

# بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

## تأثیر پارامترهای برش و روغنکاری بر روتراشی اینگونل 718 با کمک فراصوت

### چکیده:

این مقاله به بررسی بیشتر مدل اجزای محدود (FE) روتراشی با کمک فراصوت (UAT) می پردازد که میترو فانو و بایسکی وسیلبر اسمیت به بحث پیرامون آن پرداخته اند. مدل پیشرفته FE (براساس کد عمومی MSC.MARC, FE) امکان شبیه سازیهای ترمو مکانیکی کوپله شده UAT و روتراشی متعارف مواد کشسان \_ مومسان را فراهم کرده است. این مدل برای مطالعه تاثیر پارامترهای برش (مانند: سرعت برش عمق برش و اهنگ پیشروی) و تاثیر روغن کاری روی ویژگی های مختلف هر دو تکنیک روتراشی و نیز تاثیر آن روی نیروهای برش و شکل برادها کاربرد وارده نتایج به دست آمده از مدلسازی سه بعدی UAT نیز ارائه شده اند. این مدل سه بعدی امکان مطالعه شکل گیری براده را در روتراشی های مایل میسر کرده است. وازگان اساسی: روتراشی \_ ارتعاشات فرا صوتی \_ تحلیل اجزا محدود \_ اینگونل 718 .

### 1) مقدمه:

روتراشی با کمک فراصوت (UAT) تکنیک ماشینکاری پیشرفته ایست که در آن ارتعاشاتی با فرکانس بالا ( $f=20\text{KHz}$ ,  $a=15\text{mm}$ ) روی اجزای متحرک ابزار برش انداخته می شوند. این تکنیک در مقایسه با روتراشی های معمول (CT) امکان روتراشی مواد غیر قابل کنترل را فراهم ساخته است (مانند: الیازهای هوا فضای پر استحکام سرامیک ها و مواد مرکب).

ارتعاشات فرا صوتی انداخته شده روی اینگونل 718 (یک الیازی با پایه نیکلی که در صنعت هوا\_ فضا کاربرد زیادی دارد.) کاهش چند جانبه نیروهای برش و نیز بهبود صافی سطح را تا 50% بیشتر از تکنیک CT در برداشته اند. (2). نمونه نخستین سیستم UAT در دانشگاه لومبورو انگلستان طراحی شده است و آزمایش های تجربی زیادی انجام شده اند که مزیت های UAT را در مقایسه با CT تایید می کند. (3).

این تحلیل دینامیک (4) برای مطالعه و تحلیل UAT به عنوان فرایندی ارتعاشی\_ ضربه ایی غیر خطی استفاده شده است. با این وجود ترمو مکانیک برهم کنش ابزار\_ قطعه کار که خصوصاً برای سیستم هایی که زیر ضربه های زیادی در منطقه فرایند دارند حائز اهمیت است به طور کامل بررسی نشده است. در واقع اولین مدل اجزا محدود (FE) UAT به تازگی ارائه شده است. (5). این مدل اولیه صرفاً مکانیکی اجزای محدود بعداً به یک مدل کاملاً ترمو دینامیکی کوپله شده هم برای UAT و هم CT گسترش پیدا کرد. برخی نتایج محاسبه ایی به دست آمده از این مدل پیشرفته در مرجع (1) آورده شده اند. مقاله کنونی نتایج بیشتر به دست آمده از این مدل پیشرفته را ارائه می کند که در ارتباط با تاثیر روغنکاری و پارامترهای برش روی فرایند روتراشی می باشد.

مدل اجزای محدود ابزاری مهم برای شبیه سازی منطقه فرایند و برهم کنش ابزار\_قطعه کار در برشکاری فلزی است.

جزئیات دقیق این مدل FE در مونو گراف های (7و6) ارائه شده و مروری کلی بر ویژگی های آن نیز در مقاله قبلی آورده شده است.

از آنجا که این مقاله مدل دو بعدی قبلی را به مدل سه بعدی ارتقا داده که از آن در رو تراشی با استفاده از فراصوت استفاده می شود مروری کلی بر مدل FE سه بعدی برای فرایندهای برش معمول در زیر آورده شده است.

اکثر طرح های پیشنهادی از روش تفکیک براده ها در امتداد یک خط از پیش توصیف شده استفاده می کنند که در این روش اجزای محدود در گسستگی اولیه ناحیه جدا شده از این رو انعطاف پذیری تحلیل های اولیه را کم می کنند. فقط تعداد بسیار کمی از تکنیک های دیگر مانند تکنیک حذف اجزا براساس میزان نفوذ (8) درگیری قابل انعطاف اجزای قطعه کار (9) و یا ترکیبی از هر دو تکنیک یعنی حذف اصلی و درگیری مجدد (10) استفاده می کنند. روش درگیری انعطاف پذیر که در مقاله فعلی نیز به آن پرداخته شده است برای حذف اجزای بد شکل شده که اگر حذف نشوند سبب خاتمه شبیه سازی می شوند آن ها را درون دامنه درگیری جدید قرار می دهد.

