

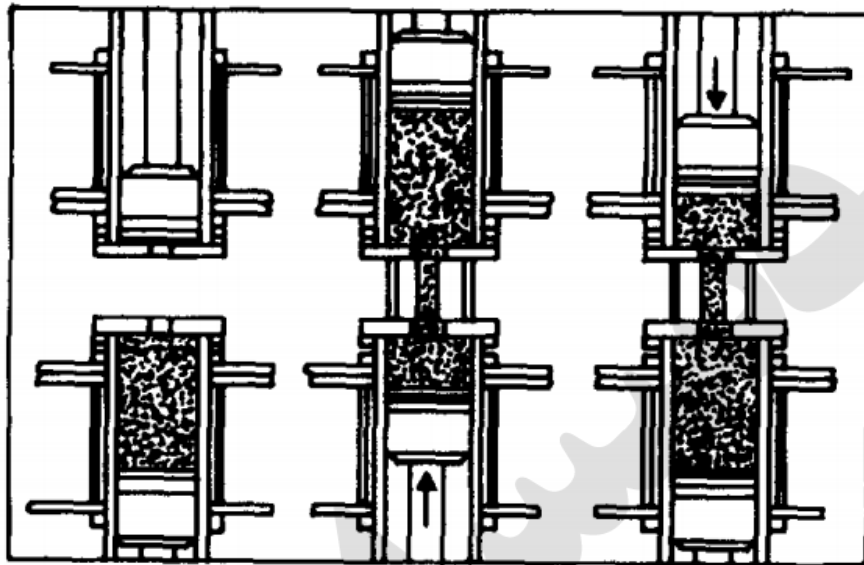
# ماشین کاری با جریان ساینده: یک مطالعه موردی

## مقدمه

ماشین کاری با جریان ساینده (AFM) برای پلیسه گیری، صیقل دادن یا مسطح سازی سطوح و لبه ها با جریان یک پوشش ساینده نیمه جامد در این مناطق استفاده می شود. این فرایند دارای طیف وسیعی از کاربرد های عملی می باشد: از قطعات پزشکی و هوا فضا تا حجم وسیعی از قطعات. ماشین کاری با جریان ساینده (AFM) حتی به غیر قابل دسترس ترین مناطق دسترسی پیدا کرده، چندین حفره، شکاف یا لبه را در یک مرحله، فراوری میکنند. پیشرفت ها در فرمولاسیون پزشکی و طراحی ابزار همراه با قابلیت های جدید در پردازش و اتوماسیون، موجب ایجاد یک فرایند جریان ساینده به عنوان شیوه ای کم هزینه و پر بازده برای رفع نیاز های تولید شده است.

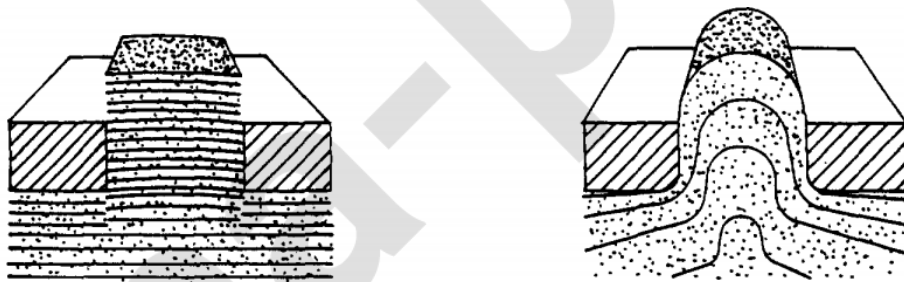
فرایند ماشین کاری با جریان ساینده (AFM) را می توان در طیف وسیعی از عملیات پرداخت کاری مورد استفاده قرار داد. ماشین کاری با جریان ساینده (AFM) قادر به کار بر روی طیف وسیعی از مناطق بر روی یک قطعه کار و یا به طور هم زمان بر روی چندین قطعه می باشد. مناطق غیر قابل دسترس و مسیرهای درونی پیچیده را می توان به شکلی کم هزینه و پر بازده، پرداخت کاری کرد. سیستم های ماشین کاری با جریان ساینده قادر به کار بر روی هزار قطعه در روز بوده و این مسئله به شدت موجب کاهش هزینه های نیروی کار با حذف کار دستی خسته کننده می شود. با درک و کنترل پارامتر های فرایند، AFM را می توان در طیف وسیعی از عملیات پرداخت کاری به کار برد و در عین حال به نتایج یکنواخت، قابل تکرار و قابل پیش بینی دست یافت.

