جلسه نهم : ماشینکاری با جت ذرات ساینده و آب (AWJM)

و ماشینکاری با جت یخ (IJM)

ماشینکاری با جت ذرات ساینده و آب (AWJM)

- ✓مقدمه ای بر AWJM
- ✓تجهیزات ماشینکاری AWJM
- ✓پارامترهای فرایند AWJM
- ✓مزایای AWJM
- ✓معایب یا محدودیتهای AWJM
- ✓کاربرد فرایند AWJM

ماشینکاری با جت یخ (IJM)

- ✓مقدمه ای بر IJM
- ✓ماشینکاری با IJM

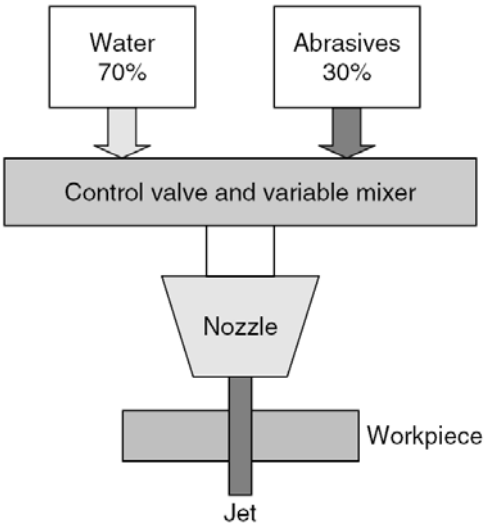
ماشینکاری با جت ذرات ساینده و آب (AWJM)

مقدمه

فرآیند ماشینکاری با جت آب ساینده AWJM یک فرآیند ترکیبی است. ترکیبی از ماشینکاری با آب و ماشینکاری با جت ساینده. در واقع با افزودن ذرات ساینده به جت آب، گستره موادی که می‌تواند مورد پردازش قرار بگیرد بیشتر می‌شود و همچنین MRR را به بیشترین مقدار می‌رساند. در این روش مبنای MRR بر استفاده از روش‌های جنبشی ذرات ساینده و آب استوار است. در طی دهه‌های اخیر تلاش‌ها و تحقیقات زیادی برای مطالعهٔ روش‌های جدید ماشینکاری صورت گرفته و گزارش شده که AWJM هم قادر به ماشینکاری مواد نرم و هم قادر به ماشینکاری مواد سخت با سرعت‌های بسیار بالاتر در مقایسه با WJM است. این روش ۱۰ تا ۵۰ برابر سریع‌تر از WJM برشکاری می‌کند. به‌علاوه، برشهای ایجاد شده با این روش لبه‌های بهتر و کیفیت سطح بالاتری دارد.

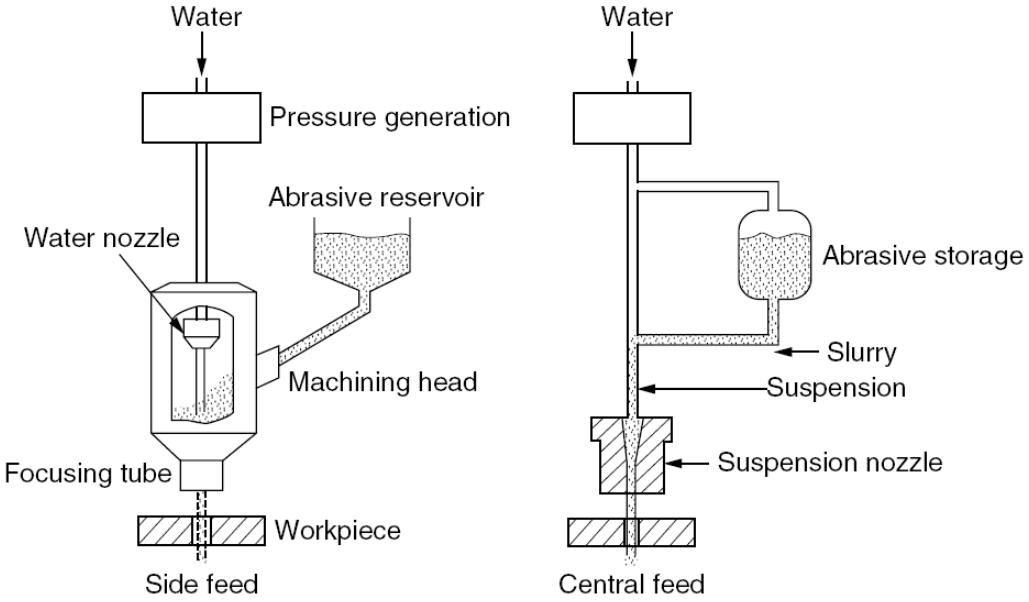
AWJM از فشار آب نسبتاً کمتری نسبت به روش WJM استفاده می کند (در حدود ۸۰٪) تا برای شتاب دادن سیال از آن استفاده کند. نسبت مخلوط شدن آب و ذرات ساینده، ۷ به ۳ است. اغلب اوقات از ذراتی ساینده نظیر سنگ، ماسه Al_2O_3 و... با سایزدانهٔ ۱۰ تا ۱۸۰ میکرومتر استفاده می‌شود.

