۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک/ ساخت و تولید

بررسی پارامترهای موثر بر فرایند پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی با استفاده از روش Magnetic Float Polishing

توسط:
اعظم سلمان خانی

استاد راهنما:
جناب آقای دکتر وحدتی

بهمن ۱۳۹۱

تـأیـیـدیّـه هیـات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم : اعظم سلمان خانی

را با عنوان: بررسی پارامتر های موثر بر فرایند پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی با استفاده از روش (MFP) Magnetic Float Polishing

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱ – استاد راهنما			
۲ – استاد مشاور			
۳ – استاد مشاور			
٤ – استاد ممتحن			
٥ – استاد ممتحن			
٦ – نماینده تحصیلات تکمیلی			

تـقـدیـم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است

از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر وحدتی

که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را

با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند

تقدیر و تشکر نمایم.

چکیده

فرایندMFP روشی جهت پرداخت کاری سطح ساچمه‌های سرامیکی مورد استفاده در بلبرینگ‌های هیبریدی است .در این پژوهش ابتدا توضیح مختصری در مورد ماهیت فرآیند و پژوهش‌هایی که تا کنون بر روی آن انجام شده مطرح می‌شود. در ادامه تئوری فرایند ،تجهیزات لازم برای انجام آن و نحوه طراحی، ساخت و نصب این تجهیزات مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس با طراحی آزمایشات مناسب در نرم افزار Minitab، تاثیر پارامترهایی نظیر جنس ماده ساینده، سرعت دوران کلگی،غلظت سیال و نسبت اختلاط پودر ساینده به پودر مغناطیسی با انجام عملی فرایند مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاصل از انداره گیری میزان صافی سطح هر ساچمه و میزان جرم ماده برداشته شده از ساچمه‌ها به عنوان خروجی برای تحلیل در اختیار نرم افزار قرار می‌گیرد و در نهایت بر روی این نتایج بحث، بررسی، تحلیل و بهینه سازی صورت خواهد گرفت.

کلید واژه : پرداخت کاری، ساچمه‌های سرامیکی، سیلیکون نیتراید، بلیرینگ هیبریدی

فصل ۱: مقدمه

۱–۱ مقدمه

پرداخت کاری از پرکاربرد ترین فرایندهای ایجاد سطوح با کیفیت بالا می‌باشد که طیف وسیعی از تکنیک‌ها را در خود جای می‌دهد. در اغلب موارد این فرایند با حداقل کردن عیوب سطح و زبری‌های آن کارایی قطعه و قابلیت اطمینان آن را افزایش می‌دهد و امکان استفاده از آن را در موقعیت‌هایی که نیاز به دقت‌های بالا و تلرانس‌های بسته می‌باشد فراهم می‌سازد. عملیات پرداخت نهایی در تولید قطعات دقیق به دلیل ماهیت تقریبا غیر قابل کنترلشان همواره از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده اند و با وجود گذشت زمان طولانی از روی کار آمدن این تکنیک‌ها مکانیزم براده برداری در آن‌ها به دلیل پیچیده بودن فرایند هنوز به درستی شناخته نشده است.

ساچمه‌های سرامیکی که کاربردهای زیادی در صنعت دارند، از جمله قطعاتی هستند که نیاز به کیفیت سطح بالا دارند و باید تحت فرایند پرداخت سطح قرار گیرند. بلبرینگ‌های هیبریدی قطعاتی هستند که در ساختشان ازساچمه‌های سرامیکی استفاده می‌شود. درادامه این فصل به معرفی کلی این بلبرینگ‌ها و نیز روش‌های پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی می‌پردازیم.

۱–۲ بلبرینگ‌های هیبریدی

بلبرینگ‌های ساخته شده با روش‌های سنتی که جنس ساچمه‌های آن‌هاعمدتا از AISI ۵۱۰۰ یا M۵۰ است، برای استفاده در سرعت‌های بالا، دماهای خیلی زیاد و محیط‌های خورنده دارای محدودیت-هایی هستند و نیاز به روان سازی خوب و کافی برای عملکرد رضایت بخش و رسیدن به عمر بهینه دارند. در طی دو دهه‌ی اخیر ساچمه‌های از جنس سیلیکون نیتراید به یکی از اجزاء مهم در ساخت این بلبرینگ‌ها تبدیل شده اند. این ساچمه‌ها دارای خواص متعددی هستند که از جمله این خواص می‌توان به سختی زیاد، پایداری حرارتی و شیمیایی بالا، اصطکاک کم، چگالی کم و مقامت در برابر خوردگی اشاره کرد. این ویژگی‌ها سبب می‌شود که بلبرینگ‌های هیبریدی برای کار در دماهای بالا و سرعت‌های

خیلی زیاد مناسب باشند. بعضی از موارد کاربرد این بلبرینگ‌ها عبارتند از : توربین‌ها، اسپیندل ماشین های ابزار دقیق و فوق دقیق، مته‌های دندانپزشکی و پمپ‌های اکسیژن مایع [۱].

