نشریه‌ی مکانیک سنگ
JOURNAL OF ROCK MECHANICS
دوره هفتم، شماره۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۳۱ تا ۳۹
https://doi.org/10.22034/IRSRM.2023.490074.1009

تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سایش دیسک برشی ماشین حفاری TBM

رضا نیکبخت نصرآبادی[۱]؛ ابراهیم فرخ[۲*]؛ پرویز معارف‌وند[۲]
۱- دانشجوی دکتری مهندسی معدن- مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۲- دانشیار مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

دریافت : ۱۴۰۲/۰۷/۰۷ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰
(*نویسنده مسئول: e.farrokh@aut.ac.ir)

چکیده

دیسک برشی یکی از اصلی‌ترین اجزای حفاری با ماشین TBM در سنگ سخت است؛ از این رو سایش دیسک برشی در تونل‌زنی با ماشین حفاری TBM تأثیر عمده‌ای بر عملکرد ماشین حفاری، بهره‌وری آن و هزینه‌های تونل‌سازی دارد. بررسی سایش دیسک برشی خصوصاً با در نظر گرفتن اثر پارامترهای عملیاتی، پیش‌بینی مصرف دیسک را به یک کار دشوار تبدیل کرده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سایش دیسک برشی ماشین حفاری است. پارامترهای کلیدی مؤثر بر سایش دیسک برشی مانند مقاومت سنگ، ساینده‌گی سنگ، نیروی عمودی، نیروی چرخشی و میزان دور بر دقیقه دیسک، بوده که مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج مورد انتظار از مطالعه پارامتری شامل درک درجه اهمیت پارامترهای عملیاتی در سایش دیسک برشی برای انواع سنگ‌ها و برش‌دهنده‌های دیسکی انتخابی است. در نهایت، بین نتایج سایش دیسک برشی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه آزمایش تمام مقیاس با پارامترهای عملیاتی مختلف، مقایسه‌ای انجام شده و تأثیرات آن بر سایش دیسک مشخص می‌شود.

واژگان کلیدی **ماشین حفاری TBM، دیسک برشی، سایش، آزمایش ساینده‌گی، پارامترهای عملیاتی.**

۱- مقدمه

ماشین‌های حفاری تونل (TBM) یکی از روش‌های متداول تونل‌زنی با نرخ حفاری بالا می‌باشد. دیسک‌های برشی یکی از اجزای ضروری و مهم ماشین‌های حفاری TBM در سنگ سخت است؛ بنابراین تأثیر زیادی بر کارآیی و عملکرد این ماشین‌ها دارد. در پروژه‌های تونل‌زنی با ماشین‌های TBM تعویض و جای‌گذاری دیسک‌های ساییده شده به طور زیادی نرخ پیشروی و عملکرد استفاده ماشین را پایین می‌آورد که باعث یک افزایش در هزینه پروژه و زمان توقف ماشین حفاری می‌شود. سایش ابزار برنده، تغییرات گسترده‌ای در شرایط زمین‌شناسی مختلف دارد. بنابراین پیش‌بینی دقیق سایش ابزار برش سنگ و تجزیه و تحلیل واقعی دیسک‌های برشی به منظور جلوگیری از مصرف اضافی بودجه و بهبود بهره‌وری کاری TBM، ضروری است[۱]. تجربیات مهندسی نشان می‌دهد که تعویض و تعمیر دیسک‌های برشی در ماشین‌های TBM به عنوان ابزار برش و هسته مرکزی شکست سنگ، در یک چینه و سنگ بسیار ساینده هزینه یک سوم از زمان کل پروژه تونل‌زنی را شامل می‌شود، بنابراین یک سوم هزینه حفاری برای ساخت تونل مربوط به هزینه ابزار برش است؛ بنابراین مطالعه پیش‌بینی سایش ابزار برش در سازندها و چینه‌های ساینده امری اجتناب ناپذیر است[۲]. بر اساس استاندارد شماره ۵۰۳۲۰ دین[۲] در سال ۱۹۷۹ میلادی،

