مجله علمی ترویجی انجمن مهندسان مکانیک ایران
ISSN: 1605-9719
سال ۲۷، شماره ۱۱۹، صفحات ۳۵–۴۲

بررسی و مطالعه بارگیری چرخ سنگ در فرایند سنگ‌زنی

محمد خوران[۱ و *]، حسین امیرآبادی[۲]، بهمن آذرهوشنگ[۳]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک- ساخت و تولید، دانشگاه بیرجند، بیرجند
[۲] دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند
[۳] استاد دانشگاه فورت وانگن، فیلینگن- اشونینگن، آلمان
*مسئول مکاتبات: mokhoran@gmail.com

◄ چکیده

سنگ‌زنی یکی از فرایندهای مهم ماشینکاری محسوب شده که از ابزاری به نام چرخ سنگ برای براده برداری از سطح قطعه‌کار استفاده می‌کند. حین سنگ‌زنی عیوب مختلفی چون تولید حرارت بالا (منجر به سوختگی سطح، تغییر ساختار کریستالی ماده و تنش‌های پسماند کششی می‌شود)، خوردگی سریع چرخ سنگ، کیفیت سطح نامطلوب، نیروهای سنگ‌زنی بالا و ... وجود دارد که به انتخاب درست چرخ سنگ و شرایط ساختار آن بطور مستقیم و غیرمستقیم باز می‌گردد.
چرخ سنگ در حین سنگ‌زنی ممکن است دچار پدیده‌ای به نام بارگیری می‌شود که کل فرایند تحت تاثیر قرار می‌دهد. بارگیری یکی از عیوب اساسی حین سنگ‌زنی است و پژوهشگران زیادی از دیرباز در حال مطالعه و ارائه روش‌های جهت شناسایی و کاهش آن بوده‌اند.
در این مقاله اصول علمی ایجاد و اثرات عملکردی، تاثیر پارامترهای ورودی بر میزان بارگیری سنگ و آخرین پیشرفت‌های این حوزه از علم آورده شده است. چالش‌های موجود کنکاش و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

◄ واژگان کلیدی

سنگ‌زنی
بارگیری سنگ
نیروی سنگ‌زنی
حرارت
سایش چرخ سنگ

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

۱ مقدمه

سنگ‌زنی به عنوان فرآیند نهایی ماشینکاری قطعاتی که نیاز به سطوح صاف و تلرانس‌های بسته دارند، فرآیند مهمی به شمار می‌رود که ۲۰ تا ۲۵ درصد فرآیندهای ماشینکاری در کشورهای صنعتی به طور مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با سنگ‌زنی است [۱].

فرآیند سنگ‌زنی نسبت به دیگر روش‌های ماشینکاری این مزیت را دارد که امکان براده برداری انواع مختلف مواد (فلزی و غیر فلزی و با محدوده وسیعی از سختی) در آن وجود دارد.

در این فرایند از ذرات ساینده به عنوان لبه‌های برش، جهت براده برداری استفاده می‌شود. ابزار سنگ‌زنی (چرخ سنگ) معمولا از سه بخش تشکیل شده است.

دانه‌های ساینده که وظیفه براده برداری را بر عهده دارد و چسب که نگهدارنده این ذرات ساینده و وظیفه شکل دهی به چرخ سنگ را داراست و همچنین فضاهای خالی بین ذرات که نقش مهمی را در انتقال مواد خنک کننده، انتقال براده، کاهش درجه حرارت و ... دارد که پر شدن این فضا توسط براده، ادامه فرایند را مختل می‌کند. به این پر شدن فضاهای خالی سطح چرخ سنگ، بارگیری سنگ[۱] گفته می‌شود.

بارگیری چرخ سنگ اهمیت قابل‌توجه‌ای در فرایند سنگ‌زنی دارد و باعث افزایش نیروهاو دمای سنگ‌زنی و بعضا خرابی قطعه‌کار می‌گردد. لذا با توجه به اهمیت این موضوع نیاز است مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

۲ بارگیری سنگ

بارگیری شامل دو اتفاق چسبیدن براده‌های قطعه‌کار به دانه‌های ساینده و تشکیل لبه انباشته[۲] و یا پر شدن مکانیکی فضاهای خالی چرخ سنگ بوده است که این دو امر منجر به پر شدن خلل و فرج سطح چرخ سنگ می‌گردد.

قفل شدن مکانیکی براده در محیط چرخ سنگ که متاثر از فاصله بین دانه‌ها و اندازه براده است، مکانیزم غالب بارگیری چرخ سنگ می‌باشد [۲]. دما نقش اصلی در بحث چسبندگی دارد. علاوه بر دما میل به ترکیب شیمیایی و نفوذ منجربه چسبندگی بین دانه و ذرات قطعه‌کار نیز می‌شود [۳]. در سنگ‌زنی نه تنها شکل، اندازه و توزیع لبه برنده بلکه شرایط خلل و فرج سطح نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. بارگیری چرخ سنگ دارای سه سازوکار زیر است که عبارتند از [۴]:

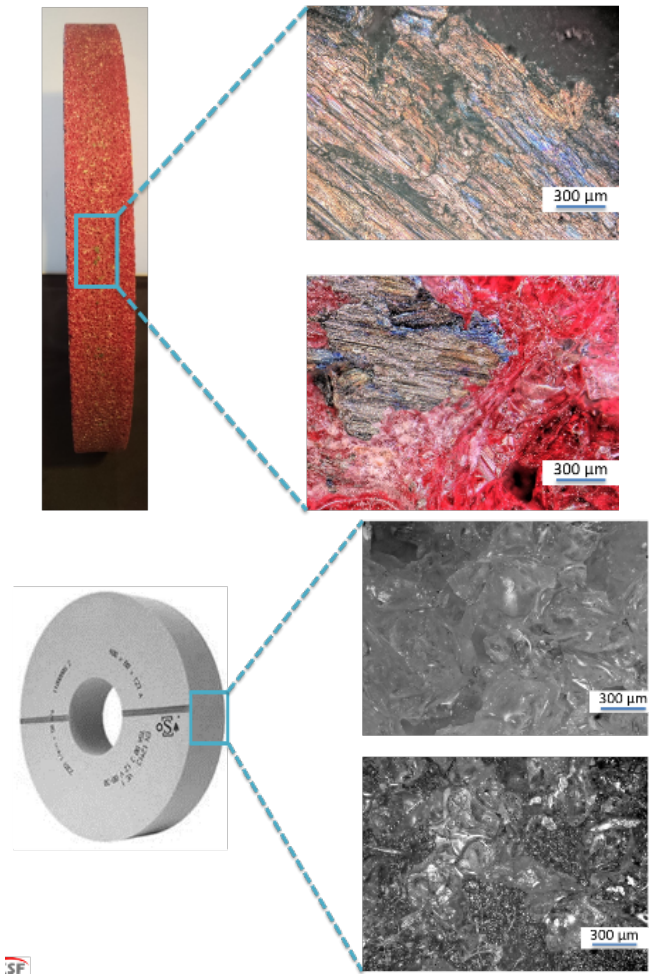
- واکنش شیمیایی بین دانه‌های فعال و براده
- انباشت مکانیکی براده در فضاهای خالی مجاور یک دانه فعال
- سازوکار فشار و جوش بر روی لبه‌های برشی و دانه در فازهای تشکیل براده

شکل ۱ یک سنگ بارگیر شده در سنگ‌زنی کامپوزیت را نشان می‌دهد.

همانطور که اشاره شد بارگیری سنگ از مشکل‌های رایج سنگ‌زنی مواد نرم و داکتیل است. اگر این فرایند در حالت خشک انجام گیرید مشکل چند برابر می‌شود [۵]، بدلیل عدم حضور ماده روانکار و خنک‌کار، دمای فرایند بالا رفته و امکان انتقال سریع براده‌ها از منطقه تماس بین سنگ و قطعه‌کار

[1] Wheel Loading [2] Built up edge

وجود ندارد.



شکل ۱: بارگیری چرخ سنگ [۶]

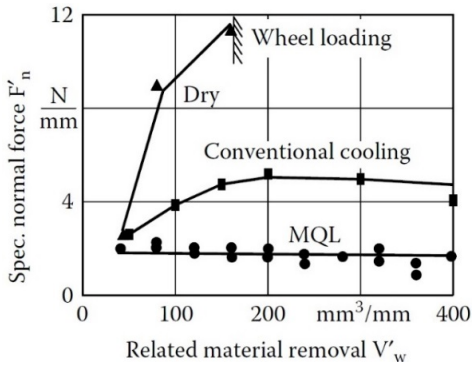
۳ مشکلات بارگیری سنگ

بارگیری سنگ همراه با مشکلاتی است که متعاقبا کل فرایند را تحت تاثیر قرار خواهد داد. این عیوب عبارتند از:

- افزایش زبری سطح
- افزایش حرارت
- افزایش نیرو
- افزایش انرژی مخصوص
- سایش بیشتر چرخ سنگ
- ارتعاش
- کاهش دقت ابعادی و هندسی

جیا کومار [۷] مشخص نمود که با افزایش بارگیری سنگ، دامنه نیرو و ارتعاشات افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش بارگیری سنگ نیروی اصطکاک به شدت افزایش خواهد یافت(به علت پرشدن سطح و سایش سطح چرخ سنگ با قطعه‌کار).

شکل ۲ نیروی نرمال ویژه را در استفاده از حالت‌های مختلف مایع خنک کننده نشان می‌دهد. مشخص است که سنگ‌زنی در حالت خشک نیروی بیشتری در نرخ براده برداری مشخص دارد.



شکل ۲: اثر افزایش نیرو در بارگیری سنگ [۸]

تمام عیوب ذکر شده‌ای که در اثر بارگیری چرخ سنگ بوجود می‌آید به اندازه کاهش دقت ابعادی و آسیب حرارتی قابل ملاحظه نیست. چرا که هر دوی این موارد باعث رد شدن محصول شده و هزینه‌های بیشتری نسبت به عیوب دیگر بر سازندگان تحمیل می‌کند.

با توجه به موارد ذکر شده مشخص است که عملکرد فرایند سنگ‌زنی بطور مستقیم متاثر از بارگیری چرخ سنگ است.

۴ راه‌های اندازه گیری بارگیری سنگ

در مقالات روش‌های مختلفی برای بررسی بارگیری سنگ ارائه گردیده است. چندین روشی که در مقالات ذکر شده بصورت فهرست‌وار در زیر معرفی می‌گردد [۹].

- شناسایی شیمیایی

در این روش تشخیص شیمیایی مواد سطح چرخ سنگ توسط کاغذ هیدروکلراید انجام گرفته است.

- کالریمتریک

این روش نیز یک روش شیمیایی برای سنجش میزان بار چرخ سنگ است.

- اسپکتروسکوپی(طیف سنجی)
- ادی کارنت

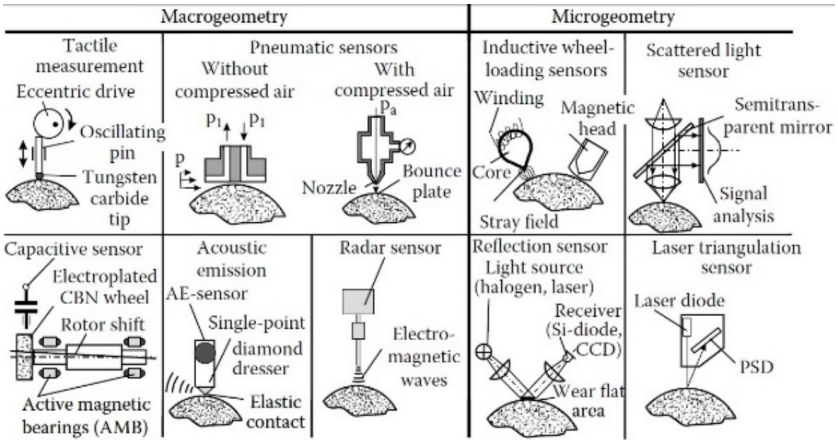
این روش از ایجاد جریان گردابی بر سطح چرخ سنگ جهت سنجش استفاده می‌کند.