یکی از مزیت های این مدل این است که به گونه ای نسبتاً اسان زوایا و جهت برش و پارامترهای دیگر برش مانند: اهنگ پیشروی را بدون نیاز به طرح ریزی دوباره خطوط مرزی تعدیل می کند.

برای مطالعه تاثیرات انتقال همرفتی گرما تحلیل FEA تولید گرما در ماشینکاری مواد همسانگرد انجام شد. (11)

برای پیش بینی زاویه جریان براده و نیروهای سه بعدی ابزار رویکرد دیگری با استفاده از مدل FE قائم کوپله شده با یک مدل سه بعدی تحلیلی برش به کار برده شد. این مدل سه بعدی برای بررسی نیروهای برش و تغییر شکل مومسان تاثیرات دینامیک کویلینگ ترمو مکانیکی و تماس با اصطحاک را مد نظر قرار می دهد.

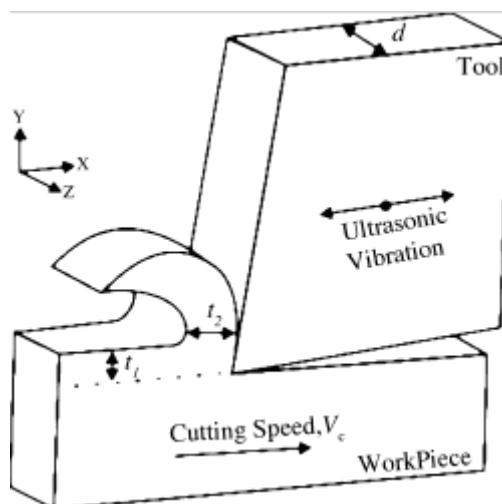
با استفاده از مدل سه بعدی CT برای مطالعه نیروهای برش و جریان براده در روتراش های معمولی در دو دهه اخیر این مقاله اولین مدل سه بعدی UAT را ارائه کرده است. این مدل اخیراً پیشرفت های زیادی داشته است و برخی نتایج رایانه ایی آن مورد بحث قرار گرفته اند.

## 2. مدل

### 2-1 رویکرد FE:

توصیف مفصل مدل عددی پیشنهادی برای آرایش دو بعدی مرجع (1013) آورده شده است. ویژگی های اصلی این مدل در زیر توصیف شده اند. هر دو مدل FE کوپله شده ترمو مکانیکی دو بعدی و سه بعدی بر مبنای کد کلی MSC.Marc هستند (14) در مدل دو بعدی کرنش ساده یک فراینده رو تراشی قائم مانند فرایند برش جایی که لبه ابزار برای برش و جهت بار دهی نرمال است شبیه سازی می شود. شکل 1 صراحی از حرکات نسبت قطعه کار و ابزار برش را در شبیه سازی های سه بعدی قائم UAT نشان می دهد. جهت باردهی عمودی است بنابراین ضخامت براده نتراشیده  $t_1$  با اهنگ پیشروی ( $t_1=0.1\text{mm}$ ) تطابق دارد. ابعاد قسمتی از قطعه کار که در

شبییه سازیهای دو بعدی استفاده شده، 2.5mm طول در 0.5mm ارتفاع است. عمق تراش (یا طول درگیری لبه برش)  $d=0.4\text{mm}$  است. برش از زمان آغاز درگیری اولیه بین ابزار و قطعه کار تا رسیدن به حالت پایا شبیه سازی می شود. از ویژگی های حالت پایا اشباع سطح درجه حرارت و الگوی تغییر شکل می باشد.



شکل 1. طرحی از حرکات نسبت قطعه کار و ابزار برش در شبیه سازی های سه بعدی UAT. بزرگی پارامترهای برش در متن آورده شده است.

حرکت نسبی قطعه کار و ابزار برش در CT با انتقال ابزار با سرعت ثابت شبیه سازی می شود. سپس یک حرکت نوسانی فراصوتی با دامنه ارتعاش 15 میکرومتر برای مدل سازی UAT در جهتی مماس روی ابزار انداخته می شود. سرعت ارتعاش چندین برابر سرعت انتقالی ابزار است و سبب جدایی تناوبی ابزار براده تازه ایجاد می شود از این روی فرایند برش به برهم کنش میان ابزار و براده تبدیل می شود. در مرجع (3) مراحل مختلف این چرخه ارتعاش توصیف شده اند. (3).