تولید مخصوص - آذین



تجهیزات ماشینکاری

تجهیزات AWJM تفاوت زیادی با WJM ندارد، لذا از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:



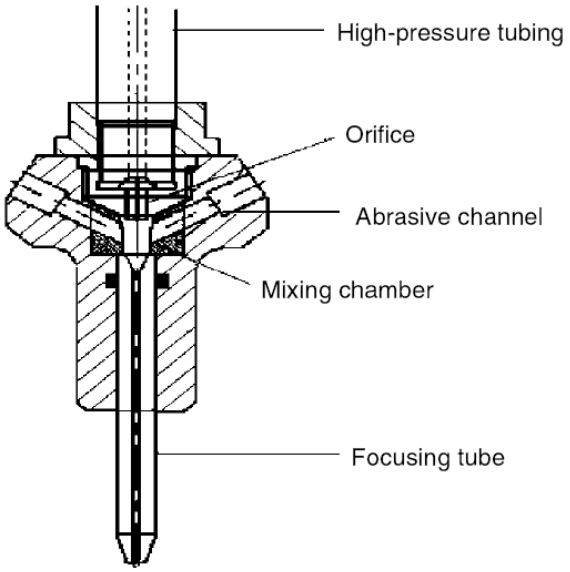
۱- واحد تصفیهٔ آب: مثل دستگاه WJM است، ولی در AWJM معمولاً از پلیمرهای برشی استفاده نمی‌شود، چرا که عقیدهٔ کلی بر این است که این کار باعث افزایش پیوستگی جت شده و از مخلوط شدن ذرات ساینده با جت آب جلوگیری می‌کند.

۲- واحد تولید فشار: چون فشار کمتری نسبت به WJM استفاده می شود، لذا از یک دستگاه تقویت کنندهٔ دوگانه استفاده می‌شود. گسترهٔ فشار معمول در AWJM بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ مگاپاسکال و در نرخ تخلیهٔ ۵ لیتر بر دقیه است تا کاهش فشار کمتر شده و سیستم لوله‌کشی تنش شود.

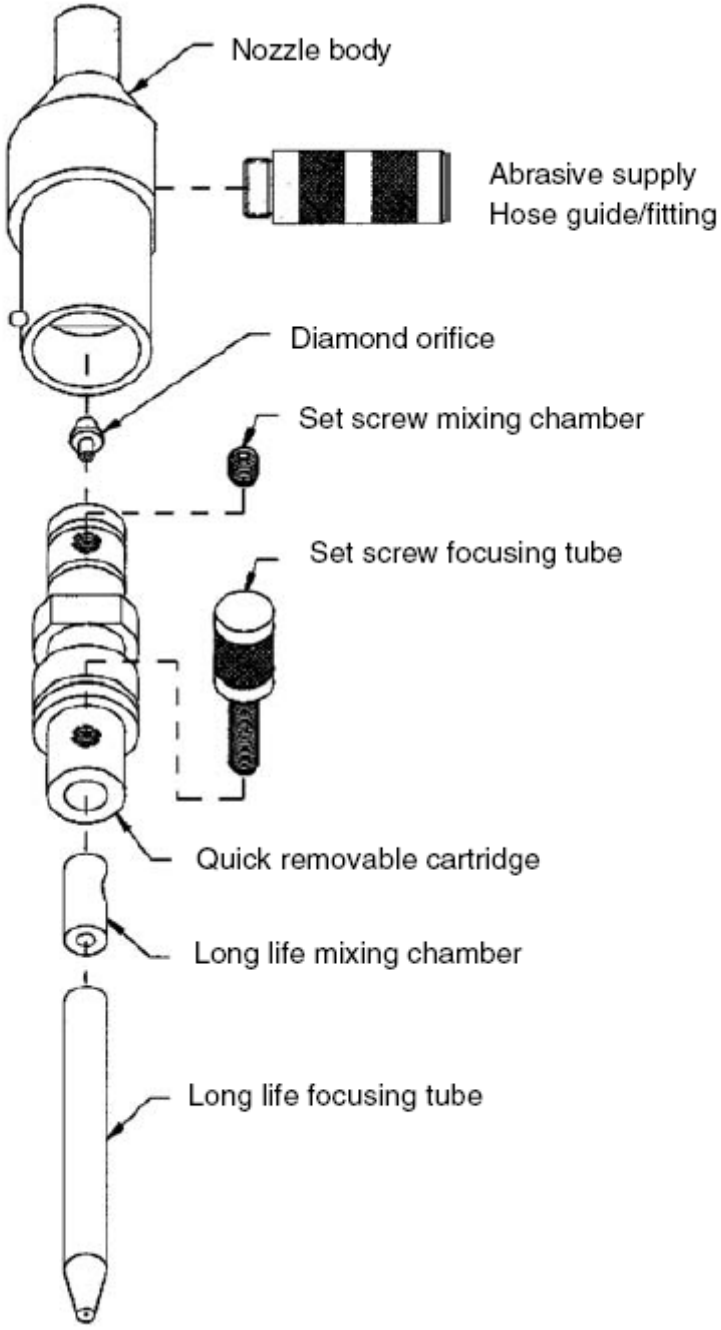
۳- واحد برش: در WJM این واحد نازل یا افشانک بود، اما در AWJM این قسمت با تجهیزاتی به‌نام Jet former یا شکل‌دهندهٔ جت جایگزین شده است که در ادامه به‌شرح آن می‌پردازیم.

شکل دهنده جت

در شکل دهندهٔ جت، ابتدا فشار آب به انرژی جنبشی آب تبدیل می‌شود و درعوض قسمتی از آن تبدیل به انرژی جنبشی ذرات ساینده می‌شود. شکل، شکل دهندهٔ جت را به‌همراه تصویر شماتیک آن نشان می‌دهد.