- مغناطیسی
- امواج رادیویی
- فلورسنت ایکس ری
- پردازش تصویر

روش پردازش تصویر امروزه با توجه به پیشرفت نرم‌افزارهای کامپیوتری بسیار مورد توجه قرار گرفته است و با گرفتن عکس از سطح چرخ، میزان بار آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

روش‌های مغناطیسی و ... که بر پایه جریان الکتریکی است معمولا محدود به مواد رسانای الکتریکی است.

شکل ۳ روش‌های و سنسورهای اندازه‌گیری توپوگرافی سنگ را نمایش می‌دهد که می‌توان توسط این روش‌ها بارگیری سنگ را نیز بررسی نمود.



شکل ۳: سنسورهای اندازه گیر توپوگرافی چرخ سنگ [۸]

۵ روش‌های کاهش بارگیری سنگ

علاوه بر مواردی که در ادامه بحث خواهد شد، تغییر در پارامترهای ورودی باعث تغییر در بارگیری سنگ می‌شود. به طور مثال بالا بردن سرعت برشی، کاهش عمق براده و استفاده از خنک کننده می‌تواند باعث کاهش بارگیری چرخ سنگ شود. علاوه‌بر تغییر متغیرهای ورودی، روش‌های مختلفی برای کاهش بارگیری سنگ وجود دارد. تیز کردن چرخ سنگ رایج‌ترین آن است. تکنیک‌های موجود عبارتند از:

- درسینگ منظم

انجام درسینگ در فواصل زمانی مشخص منجر به تیز شدن ذرات و خارج شدن مواد محبوس شده در فضای چرخ سنگ می‌شود.

- درسینگ پیوسته

در این روش بعلت پیوسته بودن بحث درسینگ، تقریبا بارگیری سنگ بلافاصله از بین خواهد رفت ولی بعلت خوردگی زیاد چرخ سنگ و فرسایش ابزار درسینگ از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

- خود تیز کنی[1]

استفاده از چرخ سنگ که خاصیت خود تیز کنی داشته باشد می‌تواند بسیار مفید باشد زیرا با شکسته و کنده شدن دانه‌ها از روی چرخ، ذرات قطعه‌کار که فضای چرخ سنگ را پر کرده نیز جدا خواهد شد.

- استفاده از خنک‌کاری برودتی

تحقیقات نشان داده است که بالا رفتن درجه حرارت باعث افزایش بارگیری سنگ تا ۲۰۰ درصد خواهد شد. لذا، می‌توان بارگیری سنگ را کاهش داد [۳].

- نازل‌های پر فشار تمیز کننده

استفاده از جت‌های پرفشار رایج‌ترین روش می‌باشد. پاشش درست و بهینه خنک کننده نیز تاثیر گذار است.

- استفاده از ارتعاشات

وجود ارتعاشات باعث کاهش اندازه براده و دمای منطقه ماشینکاری شده، می‌شود که این موضوع متعاقبا کاهش بارگیری سنگ را در پی خواهد داشت.

- بکارگیری روانکارهای جامد

استفاده از روانکارها و خنک‌کننده تاثیر مناسبی بر کاهش حرارت و اصطکاک در منطقه ماشینکاری دارد، وجود روانکارها باعث کاهش بارگیری چرخ سنگ خواهد شد.

سازندگان ابزارهای سنگ‌زنی نیز به دنبال طراحی و بهینه‌سازی محصولات خود هستند. آنها با طراحی چسب‌های خود روانکار باعث کاهش بارگیری سنگ شده‌اند [۱۰].

- لیزر

استفاده از پالس‌های خیلی کوتاه لیزر(در زمان بسیار کوتاه) می‌توان بدون آسیب به دانه و چسب باعث تمیزکاری سطح چرخ سنگ و جلوگیری از بارگیری آن شد.

- خوردگی شیمیایی

روش‌های شیمیایی درسینگ و استفاده از مواد خورنده‌ای که باعث انحلال ماده بارگیر شود و در صورتی که آسیبی به چرخ سنگ وارد نکند مفید است.

- سنگ‌زنی خفیف

سنگ‌زنی با عمق بسیار پایین می‌تواند باعث اعمال نیرو به ذرات محبوس شده شود و در نتیجه منجر به خروج آنها گردد.

- تیز کردن با تخلیه الکتریکی

تخلیه الکتریکی نیز یک روش درسینگ می‌باشد.

- سرعت بالای چرخ سنگ

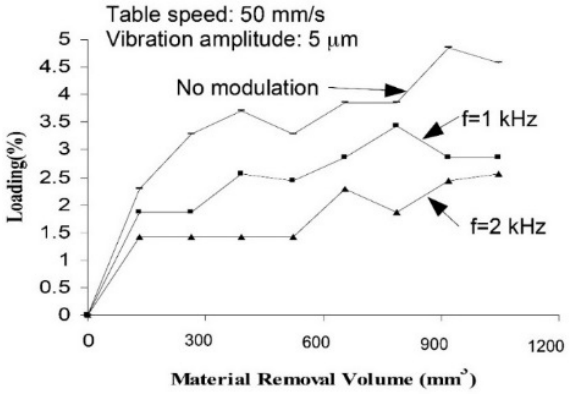
پژوهش‌ها نشان داده است که سرعت بالای چرخ سنگ منجر به کاهش بارگیری می‌گردد [۱۱]. این امر احتمالا بدلیل کاهش ضخامت براده می‌باشد.

