

## نکاتی پیرامون دقت ماشینکاری دستگاه های سی ان سی

بسیار مشاهده شده که سازندگان، خصوصاً سازندگان خارجی، برای دستگاه ساخت خود دقت حرکتی ۰,۰۱ میلیمتر یا حتی کمتر را ادعا کرده اند. ولی در هیچ کجا شرایط حصول چنین دقتی مشاهده نمیشود.

خریداران بعضاً قبل از خرید دستگاه به این مشخصات اعتماد کرده ولی پس از کار با دستگاه بزودی پی میبرند که دقت ادعا شده در تمام شرایط صحت ندارد.

در این مقاله سعی شده بعضی محدودیت های دستگاه های سی ان سی مطرح شود تا برای خریداران تصویری خارق واقعیت به وجود نیاید.

بخشی از مطالب زیر در خصوص دستگاه های بالنسبه ارزان قیمت که به استپ موتور با کنترل مدار باز مجهز هستند مصداق دارد. سیستم های کنترل مدار بسته، اعم از سیستم های سرو یا سیستم های استپ موتور، برخی از این خطاها را تا حدودی مرتفع ساخته ولی اجرای این سیستم ها صرفنظر از هزینه بیشتر، مشکلات اجرایی خود را نیز دارند. سایر عوامل در هر دو سیستم مدار باز و بسته معتبر است.

### تفکیک پذیری

دستگاه سی ان سی مجهز به استپ موتور بعضی مختصات را اصلاً نمیشناسد. طرح یک نمونه موضوع را روشن تر میکند.

فرض کنید یکی از محور های یک دستگاه سی ان سی به استپ موتور و سیستم محرکه بال اسکرو با گام ۵ میلیمتر مجهز است.

میدانیم استپ موتور رایج، در حالت تمام پله، در هر دور ۲۰۰ پله حرکت میکند. فاصله پله ها در استپ موتور بنا به اعلام سازندگان آن  $\pm 0.5\%$  است. از این خطا صرفنظر کرده و آن را صفر فرض میکنیم.

بال اسکرو با کیفیت C7 که رایج بازار است، دارای  $\pm 0.05$  میلیمتر لقی در ۳۰۰ میلیمتر میباشد. از این مقدار هم صرفنظر کرده و آن را نیز صفر فرض میکنیم.

فرض بعدی ما این است که سیستم حرکت خطی، اعم از Linear guide، Linear bushing و یا سیستم های حرکتی دنده پینیون و دنده شانه ای نیز دارای خطای صفر باشد.

با مجموع فرضیات بالا، مقدار حرکتی که هر پله باعث حرکت بال اسکرو میشود خواهد بود:

$$\text{میلیمتر } 0,025 = 200 \div 5 \text{ پله}$$

مفهوم مقدار فوق این است که قدرت تفکیک حرکت محور در پله های ۰,۰۲۵ میلیمتری میباشد. حال اگر نرم افزار Gcode دستور حرکت از مختصات صفر به ۱,۰۱ میلیمتر را صادر کند (نرم افزار مزبور قادر است تا ۱۲ رقم اعشار مختصات صادر کند)، توقف محور

در مختصات ۱ یا ۱,۰۲۵ بوده و اساساً دستگاه مقداری مابین این دو عدد را نمیشناسد و توقع اینکه این محور بتواند دقیقاً در مختصات ۱,۰۱ میلیمتر یا حتی ۱,۰۲ توقف مطلق داشته باشد بی مورد است.

حال مثال فوق را در حالت نیم پله بررسی میکنیم. مشاهده میشود مقدار حرکتی که هر پله باعث حرکت بال اسکرو میشود خواهد بود:

$$\text{میلیمتر } ۰,۰۱۲۵ = (۲ \times ۲۰۰ \text{ پله}) \div ۵ \text{ میلیمتر}$$

با عنایت به توضیح بالا مشاهده میشود وضعیت کماکان باقی است ولی دامنه تغییرات آن کمتر شده است.

مورد فوق در مورد بعضی انواع درایورهای استپ موتور، و نه همه آنها، که قادر هستند محور را در حالت نیم پله در ۴۰۰ حالت متوقف نگه دارند مصداق پیدا میکند.

