به نام خدا

گروه ماشین ابزار

دانشگاه فنی و حرفه‌ای کرج

برنامه نویسی فرز کنترل عددی کامپیوتری(CNC)

فهرست

پیش گفتار (صفحه ۳)

۱-یادآوری (صفحه ۴)

۲-تاریخچه و مقدمات (صفحه ۱۳)

۳-اجزای تشکیل دهنده ماشین ابزار CNC (صفحه ۱۹)

۴-برنامه نویسی ماشین فرز CNC (واحد کنترل فانوک) (صفحه ۲۷)

پیش گفتار

اتوماسیون یا خودکار سازی تولید به خصوص تولید انبوه از موضوعات مورد توجه در ابتدای قرن ۲۱، می‌باشد. در حقیقت، هدف آن است که تمام مراحل تولید توسط کامپیوتر و نرم افزارهای موجود در آن کنترل گردد. خودکارترین شکل ساخت در تولید انبوه، ساخت یک پارچه با کامپیوتر (CIM) است. اجزای تشکیل دهنده CIM به دو گروه سخت افزار و نرم افزار تقسیم بندی می‌شوند.

سخت افزار CIM شامل تجهیزاتی مانند ماشین‌های CNC، ربات‌ها، وسایل حمل و نقل ابزار و قطعه کار، سنسورها، وسایل بازرسی، کامپیوترها، چاپگرها، مودم‌ها، کابل‌ها و غیره می‌باشند.

نرم افزار CIM شامل برنامه‌های کامپیوتری است که وظایفی چون مدیریت اطلاعات، فروش، بازاریابی، امور مالی، طراحی و مدل سازی، تحلیل، شبیه سازی، برنامه ریزی فرایند، کنترل و مدیریت کیفیت و غیره را انجام می‌دهند. نرم افزارهایی از CIM که بیشتر با رشته مکانیک مرتبط هستند به قرار زیر می‌باشند:

مدل سازی و طراحی(CAD: Computer Aided Design)

تجزیه و تحلیل(CAE: Computer Aided Engineering)

برنامه ریزی فرایند(CAPP: Computer Aide process Planning)

ساخت(CAM: Computer Aided manufacturing)

کنترل کیفیت(CAQC: Computer Aided Quality control)

به طور کلی در CAD هدف، طراحی و رسم مدل سه بعدی و نقشه‌های اجرایی آن است. در CAE هدف، بررسی میزان تنش، تغییر شکل، انتقال حرارت و...در طرح یا مدل رسم شده است. در CAPP هدف، تعیین نوع و ترتیب فرایندهای ساخت است. در CAM هدف، تهیه برنامه CNC جهت ماشین کاری است. در CAQC : هدف، کنترل کیفیت قطعه کار ساخته شده است.

تعدادی از قطعه کارهای تولید شده توسط ماشین ابزارهای CNC

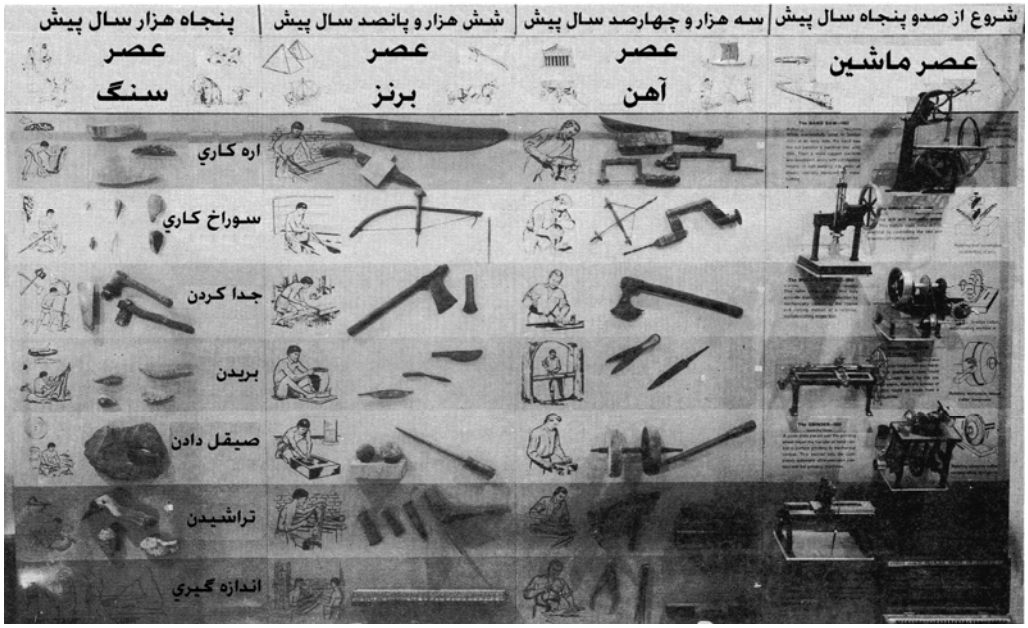
با توجه به این که رشته ماشین ابزار به طور مستقیم با مبحث CAM ارتباط دارد طبیعی است که مستقیماً به سراغ این مبحث برویم اما CAD مقدمه CAM می‌باشد. لذا ابتدا در درس طراحی به کمک کامپیوتر، مبحث CAD مطرح گردید. به عبارت دیگر، CAD برای رشته ماشین ابزار پلی است که از آن عبور می کنیم تا به CAM برسیم. اکنون و در این درس، مبحث CNC و CAM بررسی می‌شوند.

۱

یادآوری

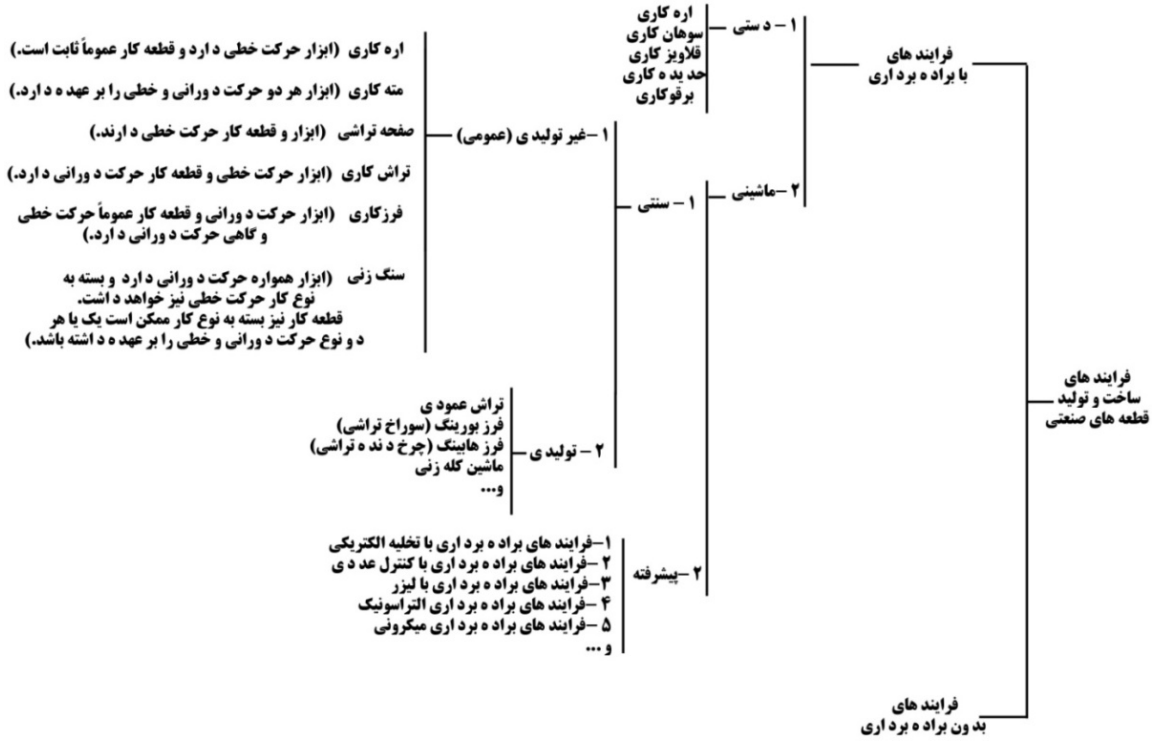
۱-ابزارهای ساخت بشر

در طول دوران گذشته، انسان برای ساختن وسایل مورد نیاز زندگی خود، ابزارآلات مختلفی را ابداع نموده است. در تصویر زیر(برگرفته از کتاب تکنولوژی ماشین ابزار ویرایش۱۹۹۰)، روند پیشرفت انواع ابزارهای ساخت انسان برای انجام کارهای گوناگون نشان داده شده است.



۲-فرایندهای ساخت و تولید در عصر ماشین

اکنون و در عصر ماشین، اغلب فرایندهای ساخت به کمک ماشین‌ها انجام می‌شوند. در نمودار زیر، انواع فرایندهای ماشین‌کاری مطرح شده است. از جمله مهمترین ماشین‌های مورد استفاده در ساخت و تولید، ماشین ابزارها هستند.



نمود ار فرایند های ساخت و تولید قطعه های صنعتی به کمک براد ه برد اری از ماد ه خام (فرایند های بد ون براد ه برد اری آورد ه نشد ه است.)

۳-تعریف ماشین ابزار :

ماشینی دارای الکتروموتور است که حرکت موتور توسط چرخ دنده یا چرخ تسمه به صورت دورانی یا خطی به ابزار منتقل می‌گردد تا با انجام عملیات مشخصی، شکل مورد نظر در قطعه کار ایجاد گردد.

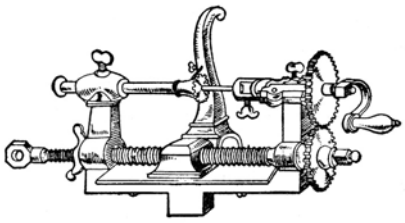
۴-مروری بر تاریخچه ماشین ابزار :

نکته ۱: شروع پیشرفت در براده برداری از فلز، بیشتر در قرن‌های ۱۸ و ۱۹ میلادی هم گام با انقلاب صنعتی بوده است.

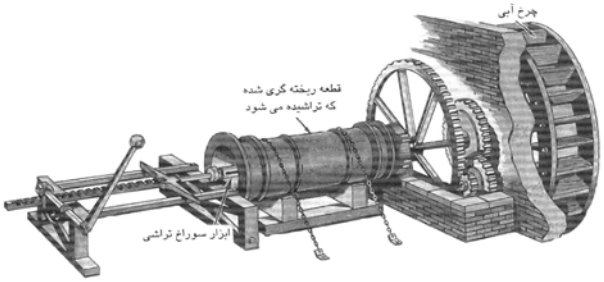
نکته ۲: موتورهای برقی در سال ۱۹۲۰ معرفی شدند و به جای نیروی بخار، مورد استفاده قرار گرفتند.

-۱۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح : ساخت ماشین‌های تراش و دریل کمانی دستی برای کار بروی چوب

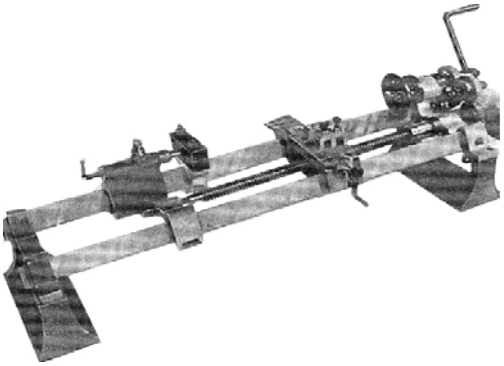
-۱۷۴۰ میلادی : ساخت اولین ماشین تراش دستی در فرانسه(شکل زیر)



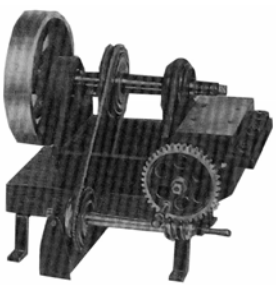
-۱۷۷۴ میلادی : ساخت اولین ماشین ابزار به نام چرخ سوراخ تراشی توسط مخترع انگلیسی جان ویلکینسون- به کمک این ماشین ابزار، جیمز وات توانست ماشین بخار خود را کامل کند (شکل زیر).



-۱۷۹۷ میلادی : ساخت اولین ماشین تراش با قابلیت رزوه تراشی توسط استاد ابزار سازی به نام هنری مادسلی-ماشین تراش مادسلی پدربزرگ تمام ماشینهای براده برداری مدرن امروز محسوب می گردد(شکل زیر).



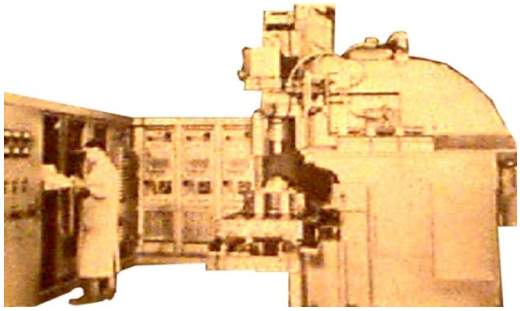
-۱۸۲۰ میلادی : ارائه ماشین فرز اولیه ای توسط الای ویتنی مخترع و تولید کننده آمریکایی (شکل زیر)



-دهه ۱۸۶۰ میلادی : ساخت اولین ماشینهای سنگ زنی جدید توسط شرکت **Brown & Sharpe**

-۱۹۴۳ میلادی : ساخت اولین ماشین تخلیه الکتریکی (اسپارک) توسط دو برادر روسی به نام لازارنکو

-۱۹۵۲ میلادی : ساخت اولین ماشین فرز **CNC** در امریکا

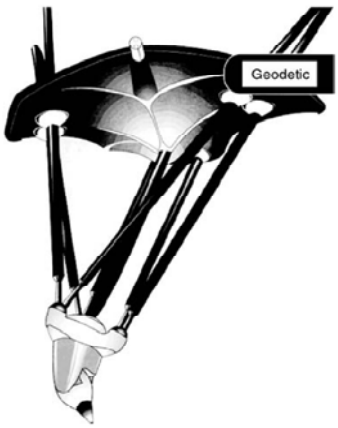


-۱۹۵۸ میلادی : معرفی مراکز ماشین کاری(ماشین ابزاری که انواع کارهای مته کاری، تراش کاری و فرزکاری را انجام می‌دهد)

-۱۹۶۸ میلادی : معرفی ماشین ابزار **DNC** که در آن ماشین ابزار با یک کامپیوتر شخصی ارتباط داده می شود.

-۱۹۷۹ میلادی : معرفی سیستمهای تولید انعطاف پذیر (**FMS**) که در آن تمام فرایند تولید زیر نظر کامپیوتر است.

-دهه ۱۹۹۰ میلادی : ظهور اولین ماشین ابزارهای با ساختار موازی(مانند ماشین ابزار شش پایه در شکل‌های زیر)



۵-انواع ماشین ابزار

الف-از نظر روش تولید

۱-ماشین ابزار براده برداری مانند تراش، سنگ، اسپارک

۲-ماشین ابزار غیر براده برداری مانند نورد، پرس، لوله خم کن

ب-از نظر حجم تولید

۱-ماشین ابزار عمومی برای ساخت قطعه کارهای متفاوت با تعداد کم(مانند تراش یا فرز معمولی)

۲-ماشین ابزار تولیدی برای ساخت قطعه کارهای یکسان با تعداد زیاد(مانند هابینگ یا بورینگ)

ج-از نظر نوع ابزار مورد استفاده

۱-ماشین ابزاری که از ابزار تک لبه استفاده می‌کند(مانند تراش).

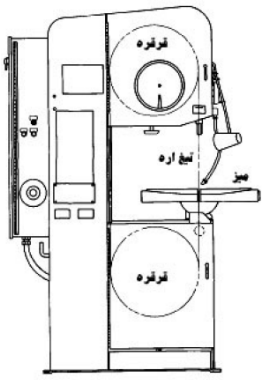
۲- ماشین ابزاری که از ابزار چند لبه استفاده می کند(مانند فرز).

۳- ماشین ابزاری که از ابزار خاص استفاده می کند(مانند سنگ، اسپارک، لیزر).

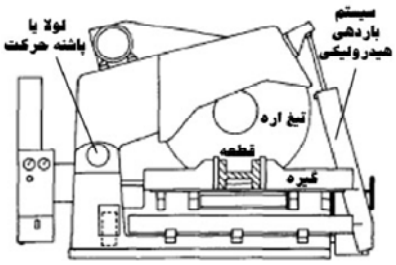
۶-انواع ماشین ابزار براده برداری

۱-ماشین اره : یکی از انواع ماشین ابزار با براده برداری است که در آن ابزار حرکت خطی یا دورانی دارد و قطعه کار ثابت است. انواع آن عبارتند از :

۱-ماشین اره کمان اره ای یا رفت و برگشتی



۲-ماشین اره نواری

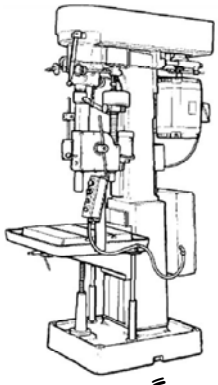


۳-ماشین اره مدور

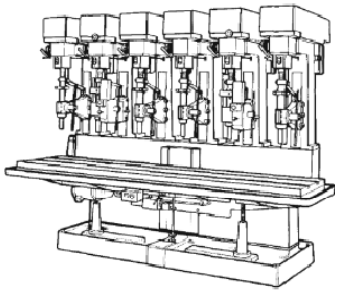
۲-ماشین مته : یکی از انواع ماشین ابزار با براده برداری است که در آن ابزار به طور هم زمان حرکت دورانی و خطی دارد و قطعه کار ثابت است. انواع آن عبارتند از :

پرتابل (قابل حمل)

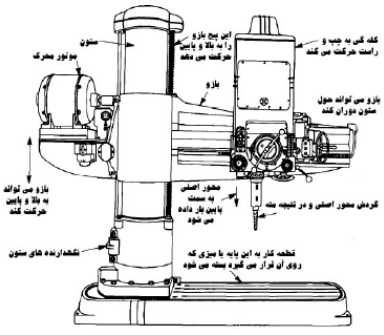
سبک



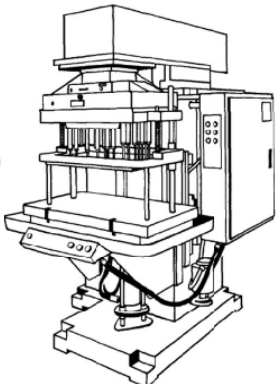
سنگین



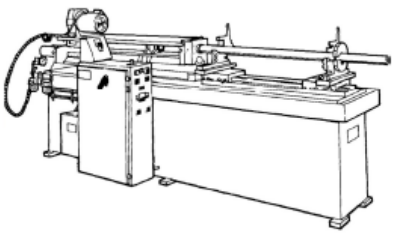
گروهی



شعاعی (رادیال)



چند محور



مته کاری عمیق

مته کاری سوراخ ریز

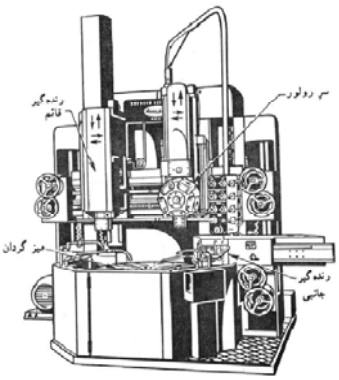
ماشین مته تارت دار، ماشین‌های مته مخصوص، واحدهای مته کاری خودکار و مته CNC از انواع دیگر ماشین‌های مته هستند.

۳-ماشین تراش : یکی از انواع ماشین ابزار با براده برداری است که در آن ابزار حرکت خطی و قطعه کار حرکت دورانی دارد. انواع آن عبارتند از : ماشین تراش موتور دار که عمومی‌ترین ماشین تراش است خود به انواع رومیزی، معمولی، ابزارسازی، تولیدی و مخصوص (مانند گپ دار، عمودی، پیشانی تراش) تقسیم می شود.

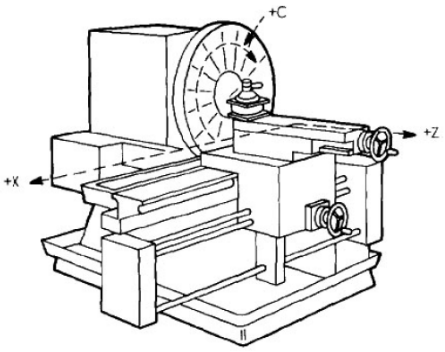
رومیزی

معمولی

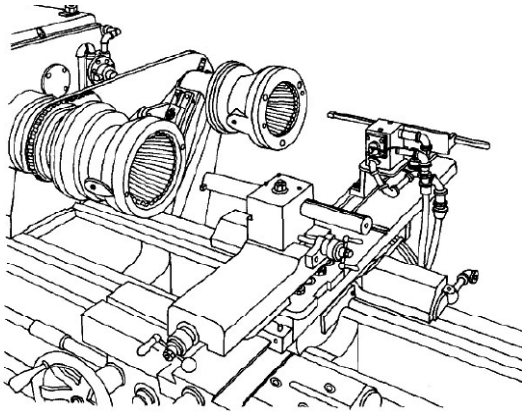
ابزارسازی



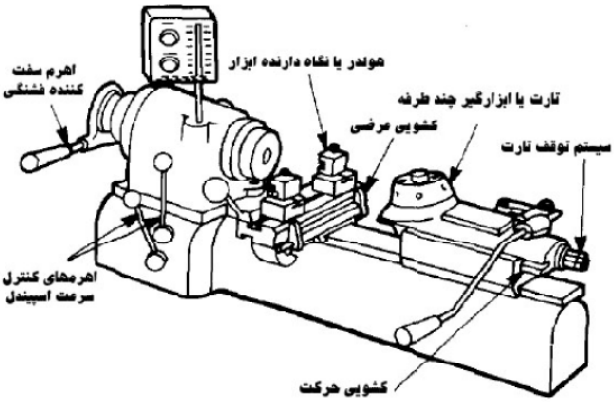
مخصوص (عمودی)



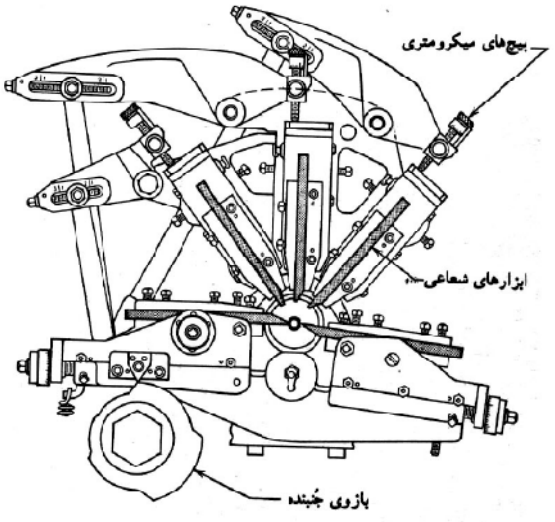
مخصوص (پیشانی تراش)



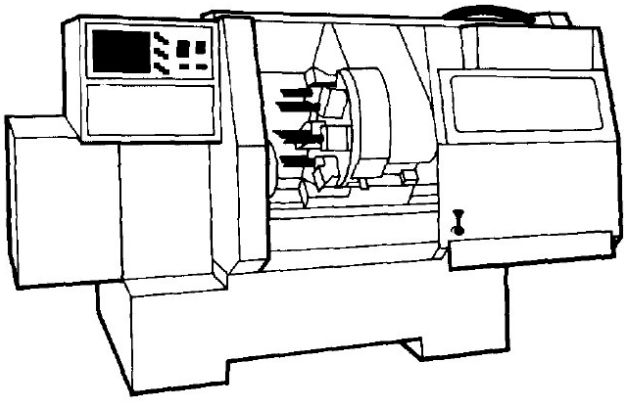
ماشین تراش فرم



ماشین تراش تارت دار



ماشین تراش خودکار یا چندکاره (مانند ماشین تراش پیچ ساز طرح سوئیسی شکل فوق یا ماشین‌های چند محور)



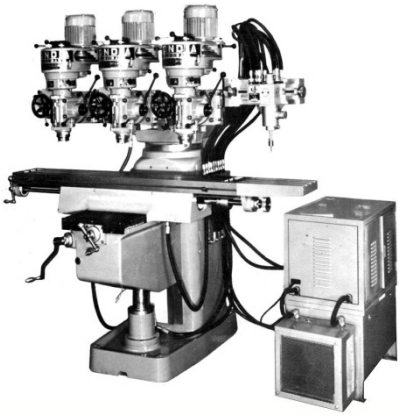
ماشین تراش CNC

۴-ماشین فرز : یکی از انواع ماشین ابزار با براده برداری است که در آن ابزار حرکت دورانی و قطعه کار حرکت خطی یا دورانی دارد. انواع آن عبارتند از :

با پیشروی دستی

ماشین فرز ستونی-زانویی

ماشین فرز با میز ثابت

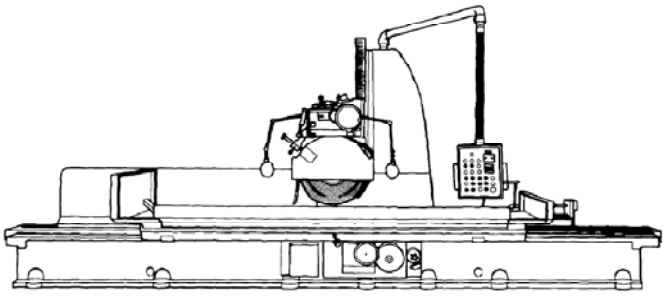


کپی تراش

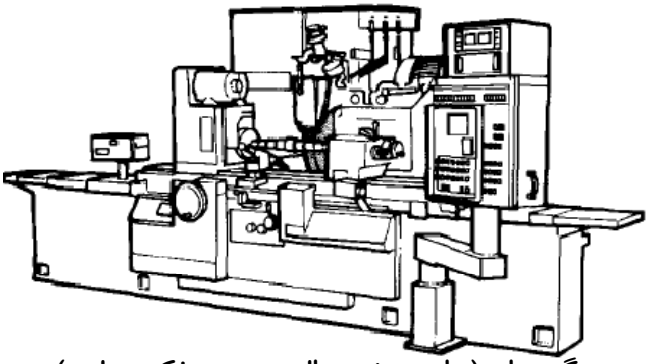
فرز CNC

فرزهای خاص

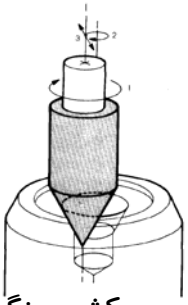
۵-ماشین سنگ: یکی از انواع ماشین ابزار با براده برداری است که در آن ابزار حرکت دورانی و خطی و قطعه کار نیز حرکت دورانی یا خطی دارد. انواع آن عبارتند از :



تخت سایی(افقی و عمودی با میز رفت و برگشتی و گردان)



گردسایی(ساده-یونیورسال-بدون مرغک-مداری)



خاص(ابزار تیز کن، تک منظوره، پروجکشن، سنگ زنی سوراخ مرغک(شکل فوق) و ...)

۷-ابزار براده برداری

الف-تاریخچه

-قرن ۱۸ میلادی : بیشتر قطعه کارهای تراشیده شده از جنس چوب بود.

- ابتدای قرن ۱۹ میلادی : سرعت ماشین کاری بسیار کند بود(مثلاً صفحه تراشی یک صفحه آهنی $1/5\ m^2$ طی یک روز کاری)

- قبل از ۱۹۰۰ میلادی : ابزارهای فولاد کربنی از طریق آهنگری ساخته می شدند.

-۱۹۱۵ میلادی : معرفی آلیاژهای ریختگی(آلیاژهای غیر آهنی دارای کبالت، کرم، تنگستن)با مقاومت تا ۸۰۰ سانتی گراد(ماشین کاری که با ابزار HSS، ۲۶ دقیقه زمان می برد با ابزار آلیاژی ۱۵ دقیقه طول می کشید.)

-۱۹۳۰ میلادی : فولاد تُندبُر سوپر حاوی مقدار بیشتری آلیاژ کبالت

-دهه ۱۹۳۰ میلادی : دوران کاربیدهای سمانته و ایجاد انقلابی در ماشین کاری(ماشین کاری که با ابزار HSS، ۲۶ دقیقه و با ابزار آلیاژی ۱۵ دقیقه طول می کشید با کاربید سمانته ۶ دقیقه زمان می برد. اگر ماشین کاری قطعه کاری در سال ۱۹۰۰، صد دقیقه طول می‌کشید در ۱۹۸۰ با ابزار کاربید سمانته، یک دقیقه زمان لازم داشت.)

-دهه ۱۹۵۰ میلادی : ساخت اینسرت‌های سرامیکی

-دهه ۱۹۶۰ : معرفی سرمت‌ها(سرمت‌ها تا دهه ۸۰ و ۹۰ منتظر ماندند تا ماشین‌های مناسب جهت کاربرد آن‌ها ساخته شوند.)

ب-انواع از نظر جنس

۱- فولاد ابزارسازی : فولاد ابزارسازی متشکل از آهن و ۱ تا ۱/۲ درصد کربن است و تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد قدرت براده برداری خود را حفظ می نماید. قدرت براده برداری کم این ماده باعث حذف آن از صنعت گردید.

۲- فولاد ابزار آلیاژی تندبر: متداول‌ترین جنس مورد استفاده در ساخت ابزار براده برداری است که علاوه بر کربن دارای عناصری نظیر ولفرام و کبالت می باشد به همین دلیل به فولاد آلیاژی معروف است. قدرت برش خود را تا ۹۰۰ درجه حفظ می کند و در سرعتهای برش بالا استفاده می شود به همین جهت به فولاد تندبر **(High Speed Steel (HSS** معروف شده است.

۳- کاربیدهای سمانته : این مواد متشکل از کربن و یک فلز دیرگداز مانند تنگستن (کاربید تنگستن) یا تیتانیم (مانند کاربید تیتانیم) هستند و به همین دلیل به کاربیدهای سمانته (سخت) معروف شده اند. این مواد فاقد آهن هستند و با توجه به این که سختی ذاتی و فوق‌العاده بالایی دارند نیازی به سخت کاری آن‌ها نیست. به صورت تکه‌هایی ساخته می‌شوند که به آن‌ها اینسرت(Insert) اطلاق می گردد. اینسرت بروی نگاه دارنده‌ای به نام هولدر بسته می شود.

۴- سرامیک : سرامیک ها مواد معدنی با نقطه ذوب بالا هستند که با تغییر درجه حرارت، سختی ثابتی دارند در نتیجه می توانند ماشین کاری با سرعت های بالا را اجرا نمایند. تنها عیب سرامیک شکنندگی آن است. سرامیک ها در برابر سایش و شوک حرارتی مقاومت بالایی دارند و با مواد شیمیایی به سرعت واکنش نمی دهند.

۵- سرمت : سرمتها ترکیبی از سرامیک و فلز هستند. این مواد از سرامیکهای غیر اکسید شونده (Tic & Tin) به عنوان مواد سخت تشکیل می شوند و مقاومت سایشی آنها با یک چسب فلزی (مانند نیکل) تأمین می گردد. سرمتها بهترین خواص فلزها و سرامیکها را در خود ادغام کرده اند به این ترتیب که بیشترین مقاومت سایشی و تافنس (ضربه پذیری) را دارا هستند.

ج)انواع از نظر نوع ماشین ابزار مورد استفاده

۱-در ماشین اره : تیغ اره صلب، نواری و مدور(نکته : گام دندانه تیغ اره تغییر می‌کند. برای فلزات نرم از گام بزرگتر(دندانه درشت‌تر) استفاده می شود و برعکس.)

۲-در ماشین مته : مته کم پیچ، معمولی و پُر پیچ(نکته : مثالهایی از انواع مته های امروزی : مته بلند با شیار مستقیم، مته با سوراخ هدایت مایع خنک کننده، مته های ۳ و ۴ شیاره، مته‌های پله دار، مته برقو، مته های اینسرت دار و ...)