۶ مروری بر پژوهش‌ها

مطالعات مختلفی در زمینه کاهش بارگیری و روش‌های اندازه‌گیری آن انجام گرفته است. زانگ و میلر [۳] نتیجه ارتعاشات را بر کاهش بارگیری سنگ آلومینیم اکساید و فولاد ۱۰۱۸ را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مشخص

[1] Self Sharpening

کرد بارگیری سنگ با افزایش فرکانس و دامنه ارتعاش تا ۸۰ درصد کاهش می‌یابد(شکل ۴). دلایل کاهش بارگیری سنگ، کاهش حرارت و کاهش اندازه براده فرض شده است. آنها نقش حرارت در بارگیری سنگ را بررسی نموده و با گرم کردن عمدی مشخص شد بارگیری سنگ تا ۲۰۰ درصد افزایش می‌یابد. ۷ عکس از کل سطح چرخ گرفته و از پردازش تصویر برای بررسی میزان بارگیری استفاده نمودند. ملاک گزارش آنها متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده بود.



شکل ۴: اثر فرکانس ارتعاش بر بارگیری چرخ سنگ [۳]

ادیبی و همکاران به معرفی روش تحلیلی (بر اساس چسبندگی ماده قطعه کار به دانه ساینده) [۱۲] و پردازش تصویر [۱۳] و [۱۴] برای محاسبه بارگیری چرخ سنگ در سنگ‌زنی اینکونل ۷۳۸ پرداختند. در هنگام پردازش تصویر نویزها و خطاهایی چون براق شدن سطح بر نتیجه تاثیر داشت که توسط سیستم‌های تعبیه شده، مشخص و در محاسبات در نظر گرفته شد. شکل ۵ یک نمونه استفاده از روش پردازش تصویر را نشان می‌دهد. با افزایش عمق برش، بارگیری سنگ افزایش یافت. افزایش نیرو باعث افزایش خود تیز کنی سنگ، در نتیجه کاهش بارگیری سنگ می‌شود، از سوی دیگر افزایش نیرو و حرارت در اثر افزایش عمق برش، باعث چسبندگی بیشتر بین براده و دانه خواهد شد. این تضاد باعث می‌شود، تغییرات در ورودی متناسب با افزایش یا کاهش بارگیری سنگ نباشد. لذا نویسندگان مقاله پیشنهاد می‌دهد برای بالارفتن نرخ براده برداری، به جای عمق برش، سرعت میز بالاتر برده شود. افزایش سرعت برشی باعث افزایش بارگیری سنگ شد. آنها رابطه‌ای (رابطه (۱) تا (۴)) برای محاسبه بارگیری چرخ سنگ استخراج نمودند و نتایج آن را با تجربی مقایسه کردند. در این رابطه C تعداد دانه‌های فعال در واحد سطح، L طول قطعه‌کار، D قطر قطعه‌کار، سرعت میز و چرخ سنگ به ترتیب V_w و Vc است. N تعداد پاس‌های که یک دانه مشخص با قطعه‌کار درگیر می‌شود، a_e عمق برش، r نسبت عرض به ضخامت براده، β ثابت تناسب و u انرژی سنگ‌زنی، α و k ضرایبی در معادله که نشان دهنده اصطکاک چسبنده است. V_L بارگیری بر واحد سطح و $V_{L,\circ}$ میزان بار اولیه سطح چرخ سنگ بر واحد سطح است.

$$V_L = V_{L,\circ} L_1 + L_2 . (1 - L_1) \qquad (1)$$

$$L_1 = \exp\left(-\beta . \frac{u . V_w}{V_c . C} \sqrt{\frac{a_e}{D}} . N\right) \qquad (2)$$

$$L_2 = \frac{L}{\pi^2} . \frac{2}{\sqrt{d_g}} . \sqrt[4]{\frac{1}{C.r}} . \left(\frac{V_c}{V_w}\right)^{\frac{1}{4}} . \left(\frac{a_e}{D}\right)^{\frac{1}{4}} . \frac{1}{H_{wp}} . e^{\alpha T} . K_{adhesion} . u . \sqrt{1 + \mu^{-2}} \qquad (3)$$

$$Loading_Percent = \frac{V_L}{d_L . b . \pi . D} \qquad (4)$$

شکل ۶ توافق خوب بین نتایج تجربی و فرمول ریاضی مستخرج را نشان می‌دهد. به علت وجود حجم بین دانه‌های ساینده استفاده از سنگ با دانه ریزتر بارگیری بیشتری را به همراه دارد نسبت به سنگی که دانه‌های آن درشت است. هرچند چرخ سنگی که دارای خلل و فرج بالا است، سریع دچار سایش می‌شود ولی منجر به بارگیری کمتر بدلیل رسیدن بهتر مایع روان/خنک کننده به منطقه سنگ‌زنی، خواهد شد [۱۱].