ساچمه های سرامیکی می‌توانند در محدوده دمایی $-40^{\circ}c$ تا $200^{\circ}c$ کار کنند. کارایی و قابلیت اطمینان این ساچمه‌ها به کیفیت سطح نهایی آن‌ها وابسته است. سرامیک‌ها دارای سختی زیاد و تردی ذاتی هستند و شکست آن‌ها در اثر خستگی بیشتر از نواحی بی نظمی مثل خراش‌های سطح، حفره‌ها و ترک‌های ریز آغاز می‌شود. بنابر این برای رسیدن به قابلیت اطمینان مورد نظر لازم است که سطحی با کیفیت بالا و حداقل عیوب سطحی در اختیار داشته باشیم [۲].

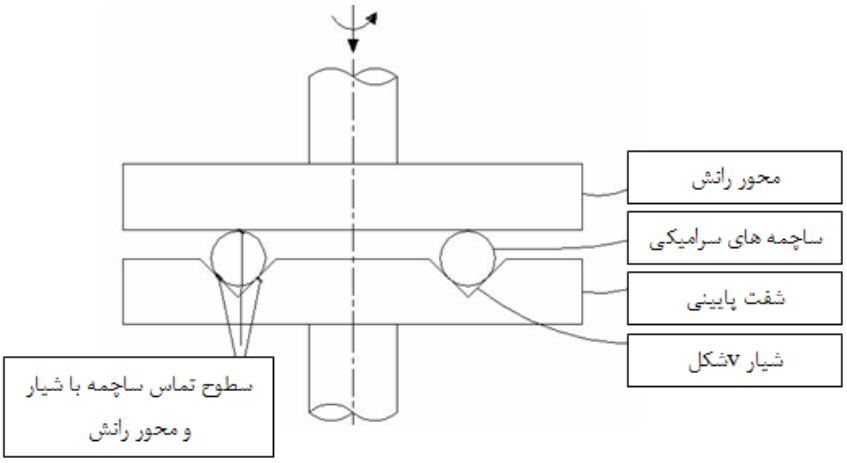
به طور کلی می‌توان گفت بلبرینگ‌های هیبریدی در مقایسه با بلبرینگ‌های ساخته شده با روش‌های سنتی دارای بازده بالاتر، قابلیت اطمینان بیشتر، دقت بالاتر، قابلیت کار در سرعت‌های بالاتر، سفتی بیشتر، عمر بیشتر، اصطکاک کمتر و مقاومت بهتر در برابر خوردگی می‌باشند [۲].

در ادامه به طور مختصر به معرفی روش‌های سنتی و نوین پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی خواهیم پرداخت.

۱-۳ پرداخت سطح ساچمه های سرامیکی به روش سنتی

روش سنتی پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی در صنعت با استفاده از دستگاه لپینگ[۱] با شیار v شکل می‌باشد. همین تکنیک برای پرداخت سطح ساچمه‌های فولادی و استیل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱-۱ طرح شماتیک این فرایند را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود ساچمه‌ها در سه نقطه با شیار v شکل و محور رانش در تماس هستند و با دوران محور رانش دوران می-کنند و همزمان خلاف جهت سطوح تماس می‌غلتند و بدین ترتیب پرداخت می‌شوند [۳].

