

چکیده

کنترل عددی توسط کامپیوتر (CNC) فرآیند ساخت قطعه ماشینکاری می‌باشد. عمل تولید به وسیله کنترل‌کننده‌های کامپیوتری کنترل می‌شود. کنترل‌کننده از یک موتور برای به حرکت درآوردن هر محور ماشین‌ابزار استفاده می‌کند و جهات و سرعت و طول زمانی گردش هر موتور را تنظیم می‌کند.

برنامه حرکت مسیر ابزار در کامپیوتر ماشین برنامه‌ریزی شده و به وسیله اپراتور، آن برنامه به اجرا درمی‌آید. برنامه شامل اطلاعات نقطه‌ای عددی با فرمان کنترل و کدهای عملکردی ماشین می‌باشد. کنترل عددی (NC) عبارت اصلی داده شده به این تکنولوژی است و هنوز برای دستگاه‌های CNC نیز همان عبارت به کار گرفته می‌شود.

کنترل عددی ((Numerical Control (NC)) عبارت است از کنترل اعمال ماشینکاری به وسیله اعدادی که به جای نقشه و شابلون در اختیار ماشین قرار داده می‌شود. به عبارت دیگر کنترل عددی عبارت است از انجام و تکمیل مراحل مختلف کار به کمک معلومات ذخیره شده به شکل برنامه‌های رمزی و بدون دخالت ماشینکار.

علت وجود ماشین‌های NC (ماشین‌های ابزار با کنترل عددی)، احتیاج به ساخت قطعات با تعداد زیاد، کیفیت بالا و قیمت اقتصادی بوده است. وظیفه چنین ماشین‌هایی، آماده کردن قطعه کار و کنترل تمام مراحل ساخت از نظر کیفی و کمی تا پایان عملیات ماشینکاری است.

امروزه کنترل عددی در ماشین‌های CNC, NC به قدری پیشرفت نموده که یک ماشین قادر است کلیه مراحل ساخت یک قطعه اعم از تنظیم، براده‌برداری، تعویض ابزار

و ... را به طور اتومات و بدون دخالت فرد انجام دهد.

ماشین NC برای ساخت يك قطعه احتیاج به برنامه کار و ابزارهای مورد لزوم دارد. برای این کار ابتدا قطعه مورد نظر طراحی و نقشه فنی آن رسم، تمام مشخصات کمی و کیفی نظیر ابعاد و تolerانس قسمت‌های مختلف در اختیار برنامه‌نویس قرار داده می‌شود. همزمان با این کار متصدي تهیه ابزار نیز ابزارهای لازم را تهیه، فرمی از مشخصات ابزار و امکانات کاری آن‌ها نظیر سرعت برش و مقدار بار مجاز را به برنامه‌نویس تحویل می‌نماید.

برنامه‌نویس با توجه به اطلاعاتی که از طرح و ابزار اخذ نموده و با در نظر گرفتن مشخصات توانایی‌های کاری ماشین مورد نظر مراحل انجام کار را روی فرم‌های مخصوص برنامه‌نویسی به صورت شماره‌ها و کدهای رمزي ثبت می‌نماید.

این برنامه توسط کارت‌های سوراخ‌دار، نوار مغناطیسی یا دیسک مغناطیسی یا نوار سوراخ‌دار که قابل درك برای ماشین است تهیه می‌شود. به عبارت دیگر برنامه را به زبان ماشین ترجمه می‌کنند.

پایان‌نامه حاضر در ۱۰ فصل جمع‌آوری شده است که در زیر به طور خلاصه توضیح داده می‌شود.

در فصل اول، در مورد سیستم‌های ساخت و اتوماسیون بحث شده که جایگاه CNC را در صنعت نشان می‌دهد و توجیهات کیفی، کمی و اقتصادی آن را بیان می‌کند.

در فصل دوم، سیر تکامل، کاربردها، استانداردهای کنترلر، CNC مورد بررسی قرار گرفته که به بیان چگونگی شکل‌گیری ساختار CNC از زمان انقلاب صنعتی تا به حال می‌پردازد.

در فصل سوم، به بیان ساختمان مکانیکی ماشین‌های کنترل عددی پرداخته شده که به طور مختصر ماشین (بدنه، ساختار مکانیکی، راهنما) تجهیزات کمکی مورد استفاده در CNC توضیح داده شده است. در بخش دوم، به بررسی ساختار ماشین‌های تراش و فرز CNC پرداخته شده است.

در فصل چهارم، سیستم‌های کنترل، محورهای مختصات و سیستم‌های مختصات معرفی شده که به ما در نوشتن برنامه کمک شایانی می‌کند.