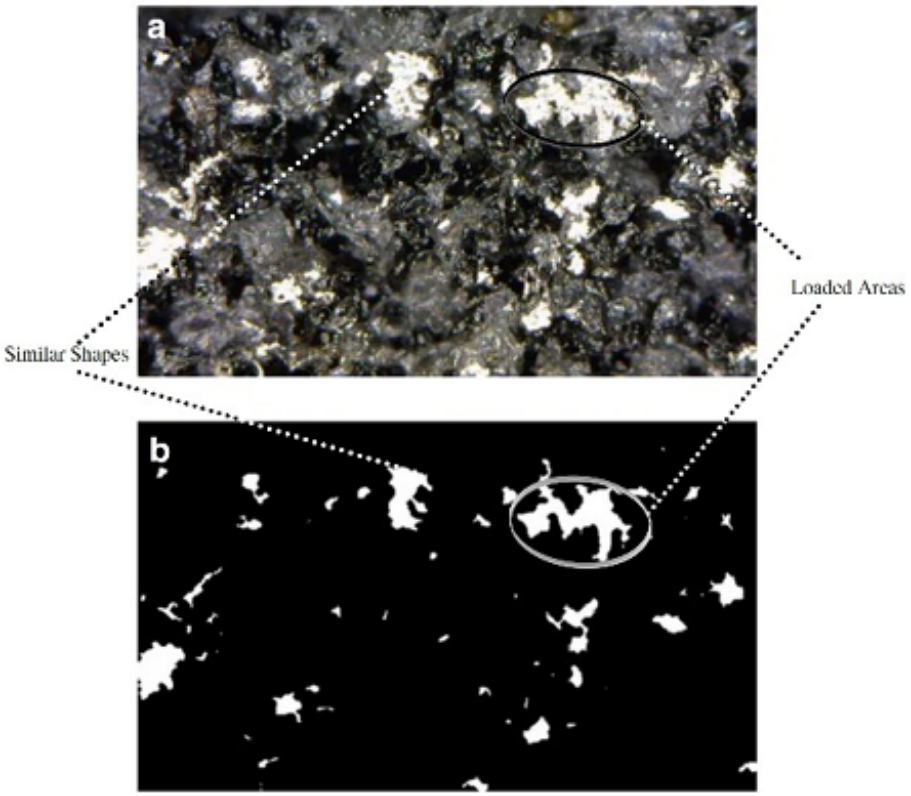
آذرهوشنگ و همکاران [۱۵] تاثیر نفوذ گرافیت (به عنوان روانکار جامد) در چرخ سنگ و درسینگ بر کاهش بارگیری سنگ را مورد مطالعه قرار دادند. نقش گرافیت کاهش دهنده اصطکاک است. همان‌طوری که در شکل ۷ دیده می‌شود نیروی سنگ زنی در $U_d = 2$[1] برای سنگی که حاوی ذرات گرافیت است بیش از سنگی است که ذرات گرافیت ندارد در صورتی که نیروی سنگ زنی در حالتی که نسبت همپوشانی درسینگ به ۷ می‌رسد برای سنگ حاوی ذرات گرافیت کمتر از سنگی است که ذرات گرافیت ندارد. در مجموع وجود گرافیت هنگام استفاده از سنگ با استراکچر متراکم یا نسبت همپوشانی درسینگ بالا (منجربه بالا رفتن کیفیت سطح چرخ سنگ می‌شود)، باعث کاهش نیروی سنگ‌زنی می‌شود. وجود ذرات گرافیت زبری سطح و بارگیری سنگ را کاهش می‌دهد که نتیجه آن تولید محصولی با کیفیت‌تر و فاصله زمانی بیشتر بین درسینگ است که هزینه کمتر تولید را به دنبال دارد.

جنس قطعه‌کار تاثیر مستقیمی بر بارگیری چرخ سنگ دارد و معمولا فلزات با سختی کمتر(تولید براده‌های بلندتر)، باعث بارگیری بیشتر سنگ خواهند شد. شکل ۹ نشان می‌دهد که فولاد ۴۱۴۰ به دلیل داشتن سختی بالاتر نسبت به فولاد ۱۰۱۸ دارای درصد بارگیری کمتری بوده است. علت این اتفاق در تشکیل شدن براده با شعاع انحنا متفاوت است. شعاع انحنا کمتر منجر به بارگیری کمتر خواهد شد. در این مقاله اثبات شده که در بارگیری سنگ، بحث نفوذ و چسبندگی فیزیکی نیز وجود دارد [۱۶].

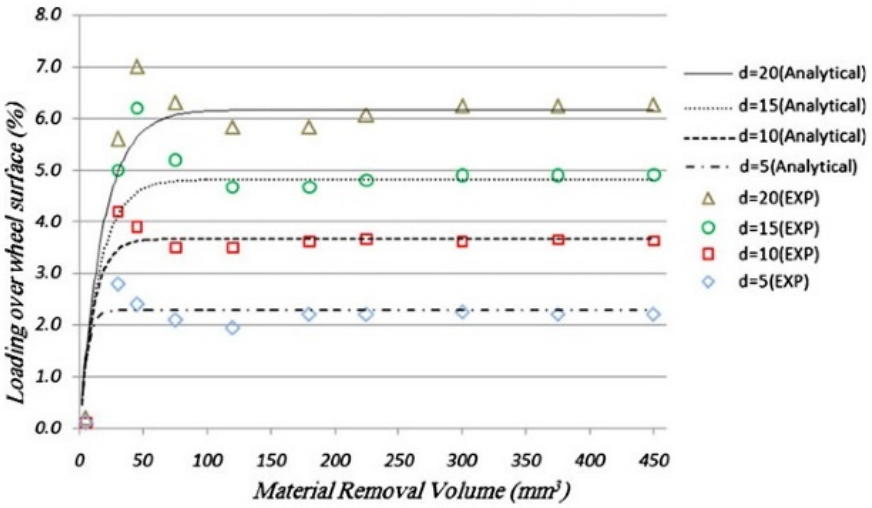
سالمون [۱۷] با استفاده از پوشش Ti-Al-N بر روی ذرات CBN و مولیبدنیوم دی سولفاید (MoS_2) به عنوان روانکار جامد، اثبات کرد که حضور پوشش باعث کاهش بارگیری سنگ می‌شود. درانفلد [۱۸] با استفاده از روش اکوستیک امیشن به پیش بینی حین فرایند بارگیری سنگ پرداخت. شکل ۱۰ میزان بارگیری سنگ در زمان‌های سنگ‌زنی مختلف را نشان می‌دهد. مشخص است که با افزایش زمان سنگ‌زنی میزان بارگیری سنگ نیز افزایش می‌یابد. نتیجه افزایش بارگیری و تایید آن توسط روش اکوستیک امیشن در شکل ۱۱ دیده می‌شود.

هاینزل [۱۹] اثر نوع نازل تمیز کننده (حین فرایند) سطح چرخ سنگ بر بارگیری را مورد مطالعه قرار داد. آنها سه نازل سوزنی، تخت و دورانی (شکل ۱۲) را با هم مقایسه نمودند و مشخص شد که بالاترین تاثیر در تمیز کاری را نازل تخت (Flat fan) دارد.

