

بررسی تأثیر بافت سطح بر مکانیزم‌های مختلف شکست ناشی از سایش

یاسین باباجانپور^{*۱}

۱- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل

*Yasin_babajanpour@yahoo.com

ارسال: دی ماه ۹۵ پذیرش: اسفند ماه ۹۵

خلاصه

حدود ۴۰ درصد کل انرژی تولیدی موتور در اثر اصطکاک و سایش از بین می رود. کاهش یا افزایش ضریب اصطکاک به هندسه بافت سطحی که ایجاد کرده اند وابسته است. با توجه به اینکه روش شکل دهی از روش های ارزان و مناسب برای تولید ریزحفره است و نسبت به روش های دیگر نیاز به امکانات کمتری دارد، این پروژه قصد دارد تا با استفاده از این روش یک مکانیزم مناسب برای ایجاد ریزحفره طراحی نموده و اقدام به ساخت آن نماید. لذا ابتدا با استفاده از نرم افزار آباکوس ابزار مناسب طراحی گردید، سپس این ابزار ساخته و بر روی پایه ای مناسب نصب شد. سپس با استفاده از مکانیزم ساخته شده حفره های ریز روی سطح ایجاد شد. در پایان به کمک دستگاه آزمایش سایش تأثیر ریز حفره های ایجاد شده بر میزان اصطکاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تا ۱۸ درصد کاهش در ضریب اصطکاک را با این روش میتوان ایجاد نمود.

کلمات کلیدی: شکل دهی، تریبولوژی، سایش، بافت سطح، ریزحفره.

۱. مقدمه

ریزحفره ها بطور کلی کاربردهای زیادی دارند، از این کاربردها می توان به توانایی ریزحفره ها در کاهش اصطکاک، کاهش سایش، کاهش نیروی چسبندگی سطوح تماسی در قالب های پلاستیک و کشش عمیق را نام برد. در این پروژه بررسی تأثیر ریزحفره ها بر میزان اصطکاک مورد بررسی قرار گرفته است.

عبارت ساخت میکرونی به مفهوم یک کارگاه مینیاتوری است که یک موضوع جدید در ارتباط با سیستم های ساخت و تولید است [۱-۳]. یک میکروکارگاه را می توان به عنوان یک سیستم ساختی تعریف نمود که هم کارایی بالاتری دارد و هم فضای کمتری را اشغال می کند و هم مصرف سوخت، انرژی و منابع کمتری خواهد داشت [۴]. حدود ۵۰ درصد از اصطکاک داخل موتور در اثر اصطکاک رینگ و پیستون است که جهت کاهش این مسئله از دو روش استفاده می شود:

۱- روانکاری مناسب

۲- استفاده از بافت سطح مناسب بر روی بدنه رینگ و پیستون

بطور کلی مطالعاتی که انجام شده است را می توان در چند دسته فاکتور که تغییر یافته اند خلاصه کرد، فاکتورهایی همانند چگالی، نسبت عمق به قطر مورد بررسی قرار داده شده است تأثیر بافت سطح با تغییر در مسائلی همانند اصطکاک و سایش در موتور و میزان مصرف سوخت مورد ارزیابی قرار گرفته شده است [۵]. طی سال های گذشته مشخص شده است ایجاد حفره ها و یا شیارهایی با ابعاد زیر یک میلی متر می تواند مزایای بسیار زیادی داشته باشد. از جمله این مزایا می توان به کاهش

اصطکاک، روانکاری بهتر، افزایش عمر قطعات و خنک کاری بهتر اشاره نمود [۶]. ایجاد ریزحفره ها یک روش است که می تواند ویژگی های تریبولوژی و مکانیکی سطح را بهبود دهد.