در فصل پنجم، با زبان‌های عمده برنامه‌نویسی، چگونگی آماده کردن برنامه و اعمال لازم قبل از نوشتن برنامه آشنا می‌شویم. مواردی از قبیل کدهای CNC، فازهای اصلی برنامه، چگونگی استفاده از جداول در برنامه‌نویسی و محاسبات مربوط به نرخ براده‌برداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل ششم و هفتم به معرفی کدهای مورد استفاده در برنامه‌نویسی ماشین‌های فرز و تراش می‌پردازد و حالت استاندارد و کلی هر کد را با شکل مربوط به آن نشان داده است، کدهای معرفی شده کدهایی است که در نرم‌افزار CNCez کاربر دارد.

در فصل هشتم به چگونگی نصب و استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز CNCez پرداخته شده است. علت معرفی این نرم‌افزار این است که کار با آن برای افراد مبتدی راحت است و نیاز به مهارت خاصی ندارد. همین کار را در نرم‌افزارهایی مانند CATIA یا Master Cam می‌توان انجام داد ولی نیاز به مهارت ویژه‌ای دارد.

در فصل نهم، زبان‌های دیگری که در برنامه‌نویسی ماشین‌های کنترل عددی کاربرد دارد، معرفی شده است.

فصل دهم. جهت نوشتن برنامه برای تولید يك قطعه، بهتر است. قبل از آن دید کلی نسبت به چگونگی کارکرد قطعه، موارد استفاده آن و چگونگی طراحی و محاسبات مربوط به آن داشته باشیم در این فصل انواع بادامك، انواع حرکت پیرو و چگونگی رسم بادامك توضیح داده شده است و در پایان برنامه CNC چند نمونه بادامك ارائه شده است.

در قسمت ضمیمه‌ها کدهای مختلف که در زبان‌های مختلف کاربرد دارد معرفی شده است.

امید به آن که توانسته باشم با ارائه این پایان‌نامه گوشه‌ای از تکنولوژی CNC را معرفی کنم.

فصل اول: سیستم‌های ساخت و اتوماسیون

مقدمه

بازده هر سیستم ساخت را بر اساس سه عامل هزینه ساخت، توان تولید و سود می‌توان سنجید. هزینه ساخت نه تنها شامل هزینه‌های ماشینکاری، مونتاژ و... است، بلکه هزینه‌های جابه‌جا کردن قطعات از نزد ماشینی به نزد ماشین دیگر و انبار کردن موقت آن‌ها را نیز دربرمی‌گیرد. هزینه ساخت از بازده فزاینده‌های مختلف ساخت و روش ترکیب یا ترتیب این فرآیندها در کارخانه نیز تأثیر می‌پذیرد. دستمزدها و کیفیت طرح فراورده نیز بر این هزینه مؤثر است. در عوض، توان تولید هر سیستم ساخت تنها بازده حاصل از به کارگیری نیروی کار را نشان می‌دهد. توان تولید را معمولاً میانگین تولید به ازای هر نفر-ساعت در نظر می‌گیرند. پس هرگاه کارخانه A با ۳۰۰ کارگر هر هفته ۳۰۰ یخچال و کارخانه B با همان تعداد کارگر فقط ۱۵۰ یخچال تولید کند، می‌گویند توان تولید کارگران کارخانه A دوبرابر کارخانه B است. باید توجه داشت که این بدان معنا نیست که هزینه ساخت یخچال‌های کارخانه A کمتر از یخچال‌های کارخانه B است.

شاید صرفه‌جویی در پرداخت دستمزد در کارخانه A صرفه هزینه‌های مربوط به خرید ماشین‌های گران‌قیمت خودکاري شده باشد که کمبود کارگران را جبران می‌کنند.

سراجم، سود شرکت به تغییرات هزینه ساخت و توان تولید بستگی دارد.

هدف این فصل، بحث درباره روش‌های افزایش توان تولید با استفاده از سیستم‌های پیشرفته ساخت و اتوماسیون است. در این جا منظور از اتوماسیون به کارگیری هر روش یا وسیله‌ای است که به کمک کارگر می‌آید تا بازده کار را افزایش دهد.

قبل از بحث درباره جزئیات کار، توضیح این نکته ضروری است که تصمیم‌گیری در مورد مسائل اتوماسیون، تا حدود زیادی به میزان تولید بستگی دارد.

انواع تولید

معمولا تولید را از لحاظ میزان به سه دسته تقسیم می‌کنند: تولید دسته‌ای پرتعداد و تولید دسته‌ای کم تعداد. می‌توان فرض کرد که در تولید انبوه، میزان تولید بیشتر از یک میلیون قطعه در سال است و در تولید دسته‌ای کم‌تعداد از چند صد قطعه در هر دور تولید کمتر است. تخمین زده می‌شود که در ایالات متحده آمریکا در حدود ۷۰ تا ۸۵٪ کل تولید را تولید دسته‌ای تشکیل می‌دهد. به سبب همین نسبت زیاد ساخت به روش دسته‌ای، به مسئله اتوماسیون در ساخت دسته‌ای بسیار توجه می‌شود.