در ماشین کاری با جریان ساینده دو استوانه متقابل، یک جریان ساینده نیمه جامد را از طریق مسیر های تشکیل شده توسط قطعه کار و شکل دهی (شکل 1) اکستروود می کند. این فرایند تنها در جایی ساینده است که جریان محدود باشد: منطقه اکستروژن. ماشین کاری مشابه با عملیات سنگزنی یا لپینگ است زیرا محیط ساینده به آرامی و به طور یکنواخت سطوح یا لبه ها را صاف و مسطح می کند. مواد متغیر از آلومینیوم نرم تا آلیاژ های نیکل سخت، سرامیک ها و کاربید ها را می توان به طور موفق با این فرایند میکرو ماشینکاری کرد.



شکل 1: فرایند ماشینکاری جریان ساینده

هانینگ اکستروژن یا ماشینکاری جریان ساینده را می توان برای دست یابی به طیف وسیعی از نتایج قابل پیش بینی و قابل تکرار به کار برد. در صورتی که هدف ماشینکاری جریان ساینده، شامل صیقل دهی یکنواخت دیواره های مسیر های محدود کننده باشد، برای مثال در صیقل دهی غالب، محیط های انتخاب شده بایستی یک سرعت جریان یکنواخت را در زمان اکستروژن شدن از طریق مسیر، حفظ کنند (شکل 2). برای پلیسه کاری یا صاف سازی سطوح یک مسیر، یک محیط کم تر ویسکوز که موجب افزایش سرعت جریان در زمان ورود به مسیر می شود، موجب می شود تا لبه ها بیشتر از دیواره های مسیر، سایش یابد (شکل 3). نوع الگوی جریان بستگی به تنظیمات ماشین، فرمولاسیون محیط و پیکر بندی قطعه کار و شکل دهی دارد.

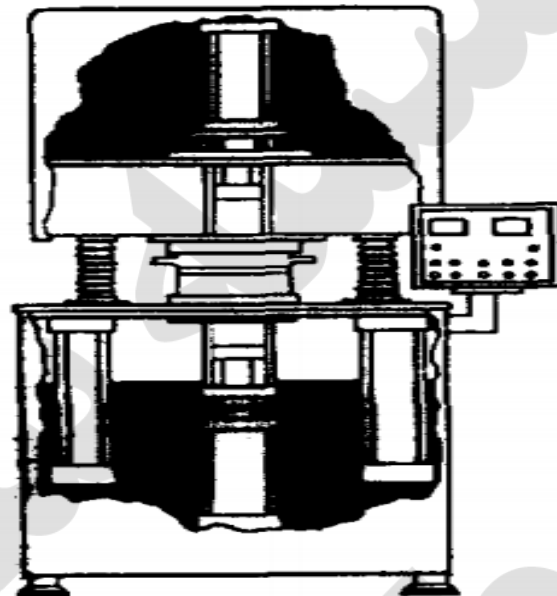


شکل 2 و 3: الگوی جریان محیط می تواند برای دست یابی به نتایج پرداخت کاری مختلف، متغیر باشد

پارامتر های فرایند

ماشین

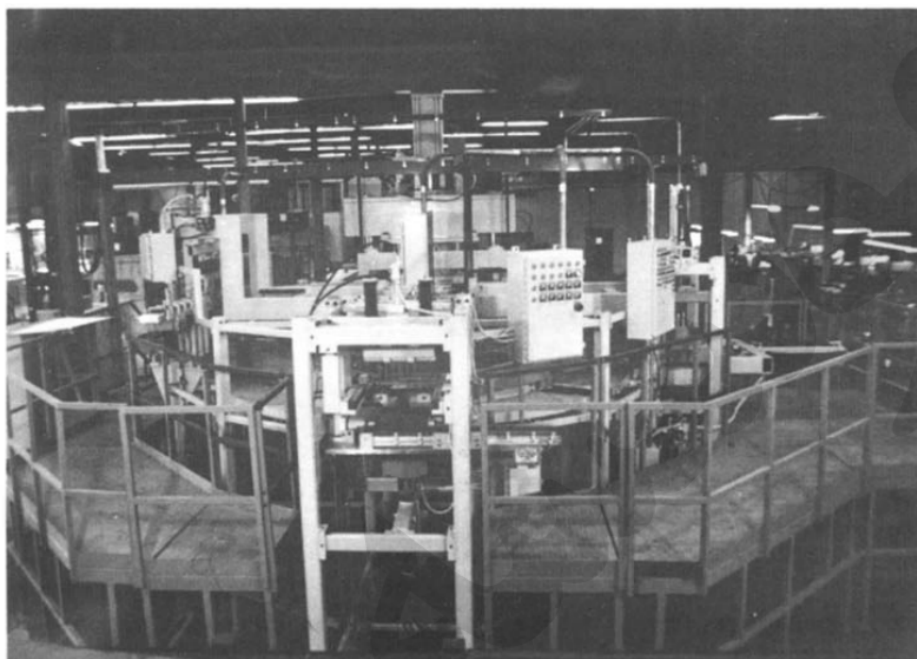
ماشین جریان ساینده که در طیف وسیعی از اندازه ها متغیر است، حاوی دو استوانه عمودی متقابل می باشد که از نظر هیدرولیکی به هم نزدیک بوده و یک قطعه یا گیره را بین خود نگه می دارند. با تکرار اکستروژن یا خروج جریان از یک سیلندر به سیلندر دیگر یک کنش ساینده در زمان ورود جریان به مسیر محدود کننده و عبور آن از قطعه کاری تولید می شود (شکل 4).



