دانشکده مهندسی مکانیک

گروه ساخت و تولید

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

بررسی عوامل موثر بر انجام فرایند پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی (MFP)

نگارش : عبداله کشاورز محمدیان

استاد راهنما : آقای دکتر مهرداد وحدتی

بهمن ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

تأييديّه هيات داوران

(براي پايان نامه)

اعضاي هيئت داوران، نسخه نهائي پايان نامه آقاي: عبداله كشاورز محمديان

را با عنوان: بررسی عوامل موثر بر انجام فرایند پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی

از نظر فرم و محتوي بررسي نموده و پذيرش آن را براي تكميل درجه كارشناسی ارشد تأييد مي‌كند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
١ – استاد راهنما	آقای دکتر مهرداد وحدتی		
٢ – استاد مشاور			
٣ – استاد مشاور			
٤ – استاد ممتحن	آقای دکتر جمال زمانی		
٥ – استاد ممتحن	آقای دکتر مجید قریشی		
٦ – نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر مجید قریشی		

تایید پایان‌نامه کارشناسی ارشد توسط دانشجو

عنوان پایان‌نامه: بررسی عوامل موثر بر انجام فرایند پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی (MFP)

نام دانشجو: عبداله کشاورز محمدیان

شماره دانشجوئی: ۸۸۰۱۹۱۴

استاد راهنمای پروژه: آقای دکتر مهرداد وحدتی

اینجانب عبداله کشاورز محمدیان دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک ساخت و تولید دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه تحت عنوان فوق توسط اینجانب انجام شده است و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در هر کجا که از مطالب نگارش شده دیگری استفاده شده است با ذکر منبع و مأخذ می‌باشد. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ کجا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه راهنمای نگارش و تدوین پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مصوب دانشکده مهندسی مکانیک را به طور کامل رعایت نموده‌ام. همچنین در هر زمان خلاف آنچه گواهی نموده‌ام مشاهده گردد خود را از آثار حقیقی و حقوقی ناشی از دریافت مدرک کارشناسی ارشد محروم می‌دانم و هیچ‌گونه ادعائی نخواهم داشت.

تاریخ: امضا دانشجو:

تقدیم به آنان که وجودم جز هدیه وجودشان نیست

پدر و مادر عزیزم

چکیده

در سال‌های اخیر پیشرفت صنایع مختلف باعث به وجود آمدن روش‌های جدید در ساخت قطعات شده است. فرایندهای ماشین‌کاری سایشی نیز از انواع این روش‌ها هستند. این‌گونه فرایندهای ساخت بیشتر برای رسیدن به تلرانس‌های دقیق و کیفیت سطح بالا می‌باشند. یکی از انواع روش‌های ماشین کاری سایشی که در این پایان‌نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد فرایند پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی یا Magnetic Float Polishing(MFP) می‌باشد. اصول انجام این روش بر رفتار مغناطیسی هیدرودینامیکی سیال مغناطیسی بنا شده است. بیشترین کاربرد MFP پرداخت سطوح کروی می‌باشد. مهمترین قطعاتی که به وسیله این روش تحت فرایند پرداخت سطح قرار می‌گیرند ساچمه‌های سرامیکی هستند که در ساخت بلبرینگ‌های هیبریدی به کار می‌روند. به دلیل کارکرد بلبرینگ‌های هیبریدی در سرعت بالا نیاز است تا ساچمه‌های سرامیکی به کار رفته در آنها تا حد امکان کیفیت سطح بالایی داشته باشند. هدف این پروژه طراحی و ساخت دستگاه MFP و بررسی عوامل موثر بر عملکرد آن جهت بهینه نمودن فرایند است. در این بررسی‌ها فاکتورهایی از قبیل غلظت سیال مغناطیسی، میزان اختلاط ذرات ساینده در سیال مغناطیسی، اندازه ذرات ساینده، سرعت دوران کله‌گی و زمان انجام ماشین‌کاری مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و اثرات آنها بر روی انجام فرایند بررسی شده است. دو ویژگی انجام فرایند که مورد بررسی قرار گرفته‌اند صافی سطح به دست آمده و میزان براده‌برداری هستند. بعد از طراحی و ساخت دستگاه MFP آزمایش‌هایی روی آن صورت گرفته و نتایج آن تحلیل شده‌اند. برای انجام طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج از روش‌های DOE استفاده شده است. روش رویه پاسخ یا Response Surfase Method(RSM) در این مورد به کار رفته است. بعد از انجام آزمایش‌های طراحی شده و اندازه‌گیری نتایج، بهینه‌سازی صورت گرفته و در پایان بهترین صافی سطح به دست آمده روی ساچمه‌ها معادل Ra=۲۵nm اندازه‌گیری شده است. پس از تحلیل نتایج مشخص شد که کاهش اندازه ذرات ساینده، کاهش میزان اختلاط ذرات ساینده و افزایش سرعت دوران کله‌گی باعث بهبود کیفیت سطح می‌شوند و افزایش غلظت سیال مغناطیسی، کاهش میزان اختلاط ذرات ساینده در سیال مغناطیسی، افزایش اندازه ذرات ساینده، افزایش سرعت دوران کله‌گی و افزایش زمان انجام فرایند باعث افزایش مقدار براده برداری می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: ماشین‌کاری سایشی - ذرات ساینده - سیال مغناطیسی - صافی سطح - ساچمه سرامیکی - بلبرینگ هیبریدی