[2] DIN

ساینده‌گی[3] به معنی فرآیند از دست رفتن مواد از سطح یک جامد یا عضو بوده که توسط یک فرآیند مکانیکی در طی تماس و اصطکاک با یک جسم جامد، مایع و یا گاز ایجاد می‌شود. کاربرد این عبارت در سایش ماشین‌های TBM این است که ساینده‌گی در این ماشین به صورت کاهش مواد محلی از سطح ابزار برش در نتیجه تماس مکانیکی و حرکت نسبی بین ابزار برش و سطح سنگ، تعریف می‌شود[۳]. بنابراین ساینده‌گی یک نوع خصوصیت سنگ به شمار می‌آید. سختی ساینده‌گی یک خصوصیت مطلق ماده نبوده بلکه به خصوصیات متناظر ابزار برش نیز بستگی دارد. ابزار برش ساییده شده منجر به نفوذ کمتر و یا نیروی پیش‌ران بیشتر با نرخ نفوذ یکسان در طی عرض نوک پهن‌تر می‌شود[۴].

بر این اساس به منظور بررسی پدیده سایش دیسک‌های برشی در ماشین‌های حفاری باید تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سایش و عملکرد سایشی دیسک برشی ارزیابی شود. پارامترهای عملیاتی شامل نیروهای وارده بر دیسک برشی و سرعت دورانی غلتش دیسک برشی می‌باشد.

۲- آزمایشات آزمایشگاهی برای تعیین ساینده‌گی سنگ و سایش ابزار

امروزه آزمایشات آزمایشگاهی تحت عنوان آزمایشات شاخص، به طور رایج برای پیش‌بینی سایش در TBM استفاده می‌شود. اغلب از روش‌های مقیاس آزمایشگاهی برای تعیین ساینده‌گی سنگ مانند آزمایش سایش سرشار و آزمایش سایش LCPC و آزمایشات سایش NTNU/SINTEF، ساینده‌گی RIAT[4] و سایش اسکنه‌ای[5] در سراسر دنیا برای ارزیابی ساینده‌گی سنگ و سایش ابزار برش و مدل‌های پیش‌بینی سایش، استفاده قرار می‌شود.

ماکیاس و همکاران در سال ۲۰۱۶ میلادی اظهار داشته‌اند که روش‌های آزمون آزمایشگاهی، رفتار سایشی مواجه شده در دیسک برشی در طی تونل‌زنی را به وجود نمی‌آورد. در این آزمایشات همه مؤلفه‌های سیستم (مواد ابزار برش، خاک، شرایط محیطی و پیرامون و طیف بارگذاری) باید در نظر گرفته شود [۵].

۳- یک مدل تئوری تخمین سایش دیسک

بر اساس تجزیه و تحلیل عوامل سایش دیسک برشی، یک مدل تئوری شامل پارامترهای ساختاری دیسک و پارامترهای برش برای پیش‌بینی سایش دیسک در شرایط سایش نرمال و عادی پیشنهاد شده است. بر اساس روابط بین تغییر شکل الاستیک و اصطکاک، ناحیه تماس می‌تواند به دو ناحیه چسبنده[6] و لغزشی تقسیم شود. با وجود ناحیه لغزش، کرنش‌های مماسی در این ناحیه با ناحیه چسبنده متفاوت است. این اختلاف منجر به لغزش کوچک می‌شود. سرعت لغزش S بر اساس تئوری تماس می‌تواند با استفاده از روابط زیر محاسبه شود[۶].

$$S = \xi . V \qquad (۱)$$

$$\xi = -\mu a \left[1 - (1 - \frac{Q}{\mu F})^{0.5}\right] / R \qquad (۲)$$

$$V = 2\pi R' . N \qquad (۳)$$

که در آن ξ نسبت لغزش، V سرعت مماسی دیسک برشی، F نیروی عمودی دیسک برش، Q نیروی چرخشی دیسک، a عرض ناحیه تماس، R شعاع دیسک برش، μ ضریب اصطکاک، 'R فاصله بین مرکز کله حفاری و دیسک برش، N تعداد چرخش بر دقیقه ماشین حفاری است. عرض ناحیه تماس a از رابطه (۴)حساب می‌شود.

$$a = 2\alpha R \qquad (۴)$$

$$\alpha = \cos^{-1}[(R - H - p)/(R - H)]$$

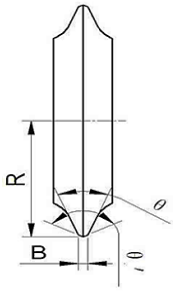
که در آن α زاویه مرکزی ناحیه تماس بین دیسک و سنگ بوده، p عمق نفوذ دیسک برشی و H عمق سایش دیسک برش است. M حجم سایش دیسک برشی و توان اصطکاکی W به شرح زیر است.