برای باز نمودن صحیح پیوند میان فرایند های مکانیکی و دمایی در ناحیه برش مدل FE کنونی به طور کامل از نظر ترمو مکانیکی کوبله شده است. تغییر شکل مومسان و اصطحکاک ایجاد شده در برهم کنش میان ابزار \_ براده سبب ایجاد درجه حرارت های زیاد در ناحیه برش شده است و این امر نه تنها سبب بروز تنش وانبساط گرمایی می شود بلکه بر ویژگی های مادی قطعه کار مانند: رسانایی گرمایی و گرمای ویژه نیز اثر می گذارد. توصیف مفصل فرایندهای ترمومکانیکی UAT در مقایسه با CT در مرجع (13) آورده شده اند.

مدل جانسون کوک (15) رفتار مکانیکی اینکونل 718 را در کرنش های بالا اهنگ های کرنش بالا و درجه حرارت های بالا توصیف می کند و حساسیت اهنگ کرنش را در شبیه سازی های اینکونل 718 توجیه می کند. (شکل 2).

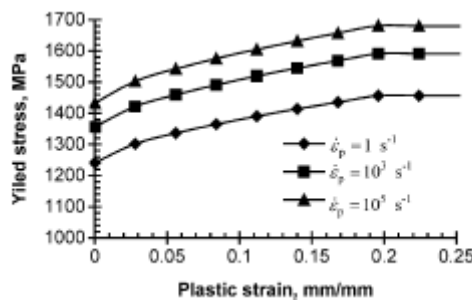
$$\sigma_Y = (A + B\epsilon_p)_1 + C \ln(\epsilon_p \epsilon_0) (1 - T^*m) \quad (1)$$

در این معادله،  $A = 1241$ ,  $B = 622$ ,  $C = 0.0134$ ,  $n = 0.6522$ ,  $T^* = (T - T_{room}) / (T_{melt} - T_{room})$ ,

نیز به ترتیب کرنش مومسان و اهنگ کرنش هستند.  $T_{melt}$  و  $T_{room}$  به ترتیب درجه حرارت محیط و ذوب هستند.  $\epsilon_p$  و  $\epsilon_0$

نیز قابل اغماض است چون در دامنه درجه حرارت مدلسازی شده در شبیه سازی های FE که با آزمایش های جمله واره  $T^*m$

ترموگرافی با مادون قرمز نیز توجیه شده اند، تعدیل گرمایی اینکونل 718 بسیار ناچیز است. (کمتر از 5٪). این مدل که مورد استفاده بسیاری از محققان است و ما نیز در مقالات قبلی مان از آن استفاده می کردیم، اصلاح شده است تا از تنش های زیاد در کرنش های بالا اجتناب کرده به گونه ای که ماکسیمم مقدار تنش به ماکسیمم استحکام کششی اینکونل 718 در آهنگ های کرنش مطابق، برسد. ( $10^5/s$  در شبیه سازی های FE)



شکل 2 تاثیر آهنگ کرنش بر رفتار مومسان اینکونل 718.

## 2.2 آرایش سه بعدی

مدل سه بعدی، تعمیم و بسط مدل دو بعدی می باشد و در مقایسه با مدل دو بعدی مزایای بیشتری دارد. بعد اضافه شده با ضخامت لایه بریده شده قطعه کار یعنی عمق برش یا طول درگیری لبه برش، مطابقت دارد. این مدل امکان مطالعه تاثیرات سه بعدی مختلف را در رو تراش فراهم کرده است، مانند موارد زیر: مطالعه شکل گیری غیر قائم/مایل براده ها، تاثیر هندسه ابزار بر پارامترهای فرآیندی مانند نیروهای برش و تنش ایجاد شده در ماده قطعه کار.

مدل سه بعدی همچنین امکان بررسی تاثیر جهت های مختلف ارتعاش ابزار برش را روی فرآیند برش در UAT را فراهم کرده و در نهایت به عنوان ابزار بهینه در فناوری UAT عمل می کند. ترکیبات مختلف جهت های ارتعاش را می توان از نظر عددی مورد مطالعه قرار داد، در حالی که اجرای آزمایش ان ها بسیار سخت و طاقت فرساست چون به طراحی سیستم های کاربردی و مبدل های فراسوتی جدید نیاز دارد. به علاوه، آرایش های FE سه بعدی، امکان مقایسه مستقیم نتایج شبیه سازی های عددی آزمایش های تجربی برای برش را فراهم کرده و دیگر نیازی به تغییر آرایش برش استاندارد نیست. این امر حائز اهمیت است چون، نتایج FE مانند نیروهای برش بر مبنای مدل دو بعدی را می توان تنها برای مقایسه آزمایش های رو تراش قائم به کار برد. اجرای چنین آزمایش های رو تراش برای مواد غیر قابل کنترل بسیار دشوار است، چون اجرای آنها به آرایش جدید یا شکل های ویژه قطعه کار مانند لوله های نازک نیاز دارد. به علاوه مدل سه بعدی بر خلاف مدل دو بعدی به فرضیات کمتری نیاز دارد. مثلاً در مدل سه بعدی در مقایسه با مدل دو بعدی ضخامت قطعه کار به وضوح معرفی شده است. همچنین، مدل سه بعدی انبساط براده را در بعدی عرضی یا جانبی (در امتداد محور Z در شکل 2) توجیه می کند. حالتی که در مدل دو بعدی غیر ممکن بود و منجر به ایجاد تنش اضافی در ناحیه برش می شد. نهایتاً، با مدل