فهرست

فصل ۱ : پیشینه تحقیقات ۳

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲ پیدایش فرایند MFP ۵

۱-۳ ادغام روش CMP با فرایند MFP ۶

۱-۴ مدلسازی ۱۰

فصل ۲ : تئوری ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ معرفی MAGNETIC FLOAT POLISHING(MFP) ۱۴

۲-۳ اجزای MFP و نحوه کارکرد آن ۱۵

۲-۳-۱ دستگاه MFP جهت پرداخت سطوح اکرلیک رزین ۱۵

۲-۳-۲ دستگاه MFP جهت پرداخت سطوح ساچمه‌های سرامیکی ۱۷

۲-۳-۳ نحوه عملکرد فرایند MFP ۱۹

۲-۳-۴ سیال مغناطیسی و ذرات ساینده ۲۰

۲-۳-۵ کاربردهای ساچمه‌های سرامیکی ۲۳

۲-۳-۶ مزیت‌های MFP نسبت به روش‌های پرداخت سنتی ۲۴

فصل ۳ : طراحی ۲۶

۳-۱ مقدمه ۲۷

۳-۲ طراحی اولیه ۲۷

۳-۳ طراحی قطعات ۲۸

۳-۳-۱ محور رانش ۲۸

۳-۳-۲ ظرف حاوی سیال مغناطیسی ۲۹
۳-۳-۳ صفحه بالایی بدنه اصلی ۳۰
۳-۳-۴ بدنه اصلی ۳۱
۳-۳-۵ آهنرباهای دائمی و نگهدارنده آنها ۳۳
۳-۳-۶ صفحه زیرین ۳۴
۳-۴ طرح نهایی ۳۶
۳-۵ طراحی انجام آزمایش‌ها ۳۶

فصل ۴ : ساخت ۳۷

۴-۱ مقدمه ۳۸
۴-۲ ساخت محور رانش ۳۸
۴-۲-۱ روتراشی ۳۸
۴-۲-۲ پیشانی تراشی ۳۸
۴-۲-۳ پخ‌زنی انتهای محور رانش ۳۹
۴-۳ ساخت ظرف حاوی سیال مغناطیسی و ذرات ساینده ۳۹
۴-۳-۱ روتراشی ۴۰
۴-۳-۲ پیشانی تراشی ۴۰
۴-۳-۳ سوراخکاری و داخل تراشی ۴۰
۴-۴ ساخت صفحه بالایی ۴۱
۴-۴-۱ برش با اره لنگ ۴۱
۴-۴-۲ صفحه تراشی ۴۱
۴-۴-۳ سوراخکاری و داخل تراشی ۴۱
۴-۴-۴ سوراخکاری ۴۱
۴-۵ ساخت بدنه اصلی ۴۲
۴-۵-۱ برش با اره لنگ ۴۲
۴-۵-۲ صفحه تراشی ۴۲
۴-۵-۳ فرزکاری برای ایجاد شیار جانبی ۴۲
۴-۵-۴ سوراخکاری و قلاویزکاری ۴۲
۴-۶ ساخت قاب آهنرباهای دائمی ۴۳