$$M = IW, W = \mu FSt \;\rightarrow\; M = I\mu FSt \qquad (۵)$$

که در آن t زمان برش و I نرخ سایش بر انرژی است. برای توده سنگ و مواد دیسک برشی مشخص، μ و I شناخته

[3] abrasivity
[4] Rolling Indentation Abrasion Test
[5] Gouging
[6] glue

شده است. S با استفاده از روابط به دست می‌آید. با در نظر گرفتن دیسک برشی با مقطع ثابت[۷] نشان داده شده در شکل ۱ به عنوان نمونه و با استفاده از روابط تخمین راکسبورو F و Q از رابطه (۶ به دست می‌آید [۶].



شکل۱- هندسه دیسک برشی مقطع ثابت.

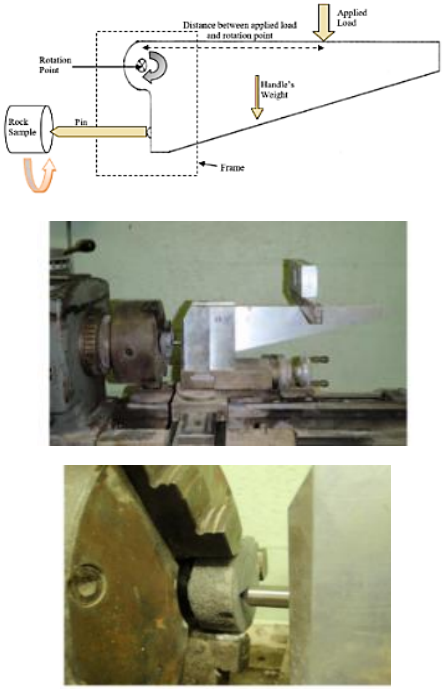
$$F = A\sigma_C\,,\quad Q = F\sqrt{p/[2(R-H)-p]} \qquad (۶)$$

که در آن σ_c مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ، A سطح ناحیه تماس بین دیسک و سنگ است.

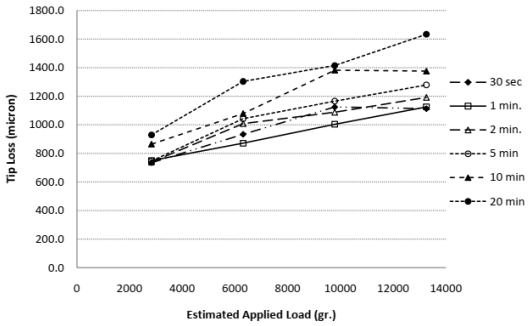
۴- تأثیر تغییر بار اعمالی بر شاخص ساینده‌گی سرشار

یک مرور مختصری بر متون موجود نشان می‌دهد که مطالعات سیستماتیکی بر تأثیر بار اعمالی روی مقادیر شاخص CAI انجام نشده است. به عنوان اولین قدم برای توسعه یک آزمایش جدید ضروری است تا تأثیر بارها و نیروهای مختلف بر پین فولادی به واسطه تنش تماسی بین نوک پین فولادی و سنگ در سایش و تغییر شکل نوک پین در نتایج آزمایش سرشار لحاظ شود.

یک دستگاه آزمایش ساده شامل یک بازوی نصب شده در یک قاب می‌تواند بار عمودی را به صورت افقی اعمال کند. بارهای مختلف با استفاده از وزنه‌های مختلف در مکان‌های مختلف بازو به صورت بار مرده اعمال می‌شود. در شکل ۲ شماتیکی از دستگاه مذکور و در حال کار قابل مشاهده است. در یک سری آزمایش انجام شده در این دستگاه همبستگی بار اعمالی و میزان نوک حذف شده به دست آمده که در شکل آورده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است یک رابطه کم و بیش خطی بین بار اعمالی و سایش نوک پین در آزمایش اصلاح شده وجود دارد [۷].



شکل ۲ - نمایی از دستگاه آزمایش اصلاح شده سایش سرشار [۷].



شکل ۳- همبستگی بین بار اعمالی، طول خراش و سایش نوک پین در آزمایش اصلاح شده [۷].