مشخصه‌های عمومی انواع تولید به شرح زیر است:

- تولید انبوه یا پیوسته

مشخصه تولید انبوه تعداد زیاد قطعات مشابه است که در بازار تقاضای نسبتاً ثابت و قابل پیش‌بینی

برایشان وجود دارد. تعداد قطعات مورد نیاز به اندازه‌ای هست که تجهیزات ساخت همواره، به طور پیوسته و به مدت طولانی، مشغول کار باشند. در نتیجه در تولید انبوه از ماشین‌ها و ابزارهایی که برای کاربردهای خاصی طراحی شده‌اند، استفاده می‌شود. این ابزارها و ماشین‌ها با ویژگی‌های قطعاتی که منظور تولید آنهاست، کاملاً انطباق دارند. در تولید انبوه می‌توان هزینه‌های گزاف اتوماسیون تراز بالا را توجیه کرد و به توان تولید بالا دست یافت.

- تولید دسته‌ای پر تعداد

در تولید دسته‌ای پرتعداد، تعداد زیادی قطعه مشابه به صورت رشته‌ای تولید می‌شوند. در این نوع تولید ماشین‌ها باید تا حدودی انعطاف‌پذیر باشند اما استفاده از تعداد زیادی ماشین و ابزار خاص، و زمان تنظیم طولانی قابل توجیه است.

تولید دسته‌ای کم تعداد

در تولید دسته‌ای کم تعداد انواع مختلفی از قطعات تولید می‌شود که تقاضا برای آنها در نوسان است و باید در دسته‌های کوچک تولید شوند. در این روش باید از ماشین‌های همه‌کاره استفاده کرد نه از ماشین‌هایی که برای ساخت قطعه‌های خاصی طراحی شده‌اند. این ماشین‌ها را باید به طور مکرر و برای تولید دسته‌هایی از قطعات مختلف، تنظیم کرد و در نتیجه بخش بزرگی از زمان مولد آنها تلف می‌شود. اتوماسیون در این نوع تولید باید کاملاً انعطاف‌پذیر باشد و بتوان آن را برای تولید انواع مختلف قطعات برنامه‌ریزی کرد.

- انواع طرح‌های جانمایی تجهیزات

در سیستم‌های ساخت از طرح‌های جانمایی مختلفی برای استقرار تجهیزات و ماشین‌های ابزار استفاده می‌کنند و

طرح جانمایی مناسب عمدتاً به تعداد و نوع قطعات موردنظر برای ساخت بستگی دارد.