همیلتون^۱ و همکاران [۷] ایده ی این مساله را که سوراخ های ریز سطح می توانند به عنوان یک بوش هیدرودینامیکی روی سطح عمل کنند را بیان کردند و به این نتیجه رسیدند که ایجاد ریزحفره ها می تواند عاملی جهت کاهش اصطکاک، سایش و هم عاملی جهت ذخیره روانکار در سطوحی که باهم در تماس هستند باشد، بنابراین می تواند طول عمر قطعات را افزایش دهد [۸]. اتسیون^۲ و همکاران [۹] روی سطح یک رینگ بصورت بخشی بافت سطح ایجاد کردند و آن را روی یک سطح استوانه ای قرار دادند. با آزمایش سایش رفت و برگشتی و مقایسه بین یک سطح بدون بافت سطح و سطح با بافت بهینه انجام گرفته است. آزمایش تحت نیروی فشاری و یا مطابق این نیرو فشار تماسی در محدوده ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ MPa ایجاد کرده اند. در هر دو نوع با افزایش سرعت میزان نیرو اصطکاک افزایش می یابد ولی همواره در نوع بافت دار این مقدار اصطکاک کمتر است. بطور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد میزان اصطکاک کاهش یافته است. در سرعت ۹۰۰rpm لغزش شروع و در ۱۲۰۰rpm بدلیل لغزش زیاد تقریباً آزمایش امکان پذیر نمی باشد. آزمایش هایی که روی موتور انجام شده نشان داده است که در سرعت های زیر ۲۰۰۰rpm تأثیر مثبت اندک و در سرعت های بالای ۲۰۰۰rpm این تأثیر بطور کامل محو می شود. رانن^۳ و همکاران [۱۰] آزمایش آنها توسط یک پیستون و استوانه انجام شده است تا شرایط پیستون در داخل رینگ بطور کامل برقرار شود. هدف آنها بررسی پتانسیل بافت سطح روی رینگ بوده است که با سطح استوانه ای در تماس بوده است. این تحقیق بیان می کند که حتی تماس کم و موازی بین رینگو سیلندر می تواند تأثیر هیدرودینامیکی داشته باشد. مهمترین پارامترهای تعیین شده عبارتند از: میزان چگالی سوراخ ها، عمق سوراخ ها و قطر سوراخ ها. نتایج بدست آمده نشان داد که ۳۰ درصد و حتی بیشتر می توان اصطکاک را کاهش داد. کلیجرمن^۴ و همکاران [۱۱] یک مدل آنالیزی را جهت بررسی تأثیر تجمعی سوراخ ها روی سطوح در تماس که یک سطح تخت و یک رینگ می باشد مورد بررسی قرار دادند. پارامترهایی که بهینه شدند عبارتند از عمق سوراخ ها، چگالی و نرخ سوراخ ها، مقدار منطق های که از سطح بافت ایجاد شده است. در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که در نوع بافت سطح بخشی میزان اصطکاک از نوع بافت سطح کامل کمتر خواهد شد. این میزان کاهش در حدود ۳۰ درصد برای رینگ های باریک و ۵۵ درصد در حالتی که رینگ ها پهن بوده اند. تاندر^۵ [۱۲] نشان داد برای بهبود شرایط روانکاری و ایجاد فشار هیدرودینامیکی در بین سطوح در حال تماس بهتر است به جای حفره های بزرگ از حفره هایی درحد ریزن استفاده شود، چراکه استفاده از ریزحفره ها شدت جریان ورودی روانکار به درون ساختار ریزنی را افزایش می دهد. از طرفی مقاومت در برابر جریان در داخل ریز ساختارها افزایش می یابد، لذا این مقاومت در مقابل جریان در داخل ریز ساختارها باعث ایجاد یک فشار هیدرودینامیکی می شود. کووالچنکو^۶ و همکاران [۱۳] نشان دادند که مقدار کاهش اصطکاک بطور کلی مستقل از شکل سوراخ ها و به شدت وابسته به نسبت عمق به قطر و چگالی سوراخ ها می باشد. اتسیون^۷ و همکاران [۱۴] چندین آزمایش و مدل های تئوری را گسترش دادند و نشان دادند که نسبت عمق به قطر در حدود ۵ درصد و میزان چگالی سطحی که آنها به حداقل اصطکاک دست یافتند مقادیر زیر ۳۰ درصد بوده است. این در حالی است که استیفنز و همکارانش [۱۵] چگالی در این حالت را بالای ۸۰ درصد تخمین زده بودند.

¹ Hamilton

² Etsion

³ Ronen

⁴ Kligerman

⁵ Tonder

⁶ Kovalchenko

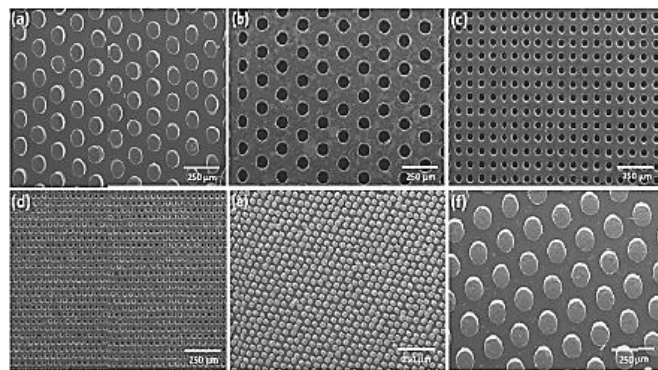
⁷ Stephnes

۲. تأثیر پارامترهای مختلف بافت سطح بر میزان کاهش اصطکاک

- تأثیر هندسه بافت سطح
- تأثیر چگالی و اندازه سوراخ ها
- تأثیر جهت گیری بافت سطح
- تأثیر نسبت عمق به قطر
- تأثیر شرایط کاربردی
- تأثیر الگوی ایجاد بافت سطح.