۴-۶-۱ کفتراشی روی ماشین فرز ۴۳
۴-۶-۲ خالی کردن داخل قاب ۴۳
۴-۶-۳ سوراخکاری و قلاویزکاری ۴۴
۴-۷ صفحه زیرین ۴۴
۴-۷-۱ سنگزنی وجوه صفحه زیرین ۴۴
۴-۷-۲ خالی کردن داخل صفحه ۴۵
۴-۷-۳ سوراخکاری و خزینه‌زنی ۴۵
۴-۸ مونتاژ ۴۵
۴-۸-۱ مونتاژ بدنه اصلی ۴۵
۴-۸-۲ اتصال صفحه زیرین به بدنه اصلی ۴۵
۴-۸-۳ قرار گرفتن قاب آهنرباهای دائمی درون بدنه اصلی ۴۵
۴-۸-۴ اتصال ظرف حاوی به صفحه بالایی ۴۶
۴-۸-۵ اتصال صفحه بالایی به بدنه اصلی ۴۷
۴-۸-۶ اتصال دستگاه روی میز فرز ۴۷
۴-۸-۷ اتصال محور رانش به کله‌گی فرز ۴۸

فصل ۵ : انجام آزمایش‌ها ۴۹

۵-۱ مقدمه ۵۰
۵-۲ تنظیمات دستگاه ۵۰
۵-۲-۱ تنظیم بالانس بودن محور رانش ۵۰
۵-۲-۲ تنظیم عمود بودن ظرف حاوی ۵۰
۵-۲-۳ تنظیم هم‌محوری ظرف حاوی با محور رانش ۵۱
۵-۳ تجهیزات آزمایش ۵۲
۵-۳-۱ سیال مغناطیسی ۵۲
۵-۳-۲ ذرات ساینده ۵۲
۵-۳-۳ ساچمه‌های سرامیکی و فولادی ۵۳
۵-۴ نحوه انجام آزمایش ۵۳
۵-۵ طراحی آزمایش‌ها ۵۵
۵-۶ اندازه‌گیری ۵۷

۵-۶-۱ اندازه‌گیری صافی سطح ۵۷
۵-۶-۲ اندازه‌گیری براده‌برداری ۶۱
فصل ۶ : تحلیل نتایج ۶۳
۶-۱ مقدمه ۶۴
۶-۲ تحلیل صافی سطح ۶۴
۶-۲-۱ بررسی فاکتورهای موثر بر صافی سطح ۶۴
۶-۲-۲ بهینه‌سازی صافی سطح ۶۹
۶-۳ تحلیل مقدار براده برداری ۷۳
۶-۴ جمع‌بندی و تحلیل نتایج ۷۶
فصل ۷ : نتیجه گیری ۷۸
۷-۱ نتیجه گیری ۷۹
۷-۲ پیشنهادها ۸۰
منابع و مراجع ۸۱
پیوست آ ۸۵
پیوست ب ۸۷

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

شکل ۲-۱) طرح شماتیک دستگاه MFP برای پرداخت سطح اکرلیک رزین ۱۶
شکل ۲-۲) نیروی شناوری وارد به ذرات ساینده غیر مغناطیسی در سیال مغناطیسی ۱۶
شکل ۲-۳) نمونه طرح عملی دستگاه MFP برای پرداخت سطوح اکرلیک رزین ۱۷
شکل ۲-۴) طرح شماتیک دستگاه MFP برای پرداخت سطوح ساچمه‌های سرامیکی ۱۸
شکل ۲-۵) دستگاه MFP سوار شده روی میز فرز در حال انجام فرایند ۲۰
شکل ۲-۶) تاثیر جنس و اندازه ذرات ساینده بر صافی سطح ۲۲
شکل ۲-۷) ساچمه‌های سرامیکی به کار رفته در یک بلبرینگ هیبریدی ۲۴
شکل ۲-۸) روش سنتی پرداخت ساچمه‌ها ۲۵
شکل ۳-۱) طرح اولیه دستگاه MFP ۲۸
شکل ۳-۲) محور رانش ۲۹
شکل ۳-۳) نقشه اجرایی محور رانش ۲۹
شکل ۳-۴) نقشه اجرایی ظرف حاوی ۳۰
شکل ۳-۵) صفحه بالایی بدنه اصلی ۳۱
شکل ۳-۶) نقشه اجرایی صفحه بالایی بدنه اصلی ۳۱
شکل ۳-۷) بدنه اصلی ۳۲
شکل ۳-۸) نقشه اجرایی اجزای بدنه اصلی ۳۲
شکل ۳-۹) چیدمان آهنرباهای دائمی درون قاب نگهدارنده ۳۳
شکل ۳-۱۰) نقشه اجرایی قاب نگهدارنده آهنرباهای دائمی ۳۴
شکل ۳-۱۱) صفحه زیرین ۳۵
شکل ۳-۱۲) طرح نهایی تجهیزات MFP جهت انجام فرایند ۳۵
شکل ۴-۱) روتراشی محور رانش ۳۹
شکل ۴-۲) یک نمونه ظرف حاوی تراشیده شده از پلکسی‌گلاس ۴۰
شکل ۴-۳) صفحه بالایی بدنه اصلی ۴۱
شکل ۴-۴) بدنه اصلی و آهنرباهای دائمی درون قاب ۴۳
شکل ۴-۵) قرار گرفتن قاب آهنرباهای مغناطیسی درون بدنه اصلی ۴۴
شکل ۴-۶) دستگاه MFP مونتاژ شده و سوار شده بر روی میز فرز ۴۶
شکل ۴-۷) اتصالات بدنه اصلی با صفحه بالایی ۴۷
شکل ۵-۱) تنظیم عمود بودن ظرف حاوی ۵۱
شکل ۵-۲) تنظیم هم‌محوری ظرف حاوی با محور رانش ۵۲
شکل ۵-۳) قرار گرفتن ساچمه‌ها در مکان خود ۵۳
شکل ۵-۴) اضافه شدن ذرات ساینده و سیال مغناطیسی ۵۴
شکل ۵-۵) دستگاه MFP در حال انجام فرایند ۵۴