در انتهای لولهٔ پرفشار، یک روزنه نصب شده است. این روزنه متشکل از یک متوازی‌الاضلاع شش وجه کبودرنگ Al_2O_3 ای و یک یاقوت با قطر داخلی ۰/۰۸ تا ۰/۸ میلی‌متر است. قطر داخلی کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر برای کاربردهای با فشار بالا برشکاری واترجت استفاده می‌شود، چرا که مجموع انرژی کلی برای شتاب دادن مؤثر به ذرات ساینده کم می‌شود. معمولاً از قطر روزنهٔ ۰/۲۵ تا ۰/۴ میلی‌متر برای AWJM استفاده می‌شود. قطرهای بیش از ۰/۴ میلی‌متر عموماً در کاربردهای تمیزکاری سطحی کم فشار به‌کمک واترجت استفاده می‌شود. روزنه، آب پرفشاری را از خود خارج می‌سازد که جت آب شکل گرفته و به سمت محفظهٔ مخلوط شدن هدایت می‌شود. در این محفظه، هوای محیط که از خارج وارد شده و با ذرات ساینده برخورد کرده است، به‌سمت محفظه هدایت می‌شود و در این محیط وکیوم با جت آب خالص برخورد می‌کند و به این صورت عمل ترکیب انجام می‌شود. اما پس از این فرآیند، جت پیوستگی خود را از دست می دهد که باید برای رفع آن چاره‌ای اندیشید. برای این منظور، از یک تیوپ یا لولهٔ متمرکز کنندهٔ نصب شده در پایین محفظهٔ مخلوط شدن استفاده می‌کنند تا جت بتواند پیوستگی خود را دوباره پیدا کند. شکل آتی یک شکل‌دهندهٔ جت را به‌صورت نقشه انفجاری نمایش می‌دهد.



طراحی یک Jet former براساس پارامترهای زیر است:

- ✓ **قطر روزنهٔ آب**
- ✓ **فاصلهٔ محور روزنهٔ جت تا نقطه ورود**
- ✓ **زاویهٔ ورود ذرات ساینده**
- ✓ **مقطع عرضی کانال تغذیهٔ ذرات ساینده**
- ✓ **نسبت طول به قطر محفظهٔ مخلوط شدن**
- ✓ **قطر لولهٔ متمرکز کننده و طول لولهٔ متمرکز کننده**

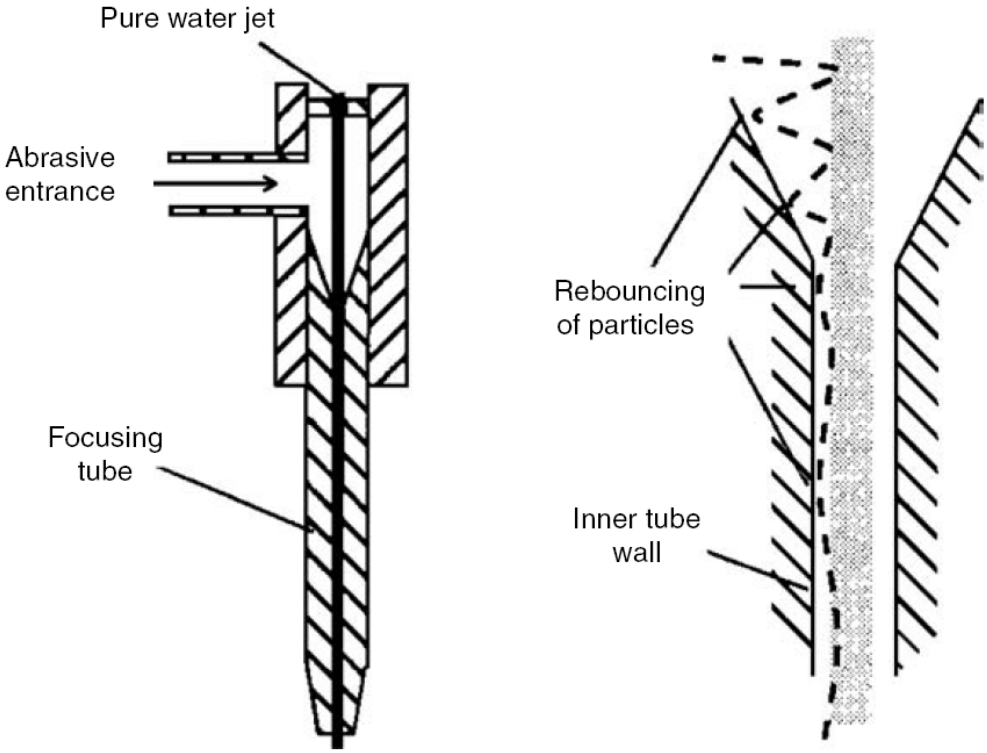
لولهٔ متمرکز کننده

کارآیی لولهٔ متمرکز کننده که به آن لولهٔ ذرات ساینده و یا لولهٔ شتاب‌دهنده هم می‌گویند، بستگی به موارد زیر دارد:

- ✓ **هندسهٔ ناحیهٔ ورودی**
- ✓ **قطر داخلی لوله که هرچه کوچکتر باشد انرژی را متمرکزتر می‌کند. برای کارکرد قابل اطمینان لولهٔ متمرکز کننده، می‌بایست قطر آن حداقل ۵ برابر قطر ذرات ساینده باشد.**
- ✓ **طول لولهٔ متمرکز کننده که هرچه طویل‌تر باشد، جت پیوسته‌تری تولید می‌کند ولی اصطکاک بیشتری میان جت و دیواره ایجاد می‌کند و موجب کاهش سرعت جت ذرات ساینده می‌شود. مشکل دیگر لوله‌های بلندتر بحث هم خط کردن و تراز نمودن آنهاست.**

