





دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پروژه پایانی درس ماشین کاری و ابزار شناسی

عنوان

**ماشین کاری خشک DRY MACHINING**

حسین قربانی منقاری 8905934

استاد

آقای دکتر زرکوب

بهار 1390

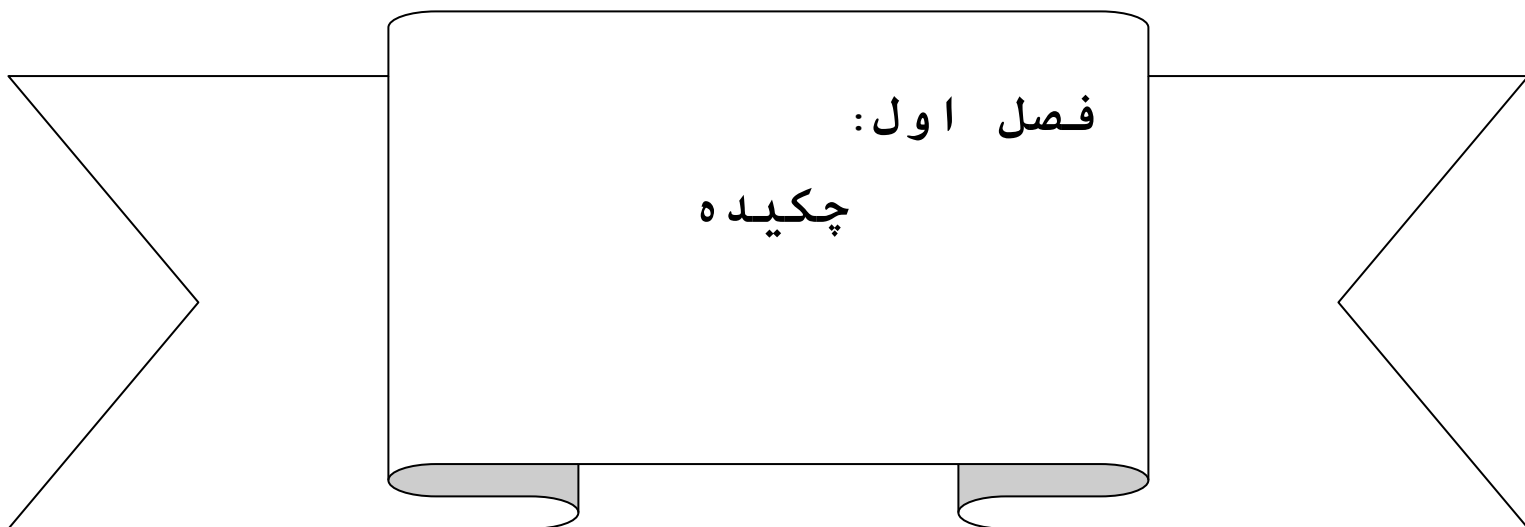
**تشکر و قدردانی:**

ضمن تشکر و قدردانی از کلیه کسانی که مرا در انجام این پروژه یاری نمودند، در ابتدا لازم میدانم از راهنماییهای استاد ارجمند ، آقای دکتر زرکوب تشکر نمایم. همچنین از آقای مرتضی حسین زاده دانشجوی دکترا دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل که در طول انجام پروژه همواره مرا در انجام کلیه امور یاری رساندند کمال تشکر را دارم.

## فهرست

صفحه	عنوان
1	فهرست
3	1-1-چکیده
8	فصل دوم :
8	1-2- مقدمه:
9	2-2- تأثیر دما در عملیات ماشینکاری:
14	3-2- اثرات مایعات خنک کننده بر روی انتقال حرارت:
14	4-2- اثر حرارتی:
14	2-4-1- تأثیر حرارت روی نیروهای برشی:
14	2-4-2- اثرات گرما روی طول عمر ابزار:
14	3-4-2- اثرات گرما در سختی سطحی:
14	5-2- راهکارهای کاهش اصطکاک در ماشینکاری:
14	2-5-1- استفاده از مایعات خنک کننده:
15	2-5-2- بهینه سازی زوایای ابزار:
15	3-5-2- استفاده از پوشش مناسب برای ابزار:
15	4-5-2- کنترل پارامترهای ماشینکاری:
16	فصل سوم:
17	1-3- مقدمه:
17	2-3- مزایا و معایب ماشینکاری خشک:
17	3-2-1- مزایای ماشینکاری خشک:

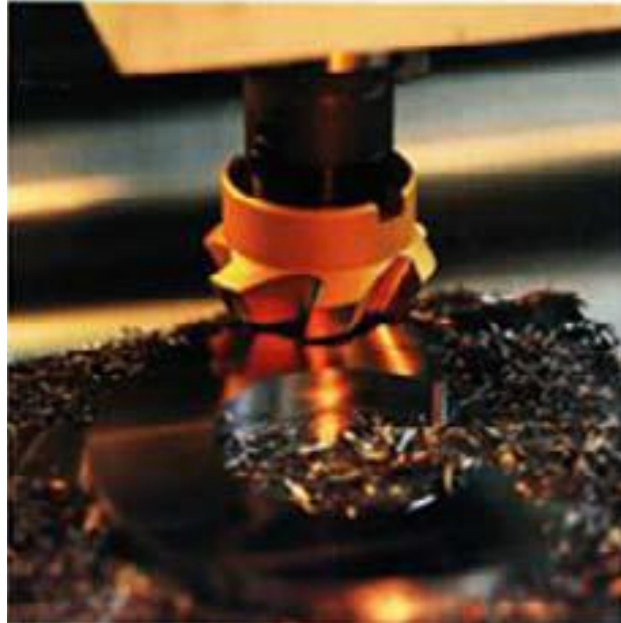
- 18.....2-2-3- معایب ماشینکاری خشک:
- 18.....3-3- عوامل مؤثر بر ماشینکاری خشک:
- 19.....1-3-3- ابزار مورد نیاز برای ماشینکاری خشک:
- 21.....2-3-3- پوشش دهی ابزارها (Coating)
- 21.....1-2-3-3- مقدمه:
- 21.....2-2-3-3- انواع پوششها:
- 23.....3-2-3-3- مشخصات پوششهای رسوبی ویژه:
- 26.....فصل چهارم:
- 26.....4-1- مقدمه:
- 27.....2-4- ضرورت استفاده از تکنیک MQL در ماشینکاری:
- 28.....3-4- مزایای روش MQL:
- 28.....4-4- تکنولوژی روش MQL :
- 28.....5-4- دو مورد از روشهای پیشرفته مربوط به سیستم MQL:
- 29.....6-4- متدهای خارج کردن براده:
- 30.....2-6-4- خارج کردن براده با استفاده از سیستم vaccum:
- 30.....7-4- تاریخچه استفاده اندک از مایع خنک کننده:



### 1-1-چکیده

پارامترهای متغیر اقتصادی در عصر حاضر باعث تحولات شتابانی در مهندسی ساخت و تولید به ویژه براده برداری شده اند. در کشورهای توسعه یافته، کشف منابع اولیه ای که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته، به کار گرفتن صحیح آنها و جستجوی موارد جدیدتر بسیار حایز اهمیت می

باشد. علاوه بر نیازهای فزاینده ای چون ظرفیت، درجه اطمینان و سودآور بودن این منابع، تکنولوژی آینده باید نیازهای اکولوژیک و زیست محیطی را نیز مد نظر قرار دهند.



