۵۴
شکل ۲-۸: تغییرات نسبت ارتفاع برآمدگی حاصل از شخم زنی به عمق نفوذ بر حسب زاویه حمله ۵۵
شکل ۲-۹: تغییرات نسبت نیروی مماسی به عمودی بر حسب زاویه حمله..... ۵۵
شکل ۲-۱۰: تغییرات نسبت سختی سطحی به سختی حجمی بر حسب زاویه حمله برای مواد مختلف ۵۷
شکل ۳-۱: ماشین سنگ زنی دو محوره با کنترل کاوالیر ۶۲
شکل ۳-۲: دینامومتر کسلر و آمپلی فایر کسلر..... ۶۳
شکل ۳-۳: سخت افزار تبدیل اطلاعات آنالوگ به دیجیتال..... ۶۴
شکل ۳-۴: نمای شماتیک از چگونگی قرارگیری تجهیزات تست تک دانه ۶۴

شکل ۳-۵: چرخ آلومینیومی با یک دانه الماس ۶۵
شکل ۳-۶: نمایی شماتیک از تست تک دانه ۶۶
شکل ۳-۷: نمای شماتیک چرخ سنگ آلومینیومی ساختگی..... ۶۶
شکل ۳-۸: دانه های ساینده جوش شده بر نوک میله نگه دارنده با اندازه های مختلف..... ۶۷
شکل ۳-۹: تصویر گرفته شده از دانه ساینده جوش شده با بزرگ نمایی جهت اندازه گیری اندازه دانه..... ۶۸
شکل ۳-۱۰: پروژکتور یا کمپراتور نوری..... ۶۸
شکل ۳-۱۱: زبری سنج Tal ysur f..... ۶۸
شکل ۴-۱: تغییرات نیروی عمودی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ با تغییر سرعت چرخ سنگ..... ۷۷
شکل ۴-۲: تغییرات نیروی مماسی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ با تغییر سرعت چرخ سنگ..... ۷۷
شکل ۴-۳: تغییرات نیروی عمودی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ نسبت به تغییرات سرعت قطعه کار..... ۷۸
شکل ۴-۴: تغییرات نیروی مماسی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ نسبت به تغییرات سرعت قطعه کار ۷۹
شکل ۴-۵: تغییرات نیروی سنگ زنی عمودی نسبت به عمق برش..... ۸۰
شکل ۴-۶: تغییرات نیروی سنگ زنی مماسی نسبت به عمق برش..... ۸۰
شکل ۴-۷: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی عمودی با تغییرات سرعت چرخ سنگ ۸۲
شکل ۴-۸: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی مماسی با تغییرات سرعت چرخ سنگ ۸۲
شکل ۴-۹: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی عمودی با تغییرات سرعت قطعه کار..... ۸۳
شکل ۴-۱۰: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی مماسی با تغییرات سرعت قطعه کار ۸۳
شکل ۴-۱۱: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی عمودی با تغییرات عمق برش..... ۸۴
شکل ۴-۱۲: تغییرات توزیع نیروی سنگ زنی مماسی با تغییرات عمق برش ۸۴
شکل ۴-۱۳: مقایسه انرژی مخصوص بدست آمده از مدل و نتایج تجربی ۸۵
شکل ۴-۱۴: تغییرات انرژی مخصوص سنگ زنی با تغییرات عمق برش..... ۸۵

شکل ۴-۱۵: تغییرات انرژی مخصوص شخم زنی برای سرامیک نسبت به عمق برش..... ۸۶

شکل ۴-۱۶: مقایسه انرژی مخصوص شخم زنی فولاد و سرامیک..... ۸۸

شکل ۴-۱۷: مقایسه انرژی مخصوص حاصل شد از مدل قبلی و مدل جدید..... ۸۸

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: پارامترهای فرآیند سنگ زنی ۱۹

جدول ۳-۱: مقادیر پارامترهای مهم بکار رفته در تست تک دانه ۶۹

جدول ۳-۲: ضرایب تجربی نیروی شخم ۶۹

جدول ۳-۳: اطلاعات بدست آمده از آزمایشات تجربی ۷۰

جدول ۳-۴: مقادیر پارامترهای آزمایشات تجربی جهت تعیین ضرایب نیروی تشکیل براده و اصطکاک ۷۱