جدول ۵-۱) سطوح مد نظر برای فاکتورهای مورد بررسی ۵۵
جدول ۵-۲) آزمایش‌های طراحی شده توسط نرم‌افزار MINITAB 16 ..... ۵۶
شکل ۵-۶) یک نمونه از دستگاه SURTRONIC25 برای اندازه‌گیری صافی سطح ۵۸
شکل ۵-۷) نحوه قرارگیری ساچمه برای اندازه‌گیری صافی سطح ۵۹
شکل ۵-۸) مراحل اندازه‌گیری صافی سطح ساچمه با نرم‌افزار ۶۰
شکل ۵-۹) زبری‌سنج و فرم‌سنج TALYROND 385 ..... ۶۱
شکل ۵-۱۰) ترازوی دقیق برای اندازه‌گیری مقدار براده برداری ۶۲
جدول ۶-۱) وارد کردن نتایج اندازه‌گیری به نرم‌افزار MINITAB 16 ..... ۶۵
شکل ۶-۱) نمودار باقیمانده‌های صافی سطح ۶۶
شکل ۶-۲) جدول آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون محاسبه شده توسط نرم‌افزار MINITAB
برای مقدار RA ۶۷
شکل ۶-۳) نمودار باقیمانده‌های صافی سطح پس از حذف عبارت‌های غیر موثر ۶۸
شکل ۶-۴) جدول آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون محاسبه شده توسط نرم‌افزار MINITAB 16
برای مقدار RA پس از حذف عبارت‌های غیر موثر ۶۹
شکل ۶-۵) نمودار بهینه‌سازی صافی سطح بر اساس فاکتورهای موثر ۷۰
شکل ۶-۶) نمودار بهینه‌سازی صافی سطح بر اساس تمامی فاکتورها ۷۱
شکل ۶-۷) ساچمه سرامیکی قبل و بعد از پرداخت ۷۱
شکل ۶-۸) اندازه‌گیری صافی سطح ساچمه سرامیکی قبل و بعد از پرداخت ۷۲
شکل ۶-۹) نمودار باقیمانده‌های مقدار براده‌برداری ۷۳
شکل ۶-۱۰) جدول آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون محاسبه شده برای مقدار براده‌برداری ۷۴
شکل ۶-۱۱) تغییرات مقدار براده‌برداری برحسب B,A ۷۵
شکل ۶-۱۲) تغییرات مقدار براده‌برداری برحسب C,D ۷۵
شکل ۶-۱۳) تغییرات مقدار براده‌برداری برحسب C,E ۷۵
شکل ۶-۱۴) تاثیر اندازه ذرات ساینده و سرعت دوران کله‌گی بر کیفیت سطح و نرخ براده‌برداری ۷۶
شکل ۶-۱۵) صافی سطح به دست آمده با استفاده از کاربید سیلیسیم با مش ۱۲۰۰ ..... ۷۷
شکل آ-۱) چند نمونه از نمودارهای صافی سطح اندازه‌گیری شده برای ساچمه‌های سرامیکی ۸۵
جدول آ-۱) اندازه گیری جرم ساچمه‌های سرامیکی قبل و پس از انجام فرایند و محاسبه میزان براده‌برداری ۸۶