سه بعدی می توان هندسه واقعی ابزار برش را مطالعه کرد و این امر تحلیل تأثیر تیزی و سایش ابزار را روی فرآیند برش میسر می کند.

### 2.3 مدل های اصطحاکای

این مقله عمدتاً تأثیر روغنکاری را روی فرآیند برش، بررسی کرده است. با تغییر حالت های اصطحاکای، در برهم کنش ابزار-براده، وجود/عدم وجود روغنکاری در چهار چوب اجزای محدود، شبیه سازی شده است. روغنکاری سبب نازک تر شدن براده و پیچ خوردن آن می شود. میزان تأثیر روغنکاری روی فرآیند برش، به سرعت برش، آهنگ پیشروی و زاویه براده نیز بستگی دارد.

در CT، ابزار برش در تماس دائمی با براده قرار دارد و هیچ روغنکاری نمی تواند در ناحیه تماس، جایی که تنش در برهم کنش براده-ابزار زیاد است، نفوذ کند. (7). با این وجود، مواد روغنکاری می توانند زبری سطح براده ابزار، در امتداد کانال های مقرر تماسی نفوذ کنند. طول این کانال ها عموماً می تواند به اندازه ضخامت کامل براده و یا نصف آن باشد. زمانی که مواد روغنکاری درون این کانال ها با براده واکنش نشان می دهد، مقاومت جریان براده ها، کاهش پیدا می کند و این حالت زاویه برش رنده را افزایش می دهد. در نتیجه، براده نازک تر می شود و از سطح ابزار ور نمی آید. بنابراین مواد روغنکاری نباید در کل فاصله تماس در سطح براده نفوذ کنند که سبب کاهش سطح تماس شوند، نفوذ آن ها در لبه طول تماس کافیسست.

تاکنون، ماهیت فرآیندهای روغنکاری در UAT مطالعه نشده است. با این وجود، خاصیت منقطع تماس در سطح براده ابزار سبب می شود تا گازها یا مواد روغنکاری مایع، داخل عمق محیط تماس نفوذ پیدا کنند. تصور می شود که این حالت سبب افزایش زاویه برش و در نتیجه کاهش ضخامت براده شود.

در بسیاری مقالات، تماس اصطحاکای در برهم کنش ابزار-براده در روتراشی های معمول، بررسی شده است.

مدل های اصطحاکای متنوعی برای این هدف، به کار گرفته شده اند. از جمله این مدل ها، مدل های ذیل هستند:

(1) مدل اصطحاکای کولن که در آن تنش اصطحاکای متناسب با فشار عملی برهم کنش می باشد. (16,18,19)  
 $(\tau = \mu\sigma_n)$

(2) مدل اصطحاکای سایشی ( $\tau = mk$ )، که در آن  $k$ ، استحکام برشی می باشد (20). 3- مدل اصطحاکای سایشی اصلاح شده

(که در زیر توصیف خواهیم کرد) (2) و 4- مدل چند اسمی مبتنی بر تنش. (22).

تنش های تماسی زیاد ایجاد شده در برهم کنش ابزار-براده منجر به تولید نیروهای اصطحاکای چشمگیر می شوند. مدل کلاسیک کولن نمی تواند در چنین شرایطی، فرآیند های اصطحاکای را به طور کامل باز نمود کند. بنابراین، مدل اصطحاکای سایشی برای شبیه سازی ها انتخاب شد. در این جا، نیروهای اصطحاکاک به کسر تنش های معادل مواد بستگی دارد و نه به نیروهای معمول (مانند مدل کولن). بنابراین تنش اصطحاکای را بدین صورت تعریف می کنیم:

$$\sigma_{FE} \leq -\mu \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}} \frac{2}{\pi} \operatorname{sgn}(v_T) \arctan\left(\frac{v_T}{v_{CT}}\right),$$

که در آن  $\sigma$  تنش معادل،  $v_T$  سرعت لغزش نسبی و  $v_{CT}$  سرعت لغزش بحرانی است که زیر آن چسبندگی شبیه سازی می شود،  $\mu$  نیز ضریب اصطحکاک است.