[۱]-Lapping



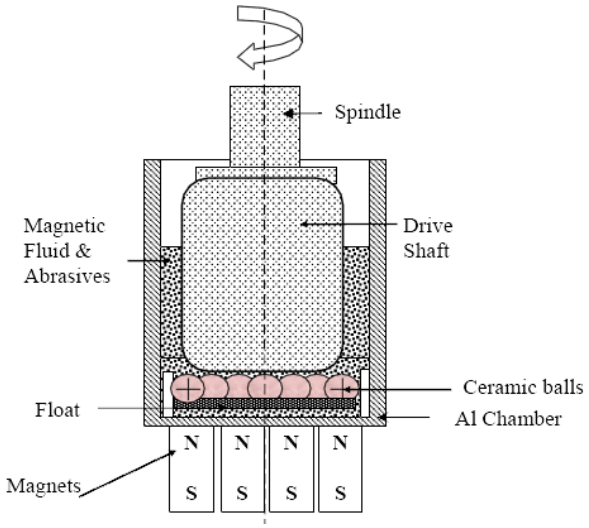
شکل۱-۱) طرح شماتیک پرداخت سطح سنتی ساچمه های سرامیکی [۳]

در این فرایند نیاز به نیروی بالا (۱۰ نیوتون به ازاء هر ساچمه)، سرعت دوران حدود ۵۰ دور بر دقیقه و ذرات ساینده از جنس الماس می‌باشد. در سرعت‌های پایین، زمان‌های نسبتا طولانی (حدود ۶ الی ۱۶ هفته) برای پرداخت کامل یک دسته از ساچمه‌های سرامیکی با تعداد کم لازم است. [۳]

۱-۴ پرداخت سطح ساچمه های سرامیکی با روش MFP

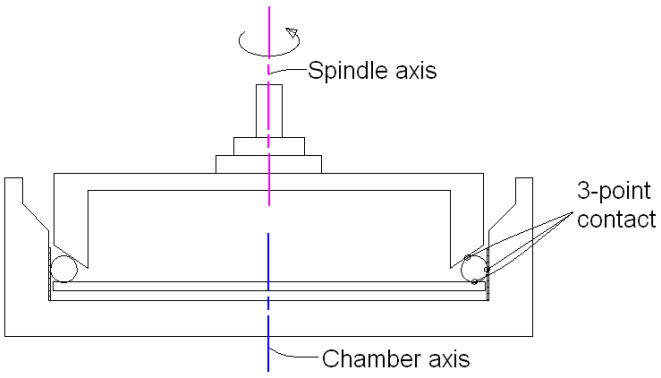
مکانیزم پرداخت کاری روشMFP[۱] به رفتار مغناطیسی- هیدرودینامیکی سیال مغناطیسی وابسته است. سیال مغناطیسی می‌تواند همه‌ی ذرات غیر مغناطیسی موجود در خود را شناور نگه دارد.
شکل۱ -۲ شماتیک دستگاه MFP را نشان می‌دهد. ذرات مغناطیسی موجود در سیال غالبا Fe_3O_4 هستند و مایع حامل آن آب یا نفت سفید می‌باشد [۴] .

[۱] -Magnetic Float Polishing



شکل۱-۲) طرح شماتیک فرایند MFP [۴]

در این فرایند مشابه آنچه در روش سنتی گفتیم ساچمه‌ها از سه نقطه : از بالا با سطح زیرین محور رانش، از پهلو با دیواره‌ی ظرف حامل و از زیر با صفحه شناور در تماس هستند و تحت نیروی شناوری-مغناطیسی حاصل از دوران اسپیندل پرداخت می‌شوند. شکل ۱-۳ تماس سه نقطه ای ساچمه‌ها را نشان می‌دهد [۴].

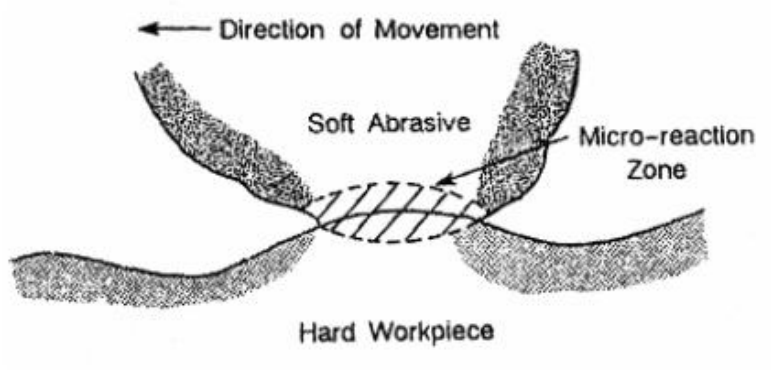


شکل۱-۳) تماس سه نقطه ای ساچمه های سرامیکی در فرایند MFP [۵]

در فرایند MFP نیاز به نیروی کم (حدود ۱ نیوتون به ازاء هر ساچمه)، سرعت بالا (حدود ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به ازاء هر ۲,۵ اینچ قطر شفت محور رانش و برای تعداد کم ساچمه در هر پرداخت و ۴۰۰ دور بر دقیقه به ازاء هر ۱۲,۲ اینچ قطر شفت و تعداد زیاد ساچمه) و زمانی حدود ۲۰ ساعت برای پرداخت کاری یک دسته ساچمه با تعداد معمولی کافیست. تعداد ساچمه‌های موجود در هر دسته می‌تواند از ۶ تا ۴۶ عدد متغیر باشد [۵].