پیشگفتار

با رشد روز افزون فناوری و نیاز به ساخت قطعات دقیق‌تر در صنایع مختلف، انواع روش‌های ساخت نیز پیشرفت چشم‌گیری داشته‌اند. یکی از انواع روش‌های ساخت که در این زمره قرار می‌گیرد ماشین‌کاری می‌باشد. انواع مختلف روش‌های ماشین‌کاری نوین و فوق دقیق در سال‌های اخیر ابداع شده و پیشرفت کرده‌اند. فرایندهای پرداخت سطوح نیز از جمله فرایندهای زیرشاخه ماشین‌کاری هستند که در صنایع مختلف کاربردهای فراوانی دارند. روش‌های پرداخت سطح در صنایع مختلفی از جمله الکترونیک، کامپیوتر، اپتیک، هوافضا و ... بسیار کاربردی هستند. به همین دلیل در سالهای اخیر روش‌های نوینی برای پرداخت سطح به وجود آمده‌اند. این روش‌ها که به عنوان فرایندهای ماشین‌کاری سایشی شناخته می‌شوند در گذشته با ابزارهای جامد مانند سنگ و سنباده و ... انجام می‌شده‌اند. امروزه و بنا بر نیاز در صنایع، روش‌هایی برای انجام ماشین‌کاری سایشی بدون نیاز به ابزار جامد شکل گرفته و رونق فراوانی یافته‌اند. در این روش‌ها ذرات ساینده درون محیط سیال به صورت شناور قرار می‌گیرند و همراه با جریان سیال به سطح برخورد کرده و فرایند پرداخت را انجام می‌دهند.

یکی از روش‌های نوین ماشین‌کاری سایشی که مورد مطالعه در انجام این پرژه می‌باشد، روش پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی[1] است. در این روش با استفاده از میدان مغناطیسی سعی بر آن است که ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی به سطح برخورد کنند. هدف از انجام این پروژه طراحی و ساخت دستگاه انجام این فرایند و بررسی عوامل مختلف موثر در نحوه انجام آن می‌باشد. قطعاتی که در این پروژه تحت انجام فرایند پرداخت سطح قرار می‌گیرند ساچمه‌های سرامیکی سیلیکون نیتراید هستند. این ساچمه‌ها در ساخت بلبرینگ‌های هیبریدی استفاده می‌شوند. بلبرینگ‌های هیبریدی هم در صنایع مختلف از جمله هوافضا کاربردهای فراوانی دارند. در فصل‌های بعدی این پژوهش مراحل انجام کار به صورت مشروح توضیح داده می‌شوند.

در فصل اول پیشینه تحقیقات صورت گرفته در خصوص این روش بیان می‌شوند.

---

[1] Magnetic Float Polishin (MFP)

در فصل دوم تئوری مساله بازگو می‌شود. در این فصل مبانی اصول انجام فرایند پرداخت سطح به روش ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. همچنین مزایا و کاربردهای آن بیان می‌شوند.

در فصل سوم طراحی تجهیزات مورد نیاز برای انجام این فرایند صورت می‌گیرد.

فصل چهارم به معرفی روش‌های ساخت قطعات مختلف طراحی شده اختصاص یافته است.

در فصل پنجم ابتدا نحوه انجام فرایند با استفاده از دستگاه ساخته شده مطرح می‌گردد. سپس طراحی آزمایش‌ها صورت می‌گیرد و در پایان این فصل نیز نحوه اندازه‌گیری‌ها پس از انجام آزمایش بیان می‌شود.

در فصل ششم تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده بیان می‌شوند. در این فصل بهینه‌سازی در انجام فرایند صورت می‌گیرد و بهترین نتایج به دست آمده مطرح می‌شوند. برای انجام تحلیل‌ها از روش DOE و نرم افزار Minitab استفاده شده است.