۳. روش های ایجاد بافت سطح

تاکنون روش های متعددی برای ایجاد ریزحفره روی سطح توسعه یافته اند. روش های مکانیکی (سنگ زنی، شات بلاست و فرورونده)، روش های لیتوگرافی (شیمیایی و الکتروشیمیایی) و روش های پرتو پراورزی (اشعه لیزر، اشعه الکترونی و تخلیه الکتریکی) استفاده می شود که هر کدام یک سری مزایا و معایب دارند [۱۶].



شکل ۱- ایجاد حفره ها با الگوهای مختلف [۱۷]

۴. طراحی و ساخت مکانیزم در یک نگاه

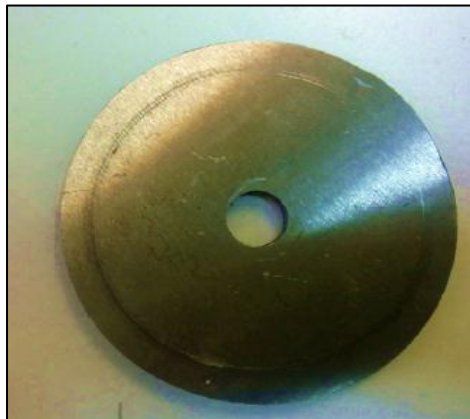
مراحل طراحی و ساخت مکانیزم به ترتیب زیر انجام گرفته است:

۱. در مرحله اول کار انتخاب نوع نیرویی که در ساختار مکانیزم به کار برده می شود انجام گرفته است. با توجه به محدودیت ها و نیازمندی ها از نیروی پنوماتیکی استفاده می شود.
۲. طراحی و ساخت ابزار فرورونده در مرحله دوم کار قرار دارد. در این مرحله ابتدا با استفاده از نرم افزار آباکوس کار تحلیل انجام گرفته و سپس ساخته و به کار برده شده است.
۳. مکانیزم ساخته شده بر روی دستگاه فرز نصب می گردد.
۴. ساختن قطعاتی که قرار است ریزحفره ها بر روی آن ایجاد شود.
۵. حفره ها بر روی سطح قطعه نمونه ایجاد می شود.
۶. آزمایشات مربوط به ضریب اصطکاک انجام شده است.

۵. ساختن قطعات نمونه جهت ایجاد ریزحفره

در این مرحله از کار ابتدا یک میلگرد ۵۰ میلی متری از فولاد MO40 را با استفاده از دستگاه اره لنگ به قطعات با ضخامت ۳/۵ میلی متری تقسیم شد، قطعه نهایی موردنظر یک واشر با ضخامت ۳ میلیمتر می باشد لذا جهت انجام یک سری پرداختکاری این اندازه بزرگتر در نظر گرفته شده است. سپس این قطعات را با استفاده از سنگ مغناطیسی سنگ زده تا سطح

قطعات صاف و یکنواخت گردد. دلیل انتخاب قطر ۵۰ میلی متری شرایط کاربردی دستگاه آزمایش سایش می باشد که قطعات نمونه مورد آزمایش با آن بایستی دارای قطر ۵۰ میلی متر باشند و همچنین جهت بستن قطعه به دستگاه آزمایش سایش بایستی یک سوراخ در مرکز آن ایجاد شود که قطر این سوراخ ۸ میلی متر است.



شکل ۲- قطعه نمونه که جهت ایجاد بافت آماده شده

۶. محاسبات مربوط به گام و چگالی حفره ها

در این پروژه چگالی های ۵، ۹/۵ و ۱۵ درصد محاسبات آنها انجام شده است. دلیل انتخاب این درصد از چگالی مقایسه نتایج با یک آزمایش مشابه که با استفاده از روش های دیگر بافت سطح ایجاد شده است. برای سطح با چگالی ۵ درصد گام ۲ میلیمتر، سطح با چگالی ۹/۵ دارای گام ۱/۵ میلی متر و سطح با چگالی ۱۵ درصد گام ۱ میلی متر می باشد. حفره ها بایستی بر روی دایره ای با قطر ۳۴ میلی متر ایجاد شوند. حال با محاسبه محیط این دایره و با توجه به بر تعداد حفره ها مقدار زاویه تغییر میز دوار در ایجاد هر کدام از حفره ها مشخص می شود.

$$A=2\pi r \quad (1)$$

r شعاع دایره، A محیط دایره است.

$$n=A/P \quad (2)$$

P گام حفره ها، n تعداد حفره های ایجاد شده بر روی هر دایره است.

$$\alpha=360/n \quad (3)$$

α = زاویه ای که حفره ها نسبت به هم قرار می گیرد در چگالی ۵ درصد ۶/۸ درجه و در چگالی ۹/۵ و ۱۵ به ترتیب این زاویه ۵ و ۳/۵ درجه می باشد.