۱–۵ فرایند CMP در پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی

فرایند CMP[1] در واقع مشابه فرایند MFP است با این تفاوت که در CMP بین ذرات ساینده، ساچمه-های سرامیکی و مایع حامل یک واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد. این واکنش شیمیایی یک لایه سطحی روی سطح قطعه کار ایجاد می‌کند که این لایه از لحاظ سختی از سطح ساچمه ها و از ذرات ساینده نرم تر است و این سبب می‌شود فرایند پرداخت سطح راحت تر و سریع تر انجام شده و صافی سطح بهتری در مقایسه با فرایند MFP حاصل شود شکل ۱-۴ طرح شماتیک واکنش شیمیایی- مکانیکی بین ذرات ساینده ، ساچمه‌ها و مایع حامل را نشان می‌دهد [۶].



شکل۱-۴) طرح شماتیک واکنش شیمیایی در فرایند CMP [۶]

با توجه به ایجاد لایه نرم تر از قطعه کار روی سطح آن در فرایند CMP امکان پرداخت سطح ساچمه-ها با ذرات ساینده نرم تر از آن‌ها با این روش فراهم می‌شود و سطحی با حداقل عیوب سطحی نظیر خراش-ها، حفره‌ها و یا ترک‌های ریز و نیز با کیفیت سطحی بسیار خوب حاصل خواهد شد [۶].

اما در صورتی که محصولات حاصل از واکنش شیمیایی- مکانیکی روی سطح ساچمه‌ها باقی بمانند و یا به درون سطح نفوذ کنند، کارایی و قابلیت اطمینان ساچمه را کاهش می‌دهند و روی کیفیت سطح حاصل تاثیر منفی می‌گذارند. از این رو لازم است از زدوده شدن کامل آن‌ها از روی سطح اطمینان حاصل شود [۶].

در فصول بعد در مورد موارد مطرح شده در بالا و مکانیزم فرایند MFP به طور مفصل تر به بحث و بررسی خواهیم پرداخت.

[1] Chemo- Mechanical Polishing

فصل ۲ : مروری بر تحقیقات

۲-۱ مقدمه

فرایندهای پرداخت پیشرفته[۱] به وسیله ذرات ساینده در دهه ۱۹۶۰ برای نخستین بار مطرح شدند. این فرایندها نسبت به روش‌های سنتی نظیر سنگ زنی،هونینگ[۲] و لپینگ از دقت بالاتری برخوردارند.

نخستین روش پیشنهاد شده برای ماشین کاری سایشی روش AFM[۳] است. این روش برای پرداخت سطوح داخلی مناسب است. بعد از این روش، روش های MAF[۴] برای پرداخت سطوح داخلی و MRF[۵] برای پرداخت سطوح تخت معرفی شدند. در اواسط دهه ۱۹۸۰ از ترکیب این دو روش فرایند MRAFF[۶] بوجود آمد که برای پرداخت سطوح داخلی لوله‌ها بسیار مناسب می‌باشد.

در دهه ۱۹۸۰ روش دیگری از انواع فرایندهای پرداخت پیشرفته به نام MFP (پرداخت سطح توسط ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی) معرفی شد و برای پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی مورد استفاده قرار گرفت. در دهه ۱۹۹۰ استفاده از فرایندهای شیمیایی- مکانیکی در روش MFP مرسوم شد که به CMP معروف است.