در فصل هفتم نیز نتیجه‌گیری از کارهای انجام شده صورت می‌گیرد و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

فصل ۱ : پیشینه تحقیقات

۱-۱ مقدمه

اولین با در دهه ۱۹۶۰ فرایندهای پرداخت پیشرفته[۱] به وسیله ذرات ساینده مطرح شدند. این گونه روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی مانند سنگ‌زنی، لپینگ و هونینگ دقت بالاتری دارند. ابتدایی‌ترین روش پیشنهاد شده برای ماشینکاری سایشی، روش AFM[۲] است. این روش برای پرداخت سطوح داخلی مناسب می‌باشد. روش MAF[۳] برای پرداخت سطوح داخلی و روش MRF[٤] برای پرداخت سطوح تخت نیز بعد از آن مطرح شده‌اند. از ترکیب دو روش آخر در اواسط دهه ۱۹۸۰ روش MRAAF[٥] که بسیار مناسب برای پرداخت سطوح داخلی لوله‌ها می‌باشد پیشنهاد شد. در دهه ۱۹۸۰ روش دیگری از انواع فرایندهای پرداخت پیشرفته به نام MFP[٦] (یا پرداخت سطح به وسیله ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی) مطرح شده که برای پرداخت سطوح ساچمه‌های سرامیکی به کار می‌رود. استفاده از فرایندهای شیمیایی- مکانیکی در روش MFP نیز در دهه ۱۹۹۰ مرسوم گردیده و به CMP[۷] مشهور شده‌است. موضوع این فصل نیز مروری بر تحقیقات انجام گرفته روی فرایند MFP است که در سه بخش زیر مطرح می‌شود:

۱) پیدایش فرایند MFP

۲) ادغام روش CMP با فرایند MFP

۳) مدلسازی

---

[۱] Advanced finishing processes(AFPs)

[۲] Abrasive Flow Machining

[۳] Magnetic abrasive finishing

[٤] Magnetorheological Finishing

[٥] Magnetorheological Abrasive Flow Finishing

[٦] Magnetic Float Polishing

[۷] Chemical Mechanical Polishing

۱-۲ پیدایش فرایند MFP

اولین بار در سال ۱۹۸۴ روش MFP توسط تانی[۱] و همکارانش مطرح گردید[۱]. اصول کلی این روش بر رفتار مغناطیسی هیدرودینامیکی[۲] سیال مغناطیسی[۳] استوار است. در این تحقیق برای پرداخت سطوح لنزهایی از جنس اکرلیک رزین[۴] به معرفی این روش پرداخته شده است. ابتدا نحوه عملکرد دستگاه شرح داده شده و سپس در مورد فاکتورهای مختلف تاثیرگذار روی انجام فرایند بحث و بررسی شده است. فاکتورهایی از قبیل زمان انجام فرایند، فاصله از میدان مغناطیسی، سرعت دوران کله‌گی، اندازه ذرات ساینده و ... بررسی شده‌اند و تاثیر هر کدام روی صافی سطح نهایی و نرخ براده برداری مشخص گردیده است. در این پژوهش با استفاده از ذرات ساینده‌ای به قطر تقریبی ۴ میکرومتر، صافی سطحی در حدود ۴۰۰ نانومتر و نرخ براده برداری حدودا ۲ میکرومتر بر دقیقه حاصل شده است.

اومه‌هارا[۵] و کاتو[۶] برای اولین بار از MFP جهت پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی استفاده نموده و حاصل کار خود را در سال ۱۹۸۸ در مقاله‌ای به زبان ژاپنی منتشر کرده‌اند.

چیلدز[۷] و یون[۸][۲] در سال ۱۹۹۲ از این روش جدید جهت پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی از جنس سیلیکون نیتراید استفاده کردند. آنها به بررسی میدان مغناطیسی ایجاد شده در روش MFP و میزان نیروی شناوری وارده توسط آن به ذرات ساینده شناور در سیال مغناطیسی پرداختند و بدین ترتیب تاثیر عواملی مانند شدت میدان مغناطیسی و فاصله قطعه کار از آهنربا را روی انجام فرایند بررسی کردند.