۱.۶. نوع حل

حلگر ضمنی^۱ انتخاب شده است. ابزار و قطعه کار بصورت متقارن^۲ مدل شده اند تا حل آسانتر انجام پذیرد. جنس ابزار فرو رونده از فولاد تند بر در نظر گرفته و دارای مدول یانگ ۵۶۰ GPa و قطعه کار نیز از جنس فولاد Mo40 که مدول یانگ آن نیز ۲۱۰ GPa در نظر گرفته شده است. نوع تماس را سطح به سطح^۳ و ویژگی تماسی پناستی^۴ انتخاب کرده و ضریب اصطکاک ۰/۱۳ بوده است. در تعیین شرایط مرزی سطح پایین قطعه را کاملاً بسته و شرایط تقارن بر روی ابزار و قطعه اعمال شده است. در مرحله مش ریزی محدوده تماسی با استفاده از تکنیک مش لبه ای جهت کوچک کردن مش ها و

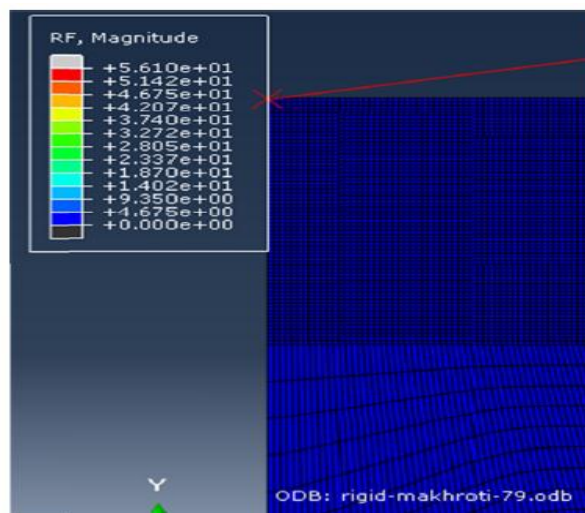
^۱ -Implicit

^۲ - Axisymmetric

^۳ - Surface to Surface

^۴ - Penalty

بهرتر کردن شرایط حل مش ریزی شده است. نوع مش استفاده شده نیز CAX4R انتخاب شده است. در این تحلیل یک بار ابزار بصورت صلب و در مرحله دوم بصورت تغییر شکل پذیر انتخاب شده است. هدف از این کار در مرحله اول یافتن نیروی وارده به ابزار و در مرحله دوم مقدار تنش وارده به ابزار مشخص شده است. نتایج حاصل جهت تعیین مقدار نیرویی که لازم است تا ابزار به اندازه ۲۰ میکرون در قطعه کار فرو رود مطابق شکل ۳ می باشد.



شکل ۳- نتایج حاصل از تحلیل نرم افزار اباکوس برای تعیین مقدار نیروی وارده به ابزار

۲.۶. نحوه محاسبه نیروی وارد شده به پیستون در سیلندر پنوماتیکی

$$F = \pi r^2 P \quad (4)$$

F نیرو، r شعاع سیلندر پنوماتیکی، P فشار ورودی هوا به سیلندر. پس از انجام این تنظیمات و انجام محاسبات قطعه، نمونه روی گیره میز دوار قرار داده و کار ایجاد حفره ها انجام می شود. به طور کلی زمان مورد نیاز جهت ایجاد هر نمونه در محدوده ۲۰ تا ۲۵ دقیقه می باشد. در کلیه نمونه هایی که در این پروژه ایجاد شده است تعداد ۳ ردیف حفره بر روی سطح ایجاد شده است زیرا جهت انجام دادن آزمایش سایش و با توجه به قطر بین سایش کافی و مناسب می باشد.



شکل ۴- نمونه با چگالی سطح ۵ درصد

۷. ویژگی های آزمایش اصطکاک و سایش

پدیده سایش یکی از مهمترین عوامل تخریب قطعات صنعتی می باشد. برای کاهش این پدیده انتخاب جنس قطعات در گیر با یکدیگر و نیز انتخاب پوشش سطحی مناسب بسیار حائز اهمیت می باشد. به منظور دستیابی به اهداف فوق انجام آزمایشات سایش ضروری می باشد. نمونه هایی از قطعات مورد نظر را می توان در دستگاه سایش نصب نموده عمر سایشی آنها را تعیین نموده و تغییرات لازم را در آلیاژ و پوشش های سطحی آنها معین نمود. بین روی دیسک روش متداولی برای ارزیابی رفتار

سایشی و تریبولوژیکی انواع مواد فلزی، سرامیکی، کامپوزیت ها و پوشش های فلزی مواد می باشد. مطابق شکل ۵ در این روش از حرکت لغزشی پین روی دیسک برای ایجاد سایش استفاده می شود. مهمترین عوامل موثر در این آزمایش نیروی عمود بر پین، سرعت خطی دیسک، زمان و مسافت طی شده سایش است. برای انجام دادن آزمایش سایش در این تحقیق از دستگاه آزمایش سایش موجود در آزمایشگاه دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شده است.