در ادامه این فصل مروری بر تحقیقات صورت گرفته روی فرایند MFP درقالب سه بخش زیر ارائه خواهد شد :

۱-نحوه پیدایش فرایند MFP

۲-ادغام CMP با MFP

۳-مدلسازی

۱- Advanced finishing processes(AFP_s)
۲-Honing
۳-Abrasive flow machining
۴-Magnetic abrasive finishing
۵-Magnetorheological finishing
۶-Magnetorheological abrasive flow finishing

۲-۲نحوه پیدایش فرایند MFP

روش MFP نخستین بار در سال ۱۹۸۴ توسط تانی[۱] و همکارانش معرفی شد. در این تحقیق از روش MFP برای پرداخت سطح لنزهایی از جنس اکریلیک رزین[۲] استفاده شده است. ابتدا نحوه عملکرد دستگاه توضیح داده شده و در ادامه در مورد تاثیر فاکتورهای مختلف موثر بر فرایند بحث و بررسی انجام شده است. فاکتورهایی مانند زمان انجام فرایند، فاصله از میدان مغناطیسی، سرعت دوران کلگی، اندازه ذرات ساینده و ... مورد بررسی قرار گرفته اند و تاثیر این فاکتورها بر صافی سطح نهایی و نرخ براده برداری تعیین شده است [۷].

چیلدز[۳] و یون[۴] در سال ۱۹۹۲در مقاله خود از روش MFP جهت پرداخت سطح ساچمه-های سرامیکی از جنس سیلیکون نیترید استفاده کردند. آن‌ها میدان مغناطیسی تولید شده در این روش و نیروی شناوری وارد بر ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی، توسط آن را مورد بررسی قرار دادند و با طراحی سیستم تغییر فاصله میدان از سطح قطعه کار تاثیر عواملی مانند شدت میدان مغناطیسی و فاصله قطعه کار از آهنربا را روی انجام فرایند بررسی کردند [۸].

در سال۱۹۹۴ اومه هارا[۵] و همکارانش در تحقیقات خود مزایای روش MFP را نسبت به روش‌های سنتی نظیر سنگ زنی، هونینگ، لپینگ و استفاده از ابزار جامد مطرح کردند و اصول کلی انجام فرایند را شرح دادند. نکته قابل توجه در این فرایند استفاده از صفحه شناور[۶] زیر ساچمه‌ها است که با فشردن ساچمه‌ها به شفت دوران سبب افزایش نیروی وارد بر ساچمه و در پی آن افزایش نرخ براده برداری می-شود [۹].

چیلدز و همکارانش یک مدل مکانیکی برای MFP ارائه کردند که رابطه بین سرعت دوران کلگی و نیروهای وارد بر قطعه کار را با نرخ براده برداری تعیین می‌کند. نکته مهم در این تحقیق تعیین آستانه سرعت دوران کلگی است که در این سرعت، لغزش میان کلگی و ساچمه‌ها شروع می‌شود و فرایند پرداخت سطح از آن به بعد آغاز می‌گردد. در این تحقیق فاکتورهایی نظیر سرعت دوران کلگی، سرعت دوران ساچمه‌ها حول محور خود، نیروی میان شفت و قطعه کار و ... به شکل تجربی مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۰].

۱-Y.Tani
۲-Acrilic Resin
۳-T.H.C.Childs
۴-H.J.Yoon
۵-N.Umehara
۶-Float

۲-۳ ادغام CMP با فرایند MFP

همان طور که قبلا به طور مختصر اشاره شد CMP ترکیب فرایندهای شیمیایی با روش MFP می-باشد.در این بخش به مرور کلی تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌پردازیم.

مینگ جیانگ[۱] و کوماندوری[۲] در مقاله خود که در سال۱۹۹۷ با عنوان (پرداخت ساچمه های سیلیکون نیتراید برای استفاده در بیرینگ) منتشر شد، از روش MFP به این منظور استفاده کردند. هدف اصلی این مقاله رسیدن به بهترین صافی سطح[۳] و گردی[۴] ممکن روی ساچمه‌هاست .در این تحقیق تحقیق از ذرات ساینده مانند اکسید سریم و کاربید بور استفاده شده است. این گونه ذرات ساینده با ایجاد ترکیب شیمیایی با سیلیکون نیتراید یک لایه نازک از این ترکیب شیمیایی روی سطح ساچمه‌ها ایجاد می‌کنند که نرم تر از خود ساچمه می‌باشد و همین باعث سهولت و تسریع فرایند براده برداری از روی سطح ساچمه می‌گردد. از جمله مزایای این روش که CMP نامیده می‌شود، صافی سطح بهتر و تنش پسماند کمتر است [۱۱].