---

[۱] Y.Tani

[۲] Magnetohydrodynam

[۳] Magnetic fluid

[۴] Acrylic Resin

[۵] N.Umehara

[۶] K.Kato

[۷] T.H.C.Childs

[۸] H.J.Yoon

در سال ۱۹۹۴ اومه‌هارا و همکارنش[۳] نتایج تحقیقات خود را در زمینه استفاده از روش MFP جهت پرداخت ساچمه‌های سرامیکی منتشر کردند. در این مقاله به مزایای روش MFP نسبت به روش‌های سنتی هونینگ و لپینگ و استفاده از ابزار جامد اشاره شده است. همچنین اصول کلی انجام این روش شرح داده شده‌اند. نکته مهم دیگری که به آن پرداخته شده استفاده از صفحه شناور[۱] زیر ساچمه‌ها جهت افزایش نیروی وارده بر ساچمه‌ها و در پی آن افزایش نرخ براده برداری می‌باشد. در پایان به معرفی تکنیک‌هایی جهت انجام این روش روی صفحات مسطح و همچنین غلتک‌ها اشاره شده که البته نسبت به ساچمه‌ها از اهمیت کمتری برخوردارند.

چیلدز[۲] و همکارانش[۴] از دانشگاه لیدز انگلستان در سال ۱۹۹۴ به معرفی روش MFP به عنوان روشی نو در پرداخت سطح ساچمه‌های سرامیکی که در ژاپن مطرح شده است پرداخته‌اند و از آن با عنوان روشی یاد کرده‌اند که پنجاه الی صد برابر سریعتر از روش‌های لپینگ سنتی است. هدف این مقاله ارائه یک مدل مکانیکی برای MFP است که بتواند رابطه‌ای میان سرعت دوران کله‌گی و نیروهای وارده بر قطعه کار با میزان براده برداری پیدا کند. نکته مهمی که به آن پرداخته شده است پیش‌بینی آستانه سرعت کله‌گی است که در آن سرعت، لغزش میان کله‌گی و ساچمه‌ها شروع می‌شود و از آن به بعد فرایند پرداخت سطح شروع می‌گردد. فاکتورهایی از قبیل سرعت دوران کله‌گی، سرعت دوران ساچمه‌ها حول محور خود، نیروی میان شفت و قطعه کار و... به صورت تئوری مورد بررسی قرار گرفته‌اند و سپس نتایج حاصله با آزمایش‌ها تطبیق یافته‌اند.

۱-۳ ادغام روش CMP با فرایند MFP

جیانگ[۳] و کوماندوری[۴][۵] از دانشگاه اوکلاهاما در سال ۱۹۹۸ در مقاله ای تحت عنوان پرداخت ساچمه‌های سیلیکون نیترایدبرای استفاده در بیرینگ از روش MFP استفاده کرده‌اند. در ابتدای مقاله نحوه انجام فرایند معرفی شده و شکل شماتیکی از دستگاه مورد استفاده آورده شده است. هدف این مقاله رسیدن به بهترین صافی سطح[۵] و گردی[۱] ممکن بر روی ساچمه‌های سیلیکون نیترایداست.

---

[۱] Float

[۲] T.H.C.Childs

[۳] Ming Jiang

[۴] R.Komanduri

[۵] Roughness

برای رسیدن به این منظور استفاده از ذرات ساینده‌ای مانند اکسید سریم و کاربید بور پیشنهاد شده است. این گونه ذرات ساینده قابلیت ایجاد ترکیب شیمیایی با سیلیکون نیتراید را دارند. بنابراین یک لایه نازک از این ترکیب شیمیایی روی سطح ساچمه‌ها ایجاد می‌شود که نرم‌تر از جنس خود ساچمه است. این امر باعث سهولت و تسریع براده برداری از روی سطح ساچمه می‌شود. این روش به اختصار CMP نامیده می‌شود. از مزایای آن می‌توان به صافی سطح بهتر و تنش پسماند کمتر اشاره کرد.

جیانگ، وود[۲]، و کوماندوری[۶] در مقاله‌ای تحت عنوان پرداخت شیمیایی مکانیکی ساچمه‌های سیلیکون نیتراید با ذرات ساینده مختلف که در سال ۱۹۹۸ منتشر کردند به بررسی اثر جنس ذرات ساینده مختلف روی انجام فرایند CMP پرداخته‌اند. ذرات ساینده‌ای از جنس کاربید بور، کاربید سیلیسیم، اکسید آلومینیوم، اکسید کروم، اکسید زیرکونیوم، اکسید سیلیسیم، اکسید سریم، اکسید آهن، اکسید یوتریم و اکسید مس در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در شرایط یکسان آزمایش، صافی سطح نهایی به دست آمده از هر کدام مشخص گردیده است. مساله قابل توجهی که در این مقاله مطرح شده است استفاده از کله‌گی مجهز به یاتاقان هوایی است که میتواند با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه محور اصلی دستگاه را بگرداند و خود این امر باعث بهبود نرخ براده‌برداری و صافی سطح می‌شود. در نهایت اکسید سریم به عنوان مناسبترین ذرات ساینده برای انجام فرایند معرفی شده است که صافی سطحی به میزان Ra=۴nm ایجاد کرده است.