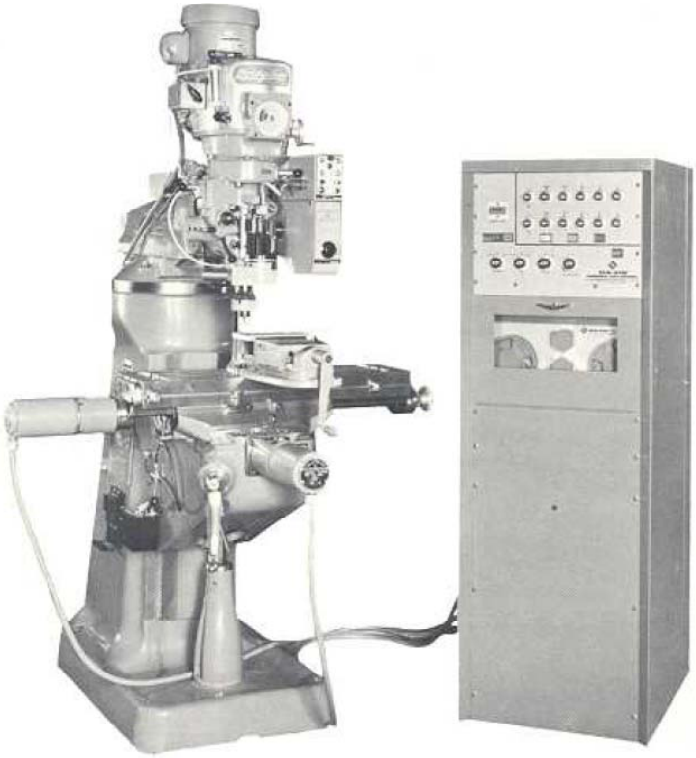
۳-در ماشین تراش : ابزار خارج تراشی و داخل تراشی یا راست تراشی و چپ تراشی یا خشن تراشی و پرداخت تراشی

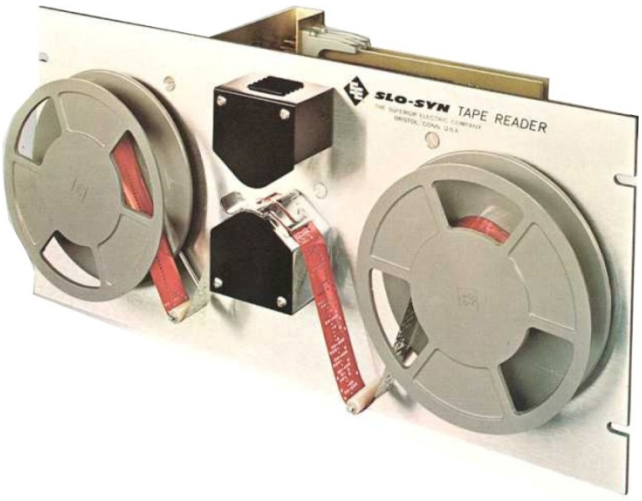
۴-در ماشین فرز : تیغ فرز با دندانه های فرزکاری شده(سنگ زنی سطح آزاد)، تیغ فرز با دندانه های پشت تراشی شده (سنگ زنی سطح براده) یا تیغ فرز عمودی تراش و افقی تراش

۵-در ماشین سنگ : مواد ساینده طبیعی، مواد ساینده مصنوعی(اکسید آلومینیم-کاربید سیلیسیم-ابر ساینده‌ها)

۲

تاریخچه و مقدمات

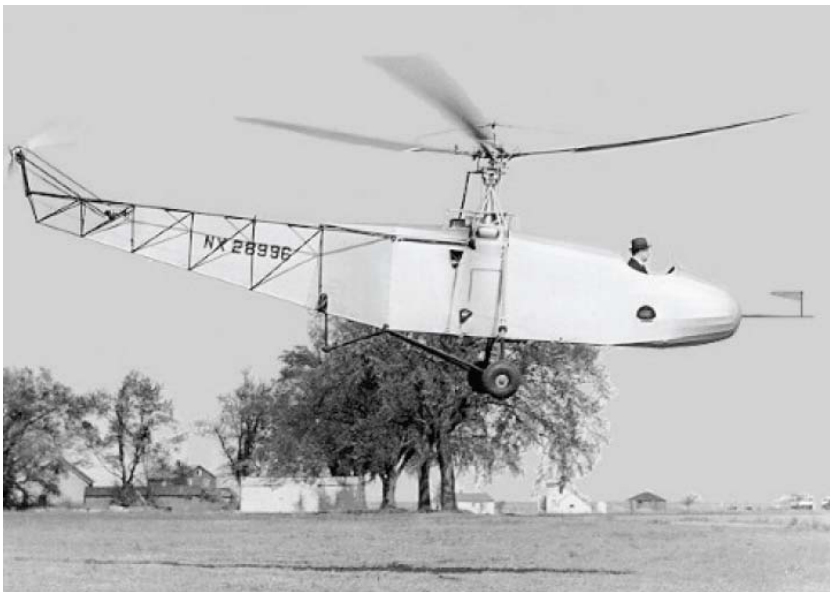




CNC -۸

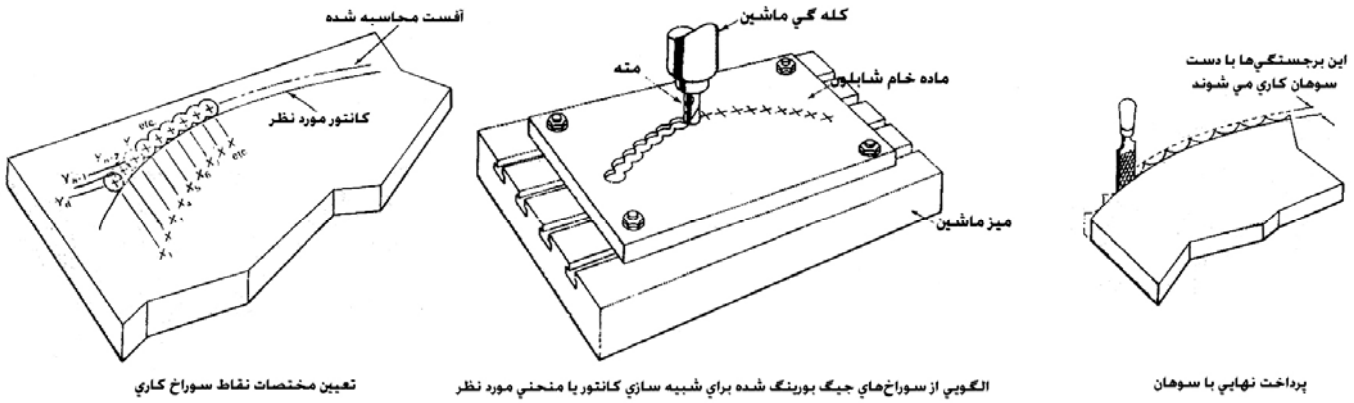
الف-تاریخچه

تاریخچه ساخت ماشین ابزار CNC با ساخت تیغه هلی‌کوپتر آغاز می شود.



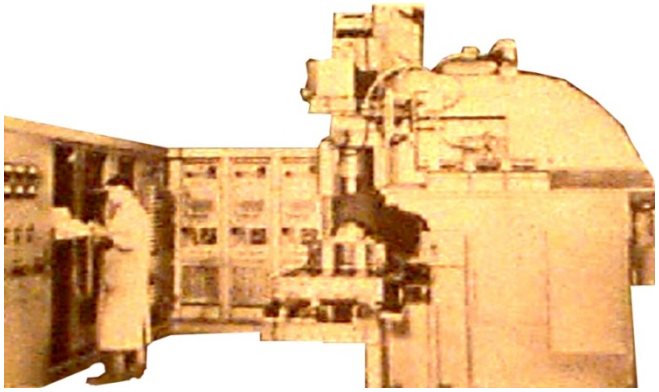
هلی‌کوپتر v300 ایگور سیکورسکی

شرکت پارسن در شهر تراورس میشیگان امریکا برای ساخت تیغه‌های هلی‌کوپتر نیازمند تولید صفحات راهنمای دقیق بود. مهندسین این شرکت با استفاده از کامپیوترهای الکترونیکی آن زمان، مختصات X و Y نقاط مختلف کانتور یا منحنی هر صفحه راهنما را تعیین می‌کردند. سپس با هدایت ماشین مته دقیق به هر مختصات، یک سوراخ در آن نقطه ایجاد می‌گردید. پس از انجام سوراخ کاری، از طریق سوهان کاری دستی، منحنی به شکل دقیق خود نزدیک می‌شد(شکل زیر). در نهایت این صفحات راهنما به عنوان کنترل کننده حرکت ماشین تولید کننده تیغه مورد استفاده قرار می‌گرفتند و در دستگاه کنترل قرار داده می‌شدند(مانند یک بادامک). اگر چه پیشرفت‌هایی در ایجاد و تعیین منحنی‌ها و مقدار آفست آن‌ها از طریق ریاضی حاصل شده بود اما کاربرد این روش مشکلات گوناگونی را به همراه داشت و هزینه و زمان زیادی را موجب می‌گردید. به خصوص این که برای ساخت تیغه‌های هلی‌کوپتر با فرم‌های مختلف به ۵۰ صفحه راهنما نیاز بود. همچنین پیشروی ماشین مته دقیق نیز با دست انجام می‌شد.



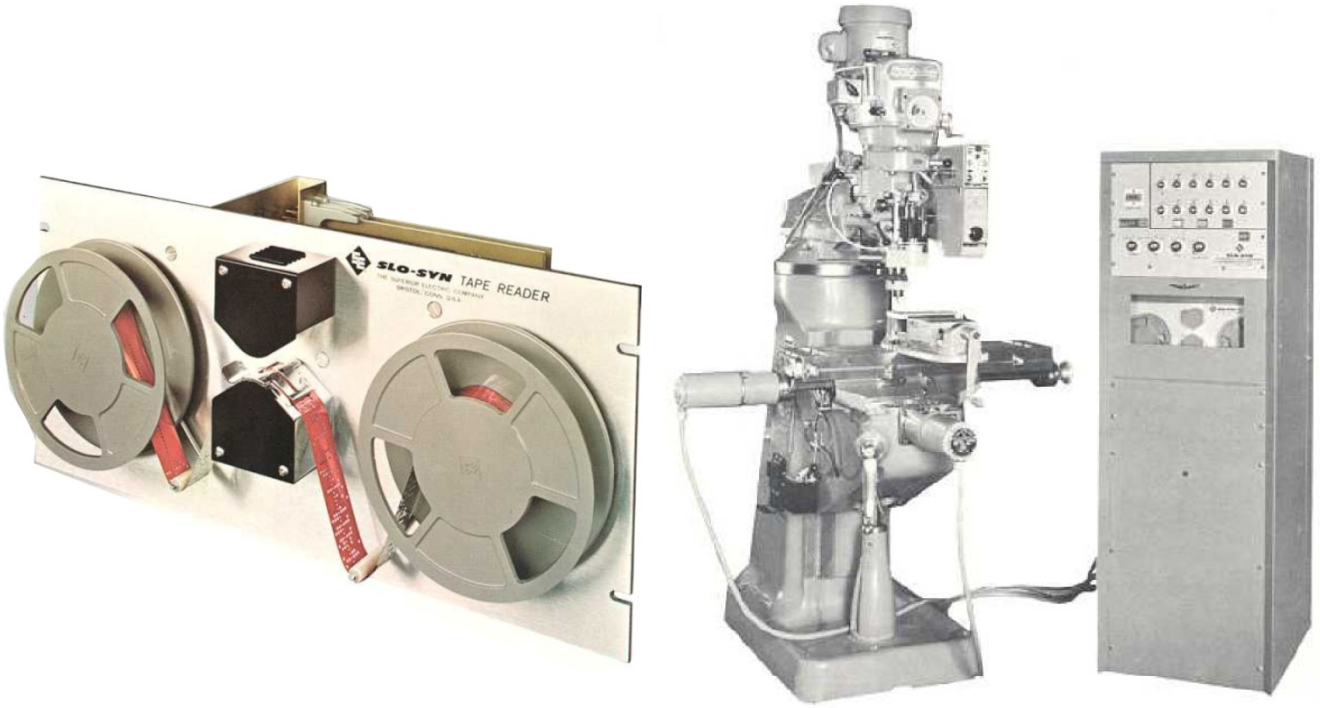
مراحل تولید صفحه‌های راهنمای دقیق برای ساخت تیغه هلی‌کوپتر

برای بهبود روند کار، پیشنهاد گردید که از کامپیوتر استفاده شود تا ماشین ابزار مسیرهای محاسبه شده برای ابزار را در فواصل کوتاه و به صورت افزایشی طی کند. در سال ۱۹۴۹ میلادی این پیشنهاد به نیروی هوایی امریکا ارائه گردید و برای اجرای آن با آزمایشگاه سرو مکانیزم دانشگاه MIT قراردادی منعقد شد. مدتی بعد و در سال ۱۹۵۲ این آزمایشگاه توانست اولین ماشین فرز CNC مجهز به واحد کنترل با امکان حرکت در راستای سه محور مختلف را طراحی نماید و بسازد(شکل زیر). در این ماشین فرز به جای استفاده از سیستم کپی، سیستم کنترل عددی جایگزین شده بود که اطلاعات لازم را به سیستم سرو منتقل می‌نمود و حرکت محورها نیز از طریق فیدبک ثبت می‌شد. واحد کنترل ماشین، کُدها را رمزگشایی و به محورهای حرکتی ارسال می‌کرد. مقدار بار در هر محور نیز متغیر بود.



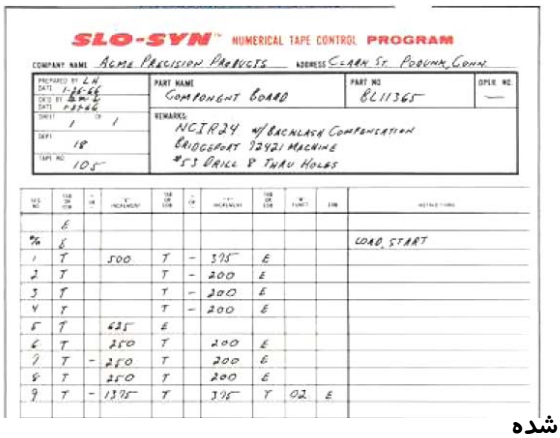
ب- NC

از آن جا که فناوری CNC فناوری بسیار قابل توجهی بود شرکت‌های بسیاری برای رشد آن سرمایه گذاری کردند. مثلاً نیروی هوایی امریکا برای خرید چنین سیستمی جهت ساخت موتور هواپیما قراردادی منعقد نمود که البته استفاده عملی از آن در سال ۱۹۵۷ میسر گردید. با این وجود، کاربرد عمومی‌تر ماشین ابزار CNC تا ساخت کامپیوترهای اقتصادی و ارزانتر به تعویق افتاد. در این مدت به جای استفاده از کامپیوتر به عنوان کنترل کننده از سیستم‌های کنترل الکتریکی-مکانیکی(نوار خوان)مشابه نوارهای کاست استفاده می‌گردید که به سیستم‌های کنترل NC معروف بودند(شکل زیر).



یک ماشین فرز NC و سیستم نوار خوان کنترلر آن یک نمونه دستگاه نوار خوان فتوالکتریک ماشین NC

در ماشین ابزار NC پس از بررسی نقشه و نوشتن برنامه کنترل توسط برنامه نویس برای تولید آن با استفاده از تجهیزات پانچ نوار، برنامه نوشته شده به یک نوار پانچ تبدیل می‌گردد(شکل‌های زیر).

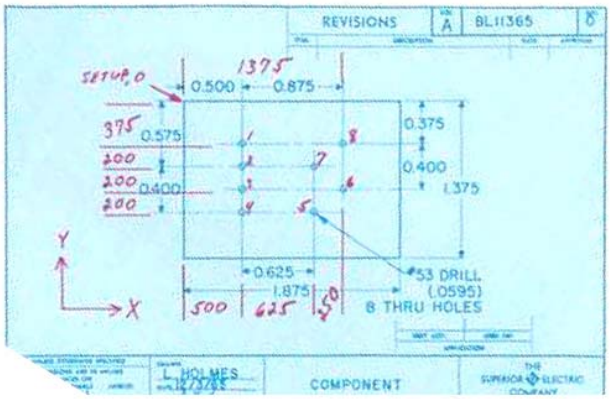

SLO-SYN NUMERICAL TAPE CONTROL PROGRAM

COMPANY NAME ACME PRECISION PRODUCTS ADDRESS CLARK ST. PODUNK, CONN.

PART NAME COMPONENT BOARD — PART NO BL11365 — OPER. NO. —

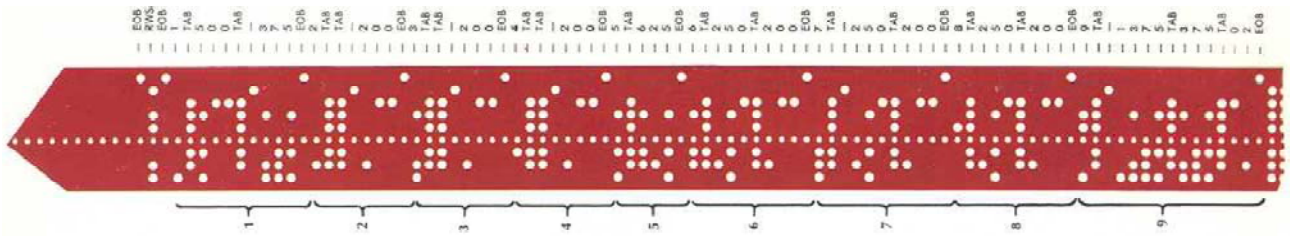
REMARKS: NCIR24 w/ BACKLASH COMPENSATION, BRIDGEPORT 72421 MACHINE, #53 DRILL & THRU HOLES

	E									
%	E									LOAD, START
1	T		500	T	-	375	E			
2	T			T	-	200	E			
3	T			T	-	200	E			
4	T			T	-	200	E			
5	T		625	E						
6	T		250	T		200	E			
7	T	-	250	T		200	E			
8	T		250	T		200	E			
9	T	-	1375	T		375	T	02	E	



نقشه و برنامه نوشته شده

تجهیزات پانچ نوار



بخشی از نوار پانچ شده

نوار پانچ در کنترل کننده NC قرار می‌گیرد و موتورها و ماشین را کنترل می‌کند(شکل زیر).

ج-تعریف NC و CNC و DNC طبق استاندارد ISO 2806

-NC : کنترل خودکار یک فرایند توسط وسیله‌ای که از داده‌های عددی استفاده می‌کند.

CNC : اجرای NC توسط کامپیوتر

DNC (Distributed Numerical Control یا کنترل عددی توزیع شده) : سیستمی جهت توزیع اطلاعات بین کامپیوتر مدیریت کننده تولید و سیستم‌های کنترل عددی

DNC (Direct Numerical Control یا کنترل عددی مستقیم) : سیستمی که مجموعه‌ای از ماشین‌های کنترل عددی را به یک حافظه مشترک (کامپیوتر مشترک) متصل می‌کند.

د-انواع کنترل

قبل از آن که CNC یا کنترل عددی کامپیوتری پدیدار شود ماشین ابزارهای با کنترل خودکار وجود داشتند. مثلاً ماشین ابزارهای با کنترل مکانیکی، به صورت مکانیکی و توسط اهرم‌ها و بادامک‌ها و... کنترل می‌شدند. برخی از این ماشین‌ها بیش از ۱۲ صفحه بادامکی داشتند که نه تنها ابزار، میز و حرکت‌های دورانی بلکه باز و بسته کردن فیکسچرهای قطعه کار را نیز کنترل می‌کردند. تنظیم این ماشین‌ها مشکل و زمان بر بود اما برای تولید انبوه مناسب بودند. در حقیقت، کنترل مکانیکی(MC)، کنترل هیدرولیکی(HC)، کنترل پنوماتیکی(PC)، کنترل الکتریکی(EC) و کنترل های ترکیبی(مکانیکی-هیدرولیکی-پنوماتیکی-الکتریکی) تا قبل از پدیدار شدن کنترل عددی(NC) و کنترل عددی کامپیوتری(CNC) وجود داشتند.

برخلاف کنترل‌های قدیمی که در آن‌ها با تغییر محصول مورد تولید باید سخت افزار کنترلر(مثلاً بادامک، شیر هیدرولیکی، سیم پیچ و...)تغییر داده می‌شد در کنترل عددی(NC) تنها کافی بود که برنامه داده شده به کنترلر تغییر کند تا بتوان محصول جدید را تولید نمود. به این ترتیب انعطاف پذیری در تولید افزایش یافت. البته تنظیم و اپراتوری اولین ماشین‌های NC بدون حافظه داخلی نیز مشکل بود ولی برای تولید انبوه عالی بودند. با این حال در ابتدا همین ماشین‌ها نیز تنها توسط کارگاه‌های بسیار ثروتمند و قدرتمند قابل خریداری بودند و برنامه نویسی آن‌ها طولانی و فرایند اجرا در آن‌ها همراه با خطا بود.

با ارائه کامپیوترهای شخصی و همه گیر شدن آن‌ها در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، کاربرد CNC نیز همه گیر شد و این نوع کنترل به خصوص در انواع ماشین ابزار، رایج و جایگزین NC گردید.

ه-تفاوت‌های ماشین ابزار NC و CNC

با توجه به مطالب ذکر شده، عمده تفاوت ماشین‌های NC و CNC استفاده از کامپیوتر به عنوان واحد کنترل در ماشین‌های CNC است. این ویژگی باعث شده است که:

۱-ماشین‌های CNC به راحتی می‌توانند با سایر ماشین‌های CNC و ربات‌ها مرتبط شوند.

۲-برنامه‌های نوشته شده به روی نمایشگر دستگاه CNC قابل تست و مشاهده است تا به این ترتیب هر گونه عیب برنامه بر طرف و سپس به ماشین ارسال گردد.

۳-در ماشین‌های NC برنامه به صورت خط به خط خوانده و اجرا می شود. در صورتی که در ماشین‌های CNC تمام خطوط برنامه خوانده و سپس به صورت خط به خط اجرا می‌شوند. در نتیجه اگر اشتباهی در خطوط برنامه وجود داشته باشد واحد کنترل آن را تشخیص می‌دهد.

۴-در CNC جبران شعاع ابزار به راحتی قابل انجام است و نیازی به محاسبات اصلاح مسیر نیست. این مزیت از مهم‌ترین تفاوت‌های بین ماشین‌های NC و CNC است.

۵-برنامه نویسی قطعات پیچیده از جمله رویه‌های هندسی به غیر از برنامه نویسی پارامتریک فقط توسط زبان APT و نرم افزارهای CAM/CAD میسر می‌باشد که در ماشین‌های NC این امکان وجود ندارد.

۶-در ماشین‌های CNC ، خودکار سازی به صورت نرم افزاری است (نه سخت افزاری) و در نتیجه هر گونه تغییر و اصلاح به راحتی و با کمترین هزینه در حداقل زمان امکان پذیر است.

در حال حاضر کاربرد ماشین‌های NC منسوخ شده است و انواع مختلف ماشین‌های CNC در صنعت یکه تازی می‌کنند.

و-مزایا و معایب ماشین ابزار CNC

مهمترین مزایای ماشین ابزار CNC به قرار زیر است:

۱-سرعت و دقت ماشین کاری بالا

۲-کاهش زمان تنظیم و زمان ماشین کاری و خطای اپراتور

۳-امکان ساخت قطعات پیچیده

۴-انعطاف پذیری بالا : در CNC به دلیل نرم افزاری بودن کنترل، هرگونه تغییر، اصلاح و یا ارتقای تولید به راحتی با اضافه یا پاک نمودن اعداد، حروف و علائم میسر می باشد.

۵-کاهش هزینه تولید(اعم از هزینه ساخت قید و بند و ابزار)

۶-تکرارپذیری

۷-امکان کاربرد CNC در انواع تولید تک، دسته‌ای و انبوه

معایب ماشین ابزار CNC به قرار زیر است:

۱-قیمت بالای ماشین ابزار و هزینه بالای تعمیر و نگاه‌داری آن

۲-نیاز به آموزش اولیه در زمینه اپراتوری و برنامه نویسی

ز-انواع ماشین ابزار CNC

همان طور که گفته شد CNC یک سیستم کنترل است و بنابراین بروی انواع ماشین ابزار قابل نصب می‌باشد. در فهرست زیر، تعدادی از انواع ماشین ابزار با کنترل CNC ذکر شده‌اند.

۱-ماشین اره(نواری و دیسکی)

۲-ماشین مته

۴-ماشین تراش

۵-ماشین فرز(مثلاً فرز معمولی، فرز هابینگ و فرز بورینگ)

۶-ماشین سنگ

۷-مرکز ماشین کاری(ترکیبی از ماشین ابزار مختلف مانند مته، تراش فرز یا سنگ)

۸-ماشین برش(لیزر، پلاسما، جت آب)

۹-ماشین تخلیه الکتریکی(مته تخلیه الکتریکی یا سوپر دریل، اسپارک، وایرکات)

۱۰-ماشین پرس پانچ

۱۱-ماشین خم(خم صفحه، خم لوله، خم میله)

۱۲-ماشین اندازه گیری مختصاتی(CMM)

۳

اجزای تشکیل دهنده ماشین ابزار CNC

۱۰-اجزای ماشین ابزار CNC

فردریش دکل در سال ۱۹۰۳ میلادی شرکتی را در مونیخ آلمان بنیان گذاری نمود که به یکی از بزرگترین سازندگان شاتر دوربین و ماشین ابزار تبدیل گردید. این شرکت از اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی تا حد زیادی بر ماشین ابزار تمرکز نمود. به خصوص سری FP ماشین‌های فرزکاری این شرکت در جهان به عنوان یک ماشین بسیار دقیق و یونیورسال شهرت پیدا کرد.

شرکت ماشین سازی تبریز در ایران ماشین فرز یونیورسال FP4M شرکت دکل و دو مدل CNC آن یعنی FP4ME و FP4MB را می سازد.

فرز یونیورسال مدل FP4M

فرز CNC مدل FP4ME

با مقایسه ظاهر دو تصویر بالا تفاوت‌های زیر مشاهده می‌گردد:

۱-حذف فلکه‌های دستی در فرز CNC (و اضافه شدن فلکه دستی دیجیتالی(شکل روبرو))

۲-تغییر صفحه کلید ساده فرز یونیورسال به صفحه کلیدی با دکمه‌های متعدد همراه مانیتور نمایش دهنده در ماشین CNC

۳-حذف سلکتور انتخاب سرعت دوران در ماشین CNC

۴-اتصال یک موتور به طور مستقیم به پیچ حرکت عرضی کله‌گی(محور Y)

از طریق مشاهده ساده این دو تصویر، می‌توان گفت که به طور کلی دو نوع تغییر در ماشین CNC ایجاد شده است:

۱-تغییر در اجزای ماشین ابزار

۲-تغییر در کنترل ماشین ابزار

با مقایسه دقیق‌تر، می‌توان گفت که تغییرات در اجزای تشکیل دهنده ماشین ابزار CNC شامل سه بخش می باشد:

الف-تغییر اجزای مکانیکی(مثلاً پیچ‌ها و ریل‌های حرکتی)

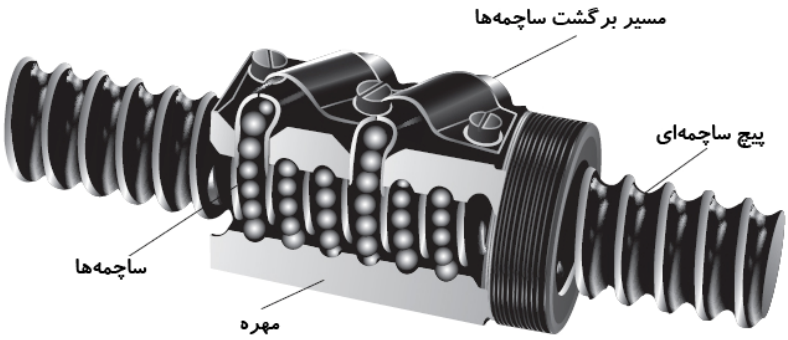
ب-تغییر موتورها

ج-اضافه شدن تجهیزات اندازه گیری

۱-۱۰-تغییر در اجزای تشکیل دهنده ماشین ابزار

الف-تغییر اجزای مکانیکی(پیچ‌ها و ریل‌های حرکتی)

برای تأمین حرکت پیشروی محورها معمولاً از مکانیزم پیچ و مهره ساچمه‌ای استفاده می‌شود. این پیچ‌ها سایش و لقی را به حداقل می‌رسانند زیرا فضای بین پیچ و مهره با ساچمه‌های بسیار دقیق پر شده است. به این ترتیب بین پیچ و مهره حرکت غلتش صورت می‌گیرد(نه لغزش). با وجود ساچمه‌های دقیق، لقی در هنگام معکوس شدن جهت حرکت به حداقل می‌رسد و حرکتی بسیار نرم و دقیق حاصل می‌شود.



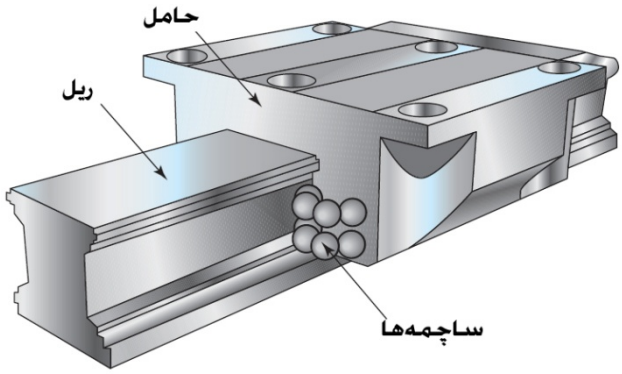
پیچ ساچمه ای یا Ball Screw

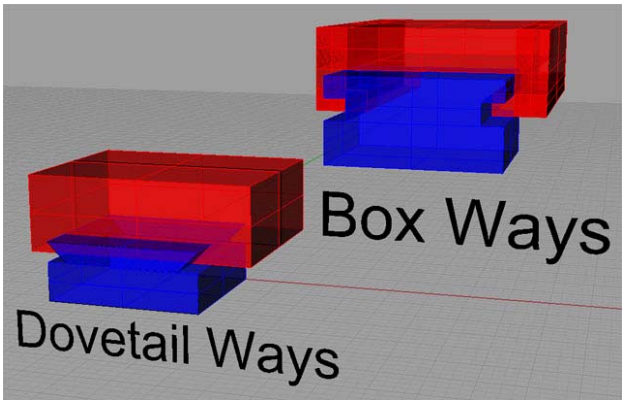
ریل راهنما عامل حرکت صحیح محورها است که از جمله رایج‌ترین آن‌ها در ماشین ابزارها انواع دم چلچله(Dovetail way)، جعبه‌ای(Box way) و خطی(Linear way) هستند.

ریل‌های راهنمای جعبه‌ای سطح تماس بزرگی دارند که باعث افزایش پایداری و در نتیجه جذب بهتر ارتعاشات و شوک‌های ناشی از ماشین کاری می شوند.

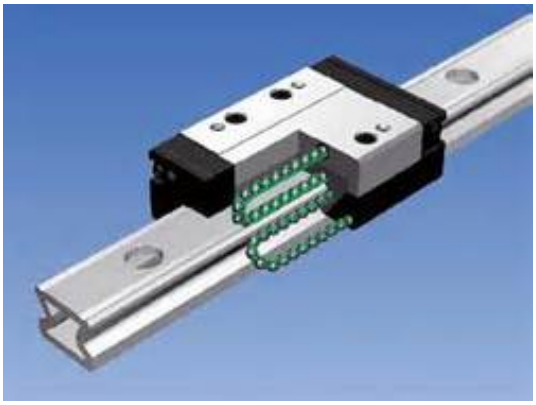
با این همه به خاطر سطح تماس بزرگ نمی توانند تلرانس های ابعادی دقیقی را فراهم کنند. همچنین سرعت نه چندان بالایی که در اثر سطح تماس بزرگ ایجاد می شود باعث شده است تا از این نوع راهنماها بیشتر در ماشین های بزرگ و در ماشین هایی که برای عملیات ماشین کاری سنگین به کار می روند استفاده شود.

راهنمای خطی بر پایه حرکت غلتشی ساخته شدند. از این نوع راهنماها بیشتر در دستگاه هایی که به سرعت بالای ماشین کاری نیاز دارند استفاده می گردد. این راهنماها از نظر سطح تماس به دو دسته نقطه‌ای (Ball way) و خطی (Roller way) تقسیم می‌شوند. با کمتر شدن سطح تماس، میزان اصطکاک کمتر شده است و حرکت نرمتر و سریعتری ایجاد می گردد که دقت و تکرارپذیری آن بهبود یافته است. البته سطح تماس کم، عدم قابلیت جذب و خنثی کردن ارتعاش در ماشین کاری های سنگین را در پی دارد لذا در این نوع ماشین کاری‌ها از این راهنماها استفاده نمی‌گردد.





راهنمای جعبه‌ای و دم چلچله



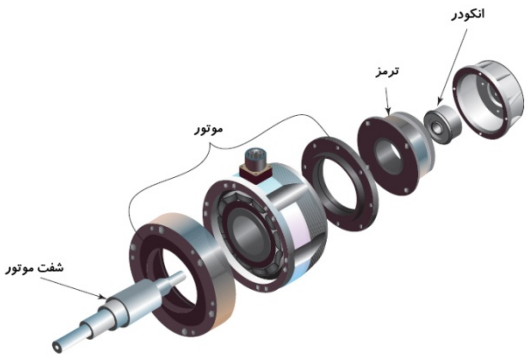
راهنمای خطی

ب-تغییر موتورها

موتورهای مورد استفاده در ماشین ابزار CNC به دو گروه موتورهای الکتریکی و هیدرولیکی تقسیم می شوند. سرو موتور و استپ موتور دو موتور الکتریکی پر کاربرد در ماشین ابزار CNC هستند.