شکل 4: سیستم ماشینکاری جریان ساینده

هم چنین، ماشین قادر به کنترل فشار اکستروژن است. ماشین ها با فشار اکستروژن متغیر از 7 تا 220 بار (100 تا 3200 پاسکال) با سرعت جریان بیش از 380 لیتر (100 گالن) در دقیقه موجود هستند. حجم جریان بستگی به تعویض و جایگزینی هر کورس سیلندر و تعداد کل دور های کورس مورد استفاده برای کامل کردن کار دارد. این متغیرها هر دو در ماشین پیش تنظیم می شوند.

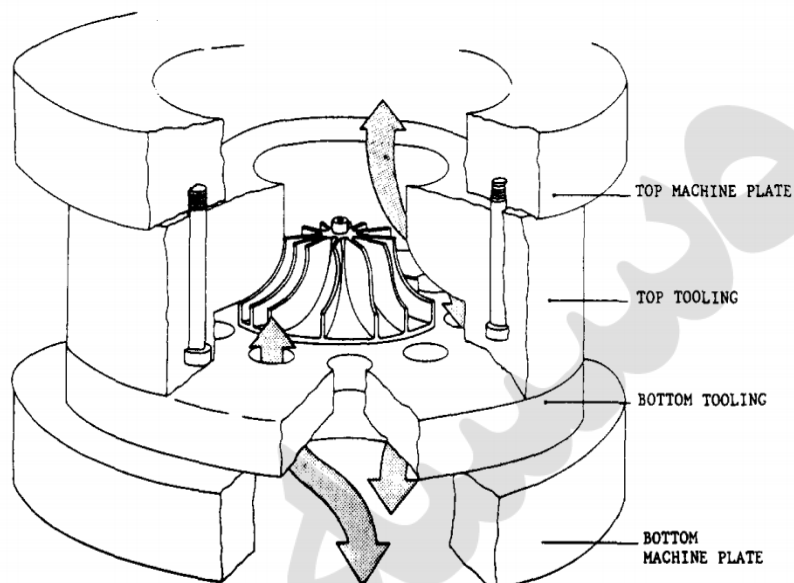
سیستم های کنترل را می توان برای پایش و کنترل پارامترهای فرایند اضافی نظیر دمای محیط، ویسکوزیته، سایش و سرعت جریان استفاده کرد. سیستم AFM طراحی شده برای کاربرد های تولیدی اغلب شامل پاک سازی قطعه و تخلیه یا بار گذاری مجدد ایستگاه ها، دستگاه های نگه داری از محیط و واحد های خنک کننده است. این سیستم های اتومات قادر به پردازش هزاران قطعه در روز با زمان فراوری متغیر از یک تا سه دقیقه برای هر قطعه بار گذاری شده با قطعه کارها می باشند (شکل 5).



شکل 5: این سلول AFM خودکار قادر به پلیسه کردن و صیقل سازی شفت های آرمیچر اتومبیل است. این سیستم قادر به کار بر روی 49 قطعه در هر یک از تجهیزات در کم تر از 2 دقیقه بوده و مجهز به تیغ خودکار، پایه بار گذاری قطعه، تخلیه و پاک سازی است.