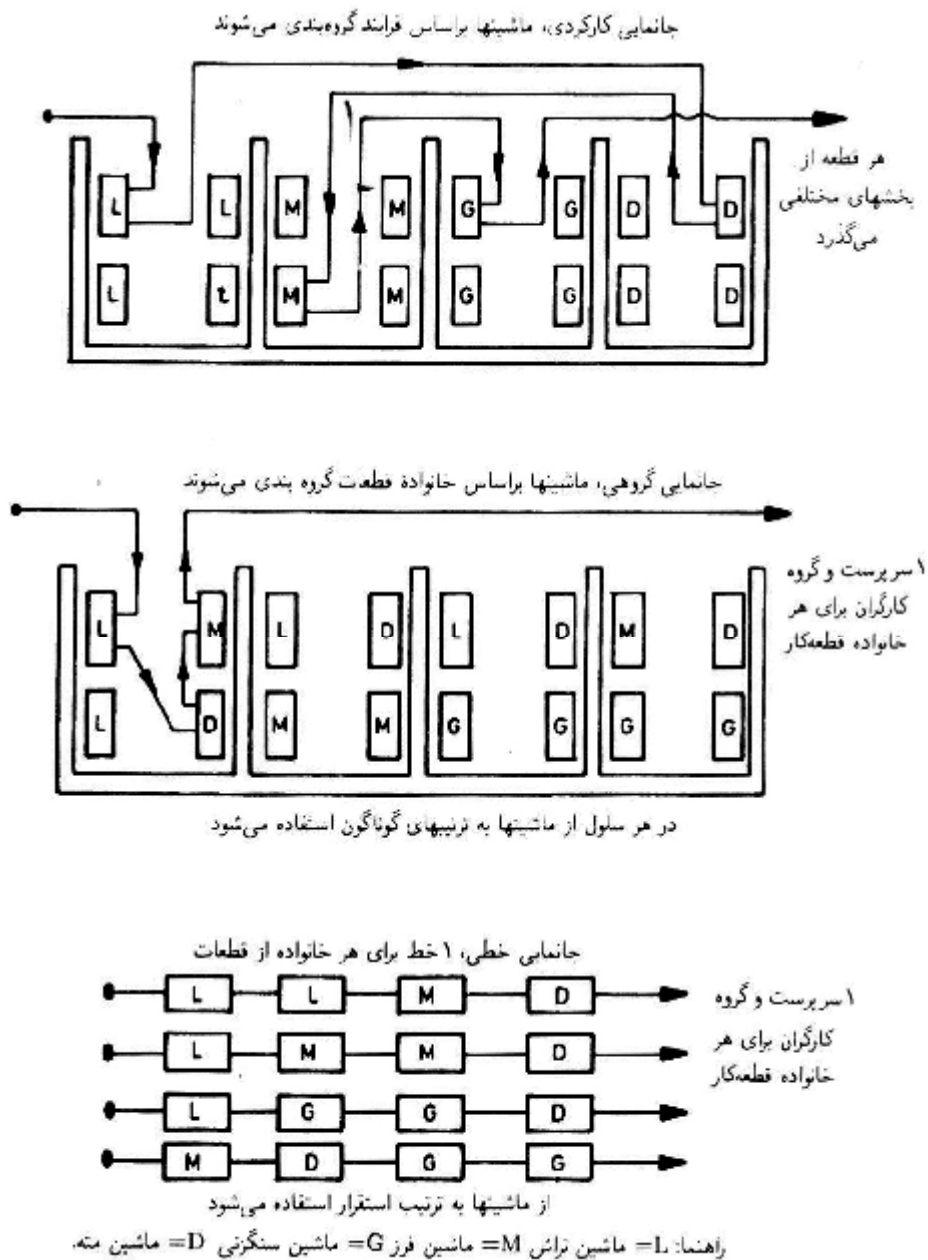
- جانمایی کارکردی یا فرایندی

از جانمایی کارکردی یا فرایندی برای تولید دسته‌ای استفاده می‌شود. کارخانه را به صورت بخش‌هایی با ماشین‌های مشابه سازمان می‌دهند یعنی کارخانه یک بخش روتراشی، یک بخش فرزکاری و... دارد. چون روی اغلب قطعات باید عملیات مختلفی انجام داد، آن را باید مکرراً از یک بخش تخصصی به بخش تخصصی دیگر انتقال داد. در نتیجه گردش کار ضعیف می‌شود زمان پردازش طولانی و نامطمئن خواهد شد؛ در این صورت مشکلات زیادی از لحاظ زمان‌بندی و کنترل تولید پدید می‌آید. در این نوع سازمان، همواره تعداد زیادی قطعه‌کار در دست ساخت است. در این سیستم مسئولیت ساخت به عهده سرپرستان بخش‌های مختلف است.

جانمایی کارکردی یا فزایندی، در صورت نوسانات شدید تقاضا، بسیار انعطاف‌پذیر است و از جمع کردن مهارت‌های مشابه در بخش‌های جداگانه نیز فوایدی حاصل می‌شود.

- جانمایی خطی

در جانمایی خطی، ماشین‌ها را به ترتیب عملیات مستقر می‌کنند؛ به طوری که قطعات در حین ساخت از یک ماشین به ماشین بعدی منتقل می‌شوند. این نوع جانمایی هنگامی به کار می‌آید که به تعداد زیادی قطعه با ترتیب پردازشی یکسان، نیاز باشد. در نتیجه خطوط جریان به تولید انبوه و تولید دسته‌ای پرتعداد محدود می‌شود. این نوع خط جریان معمولاً با تراز اتوماسیون بالایی همراه اند.



شکل ۱-۱- انواع طرح‌های جانمایی ماشین‌ابزار

در جانمایی خطی زمان تولید کوتاه و قابل پیش‌بینی است و همواره تعداد محدودی قطعه در جریان ساخت قرار دارد. در نتیجه کنترل تولید بسیار ساده می‌شود. برای احداث خطوط جریان خودکار باید هزینه سرمایه‌ای گزاف و هزینه‌های طراحی و توسعه معتنا بهی

را صرف کرد. این خطوط تقریباً انعطاف‌پذیرند و عموماً در صورت متغیر بودن تقاضا، یا تغییر مکرر طرح فرآورده مناسب نیستند.

- جانمایی گروهی یا سلولی

از طرح جانمایی گروهی یا سلولی برای تولید دسته‌ای کم‌تعداد استفاده می‌شود به شرط آن که توزیع قطعات از لحاظ نوع نسبتاً پایدار باشد. این حالت معمولاً در شرکت‌هایی دیده می‌شود که به کار ساخت نوعی فرآورده خاص مانند ماشین‌های ابزار، تلمبه‌های هیدرولیکی و... اشتغال دارند. در این نوع جانمایی ماشین‌ها به صورت گروه‌ها یا سلول‌هایی تشکیل می‌یابند تا خانواده‌هایی از قطعات مربوط به هم را پردازش می‌کنند که پردازش آن‌ها مستلزم انجام فرآیندهای مشابه با ترتیب‌های مختلف است.

در صورت امکان باید قطعات را درون سلول مربوط به خود به طور کامل پردازش کرد. جانمایی سلولی، در مقایسه با جانمایی کارکردی جریان کار را بهبود می‌بخشد و زمان عبور قطعات از مراحل مختلف ساخت را کاهش می‌دهد. در این شیوه کارگر و ماشین بهتر به کار گرفته می‌شوند. کنترل تولید بسیار آسان‌تر است و میزان کار در گردش کاهش می‌یابد.