سرو یک کلمه یونانی به معنای بازتاب است. مهمترین تفاوت سروموتورها با سایر موتورهای القایی، وجود یک حسگر به نام انکودر است که سرعت و موقعیت موتور را گزارش می کند. از دیگر تفاوت های مهم می توان به میزان توان خروجی موتور ها اشاره کرد. سرو موتورها در هر سرعتی دارای یک گشتاور خروجی معینی می‌باشند و حداکثر توان خروجی در سرعت نامی موتور به دست می‌آید(در حالی که موتورهای پله ای توان خروجی مشخصی دارند). از جمله ویژگی‌های سروموتورهای DC می توان به تولید گشتاور بالا، سرعت یکنواخت، عکس‌العمل سریع نسبت به تغییرات سرعت و بازدهی خوب اشاره نمود. از جمله خصوصیات سروموتورهای AC می توان به گشتاور بالا، سرعت بالا، بازدهی مناسب، عدم نیاز به یک سو کننده، تعمیر و نگاه‌داری ارزانتر و ساده‌تر اشاره کرد. همچنین موتورهای AC سنکرون نسبت به موتورهای DC به فضای کمتری نیاز دارند و انتقال گرما در آن‌ها مناسب‌تر است که در نتیجه راندمان موتور افزایش می‌یابد. به علاوه این موتورها در آغاز حرکت شتاب بیشتری نیز دارند.

سرو موتور(Servo Motor) و درایور(مدار راه انداز) آن



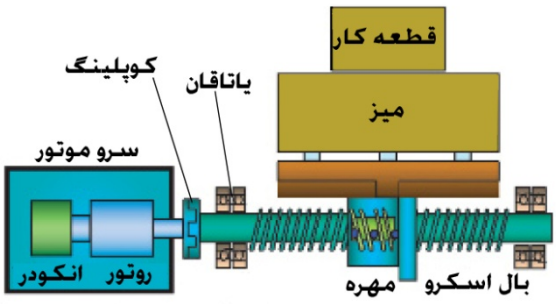
ساختار درونی یک سرو موتور

استپر موتور یا موتور پله‌ای ساختمانی ساده و کم حجم دارد و قیمت آن نیز کم است. از آن در ماشین‌های CNC ساده با دقت، گشتاور و قدرت نسبتاً کم استفاده می‌شود. این موتورها در مدارهای باز قابل استفاده هستند و به ازای هر پالس ورودی به موتور، به اندازه زاویه گام ایجاد می‌چرخند. زاویه گام، محدوده وسیعی دارد(۱/۸ ، ۲ ، ۵ و... درجه). زاویه گام کوچکتر از یک درجه نیز وجود دارد. با دانستن زاویه گام موتور پله‌ای و گام بال اسکرو می‌توان دقت حرکت ماشین را تعیین کرد. مثلاً اگر در یک ماشین CNC از موتور پله‌ای با زاویه گام ۲ درجه استفاده شود و گام پیچ ساچمه ای ۵ میلی متر باشد دقت ماشین به این صورت محاسبه می گردد:

$$\begin{matrix} 360 & 5 \\ 2 & X \end{matrix} \quad \rightarrow \quad X = \frac{2 \times 5}{360} \cong 0.027mm$$

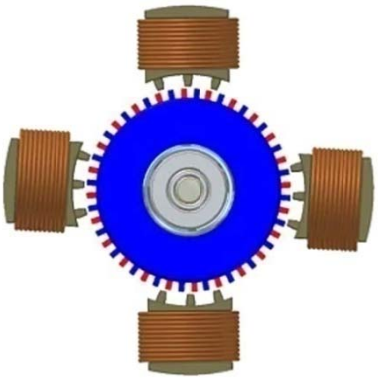
یعنی دقت حرکت ماشین ابزار در حدود ۰/۰۳ میلی متر خواهد بود.

این موتورها دارای شروع و توقف سریع می‌باشند و به گرم شدن اولیه نیاز ندارند. همچنین با قطع شدن پالس ورودی به موتور، سریع متوقف می‌شوند و به کلاچ و ترمز احتیاج ندارند. به دلیل عدم استفاده از کنترل مدار بسته و فیدبک، چنان چه به هر دلیل حرکت میز متوقف شود اما ارسال پالس ادامه یابد در مقدار حرکت محور، عدم دقت پدید می‌آید. شکل صفحه بعد ساختار درونی این موتورها را نشان می‌دهد.



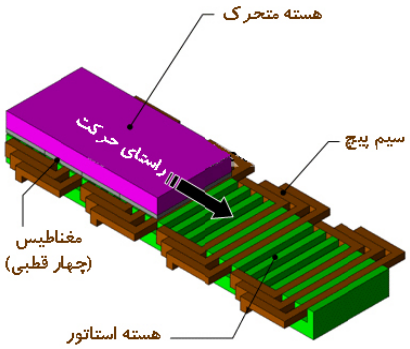
مکانیزم حرکت سرو

استپر موتور(Stepper Motor) و درایور(مدار راه انداز) آن



ساختار درونی یک استپ موتور

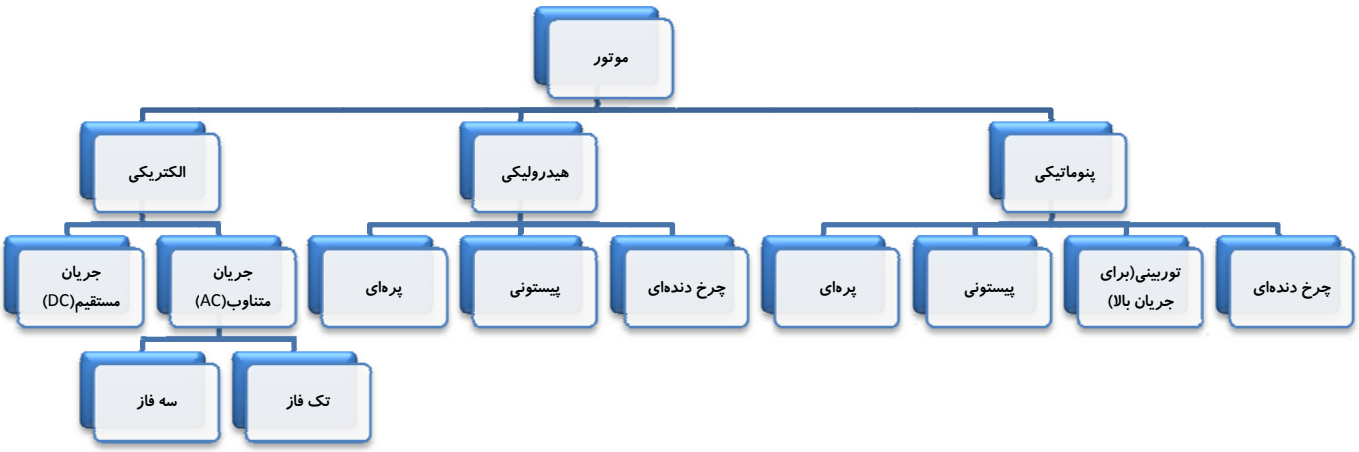
موتورهای خطی از دیگر انواع موتورهای الکتریکی هستند که در ماشین ابزار به کار می‌روند. این موتورها از نظر اصول کلی، شبیه سروموتور دورانی AC هستند اما به جای حرکت دورانی، حرکت خطی ایجاد می‌کنند. این موتورها حرکت سریع و دقیقی دارند. همچنین پایداری نیرو و سرعت پاسخ آن‌ها به تغییرات بسیار زیاد است. عدم وجود جاروبک در این موتورها باعث شده است که نیاز به تعمیرات کاهش یابد و حرکت موتور نرم‌تر باشد.



موتور خطی و ساختار آن

موتورهای هیدرولیکی نیز در ماشین ابزار CNC به کار می‌روند. قدرت زیاد، سادگی کنترل سرعت و نیرو، کنترل غیر پله‌ای و عکس‌العمل سریع در برابر تغییر جهت از ویژگی‌های موتورهای هیدرولیکی می‌باشند. نشتی، سرعت عمل کمتر نسبت به موتورهای الکتریکی و گران بودن را نیز می توان به عنوان معایب آن‌ها نام برد. از این موتورها بیشتر در کنترل مدار بسته استفاده می گردد. شکل روبرو نمونه‌ای از یک موتور هیدرولیکی اسپیندل مورد استفاده در ماشین‌های CNC را نشان می‌دهد.

نمودار زیر دسته بندی کلی انواع موتور را ارائه می‌دهد.

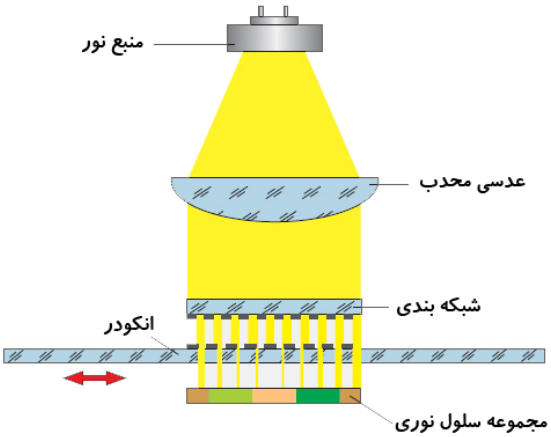


ج-اضافه شدن تجهیزات اندازه گیری

به منظور کنترل موقعیت محورها از سنسورها یا حسگرهایی به نام انکودر استفاده می‌شود. انکودر به دو نوع دورانی(زاویه‌ای یا غیر مستقیم) و خطی(مستقیم) تقسیم می‌گردد. در نوع دورانی، یک دیسک که روی آن خطوط تاریک و روشنی وجود دارد بروی محور قرار می‌گیرد. یک منبع نور در یک طرف دیسک و یک یا چند سنسور نوری(فتوسل) نیز در طرف دیگر قرار می‌گیرند که همواره با محور حرکت می‌کنند. هنگام دوران محور، مسیر نور توسط خطوط تاریک روی دیسک قطع می‌شود و در نتیجه از سلول نوری بر اساس شدت نور، ولتاژی خارج می‌شود. در نتیجه فتوسل یک نور سینوسی را ارسال می کند که این منبع به یک پالس تغییر شکل می‌دهد و پالس‌های خروجی شمرده می‌شوند تا به کمک آن میزان جابجایی محورها محاسبه گردد. انکودرهای دورانی بروی محور پیچ ساچمه‌ای یا شفت موتور سوار می‌شوند و همراه آن دوران می‌کنند. اگر علاوه بر موقعیت، زمان را نیز اندازه گیری نماییم سرعت نیز قابل تعیین است (موقعیت تقسیم بر زمان). به عنوان مثال چنانچه شفت در مدت یک چهارم ثانیه ۹۰ درجه دوران نماید سرعت آن ۳۶۰ درجه یا یک دور بر ثانیه است (۶۰ RPM). به همین صورت اگر تغییرات سرعت نسبت به زمان اندازه گیری شود نرخ شتاب شفت نیز قابل تعیین می باشد.

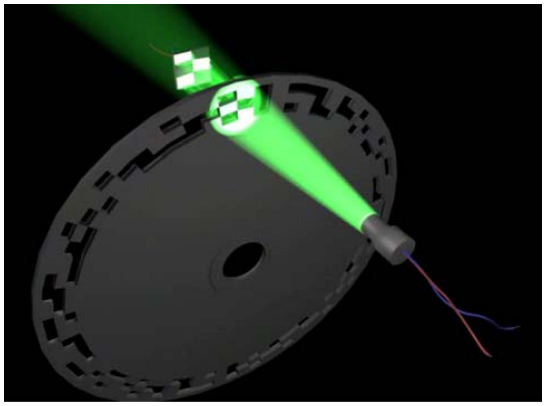
چنان چه صفحه انکودر به شکل یک مستطیل باشد(شکل زیر) به آن انکودر خطی گفته می‌شود و بروی میز ماشین یا کشویی آن نصب می‌گردد. طول این نوع انکودرها به اندازه میز ماشین بستگی دارد. به دلیل نصب مستقیم بروی میز، لقی محورها و نامیزانی موتورها و یاتاقانها بروی نتایج اندازه گیری اثر ندارد در نتیجه این نوع انکودر دقت بالایی ارائه می‌کند.

اگر چه انکودر دورانی کوچکتر و نگاه‌داری آن آسان‌تر است اما لقی محورها و نامیزانی موتورها و یاتاقانها بر اندازه گیری تأثیر می‌گذارند و در نتیجه این نوع انکودرها دقت زیادی ندارند.



ساختار درونی یک انکودر خطی

نمونه‌ای از یک انکودر خطی

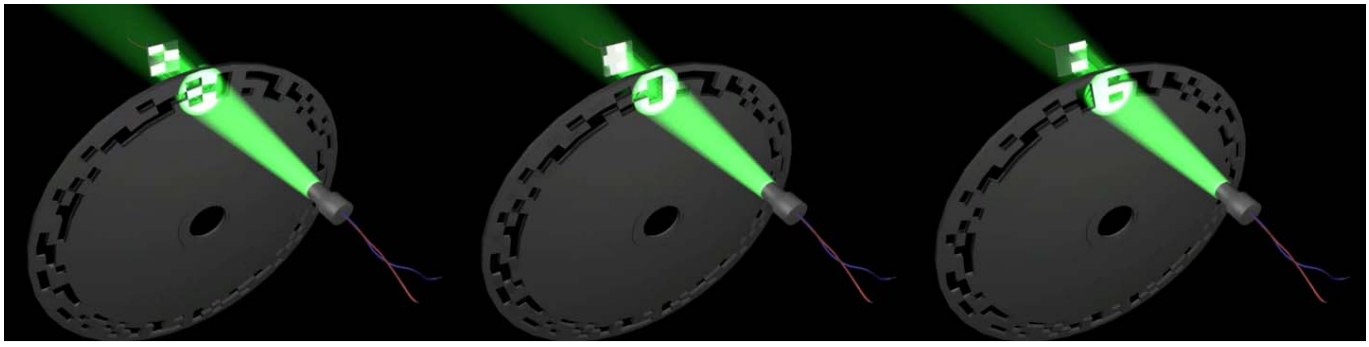


ساختار درونی یک انکودر دورانی

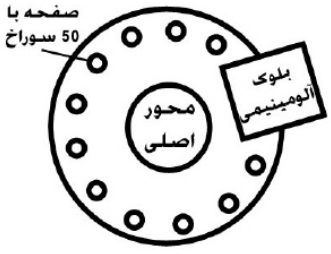
نمونه‌ای از یک انکودر دورانی

اندازه گیری علاوه بر تقسیم بندی از نظر محل نصب انکودر(خطی یا دورانی) از نظر شبکه بندی نیز به دو نوع مطلق و افزایشی تقسیم می شود. هر کدام از انکودرهای دورانی و خطی می توانند از اندازه گیری مطلق یا افزایشی استفاده کنند.

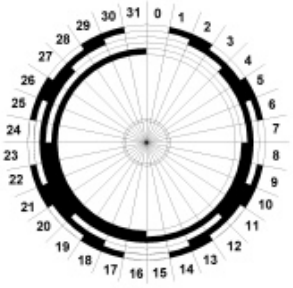
در اندازه گیری مطلق موقعیت تمام نقاط نسبت به یک نقطه مبنا (صفر ماشین) اندازه گیری می شود و هر نقطه از موقعیت میز، مختصات تعریف شده و ثابتی دارد. در صورت قطع ولتاژ برق و روشن شدن مجدد دستگاه، به چک کردن سیستم اندازه گیری و رفرنس کردن ماشین نیاز نداریم چرا که میز یا کشویی در هر موقعیتی متوقف گردد موقعیتش برای ماشین شناخته شده می باشد. شکل زیر نشان می‌دهد که مثلاً با چرخش یک انکودر مطلق، هر بار طرح متفاوتی بروی فتوسل ایجاد می‌گردد.



سیستم اندازه گیری مطلق نسبت به اندازه گیری افزایشی، هزینه بیشتری دارد و از نظر طول نیز دارای محدودیت است از این رو در اکثر ماشینهای CNC از اندازه گیری افزایشی (نسبی) استفاده می شود. در اندازه گیری افزایشی (نسبی) موقعیت تمام نقاط نسبت به مکان قبلی محاسبه می شود. در این روش پس از قطع برق موقعیت کشویی برای ماشین ناشناخته است و حتماً به رفرنس کردن دستگاه(حرکت دادن محورها به نقطه صفر) نیاز داریم. در اندازه گیری افزایشی وجود نقطه مرجع به منظور کالیبره کردن ماشین در ماشین هایی که از این روش اندازه گیری استفاده می‌کنند الزامی است.



انکودر افزایشی



انکودر مطلق

۲-۱۰- اضافه شدن واحد کنترل به ماشین ابزار

واحد کنترل به مانند کامپیوتر دارای سه بخش زیر است.

۱-واحد ورودی (مانند صفحه کلید، ماوس، DVD، USB)

۲-واحد پردازش (CPU)

۳-واحد خروجی(مانند مانیتور)

کامپیوتر یک وسیله برقی است که با ولتاژ کارمی کند. اگر کامپیوتر بر اساس اعداد اعشاری (آنالوگ) ساخته می‌شد نیاز به ده نوع ولتاژ مختلف برای شناسایی اعداد ۱ و ۲ و..... و ۹ داشت. تعداد بیشتری ولتاژ نیز برای شناسایی حروف و نشانه‌ها نیاز می باشد که انجام چنین کاری بسیار پر هزینه و مشکل است. با استفاده از اعداد باینری به یک ولتاژ نیاز داریم که می تو اند دو حالت وجود ولتاژ (یک) و عدم وجود ولتاژ (صفر) را داشته باشد. اعداد در سیستم باینری به شکل زنجیره‌ای از صفر و یک می باشد که در دو نوع ISO و EIA (استاندارد آمریکایی) استاندارد شده اند. در این استانداردها اعداد، حروف و نشانه‌ها به وسیله زنجیره‌ای هشت تایی از موقعیت‌های سوراخ شده یک و سوراخ نشده صفر رمز بندی شده است. مثلاً حرف G دارای عدد باینری ۰۱۰۰۰۱۱۱

می‌باشد. هر یک از موقعیت‌های هشت تایی یک بیت نام دارد و هر هشت بیت یک بایت نامیده می شود. با توجه به اینکه هر بیت دو حالت می‌تواند داشته باشد(صفر یا یک) در مجموع ۲۵۶ کد رمز بندی شده می‌توانیم داشته باشیم. در استاندارد ISO، ۶۶ کد رمز بندی شده وجود دارد(۱۰ عدد، ۲۶ حرف و ۳۰ نشانه).

انواع واحد کنترل

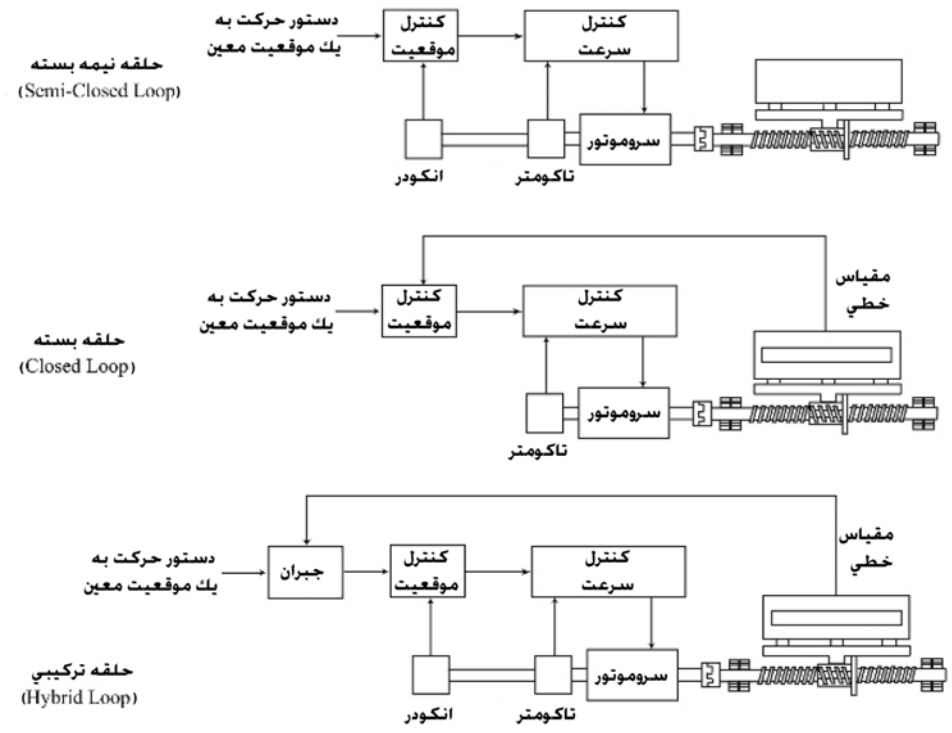
واحد کنترل ماشین در چهار نوع زیر وجود دارد.

در کنترل به روش حلقه باز(Open loop) هیچ نوع فیدبکی وجود ندارد. از کنترل حلقه باز می توان در مواردی که به دقت بالایی نیاز نیست و استپر موتور به کار می‌رود استفاده نمود. کنترل حلقه باز نیاز به آشکار ساز موقعیت یا جبران خطا ندارد و ساختار آن بسیار ساده است. همچنین دقت سیستم محرک مستقیماً تحت تأثیر دقت استپر موتور، بال اسکرو و واحد انتقال قدرت قرار دارد.

در کنترل به روش حلقه نیمه بسته(Semi-Closed loop)، یک آشکارساز موقعیت به شفت موتور سرو متصل می‌گردد و زاویهٔ چرخش را آشکار می‌سازد. توجه نمایید که دقت موقعیت دهی محور ماشین تحت تأثیر دقت بال اسکرو است و به همین دلیل، بال اسکروهایی با دقت بالا توسعه یافته‌اند که به صورت وسیعی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورت لزوم، خطای گام و پس زنی بال اسکرو باید جبران شوند تا دقت موقعیت دهی افزایش یابد.

در کنترل به روش حلقه بسته(Closed loop)، آشکارساز موقعیت به میز ماشین متصل شده است و خطای موقعیت از طریق آن به سیستم کنترل ارسال می‌گردد. کنترل با حلقه بسته و نیمه بسته به جزء در محل قرار گیری آشکارساز موقعیت شباهت‌های بسیاری دارند اما دقت موقعیت دهی حلقه بسته بسیار بیشتر است. با این حال چون بدنه ماشین ابزار در حلقه کنترل موقعیت جای گرفته است فرکانس تشدید بدنه ماشین ابزار، لغزش و حرکت‌های از دست رفته(یعنی فرمان حرکت داده می‌شود اما به دلایلی حرکت انجام نمی‌شود)بر مشخصات سرو تأثیر خواهند گذاشت. خطایی که پیش می‌آید آن است که بین موقعیت فرمان داده شده و موقعیت آشکار شده اختلاف وجود خواهد داشت و موتور سرو مجبور است برای برطرف نمودن این اختلاف متناسب با خطای پدید آمده دوران کند تا مقدار خطا را به حداقل برساند.

در کنترل به روش حلقه هیبریدی یا ترکیبی(Hybrid loop)، هر دو نوع کنترل حلقه بسته و حلقه نیمه بسته موجود هستند و بنابراین از مزایای آن‌ها به صورت ترکیبی استفاده می‌شود. موقعیت، هم از طریق آشکارساز شفت موتور(حلقه نیمه بسته) و هم از طریق درجه بندی خطی موجود بروی میز (حلقه بسته) تعیین می گردد.



۴

برنامه نویسی ماشین فرز CNC

(واحد کنترل فانوک)

معرفی مختصر شرکت FANUC و کنترلرهای CNC آن

شرکت فانوک(www.fanuc.co.jp/eindex.htm) در سال ۱۹۵۸ توسط دکتر Seiuemon Inaba تأسیس شد و اکنون شرکت سهامی است که در ژاپن، شهر روچستر هیلز ایالت میشیگان امریکا(Fanuc America Corporation) و لوکزامبورگ در اروپا(FANUC Robotics Europe SA) قرار داد. فانوک در زمینه سیستم‌های اتوماسیون کارخانه، ربات‌های صنعتی، تجهیزات CNC و سیستم‌های لیزر کار می‌کند و یکی از بزرگترین سازندگان روبات‌های صنعتی در جهان است. نام این شرکت مخفف Factory automation numerical control می‌باشد. فانوک تا دسامبر سال ۲۰۱۳ میلادی نفر ۵۲۶۱ پرسنل داشته و درآمد شرکت در سال ۲۰۱۲ حدود ۵/۳ میلیارد دلار اعلام شده است. بخش تولید کنترل کننده‌های کامپیوتری فانوک در سال ۱۹۷۲ تاسیس شد.

هر نسل از سیستم‌های کنترل عددی فانوک، میزان متفاوتی از کنترل را ارائه می‌دهند و توابع نرم افزاری متفاوتی دارند. بنابراین به صورت یک مدل معرفی می‌شوند(فانوک مدل صفر یا مدل ۵ یا مدل ۱۸ و ...). در جدول زیر بعضی از مدل‌های کنترلرهای عددی فانوک ذکر شده‌اند.

نام کنترلر	سری یا ورژن	توضیحات
FANUC 0	Series A, 1985-1986 Series B, 1987-1989 Series C, 1990-1998	
FANUC 3		
فانوک مدل ۴ و ۴۰۰۰ وجود ندارد چون این اعداد در ژاپنی اعداد نحس محسوب می‌شوند.		
FANUC 5	Series A,B	
FANUC 6	Series AB	
FANUC 7	Series A	
FANUC 10		
FANUC 11		
FANUC 12		
FANUC 15		
FANUC 16i		
FANUC 18,18i		
FANUC 20	Series A,B	
FANUC 21i		
FANUC 30	Series A,B	
FANUC 30i		اولین تولید ۲۰۰۳
FANUC 31i		اولین تولید ۲۰۰۴
FANUC 32i		اولین تولید ۲۰۰۴
FANUC 160		
FANUC 180		
FANUC 2000	Series A	
FANUC 3000	Series A	

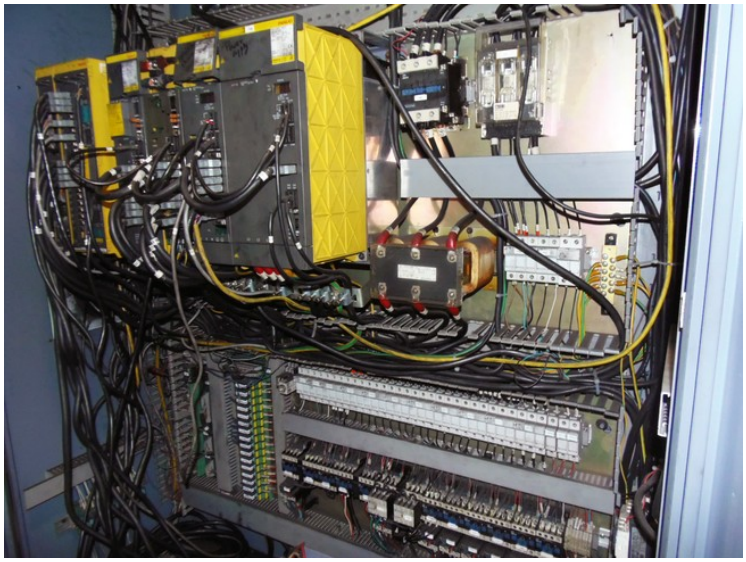
اداره مرکزی فانوک در Oshino-Mura ژاپن

فانوک اروپا در لوکزامبورگ

در نام هر مدل از کنترلرها حرف M به معنی فرزکاری، حرف T به معنی تراش کاری(ماشین تراش)، حروف TT به معنی تارت دوقلو، حرف P به معنی پرس پانچ و حرف G به معنی سنگ زنی است. همچنین حروف A و B و C به معنی کنترلر سری A و B و C است که نشان دهنده به روز رسانی شدن یک مدل هستند.

به عنوان مثال در جدول زیر انواع مدل صفر و مدل O فانوک فهرست شده‌اند. این مدل قدری غیر معمول است چون عدد صفر و حرف انگلیسی O گاهی به جای هم به کار برده شده‌اند.

نام مدل	نوع	سری	توضیح
FANUC-0MA, FANUC 0-MA, FANUC 0M-A, FANUC 0M/A, FANUC 0-M-A, FANUC 0-M/A, FANUC 0 M-A, FANUC 0 M/A, FANUC-0M Model A, FANUC 0-M Model A, FANUC 0/M Model A	فرزکاری	A	عدد صفر
FANUC-OPA, FANUC O-PA, FANUC OP-A, FANUC OP/A, FANUC O-P-A, FANUC O-P/A, FANUC O P-A, FANUC O P/A, FANUC-OP Model A, FANUC O-P Model A, FANUC O/P Model A	پانچ	A	حرف O
FANUC-0TB, FANUC 0-TB, FANUC 0T-B, FANUC 0T/B, FANUC 0-T-B, FANUC 0-T/B, FANUC 0 T-B, FANUC 0 T/B, FANUC-0T Model B, FANUC 0-T Model B, FANUC 0/T Model B	تراش کاری	B	عدد صفر
FANUC-0TTB, FANUC 0-TTB, FANUC 0TT-B, FANUC 0TT/B, FANUC 0-TT-B, FANUC 0-TT/B, FANUC 0 TT-B, FANUC 0 TT/B, FANUC-0TT Model B, FANUC 0-TT Model B, FANUC 0/TT Model B	تارت دوقلو	B	عدد صفر
FANUC-0GC, FANUC 0-GC, FANUC 0G-C, FANUC 0G/C, FANUC 0-G-C, FANUC 0-G/C, FANUC 0 G-C, FANUC 0 G/C, FANUC-0G Model C, FANUC 0-G Model C, FANUC 0/G Model C	سنگ زنی	C	عدد صفر

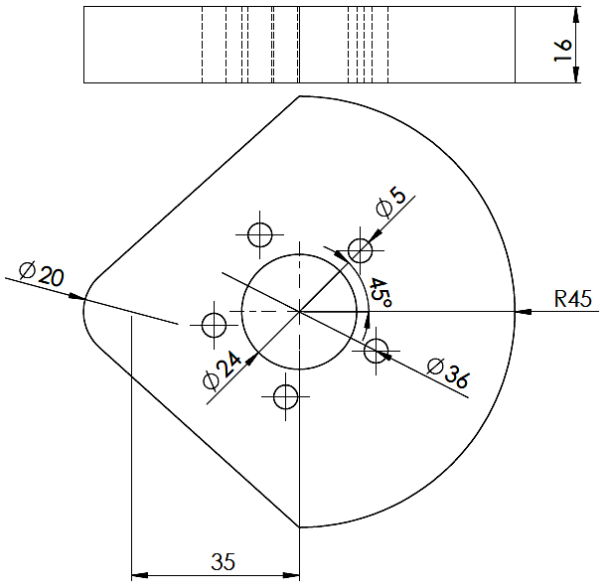


نمونه‌ای از مدارهای کنترلر فانوک مدل 18M

نمونه‌ای از پنل کنترل فانوک مدل 18M

۱-۶-مقدمه

برای ماشین کاری دستی قطعه کار نقشه زیر مراحلی طی می گردد. این مراحل در برگی به نام فهرست عملیات نوشته می شود.



فهرست عملیات					
نام برنامه: ۱	نام قطعه کار: تکیه گاه جنس قطعه کار: ۱.۰۷۲۶ استحکام کششی: ۵۲۰ تا ۶۸۰ نیوتن بر میلی متر مربع ابعاد کلی قطعه کار نهایی: ۹۰ در ۹۰ در ۱۶ میلی متر سختی: ۱۵۴ تا ۲۰۱ برینیل شماره نقشه: ۱				
شماره عملیات	شرح عملیات	نام، ابعاد و جنس ابزار	سرعت دوران	سرعت پیشروی	شماره ابزار در ابزارگیر
۱	برش صفحه‌ای به ضخامت ۲۰ و ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ میلی متر	تجهیزات هوا برش	–	–	–
۲	گونیا کردن و به اندازه ۹۰ در ۹۰ در ۱۶ رساندن قطعه کار با فرزکاری	فرز انگشتی HSS قطر ۲۰			–
۳	خط کشی قطعه کار مطابق با نقشه و سنبه نشان زدن مرکز سوراخ‌ها	سوزن خط کشی و سنبه نشان و چکش	–	–	–
۴	سوراخ کاری	مته HSS قطر ۵ و ۲۴(پس از مته مرغک و چند پیش مته)			–
۵	فرزکاری خشن و پرداخت محیط بیرونی قطعه کار مطابق خط کشی	فرز انگشتی HSS قطر ۲۰			
۶	اندازه گیری و مطابقت نهایی با نقشه	کولیس ۰/۱ با دامنه۱۲۰ mm	–	–	–

برای بستن قطعه کار در مراحل ۲ و ۴ از گیره معمولی فرزکاری استفاده می‌شود. در مرحله ۵ باید قطعه کار از طریق سوراخ‌های قطر ۵ بسته شود به طوری که محیط بیرونی آن کاملاً آزاد باشد تا ابزار بتواند دور قطعه کار حرکت کند. می‌توان از صفحه گردان نیز استفاده نمود. در ادامه، همین مراحل را به یک برنامه CNC تبدیل کنیم.