این موضوع نیز عموماً به غلط تصویر شده که درایور هائی که قادر به اعمال میکروستپ هستند میتوانند در ۱/۱۶ یا حتی ۱/۲۰۰ پله موتور را در حال متوقف نگه دارند. و به عنوان نمونه انتظار داشت استپ موتوری در میکروستپ ۱/۱۶ بتواند دقتی برابر ۰,۰۰۰۷۸ میلیمتر ایجاد کند. این تصور اشتباه است. میکروستپ فقط در حال حرکت میتواند با کسری از پله حرکت کرده و حرکتی تقریباً پیوسته ایجاد کند. در حالت توقف، صرفنظر از تعداد میکروستپ، و بر حسب اینکه موتور روی فاز یا روی فاز و مابین فاز توقف داشته باشد، تعداد پله ها همان ۲۰۰ یا ۴۰۰ پله در دور است.

در سیستم های سرو نیز مشابه این شرایط وجود دارد. با وجود اینکه موتورهای DC Servo دارای حرکتی پیوسته هستند، ولی انکودر متصل به آن برحسب قدرت تفکیک انکودر، فواصل حرکتی را تعیین میکند و اینطور نیست که سرو موتور بتواند در هر مختصاتی توقف دقیق داشته باشد.

برای رفع این محدودیت لازم است تا از کاهنده دور استفاده شود. برای نمونه استفاده از کاهنده دور با نسبت ۱:۴ موجب افزایش دقت به میزان تقریبی ۴ برابر میشود.

چرا به میزان تقریبی؟

کاهنده ها نیز خود دارای لقی و خلاصی اجزاء داخلی درگیر با یکدیگر هستند. در بسیاری اوقات دیده شده دقت سیستم پس از نصب کاهنده ای با لقی و خلاصی زیاد، از وضعیت قبل، که کاهنده نصب نشده بود بدتر شده. برای نمونه میتوان از کاهنده های ماریچ یا دنده ای ساده نام برد. البته کاهنده هائی با خلاصی صفر هم وجود دارند که نه تنها قیمت آنها گران است بلکه این کاهنده ها با هر نسبت کاهشی ساخته نشده و در دسترس نمیباشند. این کاهنده ها معمولاً با نسبت ۱:۵۰ و ۱:۱۰۰ ساخته میشوند.

## خطای اجزای ماشین

به نظر آید دقت ۵۰ میکرونی در ۳۰۰ میلیمتری بال اسکرو مثال فوق بسیار مطلوب باشد زیرا میتوان اینطور استدلال کرد که مقدار خطای آن برابر است با:

$$\text{میلیمتر بر میلیمتر } ۰,۰۰۰۱۶ = ۳۰۰ \text{ میلیمتر} \div ۰,۰۵ \text{ میلیمتر}$$

صحت این مقوله تابع شرایط کار است. فرض کنید دستگاهی در محور عمودی، نقش کنده کاری به عمق ۳ میلیمتر ایجاد میکند. با صرفنظر از مسئله قدرت تفکیک و فرض درمیان نبودن عوامل جانبی (توضیح آن بعداً میاید) این دقت قابل استناد است. اما چنانچه این بال اسکرو یک مسیر ۹۰۰ میلیمتری را مثلاً به منظور برش طی کند، خود خطائی برابر مقدار زیر ایجاد میکند:

میلیمتر ۰,۱۵ = ۳۰۰ میلیمتر + (۹۰۰ میلیمتر × ۰,۰۵ میلیمتر)

این میزان خطا صرفاً از ساختار بال اسکرو ناشی شده و به مدار کنترل باز یا بسته، یا استفاده از استپ موتور یا سروارتباطی ندارد. همانگونه که اشاره شد، استپ موتور ها خود دارای خطای ساخت بوده و این مقدار اغلب از طرف سازندگان  $\pm 0.5\%$  اعلام شده است. خطائی که فاصله پله های یک استپ موتور در حالت تمام پله میتوانند در مثال فوق ایجاد نمایند خواهد بود:

میلیمتر ۰,۰۲۶ =  $1,05 \times 200$  پله  $\pm 5$  میلیمتر

توجه داشته باشید که در این محاسبات فقط یک دامنه از خطا در نظر گرفته شده و به عنوان نمونه برای دقت  $\pm 0.5$ ، فقط  $0.5$  محاسبه شده است. چه بسا در مواقعی دامنه خطا جمع شده و به  $0.10$  افزایش یابد. در این صورت خطای استپ موتور مزبور  $0.0275$  میلیمتر خواهد بود.