پیش از آن نیز، چند مقاله دیگر منتشر شده که به بررسی اثر ذرات ساینده مختلف روی فرایند CMP می‌پردازد. مانند وانگ[۳] و سو[۴] در سال ۱۹۹۴ و کیکوشی[۵] و تاکاهاشی[۶] در سال ۱۹۹۲ و همچنین چند مقاله دیگر که توسط کوماندوری و همکارانش منتشر شده است. در همه این تحقیقات دو نقطه مشترک وجود دارد. اولی این که در آنها از روش MFP برای انجام فرایند استفاده شده و

---

[۱] Roundness

[۲] Nelson O.Wood

[۳] J.C.Wang

[۴] S.M.Hsu

[۵] M.Kikushi

[۶] Y.Takahashi

دیگر آنکه همگی از اکسید سریم به عنوان مناسب‌ترین ذرات ساینده جهت دست‌یابی به بهترین صافی سطح نام برده‌اند.

راگوناندان[۱][۱۸] در سال ۱۹۹۷ در پایان‌نامه دکترای خود که زیر نظر کوماندوری انجام شده است به بررسی انجام فرایند MFP روی ساچمه‌های سرامیکی پرداخته است. در این پایان‌نامه ابتدا روش‌های مختلف پرداخت سطح در محیط مغناطیسی معرفی شده‌اند. سپس روش MFP توضیح داده شده است و بعد از آن نیز مطالبی در مورد سیال مغناطیسی، ذرات ساینده و کاربرد ساچمه‌های سرامیکی مطرح گردیده است. در بخش‌های بعدی نحوه طراحی و ساخت تجهیزات و انجام آزمایشات شرح داده شده و تاثیر فاکتورها روی انجام فرایند مطرح شده‌اند. تاثیر ذرات ساینده از جنس اکسید کروم جهت پرداخت شیمیایی مکانیکی نیز بررسی شده‌اند و در پایان نتایج به دست آمده روی ساچمه‌های سرامیکی به قطر نیم اینچ مطرح شده‌اند. صافی سطحی معادل Ra=۲۴nm بهترین نتیجه به دست آمده در این پژوهش می‌باشد.

مینگ جیانگ[۲][۱۹] در سال ۱۹۹۸ پایان‌نامه دکترای خود را زیر نظر کوماندوری تحت عنوان پرداخت ساچمه‌های سرامیکی پیشرفته برای کاربرد بلبرینگ به وسیله MFP شامل پرداخت شیمیایی مکانیکی، انجام داده است. وی در انجام آزمایش‌های خود از ذرات ساینده مختلفی مانند اکسید سریم، اکسید آهن، اکسید کروم و اکسید زیرکونیوم استفاده نموده و نتایج را با هم مقایسه کرده است. در بخش تجزیه و تحلیل نتایج این پژوهش از روش تاگوچی استفاده شده است.

در مقاله‌ای که در سال ۱۹۹۹ توسط کوماندوری و همکارانش[۷] منتشر شده، مروری بر تمامی تحقیقات انجام شده تا آن زمان صورت گرفته است. قسمت اول مقاله به توضیح مختصری در مورد روش انجام MFP پرداخته است. سپس مشخصات مکانیکی براده برداری با این روش مطرح شده است. در قسمت بعدی یک مدل حرارتی برای تعیین دمای محل برخورد در حین انجام فرایند پیشنهاد شده و در نهایت مشخصات فرایند شیمیایی مکانیکی مطرح شده‌اند.

وانگ[۳]، اسنیدل[۴] و گو[۱][۸] در مقاله‌ای به نام فناوری بیرینگ‌های غلتشی سیلیکون نیتراید که در سال ۲۰۰۰ منتشر شده به بررسی تحقیقات و پیشرفت‌های انجام شده در این زمینه پرداخته‌اند. در

---

[۱] Makaram Raghunandan

[۲] Ming Jiang

[۳] L.Wang

[۴] R.W.Snidle