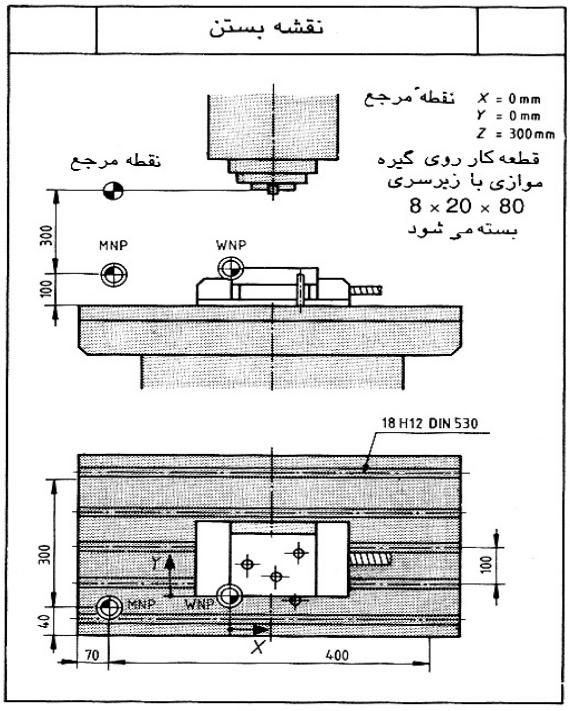
۲-۶-برنامه نویسی ماشینهای کنترل عددی طبق استاندارد DIN 66025

برنامه شامل مجموعه ای از اعداد، حروف و نشانه هایی است که به ماشین می گوید چه عملی را باید انجام دهد. مجموعه این اعداد، حروف و علائم که به صورت کدهای رمز بندی شده می‌باشند توسط واحد کنترل ماشین (MCU) تفسیر می شوند. این برنامه علاوه بر اطلاعات مسیر قطعه کار، شامل اطلاعات فنی مانند مقادیر سرعت و پیشروی و اطلاعات کمکی مثل روشن و خاموش کردن سه نظام و قطع و وصل جریان سیال خنک کننده نیز می باشد. برنامه را می توان علاوه بر تایپ مستقیم از طریق صفحه کلید دستگاه (MDI) از طریق حافظه‌های جانبی یا کابل RS232 یا از طریق کابل‌های شبکه (Lan) در کمترین زمان ممکن به ماشین ارسال نمود. برنامه CNC پس از رمزگشایی و تبدیل به زبان ماشین، در حافظه ذخیره می شود؛ محاسبات لازم انجام می‌پذیرد و سپس به شکل اطلاعات مسیر و اطلاعات فنی به سیگنال‌های خروجی قطع و وصل تبدیل می شود و به موتورها فرمان می‌دهد. موتورها حرکت چرخشی را به پیچ‌های ساچمه ای منتقل می‌کنند و پیچ‌های ساچمه ای حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل می‌نمایند. در نهایت حرکت خطی از طریق کشویی و راهنماها تحت کنترل سیستم اندازه گیری به ابزار منتقل می شود.

در استاندارد DIN 66025، نقشه قطعه کار که حاوی اطلاعاتی درباره اندازه و جنس آن است، پایه برنامه ماشین کاری محسوب می‌گردد. پس از بررسی نقشه و در مرحله دوم به کمک نقشه و با توجه به اطلاعاتی مانند ابزارهای موجود، سرعتهای براده برداری و غیره مراحل ماشین کاری قطعه کار طراحی می گردد یا به عبارت دیگر فهرست عملیات نوشته می شود. در مرحله سوم برنامه اصلی ماشین کاری بر اساس فهرست عملیات، برنامه نویسی می‌گردد و در انتها برنامه برای اجرا به صورت دستی یا توسط رایانه به واحد کنترل وارد می گردد.

حتی هنگامی که برنامه به کمک نرم افزارهای CAD/CAM (مانند پاورمیل و مسترکم)نوشته می شود تهیه فهرست عملیات پیش از برنامه نویسی الزامی است چرا که بر مبنای اطلاعات موجود در آن، برنامه نویسی امکان پذیر خواهد بود.

در استاندارد DIN 66025 توصیه شده است که برای برنامه نویسی ساده‌تر با توجه به نقشه قطعه کار، نقشه بستن قطعه کار بروی میز ماشین ابزار نیز تهیه گردد. از روی این نقشه داده های مهمی مانند نقطه مرجع، نقطه صفر ماشین و بیشترین مقدار جابجایی ممکن در راستای هر محور بدست می آید. در شکل روبرو نقشه یک قطعه کار و نقشه بستن آن بروی میز ماشین فرز دیده می شود. همانطور که در تصویر مشاهده می گردد، در نقشه بستن، باید کورس کار ماشین و به خصوص مختصات نقطه صفر قطعه کار معین گردد. همچنین برای تک تک ابزار موجود باید برگ اطلاعات ابزار تهیه گردد. به کمک این برگ می توان شکل هندسی، ابعاد ابزار مانند طول و قطر، شرایط ماشین کاری مانند جنس و سرعت ابزار را به سادگی تعیین نمود و در نتیجه برنامه نویسی به سرعت انجام می‌گردد.



نمونه‌ای از برگ اطلاعات ابزار در شکل زیر دیده می شود. در این

شکل حتی مشخصات میل فرز نیز تعیین شده است.

	سیستم ابزار: ابزار سوراخکاری / برگه ابزار	Ident- Nr.
	مشخصه: مته HSS	098 227

لیست قطعات ابزار

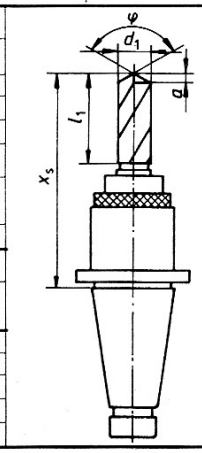
ifd Nr	تعداد قطعه	نام	DIN - Nr
1	1	مته	DIN 345
1	1	کلت SE h 50/48 SK50	
1	1	کلویی تنظیم St h 48-80/3	

اندازه

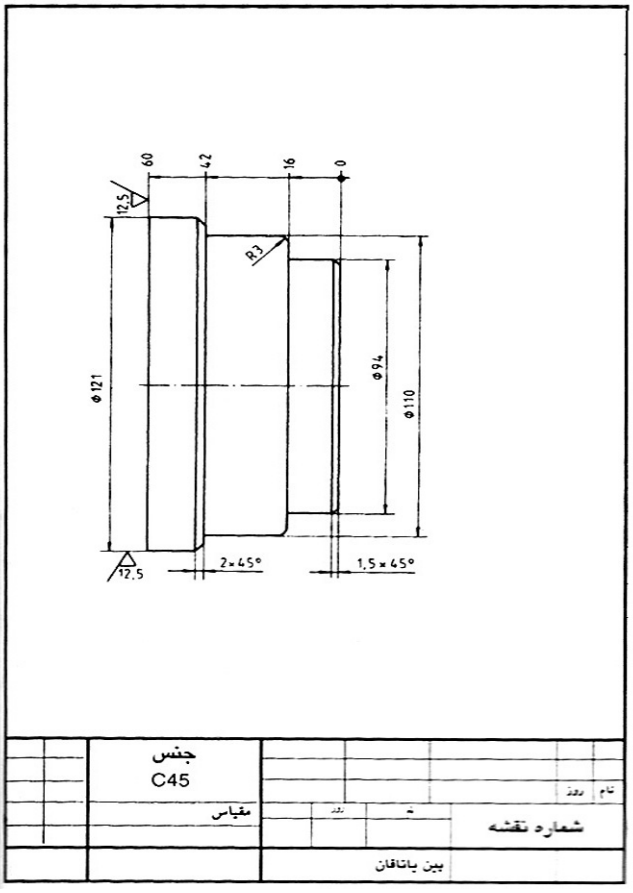
$\frac{1}{100}$ x_s mm	$\frac{1}{100}$ l_1 mmm	$\frac{1}{100}$ d_1 mm	$\frac{1}{100}$ a mm	φ°
1825 0	1400 0	280 0	840	118

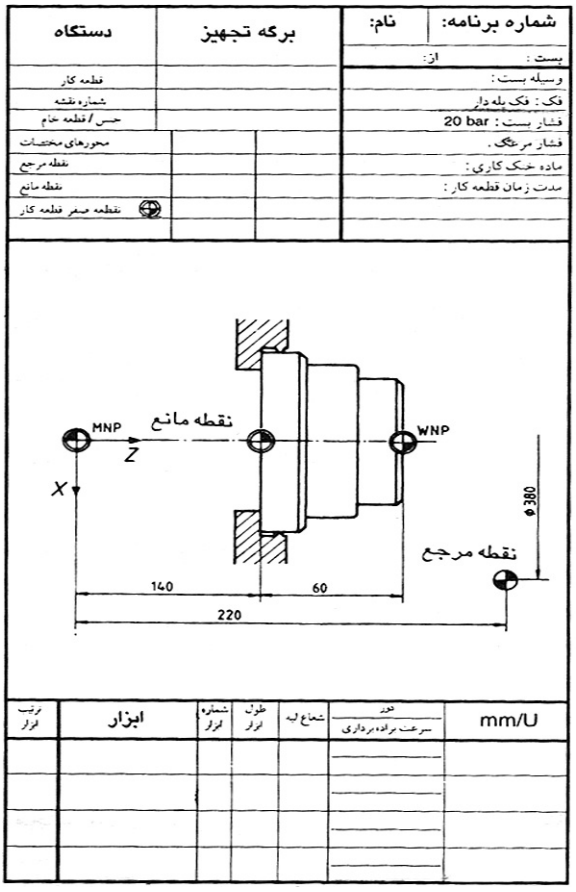
شرایط کاربرد

جنس	استحکام N/mm^2	پیشروی mm/U	پیشروی mm/min	سرعت براده برداری m/min	دور n 1/min
فولاد غیرآلیاژی	< 400	0,4	160	35	400
فولاد غیرآلیاژی	>400	0,3	86	25	285
فولاد آلیاژی	<1000	0,22	50	20	224
چدن خاکستری	<200 HB	0,4	125	28	315
چدن خاکستری	>200 HB	0,22	50	20	224



می توان نقشه بستن قطعه کار و مشخصات ابزار مورد نیاز برای ماشین کاری قطعه کار را در یک برگ که به آن برگ تجهیز گفته می شود یک جا جمع آوری نمود. شکل زیر، نقشه یک قطعه کار تراش کاری و برگ تجهیز مربوط به آن را نشان می‌دهد.





با توجه به مطالب گفته شده برای ماشین کاری کنترل عددی باید مراحل زیر طی شود :

۱-نقشه قطعه کار بررسی گردد و اطلاعات کامل مربوط به تولید آن مشخص شود. به عنوان مثال آیا این قطعه کار قرار است از یک بلوک ماده خام تولید گردد یا از پیش ریخته گری شده است و تنها باید مقدار اضافه بار معینی از روی آن براده برداری گردد؟ طبیعی است که برنامه نویسی برای هر یک از این دو حالت تفاوت خواهد داشت.

۲-با توجه به نقشه و اطلاعات موجود مانند ابزارها و سرعتهای ماشین کاری و ... برگ ترتیب انجام عملیات نوشته شود.

۳-برگ تجهیز تکمیل گردد. در این برگ ابعاد و جنس قطعه کار، نقشه بستن قطعه کار و مختصات صفر آن، مشخصات ابزارهای مورد نیاز جهت ماشین کاری و ... باید مشخص گردد.

۴-برنامه کنترل عددی تهیه گردد (به عنوان مثال با نرم افزار پاور میل).

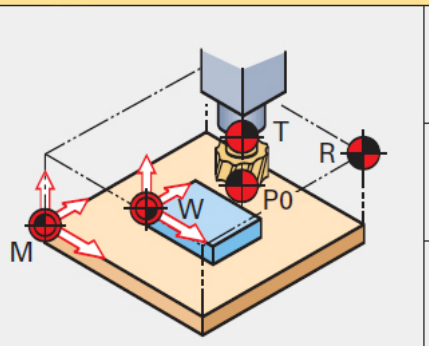
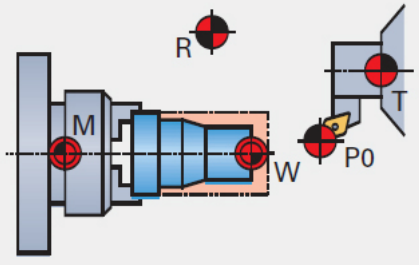
۵-درستی برنامه نوشته شده با تست گرافیکی یا انواع برنامه های شبیه ساز آزمایش شود و برنامه به واحد کنترل وارد شود.

۶-یک نسخه از نقشه قطعه کار به همراه برگ ترتیب انجام عملیات، برگ تجهیز و متن برنامه نوشته شده به سرپرست واحد ماشین کاری تحویل گردد تا برای رجوع بعدی بایگانی شود.

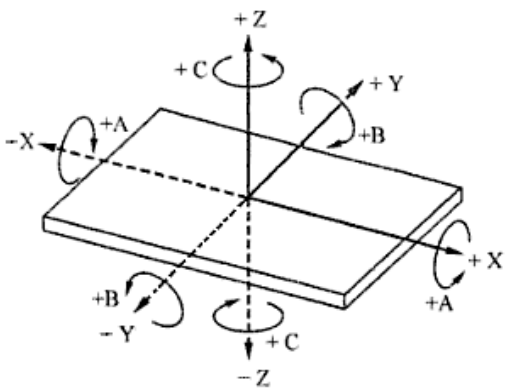
سیستم مختصات

طبیعی است که کنترل عددی به یک سیستم مختصات نیاز دارد. هر سیستم مختصات شامل مبدأ مختصات، محور و جهت مختصات است. دو سیستم مختصات دکارتی و قطبی در برنامه نویسی کنترل عددی کاربرد بیشتری دارند.

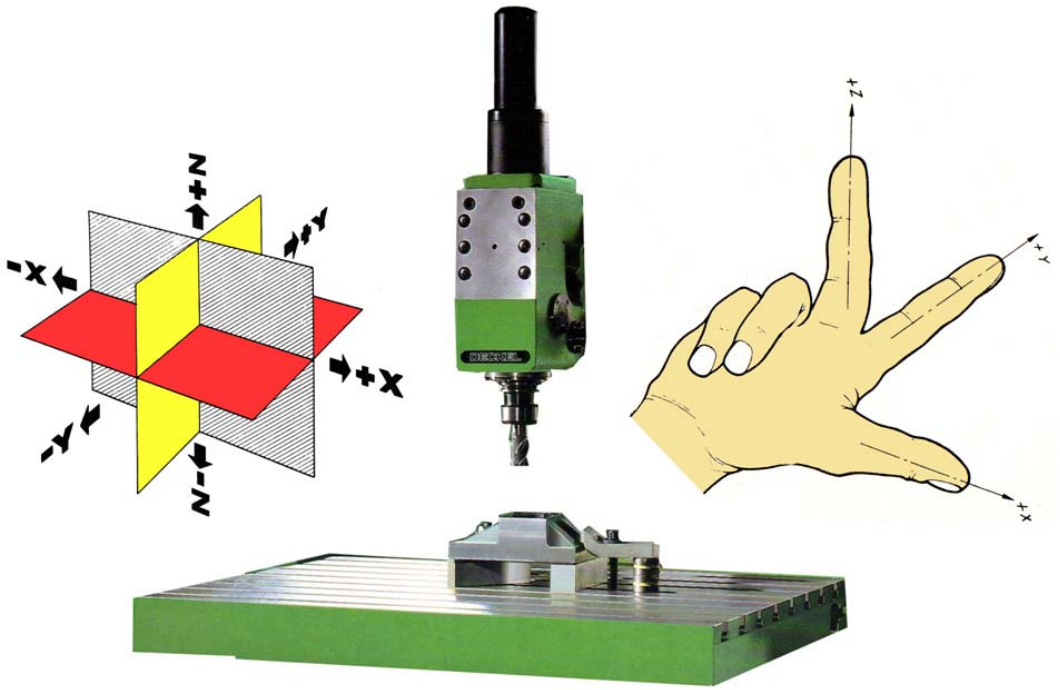
در ماشین‌های کنترل عددی ۵ نوع مبدأ یا صفر به قرار زیر موجود می‌باشد.

نقاط صفر در ماشین‌های کنترل عددی		
نقطه صفر ماشین این نقطه، مبدأ سیستم مختصات ماشین است و توسط سازنده ماشین معین می‌گردد.	M	
نقطه صفر برنامه نویسی نقطه‌ای که ابزار پیش از شروع اجرای برنامه در آن نقطه قرار می‌گیرد.	P0	
نقطه رفرنس یا مرجع نقطه‌ای که در فاصله معین از نقطه صفر ماشین قرار دارد و در انکودرهای نسبی برای شناسایی نقطه صفر ماشین به کار می‌رود.	R	
نقطه صفر ابزارگیر نقطه‌ای که در وسط ابزارگیر قرار دارد.	T	
نقطه صفر قطعه کار مبدأ سیستم مختصات قطعه کار است و توسط برنامه نویس و با توجه به مسائل فنی تولید تعیین می‌شود.	W	

در سیستم مختصات دکارتی به طور کلی ۶ محور مختصات وجود دارد. سه محور از این ۶ محور یعنی X و Y و Z خطی هستند و سه محور دیگر یعنی A و B و C محور دورانی می‌باشند. جهت مثبت و منفی این ۶ محور در شکل زیر نشان داده شده است.



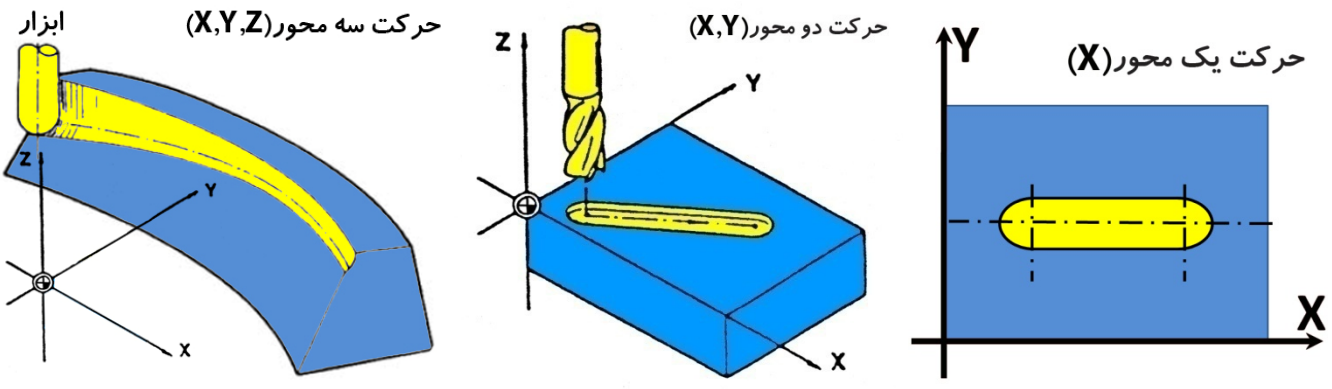
به صورت استاندارد برای یافتن جهت مثبت محورهای خطی باید در مقابل ماشین ایستاد و به کمک دست راست مطابق شکل زیر عمل نمود. البته جهت محورها عموماً بروی بدنه یا ستون ماشین حک می‌شود تا از هر اشتباهی جلوگیری گردد. توجه نمایید که محور Z در راستای اسپیندل خواهد بود(در تراش‌کاری در راستای محور قطعه کار و در فرزکاری در راستای ابزار).



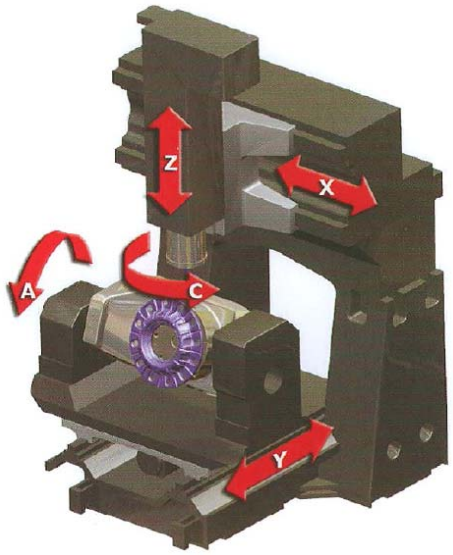
برای تعیین جهت محورهای دورانی نیز از دست راست استفاده می‌شود. کافی است انگشت شصت در راستای جهت مثبت محور خطی قرار گیرد. در این حالت، جهت مثبت محور چرخشی همان جهت جمع کردن چهار انگشت دیگر دست راست است.

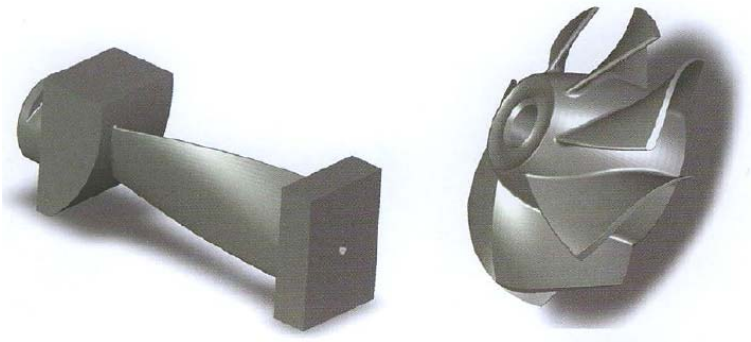
نکته ۱:

با وجود آن که در سیستم مختصات دکارتی، بیشتر از ۶ محور وجود ندارد اما بعضی از ماشین‌های CNC موجود هستند که مثلاً تا ۱۲ محور برای آن‌ها تعریف شده است. در حقیقت ۶ محور اصلی بیشتر وجود ندارد. محور اصلی محوری است که موتور حرکتی جداگانه دارد و می‌تواند به صورت تکی یا همراه با دیگر محورهای اصلی حرکت کند. مثلاً برای ایجاد یک شیار، مطابق شکل‌های زیر ممکن است به حرکت یک، دو یا سه محور اصلی نیاز باشد.



پیچیده‌ترین قطعه کارهایی که در حال حاضر با ماشین‌های CNC تولید می‌شوند حداکثر به حرکت هم زمان ۵ محور اصلی نیازمند هستند. در شکل‌های زیر نمونه‌ای از پره‌های توربین که ماشین‌کاری آن‌ها به حرکت ۵ محور اصلی نیاز دارد و یک ماشین فرز ۵ محور نشان داده شده است.





بنابراین ماشینی با ۱۲ محور، حداکثر، امکان حرکت ۶ محور اصلی را دارا می‌باشد و بقیه محورهای آن محورهای فرعی یا تنظیمی محسوب می‌شوند. محورهای فرعی پیش از آغاز عملیات ماشین‌کاری، تنظیم و ثابت می‌شوند و در حین عملیات ماشین‌کاری حرکتی ندارند. مثلاً بوش اسپیندل می‌تواند در راستای محور Z به میزان معینی از اسپیندل بیرون بیاید و در همان موقعیت ثابت بماند تا عمق فرزکاری افزایش داده شود یا کله‌گی ماشین می‌تواند به طرفین زاویه داده شود. لازم به ذکر است که محورهای فرعی، انعطاف پذیری و دقت ماشین‌کاری را افزایش می‌دهند. از آن جا که می‌توان محورهای اصلی را هم زمان با هم حرکت داد به این محورها محورهای هم زمان نیز گفته می‌شود.

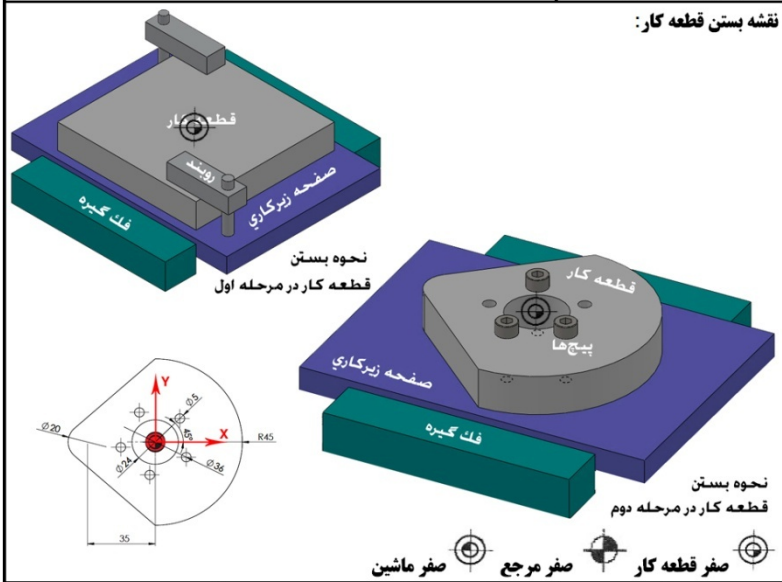
نکته۲:

ماشین‌های CNC عمدتاً با شرکت سازنده کنترلر و تعداد محور اصلی خود معرفی می‌شوند(مثلاً ماشین فرز ۴ محور هم زمان(اصلی) با کنترلر زیمنس یا ماشین تراش ۲ محور هم زمان با کنترلر فانوک).

با توجه به توضیحات فوق الذکر و طبق استاندارد DIN66025 برای قطعه کاری که قرار است برنامه آن نوشته شود برگ تجهیز به صورت مقابل است.

شماره برنامه: 1	نام برنامه: O931	**برگ تجهیز**	نام دستگاه: فرز سه محور جانفورد با کنترلر فانوک 18M
			نام قطعه کار: تکیه گاه
وسیله بست: گیره و روبند			شماره نقشه قطعه کار: 1
نوع فک: ----			جنس قطعه کار /ماده خام: 1.0726
فشار بست: ---			محورهای مختصات مورد نیاز: X Y Z
فشار مرغک: ---			مختصات نقطه صفر مرجع
ماده خنک کاری: آب صابون			مختصات نقطه صفر ماشین
مدت زمان ماشین کاری:			مختصات نقطه صفر قطعه کار= وسط قطعه کار= X=350, Y=-150, Z=-151

نقشه بستن قطعه کار:



ردیف	نام و جنس ابزار	شماره ابزار در تارت	طول	قطر	سرعت دوران	سرعت پیشروی

انتخاب ابزار و مشخصات آن

الف)چند نکته مهم:

۱-به طور کلی سرعت برش بزرگتر برای پرداخت کاری و سرعت برش کوچکتر برای خشن کاری استفاده می‌شود.

۲-رابطه مربوط به محاسبه سرعت دوران برای تراش‌کاری، بورینگ، سوراخ‌کاری و فرزکاری $n = (1000.Vc)/(\pi.d)$ است که در آن d=قطر ابزار برای فرزکاری و سوراخ کاری و قطر قطعه‌کار برای تراش‌کاری و بورینگ بر حسب میلی متر، Vc=سرعت برش بر حسب متر بر دقیقه و n=سرعت دوران بر حسب دور بر دقیقه می‌باشد. در تراش‌کاری و بورینگ مخروط چون قطر قطعه‌کار تغییر می‌کند d قطر متوسط یعنی (d1+d2)/2 در نظر گرفته می‌شود که d1 قطر قطعه‌کار در موقعیت شروع ماشین‌کاری و d2 قطر آن در موقعیت پایان ماشین‌کاری است.

۳-از ضرب پیشروی بر حسب میلی‌متر بر دور در سرعت دوران، پیشروی بر حسب میلی‌متر بر دقیقه حاصل می‌گردد.

۴-کاهش سرعت پیشروی موجب بهبود پرداخت سطح خواهد شد(افزایش سرعت دوران نیز همین نتیجه را دارد).

۵-سرعت پیشروی در فرزکاری از رابطه $Vf = n.fz.Z$ حاصل می‌گردد.

۶-به طور کلی با افزایش عمق سوراخ‌کاری، سرعت اسپیندل و سرعت پیشروی باید کاهش یابد.

۷-به عنوان یک راهنمایی عمومی، عمق براده برداری برای فرزکاری با تیغ فرز کف تراش ۱ تا ۴ میلی متر و برای فرزکاری با تیغ فرز انگشتی ۱ تا ۲ میلی متر است. به طور کلی حداکثر عمق براده برداری در فرزکاری حداکثر تا ۸ میلی متر توصیه می‌گردد.

۸-حداکثر عمق براده برداری برای سوراخ‌کاری، معمولاً نصف سرعت پیشروی بر حسب دور بر دقیقه می‌باشد.

۹-عمق براده برداری در پرداخت کاری کم و در خشن کاری زیاد انتخاب می‌گردد.

ب)انتخاب مته و سرعت آن

چون سوراخ‌های قطعه کار قطر ۵ هستند پس مته قطر ۵ انتخاب می‌شود. برای تعیین سرعت‌ها از جداول استاندارد استفاده می‌شود. در جدول صفحه بعد و در بخش مته‌های الماسه می‌بینید که برای فولاد با استحکام زیر ۸۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع، سرعت برش ۹۰ متر بر دقیقه و برای مته قطر ۵(بین ۳ و ۶)میلی‌متر، سرعت پیشروی ۰/۱ میلی‌متر بر دور پیشنهاد شده است که تقریباً مشابه اطلاعات حاصل از کتابچه ابزار سندویک است یعنی:

$$n = (1000.Vc)/(\pi.d) = (\mathbf{1000 \times 90})/(\mathbf{3.14 \times 5}) \cong \mathbf{5732\ rpm}$$

$$Vf = \mathbf{5095 \times 0.1 = 573.2\ mm/min}$$

سوراخکاری

مته‌های از جنس فولادهای تندبر (HSS)

طبق DIN 1414-1 (1998-06)

نوع[1]	کاربرد	زاویه مارپیچ[2]	زاویه راس[3]
N	کاربرد عمومی برای مواد تا $R_m \approx 1000\ N/mm^2$، مثلا فولادهای - سازه‌ای، - کربوره و - بهسازی	30° ... 40°	118°
H	سوراخکاری فلزات غیرآهنی ترد و براده کوتاه و مواد مصنوعی، مثلا آلیاژهای CuZn و PMMA (پلکسی گلاس)	13° ... 19°	118°
W	سوراخکاری فلزات غیرآهنی نرم و براده بلند و مواد مصنوعی، مثلا آلیاژهای Mg، Cu، PA (پلی‌آمید) و PVC	40° ... 47°	130°

۱) گروه کاربردی ابزار برای ابزارهای HSS طبق DIN 1835
۲) وابسته به قطر مته و گام
۳) طرح معمولی

مقادیر مرجع برای سوراخکاری با مته‌های از جنس HSS[1]

جنس قطعه‌کار: گروه جنس	جنس قطعه‌کار: استحکام کششی R_m به N/mm^2 یا سختی HB	سرعت براده‌برداری[2] v_c m/min	قطر مته d به mm: 2...3	>3...6	>6...12	>12...25	>25...50
			پیشروی f به دور/mm				
فولادها، استحکام پایین	$R_m \le 800$	40	0,05	0,10	0,15	0,25	0,35
فولادها، استحکام بالا	$R_m > 800$	20	0,04	0,08	0,10	0,15	0,20
فولادهای زنگ‌نزن	$R_m \ge 800$	12	0,03	0,06	0,08	0,12	0,18
چدن خاکستری، - چکش‌خوار	≤ 250 HB	20	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60
آلیاژهای Al	$R_m \le 350$	45	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60
آلیاژهای Cu	$R_m \le 500$	60	0,10	0,15	0,30	0,40	0,60
ترموپلاستها	–	50	0,10	0,15	0,30	0,40	0,60
دوروپلاستها	–	25	0,05	0,10	0,18	0,27	0,35

مقادیر مرجع برای سوراخکاری با مته‌های الماسه[1]

جنس قطعه‌کار: گروه جنس	جنس قطعه‌کار: استحکام کششی R_m به N/mm^2 یا سختی HB	سرعت براده‌برداری[2] v_c m/min	قطر مته d به mm: 2...3	>3...6	>6...12	>12...25	>25...50
			پیشروی f به دور/mm				
فولادها، استحکام پایین	$R_m \le 800$	90	0,05	0,10	0,15	0,25	0,40
فولادها، استحکام بالا	$R_m > 800$	80	0,08	0,13	0,20	0,30	0,40
فولادهای زنگ‌نزن	$R_m \ge 800$	40	0,08	0,13	0,20	0,30	0,40
چدن خاکستری، - چکش‌خوار	≤ 250 HB	100	0,10	0,15	0,30	0,45	0,70
آلیاژهای Al	$R_m \le 350$	180	0,15	0,25	0,40	0,60	0,80
آلیاژهای Cu	$R_m \le 500$	200	0,12	0,16	0,30	0,45	0,60
ترموپلاستها	–	80	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
دوروپلاستها	–	80	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40

مقادیر مرجع در شرایط متغیر

مقادیر مرجع برای سرعت براده‌برداری و پیشروی برای شرایط میانگین صادق است :

مقادیر مرجع در
- عمر حدود 30 min
- استحکام متوسط قطعه‌کار
- عمق سوراخکاری $< 5 \cdot d$
- مته کوتاه
- شرایط مناسب افزایش می‌یابد،
- شرایط نامناسب کاهش می‌یابد.