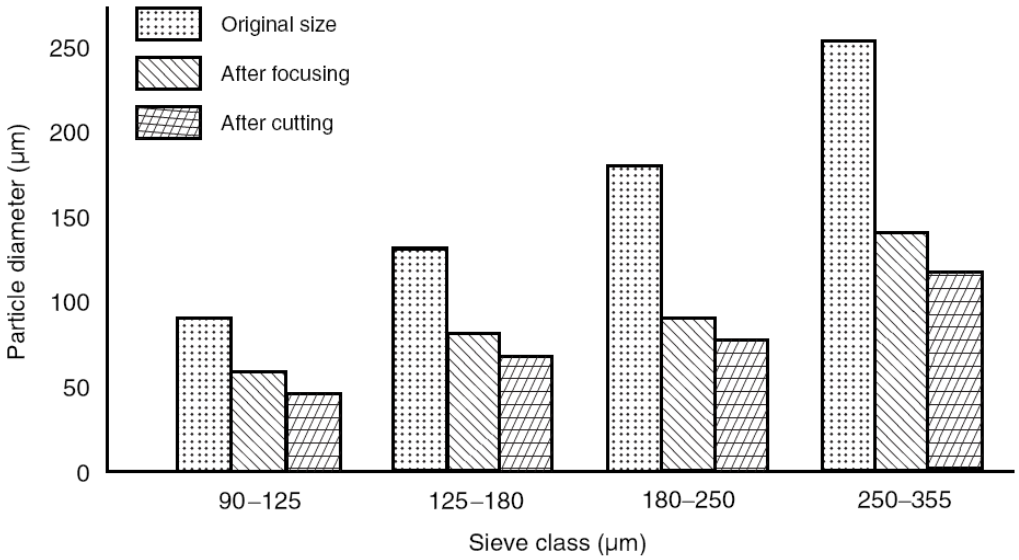
مخلوط کردن ذرات ساینده با آب

به‌علت پیچیده بودن طبیعت جریان مختلط فرآیند مخلوط کردن، هیچ مدلسازی ای در این مورد انجام نشده است. اگرچه، یک تئوری قابل قبول برای مخلوط کردن ذرات و جت در لولهٔ متمرکز کننده وجود دارد. فرض می شود که ذرات ساینده با سرعت ناچیزی وارد جت آب می‌شوند. سپس توسط جت آب به آن شتاب داده شده و فشار وارد می‌آید تا به دیوارهٔ داخلی لوله ضربه زند و دوباره به جت آب بازمی‌گردد. این فرآیند تا زمانی که بردار سرعت ذره با بردار سرعت جت آب یکی شود؛ ادامه می‌یابد.

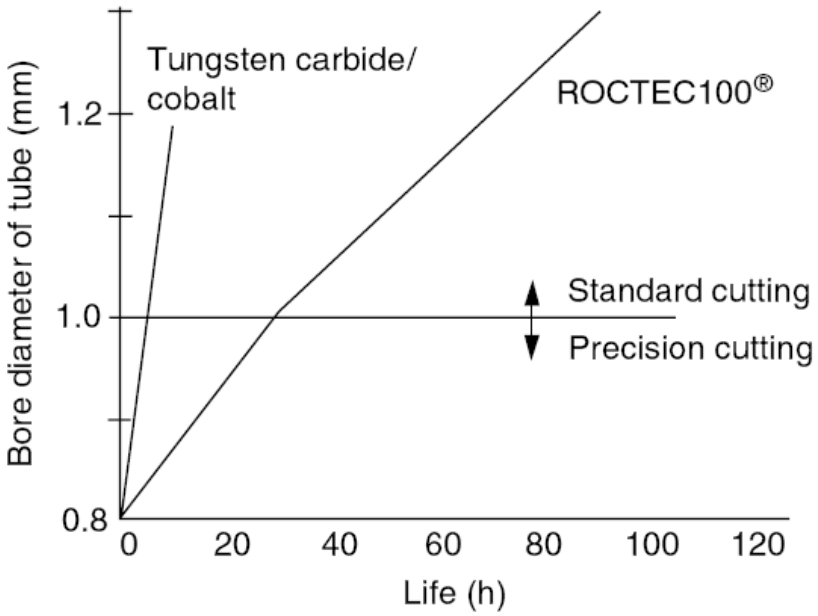


دو اثر در نتیجهٔ این فرآیند ذکر شده بوجود می‌آید:

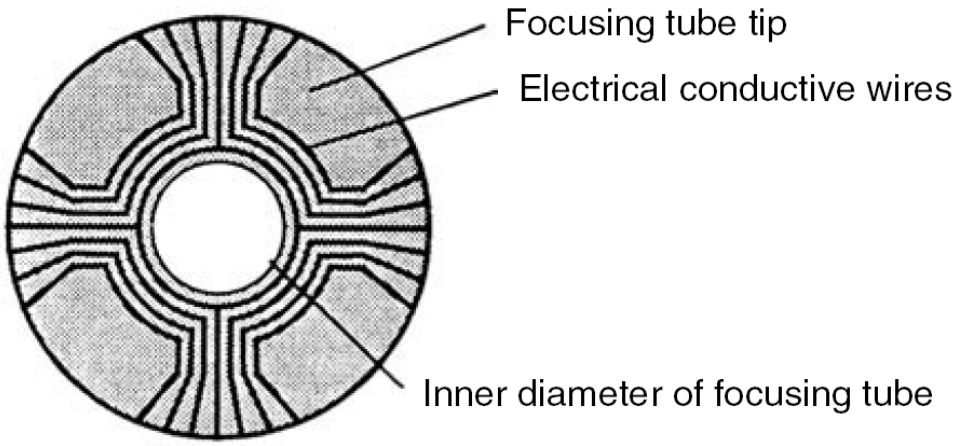
۱- اجزاء ساینده به‌علت تصادم و برخورد با لوله متمرکز کننده و همچنین با یکدیگر، خرد و متلاشی می‌شوند که این موجب کاهش جدی قطر ذرهٔ ساینده پس از فرآیند متمرکز شدن می‌شود (به شکل زیر توجه شود). بنابراین به‌علت این خرد و متلاشی شدن نمی توان ذرات ساینده را برای فرآیندهای بعدی بازیابی نمود.