بهره‌برداری موفقیت‌آمیز از جانمایی سلولی مستلزم افزایش تحرک و انعطاف‌پذیری کارگر است، زیرا معمولاً در هر سلول تعداد ماشین‌ها از تعداد کارگران بیشتر است. ماشین‌های اصلی با تمام ظرفیت کار می‌کنند و هر يك متصدي خاص خود را دارند اما چند ماشین فرعی را می‌تواند يك متصدي اداره کند که بنا به ضرورت نزد هر يك از ماشین‌ها می‌رود. چالنج و نایت [۱] طراحی و بهره‌برداری از جانمایی‌های سلولی را به طور کامل توصیف کرده‌اند. همان طور که بعداً خواهیم دید،

سیستم‌های مدرن ساخت انعطاف‌پذیر در ادامه این رهیافت اساسی ابداع شده‌اند.

جدول ۱-۱- مشخصه‌های کلی انواع مختلف جانمایی

نوع جانمایی			مشخصه‌ها
خطی	گروهی	کارکردی	
نوع قطعه	نوع قطعه	فرآیند	مبنای تخصیص
پیوسته	تقریباً	به صورت دسته	جریان مواد بین m/cs
کوتاه‌تر	کوتاه	طولانی	زمان عبور مواد از مراحل مختلف تولید
کم‌تر	کم	زیاد	تعداد قطعات در دست ساخت
یک سرپرست برای هر قطعه	یک سرپرست برای هر قطعه	چند سرپرست برای هر قطعه	مسئول کیفیت
یک سرپرست برای هر قطعه	یک سرپرست برای هر قطعه	چند سرپرست برای هر قطعه	مسئول تحویل به موقع
زیاد یک مجموعه به ازای هر خط؛ یک قطعه/خط	کم: یک مجموعه به ازای هر خانواده از ابزارها	زیاد: یک مجموعه به ازای هر قطعه/عمل	سرمایه‌گذاری در ابزارهای خاص
کمتر	کمتر	زیاد	سرمایه‌گذاری در ساختمان
ساده‌تر	ساده	پیچیده	کنترل جریان مواد

از خطوط جریان گروهی یا چند محصولی می‌توان برای خانواده‌ای از قطعات استفاده کرد، به شرطی که هر عضو خانواده به ترتیب مشابهی پردازش شود و بتوان از خطوط جریان یک‌طرفه استفاده کرد. در این خطوط از ماشین‌ابزارهای همه‌کاره استفاده می‌شود و معمولاً قطعات را با نقاله‌های مکانیکی جابه‌جا می‌کنند. تنظیم دوباره ماشین در هنگام تغییر محصول ضرورت می‌یابد، اما می‌توان از شباهت بین قطعه سود جست و این تنظیم را مختصر کرد.

در جدول ۱-۱، مشخصه‌های کلی انواع مختلف جانمایی‌های تجهیزات آمده است.

انواع اتوماسیون

اتوماسیون مورد استفاده در ساخت رامی‌توان به دو نوع اصلی تقسیم کرد: اتوماسیون ثابت و اتوماسیون برنامه‌پذیر.

- اتوماسیون ثابت

این نوع اتوماسیون وظیفه‌ای خاص یا گستره‌ای محدود از وظایف را به عهده دارد. در این نوع اتوماسیون غالباً از بادامک‌ها و مکانیسم‌های مشابه برای کنترل حرکت‌ها استفاده می‌شود. این شیوه اتوماسیون مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه زیاد و زمان نصب طولانی است. از این نوع اتوماسیون معمولاً فقط برای تولید در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود که در آن می‌توان به توان تولید بالا دست یافت. تجهیزات به کار رفته نسبتاً انعطاف‌پذیرند و نمی‌توان آن‌ها را به آسانی برای انجام وظایف جدید یا تولید محصولات جدید آماده کرد. خطوط انتقال و ماشین‌تراش‌های خودکار نمونه‌هایی از اتوماسیون ثابت به شمار می‌روند.

- اتوماسیون برنامه‌پذیر

از این نوع اتوماسیون می‌توان برای تولید در مقیاس کوچک استفاده کرد زیرا تجهیزات به کار رفته در آن را می‌توان به آسانی برای انجام وظایف جدید و تولید محصولات جدید برنامه کرد. اتوماسیون برنامه‌پذیر به دو نوع اساسی دیده می‌شود: کنترل ترتیب برنامه‌ای و کنترل عددی.

کنترل ترتیب برنامه‌ای

ترتیب حرکت‌ها یا عملیات به وسیله زمان‌گیرها، رله‌ها یا کنترل‌کننده‌های برنامه‌پذیر کنترل می‌شود. حرکت‌ها عملاً به وسیله متوقف‌کننده‌های مکانیکی از پیش‌تنظیم شده و کنترل می‌شود. در بسیاری از ماشین‌تراش‌های خودکار از کنترل ترتیبی استفاده می‌شود؛

این ماشین‌ها به وسیله صفحه مادگی یا کنترل‌کننده‌های ریزپردازنده‌ای برنامه‌ریزی می‌شوند.