۱) مواد روغنکاری- خنک‌کننده صفحات ۲۹۶ و ۲۹۷
۲) مقادیر برای مته‌های پوشش داده شده

ب)انتخاب تیغ فرز و سرعت آن

در فرزکاری خشن، معمولاً بزرگترین ابزار ممکن انتخاب می‌گردد. چون قطر سوراخ وسط این قطعه کار ۲۴ است و ما می‌خواهیم درون و بیرون این قطعه کار را جهت صرفه جویی در ابزار فقط با یک ابزار فرزکاری کنیم پس می‌توانیم از فرز انگشتی الماسه قطر ۲۲ یا ۲۰ استفاده نماییم. چون در کارگاه فرز قطر ۲۰ موجود است همین ابزار را انتخاب می‌کنیم.

با استفاده از جدول استاندارد (صفحه بعد) سرعت‌ها محاسبه شده‌اند. در این جدول و در بخش تیغ فرزهای الماسه می‌بینید که برای فولاد با استحکام زیر ۸۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع، سرعت برش ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر بر دقیقه و برای فرز قطر ۲۰ میلی‌متر، بار به ازای هر لبه ۰/۱ میلی‌متر است.

یعنی:

$n = (1000.Vc)/(\pi.d) = (\mathbf{1000 \times 200})/(\mathbf{3.14 \times 20}) \cong \mathbf{3185\ rpm}$

$Vf = n.fz.Z = \mathbf{3185 \times 0.1 \times 2 = 637\ mm/min}$

اما برای فرز انگشتی قطر ۲۰ از جنس HSS که برای فرزکاری ماده خام روی ماشین فرز معمولی به کار می‌رود داریم:

$n = (1000.Vc)/(\pi.d) = (\mathbf{1000 \times 50})/(\mathbf{3.14 \times 20}) \cong \mathbf{796\ rpm}$

$Vf = n.fz.Z = \mathbf{796 \times 0.1 \times 2 = 159\ mm/min}$

فـرزکـاری

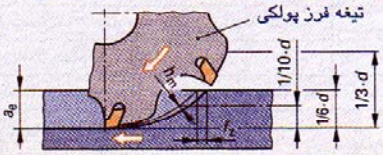
مقادیر مرجع برای فرزکاری با تیغه فرزهای HSS

جنس قطعه‌کار: گروه جنس	جنس قطعه‌کار: استحکام کششی N/mm^2 به R_m یا سختی HB	سرعت براده‌برداری v_c به m/min	پیشروی f_z به mm: تیغه فرز (به جز تیغه فرزهای انگشتی)	تیغه فرز انگشتی، d به mm: 6	12	20
فولادها، استحکام پایین	$R_m \le 800$	50 ... 100	0,05 ... 0,15	0,06	0,08	0,10
فولادها، استحکام بالا	$R_m > 800$	30 ... 60				
فولادهای زنگ‌نزن	$R_m \ge 800$	15 ... 30				
چدن- خاکستری، - چکش‌خوار	≤ 250 HB	25 ... 40				
آلیاژهای Al	$R_m \le 350$	50 ... 150				
آلیاژهای Cu	$R_m \le 500$	50 ... 100				
ترموپلاستها	–	100 ... 400	0,10 ... 0,20	0,10	0,15	0,20
دوروپلاستها	–	100 ... 400				

مقادیر مرجع برای فرزکاری با تیغه‌فرزهای الماسه با پوشش

جنس قطعه‌کار: گروه جنس	جنس قطعه‌کار: استحکام کششی N/mm^2 به R_m یا سختی HB	سرعت براده‌برداری v_c به m/min	پیشروی f_z به mm: تیغه فرز (به جز تیغه فرزهای انگشتی)	تیغه فرز انگشتی، d به mm: 16	12	20
فولادها، استحکام پایین	$R_m \le 800$	200 ... 400	0,05 ... 0,15	0,06	0,08	0,10
فولادها، استحکام بالا	$R_m > 800$	150 ... 300				
فولادهای زنگ‌نزن	$R_m \ge 800$	150 ... 300				
چدن- خاکستری، - چکش‌خوار	≤ 250 HB	150 ... 300				
آلیاژهای Al	$R_m \le 350$	400 ... 800				
آلیاژهای Cu	$R_m \le 500$	200 ... 400				
ترموپلاستها	–	500 ... 1500	0,10 ... 0,20	0,10	0,15	0,20
دوروپلاستها	–	400 ... 1000				

افزایش پیشروی توصیه شده هر دندانه f_z در فرزکاری شیار با تیغه فرز پولکی



پیشروی هر دندانه	عمق براده‌برداری a_e مربوط به قطر فرز: 1/3 · d	1/6 · d	1/10 · d	1/20 · d
افزایش	1 · f_z	1,15 · f_z	1,45 · f_z	2 · f_z
تنظیم	0,25 mm	0,29 mm	0,36 mm	0,50 mm

معنی محدوده داده‌های براده‌برداری

مثال : مقادیر مرجع برای فرزکاری فولادهای با استحکام پایین با تیغه‌فرزهای HSS

کاربرد	مقادیر پایینی	کاربرد	مقادیر بالایی
• ماشینکاری اولیه (خشن‌تراشی) • ابزار و قطعه‌کار ناپایدار	v_c = 50 m/min	• ماشینکاری نهایی (پرداخت) • ابزار و قطعه‌کار پایدار	v_c = 100 m/min
• ماشینکاری نهایی (پرداخت) • ابزار و قطعه‌کار ناپایدار	f_z = 0,05 mm	• ماشینکاری اولیه (خشن‌تراشی) • ابزار و قطعه‌کار پایدار	f_z = 0,15 mm

محاسبه سرعت پیشروی تنظیمی

سرعت پیشروی		دور تیغه فرز به 1/min	n
		تعداد دندانه تیغه‌فرز	z
v_f	mm/min سرعت پیشروی به		
f_z	mm پیشروی هر دندانه به		

$v_f = n \cdot f_z \cdot z$

مثال :

$z = 10\ ;f_z = 0,12\ mm\ ;d = 40\ mm\ ;v_c = 100\ m/min$

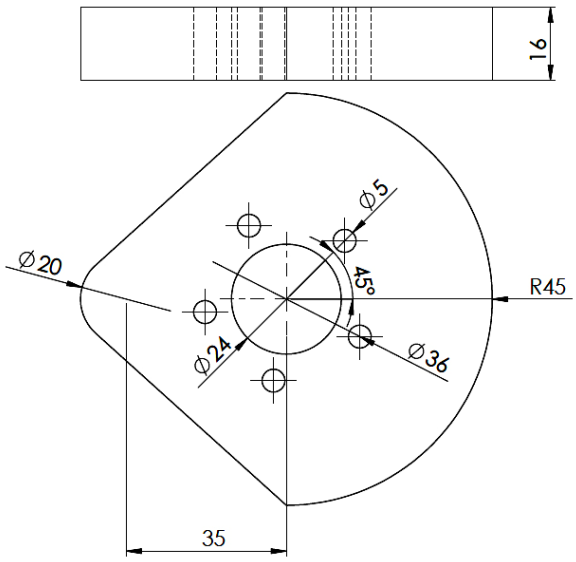
$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{100\ m/min}{\pi \cdot 0,04\ m} = 796\ 1/min;\ v_f = n \cdot f_z \cdot z = 796/min \cdot 0,12\ mm \cdot 10 = \mathbf{955\ mm/min}$

نکته:

برای خشن کاری، بهتر است از فرزهای انگشتی استفاده گردد که اینسرت‌های آن دارای نوک شعاع دار باشند. تیغ فرز انگشتی با اینسرت دارای گوشه تیز در خشن کاری، خیلی زود فرسوده می‌شود و بنابراین کمتر در خشن کاری به کار می‌رود. تیغ فرز انگشتی سر کروی نیز برای خشن کاری انتخاب نمی‌شود و عموماً مناسب پرداخت کاری سطوح فرم دار است.

در نهایت، برگ فهرست عملیات و برگ تجهیز برای نقشه ارائه شده به صورت زیر تکمیل می‌شوند.

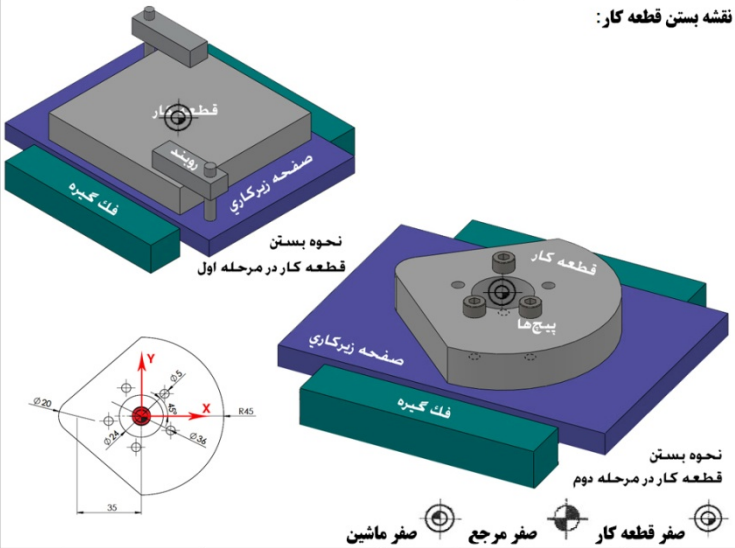
فهرست عملیات					
نام برنامه: ۱	نام قطعه کار: تکیه گاه جنس قطعه کار: ۱.۰۷۲۶ استحکام کششی: ۵۲۰ تا ۶۸۰ نیوتن بر میلی متر مربع ابعاد کلی قطعه کار نهایی: ۹۰ در ۹۰ در ۱۶ میلی متر سختی: ۱۵۴ تا ۲۰۱ برینیل شماره نقشه: ۱				
شماره عملیات	شرح عملیات	نام، ابعاد و جنس ابزار	سرعت دوران (rpm)	سرعت پیشروی (mm/min)	شماره ابزار در ابزارگیر
۱	برش صفحه‌ای به ضخامت ۲۰ و ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ میلی متر	تجهیزات هوا برش	-	-	-
۲	گونیا کردن و به اندازه ۹۰ در ۹۰ در ۱۶ رساندن قطعه کار با فرزکاری عادی	فرز انگشتی HSS قطر ۲۰	۷۹۶	۱۵۹	-
۳	مته کاری سوراخ‌های قطر ۵	مته HSS قطر ۵	۵۰۹۵ تا ۸۹۱۷	۵۰۹/۵ تا ۸۹۱/۷	۱
۴	بورینگ سوراخ قطر ۲۴	فرز انگشتی الماسه قطر ۲۰	۳۱۸۵	۶۳۷	۲
۵	فرزکاری خشن و پرداخت محیط بیرونی قطعه کار مطابق خط کشی	فرز انگشتی الماسه قطر ۲۰	۳۱۸۵	۶۳۷	۲
۶	اندازه گیری و مطابقت نهایی با نقشه	کولیس ۰/۰۵ با دامنه ۱۲۰ میلی متر	-	-	-



برگ تجهیز

شماره برنامه: 1	نام برنامه: O931
نام دستگاه: فرز سه محور جانفورد با کنترلر فانوک 18M	
نام قطعه کار: تکیه گاه	
شماره نقشه قطعه کار: 1	وسیله بست: گیره و روبند
جنس قطعه کار /ماده خام: 1.0726	نوع فک: ----
محورهای مختصات مورد نیاز: X Y Z	فشار بست: ---
مختصات نقطه صفر مرجع	فشار مرغک: ---
مختصات نقطه صفر ماشین	ماده خنک کاری: آب صابون
مختصات نقطه صفر قطعه کار= وسط قطعه کار= X=350, Y=-150, Z=-151	مدت زمان ماشین کاری:

نقشه بستن قطعه کار:



ردیف	نام و جنس ابزار	شماره ابزار در تارت	طول	قطر	سرعت دوران	سرعت پیشروی
1	مته کاربیدی R840-0500-50-A1A	1	82	5	5095-8917 rpm	509.5-891.7 mm/min
2	فرز انگشتی الماسه R390-020C3-11L050	2	50	20	3185 rpm	637 mm/min

روش‌های برنامه نویسی در ماشین‌های CNC

۱-کُد نویسی

```
O192
N10 G54 G17 G21 G90
N20 G00 Z100
N30 M06 T1 (drill 8)
N40 M03 S1792
N50 G00 X0 Y0
```

هر عملیاتی که باید در ماشین ابزار انجام شود به صورت یک کُد قابل شناسایی برای واحد کنترل تعریف می‌شود. با نوشتن این کُد در واحد کنترل و اجرای آن، عملیات مورد نظر اجرا می‌گردد. مثلاً با نوشتن کُدی به نام **G01** و تعیین مختصات نقطه مورد نظر در مقابل آن (**G01 X10 Y22**) ماشین با سرعت پیشروی به نقطه معین شده حرکت می‌کند. نمونه‌ای از این نوع برنامه در شکل بالا مشاهده می‌گردد. در این متن، همین روش که ساده‌ترین روش نیز می‌باشد را دنبال خواهیم نمود.

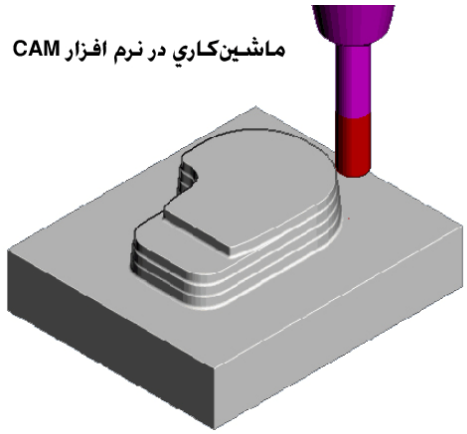
۲- APT (Automatically Programed Tools)

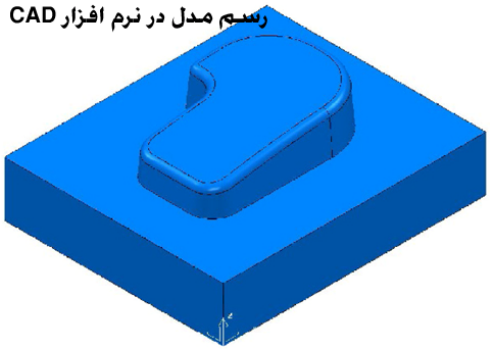
```
.....
.....
FROM/ P0
GO/TO,L1
TLLFT,GOLFT/L1 ,PAST, S1
 GORGT/ S1 ,PAST, L1
GOFWD/ S1, PAST, L1
GORGT/ L1 ,PAST, L2
GORGT/ L2 , L3
GOLFT/ L3, PAST, L4
GORGT/ L4, TANTO, S2
GOFWD/ S2, L5   ( GOFWD/ S2, TO, L5)
GOLFT/ L5, PAST, L6
GORGT/ L6, PAST, L7
GORGT/ L7, PAST, L1
.....
.....
```

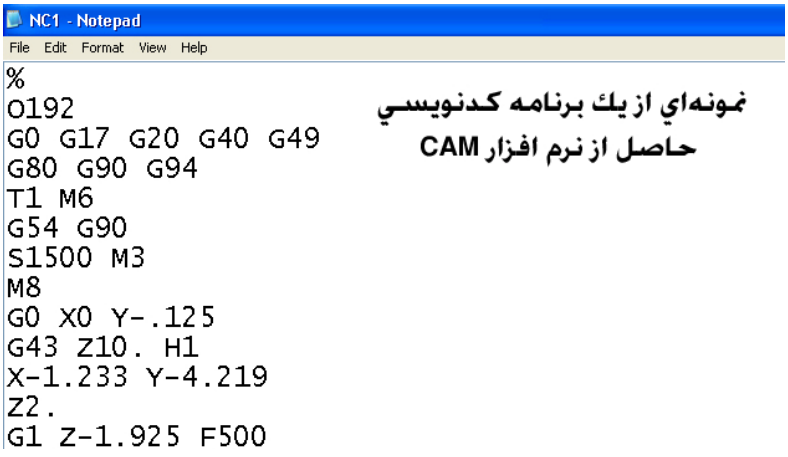
در این روش از دستوراتی به زبان انگلیسی استفاده می‌شود و بنابراین کار برنامه نویسی آسانتر می‌گردد. در نهایت کامپیوتر، این دستورات را به صورت یک برنامه کُد نویسی ترجمه می‌نماید. نمونه‌ای از این روش برنامه نویسی در شکل روبرو دیده می‌شود.

۳-CAD/CAM

در این روش ابتدا مدل سه بعدی قطعه کار توسط نرم افزارهای طراحی به کمک کامپیوتر(**CAD**) مانند کتیا و سالیدورکز ایجاد می‌شود. سپس مدل سه بعدی رسم شده به یک نرم افزار ساخت به کمک کامپیوتر(**CAM**) مانند مسترکم یا پاورمیل وارد می‌گردد و پس از انجام تنظیمات لازم، برنامه **CNC** به صورت کُد نویسی شده توسط نرم افزار ارائه می‌شود.







نمونه‌ای از یک برنامه کدنویسی حاصل از نرم افزار CAM

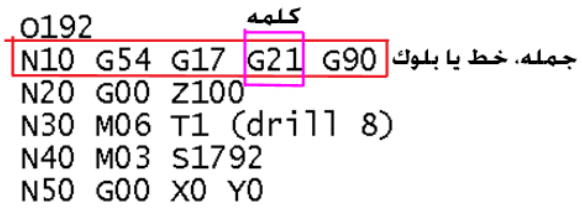
ساختار برنامه در روش کُد نویسی

کل کار در این روش آن است که کُدهای مربوط به عملیات مختلف را فرا بگیرید و سپس مطابق نقشه قطعه کار آن‌ها را به ترتیب مناسب کنار هم قرار دهید تا برنامه سی ان سی حاصل گردد. معمولاً کنترلرهای مختلف ساختار برنامه نویسی متفاوتی دارند(اگر چه بسیاری از آن‌ها با هم مشابه هستند). به همین علت بهتر است ابتدا نوع کنترلر مورد نظر مشخص شود تا کُد نویسی مطابق با ساختار برنامه نویسی آن کنترلر شرح داده شود. از جمله کنترلرهای معروف می‌توان به انواع زیر اشاره نمود:

کنترلر فانوک(Fanuc) و سین سیناتی(Cincinati) ساخت کشور امریکا، کنترلر زیمنس(Siemens) و هایدن هاین (Heidenhain) ساخت کشور آلمان، کنترلر موریزاکی(Mori seiki) و ماتسورا(Matsuura) ساخت کشور ژاپن و کنترلر امکو(Emco) ساخت کشور اتریش

در این متن، کنترلر فانوک مد نظر قرار دارد.

همانطور که در برنامه سی ان سی زیر مشاهده می شود هر برنامه از تعدادی جمله (خط یا بلوک) تشکیل می‌شود. هر خط نیز شامل تعدادی کلمه(کُد) است. هر کلمه(کُد)، شامل دو نوع کاراکتر یعنی یک حرف انگلیسی(آدرس) و عدد است. اساس یک برنامه سی ان سی کُدها هستند که در ادامه تعدادی از آن‌ها را بررسی می‌نماییم.



در جدول زیر تعدادی از حروف(آدرس) مربوط به کُدهای مختلف و مفهوم آن‌ها در فرزکاری آورده شده است.

ردیف	حرف(آدرس)	مفهوم	عددی که عموماً با این حرف به کار می‌رود.
۱	O	نام برنامه	۱ تا ۹۹۹۹
۲	N	شماره خط برنامه	حداکثر ۵ رقم صحیح
۳	G	دستور مقدماتی	دو رقمی
۴	X ,Y ,Z	مختصات خطی	حداکثر ۵ رقم صحیح و سه رقم اعشار
	A, B, C	مختصات دورانی	-
۵	M	تابع متفرقه	دو رقمی
۶	T	تابع ابزار	-
۷	S	تابع دوران اسپیندل	از دو تا چهار رقم
۸	F	تابع پیشروی	سه رقم صحیح و دو رقم اعشاری
۹	D	شماره آفست قطر ابزار	دو رقمی
۱۰	H	شماره آفست طول ابزار	دو رقمی
۱۱	R	شعاع قوس	حداکثر ۵ رقم صحیح و سه رقم اعشار
۱۲	I,J,K	پارامترهای میان یابی دایره‌ای	حداکثر ۵ رقم صحیح و سه رقم اعشار
۱۳	Q,P,L,K,...	کدهای دیگر که در جای خود بررسی می شوند.	

۱-O کُد: در کنترلر فانوک هر برنامه با یک نام آغاز می شود. این نام از حرف O و یک عدد از ۱ تا ۹۹۹۹ تشکیل می‌گردد. به کمک نام برنامه می‌توان آن را در حافظه ثبت و احضار نمود.

۲-N کُد(Block Number): هر خط از برنامه با یک شماره آغاز می شود. این شماره از حرف N و یک عدد از ۱ تا ۹۹۹۹ تشکیل می‌گردد. به کمک این شماره می‌توان هر خط از برنامه را شناسایی نمود و ترتیب اجرای کدها را تشخیص داد.

بهتر است که شماره خطوط برنامه ۱۰ تا ۱۰ تا افزایش یابد (N10، N20 **و...) تا در صورت لزوم بتوان بین آن‌ها خطوط دیگری نیز اضافه نمود.**

۳-G کُد(Preparatory Command): به کمک این کُدها که به آن‌ها دستورات تدارکاتی یا آماده کننده(Preparatory Command) گفته می‌شود می توان یک شرایط معین را برای واحد کنترل تعریف نمود یا واحد کنترل را در یک وضعیت عملیاتی مشخص قرار داد. فهرست تعدادی از مهمترین این کُدها برای واحد کنترل فانوک در جدول زیر مشاهده می‌گردد.

گروه	G کُد	مفهوم	نوع کُد
00	G04	ایجاد توقف موقت برای مدت زمان معین	غیر پایدار
	G28	حرکت ابزار به نقطه مرجع	غیر پایدار
	G29	برگشت ابزار از نقطه مرجع	غیر پایدار
	G92	انتقال نقطه صفر قطعه کار به یک نقطه جدید	پایدار
01	G00	حرکت خطی سریع	پایدار
	G01	حرکت خطی با سرعت پیشروی معین	
	G02	حرکت دایروی در جهت چرخش عقربه‌های ساعت	
	G03	حرکت دایروی در جهت چرخش عقربه‌های ساعت	
02	G17	ابزار عمود بر صفحه XY است.	پایدار
	G18	ابزار عمود بر صفحه XZ است.	
	G19	ابزار عمود بر صفحه YZ است.	
03	G90	انتخاب سیستم مختصات مطلق	پایدار
	G91	انتخاب سیستم مختصات افزایشی	
05	G94	پیشروی بر حسب میلی متر بر ثانیه	پایدار
	G95	پیشروی بر حسب میلی متر بر دور	
06	G20	انتخاب سیستم اینچی	پایدار
	G21	انتخاب سیستم متریک	
07	G40	کنسل کردن جبران شعاع ابزار	پایدار
	G41	جبران شعاع ابزار از سمت چپ قطعه کار	
	G42	جبران شعاع ابزار از سمت راست قطعه کار	
08	G43	جبران طول ابزار به سمت مثبت(بالا)	پایدار
	G44	جبران طول ابزار به سمت منفی(پایین)	
	G49	کنسل کردن جبران طول ابزار	
09	G80	کنسل کردن سیکل	پایدار
	G81	سیکل مته کاری طی یک پاس	
	G82	سیکل مته کاری طی یک پاس همراه با توقف موقت ابزار در انتهای سوراخ	
	G83	سیکل مته کاری طی چند پاس	
	G84	سیکل قلاویز زنی	
	G85	سیکل برقو زنی	
	G86	سیکل بورینگ	
10	G98	برگشت ابزار به ارتفاع اولیه(کاربرد در سیکل‌ها)	پایدار
	G99	برگشت ابزار به ارتفاع معین زیر ارتفاع اولیه(کاربرد در سیکل‌ها)	
14	G54 . . . G59	مختصات نقطه صفر قطعه کار	پایدار

Gکُدهای هم گروه، یکدیگر را کنسل می‌کنند.مثلاً G01 کُد G00 را کنسل می‌کند(و برعکس).توجه کنید که نمی‌توان دو Gکُد هم گروه را در یک خط از برنامه جای داد.
Gکُد پایدار تا زمانی که کنسل نشود برقرار است(مانند G90) اما Gکُد غیر پایدار فقط در همان خطی که نوشته می‌شود برقرار خواهد بود (مانند G28).

۴-کدهای مختصات خطی(Xکُد، Yکُد و Zکُد) و مختصات چرخشی(Aکُد، Bکُد و Cکُد): برای تعیین مختصات خطی و چرخشی به کار می‌روند.

۵-M کُد(Miscellaneous Function): به این کُدها توابع متفرقه (Miscellaneous Functions) یا توابع ماشین(Machine Functions) گفته می‌شود. فهرست تعدادی از این کُدها برای واحد کنترل فانوک در جدول زیر آورده شده است.

M کُد	مفهوم
M00	توقف اجرای برنامه(برنامه در خطی که این کُد نوشته شده است متوقف می‌گردد و برای اجرای مجدد برنامه باید دکمه Cycle Start در پنل کنترل فشار داده شود. برای عدم توقف باید این کد از برنامه حذف گردد.)
M01	توقف اختیاری برنامه(اگر این کُد در خطی از برنامه نوشته شود و همچنین دکمه Block Skip در پنل کنترل انتخاب گردد هنگامی که واحد کنترل به خط مربوطه می‌رسد اجرای برنامه را متوقف می‌کند.)
M02	پایان برنامه بدون برگشت به ابتدای برنامه
M03	روشن شدن محور اصلی در جهت چرخش عقربه‌های ساعت
M04	روشن شدن محور اصلی در خلاف جهت چرخش عقربه‌های ساعت
M05	خاموش کردن محور اصلی
M06	سیکل تعویض ابزار
M08	روشن کردن پمپ مایع خنک کننده
M09	خاموش کردن پمپ مایع خنک کننده
M30	پایان برنامه و برگشت به ابتدای برنامه جهت اجرای مجدد آن(برای اجرای مجدد باید دکمه Cycle Start در پنل کنترل فشار داده شود)
M98	فراخوانی زیر برنامه
M99	انتهای زیر برنامه

۶-T کُد: به کمک این کُد ابزار مورد نظر در جعبه ابزار ماشین را مشخص می‌کنیم. مثلاً منظور از T20 ابزار شماره بیست است.

۷-S کُد: به کمک این کُد سرعت دوران اسپیندل را مشخص می‌کنیم. مثلاً منظور از S520 آن است که سرعت دوران اسپیندل باید ۵۲۰ دور بر دقیقه باشد.

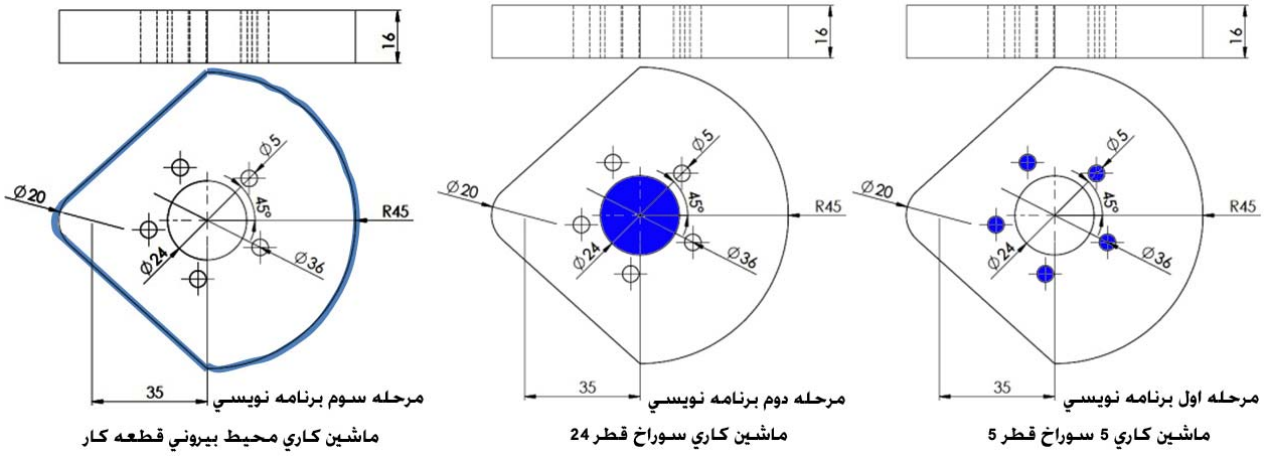
اگر قبل از S، کُد G96 نوشته شود واحد کنترل، سرعت دوران را متر بر دقیقه یعنی سرعت برش در نظر می‌گیرد. در این حالت سرعت دوران، متغیر و سرعت برش ثابت است و بنابراین سطح پرداخت بهتری حاصل می‌گردد. اما با نوشتن کُد G97 قبل از S، سرعت دوران، دور بر دقیقه خواهد بود. دور بر دقیقه، حالت پیش فرض واحد کنترل فانوک است و بنابراین نیازی به نوشتن کُد G97 قبل از S نیست.

۸-F کُد: به کمک این کُد سرعت پیشروی میز ماشین را مشخص می‌کنیم. مثلاً منظور از F150 آن است که سرعت پیشروی میز باید ۱۵۰ میلی متر بر دقیقه باشد.

اگر قبل از نوشتن F از G95 استفاده شود واحد کنترل سرعت پیشروی را بر حسب میلی متر بر دور در نظر می‌گیرد. بر عکس، کد G94 برای تبدیل پیشروی به میلی متر بر دقیقه به کار می‌رود.

کدهای باقی مانده دیگر در جای خود شرح داده خواهند شد.

مراحل برنامه نویسی قطعه کار



مرحله اول نوشتن برنامه سی ان سی(سوراخ کاری سوراخ‌های قطر ۵)

O931

۰-چون اولین برنامه‌ای است که در سال ۹۳ می‌نویسم نام آن را O931 در نظر می‌گیریم.

N10 G21 G90 G17 G54

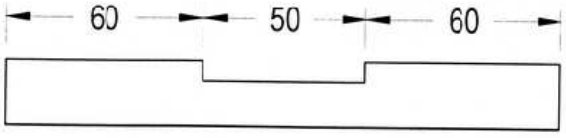
۱-خط اول(تنظیمات)را با پنج کُد به شرح زیر آغاز می‌نماییم. توجه کنید که ترتیب چهار کُد بعد از N10 اهمیتی ندارد و می‌توان آن‌ها را جا به جا کرد(در خطوط بعدی برنامه نیز همین گونه است).

N10-خط شماره یک برنامه

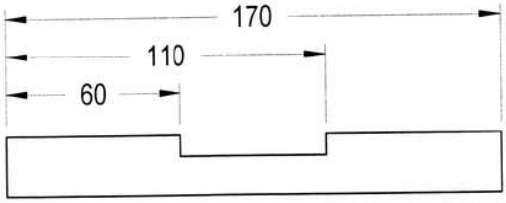
G21-انتخاب سیستم متریک

G90-انتخاب سیستم مطلق

در سیستم اندازه گذاری مطلق، مختصات هر نقطه نسبت به مبدأ مختصات داده می‌شود. اما در سیستم اندازه گذاری افزایشی(G91) مختصات هر نقطه نسبت به نقطه قبلی تعیین می‌گردد. طبیعی است که خطا در سیستم مطلق کمتر پیش می‌آید و مثلاً اگر مختصات یک نقطه اشتباه تعیین شود بر مختصات نقاط دیگر تأثیری ندارد. هر جا که در برنامه لازم باشد می‌توان سیستم مطلق را به افزایشی یا برعکس تغییر داد.