[1] Dressing overlapping ratio



شکل ۵: روش پردازش تصویر در محاسبه بارگیری [۱۲]



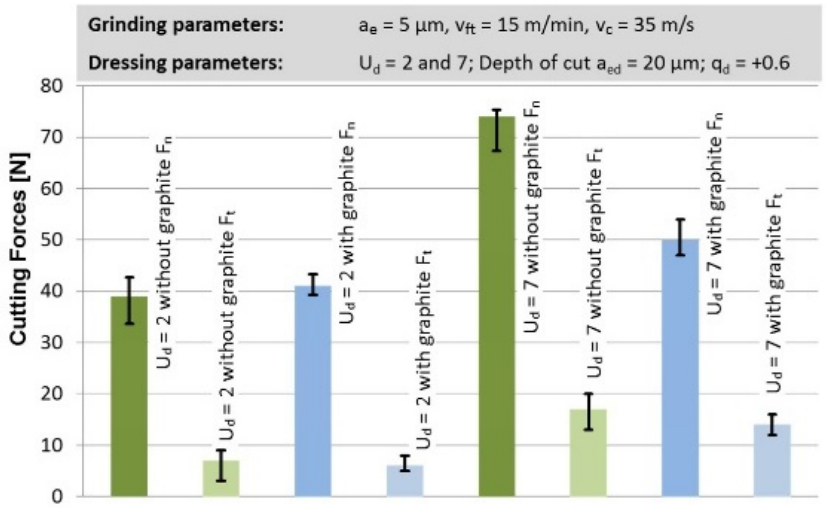
شکل ۶: مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی بارگیری سنگ [۱۲]

فاصله نازل از چرخ نیز بسیار دارای اهمیت می‌باشد. بصورتی که فاصله منجر به جریان توربالانس شده و باعث افزایش دینامیک داخلی سیال، در نتیجه باعث افزایش تمیز کاری سطح چرخ می‌گردد. شکل ۱۳ تاثیر فاصله نازل از سطح چرخ سنگ و میزان بارگیری را نشان می‌دهد.

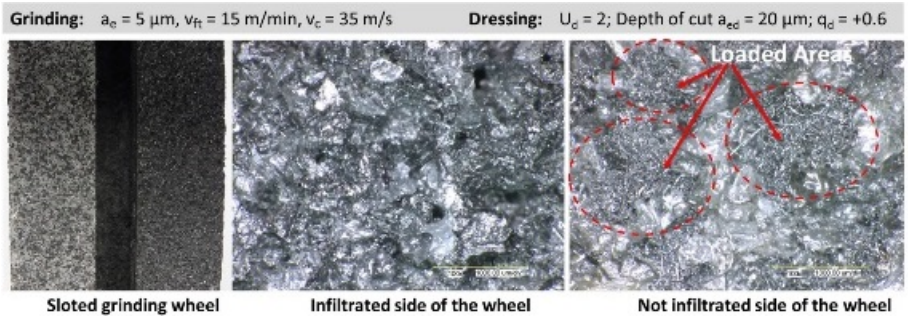
کامرون [۲۰] اثر محل نازل (جهت‌گیری نازل)، نرخ جریان و سرعت سیال تمیز کننده سطح چرخ سنگ بر بارگیری را با ثابت گرفتن دیگر پارامترها مورد مطالعه قرار داد. مشخص شد جهت نازل تاثیر قابل توجهی بر تمیز کاری سطح نداشت. نرخ جریان و سرعت سیال دارای مقادیر بهینه‌ای بودند. محدود کننده سرعت، تاثیر تخریبی آن بر چرخ سنگ بود و حداقل نرخ جریان سیال(دبی) قابل قبول برای کاهش بارگیری ۱۴/۹ لیتر بر دقیقه بوده است و بعد از آن مقدار افزایش نرخ جریان تاثیری قابل ملاحظه‌ای ندارد.

جکسون و همکاران [۲۱] تاثیر لیزر بر تمیزکاری سطح چرخ سنگ را مورد مطالعه قرار دادند. جریان توان بالا[1] و پالس‌های تابشی کوتاه برای تمیزکاری سطح چرخ سنگ مناسب است. آنها مشخص نمودند که لیزر علاوه بر تمیزکاری سطح قابلیت تیز نگه داشتن چرخ همانند روش تاچ درسینگ[2] را دارد.

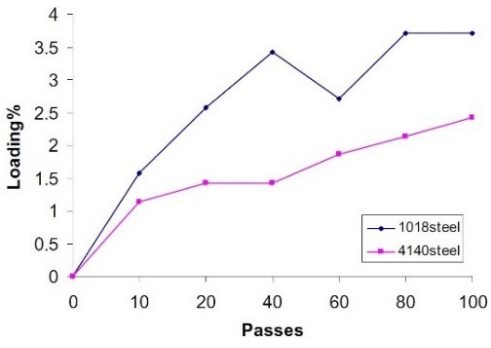
[1] High power flux [2] Touch Derssing



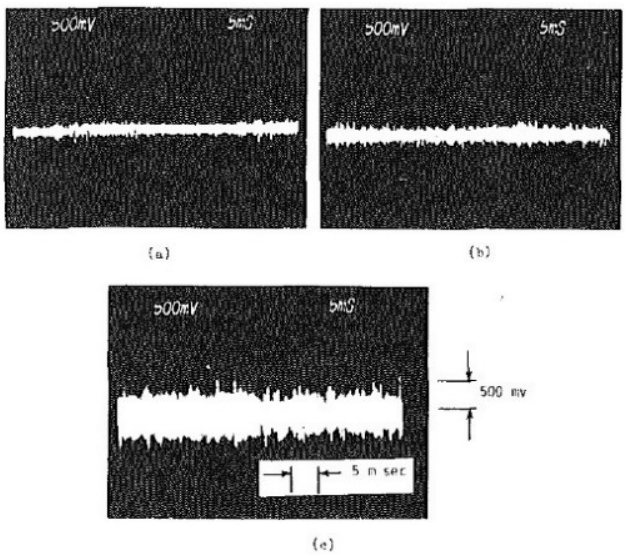
شکل ۷: نیروی سنگ‌زنی با در نظر گرفتن نسبت درسینگ و وجود یا عدم وجود روانکار جامد [۱۵]