به طور کلی تکنولوژی تولید فعلی در سطح وسیعی، تحت تاثیر جنبه های متناقض اقتصاد و اکولوژیک بسیار سنگین است، آن دسته از محصولات و تکنولوژیهای تولیدی متقاضی زیادی دارند که کمتر محیط زیست را آلوده کنند. در سال 1990 در آلمان حدود 60000 تن ماده خنک کننده غیر محلول در آب و حدود 30000 تن خنک کننده محلول در آب مورد استفاده قرار گرفته، و با فرض اینکه خنک کننده های محلول در آب با غلظت 4 تا 5 درصد تهیه شده باشند، سالانه در این کشور حدود 650000 تن مواد خنک کننده آلاینده در محیط زیست رها می شوند. امروزه فرآیند برش متحول شده بنحویکه قوانین و اخطار های قانونی جهت حفظ محیط زیست نقش مهمی را در تدوین فرآیند ها ایفا می کند. افزایش کیفیت برش از طریق کاربرد مواد خنک کننده باید با توجه به هزینه های حفاظت از محیط زیست تنظیم گشته و به خطر افتادن سلامت کارگران (حساسیتها و صدمات پوستی) بخاطر روغنها و امولسیونها نباید فراموش شود.



روشهای اساسی حل مشکلات فوق الذکر به دو شکل بررسی می شود:

الف- تولید مواد خنک کاری با فرمولاسیون جدید که در محیط زیست قابل تجزیه باشند.

ب- جایگزینی روش های تولید فعلی با پروسه هایی که بی نیاز از مواد خنک کننده، قابل اجرا باشد.

به عنوان نمونه می توان از ماشینکاری مواد سخت با استفاده از ابزار های سرامیک (اگر سطح قطعه کار پیوسته باشد) و یا ابزار های CBN (اگر سطح کار ناپیوسته باشد) بدون استفاده از امولسیون، نام دارد.

سه وظیفه اساسی خنک کننده ها را در فرآیند برش عبارت اند از:

الف- روانکاری (LUBRICATION) استفاده از مایع خنک کننده باعث کاهش سایش ابزار، بهبود کیفیت سطح و جلوگیری از ایجاد لبه انباشته (B.U.E) می شود.

ب- خنک کاری (COOLDING) باعث بهبود دقت های ابعادی کار، کمک به خنک کاری سیستم و کاهش سایش ابزار می شود.

پ- تمیز کاری (FLUSHING) استفاده از مایع خنک کاری باعث بهبود عمل تخلیه براده، جلوگیری از خوردگی، کاهش میزان تراشه و حل کردن گردو غبار و ذرات زنگ زدگی می شود.

در حال حاضر هزینه دور ریزی پساب این مواد نیز رو به افزایش است. تجربیات انجام شده در صنعت خودروسازی کشور آلمان نشانگر این مطلب است که هزینه تهیه، نگهداری و دفن مایع

خنک کاری به همراه مخارج استفاده و هزینه استهلاک سیستمهای تصفیه این مواد ممکن است چند برابر هزینه ابزار باشد.

مباحث مذکور دلایل کافی برای بحث پیرامون موضوع ماشینکاری با رعایت مسایل زیست محیطی را ارائه می کند. برآوردهای منطقی برای اجتناب از مشکلات وابسته به مایع خنک کاری، محتوای واقعی موضوع ماشین کاری خشک را تشکیل می دهد. اما به علت عملکرد پیچیده مایع خنک کاری، این امر در موارد موفقیت آمیز نخواهد بود. موضوع مهم تجزیه و تحلیل پروسه کامل ماشین کاری است بنحویکه استفاده از ماشینهای موجود به همراه مسایل زیست محیطی مد نظر قرار می گیرد.



ابزارهای برشی برای تراشکاری و فرزکاری خشک نیز نقش اساسی و مهمی را ایفا می کنند. امروزه های ابزارهای برشی پیشرفته مانند ابزار های کارباید روکش دار، سرمت ها ، سرامیک ها ، CBN و PCD امکان برش خشک را فراهم می کنند. کارایی سطح بالای کارباید های جدید و کامل، امکان تراشکاری و فرزکاری خشک را حتی روی مواد فراهم می سازند. از طریق زیر لایه ( SUBSTRATE ) و روکش های جدید و اصلاح شده ، مقاومت در برابر سایش و دما در ابزار های کارباید روکش دار ( COATED CARBIDES ) تا حد قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. در تراشکاری، کارباید های با روکش سرامیکی ( اکسید آلومینیوم  $AL_2O_3$  ) به عنوان سپر حرارتی عمل می کنند و مقاومت خاصی در برابر دما های بالا دارند.



علاوه بر کارباید های پیشرفته سرمت ها نیز در زمینه برش خشک مواد دارای براده های کوتاه و متوسط ، دارای اهمیت ویژه ای می باشند. در این زمینه ابزارهای سرمت با روکش P.V.D را باید نام برد. روکش مقاومت سایشی را افزایش داده و خطر ایجاد تراشه ( SPLINTERING ) به ویژه مواد چسبنده ( STICKY ) را کاهش می دهد. به علاوه روکش به عنوان یک عایق عمل کرده و در توزیع تنش بیش از 75% انرژی گرمایی حاصله از برش، روی براده همکاری می کند. پیشنهاد می شود در صورت امکان از ابزار های CBN ، PCD استفاده شود.

بدیهی است در بسیاری موارد، فرزکاری خشک مزایایی مانند عدم ایجاد شوکهای حرارتی ( THERMAL SHOCKS ) و ترکهای ناشی از آن را نیز در بر دارد. البته در زمینه تراشکاری، کاهش ظرفیت تولید در بعضی موارد را نیز باید پذیرفت.



فصل دوم :

بررسی عوامل و اثرات حرارت و  
اصطکاک در ماشینکاری

**(Temperature effect in metal cutting)**

**2-1- مقدمه:**

گرما اثرات بحرانی روی ماشینکاری دارد. حرارت می تواند موجب افزایش فرسایش ابزار شود. این مساله باعث کاهش طول عمر ابزار، تغییر شکل حرارتی و مسائل زیست محیطی می شود. به دلیل پیچیدگی مکانیک ماشینکاری پیشگویی توزیع و شدت حرارت در عملیات ماشین کاری مشکل است و این به خاطر خصوصیات موادی است که در ماشینکاری مورد استفاده قرار می گیرند و با تغییر درجه حرارت تغییر می یابند.

در این فصل به بررسی تأثیر دما در ماشینکاری و چگونگی محاسبه تقریبی دما در ماشینکاری، اثرات مایعات خنک کننده در انتقال حرارت و راهکارهای کاهش حرارت در ماشینکاری پرداخته می شود.

## 2-2- تأثیر دما در عملیات ماشینکاری:

تأثیر دما بر روی خصوصیات مواد امری واضح و بدیهی است. عملیات برشکاری همیشه با گرما در ارتباط بوده است. این گرما اثر قابل ملاحظه ای بر روی ابزار و قطعه کار می گذارد، بنابراین در نظر گرفتن تأثیر دما در ماشینکاری بسیار مهم و ضروری است. به صورت تجربی ثابت شده است که دمای بالا در ماشینکاری سبب کاهش سختی ابزار و در نهایت سبب کاهش طول عمر ابزار می شود. در زیر فرمول محاسبه تأثیر حرارت آورده شده است (Boston و Gilbert در سال 1935، Trigger و Urbana در سال 1949).

$$MT^B=C \quad (1-2)$$

در این فرمول  $B$  و  $C$  ثابت هستند.  $T$  نشان دهنده دماست و  $M$  نشان دهنده طول عمر ابزار می باشد. طبق این فرمول مشاهده می شود که به طور نرمال دمای بالا سبب کاهش طول عمر ابزار می شود. علاوه بر این، دما بر روی خصوصیات قطعه کار نیز تأثیر می گذارد. در عملیات برشکاری گرما در دو ناحیه تولید می گردد (Tay در سال 1976) این دو منطقه عبارتند از:

- ناحیه شکل گیری براده (ناحیه اولیه)

- ناحیه برخورد ابزار با براده (ناحیه ثانویه)

در ناحیه اول گرما ناشی از کار پلاستیک در منطقه برش می باشد. در حالی که گرمای ناحیه ثانویه ناشی از اصطکاک بین براده و ابزار می باشد. محققان بسیاری سعی کرده اند تا دمای ایجاد شده در عملیات برشکاری را با متدهای مختلف محاسبه کنند که بسیاری از آنها از مدل صفحه برش استفاده کرده اند. در این مدل از تعدادی فرضهای ساده کننده نظیر غیر پیوسته بودن سرعت و یا اینکه مواد کاملاً به ناحیه پلاستیک می رسند، استفاده شده است.