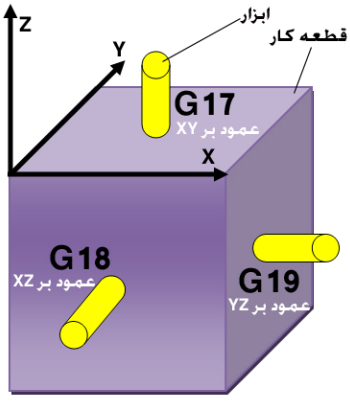


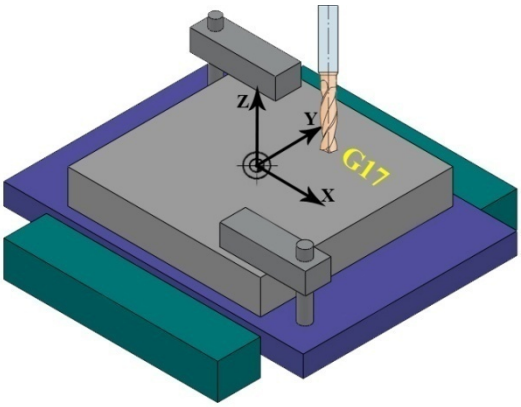
اندازه گذاری افزایشی



اندازه گذاری مطلق

G17-ابزار، عمود بر صفحه XY قرار می‌گیرد.به عبارت دیگر عملیات ماشین‌کاری در صفحه XY انجام می‌شود.





G54-انتخاب صفر قطعه کار

در فرزکاری معمولی پس از بستن قطعه کار و ابزار و انجام تنظیمات لازم ابتدا ابزار به یک گوشه قطعه کار مماس و ورنیه فلکه حرکت دستی صفر می‌شود. این کار همان تعریف صفر قطعه کار می‌باشد. در فرز سی ان سی مناسب‌ترین روش برای تعیین نقطه صفر قطعه کار یا صفر کردن ابزار استفاده از لبه یاب یا مماس یاب(Edge finder) می باشد. لبه یاب مکانیکی از انواع مرسوم است. به عنوان مثال جنس این لبه یاب فولاد SCM-4 است که سختی آن ۵۶ راکول سی می باشد. این لبه یاب می‌تواند با دقت ۰/۰۰۲ میلی متر عملیات لبه یابی را انجام دهد و برای ماشین‌های فرز و بورینگ مناسب است. قطر میله این لبه یاب ۱۰ میلی متر می‌باشد. البته لبه یاب مکانیکی با قطر میله ۸ میلی متر نیز برای سوراخ‌های کوچک وجود دارد.

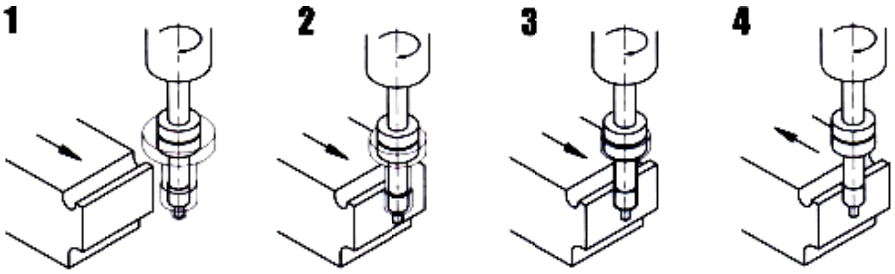
برای استفاده از این لبه یاب روش زیر اجرا می‌شود. توجه کنید که در تمام مراحل، به ویژه زمانی که قطعه کار به لبه یاب نزدیک است باید قطعه کار بسیار آرام با فلکه دستی دیجیتال ماشین حرکت داده شود. برخورد ناگهانی قطعه کار با لبه یاب یا روشن کردن محور اصلی با سرعت بیش از ۱۰۰۰ دور بر دقیقه منجر به خرابی و دو تکه شدن آن می گردد. توجه نمایید که تکه بالایی و پایینی تنها با یک فنر به هم متصل شده اند.

۱-لبه یاب به کمک یک میل فرز فشنگی دار به محور اصلی دستگاه بسته می شود و محور اصلی با دور ۴۰۰ تا ۶۰۰ دور بر دقیقه روشن می گردد. در این حالت تکه پایینی خارج از مرکز می‌چرخد و قطعه کار آرام به آن نزدیک می شود.

۲-با نزدیک شدن قطعه کار به لبه یاب، در اثر تماس آنها با یکدیگر تکه پایینی به آرامی به مرکز باز می گردد.

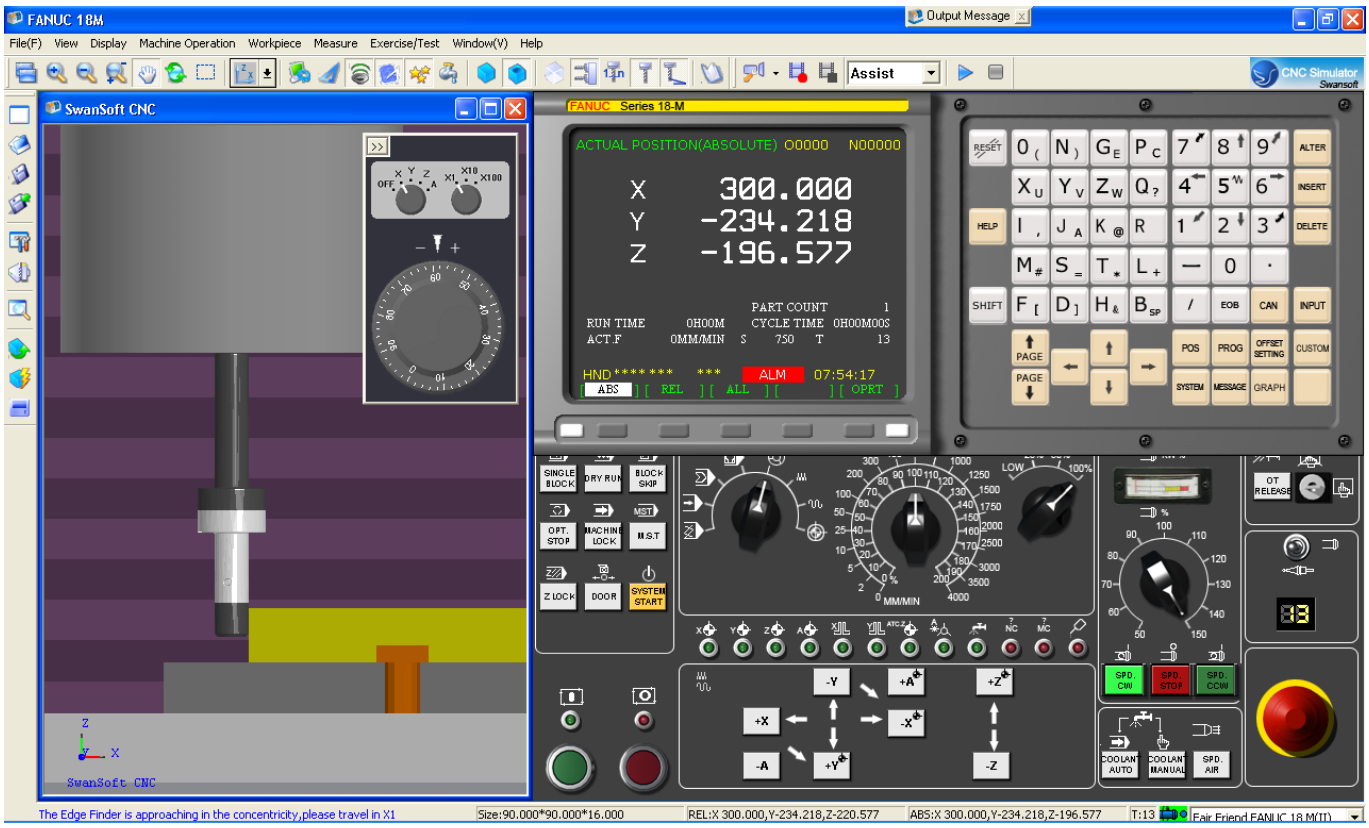
۳-در یک لحظه تکه پایینی بدون لنگی می‌چرخد اما همچنان به نزدیک کردن قطعه کار ادامه می‌دهیم تا دوباره تکه پایینی از مرکز خارج شود.

۴-قطعه کار را به آرامی از لبه یاب دور می کنیم تا تکه پایینی دوباره در مرکز قرار گیرد و بدون لنگی بچرخد. در این شرایط قطعه کار و لبه یاب بر هم مماس خواهند بود. مختصات نشان داده شده بروی نمایشگر در حافظه دستگاه به عنوان صفر قطعه کار ثبت می‌گردد(مرحله ۴ برای اطمینان بیشتر از مماس شدن لبه یاب به قطعه کار است).

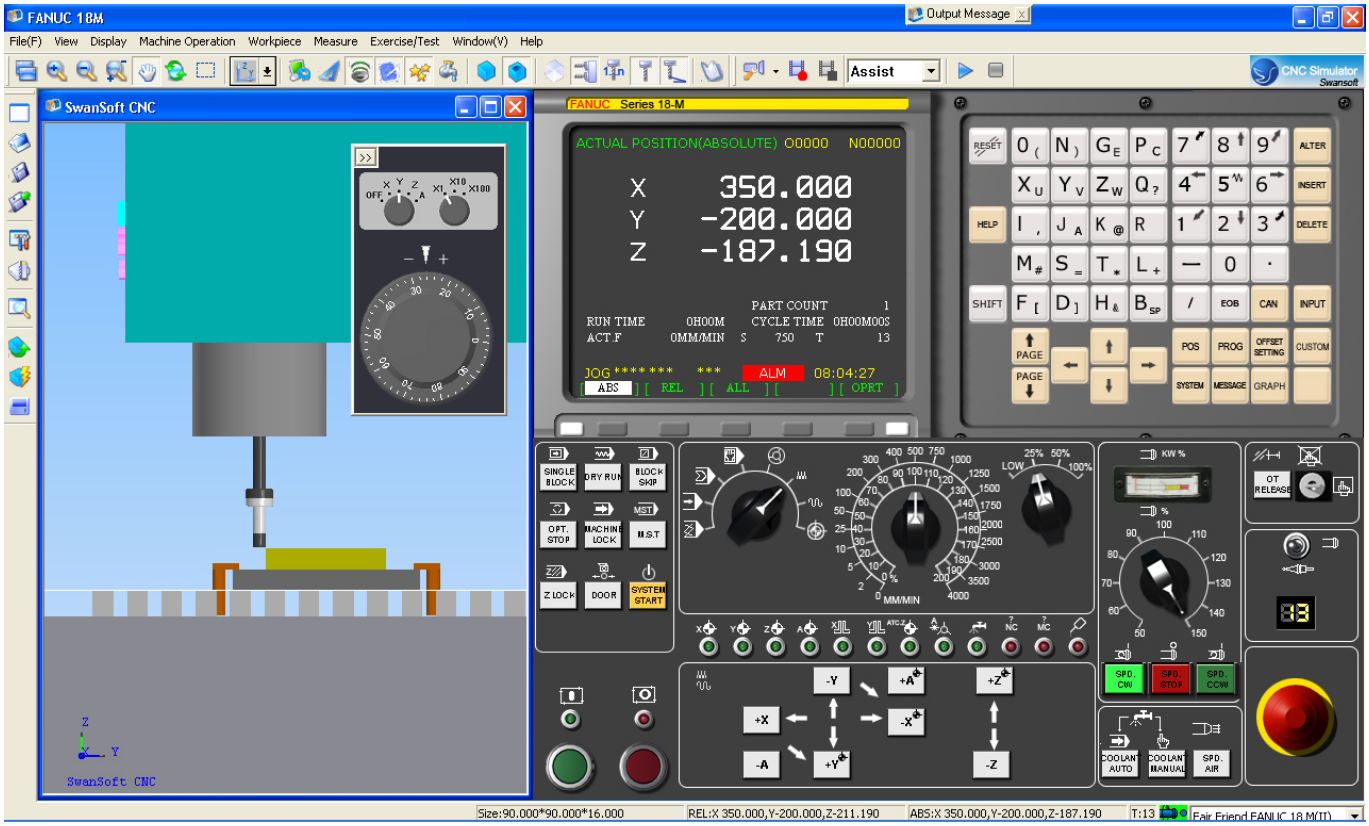


توضیح مراحل کار به کمک نرم افزار شبیه ساز :

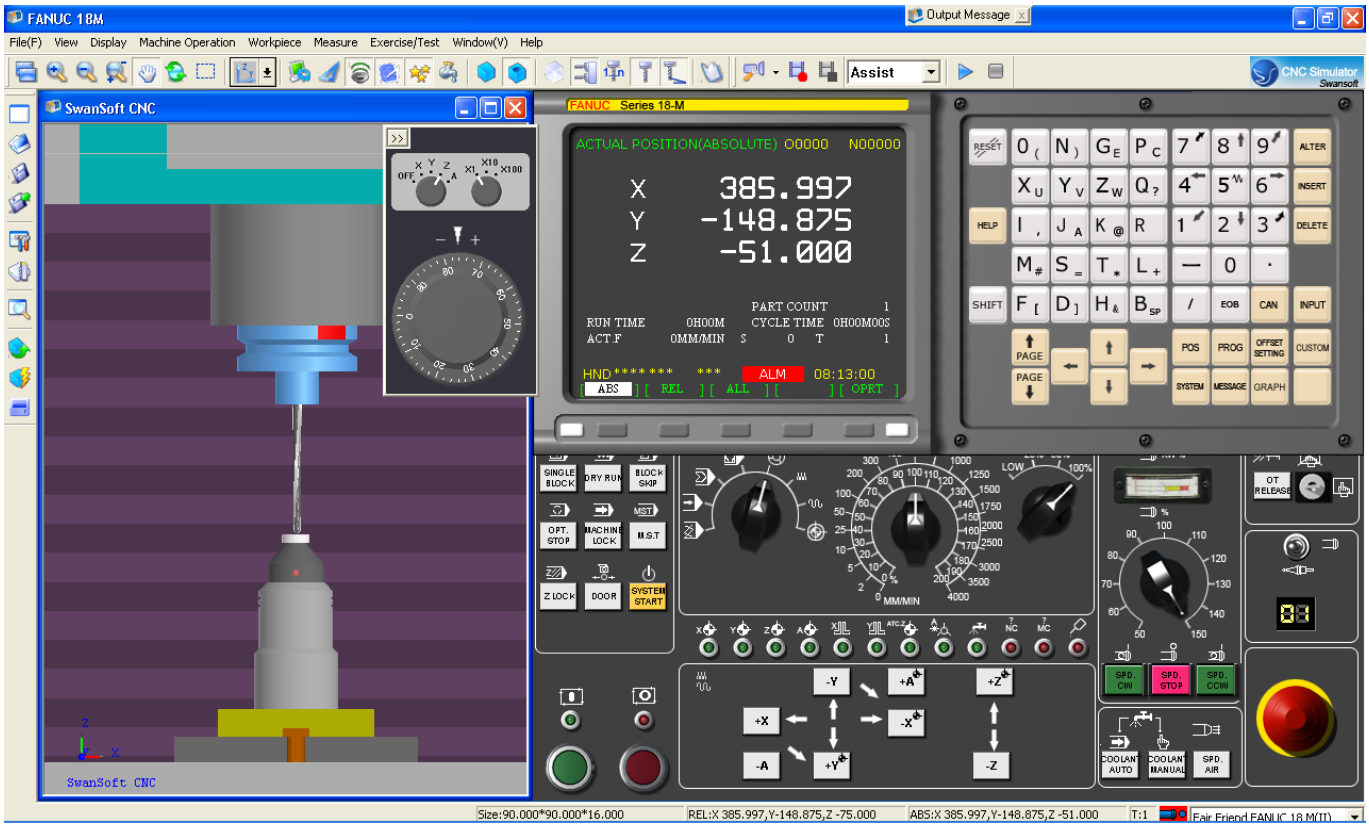
مطابق شکل صفحه بعد ابتدا لبه یاب در راستای محور X با گوشه قطعه کار مماس می‌گردد. مختصات ۳۰۰ میلی متر برای X در نمایشگر مشاهده می‌شود. چون در سی ان سی مرکز ابزار به عنوان مبنای حرکت در نظر گرفته می شود باید مرکز ابزار بروی گوشه قطعه کار قرار گیرد یعنی باید به ۳۰۰ شعاع لبه یاب اضافه شود(۳۰۵). از طرف دیگر با توجه به نقشه قطعه کار باید وسط بلوک ماده خام را صفر قطعه کار در نظر گرفت. پس نصف طول ماده خام (۴۵ میلی متر) نیز باید به مختصات X اضافه شود. بنابراین مختصات صفر قطعه کار در راستای X کلاً ۳۵۰ میلی متر خواهد بود.



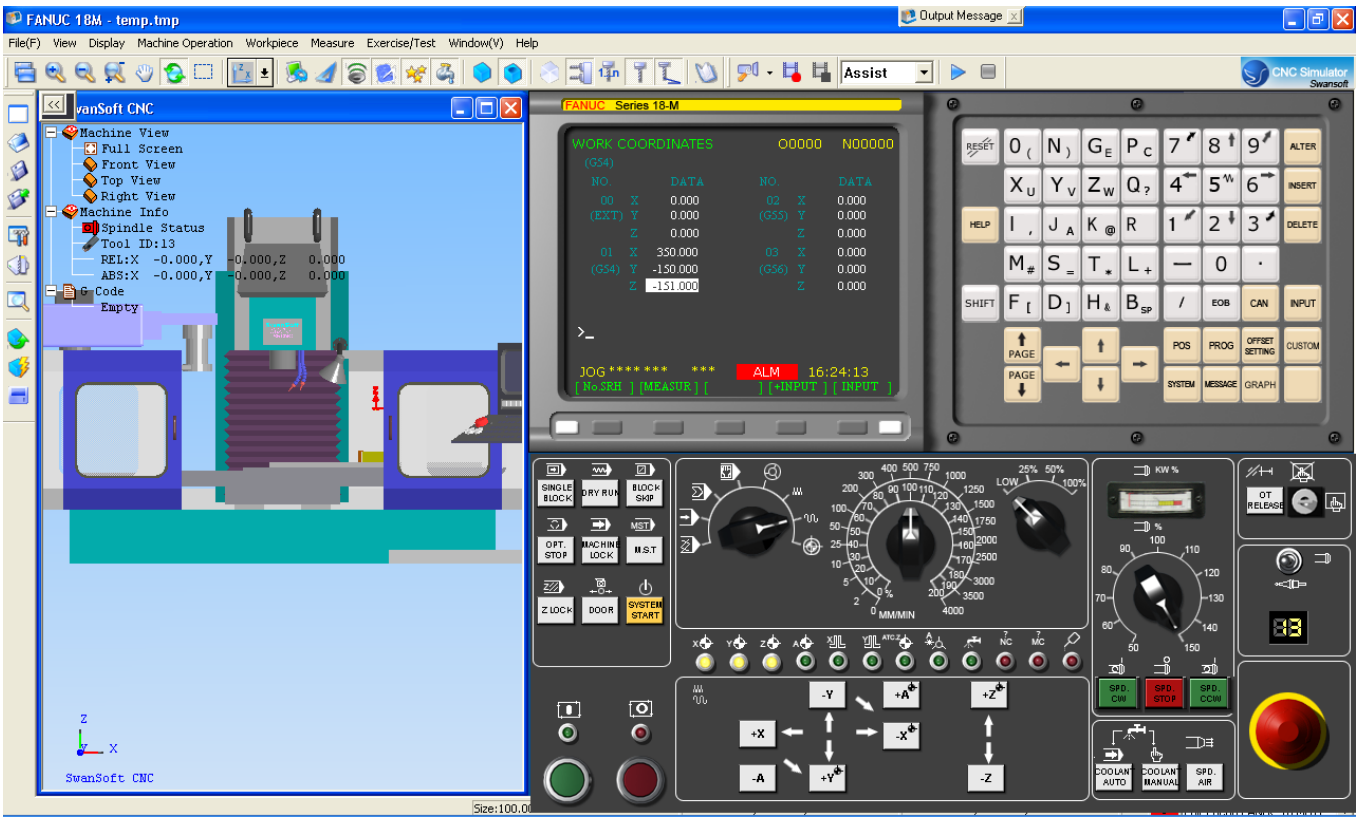
در مرحله دوم، لبه یاب در راستای محور Y با همان گوشه قطعه کار مماس می‌گردد که مختصات ۲۰۰- میلی متر مشاهده می‌شود(شکل زیر). مجدداً باید مرکز ابزار بروی گوشه قطعه کار قرار گیرد پس شعاع لبه یاب به این مختصات اضافه می‌گردد(۵+۲۰۰-=۱۹۵-). چون وسط بلوک ماده خام صفر قطعه کار است پس نصف عرض ماده خام (۴۵ میلی متر) نیز باید به مختصات Y اضافه شود. بنابراین مختصات صفر قطعه کار در راستای X کلاً ۱۵۰- میلی متر خواهد بود(۴۵+۱۹۵-=۱۵۰-).



در مرحله سوم، گیج محور Z به طول ۱۰۰ میلی متر را روی قطعه کار قرار می‌دهیم. ابزار(مته قطر ۵) را بروی اسپیندل سوار و نوک ابزار را با گیج مماس می‌کنیم. مطابق شکل زیر مختصات ۵۱- برای محور Z دیده می‌شود. کافی است طول گیج یعنی ۱۰۰ میلی متر به این مختصات اضافه شود تا نوک ابزار به قطعه کار مماس شود(۱۵۱-).



بنابراین مختصات صفر قطعه کار، X=350, Y=-150, Z=-151 خواهد بود. مطابق شکل زیر به بخش تنظیمات آفست قطعه کار رجوع می‌نماییم. اگر این مختصات در حافظه G54 وارد گردد و همین کُد در برنامه نیز ذکر شود کنترلر، مختصات وارد شده را به عنوان صفر قطعه کار در نظر می‌گیرد. حافظه‌های دیگری نیز برای این کار وجود دارند که G55, G56, G57, G58, G59 می‌باشند.



N20 M06 T1 (drill 5)

۲-خط دوم(تعویض ابزار)

N20-خط شماره دو برنامه

M06-تعویض ابزار

T1-انتخاب ابزار شماره ۱

هنگام تعویض ابزار، اسپیندل خاموش و سپس به نزدیکی ابزارگیر منتقل می‌شود. ابزار موجود در اسپیندل، درون ابزارگیر قرار می‌گیرد و ابزار شماره ۱ در اسپیندل جای داده می‌شود. اسپیندل به موقعیت قبلی خود باز می‌گردد. هر آن چه درون پرانتز نوشته شود به معنی توضیحی برای اپراتور می‌باشد. در اینجا توضیح drill 5 به معنی انتخاب مته قطر ۵ برای ابزار شماره ۱ است.

N30 M03 S5095

۳-خط سوم(روشن کردن اسپیندل با سرعت دوران معین)

N30-خط شماره سه برنامه

M03-روشن کردن موتور اسپیندل با چرخش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت

S5095-سرعت دوران اسپیندل ۵۰۹۵ می‌باشد. این سرعت با توجه به برگ تجهیز برای مته کاربیدی قطر ۵ معین شده است. توجه کنید که سرعت را می‌توان توسط سلکتور موجود بروی پنل کنترل فرز سی ان سی کم و زیاد کرد. بنابراین قرار دادن پایین‌ترین سرعت دوران مشکلی را ایجاد نخواهد کرد. ضمن آن که در خشن کاری معمولاً سرعت دوران حداقل انتخاب می‌گردد.

به طور کلی نحوه بستن قطعه کار، سرعت دوران، پیشروی و عمق بار باید به گونه‌ای انتخاب گردند که لرزش و سر و صدای ماشین‌کاری، حداقل و براده‌های تولید شده حداکثر آبی رنگ باشند. براده سیاه رنگ، لرزش و سر و صدا نشان از وجود مشکل در ماشین‌کاری است. جدول صفحه بعد نحوه حل مشکلات را در انواع ماشین‌کاری مورد بررسی قرار داده است.

N40 G00 X0 Y0 Z30

۴-خط چهارم(حرکت به مختصات صفر کار)

G00-حرکت سریع بدون براده برداری (اصطلاحاً حرکت خرگوشی)

X0- حرکت به مختصات X=0

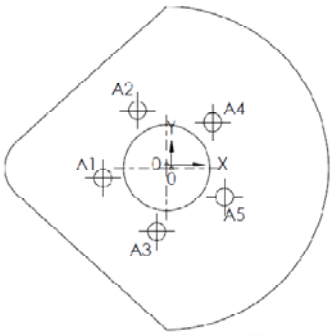
Y0- حرکت به مختصات Y=0

Z30- حرکت به مختصات Z=30 (۳۰ میلی متر مقدار دلخواهی است)

اگر یک مختصات پس از کد حرکتی نوشته شود(مثلاً فقط X0) حرکت، تک محور است. اگر دو مختصات ذکر شود (G00 X0 Y0) حرکت دو محور است یعنی موتور هر دو محور X و Y هم زمان روشن می‌شوند. به همین ترتیب می‌توان حرکت سه(X0 Y0 Z0)، چهار(X0 Y0 Z0 A0) و پنج محور(X0 Y0 Z0 A0 B0) هم داشت.
با توجه به پیچیدگی و خطرات حرکت‌های چند محور، به برنامه نویسان تازه کار توصیه می‌شود که حداکثر از حرکت‌های دو محور استفاده کنند. بنابراین خط چهارم را می‌توان به صورت دو خط زیر نوشت. در خط N40 حرکت، دو محور و در خط N45 حرکت، یک محور است.

N40 G00 X0 Y0
N45 G00 Z30

N50 G00 X-17.78 Y-2.82



TAG	X LOC	Y LOC
A1	-17.78	-2.82
A2	-8.17	16.04
A3	-2.82	-17.78
A4	12.73	12.73
A5	16.04	-8.17

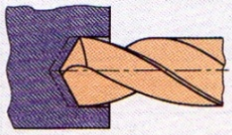
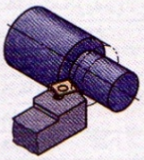
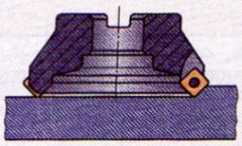
۵-خط پنجم(حرکت به مختصات مرکز اولین سوراخ(A1)-به شکل زیر توجه نمایید.)

G00-حرکت سریع بدون براده برداری

X-17.78- حرکت به مختصات X=-17.78

Y-2.82- حرکت به مختصات Y=-2028

مشکلات و روشهای رفع آنها در سوراخکاری، تراشکاری و فرزکاری

اقدامات و روشهای ممکن	فرآیندها و مشکلات[1]							
سوراخکاری								
		لرزش	عمر کوتاه	سوراخ گرد نیست	خردشدن و پریدن لبه‌های برش	تجمع براده در شیار	گشادشدن سوراخ	سایش روی قطر خارجی	نوک مته خراب شده است
کنترل هندسه لبه‌های برش					•		•	•	•
افزایش هدایت مواد روغنکاری و خنک‌کاری			•			•			
پیشروی را کاهش دهید		⇓		⇐		⇐	⇐		
سرعت پیشروی را بیشتر کنید					⇑	⇑			
طول آزاد (بیرون مته‌گیر) را کاهش دهید		•	•			•		•	•
مقادیر براده‌برداری را کنترل کنید		•	•			•	•	•	•
نوع ویدیا را کنترل کنید			•		•			•	•
تراشکاری									
		لرزش	براده‌های بلند مارپیچ	شکست تکه‌های ویدیای تعویضی	خردشدن و پریدن لبه‌های برش	ترکهای عمود بر لبه‌های برش	تشکیل	تغییر شکل لبه‌های برش	سایش بالا (سطوح آزاد و براده)
سرعت براده‌برداری v_c را تغییر دهید		⇓			⇑		⇑	⇓	⇓
پیشروی f را تغییر دهید		⇑	⇑	⇐					
عمق براده‌برداری را کاهش دهید		⇓		⇐					
هاردمتال نوع مقاوم‌به سایش را انتخاب کنید								•	•
هاردمتال چقرمه را انتخاب کنید				•	•	•			
هندسه مثبت لبه براده‌برداری را انتخاب کنید		•			•		•		•
فرزکاری									
		لرزش	کیفیت سطحی پایین	شکست تکه‌های ویدیای تعویضی	خردشدن و پریدن لبه‌های برش	ترکهای عمود بر لبه‌های برش	تشکیل	تغییر شکل لبه‌های برش	سایش بالا (سطوح آزاد و براده)
سرعت براده‌برداری v_c را تغییر دهید					⇑	⇓	⇑	⇓	⇓
پیشروی f_z را تغییر دهید		⇑	⇓	⇓	⇑		⇑		⇑
هاردمتال نوع مقاوم‌به سایش را انتخاب کنید			•					•	
هاردمتال چقرمه را انتخاب کنید				•	•	•			
تیغه‌فرز با گام بازتری را انتخاب کنید		•							
موقعیت تیغه‌فرز را تغییر دهید		•	•						
خشک فرزکاری کنید					•	•	•		

۱) • جهت حل مشکل ⇑ مقدار براده‌برداری را افزایش دهید ⇓ مقدار براده‌برداری را کاهش دهید

N60 G01 Z-17 F637

۶-خط ششم(حرکت به عمق اولین سوراخ(A1))

G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-17– حرکت به مختصات Z=-17 (سیستم مختصات مطلق است(G90). پس ابزار ۳۰ میلی متر پایین می‌آید تا به سطح قطعه کار برسد سپس ۱۷ میلی متر هم به درون کار می‌رود. اگر سیستم افزایشی بود(G91) باید Z=-30-17=-47 می‌نوشتیم).

F637–سرعت پیشروی برای مته قطر ۵ میلی متر(سرعت پیشروی را می‌توان توسط سلکتور موجود، کم و زیاد کرد).

N70 G01 Z2 F637

۷–خط هفتم(بیرون آمدن از عمق اولین سوراخ(A1) و ایستادن در فاصله ۲ میلی متری از سطح قطعه کار)

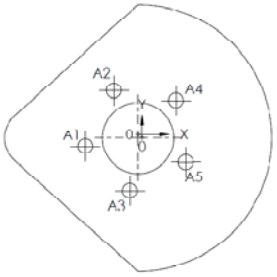
G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z2– حرکت به مختصات Z=2 (سیستم مختصات مطلق است(G90). پس ۱۷ میلی متر از کار بیرون می‌آید و به ۲ میلی متری بالای کار حرکت می‌کند. اگر سیستم افزایشی بود(G91) باید Z=17+2=19 می‌نوشتیم. ضمناً مقدار ۲ میلی متر مقدار دلخواهی است.)

F637–سرعت پیشروی

N80 G00 X-8.17 Y16.04

۸–خط هشتم(حرکت به مختصات مرکز دومین سوراخ(A2)–به شکل زیر توجه نمایید.)



TAG	X LOC	Y LOC
A1	-17.78	-2.82
A2	-8.17	16.04
A3	-2.82	-17.78
A4	12.73	12.73
A5	16.04	-8.17

G00–حرکت سریع بدون براده برداری

X-8.17– حرکت به مختصات X=-17.78

Y16.04– حرکت به مختصات Y=-2028

N90 G01 Z-17 F637

۹–خط نهم(حرکت به عمق دومین سوراخ(A2))

G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-17– حرکت به مختصات Z=-17

F637–سرعت پیشروی

N100 G01 Z2 F637

۱۰–خط دهم(بیرون آمدن از عمق دومین سوراخ(A2) و ایستادن در فاصله ۲ میلی متری از سطح قطعه کار)

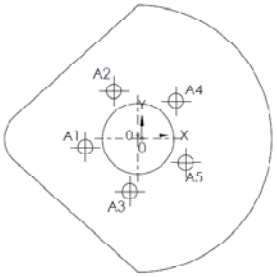
G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z2– حرکت به مختصات Z=2

F637–سرعت پیشروی

N110 G00 X-2.82 Y-17.78

۱۱–خط یازدهم(حرکت به مختصات مرکز سومین سوراخ(A3)–به شکل زیر توجه نمایید.)



TAG	X LOC	Y LOC
A1	-17.78	-2.82
A2	-8.17	16.04
A3	-2.82	-17.78
A4	12.73	12.73
A5	16.04	-8.17

G00–حرکت سریع بدون براده برداری

X-2.82– حرکت به مختصات X=-17.78

Y-17.78– حرکت به مختصات Y=-2028

N120 G01 Z-17 F637

۱۲–خط دوازدهم(حرکت به عمق سومین سوراخ(A3))

G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-17– حرکت به مختصات Z=-17

F637–سرعت پیشروی

N130 G01 Z2 F637

۱۳-خط سیزدهم(بیرون آمدن از عمق سومین سوراخ(A3) و ایستادن در فاصله ۲ میلی متری از سطح قطعه کار)

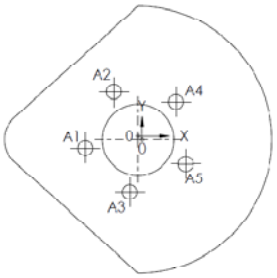
G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z2- حرکت به مختصات Z=2

F637-سرعت پیشروی

N140 G00 X12.73 Y12.73

۱۴-خط چهاردهم(حرکت به مختصات مرکز چهارمین سوراخ(A4)-به شکل زیر توجه نمایید.)