همواره میتوان از اجزای ماشین با دقت بالا استفاده کرد. برای نمونه بال اسکرو در طول  $1250$  میلیمتر و با کیفیت CO دارای انحراف  $\pm 0.009$  میلیمتر است. این کلاس کیفیت رایج بازار نبوده و به صورت سفارشی قابل تهیه هستند و قیمت آن ممکن است تا  $8$  برابر بیشتر باشد. همچنین  $1250$  میلیمتر حد بالائی طولی است که سازنده خطای آن را با این رقم تضمین میکند. برای بال اسکرو با طول های بیشتر باید از کیفیت های ساخت C1، C2 و غیره استفاده کرد که طبعاً خطای بیشتری دارند. برای آگاهی بیشتر میتوانید به جداول انتخاب بال اسکرو سازندگان مختلف مراجعه نمائید.

### خطای ساخت

روش ها، مواد و مصالح و ابزار های اندازه گیری که در اختیار سازندگان هست نیز بخشی از دقت ساخت را تعیین میکنند. دقت های ساخت در قسمت های مختلف دستگاه بسیار متفاوت است. برای نمونه اسکلت یک دستگاه میتواند از اجزائی با دقت ساخت  $\pm 0.2$  میلیمتر بهره برده باشد ولی دقت نصب آن تا  $\pm 2$  میلیمتر خطای قابل قبول داشته باشد. در اسکلت های سنگین فولادی که به روش جوشکاری تهیه میشوند، این خطا بیشتر است. در قسمت های مکانیکی، دقت های نصب در حد  $\pm 0.25$  میباشد، چه در غیر این صورت اجزاء مکانیکی روان حرکت نخواهند کرد.

### صلبیت دستگاه

صلبیت مجموعه، به خصوص دروازه و سیستم حرکت عمودی نقش بسیار مؤثری در خطا های ناشی از بارگذاری یا نیرو های وارده در حین عملیات ماشینکاری دارد. اینکه اجزاء اسکلت دستگاه از آلومینوم، فولاد، چدن یا سنگ ساخته شده باشند، از نظر نیرو ها و ارتعاشات وارده، تفاوت زیادی در کیفیت کار و در نتیجه قیمت دستگاه ایجاد میکنند. حتی درجه حرارت فصول مختلف هم در دقت دستگاه مؤثر است.

### خطا های پارامتر های ماشینکاری

این مورد از عوامل جانبی به حساب آمده و عامل بسیار مهمی در تعیین دقت محصول دارد. مقدار آن بستگی به تجربه ای که کاربر با کار با دستگاه می اندوزد دارد. در این مقوله عوامل متعددی با یکدیگر اندرکنش دارند که به بخشی از آن اشاره میشود:

□ نوع و جنس مواد اولیه

- نوع، جنس، کیفیت ساخت، قطر، میزان سائیدگی و دیگر عوامل مربوط به ابزار های ماشینکاری
- نوع بستن قطعه کار و مبحث work holding
- دقت در تعیین نوع استراتژی ماشینکاری، سرعت باربرداری، عمق باربرداری، مقدار stepover و سایر موارد از این قسم
- توانائی نرم افزار CAM برای تصحیح استراتژی های ماشینکاری

### شرائط نصب

این مورد نیز از عوامل جانبی به حساب میاید. عوامل متعددی در این مبحث در دقت کار دستگاه اثر دارند که از آن جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- تراز بودن دستگاه
- سیستم ارتینگ و میزان در معرض بودن سیستم کنترل دستگاه به نویز و افت های ولتاژ

### تعمیرات و نگهداری

این مورد نیز از عوامل جانبی به حساب میاید و شامل موارد زیر است.