یکی از کارهایی که صورت گرفته توسط Dutt و Brewer در سال 1964 بوده است. در این کار جوابها بر مبنای تفاضل محدود در معادلات انتقال حرارت بوده است. براده، ابزار و قطعه کار به عنوان سه سیستم جداگانه در نظر گرفته می شوند که بعداً با یکدیگر ترکیب می شوند و در نهایت با یکدیگر برخورد می کنند. وقتی نتایج محاسباتی با مقادیر تجربی مورد مقایسه قرار

گرفتند(دمای اندازه گیری شده در قطعه کار)، الگوی خوبی گزارش داده شد. مقادیر محاسبه شده تئوری به طور محسوسی بالاتر از مقادیر تجربی بودند که علت اصلی این خطاها فرضیاتی بودند که برای ساده تر کردن مسایل در نظر گرفته شده بودند.

بعضی از این فرضیات عبارت بودند از:

1- همه سطوح آزاد روی قطعه کار و ابزار و براده با هوا هیچ ارتباطی ندارند.

2- صرفنظر کردن از پیچش براده

3- در نظر گرفتن قطعه کاری با ابعاد بزرگ و براده به طول بسیار زیاد

4- تولید گرما در امتداد یک خط در ناحیه برش و محل برخورد براده با ابزار

Dutt و Brewer اظهار داشتند که برخی از این فرضیات چندان نیز دور از ذهن نیستند. به عنوان مثال این فرض که سطوح آزاد ابزار، قطعه کار و براده باید جدا از هوا در نظر گرفته شوند چندان غیر واقعی نیست زیرا ماشینکاری با سرعت بالا صورت می گیرد و در این شرایط هوا هدایت کننده گرمایی خوبی نیست.

یکی دیگر از کارهای انجام شده برای محاسبه دما در عملیات برشکاری که بر مبنای ناحیه برش(منظور صفحه برش نمی باشد) است توسط Fenton و Oxley(1968) می باشد. بر طبق آزمایشات آنها فرمول زیر به دست آمده است:

$$T_{PZ} = T_W + \frac{(1-\beta)(F_S \cos \alpha)}{\rho S t_1 W \cos(\phi - \alpha)} \quad (2-2)$$

که در این فرمول:

$T_{PZ}$  = دما در ناحیه اولیه(ناحیه شکل گیری براده)

$T_W$  = دمای اولیه قطعه کار

$\beta$  = نسبت گرمایی که وارد قطعه کار می گردد.

$F_S$  = نیروی برش در طول خط AB

$\rho$  = دانسیته قطعه کار

$S$  = گرمای مخصوص قطعه کار

$W$  = پهنای برش

$t_1$  = ضخامت براده تغییر شکل نیافته

$\alpha$  = زاویه پستی براده

$\phi =$  زاویه برش

می باشد. همانطور که گفته شد فرمول 2-2 بر روی مدل صفحه برش ماشینکاری متعامد پایه گذاری نشده است. این فرمول بر پایه نمایش هندسی تراش متعامد می باشد.

$\beta$  موجود در فرمول 2-2 با توجه به آزمایش انجام شده توسط Boothroyd (1963) به دست می آید. طبق این آزمایش:

$$\beta = 0.5 - 0.35 \log(R_T \tan \phi) \quad \text{if } 0.4 \leq R_T \tan \phi \leq 10.0 \quad (3-2)$$

$$\beta = 0.3 - 0.15 \log(R_T \tan \phi) \quad \text{if } R_T \tan \phi > 10.0 \quad (4-2)$$

در فرمول فوق  $R_T$  عدد گرمایی بدون بعد می باشد که با توجه به فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$R_T = \frac{\rho S U t_1}{K}$$

که در این فرمول:

$U =$  سرعت برشی

$K =$  هدایت گرمایی قطعه کار

می باشد. بقیه پارامترها نیز قبلاً توضیح داده شده است.

باید توجه داشت که  $0 \leq \beta \leq 1$  می باشد.

با محاسبه دمای ناحیه اولیه دمای ناحیه برخورد ابزار و براده (دمای ناحیه ثانوی) نیز با فرمول زیر محاسبه می شود.

$$T_{int} = T_{pz} + \Delta T_m \quad (6-2)$$

که در آن  $\Delta T_m$  حداکثر افزایش دمای براده می باشد.

یک بار دیگر بر پایه نتایج آزمایش Boothroyd فرمول زیر را می توان برای محاسبه  $\Delta T_m$  با یک دقت خوب بکار برد.

$$\Delta T_c = \frac{F \sin \phi}{\rho S t_1 w \cos(\phi - \alpha)} \quad (7-2)$$

$$\log \frac{\Delta T_m}{\Delta T_c} = 0.06 - 0.195 \delta \sqrt{\frac{R_T t_2}{h}} + 1/2 \log \frac{R_T t_2}{h} \quad (8-2)$$

در فرمولهای بالا:

$\Delta T_c$  = مقدار متوسط افزایش دمای براده

$\delta$  = نرخ ضخامت ناحیه پلاستیک (براده/ ابزار) به ضخامت براده (براده جدا شده/ براده جدا نشده)

$F$  = نیروی اصطکاک در محل برخورد براده و ابزار

می باشد. یک متد عددی نیز برای محاسبه توزیع دما در ماشینکاری توسط Tey پیشنهاد شده است. این متد بر پایه مدل ناحیه برش ماشینکاری متعامد می باشد که ضخامت محدود در نظر گرفته شده است.

Tay از معادله انرژی دو بعدی پایای زیر استفاده کرده است:

$$\rho S \left( U \frac{\partial T}{\partial X} + V \frac{\partial T}{\partial Y} \right) - K \left( \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} \right) - Q = 0 \quad (9-2)$$

که در آن:

$\rho$  = دانسیته

$S$  = گرمای ویژه

$K$  = ضریب هدایت گرمایی

$T$  = دما

$X, Y$  = مختصات کارتیزین

$U$  = سرعت در جهت  $X$

$V$  = سرعت در جهت  $Y$

$Q$  = نرخ تولید حرارت در واحد حجم

می باشد. با توجه به این فرمول و با در نظر گرفتن شرایط مرزی در اطراف ابزار، قطعه کار و براده Tay از یک متد المان محدود برای محاسبه توزیع دما استفاده کرده است.

با پیدا کردن توزیع دمایی، مقادیر متوسط دما در طول صفحه برش ( $T_{AB}$ ) و صفحه برخورد ابزار و براده ( $T_{int}$ ) با جمع عددی بدست می آید. نتایج نشان می دهد که متد مورد استفاده توسط Tay را می توان برای بدست آوردن توزیع دمایی در عملیات برشکاری استفاده کرد.

استفاده از این روش دو مزیت دارد، اول اینکه این روش نسبت به روشهای قبل بیشتر بر پایه نمایش هندسی ماشینکاری متعامد پایه گذاری شده است و دوم اینکه یک توزیع دمایی کامل در نواحی اول و دوم بدست می آید.

Chen در سال 1992 با بررسی بر روی عملکرد ابزارهای دورانی ذکر کرد که این ابزارها در دمای برشی کمتری نسبت به ابزارهای تراشکاری کار می کنند که این امر سبب افزایش طول عمر ابزار می شود.

از خصوصیات این ابزارها، لبه های برشی با حرکت دورانی آزاد می باشد. Chen نشان داد که دمای لبه های برشی بعد از اینکه آن لبه از منطقه برش دور شد حتی تا دمای محیط نیز پایین می آید(در شرایط وجود خنک کننده).