### 3. نتایج شبیه سازی ها

همه متغیرهای شبیه سازی های عددی (اجزای محدود) زیر، با پارامترهای یکسان، برای هر دو تکنیک برش (CT، UAT) اجرا شده اند. به گونه ای که نتایج CT را می توان به عنوان مرجع، برای روتراشی های فراصوتی نیز به کار برد. دو حالت تماس در بر هم کنش ابزار - براده مورد مطالعه قرار گرفتند: الف) تماس بدون اصطحکاک و ب) تماس با اصطحکاک ( $\mu=0.5$ ). در حالت الف فرآیند برش خوب روغنکاری شده بود و تولید گرما تنها به خاطر فرآیند تغییر شکل مومسان رخ می داد. حالت ب مطابق با فرآیند برش خشک است که در آن به خاطر اصطحکاک میان سطح ابزار و ماده قطعه کار جدا شده، گرمایی اضافی تولید می شود. برای هر دو مدل UAT و CT در شبیه سازی های FE، با اصطحکاک و بدون وجود اصطحکاک، تفاوت های چشمگیری در شکل براده های ایجاد شده وجود دارد. در شبیه سازی های دو بعدی CT و نیز UAT (شکل 3)، شعاع خمیدگی براده در تماس بدون اصطحکاک در بر هم کنش ابزار - براده، تقریباً 2.5 برابر کوچکتر از شعاع آن در تماس با اصطحکاک است.

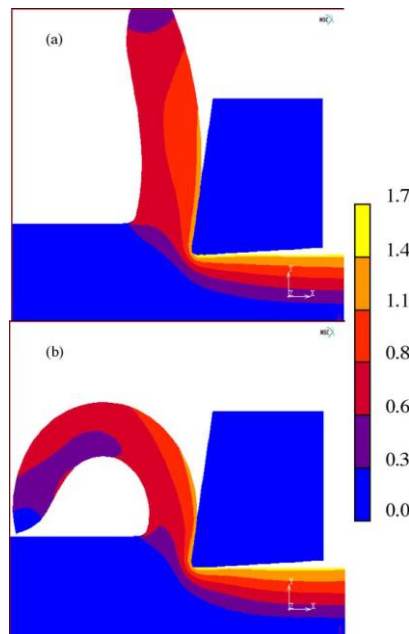
در آزمایشات تجربی با مواد روغنکاری مختلف نیز، شعاع براده در روتراشی های خشک، بزرگتر است.

ضخامت براده در شبیه سازی های با اصطحکاک، بزرگتر از شبیه سازی های بدون اصطحکاک است.

برای شبیه سازی های با اصطحکاک و بدون اصطحکاک، در هر دو تکنیک UAT و CT، نسبت ضخامت براده، (شکل 1)  $r = t1/t2$  یعنی نسبت ضخامت براده بریده نشده به براده تغییر شکل یافته به ترتیب 0.6 و 0.7 می باشد. در شرایط اصطحکاک یکسان، مقدار  $r$  در CT و UAT، تفاوت بارزی ندارد. این نتایج تجربی با مطالعات تجربی در تطابق اند و نشان می دهند که تنها تفاوت اندکی برای دو طرح برش، در ضخامت براده ها وجود دارد. کرنش مومسان ( $\epsilon_p$ ) نیز برای شبیه سازی های UAT و CT مقایسه شده است، چون یکی از ویژگی های مهم فرآیند تغییر شکل می باشد. در همه شرایط و حالت های دمایی و اصطحکاک،  $\epsilon_p$  در ناحیه برش CT با UAT تفاوت بارزی دارد.

(افزایش 15-20 درصدی در UAT). مقایسه شبیه سازی های عددی با اصطحکاک و بدون اصطحکاک، کرنش های مومسان بزرگتری را برای حالت بدون اصطحکاک نشان می دهد. این نتایج سطوح تغییر شکل بیشتری را برای تحلیل های بدون اصطحکاک، هم برای CT و نیز UAT نشان می دهند، که در نتیجه این تغییر شکل ها، براده های واپیچیده تری ایجاد می شوند یعنی براده هایی که شعاع خمیدگی کوچکتری دارند. این نتایج هم در مطالعات عددی بدون اصطحکاک و هم آزمایش های روتراشی خوب روغنکاری شده، برای UAT و CT، مشهودند.