جدول ۳-۵: ضرایب تجربی نیروی تشکیل براده و نیروی اصطکاک ۷۱

جدول ۳-۶: نتیجه آنالیز رگرسیون داده های آزمایشگاهی ۷۴

فهرست علائم

نماد	شرح	واحد
A	کسری از سطح چرخ سنگ که دارای ساییدگی است	–
A_b	سطح مقطع شیار حاصل از براده برداری دانه	mm^2
A_c	سطح تماس ظاهری چرخ سنگ و قطعه کار	mm^2
a	عمق برش	mm
a_0	ضریب ثابت	
b	پهنای چرخ سنگ	mm
b_0	ضریب ثابت	
C_s	توزیع دانه ها بر روی سطح چرخ سنگ (تعداد دانه در واحد سطح)	mm^{-2}
c_0	ضریب ثابت	
D	قطر چرخ سنگ	mm
d	قطر دانه ساینده	mm
d_e	قطر معادل دانه ساینده	mm
e	عمق نفوذ دانه	mm
E	ضریب ارتجاعی	GPa

f	فاکتور سایش	–
$F_n^{'}$	نیروی عمودی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
$F_t^{'}$	نیروی مماسی سنگ زنی در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
F_{np}	مولفه عمودی نیروی شخم	N
F_{tp}	مولفه مماسی نیروی شخم	N
$F_{np}^{'}$	مولفه عمودی نیروی شخم در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
$F_{tp}^{'}$	مولفه مماسی نیروی شخم در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
$F_{nc}^{'}$	مولفه عمودی نیروی تشکیل براده در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
$F_{tc}^{'}$	مولفه مماسی نیروی تشکیل براده در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
F_{nr}	مولفه عمودی نیروی اصطکاک	N
F_{tr}	مولفه مماسی نیروی اصطکاک	N
$F_{nr}^{'}$	مولفه عمودی نیروی اصطکاک در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
$F_{tr}^{'}$	مولفه عمودی نیروی اصطکاک در واحد پهنای چرخ سنگ	N/mm
F_{etc}	مولفه مماسی نیروی تشکیل براده برای یک دانه	N
F_{enc}	مولفه عمودی نیروی تشکیل براده برای یک دانه	N
F_{etr}	مولفه مماسی نیروی اصطکاک برای یک دانه	N

F_{enr}	مولفه عمودی نیروی اصطکاک برای یک دانه	N
F_{enp}	مولفه عمودی نیروی شخم برای یک دانه	N
F_{etp}	مولفه مماسی نیروی شخم برای یک دانه	N
H_s	سختی خراش	N/mm^2
H_c	سختی ماده قطعه کار	HV
H	نسبت ارتفاع هندسی	–
h	ارتفاع ماده برآمده از سطح قطعه در اثر شخم زنی	mm
h_{eq}	ضخامت براده معادل	mm
k	ضریب ضخامت براده	N/mm^2
k'	ضریب تجربی	N/mm^2
k''	ضریب تجربی	–
K_c	فاکتور الاستیسیته چرخ سنگ	GPa
K_w	فاکتور الاستیسیته قطعه کار	GPa
l	فاصله بی بعد بین مسیرهای دانه های	–
l_c	طول تماس هندسی	mm
l_{ch}	طول براده متوسط	mm

l_f	طول تماس با در نظر گرفتن انحراف چرخ سنگ و قطعه	mm
M	عدد مش	–
N	تعداد دانه های فعال	–
n	تعداد آزمایشات	–
$\bar{p}$	فشار متوسط بین قطعه کار و چرخ سنگ	N/mm^2
p_0	ثابت تناسب	N/mm
Q_i	سطح مقطع عرضی براده	mm^2
Q_w	نرخ براده برداری حجمی	mm^3/s
R	فاصله شعاعی از مرکز دانه	mm
RMS	جذر میانگین مربعات	–
R_L	نسبت طول تماس	–
R_r	فاکتور زبری	–
U	انرژی مخصوص سنگ زنی	J/mm^3
U_e	انرژی مخصوص سنگ زنی بدست آمده از آزمایشات تجربی	J/mm^3
U_m	انرژی مخصوص سنگ زنی بدست آمده از مدل	J/mm^3
V_{cu}	حجم براده متوسط	mm^3

V_c	سرعت چرخ سنگ	mm/s
V_w	سرعت قطعه کار یا میز	mm/s
$\propto_n$	منطقه تماس واقعی	mm^2
α	زاویه حمله	deg
α'	نصف زاویه راس دانه	deg
δ	مساحت راس دانه فعال	mm^2
μ	ضریب اصطکاک	–
σ	تنش نرمال	MPa
τ	تنش مماسی	MPa
Δ	عدم انطباق	mm^{-1}
ε	میزان انحراف چرخ سنگ و قطعه	mm
υ	ضریب پواسان	–