Wright در سال 1980 در طی یک تحقیق تأثیرهندسه ابزار بر روی توزیع دمایی ابزار را نشان داد. آنها از یک تکنیک جالب استفاده کردند. این تکنیک بر پایه این امر که دما ساختار ماده را تغییر می دهد استوار بود. به عنوان مثال آنها نشان دادند که اگر دمای برش به حدود 700-650 درجه سانتیگراد برسد، به طور مشخص ریز ساختار فولاد HSS تغییر خواهد کرد. این رنج دمایی سبب عملیات حرارتی تمپرنگ در ابزار می شود که با تکنیک متالوگرافی قابل دیدن می باشد. این تکنیک بر این امر استوار است که ریز ساختار تمپر شده در مقابل اچ شدن بسیار حساس می باشد، بنابراین یک مرز واضح و روشن بین دو ناحیه تمپر شده و تمپر نشده به وجود می آید.

به طور کل استفاده از تکنیکهای متالوگرافی برای اندازه گیری متغیرهای کمی مانند دما چندان دقیق نیست زیرا پارامترهای دیگری نیز در این متد مؤثرند که از آن جمله می توان به مواد اچ کننده، زمان اچ کردن و آماده کردن سطح قبل از اچ کردن اشاره کرد.

Lo Casto در سال 1989 یک روش جدید برای محاسبه توزیع دمایی بر روی ابزارهای برشی را ارائه داد.

این روش بر پایه نقطه ذوب بعضی پودرهای شیمیایی استوار بود. در این آزمایش آنها از تیغچه های کاربیدی زینتر شده (P10) در ضخامتهای مختلف استفاده کردند.

روش کار به این صورت است که ذرات بسیار ریز پودر بین دو تیغچه با ضخامتهای از پیش تعیین شده پاشیده می شود. با ثابت نگه داشتن همه پارامترهای برشی و با بکارگیری پودرهای مختلف در یک زمان، یک خط مرزی بین نقاط ذوب شده و ذوب نشده مشاهده می گردد. این خط، یک خط همدمای در نقاط ذوب پودر می باشد.

### **2-3- اثرات مایعات خنک کننده بر روی انتقال حرارت:**

- این مایعات باعث کاهش نیروی برش نظیر نیروی اصطکاک می شود، به این ترتیب حرارت تولید شده کاهش می یابد.
- با استفاده از مایعات خنک کننده حرارت تولید شده بوسیله هدایت حرارتی از بین می رود.
- چون لبه برش به سادگی قادر به استفاده از مایع خنک کننده نیست، استفاده از این مایعات عموماً موجب کاهش حداکثر حرارت ایجاد شده در سطح ابزار یا براده نمی شود؛ ولی افت حرارتی را در ابزار و براده افزایش می دهد.

### **2-4- اثر حرارتی:**

#### **2-4-1- تأثیر حرارت روی نیروهای برشی:**

گرما روی نیروهای برشی اثرات اساسی دارد زیرا اولاً اصطکاک به درجه حرارت بستگی دارد و ثانیاً خصوصیات مواد برشی اغلب به درجه حرارت وابسته است.

#### **2-4-2- اثرات گرما روی طول عمر ابزار:**

حرارت اثرات زیادی روی طول عمر ابزار دارد. با افزایش گرما طول عمر ابزار به علت دفرمه شده آن کاهش می یابد.

#### **2-4-3- اثرات گرما در سختی سطحی:**

حرارت باعث افزایش تغییر شکل حرارتی در قطعه کار می شود که این تغییر فرم به سختی سطحی بستگی دارد.

### **2-5- راهکارهای کاهش اصطکاک در ماشینکاری:**

#### **2-5-1- استفاده از مایعات خنک کننده:**

باعث بوجود آمدن یک لایه بین ابزار و براده می شود و به این ترتیب سبب کاهش اصطکاک می شود.



## 2-5-2- بهینه سازی زوایای ابزار:

برای این کار باید زوایایی که بر اصطکاک تأثیر دارند را شناسایی کرد. انتخاب زوایای ابزار به جنس قطعه کار و ابزار و صافی سطح خواسته شده بستگی دارد. زوایایی که بر اصطکاک تأثیر دارند عبارتند از:

- **side relief angel**: این زاویه اصطکاک بین پهلوی قلم و قطعه کار را کاهش داده و موجب می شود لبه برش به آسانی در کار پیشروی کند و به این ترتیب حرارت ایجاد شده کمتر می شود. هرچه این زاویه بزرگتر باشد، اصطکاک کمتر است.
- **end relief angel**: وظیفه این زاویه کاهش اصطکاک بین ابزار و سطح ماشینکاری شده می باشد هرچه این زاویه بزرگتر باشد، اصطکاک کمتر است.
- **Side rake angel**: این زاویه برای تسهیل عبور براده از روی ابزار می باشد. هرچه این زاویه بزرگتر باشد، براده راحت تر حرکت کرده و نیروی لازم برای خمکاری کاهش می یابد.

## 2-5-3- استفاده از پوشش مناسب برای ابزار:

این مورد در بخش های بعدی به تفصیل توضیح داده شده است.

## 2-5-4- کنترل پارامترهای ماشینکاری:

با کنترل پارامترهایی نظیر سرعت برشی و سرعت تغذیه و عمق برش می توان مقدار حرارت تولید شده را نیز کنترل کرد.

فصل سوم :

ماشینکاری خشک

**(Dry Machining)**

### 3-1- مقدمه:

تحقیقات در زمینه ماشینکاری خشک مربوط به چند دهه اخیر است. برای تمامی شرکت‌های سازنده سراسر جهان این سؤال مطرح است که آیا مایعات خنک کاری لزوماً در فرآیند ماشینکاری لازم هستند یا خیر، و اگر لازم هستند تا چه حد به آنها نیاز است. مشکلات فراوانی که استفاده از مایعات خنک کاری به همراه دارد، سبب شده تا در مورد حذف یا کم کردن کاربرد مایعات خنک کننده در فرآیندهای مختلف ماشینکاری پیشنهادهای ارائه شود که در نهایت منجر به استفاده از مقوله ماشینکاری بدون استفاده از مایع خنک کار (ماشینکاری خشک) می‌شود.

ماشینکاری خشک پتانسیلی است برای کاهش آلودگی محیط و کاهش هزینه‌های مربوط به کاربرد مایعات خنک کننده. در این روش نیاز به استفاده از تجهیزات مخصوص و پوشش دهی مناسب برای ابزار می‌باشد.

تبدیل ماشینکاری با مایع خنک کننده به ماشینکاری خشک می‌تواند بسیار پر هزینه باشد. برای نیل به این هدف، نیاز به انتخاب صحیح پارامترهای ماشینکاری و ابزارهای برشی می‌باشد.

### 3-2- مزایا و معایب ماشینکاری خشک:

با توجه به بحث‌هایی که راجع به فواید و مضرات خنک کارها گفته شد می‌توان به مزایا و مضرات ماشینکاری خشک اشاره کرد که در زیر به مهمترین آنها اشاره شده است:

#### 3-2-1- مزایای ماشینکاری خشک:

- 1- مضر نبودن برای سلامتی.
- 2- آسیب نرساندن به محیط زیست.
- 3- مقدار کم استفاده از خنک کننده.
- 4- احتیاج به تمییز کردن قطعه کار نیست.
- 5- ماشین بدون سیستم خنک کار پیچیدگی کمتری دارد.

6- عدم زنگ زنی و یا خوردگی قطعه کار، ماشین و فیکسچر.

7- کاهش شوکهای حرارتی و افزایش طول عمر ابزار.