TAG	X LOC	Y LOC
A1	-17.78	-2.82
A2	-8.17	16.04
A3	-2.82	-17.78
A4	12.73	12.73
A5	16.04	-8.17

G00-حرکت سریع بدون براده برداری

X12.73- حرکت به مختصات X=-17.78

Y12.73- حرکت به مختصات Y=-2028

N150 G01 Z-17 F637

۱۵-خط پانزدهم(حرکت به عمق چهارمین سوراخ(A4))

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-17- حرکت به مختصات Z=-17

F637-سرعت پیشروی

N160 G01 Z2 F637

۱۶-خط شانزدهم(بیرون آمدن از عمق چهارمین سوراخ(A4) و ایستادن در فاصله ۲ میلی متری از سطح قطعه کار)

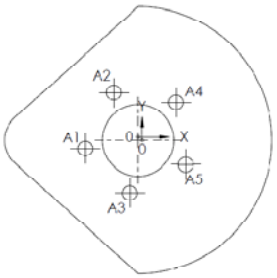
G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z2- حرکت به مختصات Z=2

F637-سرعت پیشروی

N170 G00 X16.04 Y-8.17

۱۷-خط هفدهم(حرکت به مختصات مرکز پنجمین سوراخ(A5)-به شکل زیر توجه نمایید.)



TAG	X LOC	Y LOC
A1	-17.78	-2.82
A2	-8.17	16.04
A3	-2.82	-17.78
A4	12.73	12.73
A5	16.04	-8.17

G00-حرکت سریع بدون براده برداری

X16.04- حرکت به مختصات X=-17.78

Y-8.17- حرکت به مختصات Y=-2028

N180 G01 Z-17 F637

۱۸-خط هجدهم(حرکت به عمق پنجمین سوراخ(A5))

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-17- حرکت به مختصات Z=-17

F637-سرعت پیشروی

N190 G01 Z30 F637

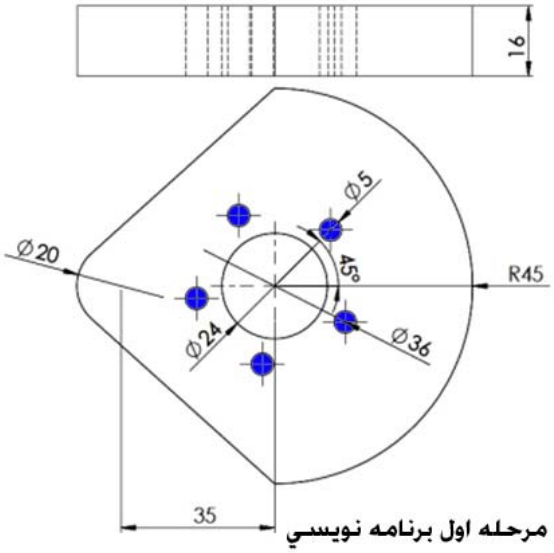
۱۹-خط نوزدهم(بیرون آمدن از عمق پنجمین سوراخ(A5) و ایستادن در فاصله ۳۰ میلی متری از سطح قطعه کار)

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z2- حرکت به مختصات Z=30 (۳۰ میلی متر، مقدار دلخواهی است)

F637-سرعت پیشروی

برنامه نوشته شده برای مرحله اول(سوراخ کاری پنج سوراخ قطر ۵ میلی متر)



O931 (نام برنامه)

N10 G21 G90 G17 G54 (تنظیمات)

N20 M06 T1 (drill 5) (تعویض ابزار)

N30 M03 S5095 (روشن کردن اسپیندل با سرعت دوران معین)

N40 G00 X0 Y0 Z30 (حرکت به مختصات صفر کار)

N50 G00 X-17.78 Y-2.82 (حرکت به مختصات مرکز اولین سوراخ)

N60 G01 Z-17 F637 (حرکت به عمق اولین سوراخ)

N70 G01 Z2 F637 (بیرون آمدن از عمق اولین سوراخ)

N80 G00 X-8.17 Y16.04 (حرکت به مختصات مرکز دومین سوراخ)

N90 G01 Z-17 F637 (حرکت به عمق دومین سوراخ)

N100 G01 Z2 F637 (بیرون آمدن از عمق دومین سوراخ)

N110 G00 X-2.82 Y-17.78 (حرکت به مختصات مرکز سومین سوراخ)

N120 G01 Z-17 F637 (حرکت به عمق سومین سوراخ)

N130 G01 Z2 F637 (بیرون آمدن از عمق سومین سوراخ)

N140 G00 X12.73 Y12.73 (حرکت به مختصات مرکز چهارمین سوراخ)

N150 G01 Z-17 F637 (حرکت به عمق چهارمین سوراخ)

N160 G01 Z2 F637 (بیرون آمدن از عمق چهارمین سوراخ)

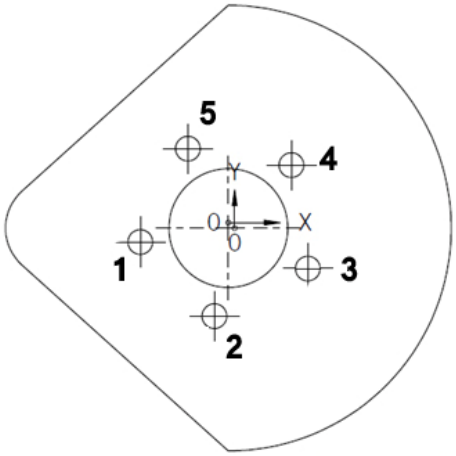
N170 G00 X16.04 Y-8.17 (حرکت به مختصات مرکز پنجمین سوراخ)

N180 G01 Z-17 F637 (حرکت به عمق پنجمین سوراخ)

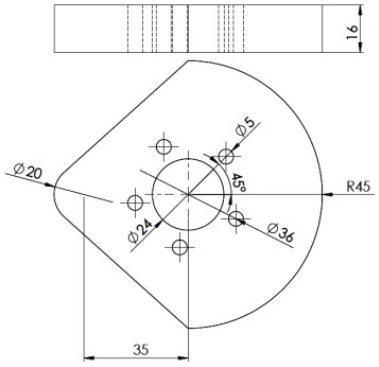
N190 G01 Z30 F637 (بیرون آمدن از عمق پنجمین سوراخ)

تمرین اول

اگر بخواهیم ترتیب مته کاری به صورت نشان داده شده در شکل زیر باشد برنامه سوراخ کاری را مجدداً بنویسید.



مرحله دوم نوشتن برنامه سی ان سی(بورینگ یا سوراخ تراشی سوراخ قطر ۲۴)



N200 M05 M06 T2 (End mill 20)

۲۰-خط بیستم(خاموش کردن اسپیندل و برداشتن ابزار ۲)

M05-خاموش کردن اسپیندل

M06- تعویض ابزار

T2-انتخاب ابزار شماره ۲(فرز انگشتی قطر ۲۰ و طول ۵۰)

ردیف	نام و جنس ابزار	شماره ابزار در تارت	طول	قطر	سرعت دوران	سرعت پیشروی
1	مته کاربیدی R840-0500-50-A1A	1	82	5	5095-8917 rpm	509.5-891.7 mm/min
2	فرز انگشتي الماسه R390-020C3-11L050	2	50	20	3185 rpm	637 mm/min

N210 M03 S3185

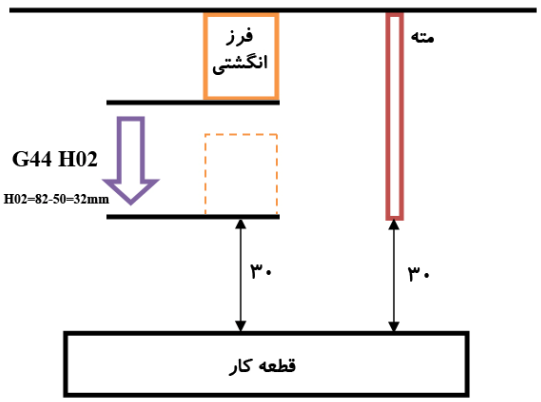
۲۱-خط بیستم و یکم(روشن نمودن اسپیندل)

M03-روشن کردن اسپیندل در جهت عقربه‌های ساعت

S3185-سرعت دوران فرز انگشتی قطر ۲۰

نکته ۱ (جبران طول ابزار):

همانطور که قبلاً گفته شد مرکز نوک ابزار مبنای حرکت در CNC می‌باشد. با توجه به جدول فوق(جدول تجهیز) طول مته ۸۲ و طول تیغ فرز ۵۰ میلی متر است. یعنی پس از تعویض ابزار، ۳۲ میلی متر در ارتفاع نوک ابزار تغییر ایجاد می‌شود. این تغییر ارتفاع، در مختصات Z تأثیر خواهد داشت. بنابراین باید فرز انگشتی را ۳۲ میلی متر پایین بیاوریم تا نوک آن دقیقاً در موقعیت نوک مته قرار گیرد. به این کار، آفست(جابه جایی) یا جبران طول ابزار گفته می‌شود. کُدهای مربوط به آفست یا جبران طول ابزار در جدول زیر ذکر شده اند. در این مثال، مطابق شکل روبرو ابزار باید پایین آورده شود بنابراین از G44 استفاده می‌گردد.



گروه	کُد G	مفهوم	نوع کُد
08	G43	جبران طول ابزار به سمت مثبت(بالا)	پایدار
	G44	جبران طول ابزار به سمت منفی(پایین)	
	G49	کنسل کردن جبران طول ابزار	

در مقابل G44 عبارت H02 یعنی اختلاف ارتفاع برای ابزار شماره ۲ قرار می‌گیرد. این اختلاف ارتفاع باید اندازه گیری و در حافظه ماشین فرز وارد گردد. در شکل صفحه بعد می‌بینید که مقابل حافظه شماره ۲ (یا همان H02) مقدار ۳۲ میلی متر ثبت شده است.

N220 G44 H02 Z30

۲۲-خط بیستم و دوم(جبران طول ابزار)

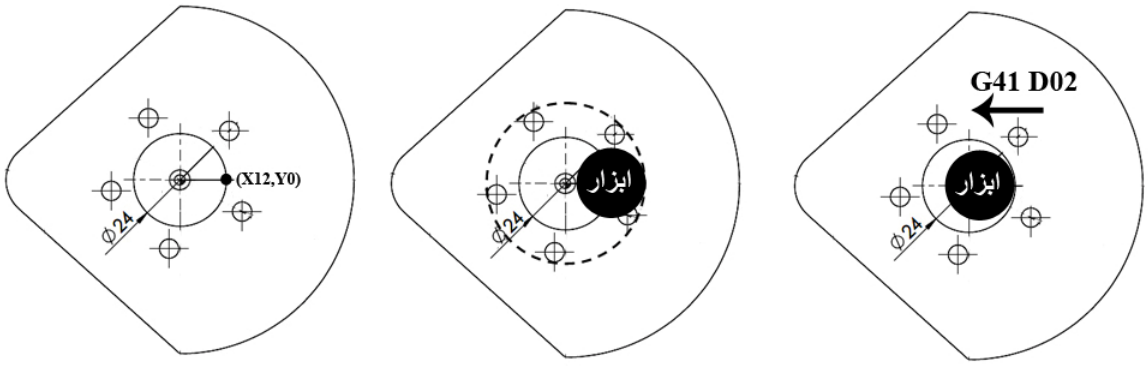
G44-جبران طول ابزار به سمت پایین

H02- مقدار اختلاف ارتفاع برای ابزار شماره ۲

Z30- جبران طول ابزار در ارتفاع ۳۰ میلی متر از صفر قطعه کار انجام شود.

نکته ۲(جبران شعاع ابزار):

قبلاً گفته شد مرکز نوک ابزار، مبنای حرکت در CNC می‌باشد. با توجه به شکل زیر-سمت چپ، برای ماشین کاری سوراخ قطر ۲۴ ابتدا ابزار را به نقطه شروع دلخواه مثلاً (X12,Y0) حرکت می‌دهیم. طبیعی است که مرکز ابزار در این مختصات قرار می‌گیرد(شکل زیر-وسط). در این صورت قطر سوراخ پس از حرکت ابزار بزرگتر از ۲۴ میلی متر خواهد شد. برای حل این مشکل باید ابزار را به اندازه شعاعش به سمت چپ حرکت دهیم(شکل زیر- راست). به این کار، آفست(جابه جایی) یا جبران شعاع ابزار گفته می‌شود.



مختصات نقطه شروع دایره قطر ۲۴

مرکز ابزار در نقطه شروع بدون جبران شعاع ابزار

مرکز ابزار در نقطه شروع با جبران شعاع ابزار به چپ

کُدهای مربوط به جبران شعاع ابزار در جدول زیر ذکر شده اند.

گروه	کُد G	مفهوم	نوع کُد
07	G40	کنسل کردن جبران شعاع ابزار	پایدار
	G41	جبران شعاع ابزار به سمت چپ	
	G42	جبران شعاع ابزار به سمت راست	

در مقابل G41 عبارت D02 یعنی قطر ابزار شماره ۲ قرار می‌گیرد. این قطر باید در حافظه ماشین فرز وارد گردد. در شکل صفحه بعد می‌بینید که مقابل حافظه شماره ۲ (یا همان D02) مقدار ۲۰ میلی متر ثبت شده است.

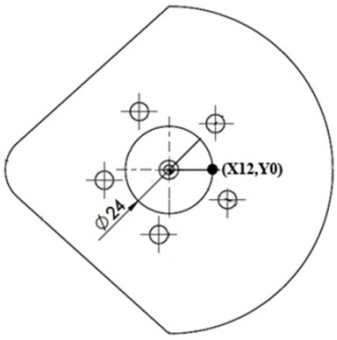
N230 G41 D02

۲۳-خط بیستم و سوم(جبران شعاع ابزار شماره ۲)

G42-جبران شعاع ابزار به سمت چپ

D02- شعاع ابزار شماره ۲

N240 G00 X12 Y0



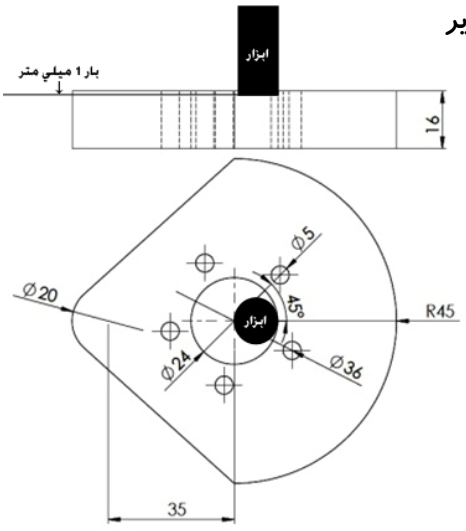
۲۴-خط بیستم و چهارم(حرکت به نقطه شروع دایره قطر ۲۴)-شکل زیر

G00-حرکت سریع بدون براده برداری

X12- حرکت به مختصات X=12

Y0- حرکت به مختصات Y=0

N250 G01 Z-1 F637



۲۵-خط بیستم و پنجم(بار دادن ابزار به درون قطعه کار به میزان ۱ میلی متر)-شکل زیر

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-1- حرکت به مختصات Z=-1 (سیستم مختصات، مطلق است)

F637-سرعت پیشروی

N260 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

۲۶-خط بیستم و ششم(حرکت دایروی ابزار)

G03–حرکت دورانی ابزار خلاف جهت عقربه‌های ساعت

X12– حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی X=12

Y0– حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی Y=0

I-12– X مرکز دایره منهای X نقطه شروع دایره (۱۲-= ۱۲– صفر)

J0– Y مرکز دایره منهای Y نقطه شروع دایره (صفر= صفر– صفر)

F637–سرعت پیشروی

N270 G01 Z-2 F637

۲۷–خط بیستم و هفتم(بار دادن ابزار به درون قطعه کار به میزان ۱ میلی متر دیگر)

G01–حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-1– حرکت به مختصات Z=-1 (سیستم مختصات، مطلق است)

F637–سرعت پیشروی

N280 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

۲۸–خط بیستم و هشتم(مجدداً حرکت دایروی ابزار)

G03–حرکت دورانی ابزار خلاف جهت عقربه‌های ساعت

X12– حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی X=12

Y0– حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی Y=0

I-12– X مرکز دایره منهای X نقطه شروع دایره (۱۲-= ۱۲– صفر)

J0– Y مرکز دایره منهای Y نقطه شروع دایره (صفر= صفر– صفر)

F637–سرعت پیشروی

از این جا به بعد دو خط فوق را باید آن قدر تکرار کنیم تا به عمق سوراخ قطر ۲۴ برسیم. طبیعی است که اگر جنس قطعه کار نَرم باشد می‌توان بار دهی را تنها در یک مرحله به پایان رساند اما چون در این جا قطعه کار از جنس فولاد است بار دهی به تدریج انجام می‌گردد.

عمق بار ۳ میلی متر(Z-3)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N290 G01 Z-3 F637
N300 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۴ میلی متر(Z-4)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N310 G01 Z-4 F637
N320 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۵ میلی متر(Z-5)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N330 G01 Z-5 F637
N340 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۶ میلی متر(Z-6)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N350 G01 Z-6 F637
N360 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۷ میلی متر(Z-7)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N370 G01 Z-7 F637
N380 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۸ میلی متر(Z-8)–توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N390 G01 Z-8 F637

N400 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۹ میلی متر(Z-9)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N410 G01 Z-9 F637
N420 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۰ میلی متر(Z-10)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N430 G01 Z-10 F637
N440 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۱ میلی متر(Z-11)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N450 G01 Z-11 F637
N460 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۲ میلی متر(Z-12)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N470 G01 Z-12 F637
N480 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۳ میلی متر(Z-13)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N490 G01 Z-13 F637
N500 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۴ میلی متر(Z-14)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N510 G01 Z-14 F637
N520 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۵ میلی متر(Z-15)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N530 G01 Z-15 F637
N540 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۶ میلی متر(Z-16)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N550 G01 Z-16 F637
N560 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

عمق بار ۱۷ میلی متر(Z-17)- یک میلی متر دیگر هم به ابزار بار می‌دهیم تا انتهای سوراخ چیزی باقی نماند.

N570 G01 Z-17 F637
N580 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637

N590 G01 Z30 F637 G40

۵۹-خط پنجاه و نهم(بیرون آوردن ابزار از سوراخ قطر ۲۴ و قرار دادن آن به فاصله ۳۰ میلی متر از سطح قطعه کار)

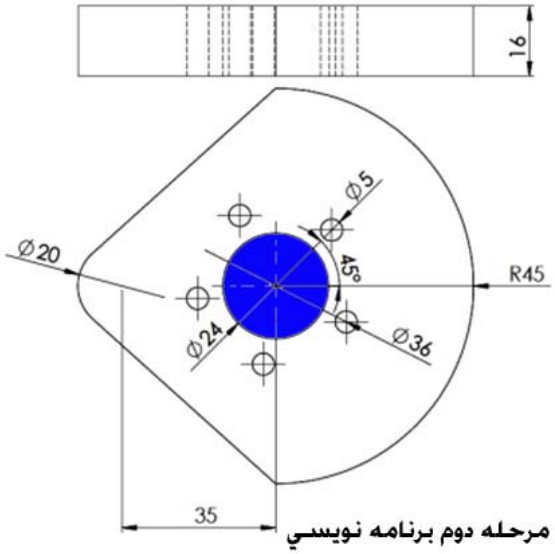
G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z30- حرکت به مختصات Z=30 (سیستم مختصات، مطلق است و مقدار ۳۰ مقداری دلخواه می‌باشد.)

F637-سرعت پیشروی

G40-کنسل کردن جبران شعاع ابزار

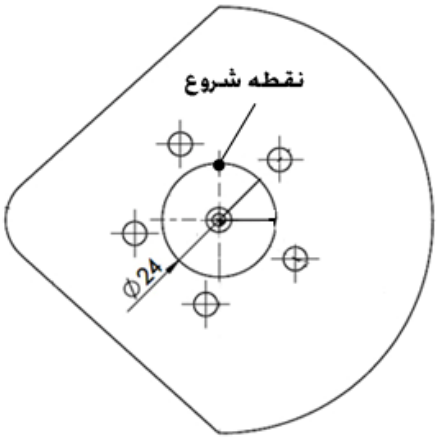
برنامه نوشته شده برای مرحله دوم(بورینگ یا سوراخ تراشی سوراخ قطر ۲۴)



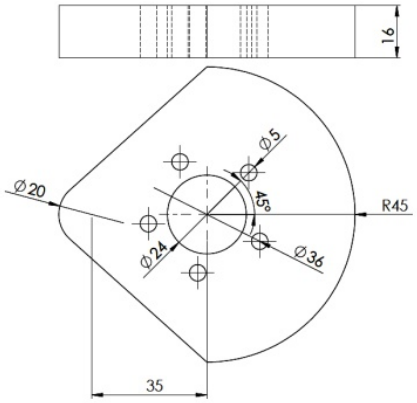

```
N200 M05 M06 T2 (End mill 20)
N210 M03 S3185
N220 G44 H02 Z30
N230 G41 D02
N240 G00 X12 Y0
N250 G01 Z-1 F637
N260 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N270 G01 Z-2 F637
N280 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N290 G01 Z-3 F637
N300 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N310 G01 Z-4 F637
N320 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N330 G01 Z-5 F637
N340 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N350 G01 Z-6 F637
N360 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N370 G01 Z-7 F637
N380 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N390 G01 Z-8 F637
N400 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N410 G01 Z-9 F637
N420 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N430 G01 Z-10 F637
N440 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N450 G01 Z-11 F637
N460 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N470 G01 Z-12 F637
N480 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N490 G01 Z-13 F637
N500 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N510 G01 Z-14 F637
N520 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N530 G01 Z-15 F637
N540 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N550 G01 Z-16 F637
N560 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N570 G01 Z-17 F637
N580 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N590 G01 Z30 F637 G40
```

تمرین دوم

اگر بخواهیم نقطه شروع بورینگ کاری به صورت نشان داده شده در شکل زیر باشد برنامه بورینگ را مجدداً بنویسید.



مرحله سوم نوشتن برنامه سی ان سی(ماشین کاری محیط بیرونی قطعه کار)



نکته:

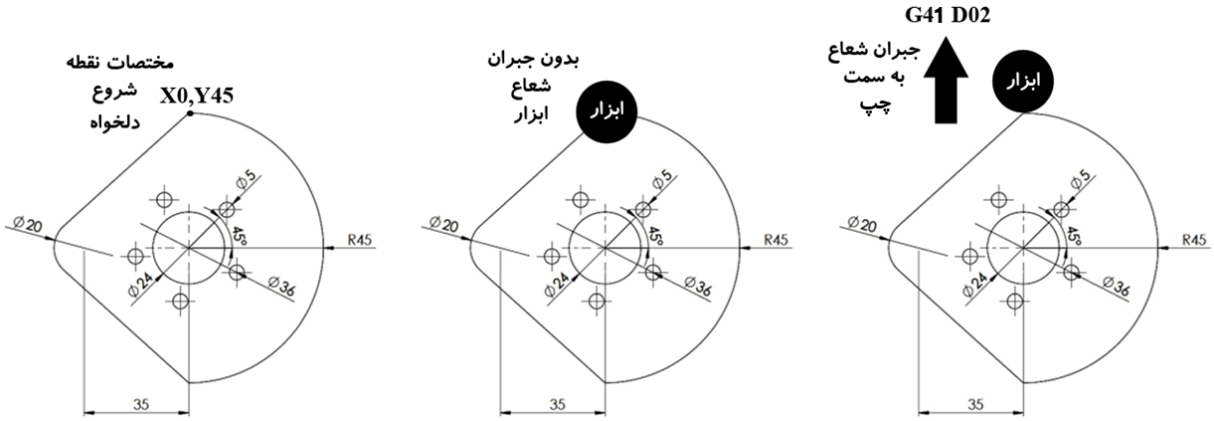
در این مرحله ابتدا مطابق شکل‌های زیر باید با سه پیچ قطعه کار را به صفحه زیرین محکم کرد و سپس روبندهای کناری را برداشت تا ابزار بتواند دور قطعه کار حرکت نماید.

N600 G41 D02

۶۰-خط ششتم(جبران شعاع ابزار شماره ۲)-شکل زیر

G41-جبران شعاع ابزار به سمت چپ

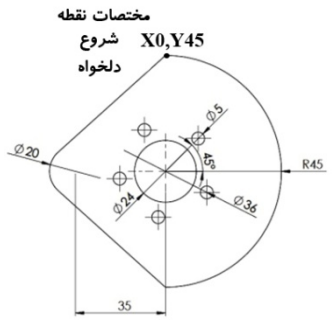
D02- شعاع ابزار شماره ۲



نکته:

علت آن که در مرحله دوم، جبران شعاع ابزار را کنسل کردیم(G40) و در این مرحله مجدداً جبران شعاع تعریف نمودیم تفاوت در نقطه شروع است یعنی بسته به موقعیت نقطه شروع، ممکن است جبران به سمت چپ یا راست صورت گیرد.

N610 G00 X0 Y45



۶۱-خط شصت و یکم(حرکت ابزار به نقطه شروع دلخواه)-شکل زیر

G00-حرکت سریع بدون براده برداری

X0- حرکت به مختصات X=0

Y45- حرکت به مختصات Y=45

N620 G01 Z-1 F637

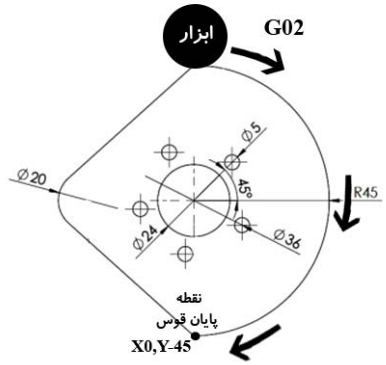
۶۲-خط شصت و دوم(بار دادن ابزار به درون قطعه کار به میزان ۱ میلی متر)

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z-1- حرکت به مختصات Z=-1 (سیستم مختصات، مطلق است)

F637-سرعت پیشروی

N630 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637



۶۳-خط شصت و سوم(حرکت دایروی ابزار)-شکل زیر

G02-حرکت دورانی ابزار در جهت عقربه‌های ساعت

X0- حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی X=0

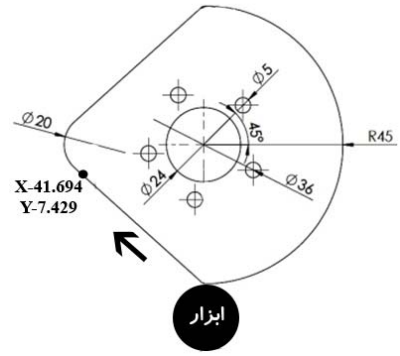
Y-45- حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی Y=-45

I0-مختصات X مرکز دایره منهای X نقطه شروع دایره (صفر= صفر- صفر)

J-45-مختصات Y مرکز دایره منهای Y نقطه شروع دایره (۴۵- = ۴۵- صفر)

F637-سرعت پیشروی

N640 G01 X-41.694 Y-7.429 F637



۶۴-خط شصت و چهارم(حرکت خطی ابزار)-شکل زیر

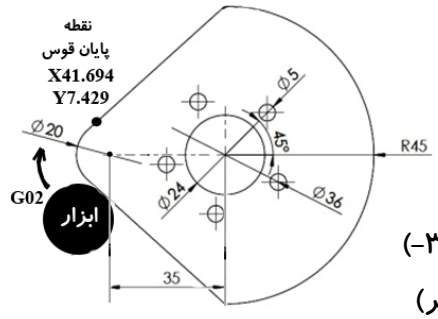
G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

X-41.694- حرکت به مختصات نقطه پایان خط مستقیم یعنی X=-41.694

Y-7.429- حرکت به مختصات نقطه پایان خط مستقیم یعنی Y=-7.429

F637-سرعت پیشروی

N650 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637



۶۵-خط شصت و پنجم(حرکت دایروی ابزار)-شکل زیر

G02-حرکت دورانی ابزار در جهت عقربه‌های ساعت

X-41.694- حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی X=41.694

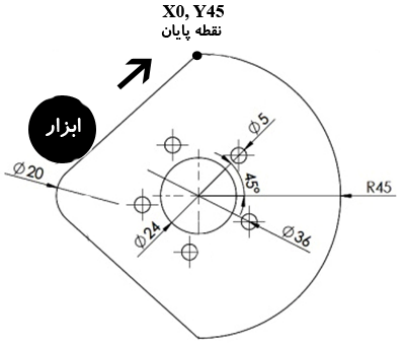
Y7.429- حرکت به مختصات نقطه پایان دایره یعنی Y=7.429

I6.694-مختصات X مرکز دایره منهای X نقطه شروع دایره (۶/۶۹۴= (۴۱/۶۹۴-)- ۳۵-)

J7.429-مختصات Y مرکز دایره منهای Y نقطه شروع دایره (۷/۴۲۹ = (۷/۴۲۹-)- صفر)

F637-سرعت پیشروی

N660 G01 X0 Y45 F637



۶۶-خط شصت و ششم(حرکت خطی ابزار)-شکل زیر

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

X0- حرکت به مختصات نقطه پایان خط مستقیم یعنی X=0

Y45- حرکت به مختصات نقطه پایان خط مستقیم یعنی Y=45

F637-سرعت پیشروی

از این جا به بعد، باید ابزار را ۱ میلی متر به ۱ میلی متر درون قطعه کار بار دهیم و خطوط ۶۳ و ۶۴ و ۶۵ و ۶۶ را تکرار کنیم تا به عمق قطعه کار برسیم. طبیعی است که اگر جنس قطعه کار نَرم باشد می‌توان بار دهی را تنها در یک مرحله به پایان رساند اما چون در این جا قطعه کار از جنس فولاد است بار دهی به تدریج انجام می‌گردد.