#### قطعات نگه دارنده

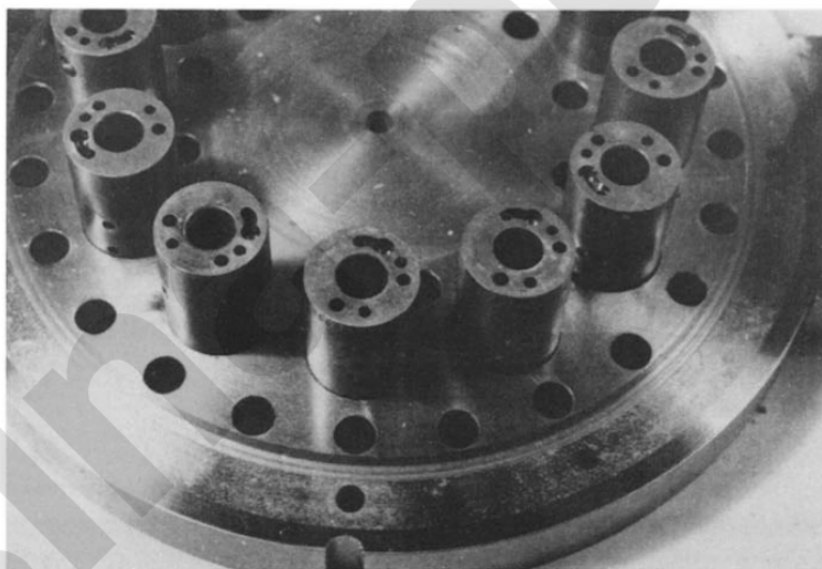
قطعات نگه دارنده، قطعه کار را در یک موقعیت خاص نگه داشته و جریان ساینده را به مناطق مناسب جهت دهی می کند. بسیاری از دستگاه های AFM تنها نیازمند تجهیزات مونتاژی و گیره ساده هستند: قالب ها معمولاً نیازی به قطعات نگه دارنده خاص ندارند: منفذ درون قالب به خودی خود، موجب محدود شدن مسیر جریان می شود. برای لبه ها یا سطوح خارجی، تجهیزات نگه دارنده برای محدود سازی جریان بین بیرون قطعه و درون گیرنده نگه دارنده استفاده می شود (شکل 6). تجهیزات نگه دارنده می توانند موجب محدود سازی جریان در مناطقی شود که در آن سایش مطلوب بوده یا موجب بلوکه سازی جریان عبوری شود.



صفحه فوقانی ماشین، گیره فوقانی، گیره انتهایی، صفحه ماشین انتهایی

شکل 6: برای فراوری لبه های خارجی، قطعه درون یک گیره برای تشکیل یک جریان محدود بین خارج قطعه و درون گیره قرار می گیرد.

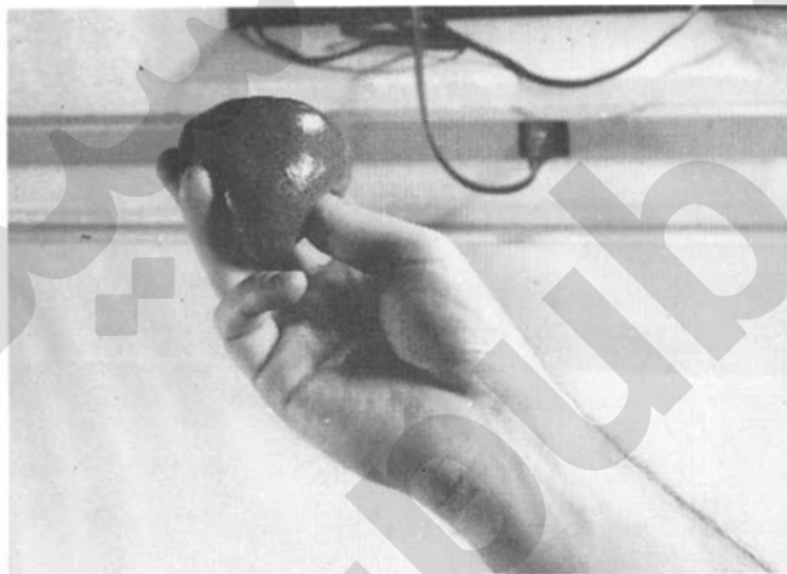
گیره های با تولید بالا برای تسهیل بار گذاری قطعه، تخلیه و پاک سازی طراحی می شوند. این گیره ها که اغلب بر روی میز های تقسیم نصب می شود، این گیره ها قادر به نگه داری چند قطعه برای فراوری در یک عملیات است (شکل 7)



شکل 7: دوازده دهانه تزریق سوخت دیزلی در یک گیره، به طور هم زمان فراوری می شوند.