در شبیه سازی های FE، تأثیر آهنگ پیشروی روی درجه حرارت ابزار برش در UAT و CT مورد مطالعه قرار گرفته است. در مدل FE، آهنگ پیشروی، یعنی فاصله ای که ابزار، در جهت باردهی در هر دوران قطعه کار، می پوشاند، تا ضخامت براده نبریده  $t_1$ ، مطابقت دارد. در شبیه سازی ها  $t_1$  از 0.1 به 0.05 کاهش یافته است ( $\mu=0.5$ ). چنین کاهش سبب کاهش ماکسیمم سطح درجه حرارت در ناحیه برش به ترتیب برای CT و UAT از  $440^\circ\text{C}$  به  $400^\circ\text{C}$  و از  $410^\circ\text{C}$  به  $375^\circ\text{C}$  می شود. افت درجه حرارت ابزار برش نیز مشهود است. این درجه حرارت برای CT و UAT به ترتیب از 155 به  $125^\circ\text{C}$  و از 130 به  $100^\circ\text{C}$  تنزل داشته است. این کاهش درجه حرارت با کاهش آهنگ پیشروی، نتایج آزمایشات را تأیید می کند و با کاهش مقدار موادی که در هر واحد زمانی، جدا می شوند، توجیه می شود.



شکل 3. کرنش های مومسان در ناحیه برش در شبیه

سازی های UAT با اصطحکاک (a) ( $\mu=0.5$ ) و بدون

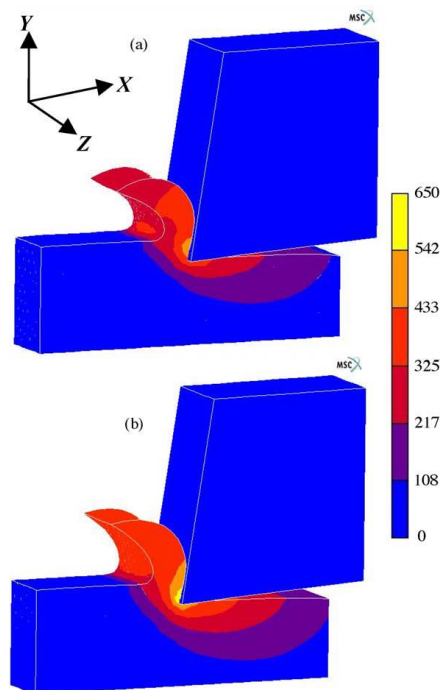
آن (b) ( $\mu=0$ ). پارامترهای برش  $t_1 = 0.1 \text{ mm}$ ,  $V_c = 310$

افزایش درجه حرارت سرمشعل برشکاری، برای موارد بدون اصطحکاک نیز تحلیل شده است. این شبیه سازی ها، برای CT و UAT تنها افزایش درجه حرارت کمی را برای سرمشعل نشان می دهند. این امر نشان می دهد که افزایش درجه حرارت ابزار برش تا حد زیادی به خاطر برهم کنش اصطحکاک میان ابزار و براده است. همانند شبیه سازی های با اصطحکاک، درجه حرارت سرمشعل در CT نسبت UAT سریعتر افزایش می یابد (علی رغم این که درجه حرارت نهایی UAT بالاتر است) و این امر به خاطر فاکتور دیگری است که به استهلاک انرژی ارتعاشی مربوط می شود.

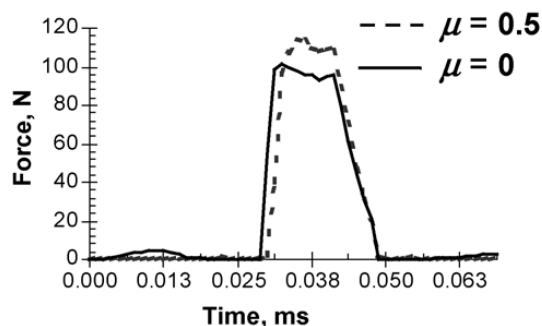
در شبیه سازی حالت های بدون اصطحکاک، کاهش درجه حرارت قطعه کار مشهود است. در تحلیل های با اصطحکاک نیز، برای CT و UAT به ترتیب درجه حرارت از  $440^\circ\text{C}$  و  $410^\circ\text{C}$  به  $380^\circ\text{C}$  و  $350^\circ\text{C}$  میرسد. با این وجود، سطوح درجه حرارت در UAT نسبت به CT هنوز بالاتراند و این نشان می دهد که این تفاوت دمایی صرفاً به خاطر تأثیرات اصطحکاک نیست.

شبیه سازی های سه بعدی (شکل 4)، نتایج به دست آمده در تحلیل های دوبعدی، برای توزیع حرارت در ناحیه برش را تأیید می کنند. سطوح ماکسیمم درجه حرارت در منطقه فرآیند و براده، همیشه بالاتر از شبیه سازی های UAT هستند. در هر دو مدل CT و UAT، بالاترین درجه حرارت ها در امتداد ناحیه تماس، در برهم کنش ابزار-براده، به ثبت رسیده اند.