### 3-2-2- معایب ماشینکاری خشک:

استفاده از این روش اجزای سیستم ماشینکاری را تحت تأثیر قرار می دهد:

1- ساختار کل ماشین و فیکسچر از لحاظ:

- خارج کردن براده - ثبات حرارتی

- آلودگی - روانکاری

2- اسپیندل از لحاظ:

- آلودگی و در مقابل آن درزگیری - قدرت و سرعت

- ثبات حرارتی

3- ابزار برش از لحاظ:

- عمر ابزار - مقاومت در مقابل حرارت

- خارج کردن براده

4- ظرفیت فرآیند با توجه به مسائل:

- آلودگی قطعه کار - کیفیت محصول

- ثبات حرارتی قطعه کار - صافی سطح

- تنشهای پسماند

5- رفتار براده از نظر:

- دور شدن از قطعه کار و ماشین - حاوی گرد و غبار بودن

البته باید توجه شود که برخی از مزایا و معایب (صافی سطح، توان مصرفی و ...) بستگی به نوع

عملیات ماشینکاری (سوراخکاری، تراشکاری و ...) دارد.

### 3-3- عوامل مؤثر بر ماشینکاری خشک:

• پارامترهای ماشینکاری

• نوع ابزار

• پوشش ابزار

• جنس قطعه کار

• از بین موارد فوق در ادامه ی این فصل دو مورد نوع ابزار و پوشش آن بررسی شده است، جنس قطعه کار که اثر مستقیم در سه پارامتر دیگر دارد معمولاً ثابت فرض می شود. حالت بهینه پارامترهای ماشینکاری نیز در مورد یک قطعه کار خاص و جنس مشخص پس از انجام یک سری تحقیقات آزمایشگاهی به دست می آید.

لازم به ذکر است که برای مشخص شدن نوع ابزار با پوشش مناسب آن و نیز پارامترهای ماشینکاری مناسب برای ماشینکاری آلیاژی مشخص نیاز به انجام یک سری آزمایشات ویژه است، چرا که تغییر جزئی در آلیاژ یک فلز خاص می تواند بر بسیاری از پارامترها اثر گذاشته و شرایط مناسب انجام آن ماشینکاری را دستخوش تغییرات زیاد نماید.

### **3-3-1- ابزار مورد نیاز برای ماشینکاری خشک:**

ماشینکاری خشک بیشتر برای محیط های برشی که دارای سختی زیاد هستند به کار می رود و موادی که برای ابزار در این نوع ماشینکاری به کار می رود مواد ابزاری سخت هستند. مثلاً برای ماشینکاری یک سطح سمانته شده می توان از مواد ابزاری نوع K که با ابزارهای کاربید سمانته شده پوشش داده شده اند استفاده کرد. مواد ابزاری فراسخت نظیر الماس و نیتريد بور مکعبی (CBN) برای داشتن سطح ماشینکاری قابل قبول، مناسب هستند. این مواد باعث افزایش طول عمر ابزار و سختی بیشتر آنها در مقابل حرارت می شوند. الماس و CBN دارای خصوصیتی نظیر هم هستند و دارای ساختمان بلوری یکسان می باشند و دارای ارزشهای بالای حرارتی می باشند. اکسیدهای الماس در هوا به گرافیت تبدیل می شوند و فرم تعادلی خود را از دست می دهند، بنابراین در درجه حرارت های پایین به کار می روند. کیفیت سطح ماشینکاری شده به خصوص در تراشکاری به فرم تعادلی ابزارهای برشی بستگی دارد.

در واقع فرم تعادل روی فرسایش ابزار اثر بسیار زیادی می گذارد. انتخاب نامناسب مواد ابزاری نه تنها باعث بدتر شدن سطح بلکه موجب افزایش هزینه های ابزار می شود. بنابراین شناختن مواد ابزارهای برشی و ماهیت کیفیت سطحی که تولید می شود، بسیار حائز اهمیت است. ابزارهای مورد استفاده در ماشینکاری خشک باید دارای خصوصیات مناسب و مورد نیاز برای این کار باشند.

در ماشینکاری خشک هم از ابزارهای پوشش داده شده و هم بدون پوشش استفاده می شود. از ابزارهایی نظیر HSS، ابزارهای سرامیکی آلومینیوم، ابزار CBN، و ابزار سرامیکی، بدون

استفاده از مایعات خنک کننده استفاده می شود. برای عملیات پرداخت کاری ابزارهای سرامیکی بسیار مناسب هستند زیرا اصطکاک پایین دارند و لبه های آنها تیز است، بنابراین حرارت بسیار کمی تولید می کنند.

New Steel Turning Grade نوع جدید ابزار تراشکاری است که سرعت ماشینکاری را تا 20% نسبت به قبل افزایش می دهد، نام این ابزار GC4015 است. این ابزار هم برای ماشینکاری خشک و هم برای Wet Machining به کار می رود. این ابزار برای تراشکاری موادی تا سختی 58HRC مناسب است و برای پرداختکاری استفاده می شود. ابزار GC4025 برای خشن کاری هم استفاده می شود.

#### نکات قابل توجه در مورد ابزار هنگام ماشینکاری خشک:

- به کاربردن زاویه های شیب بسیار بزرگ (30) در ابزارهای کاربید سممانته شده با ساختار ریز که باعث کاهش انرژی برشی می شود.
  - به کاربردن مواد عایق که در درجه حرارت های بالا مقاوم هستند.
  - به کاربردن مواد ابزاری سممانتیت نظیر الماس و CBN.
  - به کاربردن پوشش های ابزاری که مقاومت خیلی بالا در درجه حرارت های زیاد دارند و همزمان دارای اثر روانکاری نیز هستند که باعث کاهش اصطکاک می شود.
- موادی که به عنوان ابزار برشی در ماشینکاری خشک به کار می روند باید طوری طراحی شوند که در درجه حرارت های بالا مقاوم باشند، این مواد اغلب از مواد نسوز و مقاوم یا موادی که گرما را به سرعت هدر می دهند، تولید می شوند. در دماهای بالا، ابزار نیاز به عایق مقاومتی و یک سختی مناسب دارد که برای شکل دهی قطعات در فرآیندهای ماشینکاری خشک لازم است. اخیراً موادی که برای ابزار برشی در ماشینکاری خشک به کار برده می شود، فولاد HSS، آلیاژهای کبالت، کاربیدهای تنگستن، سرامیکها، نیتريد بور مکعبی و الماس می باشد. امروزه مواد به کار رفته در ابزارهای برشی به صورت چند لایه ای می باشند که توسط کاربیدها پوشش داده می شوند.
- سرامیکها و نیتريد بور مکعبی دارای مقاومت حرارتی بسیار بالا هستند و به این دلیل در ماشینکاری خشک مناسب می باشند.

### 3-3-2- پوشش دهی ابزارها (Coating)

#### 3-3-2-1- مقدمه:

یکی دیگر از مواردی که در ماشینکاری خشک برای بهبود بخشیدن به مقاومت گرمایی و سختی ابزارها مورد نظر است پوشش به کار رفته در ابزارهای برشی است که عموماً از مواد مافوق کاربیدی برای این کار استفاده می شود. در ماشینکاری خشک از ابزارهای پوشش داده شده و بدون پوشش استفاده می شود. همانطور که گفته شد در ماشینکاری خشک از ابزارهایی نظیر HSS، ابزارهای سرامیکی آلومینیومی و ابزار CBN در ماشینکاری انواع مختلف مواد استفاده می شود. معمولاً، ابزارهای پوشش داده شده عمر طولانی تری نسبت به ابزارهای بدون پوشش دارند. پوشش دهی ابزار، قطعه کار را از ابزار جدا کرده و امکان جایگزینی مایعات خنک کاری در فرآیندهای ساخت را ممکن می سازد. پوشش در واقع وظیفه روانکاری و جلوگیری از حرارت را برعهده دارد. در گذشته تنها ماده پوشش قابل استفاده نیتريد تیتانیوم (TiN) بود. امروزه 12 مورد از ترکیبات پوشش دهی چند لایه ای وجود دارد.

این پوششهای چند لایه ای برای انجام عملیات مختلف استفاده می شوند، هر لایه یک عمل مخصوص را انجام می دهد: روانکاری، جلوگیری از سایش، جلوگیری از حرارت.