عمق بار ۲ میلی متر(Z-2)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N670 G01 Z-2 F637
N680 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N690 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N700 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N710 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۳ میلی متر(Z-3)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N720 G01 Z-3 F637
N730 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N740 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N750 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N760 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۴ میلی متر(Z-4)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N770 G01 Z-4 F637
N780 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N790 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N800 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N810 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۵ میلی متر(Z-5)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N820 G01 Z-5 F637
N830 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N840 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N850 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N860 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۶ میلی متر(Z-6)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N870 G01 Z-6 F637
N880 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N890 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N900 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N910 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۷ میلی متر(Z-7)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N920 G01 Z-7 F637
N930 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N940 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N950 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N960 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۸ میلی متر(Z-8)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N970 G01 Z-8 F637
N980 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N990 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1000 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1010 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۹ میلی متر(Z-9)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1020 G01 Z-9 F637
N1030 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1040 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1050 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1060 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۱۰ میلی متر(Z-10)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1070 G01 Z-10 F637
N1080 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1090 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1100 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1110 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۱۱ میلی متر(Z-11)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1120 G01 Z-11 F637
N1130 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1140 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1150 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1160 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۱۲ میلی متر(Z-12)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1170 G01 Z-12 F637
N1180 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1190 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1200 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1210 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۱۳ میلی متر(Z-13)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1220 G01 Z-13 F637
N1230 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1240 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1250 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1260 G01 X0 Y45 F637
```

عمق بار ۱۴ میلی متر(Z-14)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

```
N1270 G01 Z-14 F637
N1280 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1290 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
```

N1300 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1310 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۱۵ میلی متر(Z-15)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N1320 G01 Z-15 F637
N1330 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1340 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1350 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1360 G01 X0 Y45 F637

عمق بار ۱۶ میلی متر(Z-16)-توجه کنید که سیستم مختصات مطلق است.

N1370 G01 Z-16 F637
N1380 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1390 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1400 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1410 G01 X0 Y45 F637

N1420 G01 Z200 F637 G40

۱۴۲-خط صد و چل و دوم(بیرون آوردن ابزار از قطعه کار و قرار دادن آن به فاصله ۲۰۰ میلی متر از سطح قطعه کار)

G01-حرکت خطی با سرعت پیشروی

Z200- حرکت به مختصات Z=200 (سیستم مختصات، مطلق است و مقدار ۲۰۰ مقداری دلخواه می‌باشد.)

F637-سرعت پیشروی

G40-کنسل کردن جبران شعاع ابزار

N1430 M05 M02

۱۴۳-خط صد و چل و سوم(توقف اسپیندل و پایان برنامه)

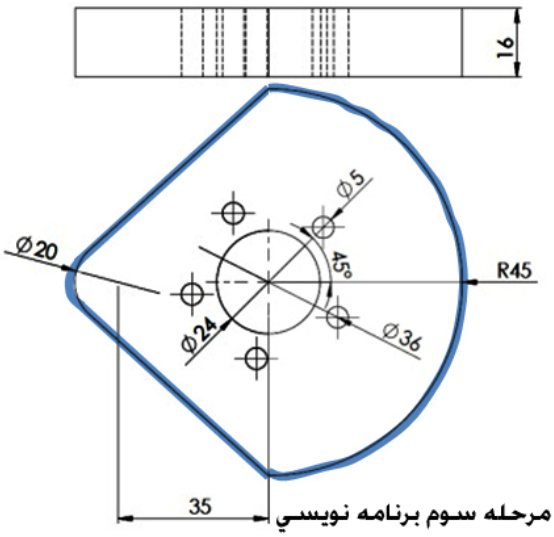
M05-توقف اسپیندل

M02- پایان برنامه

نکته:

کد M02 به معنی پایان برنامه بدون برگشت به ابتدای برنامه و کد M30 به معنی پایان برنامه و برگشت به ابتدای برنامه جهت اجرای مجدد آن مثلاً برای سری تراشی است(برای اجرای مجدد باید دکمه Cycle Start در پنل کنترل فشار داده شود).

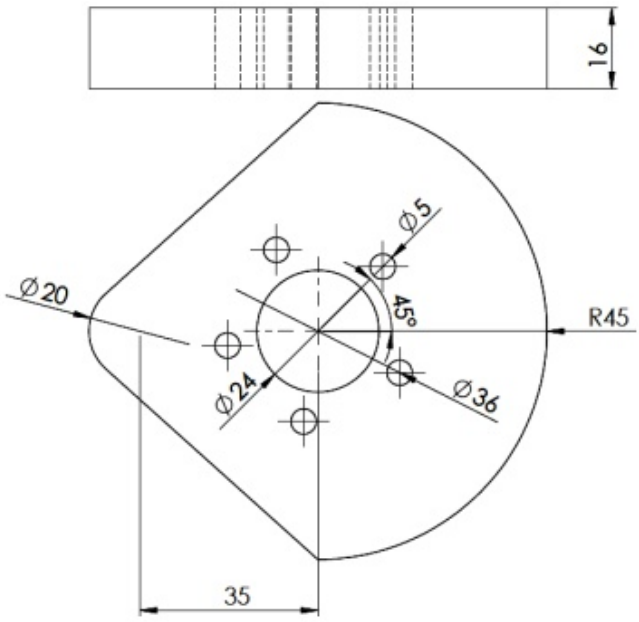
برنامه نوشته شده برای مرحله سوم(فرزکاری محیط بیرونی قطعه کار)




```
N600 G41 D02
N610 G00 X0 Y45
N620 G01 Z-1 F637
N630 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N640 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N650 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N660 G01 X0 Y45 F637
N670 G01 Z-2 F637
N680 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N690 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N700 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N710 G01 X0 Y45 F637
N720 G01 Z-3 F637
N730 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N740 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N750 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N760 G01 X0 Y45 F637
N770 G01 Z-4 F637
N780 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N790 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N800 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N810 G01 X0 Y45 F637
N820 G01 Z-5 F637
N830 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N840 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N850 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N860 G01 X0 Y45 F637
N870 G01 Z-6 F637
N880 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N890 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N900 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N910 G01 X0 Y45 F637
N920 G01 Z-7 F637
N930 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N940 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N950 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N960 G01 X0 Y45 F637
N970 G01 Z-8 F637
N980 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N990 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1000 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1010 G01 X0 Y45 F637
N1020 G01 Z-9 F637
N1030 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1040 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1050 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1060 G01 X0 Y45 F637
N1070 G01 Z-10 F637
```

N1080 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1090 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1100 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1110 G01 X0 Y45 F637
N1120 G01 Z-11 F637
N1130 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1140 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1150 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1160 G01 X0 Y45 F637
N1170 G01 Z-12 F637
N1180 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1190 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1200 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1210 G01 X0 Y45 F637
N1220 G01 Z-13 F637
N1230 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1240 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1250 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1260 G01 X0 Y45 F637
N1270 G01 Z-14 F637
N1280 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1290 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1300 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1310 G01 X0 Y45 F637
N1320 G01 Z-15 F637
N1330 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1340 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1350 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1360 G01 X0 Y45 F637
N1370 G01 Z-16 F637
N1380 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1390 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1400 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1410 G01 X0 Y45 F637
N1420 G01 Z200 F637 G40
N1430 M05 M02

بنابراین کل برنامه به صورت زیر خواهد بود:



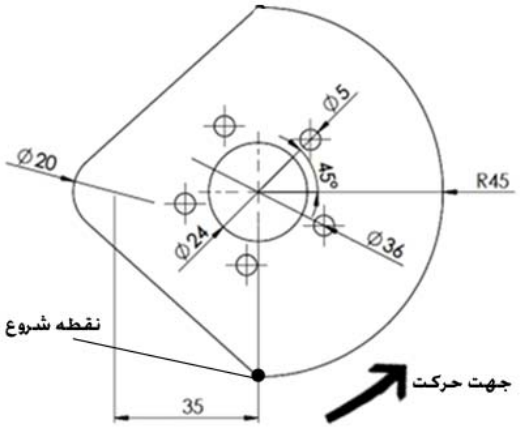

```
%
O931
N10 G21 G90 G17 G54
N20 M06 T1 (drill 5)
N30 M03 S5095
N40 G00 X0 Y0 Z30
N50 G00 X-17.78 Y-2.82
N60 G01 Z-17 F509.5
N70 G01 Z2 F509.5
N80 G00 X-8.17 Y16.04
N90 G01 Z-17 F509.5
N100 G01 Z2 F509.5
N110 G00 X-2.82 Y-17.78
N120 G01 Z-17 F509.5
N130 G01 Z2 F509.5
N140 G00 X12.73 Y12.73
N150 G01 Z-17 F509.5
N160 G01 Z2 F509.5
N170 G00 X16.04 Y-8.17
N180 G01 Z-17 F509.5
N190 G01 Z30 F509.5
N200 M05 M06 T2 (End mill 20)
N210 M03 S3185
N220 G44 H02 Z30
N230 G41 D02
N240 G00 X12 Y0
N250 G01 Z-1 F637
N260 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N270 G01 Z-2 F637
N280 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N290 G01 Z-3 F637
N300 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N310 G01 Z-4 F637
N320 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N330 G01 Z-5 F637
N340 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N350 G01 Z-6 F637
N360 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N370 G01 Z-7 F637
N380 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N390 G01 Z-8 F637
N400 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N410 G01 Z-9 F637
N420 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N430 G01 Z-10 F637
N440 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N450 G01 Z-11 F637
N460 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
```

N470 G01 Z-12 F637
N480 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N490 G01 Z-13 F637
N500 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N510 G01 Z-14 F637
N520 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N530 G01 Z-15 F637
N540 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N550 G01 Z-16 F637
N560 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N570 G01 Z-17 F637
N580 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N590 G01 Z30 F637 G40
N600 G41 D02
N610 G00 X0 Y45
N620 G01 Z-1 F637
N630 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N640 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N650 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N660 G01 X0 Y45 F637
N670 G01 Z-2 F637
N680 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N690 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N700 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N710 G01 X0 Y45 F637
N720 G01 Z-3 F637
N730 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N740 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N750 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N760 G01 X0 Y45 F637
N770 G01 Z-4 F637
N780 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N790 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N800 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N810 G01 X0 Y45 F637
N820 G01 Z-5 F637
N830 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N840 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N850 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N860 G01 X0 Y45 F637
N870 G01 Z-6 F637
N880 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N890 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N900 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N910 G01 X0 Y45 F637
N920 G01 Z-7 F637
N930 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N940 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N950 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N960 G01 X0 Y45 F637

```
N970 G01 Z-8 F637
N980 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N990 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1000 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1010 G01 X0 Y45 F637
N1020 G01 Z-9 F637
N1030 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1040 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1050 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1060 G01 X0 Y45 F637
N1070 G01 Z-10 F637
N1080 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1090 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1100 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1110 G01 X0 Y45 F637
N1120 G01 Z-11 F637
N1130 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1140 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1150 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1160 G01 X0 Y45 F637
N1170 G01 Z-12 F637
N1180 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1190 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1200 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1210 G01 X0 Y45 F637
N1220 G01 Z-13 F637
N1230 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1240 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1250 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1260 G01 X0 Y45 F637
N1270 G01 Z-14 F637
N1280 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1290 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1300 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1310 G01 X0 Y45 F637
N1320 G01 Z-15 F637
N1330 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1340 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1350 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1360 G01 X0 Y45 F637
N1370 G01 Z-16 F637
N1380 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N1390 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N1400 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N1410 G01 X0 Y45 F637
N1420 G01 Z200 F637 G40
N1430 M05 M02
%
```

تمرین سوم

اگر بخواهیم نقطه شروع و جهت حرکت در فرزکاری محیط قطعه کار به صورت نشان داده شده در شکل زیر باشد برنامه مرحله سوم را مجدداً بنویسید.



روش‌هایی برای کوتاه شدن برنامه

در بخش قبل اگر چه برنامه مورد نظر نوشته شد اما تکرار تعدادی از خطوط باعث گردید که برنامه، طولانی شود و به ۱۴۳ خط برسد. در ادامه سعی می‌کنیم که به کمک دیگر دستورات برنامه نویسی تا حد امکان این خطوط را کاهش دهیم تا در نهایت به کوتاه‌ترین برنامه ممکن دست یابیم.

الف)استفاده از سیکل

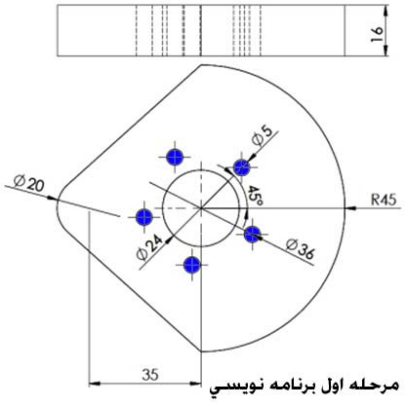
اگر چند عملیات در یک کُد گنجانده شود به آن کُد، سیکل گفته می‌شود. تعدادی از سیکل‌ها در جدول زیر معرفی شده‌اند. سیکل‌ها از انواع کُدهای پایدار می‌باشند و در صورت لزوم با کد G80 کنسل می‌شوند.

گروه	کُد G	مفهوم	نوع کُد
09	G80	کنسل کردن سیکل	پایدار
	G81	سیکل مته کاری طی یک پاس	
	G82	سیکل مته کاری طی یک پاس همراه با توقف موقت ابزار در انتهای سوراخ	
	G83	سیکل مته کاری طی چند پاس	
	G84	سیکل قلاویز زنی	
	G85	سیکل برقو زنی	
	G86	سیکل بورینگ	
10	G98	برگشت ابزار به ارتفاع اولیه(کاربرد در سیکل‌ها)	پایدار
	G99	برگشت ابزار به ارتفاع معین زیر ارتفاع اولیه(کاربرد در سیکل‌ها)	

در جدول زیر مثالی برای سیکل‌های پر کاربرد ذکر شده است.

گروه	کُد G	مفهوم	مثال	توضیحات
09	G81	سیکل مته کاری طی یک پاس	G81 X-17 Y-2 Z-17 R2 F509 K5	X, Y مختصات مرکز سوراخ، Z عمق سوراخ، R ارتفاع مته از سطح کار پس از پایان سوراخ کاری،F سرعت پیشروی، K تعداد تکرار سیکل
	G82	سیکل مته کاری طی یک پاس همراه با توقف موقت ابزار در انتهای سوراخ	G82 X-17 Y-2 Z-17 R2 P3000 F509 K5	X, Y مختصات مرکز سوراخ، Z عمق سوراخ، R ارتفاع مته از سطح کار پس از پایان سوراخ کاری،P زمان توقف در انتهای سوراخ(P3000 یعنی ۳ ثانیه پس زمان مورد نظر با ضریب ۱۰۰۰ نوشته می‌شود)، F سرعت پیشروی، K تعداد تکرار سیکل
	G83	سیکل مته کاری طی چند پاس	G83 X-17 Y-2 Z-17 R2 Q1 F509 K5	X, Y مختصات مرکز سوراخ، Z عمق سوراخ، R ارتفاع مته از سطح کار پس از پایان سوراخ کاری،Q عمق براده برداری در هر مرحله، F سرعت پیشروی، K تعداد تکرار سیکل
	G84	سیکل قلاویز کاری	G84 X-17 Y-2 Z-17 R2 F10000 K5 در حالت پیشروی بر حسب میلی متر بر دقیقه(G94): F=S.p=5000 . 2=10000 G84 X-17 Y-2 Z-17 R2 F2 K5 در حالت پیشروی بر حسب میلی متر بر دور(G95): F=p=2 یعنی (گام رزوه =پیشروی)	X, Y مختصات مرکز سوراخ، Z عمق سوراخ، R ارتفاع قلاویز از سطح کار پس از پایان قلاویزکاری،F سرعت پیشروی، K تعداد تکرار سیکل پیشروی بر حسب میلی متر بر دقیقه(G94): F=S.p یعنی (گام رزوه ضرب در سرعت اسپیندل =پیشروی) پیشروی بر حسب میلی متر بر دور(G95): F=p یعنی (گام رزوه =پیشروی)

حال بخش اول برنامه یعنی سوراخ کاری ۵ سوراخ را به صورت زیر با سیکل مثلاً G81 می‌نویسیم:




```
%
O931
N10 G21 G90 G17 G54
N20 M06 T1 (drill 5)
N30 M03 S5095
N40 G00 X0 Y0 Z30

N50 G00 X-17.78 Y-2.82
N60 G01 Z-17 F509.5          } G81 X-17.78 Y-2.82 Z-17 R2 F509
N70 G01 Z2 F509.5

N80 G00 X-8.17 Y16.04
N90 G01 Z-17 F509.5          } G81 X-8.17 Y16.04 Z-17 R2 F509
N100 G01 Z2 F509.5

N110 G00 X-2.82 Y-17.78
N120 G01 Z-17 F509.5         } G81 X-2.82 Y-17.78 Z-17 R2 F509
N130 G01 Z2 F509.5

N140 G00 X12.73 Y12.73
N150 G01 Z-17 F509.5         } G81 X12.73 Y12.73 Z-17 R2 F509
N160 G01 Z2 F509.5

N170 G00 X16.04 Y-8.17
N180 G01 Z-17 F509.5         } G81 X16.04 Y-8.17 Z-17 R30 F509
N190 G01 Z30 F509.5
```

به این ترتیب بخش اول برنامه به صورت زیر خلاصه و از ۱۹ خط به ۹ خط تبدیل می‌شود:

```
%
O931
N10 G21 G90 G17 G54
N20 M06 T1 (drill 5)
N30 M03 S5095
N40 G00 X0 Y0 Z30
N50 G81 X-17.78 Y-2.82 Z-17 R2 F509
N60 G81 X-8.17 Y16.04 Z-17 R2 F509
N70 G81 X-2.82 Y-17.78 Z-17 R2 F509
N80 G81 X12.73 Y12.73 Z-17 R2 F509
N90 G81 X16.04 Y-8.17 Z-17 R30 F509
N100 G80
```

نکته: سیکل‌ها کد پایدار هستند. پس باید بعد از اتمام کاربرد حتماً با G80 کنسل شوند.

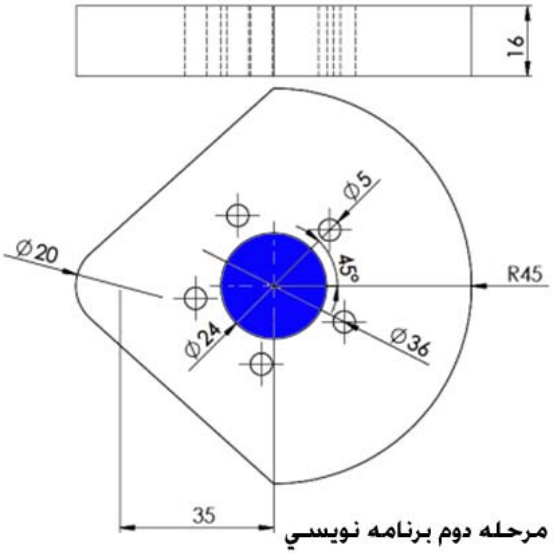
ب)استفاده از زیر برنامه

می‌توان خطوطی از برنامه اصلی که مرتب تکرار می‌گردند را در یک برنامه فرعی که به آن زیر برنامه گفته می‌شود قرار داد و هر گاه به اجرای زیر برنامه نیاز بود آن را در برنامه اصلی احضار کرد. کدهای زیر برنامه در جدول زیر ارائه شده‌اند.

کُد M	مفهوم
M98	فراخوانی زیر برنامه
M99	انتهای زیر برنامه

در بخش دوم برنامه نوشته شده یعنی بورینگ یا سوراخ تراشی سوراخ قطر ۲۴، به دلیل سخت بودن قطعه کار مجبوریم ۱ میلی متر به ۱ میلی متر عملیات بار دهی ابزار به درون قطعه کار را انجام دهیم و چرخش ابزار درون سوراخ قطر ۲۴ را مرتباً تکرار کنیم. تمام خطوطی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است در حقیقت خطوط تکراری هستند و می‌توان آن‌ها را در یک زیر برنامه مثلاً به نام O932 جای داد. همانطور که مشاهده می‌گردد به جای تمام این خطوط فقط یک خط یعنی M98 P160932 در برنامه اصلی نوشته می‌شود. کد M98 به معنی احضار زیر برنامه است. منظور از P160932 آن است که زیر برنامه O932 باید ۱۶ بار تکرار شود(چهار رقم اول از راست نام برنامه و بقیه اعداد تعداد تکرار محسوب می‌گردند). پس از ۱۶ بار تکرار زیر برنامه، کنترلر به برنامه اصلی باز می‌گردد و ادامه آن را تا پایان اجرا می‌نماید.

N200 M05 M06 T2 (End mill 20)
N210 M03 S3185
N220 G44 H02 Z30
N230 G41 D02
N240 G00 X12 Y0
N250 G01 Z-1 F637
N260 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N270 G01 Z-2 F637
N280 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N290 G01 Z-3 F637
N300 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N310 G01 Z-4 F637
N320 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N330 G01 Z-5 F637
N340 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N350 G01 Z-6 F637
N360 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N370 G01 Z-7 F637
N380 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N390 G01 Z-8 F637
N400 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N410 G01 Z-9 F637
N420 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N430 G01 Z-10 F637
N440 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N450 G01 Z-11 F637
N460 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N470 G01 Z-12 F637
N480 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N490 G01 Z-13 F637
N500 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N510 G01 Z-14 F637
N520 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N530 G01 Z-15 F637
N540 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N550 G01 Z-16 F637
N560 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N570 G01 Z-17 F637
N580 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N590 G01 Z30 F637 G40



مرحله دوم برنامه نویسی

M98 P160932

%
O932
N10 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637
N20 G91
N30 G01 Z-1 F637
N40 G90
N50 M99
%

زیر برنامه اول

نکته:

در بعضی از واحدهای کنترل، به جای M98 P160932 روش دیگری برای احضار زیر برنامه وجود دارد. در این روش باید عبارت M98 P932 K17 در برنامه اصلی نوشته شود. مجدداً کد M98 به معنی احضار زیر برنامه است. منظور از P932 زیر برنامه O932 می‌باشد. در حقیقت برای جلوگیری از اشتباه با نامه برنامه اصلی، نام زیر برنامه در برنامه اصلی با P مشخص می‌گردد. کد L16 نیز به معنی ۱۶ بار تکرار زیر برنامه است.

پس بخش دوم برنامه اصلی به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

```
N110 M05 M06 T2 (End mill 20)
N120 M03 S3185
N130 G44 H02 Z30
N140 G41 D02
N150 G00 X12 Y0
N160 G01 Z-1 F637
N170 M98 P160932
N180 G01 Z30 F637 G40
```

زیر برنامه نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

```
%
O932
N10 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637 (حرکت دایروی برای فرزکاری سوراخ قطر ۲۴)
N20 G91 (تغییر سیستم مختصات از مطلق به افزایشی)
N30 G01 Z-1 F637 (بار دهی به میزان ۱ میلی متر به درون قطعه کار)
N40 G90 (تغییر سیستم مختصات از افزایشی به مطلق)
N50 M99 (پایان زیر برنامه)
%
```

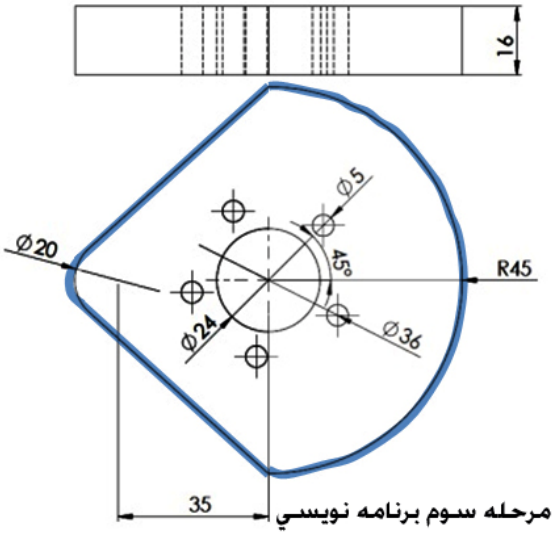
نکته:

علت تغییر سیستم مختصات از مطلق به افزایشی در خط دوم زیر برنامه آن است که بتوان به طور خودکار در هر مرحله ۱ میلی متر به درون قطعه کار بار دهی نمود. به این ترتیب با هر بار تکرار زیر برنامه ابزار ۱ میلی متر بیشتر به درون قطعه کار نفوذ می‌نماید. اما اگر در ادامه، سیستم مختصات به همین حالت افزایشی باقی بماند هنگام تکرار زیر برنامه و اجرای خط اول آن که بر مبنای سیستم مطلق نوشته شده است(N10 G03 X12 Y0 I-12 J0 F637) خطا پیش می‌آید و موقعیت شروع ماشین کاری تغییر خواهد نمود. لذا در خط چهارم مجدداً سیستم مختصات از افزایشی به مطلق تغییر داده شده است تا مشکلی برای اجرای خط اول پیش نیاید.

نکته:

توجه نمایید که برنامه اصلی و زیر برنامه به صورت دو فایل جداگانه به حافظه ماشین وارد می‌شوند(معمولاً اول زیر برنامه و سپس برنامه اصلی). در ادامه با اجرای برنامه اصلی، هنگامی که کنترلر به خط احضار زیر برنامه می‌رسد به طور خودکار نام زیر برنامه را در حافظه خود جستجو و سپس آن را اجرا می‌نماید. هنگامی که زیر برنامه به تعداد تعیین شده تکرار شد کنترلر دوباره به طور خودکار به برنامه اصلی باز می‌گردد.

در بخش سوم برنامه نوشته شده یعنی دور تراشی قطعه کار نیز به علت سخت بودن قطعه کار مجبوریم ۱ میلی متر به ۱ میلی متر عملیات بار دهی ابزار به درون قطعه کار را انجام دهیم و حرکت ابزار به دور قطعه کار را مرتباً تکرار کنیم. تمام خطوطی که زیر آن‌ها خط کشیده شده است در حقیقت خطوط تکراری هستند و می‌توان آن‌ها را در یک زیر برنامه مثلاً به نام O933 جای داد. بنابراین به جای تمام این خطوط فقط یک خط یعنی M98 P160933 در برنامه اصلی نوشته می‌شود.



مرحله سوم برنامه نویسی

N600 G41 D02
N610 G00 X0 Y45
N620 G01 Z-1 F637
N630 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N640 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N650 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N660 G01 X0 Y45 F637
N670 G01 Z-2 F637
N680 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N690 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N700 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N710 G01 X0 Y45 F637
N720 G01 Z-3 F637
N730 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N740 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N750 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N760 G01 X0 Y45 F637
N770 G01 Z-4 F637
N780 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N790 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N800 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N810 G01 X0 Y45 F637
N820 G01 Z-5 F637
N830 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N840 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N850 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N860 G01 X0 Y45 F637
N870 G01 Z-6 F637
N880 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N890 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N900 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N910 G01 X0 Y45 F637
N920 G01 Z-7 F637
N930 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N940 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N950 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N960 G01 X0 Y45 F637
N970 G01 Z-8 F637
.
.
.
N1410 G01 X0 Y45 F637
N1420 G01 Z200 F637 G40
N1430 M05 M02

M98 P160933

O933
N10 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N20 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N30 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N40 G01 X0 Y45 F637
N50 G91
N60 G01 Z-1 F637
N70 G90
N80 M99

زیر برنامه دوم

پس بخش سوم برنامه اصلی به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

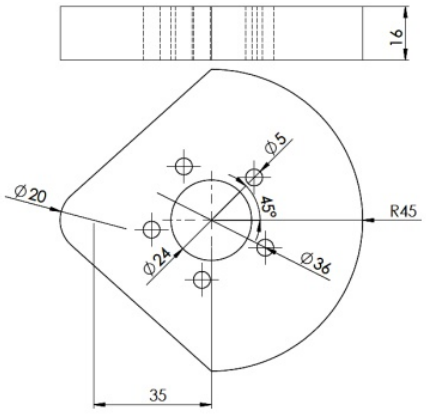
```
N190 G41 D02
N200 G00 X0 Y45
N210 G01 Z-1 F637
N220 M98 P160933
N230 G01 Z200 F637 G40
N240 M05 M02
```

زیر برنامه نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

```
%
O933
N10 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N20 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N30 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N40 G01 X0 Y45 F637
N50 G91
N60 G01 Z-1 F637
N70 G90
N80 M99
%
```

در نهایت برنامه اصلی ۱۴۳ خطی به یک برنامه اصلی ۲۴ خطی با دو زیر برنامه ۵ و ۸ خطی یعنی کلاً ۳۷ خط تبدیل می‌گردد:

```
%
O931
N10 G21 G90 G17 G54
N20 M06 T1 (drill 5)
N30 M03 S5095
N40 G00 X0 Y0 Z30
N50 G81 X-17.78 Y-2.82 Z-17 R2 F509
N60 G81 X-8.17 Y16.04 Z-17 R2 F509
N70 G81 X-2.82 Y-17.78 Z-17 R2 F509
N80 G81 X12.73 Y12.73 Z-17 R2 F509
N90 G81 X16.04 Y-8.17 Z-17 R30 F509
N100 G80
N110 M05 M06 T2 (End mill 20)
N120 M03 S3185
N130 G44 H02 Z30
N140 G41 D02
N150 G00 X12 Y0
N160 G01 Z-1 F637
N170 M98 P160932
N180 G01 Z30 F637 G40
N190 G41 D02
N200 G00 X0 Y45
N210 G01 Z-1 F637
N220 M98 P160933
N230 G01 Z200 F637 G40
N240 M05 M02
%
```




```
%
O932
N10 G03 X12 Y0 I-12 J0 F63
N20 G91
N30 G01 Z-1 F637
N40 G90
N50 M99
%
```

زیر برنامه اول

```
%
O933
N10 G02 X0 Y-45 I0 J-45 F637
N20 G01 X-41.694 Y-7.429 F637
N30 G02 X-41.694 Y7.429 I6.694 J7.429 F637
N40 G01 X0 Y45 F637
N50 G91
N60 G01 Z-1 F637
N70 G90
N80 M99
%
```

زیر برنامه دوم

تمرینات اضافی

برای هر یک از قطعه کارهای نشان داده شده موارد زیر را انجام دهید. فرض کنید که قطعه کار، ریخته گری شده است و صرفاً باید پرداخت کاری گردد تا به اندازه‌های نقشه برسد.

۱-رسم نقشه کامل با نرم افزار سالیدورکز یا کتیا(شامل سه نما، نمای ایزومتریک، اندازه گذاری، کادر و جدول تکمیل شده)

۲-نوشتن برگ فهرست عملیات(مشابه صفحه ۴۵)

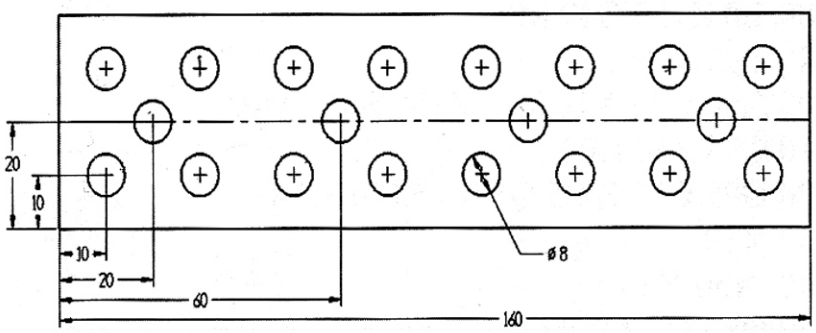
۳-انتخاب ابزارها و محاسبه سرعت دوران و پیشروی(با استفاده از جداول صفحه ۴۰ و ۴۴)

۴-نوشتن برگ تجهیز (مشابه صفحه ۴۵)

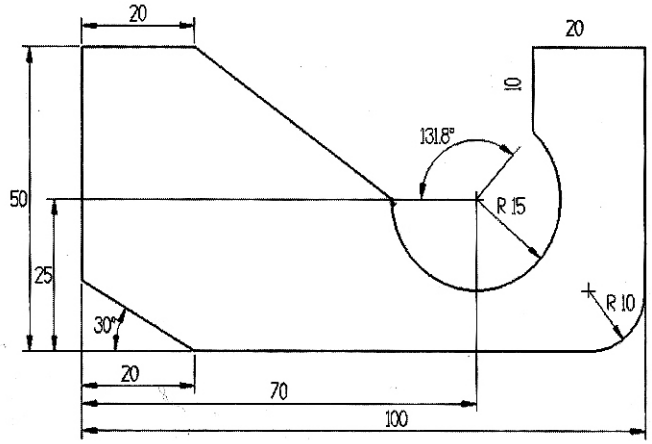
۵-کوتاه‌ترین برنامه فرزکاری سی ان سی(در صورت نیاز از زیر برنامه یا سیکل استفاده گردد.)

توجه:

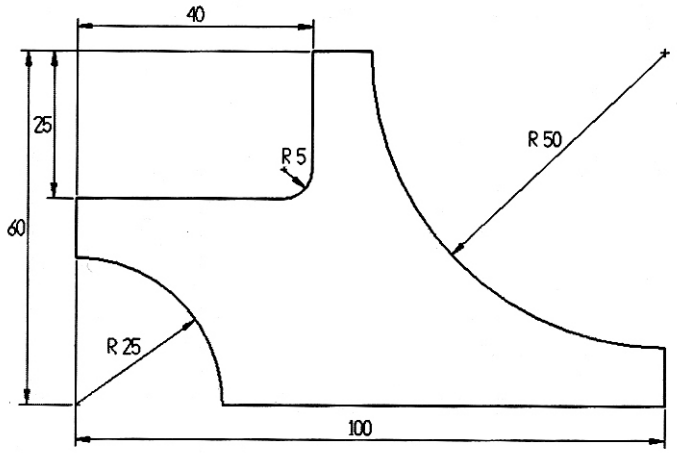
تمام موارد فوق‌الذکر باید به صورت تایپ شده، پرینت و تحویل گردد.



ضخامت نهايي
قطعه كار 15 ميلي متر
جنس قطعه كار
ترموپلاستيك



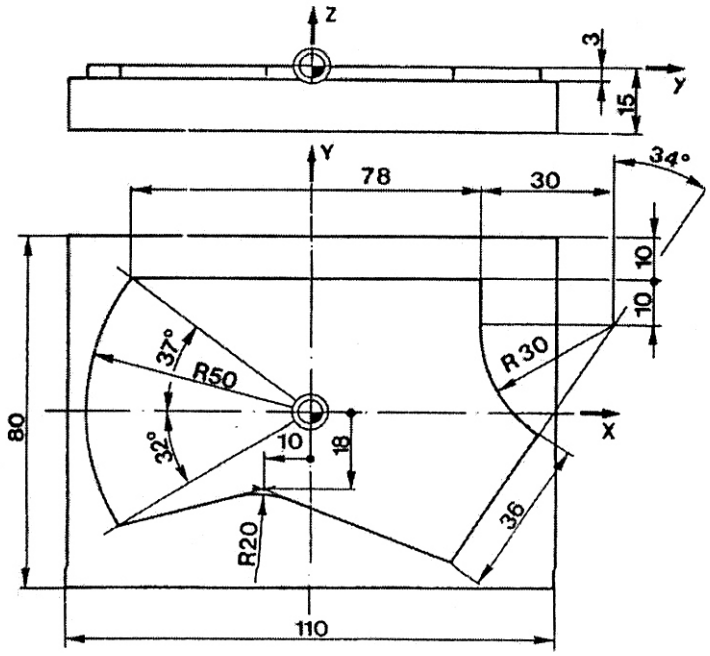
ضخامت نهايي
قطعه كار 12 ميلي متر
جنس قطعه كار
آلياژ مس



ضخامت نهايي
قطعه كار 20 ميلي متر
جنس قطعه كار
فولاد ضد زنگ

توجه:

در مورد قطعه کار زیر، فرض کنید که باید قطعه کار از یک بلوک ماده خام ۱۵ در ۸۰ در ۱۱۰ میلی متر فرزکاری گردد. به عبارت دیگر قطعه کار، ریخته گری نشده است.



جنس قطعه كار
چدن چكش خوار