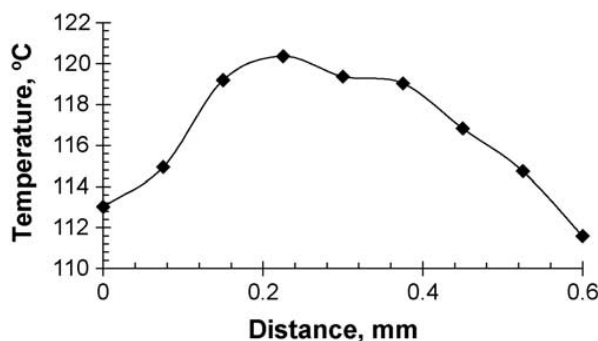
در شبیه سازی های UAT در حضور اصطحکاک و بدون وجود آن، تفاوت های چشمگیری در نیروهایی که بر ابزار اثر می کنند، کشف شده است. (شکل 5). زمانی که ابزار با براده در تماس کامل باشد، این نیروهای برش به ماکسیمم بزرگی خود می رسند، در حالی که وقتی که ابزار از براده جدا می شود، این نیروها نیز به صفر می رسند. نوسان نیروهای برش در اطراف تراز صفر به خاطر تماس باقی مانده میان ابزار برش و سطح قطعه کار تازه شکل گرفته و نیز به خاطر خطای عددی شبیه سازی های FE می باشد.



شکل 4. توزیع درجه حرارت در ناحیه برش در شبیه سازی های CT (الف) و UAT (ب).



شکل 5. مقایسه نیروها در ابزار برش برای UAT هم در حالت با اصطحکاک و نیز بدون اصطحکاک. ( $\mu=0.5$ ) برای پارامترهای دیگر شبیه سازی های



شکل 6. توزیع درجه حرارت در شبیه سازی های UAT، در امتداد لبه برش ابزار. (محور Z در شکل 1). برای پارامترهای دیگر شبیه سازی شکل 4 را

ماکسیمم بزرگی نیروهای برش در شبیه سازی های با اصطحکاک 20-25٪ درصد بزرگتر از شبیه سازی های بدون اصطحکاک است. توزیع درجه حرارت در امتداد لبه برش مورد مطالعه قرار گرفته است. (شکل 6 را ببینید). این نوع تحلیل، فقط با آرایش سه بعدی ممکن است چون در شبیه سازی های دو بعدی، لبه برش تنها یک نقطه است. تحلیل ها نشان می دهند که ماکسیمم درجه حرارت جایی در وسط لبه برش می باشد، و به سمت انتهای طول برش، افت ناچیزی خواهد داشت. این امر به خاطر انتقال همرفتی گرما از سطح ابزار به محیط می باشد. این نوع توزیع، سرتاسر فرآیند شبیه سازی مشاهده می شود، و با گذشت زمان درجه حرارت ابزار به خاطر گرمای ایجاد شده در اثر اصطحکاک و انتقال تماس گرما از براده به سطح قطعه کار، افزایش پیدا می کند.

#### 4. نتیجه گیری

برای مطالعه تأثیر روغنکاری و پارامترهای برش بر فرآیند UAT، مدل FE دو بعدی ترمومکانیکی کوپله شده با روش تراشی فراصوتی (UAT) به کار برده شده است. مدلی سه بعدی که در واقع تعمیم و گسترش این مدل است،

ارایه شده، که امکان مطالعه سه بعدی شکل گیری براده را فراهم کرده و پیش بینی توزیع تنش ها، کرنش ها، نیرو های برش و درجه حرارت را در قطعه کار و ابزار برش میسر می کند.

تأثیرات روغن کاری با مقایسه ی شبیه سازها و بدون تناظر اصطحکاک برای خشک کردن و تبدیل شرایط روغن کاری مورد بررسی قرار گرفت . FEA نشان می دهد که در اصطحکاک (در مقایسه با شبیه سازی با اصطحکاک):  
- شعاع انحنای تراشه تقریباً 2.5 برابر کوچکتر هستند، تراشه های i.e انحنای بیشتری دارند که با نتایج آزمایشات مطابقت دارد.

- نیروی برش به دلیل عدم وجود نیروی اصطحکاک 20-25 درصد پایین تر است در رابط ابزار تراشه

- دما در منطقه برش نزدیک 60 درجه کمتر از به دلیل عدم اصطحکاک گرمایی

- نسبت ضخامت تراشه به مقدار قابل توجهی بالاتر است ( تراشه ها حدود 15 درصد نازک تر هستند)

- سطح فشار های پلاستیک معادل 5 تا 7 درصد بالاتر است. بیشتر شدن سطوح تغییر پلاستیک تاثیر در انحنای بیشتر تراشه دارد که عملاً قابل مشاهده بوده است.