مواد پوششی که در مقابل سایش مقاوم هستند، سبب افزایش عملکرد ابزار و کاهش هزینه ماشینکاری می شوند. این پوششها موجب افزایش رنج ماشینکاری، کاهش سایش ابزار، پرداخت بهتر سطح و کاهش توان مصرفی می شوند و هم چنین قابلیت تولید را بالا می برند. در حال حاضر بیشترین مواد پوششی که مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

کاربید تیتانیوم (TiC)، نیتريد تیتانیوم (TiN)، کربونیتريد تیتانیوم (TiCN)، نیتريد آلومینیوم تیتانیوم (TiAlN) و اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ).

#### 3-3-2-2- انواع پوششها:

در سال 1996 نیتريد آلومینیوم تیتانیوم (TiAlN) به عنوان یک پوشش مناسب در ماشینکاری خشک بکاربرده شد. این ماده دارای مقاومت حرارتی بالا و سختی بالا می باشد. TiAlN در درجه حرارت های خیلی بالا در ماشینکاری خشک بسیار مناسب است و از نظر هزینه مقرون به صرفه می باشد.

Laser-Cut 964 یکی دیگر از پوششهای جدیدی است که دارای مشخصات سختی بالا و روانکاری بالا می باشد که برای ماشینکاری خشک مناسب تر است. این خصوصیات باعث افزایش طول عمر ابزار می شود. هم چنین بازدهی را تا بالای 25% افزایش می دهد. یکی از معایب Laser-Cut 964 این است که این ماده 25% تا 35% نسبت به دیگر مواد پوششی گران تر است. نوع دیگر پوشش دهی، پوششی است که در ماشینکاری خشک نرم انجام می شود. در این نوع ماشینکاری نیاز به پوشش دهی non-stick می باشد. این پوششها اصولاً روی پوششهای ذکر شده قرار می گیرند. برای کاهش لبه انباشته و هم چنین خروج براده ها، ابزارها بایستی یک پوشش روانکار روی پوشش دهی سخت قبلی داشته باشند. پوشش دهی ابزار در واقع همان فواید مربوط به مایعات خنک کننده را داراست و منجر به طول عمر بیشتر ابزار در سرعتهای بالا و نرخهای تغذیه بالا می شود.

مقایسه طول عمر ابزار با سه نوع ترکیب مختلف پوششی در جدول 1-3 نشان داده شده است. اثرات ماشینکاری خشک به طور قابل توجهی از فلزی به فلز دیگر تغییر می کند.

جدول 1-3: مقایسه طول عمر ابزارها با پوششهای مختلف

نوع پوشش	طول عمر ابزار (Inches)	بهینه سازی TiN
TiN	1000	-----
TiAlN	2400	240%
TiAlN+Movic	4000	400%

پوشش ابزار GC4015 چند لایه است، در این فرآیند لایه اول TiCN است که در دماهای پایین (1200F) عمل می کند. دمای پایین سبب ثبات بیشتر پوشش با مقاومت بهتری در مقابل خوردگی می شود. لایه بعدی که ضخیم است، اکسید آلومینیوم می باشد که مقاومت به حرارت را تا 2800F بالا می برد و لایه نهایی TiN است که بالاترین لایه است و نقش روانکاری را برعهده دارد.

این روش مقاومت به سایش و سختی کاربیدهای مکعبی را افزایش می دهد و از تغییر فرم پلاستیک آنها جلوگیری می کند. کبالت هم موجب می شود مقاومت به ضربه افزایش یابد و قطعه دچار ترکهای حرارتی و شکست نشود.

پوشش Hard Lube PVD (Ti,Al)N+WC/C یکی از پوششهایی است که در ماشینکاری خشک از آن استفاده می شود. این پوشش چند لایه است و در آن ترکیب پوشش نرم و سخت باعث



راحتی جریان براده و کاهش اصطکاک و نیروی برشی (Ti,Al)N می شود. به عنوان لایه سخت و WC/C به عنوان لایه روانکار. این پوشش برای ماشینکاری آلیاژهای آلومینیوم و فولادهای نرم می باشد.

پوششهای TiAlN که توسط یک فرآیند PVD تهیه می شوند در ماشینکاری سخت نظیر ماشینکاری خشک با سرعت بالا عملکرد بسیار مناسبی دارند، این پوششها در شرایط ماشینکاری ذکر شده سختی و مقاومت به اکسید شدن خود را به خوبی حفظ می کنند. به عنوان محافظ حرارتی بین ابزار و براده عمل می کند. افزایش مقاومت به سایش با افزایش مقاومت به اکسیداسیون نتایج خوبی برای چدن، آلیاژهای فولاد و آلومینیوم با 10% سیلیم می دهد، اما هدایت حرارتی پایین دارد و بیشتر حرارت توسط براده دفع می شود.

پوششهای الماسه در ماشینکاری خشک موجب بالا رفتن مقاومت فرسایشی و کاهش اصطکاک می شود. کاهش اصطکاک موجب کم شدن بارهای حرارتی می شود. مواد اکسیدی در مقابل فرسایش ابزار دارای مقاومت بسیار بالایی هستند، پس با افزایش درجه حرارت، ضریب اصطکاک کاهش می یابد. در درجه حرارتهای بالا سختی خیلی بالا می رود. به علت نیروهای مقید این گروه از مواد پوشش دارای مقاومت بالا هستند.

حرارت زیاد و مقاومت شیمیایی موجب گسترش استفاده از اکسیدها می شود. عایقهای حرارتی با پوشش اکسیدی اغلب حرارت را کاهش می دهند و نسبت حرارت بیشتری روی براده ها منتشر می شود. لایه های چند تایی TiAlN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> که به روش CVD پوشش دهی می شوند، عملیات ماشینکاری قابل قبولی را برای یک مدت طولانی فراهم می کنند.

ZrO<sub>2</sub>: پوشش دیگری که برای ابزارهای مورد استفاده در ماشینکاری خشک کاربرد دارد، است. ZrO<sub>2</sub> به علت تافنس شکست بالا و مقاومت سایشی با ضریب اصطکاک پایین این ماده به عنوان یک پوشش ابزاری بسیار مناسب است.

### 3-2-3-3- مشخصات پوششهای رسوبی ویژه:

در این بخش به معرفی جزئیات بیشتری از دو نوع پوشش که تقریباً نسبت به بقیه انواع پوششها در ماشینکاری خشک یا با حداقل مایع خنک کننده کاربرد بیشتری دارند پرداخته می شود.

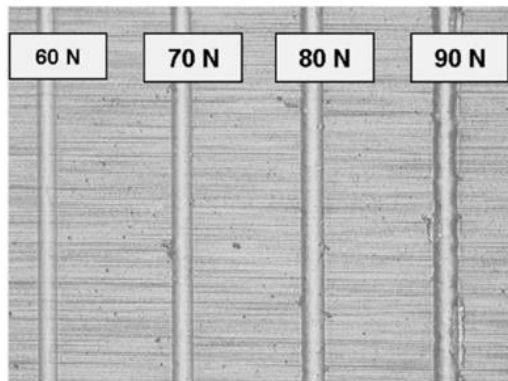
### :TiAlN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

در جدول 3-2 داده های متالوگرافیکی اصلی TiAlN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> چند لایه ای لیست شده است. این داده ها سختی بالا، کشش سطحی خوب و یک ساختار عالی را نشان می دهند. جدول 3-2: نتایج آزمایشات متالوژیکی که بر روی ابزار با پوششهای Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و ZrO<sub>2</sub> انجام گرفته است.