## محیط

محیط متشکل از یک حامل نیمه جامد انعطاف پذیر و یک غلظتی از ذرات ساینده است (شکل 8). ویسکوزیته حامل و اندازه ذرات ساینده، نوع و غلظت آن می تواند برای دست یابی به نتایج پرداخت کاری ویژه، متغیر باشد. محیط جامد با ویسکوزیته بالا برای سایش یکنواخت دیواره های مسیر های بزرگ استفاده می شود. محیط های با ویسکوزیته پایین تر معمولا برای صاف سازی لبه ها و برای فراوری مسیر های کوچک مناسب است. وقتی که جریان وارد مسیر محدود می شود، ویسکوزیته آن به طور موقت افزایش می یابد و ذرات ساینده را به سختی در محل نگه می دارد. جریان تنها در زمانی که در حالت ویسکوز قرار دارد، موجب سایش مسیر ها یا منافذ می شود. زمانی که بخش ضخیم محیط از مسیر محدود خارج شده خارج می شود، ویسکوزیته به حالت طبیعی درآمده و تولید سایش کمی می کند.



شکل 8: یک عنصر اساسی فرایند AFM، پوشش یا محیط، (یک حامل پلیمری ترکیب شده با ذرات ساینده) است.

ویسکوزیته محیط، فشار اکستروژن و ابعاد مسیر تعیین کننده سرعت جریان محیط می باشند (سرعت ذرات ساینده عبوری از مسیر محدود کننده) که بر مقدار سایش، یکنواختی حذف ضایعات و اندازه شعاع لبه اثر دارد. سرعت جریان با تقسیم حجم جریان بر زمان فرایند محاسبه می شود. سرعت جریان پایین ذرات برای حذف یکنواخت مواد بسیار مهم است. سرعت حذف جریان بالا تولید لبه های با شعاع بزرگتر می کند.

در صورتی که طول مسیر به طور معنی داری کوچک تر از دو برابر عرض آن باشد یک محیط با ویسکوزیته بالا یا فشار اکستروژن پایین بایستی استفاده شود. برعکس، در صورتی که طول مسیر به طور قابل توجهی بیش از دو برابر عرض مسیر باشد، یک محیط با ویسکوزیته پایین تر یا فشار اکستروژن بالاتر نیاز است. وقتی که دمای محیط در طی فرایند افزایش می یابد، ویسکوزیته آن کاهش یافته و این موجب افزایش بازه اندازه مسیر یک محیط معین می شود.

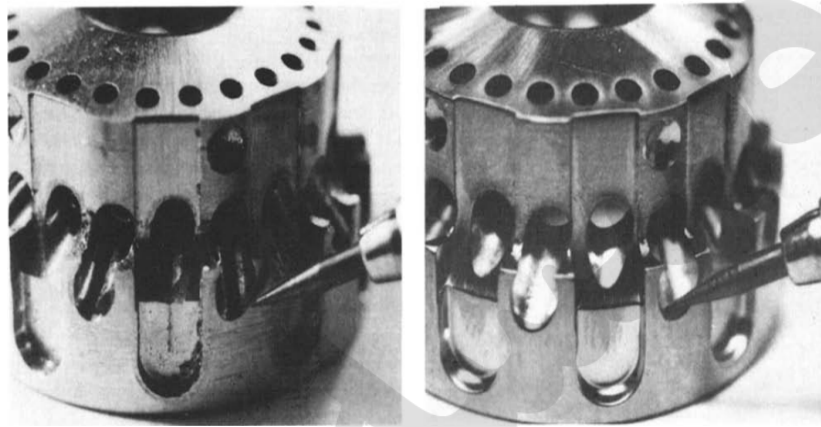
ذرات ساینده غالباً متشکل از کاربید سیلیکون هستند، اگرچه برن کاربید، الومینیوم اکسید و الماس را نیز می توان استفاده کرد. اندازه ذرات از 0.005 تا 1.5 میلیمتر (0.0002 تا 0.060 اینچ) است. هر چه پرداخت کاری اولیه بهتر باشد، اندازه ذرات مورد استفاده برای سایش، کوچک تر خواهد بود. ذرات ساینده بزرگ تر با سرعت بالا موجب ایجاد برش می شوند، در حالی که اندازه های کوچک تر موجب ایجاد پرداخت های مناسب تر و دسترسی بهتر به حفره های کوچک تر می شود. عمق برش ایجاد شده توسط ذرات ساینده در سطح، بستگی به فشار اکستروژن اعمال شده و سفتی محیط علاوه بر اندازه ذرات ساینده دارد. هوا یا خلاء را می توان برای حذف محیط از مناطق مورد دسترس استفاده کرد. بقایای نهایی را می توان در فرایند شست و شو با حلال استخراج کرد.

در فرایند AFM ذرات برش ساینده شکسته شده و کند می شوند و مواد ساییده شده، به بخشی از محیط ساینده تبدیل می شود. عمر مفید محیط بستگی به یک سری عوامل از جمله مقدار بچ اولیه، اندازه و نوع ذرات ساینده، سرعت جریان و پیکر بندی قطعه دارد. معمولاً، یک بار ماشین را می توان به مدت یک هفته، پردازش هزاران قطعه قبل از تعویض مورد استفاده قرار داد.