۲- لوله متمرکز کننده در معرض سایش شدید قرار دارد. بنابراین می‌بایست به کمک مواد با خاصیت مقاومت پوششی بالا مثل ROCTEC-۱۰۰ ساخته شود. این کار باعث افزایش عمر نازل می‌شود.



- ✓ **اخیراً یک سیستم نازل هوشمند پیشنهاد شده است که در آن از یک سیستم نظارت سایش استفاده شده است که از یک الگوی grid بندی شدهٔ با سیم‌های الکتریک رسانا استفاده می‌کند. سیستم مزبور در انتهای لولهٔ متمرکز کننده نصب شده است تا سایش قطر داخلی تیوپ را ضبط کند. وقتی که قطر داخلی دچار فرسایش می‌شود، سیم‌ها با یکدیگر تداخل پیدا می‌کنند و سیگنال ارسال می‌کنند. این اطلاعات قطر می‌تواند معرف پایانهٔ عمر لولهٔ متمرکز کننده باشد.**



مشخصه‌های مهم AWJ

پنج مشخصهٔ مهم AWJ که باید برای انجام ماشینکاری درست آنها را مدنظر قرار داد عبارتست از:

- ✓ **سرعت جت تعیین کنندهٔ توانایی برشکاری است**
- ✓ **پیوستگی جت معرف شکل کرف و کیفیت برش است**
- ✓ **نسبت وزنی ذرات ساینده به آب مبین کارایی بهینهٔ برشکاری است**
- ✓ **تقارن دورانی جت تعیین کنندهٔ توانایی برش در جهات مختلف است**
- ✓ **برقراری یک ساختار جت پایدار، کیفیت یکنواختی را در برش یک قطعه کار می‌دهد.**

ماشین‌های WJ و AWJ تجهیز شده با کامپیوتر هم‌اکنون در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها قادر به دریافت نقشه‌های CAD از سیستم دیگر هستند و همچنین می‌توانند نقطهٔ شروع، پایان و توالی عملیات را تعیین کنند.

نصوص - آیینه

متغیرهای فرآیند

پارامترهای معمول اثرگذار بر فرآیند عبارتند از:

- ✓ **فشار آب**
- ✓ **قطر نازل آب**
- ✓ **هندسهٔ متمرکز کننده**
- ✓ **فاصلهٔ نازل تا قطعه کار**
- ✓ **سایز و نوع دانه‌های ذرات ساینده**
- ✓ **نسبت ذرات ساینده به آب**
- ✓ **سختی و استحکام مادهٔ قطعهٔ کار، نوع مادهٔ قطعه کار (فلزی، غیرفلزی یا کامپوزیت)**

متغیرهای فرآیند

در زمان ماشینکاری شیشه با AWJ، نرخ برشکاری ۱۶ تا ۲۰ میلی‌مترمکعب بر دقیقه قابل دسترسی است. یک AWJ می‌تواند در یک پاس، بتونی با ضخامت ۳۶۰ میلی‌متر و صفحهٔ فولاد ابزاری با ضخامت ۷۶ میلی‌متر را با سرعت جابجایی ۳۸ میلی‌متر بر دقیقه برش دهد. در برشکاری صفحات فولادی (فلزی یا غیرفلزی)، صافی سطح R_aای در گسترهٔ ۳/۸ تا ۶/۴ میکرومتر به‌دست می‌آید به‌طوری که تلرانس $\pm$۱۳۰ میکرومتر قابل دستیابی است. همچنین قابلیت تکرار $\pm$۴۰ میکرومتر، گونیا بودن ۴۳ میکرومتر بر متر و همواری ۵۰ میکرومتر بر محور نیز انتظار می‌رود. از ماسه و سنگ نیز معمولاً به‌عنوان ذرات ساینده استفاده می‌شود. البته معمولاً سنگ ترجیح داده می‌شود، چون تا ۳۰ درصد نسبت به ماسه کاراتر است. همچنین از یک مایع خامی که با افزودنی‌های ضدسایش همراه است، برای شتاب بیشتر دادن به ساینده‌ها استفاده می‌شود. عمق نفوذ با افزایش فشار آب و با کاهش سرعت حرکت افزایش می‌یابد.