۵- تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سایش دیسک در آزمایش تمام مقیاس

برای پیش‌بینی سایش و عمر ابزار برش و عوامل مؤثر بر سایش دیسک‌های برشی، مطالعات و تلاش‌های زیادی انجام شده است. از جمله کارهای انجام شده برای بررسی پدیده سایش

[7] CCS (Constant Cross Section)

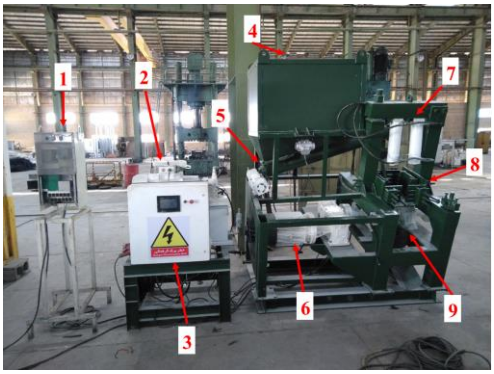
در دیسک‌های برشی، آزمایشات شاخص تعیین سایندگی سنگ، آزمایشات سختی سنجی ابزار برش، مدل‌های پیش-بینی سایش ابزار برش و روش‌های تحلیلی و تئوری است. در این روش‌ها بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی ماشین حفاری شامل نیروی عمودی وارد بر دیسک، نیروی چرخشی و میزان دور بر دقیقه کله حفاری و دیسک برشی با دقت و جزئیات و مستقیماً بر روی دیسک برشی واقعی انجام نشده است.

در سال‌های اخیر شرکت تونل‌ساز ماشین به عنوان اولین شرکت سازنده ماشین‌های حفاری TBM در کشور ایران مشغول به فعالیت است. این شرکت به کمک مهندسین و صنعت‌گران داخلی موفق به طراحی و ساخت دیسک‌های برشی داخلی مطابق با استانداردهای روز دنیا شده است. در زمینه توسعه فناوری این دیسک‌ها تلاش‌های زیادی صورت گرفته است. به منظور بررسی عملکرد و کنترل کیفیت دیسک‌های برشی ساخته شده و مقایسه با نمونه‌های خارجی دیسک‌های برشی، یک دستگاه آزمایش دیسک برش توسط مهندسین شرکت طراحی و ساخته شده است. دستگاه آزمایش مذکور، مکانیزم عملکردی آن را می‌توان در شکل مشاهده کرد.

دستگاه آزمایش عملکرد دیسک برشی نشان داده شده در شکل از دو جزء اصلی واحد کنترل و داده‌برداری و سازه اصلی آزمایش است. اجزای سازه اصلی شامل قاب صلب، موتور الکتریکی محرک چرخ طیار، چرخ طیار، دیسک برشی و نشیمنگاه آن، جک‌های هیدرولیک عمودی، مخزن ذخیره سنگ‌ریزه، نقاله مارپیچ و خوراک دهنده سنگ است. مکانیزم عملکرد دستگاه شبیه به آزمایش NTNU می‌باشد. در این دستگاه آزمایش، از مواد ریزدانه سنگی برای سایش لبه دیسک برشی استفاده شده ولی فلز و ابزار برش مورد مطالعه همان دیسک واقعی ماشین حفاری TBM است.

به عنوان یک مثال موردی برای بررسی تأثیر نیروی عمودی بر میزان سایش دیسک برش در آزمایش شرح داده شده، از سه مدل دیسک برشی برای انجام این آزمایش استفاده شده است. این دیسک‌های برشی شامل دیسک پارسیان‌سازه دولبه مونوبلاک، دیسک شاندونگ[8] دو لبه مونوبلاک و دیسک پالمیری[9] تک لبه مونو بلاک است.

پارامترهای عملیاتی و مشخصات آزمایش در جدول ۱ به طور خلاصه آورده شده است. همچنین نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.



1- Driver and drive of electric motors
2- Power pack and hydraulic source
3- Control and data acquisition unit
4- Aggregate tank
5- Screw conveyor
6- Flywheel drive electric moto
7- Frame (installation of 2 hydraulic jacks)
8- Cutter disk location
9- Flywheel and gearbox

شکل ۴- دستگاه آزمایش عملکرد و سایش دیسک برشی ماشین TBM طراحی و ساخته شده.