کنترل عددی

مهم‌ترین شکل اتوماسیون برنامه‌پذیر مورد استفاده در ساخت کنترل عددی (NC)¹ است. کنترل‌کننده ماشین، برنامه‌ای شامل دستورهای مختلف دریافت می‌کند که معمولاً روی نوار کاغذی ثبت شده است. مکان-سرعت و شتاب حرکتهای ماشین و نیز کارکردهای فرعی آن از قبیل تعویض قلم، قطع و وصل جریان سیال تراشکاری و... را می‌توان کنترل کرد. در هنگامی که NC برای ماشین‌های ابزار ابداع شد، ابتدا فقط شامل داده‌های عددی بود و از این رو کنترل را کنترل عددی نامیدند. اما در کنترل‌کننده‌های مدرن برنامه را مخلوطی از رمزهای الفبایی و اطلاعات عددی تشکیل می‌دهد.

ماشین‌ابزارهای با کنترل عددی بسیار انعطاف‌پذیر و با روش ساخت دسته‌ای کم‌تعداد به خوبی سازگار می‌شوند. هنگامی که کار تغییر می‌کند برنامه جدیدی از دستورهای تهیه می‌شود و می‌توان به سرعت شرایط را برای انجام وظایف جدید مهیا کرد. قید و بسته‌های مورد نیاز معمولاً ساده‌اند و همین سادگی به سهولت تغییر کار کمک می‌کند. برنامه‌ریزی در بیرون از ماشین انجام می‌شود و با زمان تولید تداخل چشمگیری ایجاد نمی‌کند.

از کنترل عددی در انواع تجهیزات، از جمله ماشین‌ابزارهای فلزتراشی، جوشکاری، ورقکاری، لوله خم‌کشی، برشکاری با شعله و بسیاری از ماشین‌های دیگر استفاده می‌شود. بحث ما به ماشین‌ابزارهای فلزتراشی محدود می‌شود که بیشترین جای کاربرد NC است. درحال

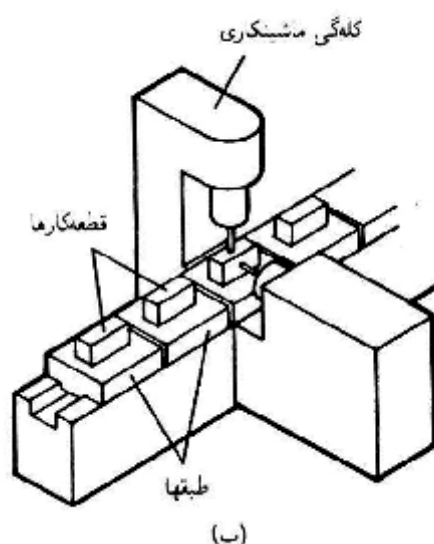
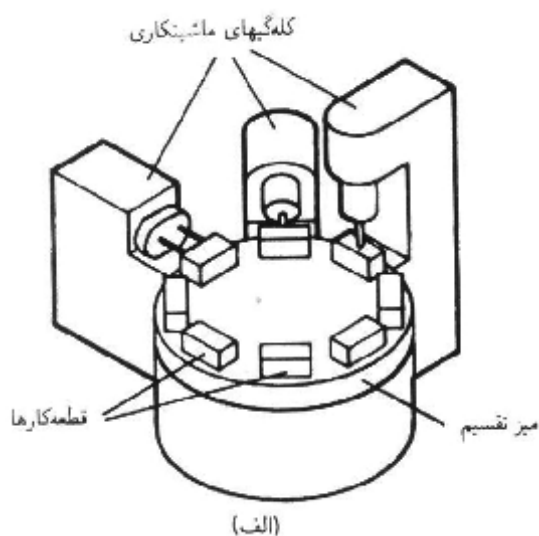
¹- Numerical Control (NC)

حاضر در حدود ۲۰٪ از ماشین‌ابزارهای مدرن از این نوع کنترل استفاده می‌کنند. حال چند نوع مختلف از اتوماسیون در ماشین‌های ابزار را شرح می‌دهیم.

ماشین‌های انتقال

استفاده از ماشین‌های انتقال غالباً مناسب‌ترین روش برای جریان پیوسته قطعات یکسان یا بسیار شبیه به هم در تولید انبوه کالاهای مصرفی است. این سیستم‌ها اساساً به منظور خاصی طراحی می‌شوند و در آن‌ها قطعات به طور خودکار از یک کله‌گلی ماشینکاری به کله‌گلی دیگر انتقال می‌یابند؛ هر کله‌گلی ماشینکاری یک عمل را انجام می‌دهد و هنگامی که قطعه همه سیستم انتقال را پیمود، تمام عملیات لازم روی آن انجام شده است.