- تنظیمات و آچار کشی های دوره ای
- نظافت و نگهداری
- در نظر داشتن عمر مفید قطعات مکانیکی

### چه دقتی قابل قبول است؟

توقع اینکه خرید دستگاهی با دقت بالا بتواند خطای انسانی را بپوشاند بیهوده است. عموماً همین تصور غلط است که دارندگان دستگاه های سی ان سی را از خریدشان سرخورده میکند.

دستگاه سی ان سی قادر به جلوگیری از بی دقتی های کارگر ساده نیست. اگر در بستن و مهار کردن و تراز کردن قطعه کار دقت لازم بذل نشود، یا از ابزار، استراتژی ماشینکاری، سرعت و نحوه باربرداری نامناسب استفاده شود نباید انتظار تحویل قطعه ای سالم از دستگاه را داشت. به خاطر داشته باشید دستگاه سی ان سی، به بهترین وجه و با بالاترین کیفیت اشتباهات شما را منعکس میسازد!

در هر زمینه تخصصی که فعالیت دارید، خود شما بهتر میدانید، چه میزان دقتی مجاز و چه میزان مطلوب است. نیازی به تجاوز از این محدوده نیست و در نظر داشته باشید قیمت دستگاه بر مبنای دقت آن تعیین میشود.

برای نمونه اگر میدانید دقت ۰,۵ میلیمتر برای رشته ای از فعالیت های صنایع چوبی مطلوب است نیازی به خرید دستگاه با دقت ۰,۱ میلیمتر ندارید. دقت های بیشتر علاوه بر هزینه بیشتر، سرعت های کمتری را ایجاب میکنند.

تا حد امکان از خرید دستگاهی چند منظوره خودداری کنید. شما همواره میتوانید از دستگاهی که مثلاً برای صنایع چوب خریداری کرده اید، انتظار ماشینکاری سنگ یا آلومینوم داشته باشید ولی نمیتوانید همان دقت تضمین شده سازنده را در مورد این مواد بخواهید.

از دستگاه بزرگ برای انجام کار های ظریف و کوچک نباید انتظار داشت. نمیتوان بر روی دستگاه ۲۵۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر حتی اروپائی و حتی با ادعای دقت ۰,۰۱ میلیمتر، کار جواهر سازی توقع داشت.

در مورد کارگاه های کوچک و با فضای محدود، سعی کنید کوچکترین دستگاهی که قادر است ۹۰٪ از کار های شما را انجام دهد انتخاب کنید. بهتر است ۱۰٪ بقیه کار ها را به خارج کارگاه بسپارید، تا اینکه اقدام به خرید دستگاه بزرگتری نمائید. بسیار مشاهده شده که صنعتگری دستگاهی بزرگ خریداری نموده، فضای زیادی از کارگاه را به آن اختصاص داده، ولی با آن سفارشات قطعات کوچک را انجام میدهد. قیمت دستگاه مزبور بیش از دودستگاه مناسب کارهای جاری این کارگاه بوده، مزید بر اینکه دقت آن نیز کمتر است.

اگر در زمینه قطعات فلزی فعالیت دارید، نخست باید نوع فلزی که کار میکنید مد نظر باشد. فلزات نرم یا آهن و فولاد؟ فلزات نرم را میتوان بر روی دستگاهی با اسکلت فولادی و با دقت مناسبی ماشینکاری کرد ولی در مورد آهن و فولاد موضوع نیرو های مختلف وارده به دستگاه و مبحث صلبیت دستگاه پیش میاید که نسل دیگری از ماشین ها را میطلبد که طبعاً گرانتر هستند.

و نکته آخر اینکه، با وجود تمام مواردی که ذکر آن رفت، با کسب تجربه و حوصله میتوان از همین ماشین ها و با همان شرایط عنوان شده قطعات با کیفیت و دقت بالا گرفت و اپراتور میتواند با شناخت نقاط ضعف دستگاه خود و با تجربه اندوزی، خطا های دستگاه خود را به صورت جبرانی کاهش دهد.

نادر عطیفه

آبان ۸۹



کارگاه خورشید

[www.SunCNC.ir](http://www.SunCNC.ir)