مینگ جیانگ، وود[۵] و کوماندوری در مقاله خود با عنوان پرداخت شیمیایی مکانیکی ساچمه‌های سیلیکون نیتراید که در سال ۱۹۹۸ منتشر شد، از ذرات ساینده متنوع نظیر کاربید بور، کاربید سیلیسیم، اکسیدآلومینیوم، اکسید سریم و ... برای انجام فرایند CMP استفاده کردند و در شرایط یکسان آزمایش اثر جنس ذرات ساینده را روی صافی سطح نهایی مورد بررسی قرار دادند. نکته قابل توجه در این تحقیق استفاده از یاتاقان هوایی در کلگی دستگاه فرز است که با دوران با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه سبب بهبود نرخ براده برداری و میزان صافی سطح می‌شود. در پایان اکسید سریم به عنوان بهترین ساینده برای انجام فرایند معرفی شد که صافی سطح به میزان Ra=۴nm ایجاد کرده است[۱۲].

کوماندوری و همکارانش در سال ۱۹۹۹ مقاله ای منتشر کردند که در آن ابتدا به مرور کلی تحقیقات انجام شده بر روی فرایند MFP تا آن زمان پرداختند. در ادامه روش انجام فرایند و تجهیزات مورد نیاز را شرح دادند و مکانیزم براده برداری فرایند را توضیح دادند .سپس یک مدل حرارتی برای تعیین دمای محل برخورد محور رانش با ساچمه‌های سرامیکی پیشنهاد داده و در نهایت مشخصات و ویژگیهای فرایند CMP را بیان کردند [۴].

۱-Ming Jiang

۲-R.Komanduri

۳-Roughness

۴-Roundness

۵-Nelson O.Wood

در سال ۱۹۹۷ راگوناندان [۱] در پایان نامه دکترای خود به بررسی فرایند CMP پرداخت. در این پایان-نامه روش انجام فرایند توضیح داده شده و کاربرد ساچمه های سرامیکی مطرح شده است. در ادامه نحوه طراحی و ساخت تجهیزات لازم برای انجام فرایند را شرح داده و در مورد سیال مغناطیسی و ذرات ساینده مطالبی بیان کرده است. همچنین تاثیر ذرات ساینده از جنس اکسید کروم جهت پرداخت شیمیایی مکانیکی بررسی شده ودر پایان نتایج بررسی و تحلیل شده است. بهترین صافی سطح به دست آمده در این تحقیق معادل Ra=۲۴nm بدست آمده است [۱۸].

در سال ۱۹۹۸ مینگ جیانگ[۲] پایان نامه دکترای خود را تحت نظر کوماندوری و با عنوان پرداخت ساچمه های سرامیکی برای بلبرینگ با روش MFP انجام داد. وی در انجام آزمایشات خود پرداخت را به روش شیمیایی- مکانیکی و با استفاده از ذرات ساینده مختلف نظیر اکسید سریم، اکسید کروم و اکسید زیرکونیوم انجام داد و برای تجزیه و تحلیل نتایج از روش تاگوچی استفاده کرد [۱۹].

وانگ[۳]، اسنیدل[۴] و گو[۵] در مقاله خود با عنوان فناوری بیرینگ‌های غلتشی سیلیکون نیتراید که در سال ۲۰۰۰ منتشر شد، ابتدا به مزیت استفاده از سرامیک پیشرفته به جای فولاد در بیرینگ‌ها پرداختند. در ادامه نحوه طراحی بیرینگ‌های سرامیکی و نحوه ساخت اجزاء آن را مطرح کردند. در پایان چند نمونه تست روی بیرینگ‌های سرامیکی از جنس سیلیکون نیتراید انجام داده و نتایج را با بیرینگ‌های معمولی مورد مقایسه قرار دادند [۲].

چیلدز و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در مقاله خود به مطالعه بر روی هزینه‌ها و استهلاک در فرایند MFP پرداختند. در این مقاله برای کاهش هزینه‌هایی که به دلیل گران بودن سیال مغناطیسی و عدم قابلیت استفاده مجدد از آن، به فرایند تحمیل می‌شود، روش جدیدی معرفی شده است. در این روش از سیال غیر مغناطیسی متشکل از آب و گلیسیرین استفاده می‌شود که در طول فرایند همواره در حال گردش در محیط است و به این ترتیب هزینه‌ها کاهش می‌یابد. در این سیستم نیروی عمودی وارد بر ساچمه‌ها از طریق فنر اعمال می‌شود. همچنین به دلیل این که فرایند یک فرایند سایشی است علاوه بر ساچمه‌ها سایر تجهیزاتی که در معرض برخورد با ذرات ساینده قرار دارند، مانند محور دوران، صفحه شناور و ظرف حاوی سیال و ذرات ساینده نیز ساییده می‌شوند. در ادامه روش معرفی شده در این مقاله با روش‌های پیشین مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت مشخص شده که این روش سبب کاهش هزینه‌ها و استهلاک در انجام فرایند می‌گردد [۱۳].