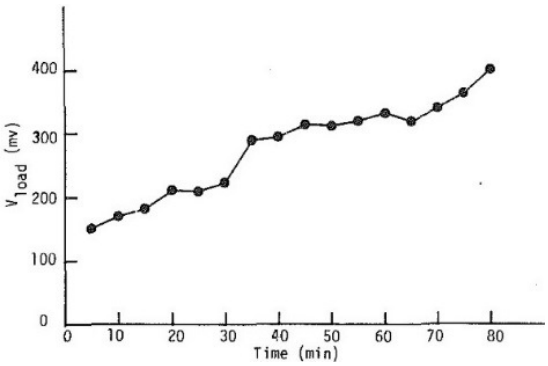
شکل ۸: تاثیر وجود گرافیت بر بارگیری سنگ بعد ۵۰۰۰ میلی متر مکعب براده برداری [۱۵]



شکل ۹: تاثیر سختی قطعه‌کار بر بارگیری سنگ [۱۶]



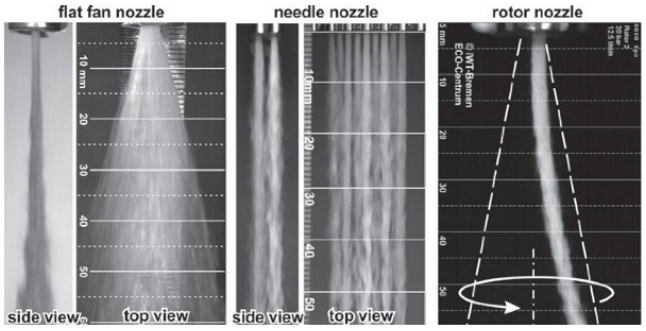
شکل ۱۱: روش اکوستیک امیشن در بارگیری. (a) بعد از ۵ دقیقه، (b) بعد از ۴۰ دقیقه، (c) بعد از ۸۰ دقیقه [۱۸]



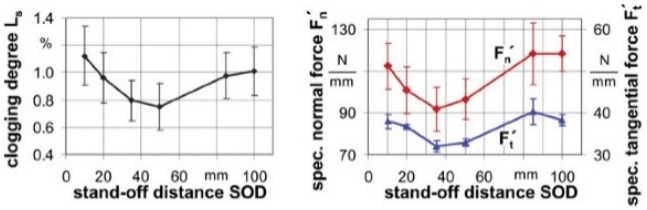
شکل ۱۰: تاثیر زمان سنگ‌زنی بر بارگیری [۱۸]

نقش ترکیب شیمیایی و یا ماده قطعه کار نیز بسیار با اهمیت است. مقادیر خیلی کم سرب در آهن و مس قابلیت ماشینکاری را با ایجاد براده پیوسته بهبود می‌دهد، در حالی که قابلیت سنگ‌زنی را به دلیل افزایش بارگیری، کاهش خواهد داد و یا چدن مالیبل قابلیت ماشینکاری خوبی دارد در حالی

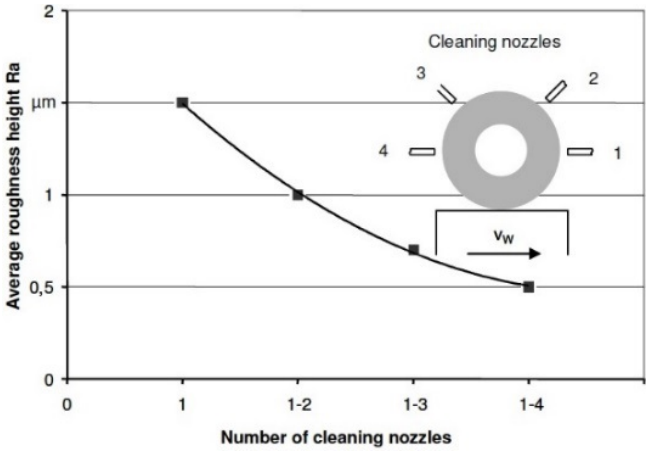
که قابلیت سنگ‌زنی (بارگیری سنگ) مناسبی ندارد [۸].



شکل ۱۲: انواع نازل تمیز کننده سطح [۱۹]



شکل ۱۳: تاثیر فاصله نازل بر میزان بارگیری [۱۹]



شکل ۱۴: اثر تعداد نازل‌های خنک کننده بر کیفیت سطح [۲۲]

تعداد نازل‌های تمیز کننده نیز تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر خروجی‌های سنگ‌زنی دارد بصورتی که اگر تعداد نازل‌های تمیز کننده بیشتر شود منجر به کاهش بارگیری چرخ سنگ و متعاقبا کاهش زبری سطح قطعه‌کار می‌گردد.