جدول ۱- پارامترهای آزمایش بررسی سایش دیسک برشی

دیسک برشی	مسافت (km)	FN (KN)	FR (KN)	(RPM)	میانگین کاهش قطر (mm)
پارسیان‌سازه (دولبه)	۱۸/۲۴	۸۰	۸	۱۲	لبه ۱: ۰/۱ لبه ۲: ۰/۱۹
شاندونگ (دو لبه)	۱۸/۵۶	۸۰	۸	۱۷	لبه ۱: ۰/۲۶۵ لبه ۲: ۰/۲۴
پالمیری (تک لبه)	۱۸/۵۶	۸۰	۸	۱۷	۰/۴۷

[8] Shandong
[9] Palmieri

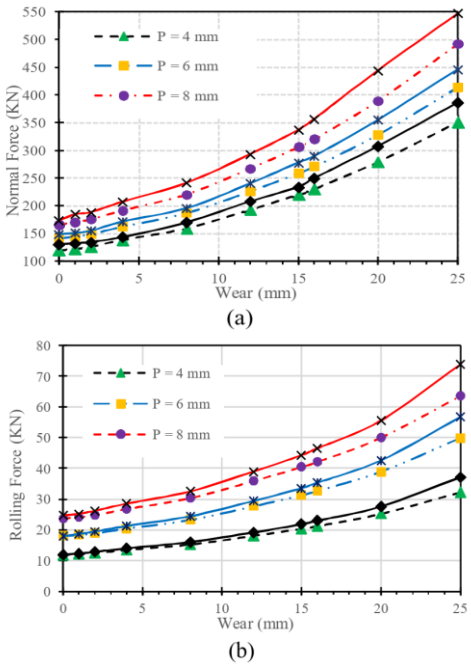
همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان نرخ سایش برای لبه ۱ دیسک پارسیان سازه برابر ۰/۲۸۰ میلی‌گرم بر متر و برای لبه ۲ آن برابر ۰/۵۳۳ میلی‌گرم بر متر است. مقدار نرخ سایش برای لبه ۱ و ۲ دیسک شاندونگ به ترتیب برابر ۰/۶۹ و ۰/۶۳ میلی‌گرم بر متر است. این مقدار برای دیسک تک لبه پالمیری ۱/۲۳ میلی‌گرم بر متر اندازه‌گیری شده است. میانگین نرخ سایش هر لبه در دیسک پارسیان سازه برابر ۰/۴۰۶ و در دیسک شاندونگ در هر لبه برابر ۰/۶۶ میلی‌گرم بر متر است. در حالی که نرخ سایش در لبه دیسک تک لبه پالمیری ۱/۲۳ میلی‌گرم بر متر اندازه‌گیری شده است.

جدول ۲- نتایج آزمایش بررسی سایش بر دیسک برشی

دیسک برشی		کاهش قطر (mm)	مسافت طی شده (m)	نرخ کاهش جرم (mg/m)
پارسیان سازه (دو لبه)	لبه ۱	۰/۱۰۵	۱۸۲۴۳	۰/۲۸۰
	لبه ۲	۰/۲۰۰	۱۸۲۴۳	۰/۵۳۳
شاندونگ (دو لبه)	لبه ۱	۰/۲۶۵	۱۸۵۶۰	۰/۶۹
	لبه ۲	۰/۲۴۰	۱۸۵۶۰	۰/۶۳
پالمیری (تک لبه)	-	۰/۴۷	۱۸۵۶۰	۱/۲۳

نسبت مقدار سایش دیسک پالمیری به پارسیان سازه و شاندونگ به ترتیب برابر ۳/۰۲۶ و ۱/۸۶ است. این نسبت‌ها به این دلیل به وجود آمده که نیروی ثابت ۸۰ کیلو نیوتن در هر سه آزمایش در دیسک‌های دو لبه به هر لبه میزان ۴۰ کیلو نیوتن نیروی عمودی وارد شده ولی در دیسک تک لبه نیروی عمودی وارد بر لبه ۸۰ کیلو نیوتن است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات نیروی عمودی و به تبع آن نیروی چرخشی بر میزان سایش و نرخ سایش دیسک‌های برشی مؤثر است.