در ماشین‌های انتقال قطعه به طور خودکار از یک کله‌گلی ماشینکاری به کله‌گلی دیگر منتقل می‌شود و بدین منظور از میز تقسیم دایره‌ای (سیستم انتقال چرخان نشان داده شده در شکل ۱-۲ الف) یا نوار نقاله (سیستم انتقال راستایی نشان داده شده در شکل ۱-۲ ب) استفاده می‌شود. در سیستم راستایی قطعه روی قید و بست خاصی قرار می‌گیرد و سیستمی برای بازگرداندن قید و بست‌های خالی به آغاز خط پیش‌بینی شده است. غالباً از یک نوار نقاله سریع‌السر که به موازات خط انتقال اصلی نصب می‌شود برای بازگرداندن قید و بست‌های خالی استفاده می‌کنند.



شکل ۲-۱- ماشین انتقال. الف- چرخان، ب- راستایی

ماشین‌های انتقال را معمولاً به صورت مدولی می‌سازند، کله‌گی‌های سوراخکاری، داخل‌تراشی و... واحدهای استاندارد به شمار می‌روند و در ایستگاه‌های مناسب روی سیستم نصب می‌شوند.

ماشین‌های انتقال چرخان به سبب محدودیت مکانی برای ۶ ایستگاه (یا کمتر) دارند. اندازه ماشین‌های انتقال راستایی تقریباً نامحدود است و برای مثال از این نوع ماشین‌ها برای انجام عملیات ماشینکاری روی موتور

اتومبیل استفاده می‌شود. این ماشین‌ها علاوه بر انجام عملیات ماشینکاری، ایستگاه‌هایی نیز برای انجام بازرسی و در بعضی موارد انجام عملیات مونتاژ دارند.

بررسی ماشین‌های انتقال از لحاظ اقتصادی

در بررسی شرایط بهینه ماشینکاری در ماشین‌های انتقالی که بر مبنای اصل تقسیم کار می‌کنند باید به این نکته توجه داشت که در هنگامی که یک ایستگاه ماشینکاری برای تعویض قلم می‌ایستد، کل ماشین باید متوقف شود. همچنین باید در نظر داشت که اختلاف زمان ماشینکاری در ایستگاه‌های مختلف مزیت به شمار نمی‌رود. اگر زمان ماشینکاری در یک ایستگاه کمتر باشد، می‌توان سرعت تراش در آن ایستگاه را بدون تغییر دادن زمان چرخه ماشین کاهش داد و بدین وسیله عمر قلم را افزایش و زمان توقف کل ماشین را کاهش داد. در تحلیل این سیستم فرض می‌شود که N_s ایستگاه در خط موجود است و همه قلم‌های مورد استفاده از یک جنس‌اند.

رابطه عمر قلم با سرعت تراش در هر ایستگاه s چنین است:

$$\frac{v_s}{v_{r_s}} = \left(\frac{t_{r_s}}{t_s} \right)^n \quad (1-11)$$

که در آن

v_s : سرعت تراش

t_s : عمر قلم

v_{r_s} : سرعت تراش برای قلمی به اندازه T_{r_s}

زمان ماشینکاری t_m برای هر عمل از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$t_m = \frac{K_s}{v_s} \quad (2-11)$$

که K_s مسافتی است که نوک قلم، در طی زمان ماشین‌کاری نسبت به قطعه‌کار می‌پیماید. اگر معادله‌های (۱-۱۱) و (۲-۱۱) را با هم تلفیق کنیم:

$$t_s = t_{r_s} \left(\frac{v_{r_s} t_m}{K_s} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3-11)$$

زمان کل لازم برای تولید N_b قطعه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N_b(t_t + t_m) + N_b \sum (t_m t_{ct_s} / t_s) \quad (4-11)$$

که در آن:

t_t : زمان لازم برای یک مرحله حرکت ماشین و پیشروی و بازگشت قلم‌ها

t_{d_s} : زمان تعویض قلم در هر ایستگاه

\sum : مجموع جمله‌ها برای همه ایستگاه‌های ماشین

بنابراین میانگین زمان تولید هر قطعه برابر است با:

$$t_{pr} = t_t + t_m \sum \frac{t_m t_{ct_s}}{t_s} \quad (5-11)$$

اگر نرخ هزینه (هزینه در واحد زمان) در هر ایستگاه (شامل بخشی از ماشین انتقال که مربوط به آن ایستگاه است) M_s باشد نرخ هزینه کل ماشین انتقال $\sum M_s$ خواهد بود و هزینه تولید هر قطعه C_{pr} از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{pr} = \sum (M_s t_{pr}) + \sum \frac{t_m C_{t_s}}{t_s} \quad (6-11)$$

که در آن C_{t_s} هزینه تهیه یک قلم جدید در ایستگاه s است.