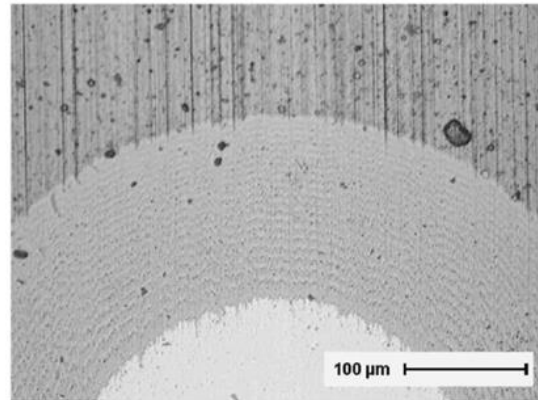
رنگ	شماره لایه	نیروی سختی سنجی	باربحرانی	سختی	ضخامت	نوع پوشش
تیره	40	588.6N	80N	3000HV <sub>0.05</sub>	3 – 4μm	TiAlN- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
تیره	20	588.6N	—	2900HV <sub>0.05</sub>	3 – 4μm	TiAlN- ZrO <sub>2</sub>
تیره	20	588.6N	—	2800HV <sub>0.05</sub>	3 – 4μm	TiZrN- ZrO <sub>2</sub>

### :TiAlN-ZrO<sub>2</sub>, TiZrN-ZrO<sub>2</sub>

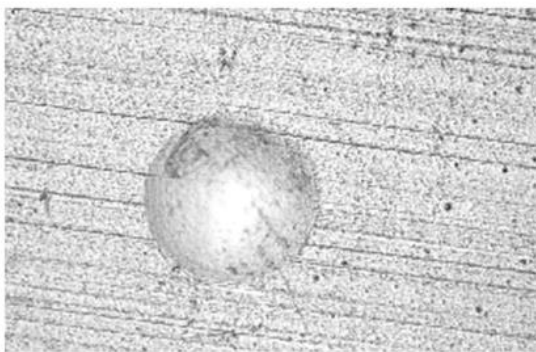
سیستم پوشش دهی اکسید زیر کونیوم TiAlN با یک لایه به ضخامت 3-4 میکرومتر پوشیده می شود و شامل 20 لایه است. برای تست قدرت چسبندگی یک راکول سی برای بارگذاری 60 Kg تجهیز می شود. شکل 3-1 نشان دهنده یک الگوی تخریبی است که وجود شکاف را در سرامیکهای اکسیدی نشان می دهد.



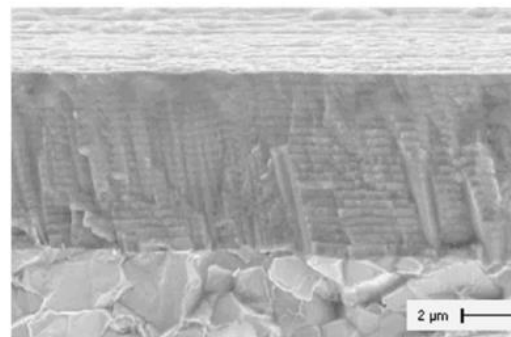
(b)



(a)



(d)



(c)

شکل 1-3: (a) اثر گوی در آزمایش سختی سنجی ابزار با پوشش  $\text{TiAlN-Al}_2\text{O}_3$  اثر (b) اثر تست خراش بر روی ابزار با پوشش  $\text{TiAlN-Al}_2\text{O}_3$  ریزنمای SEM از ابزار با پوشش  $\text{TiAlN-ZrO}_2$  اثر گودی در آزمایش سختی سنجی ابزار پوشش  $\text{TiAlN-Al}_2\text{O}_3$

## فصل چهارم :

بررسی راهکارهایی برای استفاده  
اندک از مایعات خنک کننده  
(Minimum quantity of lubricant)

### 4-1- مقدمه:

تحقیقات اخیر، بررسی راهکارهایی برای کاهش استفاده از مایعات خنک کننده در کارخانجات تولید انبوه را نشان می دهد. این امر به دلیل بالا بودن هزینه مایعات خنک کاری و مضراتی است که این مواد دارند.

تکنولوژی استفاده اندک از مایع خنک کننده (MQL) این امر را ممکن می سازد که از پارامترهای برش معمولی با شرط استفاده کمتر از مایع خنک کننده استفاده شود. در این تکنیک از مخلوط روانکار و هوا برای خنک کاری استفاده می شود. در واقع ایده این روش پاشیدن حداقل مایع خنک کننده و یا روانکاو بر روی لبه برنده ابزار می باشد. این روش اصطکاک بین ابزار و قطعه کار را کاهش می دهد. در این سیستم به طور یکنواخت مخلوطی از روغن و هوا به طور مستقیم بر روی منطقه برش پاشیده می شود.

دو موضوع بسیار مهم در این روش یکی تولید و انتقال مخلوط روانکار و هوا و دیگری متد خارج ساختن براده از منطقه برشی می باشد.

این فصل به بررسی ضرورت استفاده از تکنیک MQL، مزایای آن و تکنولوژی این روش پرداخته است.

#### **4-2- ضرورت استفاده از تکنیک MQL در ماشینکاری:**

مضرات استفاده از مایعات خنک کننده به مقدار زیاد عبارتند از:

1- استفاده از مایعات خنک کننده در حجم بالا تولید دی اکسین (Dioxin) می کند که این ماده برای بدن انسان مضر می باشد.

2- باعث پوسیدگی و زنگ زدن ابزار ماشین می شود.

3- افزایش هزینه نگهداری.

4- خطر آتش سوزی (ماده خنک کار با پایه روغن).

در تولید انبوه قطعات که به صورت اتوماتیک انجام می شود، حجم زیادی از مایعات خنک کاری برای افزایش قابلیت و دقت ماشینکاری استفاده می شود.

MQL استفاده حداقل از مایعات خنک کاری است که حداقل روانکاو را به همراه هوا برای روانکاری و خنک کردن به نوک ابزار می فرستد. در این روش مقدار اندکی روغن (کمتر از 50 ml/h) به همراه جریان هوا به منطقه ماشینکاری هدایت می شود. در واقع هزینه بالای نگهداری مایعات خنک کاری به کاربردن روش MQL برای ماشینکاری را به عنوان یک امر ضروری ایجاب می کند.

### 4-3- مزایای روش MQL:

در روش MQL از روغنهای گیاهی یا روغنهای استر به عنوان خنک کننده استفاده می کند. این روغنها قابلیت روانکاری بسیار بالایی دارند و موجب آلودگی محیط زیست هم نمی شوند. استفاده از روش MQL دارای امتیازات زیادی می باشد. این امتیازات عبارتند از:

4-3-1- کاهش مصرف الکتریسیته

4-3-2- افزایش بازیابی براده ها

4-3-3- پاکیزگی محیط

4-3-4- افزایش طول عمر ابزار(در سرعت های برشی بالا مایع خنک کننده سبب ایجاد شوک حرارتی در ابزار می شود).

4-3-5- کاهش زمان نگهداری ماشین(خنک کننده ها باعث صدمه رساندن به ماشین می شوند).

4-3-6- مصرف کم روانکار

### 4-4- تکنولوژی روش MQL :

برای جایگزین کردن موفق سیستم MQL به جای ماشینکاری با مایعات خنک کننده دو موضوع اساسی حائز اهمیت است:

1- تولید تجهیزات MQL به طوری که بتوان ماشینکاری به طریق سنتی هم انجام داد.

2- به کارگیری روشهایی برای خروج براده.

### 4-5- دو مورد از روشهای پیشرفته مربوط به سیستم MQL:

• مخلوط کردن هوا و روانکار در داخل اسپیندل

• مخلوط کردن هوا و روانکار در خارج اسپیندل

مزایای روش مخلوط کردن هوا و روانکار در داخل اسپیندل(نسبت به خارج از اسپیندل):

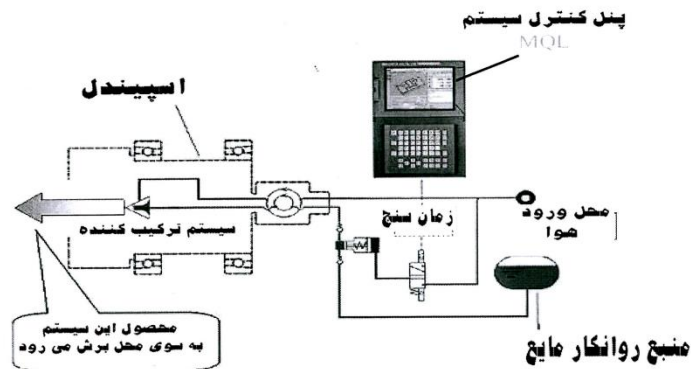
1- فاصله مؤثر ناشی از چرخش کوتاه است.