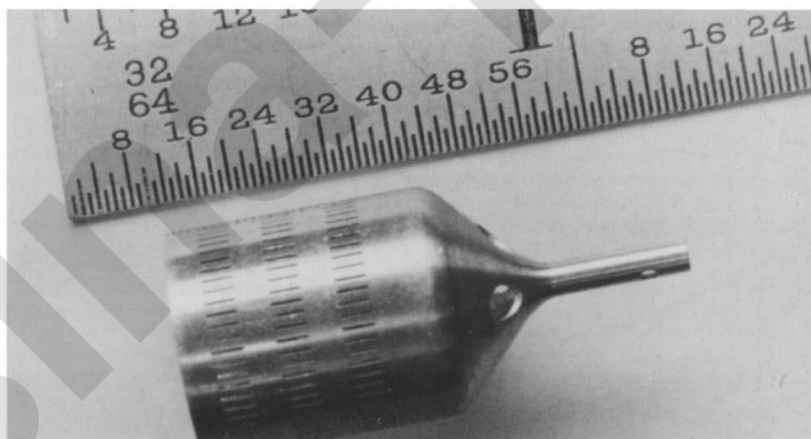
### کاربرد های فرایند

AFM، دارای دقت، پایداری و انعطاف پذیری در طیف وسیعی از زمینه ها از جمله پرداخت کاری قالب، هوا فضا، تولید خودرو و تولید محصولات دیگر می باشد. سایر کاربرد های آن در زمینه های متنوع نظیر ایمپلنت های جراحی و پمپ های سانتریفیوژ می باشد. این فرایند در مرحله اول برای پلیسه دار کردن و صیقل دهی ماسوره ها و دریچه های هواپیما، لبه های داخلی ازاد، بازرسی میکروسکوپی با بزرگ نمایی ضربدر 20 ضمن تولید شعاع دقیق

و کنترل شده لبه ها استفاده می شود. دهانه های اسپری سوخت توربین که در تصویر زیر دیده می شود قبل ( شکل 9) و پس از ( شکل 10) فرایند نشان داده شده اند.



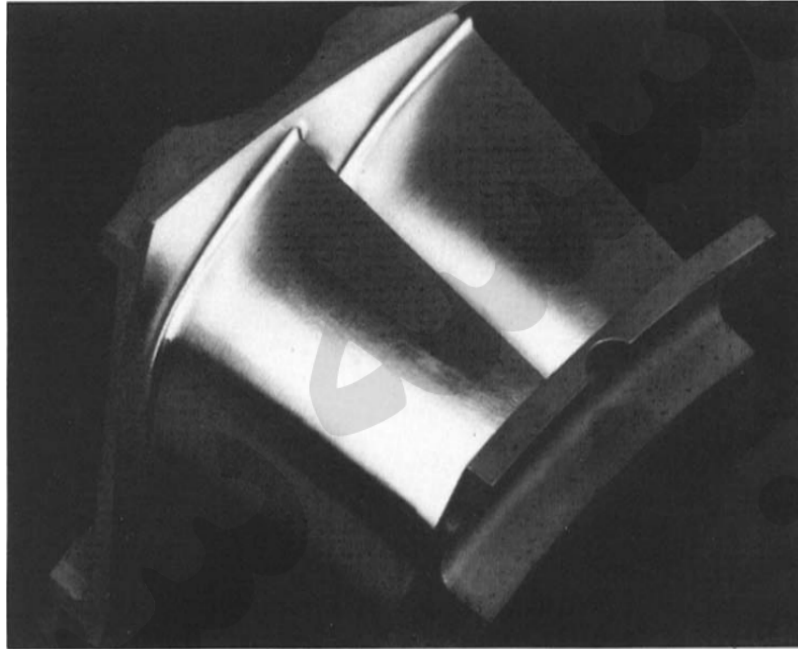
شکل 9-10: دهانه های اسپری سوخت موتور توربین از AFM برای پلیسه دار کردن استفاده می کند فرایند AFM را می توان در طیف وسیعی از قطعه ها و مسیرها با اندازه های مختلف از چرخ دنده های با اندازه کم تر از 1.5 میلی متر (0.060 اینچ) و روزانه های کوچک تر از 0.2 میلی متر (0.008 اینچ) نا قالب های 50 میلیمتری استفاده کرد. یکی از مزایای اصلی فرایند هانینگ اکستروژن، یکنواختی سطح صیقل داده شده به خصوص در مقایسه با روش های پرداخت کاری دستی و کسل کننده است. این مزیت منجر به ایجاد سایر مزیت های مربوط به کاهش هزینه های کار با بهبود عملکرد قطعات، بهبود طول عمر مفید، کاهش ضایعات و تعمیر و کاهش زمان بازرسی شده است. در آونگ برای یک شتاب سنج نشان داده شده در شکل 11، یک قالب ایجاد شده توسط EDM در 180 شکاف با عرض 0.15 میلی متر (0.006 اینچ)، 1.5 میلی متر طول (0.006 اینچ) با ضخامت دیواره تنها 0.25 میلی متر (0.010 اینچ) حذف شد.