پرتال متخصص - آرین

متغیرهای فرآیند

اما مهم‌ترین عامل اثرگذار بر MRR و دقت محصول نهایی، فاصلهٔ نازل تا قطعه کار است. این فاصله مقادیری میان ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر را اختیار می‌کند. هرچه این فاصله کمتر باشد، دقت بالاتر و پهنای کرف کمتر می‌شود؛ ولی MRR هم کمتر می‌شود. درعوض بیشترین MRR در حالتی که بیشترین فاصلهٔ مزبور ایجاد می‌شود (۵mm) به‌دست می‌آید. از فواصل ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر که در آن قدرت برشی خود را از دست می‌دهد، برای فرآیندهای تمیزکاری سطحی استفاده می‌شود. جدول سرعت جابه‌جایی‌های گوناگون را به ازای مواد مختلف و ضخامت‌های مختلف بیان می‌کند. از این جدول می‌توان اینگونه استنتاج کرد که:

- ✓ **فلزات خالص دارای قابلیت ماشینکاری یکسان هستند**
- ✓ **شیشه‌ها با سرعتی ۸ تا ۱۰ برابر سریع‌تر نسبت به آلیاژهای آهنی بریده می‌شوند.**

Traverse Velocity (mm/min) When Machining Different Materials by AWJM

Material Thickness	6 mm	15 mm	19 mm	25 mm	50 mm
Titanium	250	150	100	50	16
Aluminum	250	150	100	50	16
FRP	500	280	130	75	25
Stainless steel	200	90	60	40	15
Glass	2000	1000	700	500	150

متغیرهای فرآیند

صافی سطح در این فرایند به جنس قطعه کار، اندازه سنگریزه و نوع ساینده بستگی دارد. مادهای با MRR بیشتر صافی سطح بالاتر ایجاد می کند. به همین علت از دانه های نرم و ریز برای ماشینکاری مواد نرم استفاده می شود تا همان صافی سطحی بدست آید که برای مواد سخت در برشکاری با مواد ساینده سخت بدست می آید. همچنین هرچه نسبت ذرات ساینده به آب بیشتر باشد؛ MRR نیز بالاتر خواهد رفت.

به خصوص در زمینه ماشینکاری کامپوزیت ها، AWJM بسیار می تواند موثر واقع شود؛ چرا که دارای نرخ برش بالا می باشد و موجب ورقه ورقه شدن لایه های کامپوزیت نمی شود. در جدول زیر یک مقایسه میان استفاده از AWJM و WJM برای برش صفحات FPR با ضخامت ۵ میلی متر در شرایط بهینه ارائه شده است.

WJ and AWJ	
Water pressure	= 300 MPa
Nozzle diameter	= 0.225 mm
SOD	= 5 mm

AWJ
Abrasives:garnet # 80 mesh
Abrasive flow rate = 300 g/min

مزایای فرایند

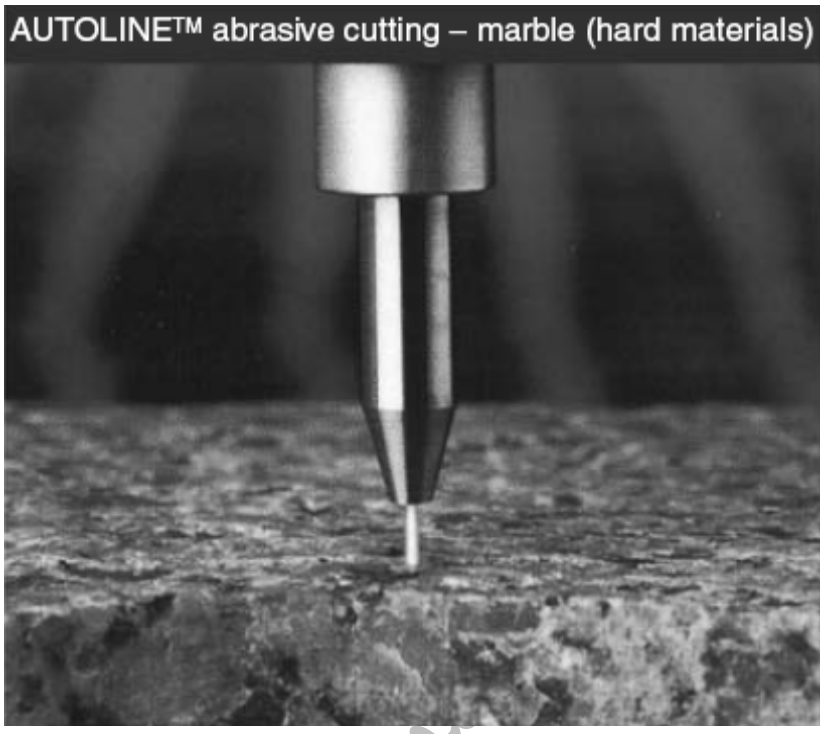
AWJM همان مزایای WJM را دارد. بعلاوه روش قادر به قابلیت ماشینکاری مواد نرم و سخت با سرعت‌های بالا است.