2- چون روانکار با یک حجم ثابت جریان پیدا می کند کنترل تخلیه روانکار از نوک نازل راحت تر است.

3- تبدیل MQL به سیستم خنک کاری معمولی و یا برعکس به آسانی صورت می گیرد و یاتاقانهای اسپیندل نیاز به تعویض ندارند.

4- چون مقدار بیشتری روانکار می تواند جریان پیدا کند در نتیجه مقدار کمتری از بین می رود.

مدار مربوط به روش مخلوط کردن هوا و روانکار در داخل اسپیندل در شکل 1-3 آمده است.



شکل 1-4: اجزای سیستم ترکیب کننده هوا و روانکار در داخل اسپیندل

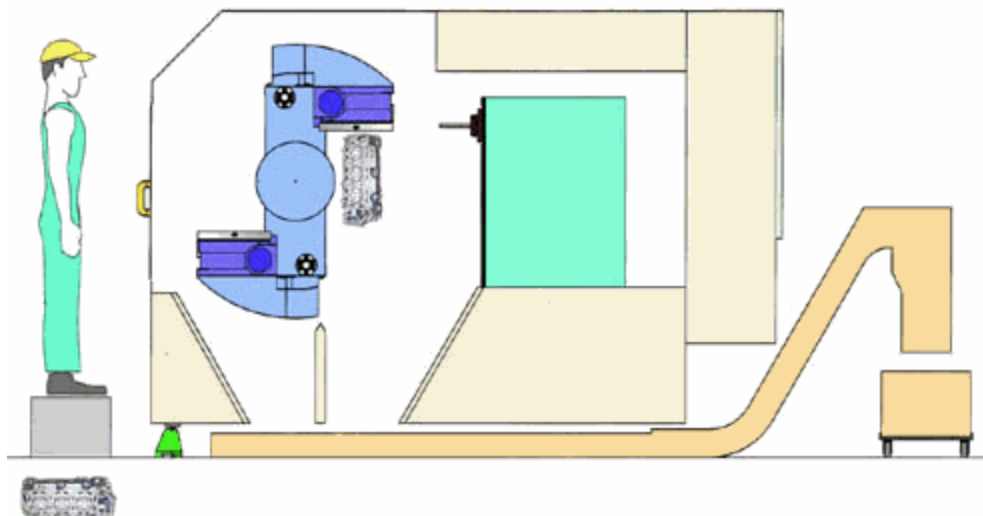
#### 4-6- متدهای خارج کردن براده:

خارج کردن براده از محل ماشینکاری یکی از مهمترین مسائلی است که بخصوص در تولید انبوه باید به آن توجه شود.

در زیر دو روش برای خارج کردن براده آورده شده است:

#### 4-6-1- خارج کردن براده به کمک جاذبه زمین:

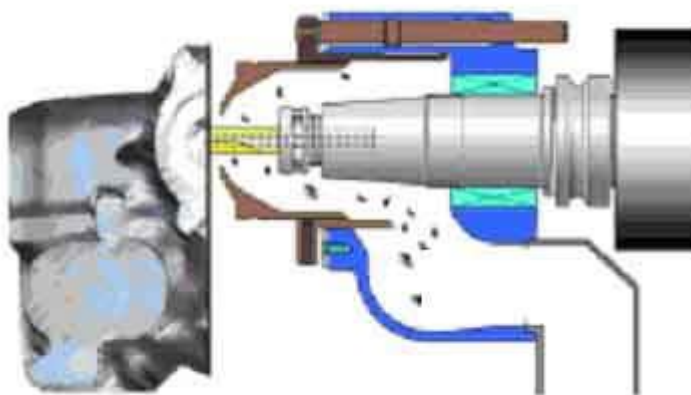
در این روش، ماشینکاری باید به صورت عمودی صورت گیرد تا براده بر اثر جاذبه زمین به طرف پایین کشیده شود و سپس توسط یک تسمه نقاله براده به طرف مخزن هدایت می شود.



شکل 2-4: نمونه سیستمی که در آن از جاذبه زمین برای دور کردن براده ها استفاده می شود.

#### 4-6-2- خارج کردن براده با استفاده از سیستم **vaccum**:

در این روش از یک مکند هوا در اطراف ابزار استفاده می شود که توسط آن براده را به داخل مخزن می کشد، علاوه بر آن از یک سیستم مکند در کل دستگاه هم استفاده می شود تا براده ریخته شده را جمع آوری کند.



شکل 3-4: اجرای سیستم دور کننده براده با استفاده از خلا از محل برش

#### 4-7- تاریخچه استفاده اندک از مایع خنک کننده:

ماشینکاری قطعات چدنی (هوا و روانکار هر یک توسط یک نازل به محل برش پاشیده می شوند و با هم مخلوط می شوند.)

خنک کاری به کمک هوا در ماشینکاری قطعات آلومینیومی.

خنک کاری به کمک سیستم خلا در ماشینکاری قطعات آلومینیومی.

ماشینکاری قطعات چدنی و آلومینیومی به روش MQL (هوا و روانکار هر یک توسط یک نازل به محل برش پاشیده می شوند و با هم مخلوط می شوند.)

ماشینکاری قطعات چدنی و آلومینیومی به روش MQL (هوا و روانکار از سوراخی که در وسط ابزار وجود دارد به بیرون پاشیده می شوند و با هم مخلوط می شوند.) و سیستم خلا

ماشینکاری قطعات چدنی و آلومینیومی به روش MQL (هوا و روانکار قبل از اینکه داخل ابزار خارج شوند با هم مخلوط می شوند.)



ماشینکاری قطعات چدنی و آلومینیومی به روش MQL (هوا و روانکار قبل از اینکه داخل ابزار خارج شوند با هم مخلوط می شوند.) و سیستم خلا.

اولین استفاده سیستم MQL (ماشینکاری قطعات آلومینیومی، هوا و روانکار قبل از اینکه داخل ابزار خارج شوند با هم مخلوط می شوند.) و سیستم خلا در تولید انبوه.

ماشینکاری قطعات چدنی و آلومینیومی به روش MQL (هوا و روانکار قبل از اینکه داخل ابزار خارج شوند با هم مخلوط می شوند.) و نیز سیستم هوای خنک کننده.

پیشرفت تجهیزات سیستم MQL و توسعه روشهای دور کردن براده به کارگیری بسترهای باز در ماشین سنترها

توسعه تجهیزات سیستم MQL



منابع

[1] جزوه درس ماشین کاری و ابزار شناسی آقای دکتر جواد زرکوب، دانشگاه صنعتی اصفهان

[2] مجله فنی و مهندسی ساخت و تولید

[3] [www.civilica.com](http://www.civilica.com)

[4] [www.google.com](http://www.google.com)

[5] [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

[6] p.s.sreejith,b.k.a.ngoi,dry machining : machining of the future.27 january 1999

[7] کتاب توانایی ماشین کاری دکتر رازفر، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

[8] g.lis,m.nouari,d.gehin,s.gomez.wear behavior of cemented carbid tools in dry machining of aluminium alloy.13 may 2005

[9] h.hanyu,s.kamiya,y.murakami,m.saka.dry and semi dry machining using finely crystallized diamond coating cutting tools

[10] k.enke.dry machining and increase of endurance of machins parts with improved doped dls coating on steel, ceramics and aluminium.