۷ نتیجه‌گیری

همانطوری که بیان شد بارگیری سنگ یکی از معضلات موجود در سنگ‌زنی مواد داکتیل می‌باشد. حذف بارگیری سنگ باعث بالا رفتن راندمان فرایند شده و نتایج خوبی از نظر بهبود عمر ابزار، بهبود یکپارچگی سطح و ... به همراه دارد. پژوهشگران متعددی بر روی اثر بارگیری سنگ، شیوه اندازه‌گیری آن متمرکز شده و افرادی دیگر نیز روش‌های کاهش آن را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهش‌ها به اختصار در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت و اهم نتایج آنها ذکر شد. هر چند استفاده از درسینگ روشی مطمئن در کاهش بارگیری است ولی هزینه‌آفرین بودن آن و خوردگی سریع چرخ، باعث شده تا مطالعات به سمت یافتن روش جایگزین باشد. جت سیال که با شدت بر روی سطح چرخ سنگ پاشیده می‌شود، می‌تواند مقداری از بارگیری سنگ را بزداید ولی این حجم بالای مایع خنک کننده مخاطرات زیست محیطی را به دنبال دارد از سوی دیگر این جت مایع خنک کننده نیز در سنگ‌زنی محصولاتی که حساس به مایع خنک کننده هستند و یا بدلیل شرایط خاص آن تمایل بر ماشینکاری خشک است دیگر بکار نمی‌رود. ارتعاشات التراسونیک و لیزر روش‌های مناسب دیگری هستند که توسط بعضی از مقالات، تاثیر آن بر کاهش بارگیری سنگ تایید شده است. ولی باید به این موضوع نیز توجه گردد که این دو تکنولوژی همه جا در دسترس نبوده و نیازمند تجهیزات گران قیمتی می‌باشند. لذا در چنین شرایطی انتخاب صحیح پارامترهای ورودی، توپوگرافی صحیح چرخ سنگ و ذرات ساینده، استفاده از پوشش‌های که باعث کاهش ضریب اصطکاک براده با دانه شود و استفاده از روش‌های کاهش حرارت (استفاده از خنک کننده‌های گازی چون هوای خنک یا برودتی چون نیتروژن مایع و دی اکسید کربن) که منجر به چسبندگی کمتر براده به ابزار و از ترد شدن قطعه‌کار بدلیل دمای بسیار پایین آن پیشنهاد می‌شود.

مراجع

[1] M. H. sadeghi, Metal Cutting Principles. Tehran: Abed 2009, p. 367.

[2] A. P. Nagaraj and A. K. Chattopadhyay, “On some aspects of wheel loading,” wear, vol. 135, pp. 41-52, 1998.

[3] P. Zhang and M. Miller, Grinding Wheel Loading with and without Vibration Assistance. 2003.

[4] H. Lauer-Schmaltz and W. König, “Phenomenon of Wheel Loading Mechanisms in Grinding,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 29, no. 1, pp. 201-206, 1980.

[5] M. Rabiey and E. Westkämper, “Dry Grinding with CBN Wheels, The Effect of Structuring,” PhD, Mechanical Enginering, Stuuttgart university Germany, 2010.

[6] B. AZARHOUSHANG, R. RINDERKNECHT, A. VESALI, and J. STRUß, “Standzeiterhöhung und Reduzierung der Zusetzung beim Schleifen durch ein innovatives Reinigungsverfahren,” presented at the Schweizer Schleif-Symposium, 2016.

[7] M. P. J. Kumar, J. H. Hussain, R. Anbazhagan, and V. Srinivasan, “Effect of grinding wheel loading on force and vibration,” Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, vol. 9, no. 2, pp 276-279, 2019

[8] I. D. Marinescu, M. P. Hitchiner, E. Uhlmann, W. B. Rowe, and I. Inasaki, Handbook of Machining with Grinding Wheels. CRC Press, 2006.

[9] A. K. Srivastava, K. S. Ram, and G. K. Lal, “A NEW TECHNIQUE FOR EVALUATING WHEEL LOADING,” International Journal Machine Tool Design Research, vol. 25, No. 1, pp. 33-38, 1985.

[10] N. Company, “STANDARD PRODUCTS CATALOG,” in Norton Diamond and CBN Superabrasives, ed, 2014.

[11] W. B. Rowe, Principles of Modern Grinding Technology. William Andrew, 2009.

[12] H. Adibi, S. M. Rezaei, and A. A. D. Sarhan, "Analytical modeling of grinding wheel loading phenomena," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 68, no. 1-4, pp. 473-485, 2013.

[13] H. Adibi, S. M. Rezaei, and A. A. D. M. Sarhan, "A Novel Method for Determination of Grinding Wheel Loading," Caspian Journal of Applied Sciences Research, vol. 11, pp. 71-78, 2012.

[14] H. Adibi, S. M. Rezaei, and A. A. D. Sarhan, "Grinding Wheel Loading Evaluation Using Digital Image Processing," Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 136, pp. 1-10, 2014.

[15] B. Azarhoushang, R. Rinderknecht, A. Vesali, and J. Struss, "Optimizing the grinding process through reduction of the loading of grinding tool by infiltration," Applied Mechanics and Materials, vol. 806, pp. 71-77, 2015.

[16] P. Zhang and M. H. Miller, "THE ROLE OF MECHANICAL INTERLOCKING AND DIFFUSION IN GRINDING WHEEL LOADING," Michigan Technological University, Researchgate.

[17] S. C. Salmon, "The effects of hard lubricant coatings on the performance of electro-plated superabrasive grinding wheels," Key Engineering Materials, vol. 238-239, pp. 283-288, 2003.

[18] D. Dornfeld and H. G. Cai, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission," JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, vol. 106, pp. 28-33, 1984.

[19] C. Heinzel and G. Antsupov, "Prevention of wheel clogging in creep feed grinding by efficient tool cleaning," CIRP Annals, vol. 61, no. 1, pp. 323-326, 2012/01/01/ 2012.

[20] A. Cameron, R. Bauer, and A. Warkentin, "An investigation of the effects of wheel-cleaning parameters in creep-feed grinding," International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 50, no. 1, pp. 126-130, 2010/01/01/ 2010.

[21] M. J. Jackson, A. Khangar, X. Chen, G. M. Robinson, V. C. Venkatesh, and N. B. Dahotre, "Laser cleaning and dressing of vitrified grinding wheels," Journal of Materials Processing Technology, vol. 185, no. 1, pp. 17-23, 2007/04/30/ 2007.

[22] F. Klocke and A. Kuchle, Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping. Springer Berlin Heidelberg, 2009.