محدودیت ها یا معایب فرایند

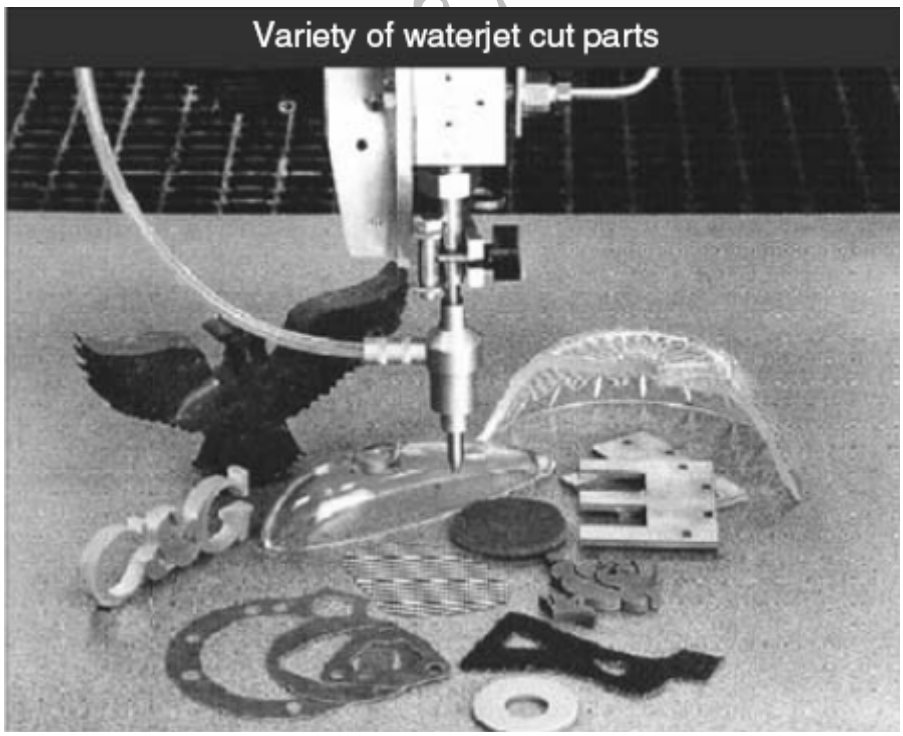
- ✓ به‌علت وجود ذرات ساینده در جت، بحث خوردگی و فرسایش ماشین و تجهزات آن وجود دارد
- ✓ فرآیند در مقایسه با WJM از لحاظ محیطی ایمن نیست.

کاربردهای فرایند

- ✓ برش مواد فلزی مثل W, Cv, Al, Pb, Mo, Ti
- ✓ برش کاربیدها و سرامیک‌ها، برش بتون، سنگ‌مرمر و گرانیت



- ✓ برش لاستیک و پنبه‌نسوز

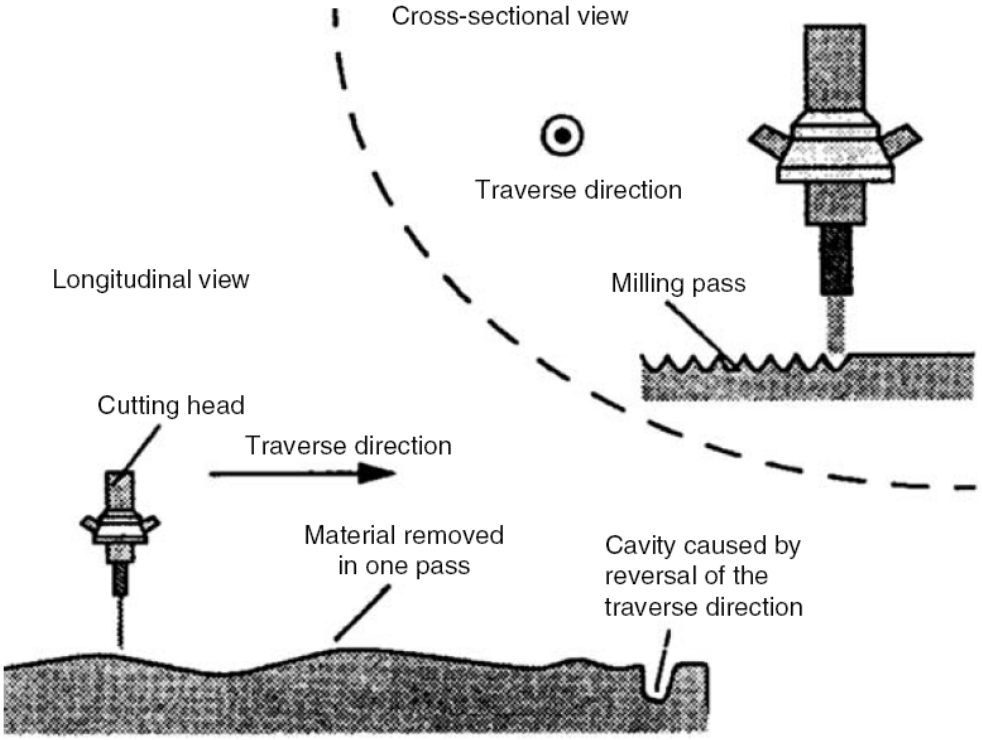


- ✓ برش کامپوزیتها مثل FRP و برش Ti-honeycomb ساندویچ شده که این مورد آند در صنایع هوا-فضار کاربرد دارد

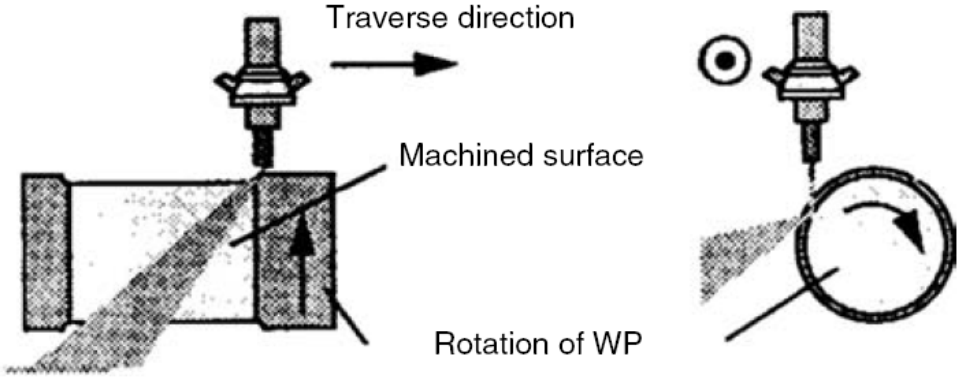
- ✓ **برش شیشه و آکویلیک.**

در زمینه ماشینکاری، AWJM دو کاربرد جدید دیگر نیز پیشنهاد شده است که در شکل‌ها توضیح داده شده‌اند:

- ✓ **فرزکاری سطوح صاف و تراشکاری سطوح استوانه‌ای**



- ✓ **همچنین فرآیند قابل کاربرد در پلیسه‌گیری، تیز کردن چرخ‌های سمباده و مستحکم‌سازی سطحی به‌منظور افزایش استحکام خستگی است.**



ماشین کاری با جت یخ (IJM)

مقدمه

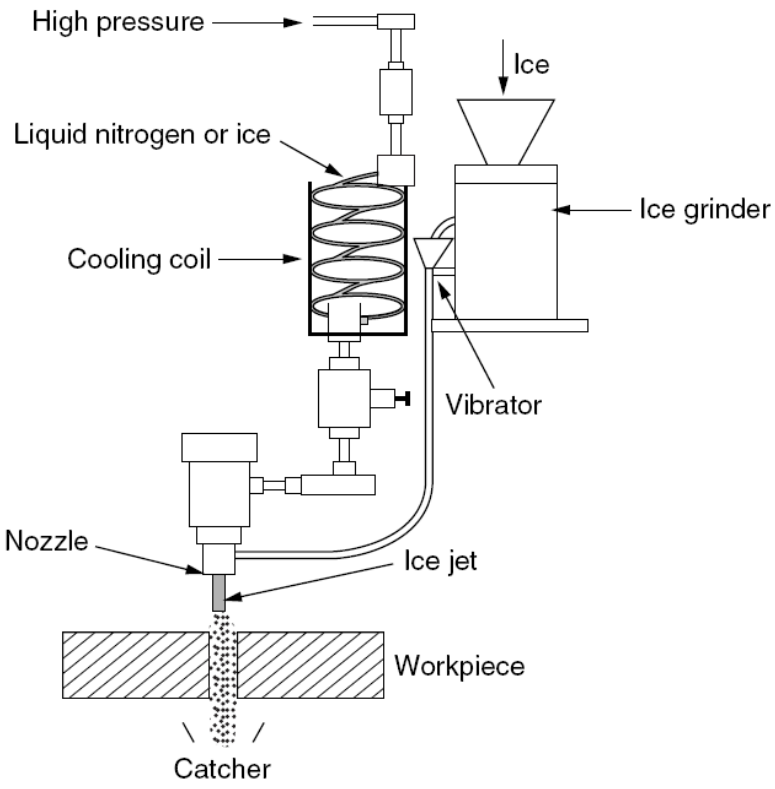
مهم‌ترین عیب WJM بازده کم در انتقال انرژی بین جت و قطعه کار است. این عیب سبب می‌گردد تا سرعت‌های برش کم شده و استفاده از جت آب را برای ماشین‌کاری مواد نسبتاً نرم محدود کند. AWJM برای برش هر ماده مهندسی قابل استفاده است، اما بازده انرژی AWJM نیز کم است. مخلوط کردن آب و ذرات ساینده اندازه حداقل قطر جت به‌کار رفته را محدود می‌کند. روش IJM دارای ویژگی های خاصی است که آنرا نسبت به دو روش مذبور متمایز می سازد.

ماشینکاری با IJM

در ماشین کاری جت یخ (IJM)، به‌جای ذرات ساینده از ذرات یخ استفاده می‌شود. چون سختی ذرات یخ کمتر از ذرات ساینده است، نرخ باده‌برداری کمتری در مقایسه با AWJM انتظار می‌رود. اما کاهش هزینه و کار بدون تولید آلودگی، سبب استفاده از IJM در صنایع غذایی، الکترونیک، صنایع دارویی و فضایی استفاده می‌شود.

ذرات یخ به‌وسیله انجام جریان آب (کمتر از ۵۰۰ میکرون) و یا استفاده از منبع ذرات یخ (بزرگتر از ۵۰۰ میکرون)، در جریان استفاده می‌شود. در حالت استفاده از منبع، مکعب‌های یخی از طریق یک یخ‌ساز تأمین می‌گردند و به افشانک تغذیه می‌روند. CO_2 جامد برای جلوگیری از ذوب شدن یخ به آن اضافه می‌شود.

تولید محصول



یخ خرد شده سپس از طریق افشانک ماشین‌کاری تغذیه می‌شود. قبل از عبور از افشانک، آب از طریق عبور از یک کویل که داخل نیتروژن مایع قرار گرفته است خنک می‌شود. برخی از مشخصه‌های بهبود یافته ماشین‌کاری در استفاده از جت یخ در جدول زیر گزارش شده است:

Material	Thickness, mm	Depth, mm		Diameter, mm		Time, min	Removal rate, mm^3/min		Particle size
		WJ	IJ	WJ	IJ		WJ	IJ	
Aluminum	20	4.3	10.5	1.4	2.8	2.0	3.31	32.3	Large
Steel	6.4	2.5	6.4	1.1	1.1	5.6	0.43	1.09	Large
Steel	2.9	2.1	2.9	1.1	1.1	2.1	0.95	1.31	Small
Ti alloy	12.9	3.1	4.3	1.1	1.2	4.2	0.70	1.16	Small
Graphite	7.4	5.3	7.4	1.2	1.2	5.0	6.90	9.63	Large
Stainless steel	3.2	2.5	2.9	1.1	1.1	3.0	0.79	0.92	Small
Stainless steel	2	0.0	1.7	1.1	1.1	8.0	0.00	0.20	Large

ویرایش مخصوص - آذینه