شکل ۵- دستگاه آزمایش پین بر دیسک استفاده شده در پروژه

مشخصات فنی دستگاه کنترل کامپیوتری آزمایش سایش از نوع پین بر دیسک به شرح زیر می باشد:

۱. دستگاه به صورت کاملاً اتوماتیک عمل نموده و اندازه گیر پارامترها و کنترل آنها توسط کامپیوتر صورت می گیرد.
۲. نیروی عمودی به روش مکانیکی و با گذاشتن وزنه های مختلف روی پین اعمال می شود.
۳. قابلیت های جابجایی محل پین روی دیسک و نصب پین تا قطر ۱۳mm و نصب انواع دیسک با قطرهای مختلف تا قطر ۳۰ میلی متر
۴. تبدیل تعداد دور یا زمان سایش به مسافت طی شده از طریق نرم افزار
۵. تنظیم سرعت خطی دیسک براساس قطر مسیر سایش توسط نرم افزار
۶. محاسبه ضریب اصطکاک از روی نیروی عمودی (مقدار ثابت) و نیروی اصطکاک و ارائه نمودار مربوطه
۷. نمایش لحظه ای داده ها (زمان ، دور ، نیرو و ضریب اصطکاک) به صورت نمایشگر و نمودار در نرم افزار
۸. ذخیره داده ها به صورت فایل Excel
۹. تنظیم اتمام آزمایش برحسب تعداد دورهای دیسک یا زمان در نرم افزار (دیسک بعد از دور یا زمان تنظیم شده به طور اتوماتیک می ایستد).

پین از جنس فولاد تندبر و با دستگاه سختی سنجی میزان ۶۰ راکول و قطعه کار نیز از جنس فولاد MO40 با سختی ۲۰ راکول می باشد. نیروهای اعمالی به دستگاه آزمایش ۱۵، ۱۰ و ۲۰ نیوتن تنظیم می شود. این میزان از سطوح نیرو جهت مقایسه نتایج حاصل از این پروژه با کارهای مشابه که با روش های دیگر بافت سطح ایجاد شده و تحت این سه سطح از نیرو مورد آزمایش قرار داده شده است. تعداد دوران دیسک ۴۲ دور بر دقیقه و مسافت نهایی ۳۰۰ متر بوده است. در آزمایشات اولیه مسافت های بالاتر از ۱۰۰۰ متر نیز انجام گرفت اما مشاهدات نشان داد بعد از طی ۲۵۰ متر اولیه عملاً تغییری در میزان ضریب اصطکاک مشاهده نمی شود.

۸. نتایج آزمایشات

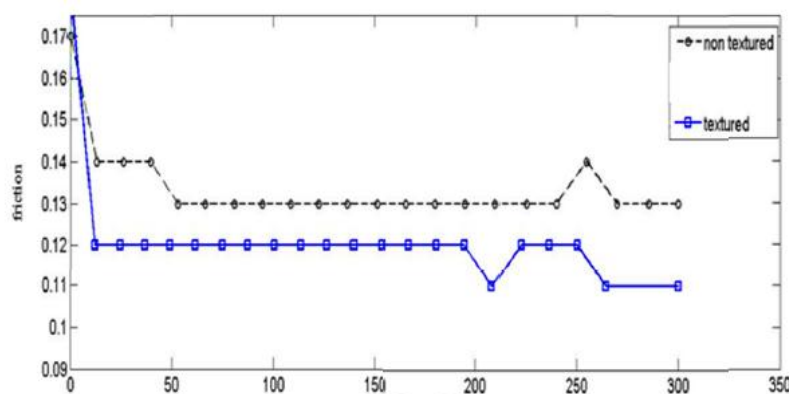
در این تحقیق آزمایشات اصطکاکی در شرایط روانکاری مرزی اجرا شده است زیرا کاربرد بافت سطح در شرایط روانکاری هیدرودینامیکی خیلی مفید واقع نمی شود. سرعت خطی که تحت آن دیسک حرکت داده می شود 70 mm/s می باشد. در این تحقیق دو فاکتور مورد بررسی قرار گرفته است تا تأثیر آنها بر میزان، اصطکاک تعیین شود:

۱. چگالی بافت سطح

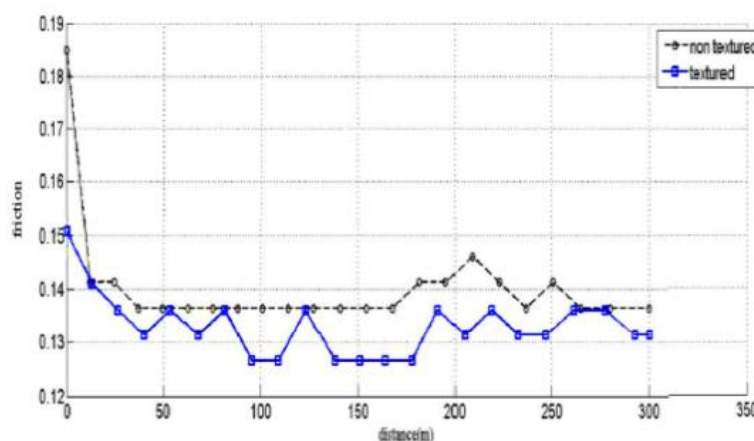
۲. مقدار نیروی نرمال وارد بر سطح

۱.۸. تأثیر چگالی بافت سطح

نتایج به دست آمده نشان داد که میزان کاهش اصطکاک بشدت به چگالی سطحی که بافت در سطح آن ایجاد شده است، وابسته است. در این آزمایش، سطح با کمترین چگالی بافت سطح (۵ درصد) مطابق شکل ۶ مقدار اصطکاک کمتر بوده است و در شرایطی که بافت سطح دارای بالاترین چگالی (۱۵ درصد) مطابق شکل ۷ بیشترین میزان اصطکاک را نشان داده است. با این وجود در کلیه آزمایشات نتایج نشان داده است که سطوح بافت سطح دار در هر صورت از سطوحی که بافت سطح بر روی آنها ایجاد نشده است از لحاظ اصطکاکی شرایط مناسب تری از خود نشان داده اند.



شکل ۶- چگالی سطح ۵ درصد و نیروی نرمال سطح 10 نیوتن



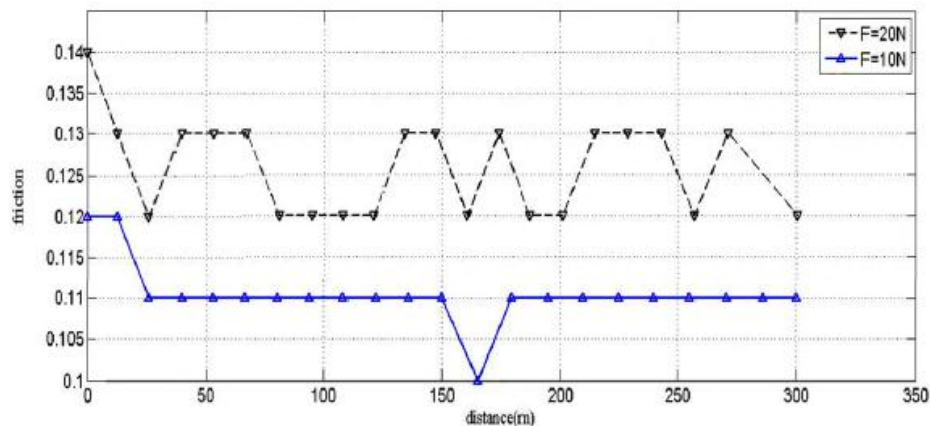
شکل ۷- چگالی سطح ۱۵ درصد و نیروی نرمال 20 نیوتن

مطابق شکل ۶ مشاهده می شود که ضریب اصطکاک در سطح بدون بافت سطح در ابتدا در حدود 0.17 است و با گذشت 20 متر از آزمایش ضریب به 0.13 و در فاصله 50 متری از شروع آزمایش این ضریب به 0.12 می رسد و تا پایان آزمایش ثابت باقی می ماند. اما دلیل کمتر شدن تأثیر بافت سطح با توجه به شکل ۷ با بالا رفتن چگالی سطح تا حدود 15 درصد را می -

توان به این مسئله نسبت داد که میزان تماس مستقیم بشدت کاهش یافته و در نتیجه میزان فشار تماسی بشدت افزایش یافته که تأثیر منفی روی ویژگی‌های اصطکاکی دارد.

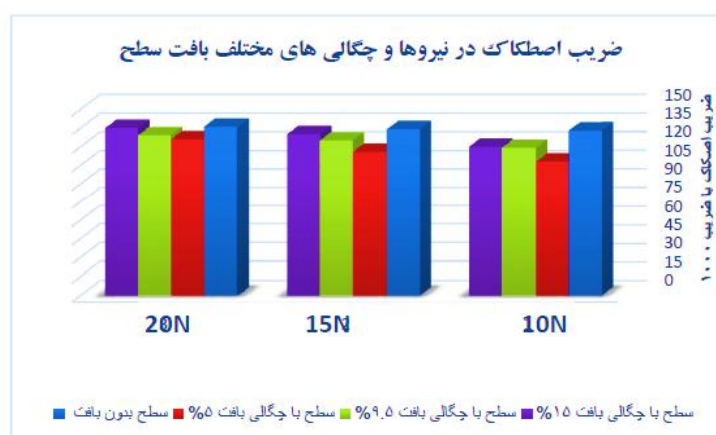
۱.۱.۸. تأثیر نیروی نرمال سطح

در این تحقیق سه سطح نیروی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نیوتن به عنوان نیروی نرمال در نظر گرفته شده است. جهت بررسی این مسئله چگالی سطح را ثابت فرض کرده و با توجه به تغییرات مقدار نیروی سطح تغییرات ضریب اصطکاک مورد ارزیابی قرار داده شده است.