در بررسی عددی پیش‌بینی عمر دیسک برشی در سنگ سخت که توسط ظهیری و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی صورت گرفته، برش سنگ با دیسک برشی به روش المان محدود دینامیکی مدل‌سازی شده است. یک از نتایج مهم از این شبیه‌سازی برآورد تأثیر نیروی عمودی و نیروی غلتشی بر سایش دیسک برشی بوده که نمودار حاصل در شکل ۵ آورده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود در نرخ نفوذهای مختلف با افزایش نیروهای اعمالی به دیسک برشی، سایش دیسک برشی نیز افزایش می‌یابد. این رابطه افزایش متناسب نسبتاً خطی بین سایش لبه دیسک برشی را با افزایش نیروی عمودی وارد بر دیسک را به خوبی تأیید می‌نماید. بنابراین نتایج حاصل از آزمایش تمام مقیاس بررسی سایش دیسک برشی با بررسی‌های مدل عددی نیز همخوانی مناسبی دارد و می‌توان پارامترهای عملیاتی ماشین را به عنوان یک عامل مؤثر در سایش ابزار برش در پژوهش‌های آتی دقیق‌تر و مفصل‌تر مورد بررسی قرار داد.



شکل ۵- رابطه سایش دیسک برشی با نیروهای اعمالی دیسک برشی (بالا: نیروی عمودی، پایین: نیروی غلتشی) [۸].

۶- نتیجه‌گیری

در بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد ماشین سه عامل خواص توده سنگ برجا، مشخصات ماشین و پارامترهای عملیاتی

ماشین مهمترین عوامل تأثیر گذار است. در سایش دیسک برشی نیز یکی از عوامل تأثیر گذار پارامترهای عملیاتی ماشین است. تأثیر این پارامترها به صورت مجزا در آزمایشات و روش-های پیش‌بینی سایش دیسک برشی لحاظ نشده است.

با بررسی رابطه تحلیلی ارائه شده برای سایش مشخص شده است که دو پارامتر مهم نیروی عمودی بر لبه دیسک و نیروی غلتشی در محاسبات سایش نقش اساسی دارد. همچنین مشاهده شد که در آزمایش سرشار با تغییرات بار عمودی اعمالی بر پین فولادی میزان سایش تغییر کرده و رابطه مستقیمی با بار اعمالی دارد. بعد از انجام آزمایشات سایش تمام مقیاس دیسک برشی نیز مشخص شد که با بار اعمالی ثابت و نیروی غلتشی یکسان در شرایط آزمایش مشابه هم، سایش در دیسک برشی تک لبه حدود دو برابر دیسک برشی دو لبه است. یک دلیل اصلی برای این اتفاق می‌توان همان تأثیر دو برابری نیروی اعمالی به نوک تیغه دیسک تک لبه باشد. بنابراین پارامترهای عملیاتی مانند نیروهای اعمالی به دیسک برشی و گشتاور اعمالی بر آن مستقیم بر نرخ سایش آن تأثیر دارد و باید در بررسی و پیش‌بینی سایش و عمر مصرفی دیسک برشی این عوامل در نظر گرفته شود. با انجام آزمایشات تمام مقیاس متعدد و دقیق‌تر می‌توان این موضوع را به طور جامع‌تری بررسی نمود.

۷- سپاس‌گزاری

در این بخش شایسته است از شرکت تونلساز ماشین و مدیران این مجموعه به عنوان پیشرو در صنعت ماشین حفاری TBM و صنایع وابسته آن در کشور ایران، به خاطر ساخت دستگاه آزمایش تمام مقیاس و در اختیار قراردادن دستگاه آزمایش به همراه دیسک‌های برشی ماشین حفاری جهت انجام آزمایشات، کمال تشکر و قدر دانی را به عمل آورده چرا که دستاورد این مقاله بدون حمایت این شرکت میسر نمی-گردید. لذا کمال سپاس و امتنان و موفقیت را برای ایشان خواستاریم.

۸- منبع‌ها

[1] Liu, B., Yang, H., & Karekal, S. (2021). Reliability analysis of TBM disc cutters under different conditions. *Underground Space, 6(2)*, 142-152. doi:10.1016/j.undsp.2020.01.001

[2] Sun, Z., Zhao, H., Hong, K., Chen, K., Zhou, J., Li, F & ... ,He, R .(۲۰۱۹) .A practical TBM cutter wear prediction model for disc cutter life and rock wear ability .*Tunnelling and Underground Space Technology* .۹۲-۹۹ ,۸۵ ,doi:10.1016/j.tust.2018.12.010

[3] Plinninger, R. J., Spaun, G & ,Thuro, K .(۲۰۰۲) .Prediction and classification of tool wear in drill and blast tunnelling t۹ .*th congress of the international association for engineering geology and the environmen* .Durban, Sou .doi:0-620-28559-1

[4] Ellecosta, P .(۲۰۲۰) .*Determining abrasivity for hard rock TBM tunnelling* .München: Doctoral dissertation, Technische Universität München.