۱-Makaram Raghunandan

۲-Ming Jiang

۳-L.Wang

۴-R.W.Snidle

۵-L.Gu

یوان[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۱ در مقاله ای که منتشر کردند اثر ذرات ساینده مختلف بر پرداخت شیمیایی- مکانیکی را مورد بررسی قرار دادند و واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته میان سیلیکون نیتراید و ذرات ساینده مختلف را مطرح کردند. در پایان تاثیر سیالات مغناطیسی مختلف و زمان انجام فرایند را روی صافی سطح بررسی و تحلیل کردند [۳].

ژانگ[2] و ناکاجیما[3] در مقاله ای که در سال ۲۰۰۳ ا نتشار یافت دینامیک روش MFP برای پرداخت ساچمه های سیلیکون نیتراید در کاربردهای فوق دقیق و اهمیت کرویت آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. ابتدا شمای کلی از دستگاه مورد استفاده را نشان داده و سپس با در نظر گرفتن هندسه دستگاه و نیز انواع مختلف تکیه گاه، تحلیل دینامیکی از نوع حرکت ساچمه و مکانیزم براده برداری ارائه کردند [۱۴].

۲-۴ مدل سازی

در سال ۲۰۰۶ اومه هارا، کوماندوری و همکارانشان در مقاله خود دستگاه جدیدی برای انجام فرایند MFP روی ساچمه‌های سیلیکون نیتراید با تعداد زیاد ارائه کردند. عملیات پرداخت در سه مرحله انجام شد که در مرحله اول حداکثر میزان براده برداری صورت گرفت. در مرحله دوم اندازه قطر مورد نظر حاصل شد و در مرحله پایانی صافی سطح و گردی مناسب جهت کاربرد در بیرینگ به دست آمد. این دستگاه قابلیت پرداخت همزمان چهل و شش ساچمه با قطر ۰,۷۵ اینچ را داراست. در این مقاله برای بهینه سازی فرایند از روش تاگوچی استفاده شد و فاکتورهای جنس ذرات ساینده، درصد اختلاط ذرات ساینده در سیال مغناطیسی، نیروی وارد بر ساچمه، سرعت دوران کلگی و زمان انجام فرایند در بهینه سازی مورد استفاده قرار گرفتند. این نخستین طرح صنعتی MFP است [۱۵].

کلاک[4] و زونک[5] در مقاله خود که در سال ۲۰۰۹ منتشر شد مکانیزم براده برداری از سرامیک‌های پیشرفته را حین فرایند پرداخت مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله شکل ریز دانه‌های موجود در ساختار سرامیک‌ها و نیز ذرات ساینده در مقیاس میکروسکوپی توسط TEM و SEM به دست آمد. همچنین مکانیزم روند برداشت ماده از روی قطعه کار در لحظه برخورد ذرات ساینده با سطح و ارتباط آن با شکل ذاتی ریز دانه‌ها به تفصیل بیان شد. در نهایت تاثیر این مشخصات ذاتی مواد روی صافی سطح و نرخ براده برداری بررسی شده و برای هر ماده مناسب ترین ذرات ساینده معرفی شدند [۱۶].

۱-J.L.Yuan
۲-Bo Zhang
۳-Akira Nakajima
۴-Fritz Klocke
۵-Richard Zunke

در سال ۲۰۰۹ لی[۱]، هوانگ[۲] و چیو[۳] در پژوهش خود آنالیز دینامیکی جدیدی برای روش MFP بر پایه تاثیر نیرو و سرعت ارائه کردند. هدف اصلی این مقاله بررسی میزان یکنواختی انجام فرایند روی کل سطح ساچمه‌ها و رسیدن به صافی سطح یکدست می‌باشد، به همین دلیل با در نظر گرفتن هندسه فرایند و همچنین نیروی وارد بر ساچمه و سرعت دوران کلگی مدل دینامیکی خود را ارائه کردند [۱۷].