شکل ۸- نمودار تفاوت در مقدار ضریب اصطکاک با توجه به تغییر نیروی نرمال سطح

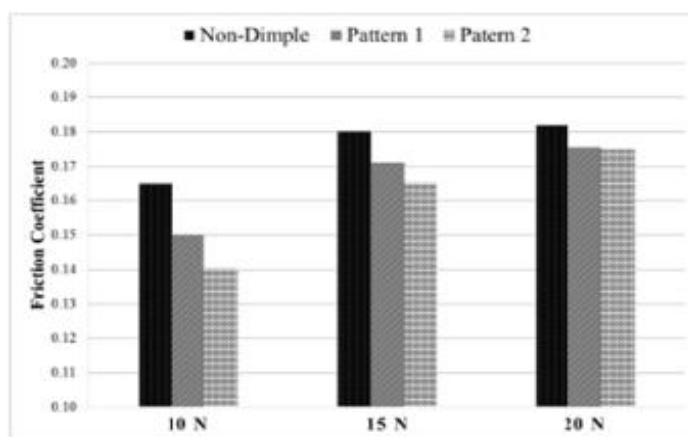
همانطور که شکل ۸ نشان می‌دهد در نیروهای بالاتر میزان ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد این مسئله را می‌توان به بالارفتن فشار تماسی نسبت داد که با افزایش نیروی نرمال سطح اتفاق خواهد افتاد. بطور کلی نتایج بدست آمده نشان داده است که بیشترین میزان کاهش ضریب اصطکاک در زمانی روی داده است که مقدار نیروی نرمال سطح ۱۰ نیوتن و چگالی بافت سطح ایجاد شده ۵٪ بوده است، این مقدار کاهش برابر ۱۸٪ می‌باشد. در چگالی ۵٪ و نیروی نرمال سطح ۱۵ نیوتن نیز کاهش ضریب اصطکاک معادل ۱۳٪ بوده است، کمترین تأثیر بافت سطح در کاهش ضریب اصطکاک در نیروی نرمال سطح ۲۰ نیوتن و چگالی بافت سطح ۱۵٪ بوده است که کاهش ضریب اصطکاک ۳٪ را داشته است شکل ۸ این مسئله را نشان می‌دهد.



شکل ۹- تغییرات ضریب اصطکاک با تغییر در مقدار نیروی نرمال سطح و چگالی بافت سطح

نتایج بدست آمده این مسئله را که بافت سطح باعث کاهش ضریب اصطکاک می شود تأیید می کند زیرا حتی در بدترین حالت نیز ضریب اصطکاک در حالت بافت دار کمتر از حالت بدون بافت خواهد بود.

ون و همکاران [۱۸] با ساخت یک سری ریزحفره با استفاده از ریز ابزار به بررسی تأثیر آنها بر میزان ضریب اصطکاک پرداختند. آنها سه الگوی سطح را در نظر گرفتند سطح اول دارای چگالی بافت سطح ۴٪ و سطح دوم دارای چگالی بافت سطح ۵/۶٪ و سطح سوم بدون ایجاد بافت سطح ایجاد کردند. نتایج کار آزمایشی که بدست آوردند به این صورت بود که سطح با چگالی بافت ۴٪ کمترین میزان ضریب اصطکاک را نشان داده است. سطح با چگالی ۶٪ شرایطی ما بین سطح اول و سطح بدون بافت را دارا می باشد. در نیروی اعمالی ۱۰ نیوتن الگوی اولیه به مقدار ۱۵٪ نسبت به الگوی دوم کاهش ضریب اصطکاک نشان داده است. در هنگامی که نیروی اعمالی به ۲۰ نیوتن افزایش یافت ضریب اصطکاک در الگوی اول نسبت به الگوی دوم به میزان ۳/۶ درصد کاهش نشان داد و الگوی دوم نسبت به الگوی بدون بافت سطح ۳/۲ درصد کاهش ضریب اصطکاک نشان داده است.



شکل ۱۰- ضریب اصطکاک در سه الگوی سطح تحت سه نیروی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نیوتن

نتایج کار ون نشان می دهد که کار انجام شده در این پروژه نه تنها کاهش تأثیرگذاری بافت سطح را نداشته حتی در سطوح نیروی ۱۰ نیوتن میزان تأثیرگذاری روش این پروژه بهتر نیز بوده است.