شکل 11: فشار اکستروژن متغیر امکان پردازش مطمئن اجزای شکننده را می دهد



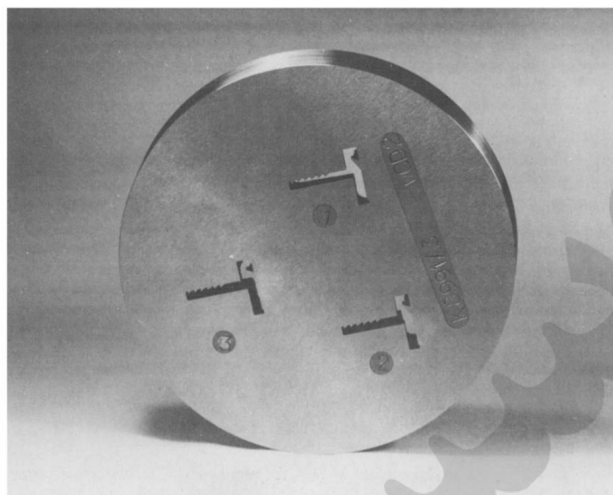
برخی از کاربرد های دیگر AFM، در هوا فضا شامل حذف لایه قالب حرارتی در حفره های تیغه ها یا دیسک های خنک کننده EDM یا لیزری، پلیسه دار کردن دهانه اسپری سوخت و صیقل دهی سطوح تیغه ها، چرخ های کمپرسور و پروانه ها میباشد (شکل 12).



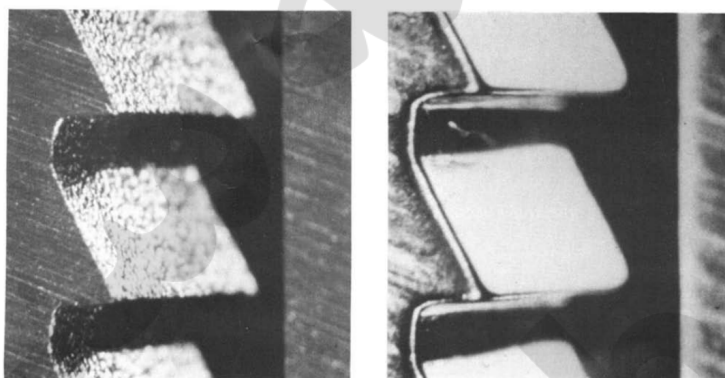
شکل 12: حذف یکنواخت و کنترل شده ضایعات موجب بهبود پرداخت سطحی تیغه ها با تغییر بعد حداقل می شود

اکستروژن هانینگ برای صیقل دهی طیف وسیعی از قالب ها برای اکستروژن کردن، استخراج، ترکیب، فرم دهی سرد و متراکم سازی، از بین بردن ناپیوستگی کار دستی و کاهش هزینه استفاده می شود. حذف یکنواخت و کنترل شده ضایعات موجب بهبود اندازه بندی مسیر قالب ها با حداقل تغییر بعدی می شود. معمولاً، پرداخت های اولیه EDM با اندازه  $R_a$   $100 \mu\text{m}$  (پینچ) تا پایین تر از  $0.25$  (پینچ) در یک دوره ده دقیقه بدون نیاز به تجهیزات خاص صیقل دهی می شود. بهبود پرداخت سطحی تا یک دهم پرداخت اولیه معمولاً از فرایند در این شرایط انتظار می رود.

قالب اکستروژن الومینیوم چند پورتی نشان داده شده در شکل 13، از AFM برای بهبود پرداخت کاری EDM  $R_a$   $1.9 \mu\text{m}$  (پینچ) تا  $0.18 \mu\text{m}$  (پینچ) در یک دوره 5 دقیقه ای استفاده کرده است. یک نمای نزدیک از دندانه قبل (شکل 14) و پس از (شکل 15) فرایند نشان داده شده است.