- افت در چرخه ی دما برای شبیه سازهای numerical از برش با میزان تغذیه کاهش یافته ثبت شده است ، این نتایج با اندازه گیری های تجربی ما مطابقت دارد و با کاهش نرخ مواد حذف شده تعریف شده است.

تقدیر و تشکر

نویسنده به خاطر کمک دکتر Alan Meadows و دکتر Peter Thomas در انجام آزمایشات در نمونه اولیه UAT، کمال تشکر را دارد.

- [1] A.V. Mitrofanov, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, Finite element analysis of ultrasonically assisted turning of Inconel 718, *J. Mater. Process. Technol.* 153–154 (2004) 233–239.
- [2] V. Babitsky, A. Kalashnikov, A. Meadows, A. Wijesundara, Ultrasonically assisted turning of aviation materials, *J. Mater. Process. Technol.* 132 (2003) 157–167.
- [3] V.I. Babitsky, A.V. Mitrofanov, V.V. Silberschmidt, Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study, *Ultrasonics* 42 (2004) 81–86.
- [4] V.K. Astashev, V.I. Babitsky, Ultrasonic cutting as a nonlinear (vibroimpact) process, *Ultrasonics* 36 (1998) 89–96.
- [5] A.V. Mitrofanov, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, Finite element simulations of ultrasonically assisted turning, *Comput. Mater. Sci.* 28 (2003) 645–653.
- [6] E.M. Trent, P.K. Wright, *Metal Cutting*, Butterworth-Heinemann, London, 2000.
- [7] T.H.C. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa, Y. Yamane, *Metal Machining: Theory and Applications*, Arnold, London, 2000.
- [8] A.U. Anagonye, D.A. Stephenson, Modeling cutting temperatures for turning inserts with various tool geometries and materials, *J. Manuf. Sci. Eng. (Trans. ASME)* 124 (2002) 544–552.
- [9] O. Pantale, J.L. Bacaria, O. Dalverny, R. Rakotomalala, S. Caperaa, 2D and 3D numerical models of metal cutting with damage effects, *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* 193 (2004) 4383–4399.
- [10] E. Ceretti, M. Lucchi, T. Altan, FEM simulation of orthogonal cutting: serrated chip formation, *J. Mater. Process. Technol.* 95 (1999) 17–26.
- [11] M.V. Ramesh, K.N. Seetharamu, N. Ganesan, G. Kuppuswamy, Finite element modelling of heat transfer analysis in machining of isotropic materials, *Int. J. Heat Mass Transfer* 42 (1999) 1569–1583.
- [12] J.S. Strenkowski, A.J. Shih, J.C. Lin, An analytical finite element model for predicting three-dimensional tool forces and chip flow, *J. Mach. Tools Manuf.* 42 (2002) 723–731.
- [13] A.V. Mitrofanov, V.I. Babitsky, V.V. Silberschmidt, Thermomechanical finite element simulations of ultrasonically assisted turning, *Comput. Mater. Sci.* 32 (2004) 463–471.
- [14] MSC.Marc User's Guide, Version 2001, MSC Software Corporation,

Los Angeles, 2001.

[15] G. Johnson, W. Cook, Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures, *Eng. Fract. Mech.* 2 (1985) 31–48.

[16] E.-G. Ng, T. El-Wardany, M. Dumitrescu, M. Elbestawi, Physicsbased simulation of high speed machining, *Mach. Sci. Technol.* 6 (2002) 301–329.

[17] P. Maudlin, M. Stout, Metal cutting simulation of 4340 steel using an accurate mechanical description of material strength and fracture, *Min. Met. Mater. Soc.* (1996) 29–41.

[18] H.F. Fassi, L. Bousschine, A. Chaaba, A. Elharif, Numerical simulation of orthogonal cutting by incremental elastoplastic analysis and finite element method, *J. Mater. Process. Technol.* 141 (2003) 181–188.

[19] M. B'aker, J. Rosler, C. Siemers, Finite element simulation of segmented chip formation of Ti6Al4V, *J. Manuf. Sci. Eng. (Trans. ASME)* 124 (2002) 485–488.

[20] Y.C. Yen, A. Jain, T. Altan, A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries, *J. Mater. Process. Technol.* 146 (2004) 72–81.

[21] C. Liu, Y. Guo, Finite element analysis of the effect of sequential cuts and tool – chip friction on residual stresses in a machined layer, *Int. J. Mech. Sci.* 42 (2000) 1069–1086.

[22] X. Yang, C.H. Liu, A new stress-based model of friction behavior in machining and its significant impact on residual stresses computed by finite element method, *Int. J. Mech. Sci.* 44 (2002) 703–723.