۹. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داده است که استفاده از روش شکل دهی جهت ایجاد ریزحفره ها بسیار کارآمد و مناسب می باشد. حفره های ایجاد شده دارای دقت خوب در هندسه و تأثیر مناسب در کاهش اصطکاک می باشند، در این تحقیق نتایج نشان داد در شرایط مناسب چگالی سطح ۵٪ تا ۱۸٪ کاهش ضریب اصطکاک را خواهیم داشت و در کلیه چگالی های مختلف بافت سطح شرایط اصطکاکی از سطوح بدون بافت بهره می باشد. این روش بسیار ساده، کم هزینه، تنظیمات اولیه کم و سریع و دارای قابلیت ارتقاء بالا را دارا می باشد. این مکانیزم دارای یک مدار پنوماتیکی بسیار ساده از لحاظ ساختاری و هزینه کلی بسیار کم و جهت ایجاد حفره بر روی سطح فقط کافی است که ابزار با سطح قطعه تماس داشته باشد و نیازی به تنظیمات و استفاده از ابزارهای اندازه گیری دقیق ندارد.

۱۰. مراجع

1. Qin, Y. (2006). Forming-tool design innovation and intelligent tool-structure/system concepts, International Journal of Machine Tool and Manufacture, vol.46, NO.11, pp.1253-1260.

2. Okazaki,Y., Mishima,N., and Ashida, K. (2002). Microfactory and micro machine tool, The 1st Korea-Japan Conference on Positioning Technology, Daejeon, Korea.
3. Okazaki,Y., Mishima,N., and Ashida,K. (2004). Microfactory Concept, History, and Developments, Journal of Manufacturing Science and Processing, vol.126, pp.837-844.
4. Claessen,U and Codourey, A. (2002). Microfactory, Section Head CSEM CH 6055 Alpnach Switzerlan, Switzerland.
5. Kapsiz,M., Durat, M., and Ficici, F. (2013). Friction and wear studies between cylinder liner and piston ring pair using Taguchi design method, Advances in engineering Software, vol.42, pp.595-603.
6. Amanov,A., Tsuboi,R., Oe,H., and Sasaki,S. (2013). The influence of bulges produced by laser surface texturing on the sliding friction and wear behavior", Tribology International, vol.60, pp. 216 – 223.
7. Hamilton,D.B., Walowit,G.A., and Allen,C.M. (1966). A theory of lubrication by microirregularities, Journal of Basic engineering, vol.88, pp.177 – 185.
8. Hamilton,D.B., Walowit,G.A., and Allen,C.M., "A theory of lubrication by microirregularities", Journal of Basic engineering, vol.88, pp.177 – 185, 1966.
9. Mourier,L., and mazuyer ,D., "Transient increase of film thickness in microtextured
10. EHL Contacts", Tribology International ,vol.39, pp.1745- 1756, 2006.
11. Ronen,A., Etsion,I., and Kligerman,Y. (2001). Friction reducing surface texturing in reciprocating automotive components,STLE Tribology Trans ,vol.44, pp.359 – 366.
12. Ryk,G., and Etsion,I. (2006). Testing pistons rings with partial laser surface texturing for friction reduction, Wear , vol.261, pp.792 – 796.
13. Kligerman,Y., Etsion ,I., and Shinkarenko,A. (2009). Improving tribological performance of piston ring by partial surface texturing, J. Tribology Trans. ASME ,vol.127,pp. 632 – 638.
14. Tonder. (2012). Hydrodynamic effect of tailored inlet roughnesses: extended theory, Tribology International, vol.37, pp. 137 – 142.
15. Kovalchenko, A., Ajayi, O., Erdemir,A.G., Etsion, I. (2015). The Effect of laser surface texturing on trations in lubrication regimes during unidirectional sliding contact, Tribology International, vol.38, pp.219-225.
16. Etsion, K., and Burstein, L. (2016). A model for mechanical seals with regular microsurface structure, Tribology Transactions, vol.43, pp.205-212.
17. Siripuram, R and Stephens, L. (1996). Effect of Deterministic Asperity Geometry on Hydrodynamic Lubrication, ASME Journal of Tribology, vol.39, pp. 677-683.
18. Rosochowska, M., Chodnikiewicz, K., Balendra ,R., and Smith, R. (2005). Flexible tool system for creation of surface micro-geometrie, Design, Manufacture and Engineering Management,University of Strathclyde, Glasgow G1 1XJ, UKPascoe Engineering Ltd. Glasgow G53 7TD, UK.
19. Wan, Yi., and Xiong, D. (2008). The effect of laser surface texturing on frictional performance of face seal, Journal of Material Processing Technology I, vol.97, pp. 96-100.