تجاس کرتان[۴] پایان نامه کارشناسی ارشد خود را در سال ۲۰۰۴ با عنوان پرداخت ساچمه‌های سیلیکون نیتراید با تعداد زیاد جهت کاربرد در بیرینگ‌های پیشرفته توسط فرایند MFP، تحت نظر کوماندوری به انجام رساند. در این پژوهش روش انجام فرایند MFP برای تعداد زیاد ساچمه‌های سرامیکی توضیح داه شده است. در ادامه فاکتورهای موثر بر گردی به دست آمده مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت بهینه سازی جهت رسیدن به بهترین صافی سطح و گردی صورت گرفته است [۲۰].

گرلیک [۵] پایان نامه کارشناسی ارشد خود را در سال ۲۰۰۴ زیر نظر کوماندوری انجام داد و در پژوهش خود پرداخت سطح ساچمه های ۳/۴ اینچی از جنس سیلیکون نیتراید را به وسیله فرایند MFP بررسی کرد. وی در ابتدا نحوه طراحی و ساخت دستگاه MFP برای تعداد زیاد ساچمه را مطرح کرد و به معرفی اجزای دستگاه پرداخت. در ادامه تاثیر عوامل مختلفی چون ذرات ساینده، نیرو، سرعت و زمان پرداخت را بر روی فرایند مورد بررسی قرار داد و در نهایت صافی سطح، گردی و نرخ براده برداری حاصل را مورد مطالعه قرار داد [۲۱].

در سال ۲۰۰۶ کوک لونگ لی[۶] پایان نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان بررسی پارامترهای پنهان در انجام فرایند MFP روی ساچمه‌های سیلیکون نیتراید زیر نظر کوماندوری انجام داد. لی در این پژوهش فاکتورهای موثری که تا آن زمان بررسی نشدند را مطرح کرد و اثر آن‌ها را بر انجام فرایند مشخص نمود. به عنوان مثال اثر شیار ایجاد شده در صفحه قرار گرفته در زیر ساچمه‌های سرامیکی و یا حالت‌های مختلف سیال مغناطیسی را در انجام فرایند مورد بررسی قرار داد و در پایان راهکارهایی برای کاهش هزینه‌ها ارائه کرد [۲۲].

آناند اوپلاونکار[۷] در سال ۲۰۰۵ پاین نامه کارشناسی ارشد خود را زیر نظر کوماندوری و با عنوان بررسی آزمایش‌های پرداخت سطح غیر مقید ساچمه‌های سرامیکی به وسیله ذرات ساینده مغناطیسی

۱- R.T.Lee
۲-Y.C.Hwang
۳-Y.C.Chion
۴-Tejas Kirtane
۵-Robert Edward Gerlic
۶-Kok Loong Lee
۷-Annand Uplaonkar

انجام داد. وی در پژو هش خود روش جدیدی برای پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی مطرح کرده و مزایای آن را نیز بیان کرده است [۲۳].

ماهالیک[۱] در کتابی با عنوان تولید میکرو و فناوری نانو[۲] انواع روش‌های ساخت با مقیاس میکرو و نانو را معرفی کرده است. فصل ۴ این کتاب به تنکیک‌های پرداخت نانو[۳] اختصاص دارد و MFP یکی از روش‌های مطرح شده در این بخش می‌باشد که روش انجام این فرایند و اجزاء آن در این بخش توضیح داه شده است [۲۵].

عبدالله کشاورز محمدیان در سال ۱۳۹۰پایان نامه کارشناسی ارشد خود را با عنوان بررسی عوامل موثر بر انجام فرایند پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیس تحت نظر جناب آقای دکتر وحدتی ارائه کرد. وی در این پژوهش ابتدا نحوه طراحی اجزاء دستگاه MFP را مطرح کرده و نقشه تک تک اجزاء را توسط نرم افزار ترسیم و ارائه کرده است. سپس به توضیح نحوه ساخت اجزا توسط روش‌های ماشینکاری که توسط خود ایشان صورت گرفته پرداخته است. در ادامه با طراحی آزمایشات با استفاده از روش DOE تست‌هایی طراحی شده است و تاثیر پارامترهایی نظیر غلظت سیال مغناطیسی، میزان اختلاط ذرات ساینده در سیال مغناطیسی، اندازه ذرات ساینده، سرعت دوران کلگی و زمان انجام فرایند را بر نرخ براده برداری و صافی سطح در نمونه‌ها مورد بررسی قرار داده است. در نهایت نتایج را مورد بحث، بررسی و بهینه سازی قرار داده است [۲۴].

۱-N.P.Mahalik

۲-Micromanufacturing and Nanotechnology

۳-Nanofinishing Techniques