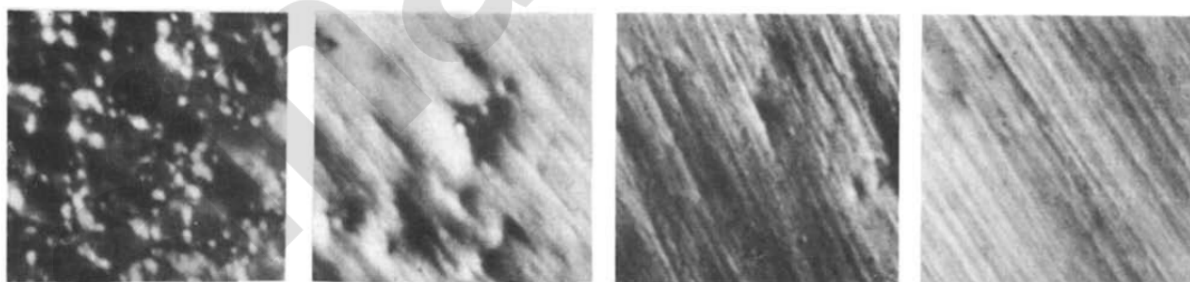
شکل 13: مسیر های چندگانه در یک قطعه کار می توانند به طور هم زمان فراوری شوند



شکل 14-15: نمای نزدیک از دندانها بر روی قالب اکستروژن در شکل 13 که قبل و پس از فرایند نشان داده

شده است

اگرچه پرداخت کاری با دست موجب لکه دار کردن سطح شده و موجب می شود تا لبه ها تا بخورند و یا ایجاد یک سطح ناپیوسته کنند، فرایند AFM به آرامی دور از نقاط مرتفع سطح به آرامی کار کرده و تولید سطح یکنواخت تر، تک سویه و قطعات مطمئن تر و با دوام تر می کند. شکل 16 عمل صیقل دهی پیشرونده سطح را بر روی قالب اکستروژن نشان می دهد و زمان فراوری بین هر مرحله متوالی 80 ثانیه است.



شکل 16: هانینگ اکستروژن دور از نقاط مرتفع منجر به ایجاد یک سطح یکنواخت می شود

## جمع بندی

ماشین کاری با جریان ساینده، سطوح و لبه ها را با وارد کردن جریان های ساینده به درون قطعه کار، پرداخت کاری می کند. سایش تنها در جایی رخ می دهد که جریان محدود شود. سایر مناطق سالم باقی می ماند. ماشین کاری با جریان ساینده می تواند بسیاری از مسیر های انتخاب شده بر روی یک قطعه کار را هم زمان فراوری کند و به مناطق غیر قابل دسترس نیز دسترسی پیدا کند. چندین قطعه را می توان در یک گیره نگه دارنده فراوری کرد و این موجب افزایش نرخ تولید تا بیش از صد ها قطعه در ساعت می شود. با تغییر پارامتر های فرایند می توان نتایج پرداخت کاری متعددی را بدست آورد. تجهیزات مونتاژ را طوری می توان طراحی کرد که در طی چند دقیقه حتی در فرایند های تولید تغییر داده شوند. AFM موجب افزایش اطمینان پذیری و صحت شده و این مسئله موجب بهبود 90 درصدی در پرداخت های سطحی با حذف قابل کنترل ضایعات به میزان 10 درصدی می شود. سخت ترین و غیر قابل کنترل ترین زمینه های تولید مربوط به تولید قطعات دقیق میباشد که مستلزم عملیات ماشین کاری و پرداخت کاری نهایی می باشد که بیش از 15 درصد هزینه های کل تولید را شامل می شود. پرداخت کاری مناسب لبه ها و سطوح، به ابعادی فراتر از ظاهر یا کیفیت محصول اثر می گذارد: پرداخت کاری کنترل شده سطوح و لبه ها به طور قابل توجهی موجب بهبود عملکرد محصول و عمر مفید آن شده و در عین حال موجب کاهش هزینه های مستقیم نیروی کار می شود. این عملیات به عنوان بزرگ ترین مانع در اتوماسیون تولید قطعات دقیق محسوب می شوند. ماشین کاری با جریان ساینده برای پلیسه دار کردن، صاف سازی، تغییر اندازه و صیقل دهی را می توان در طیف وسیعی از عملیات پرداخت کاری به کار برده و به نتایج یکنواخت، قابل تکرار و قابل پیش بینی دست یافت. با تاکید امروزه بر اتوماسیون کل با ابزار های ماشینی در سیستم های ماشین کاری انعطاف پذیر، فرایند AFM، مزیت های انعطاف پذیری و اتوماسیون را در عملیات ماشین کاری نهایی به عنوان جزء جدایی ناپذیر چرخه کامل تولید، در اختیار می گذارد.