[5] Janc, B., Jovičić, V & ,.Vukelić, Ž .(۲۰۲۰) .Laboratory test methods for assessing the abrasivity of rocks and soils in geotechnology and mining applications .*Materials and Geoenvironment*۱۰۳- ,*(۳)۶۷* ,.۱۱۸doi:10.2478/rmzmag-2020-0012

[6] Li, F. H., Cai, Z. X & ,Kang, Y. L .(۲۰۱۱) .A theoretical model for estimating the wear of the disc cutter .*Applied mechanics and materials ,Vol. 90*(Trans Tech Publications Ltd), 2232-2236 .

doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.90-93.2232

[7] Ghasemi, A .(۲۰۱۰) *Study of CERCHAR abrasivity index and potential modifications for more consistent measurement of rock abrasion* .

[8] Zahiri, M., Goshtasbi, K., Khademi Hamidi, J., & Ahangari, K. (2020). A Numerical Investigation of TBM Disc Cutter Life Prediction in Hard Rocks. *Journal of Mining and Environment*, 1095-1113. doi:10.22044/jme.2020.9933.1922

JOURNAL OF ROCK MECHANICS

Effect of Operating Parameters on TBM Disc Cutter Wear

Reza Nikbakht Nasrabadi [1]; Ebrahim Farrokh[2]; Parviz Maarefvand[3]

1- PhD candidate in mining engineering-rock mechanics, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.

2- Associate Professor of Mining Engineering, Department of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.

Received: 29. September. 2023 Accepted: 21. December 2023
(Corresponding author: e.farrokh@aut.ac.ir)

Keywords

Tunnel boring machine (TBM)
Disc cutter
Abrasivity
Wear test
Operating parameters

Final English Extended Abstract

Summary

The cutting disc is one of the main components in the TBM in hard rock; the disc cutter wear is investigated by considering the effect of operating parameters in order to increase the disc life and machine efficiency in this study. The key parameters affecting the cutting disc wear are rock strength, rock abrasiveness, the normal force (the trust force), rolling force, and the exact rotation speed of the disc (rpm), which have been investigated. Finally, the effect of operating parameters on cutting disc wear is estimated using a full-scale cutting disc test.

Introduction

Disc cutter is one of the main components of the TBM machine in hard rock; Therefore, the wear of the cutting disc in tunneling with a TBM machine has a major effect on the performance of the boring machine, its productivity, and tunneling costs. Investigating the wear of the disc cutter, especially considering the effect of the operating parameters, has turned the disc consumption prediction into a difficult task. The main goal of this research is to investigate the effect of operational parameters on the wear of TBM disc cutters.

Methodology and Approaches

In order to investigate the phenomenon of wear and to predict the wear of cutting tools, index laboratory tests have been developed. By examining a theoretical relationship presented about disc cutter wear in this research, it has been determined that the two important factors of normal force and rolling force play a significant role in the calculation of disc wear. On the other hand, the results of the modified test on the full test are given, which show that with the changes in the applied load on the test pin, the wear of its tip also changes.

Therefore, one method to accurately examine cutting disc wear is to use laboratory methods, which make assessments more realistic by bringing the test closer to full scale. So, to investigate the effect of operating parameters on the wear behavior of the disc cutter, a full-scale test device was designed and manufactured by Tunnelsaz Machine Company. Interesting results have been presented by conducting rock-cutting simulation experiments and wear measurements on double-tip and single-tip disc cutters in the same laboratory conditions. In these tests, operating parameters such as the vertical force on the disc in both single-tip and double-tip types of discs, were equal to 80 KN and the rolling force was 8 KN.

Results and Conclusions

The results of the tests show that the wear of single-tip discs is almost twice the wear of double-tip discs. This is due to the double force applied to the tip of a single-tip disc compared to double-tip discs. Therefore, according to these tests, the effect of operational parameters on the wear of the cutting disc has been clearly

determined

It can be concluded that in the investigation of the factors affecting the performance of the TBM machine, three factors are in-situ rock mass properties, the characteristics of the machine, and the operating machines. Also, the operating parameters are one of the factors affecting the wear of the cutting disc..