با قرار دادن معادله‌های (۳-۱) و (۵-۱۱) در معادله (۶-۱۱) و مرتب کردن جمله‌های معادله حاصل نتیجه می‌شود:

$$C_{pr} = \sum (M_s t_{pr}) + t_m^{1-(1/n)} \Rightarrow C_{pr} = \sum M_s (t_t + t_m) + t_m^{1-(1/n)} \\ \times \left\{ \sum M_s \sum \left[\left(\frac{K_s}{v_{rs}} \right)^{1/n} \frac{t_{ct_s}}{t_{rs}} \right] + \sum \left[\left(\frac{K_s}{v_{rs}} \right)^{1/n} \frac{C_{t_s}}{t_{rs}} \right] \right\} \quad (۷-۱۱)$$

اکنون می‌توان از معادله (۷-۱۱) نسبت به t_m مشتق گرفت تا زمان ماشینکاری t_{mc} متناظر با حداقل هزینه تولید به دست آید. پس:

$$t_{m_c} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left\{ \sum \left[\left(\frac{K_s}{v_{rs}} \right)^{1/n} \frac{t_{ct_s}}{t_{rs}} \right] + \frac{\sum \left[\left(\frac{K_s}{v_{rs}} \right)^{1/n} \frac{C_{t_s}}{t_{rs}} \right]}{\sum M_s} \right\}^n \quad (۸-۱۱)$$

حال می‌توان با قرار دادن t_{mc} به جای t_m در معادله (۷-۱۱) حداقل هزینه تولید هر قطعه را به دست آورد، عمر قلم بهینه در هر ایستگاه از معادله (۱۱-۳) به دست می‌آید.

به منظور نشان دادن اثر ترکیب مجموعه‌ای از فرآیندهای ماشینکاری در یک ماشین انتقال چرخان فرض می‌کنیم که قرار است در ایستگاه‌های مختلف عملیات مشابهی انجام شود و پارامترها در همه ایستگاه‌ها یکسان است. در این صورت معادله (۸-۱۱) چنین نوشته می‌شود:

$$t_{m_c} = \left\{ \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left[\left(N_s \frac{t_{ct}}{t_r} \right) + \frac{C_t}{M t_r} \right] \right\}^n \frac{K}{v_r} \quad (۹-۱۱)$$

با قرار دادن معادله (۹-۱۱) در معادله (۳-۱۱) عمر قلم بهینه در هر ایستگاه به دست می‌آید:

$$t_c = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(N_s t_{ct} + \frac{C_t}{M} \right) \quad (۱۰-۱۱)$$

از مقایسه این نتایج با عمر قلم بهینه برای يك عمل [که با قرار دادن $N_s=1$ در معادله (۱۰-۱۱) حاصل می‌شود] می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش تعداد ایستگاه‌های هر ماشین انتقال، عمر قلم بهینه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین سرعت‌های تراش بهینه در ماشین‌های انتقال کمتر از ماشین‌ابزارهای ساده است.

مثال

در يك سیستم ساخت از نوع ماشین انتقال چرخان جنس قلم‌ها از فولاد تندبر ($n=0.125$)؛ تعداد ایستگاه‌ها ۵ و مقادیر پارامتری $t_{r_s}, v_{r_s}, C_{t_s}, t_{ct_s}, k_s$ در هر ایستگاه در جدول ۱-۲ ذکر شده است. با استفاده از این عددها مقادیر زیر به دست می‌آیند:

$$\sum M_s = \$0.0155 / s$$

$$\sum \left(\frac{K_s}{v_{r_s}} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{t_{ct_s}}{t_{r_s}} = 1.49 \times 10^{19} s^8$$

$$\sum \left(\frac{K_s}{v_{r_s}} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{C_{ct_s}}{t_{r_s}} = \$6.0 \times 10^{17} s^7$$

جدول ۱-۲- پارامترهای ماشینکاری برای ماشین انتقال چرخان با ایستگاه

ایستگاه	K_s, m	t_{ct_s}, s	$C_{t_s}, \$$	$M_s, \$/S$	$v_{r_s} = 1m/s$ به t_{r_s}, s (ازای)
۱	۱۸۳	۱۸۰	۲	۰/۰۰۳	۶۵
۲	۲۴۳	۶۰	۳	۰/۰۰۲۷	۶۵
۳	۶۱	۱۲۰	۲	۰/۰۰۳۸	۶۵
۴	۹۱	۱۲۰	۲	۰/۰۰۳	۶۵
۵	۱۲۲	۲۴۰	۱	۰/۰۰۳	۶۵

زمان ماشینکاری بهینه از معادله (۱۱-۸) به دست می‌آید:

$$t_{m_c} = \left[7(1.49 \times 10^{19}) + \frac{6 \times 10^{17}}{0.0155} \right]^{0.125} = 373s$$

اگر زمان انتقال t_t از معادله (۱۱-۷) برابر $12s$ به دست آید، حداقل هزینه تولید هر قطعه برابر است با:

$$C_{min} = 0.0155(12 + 373) + \frac{(0.0155 \times 1.49 \times 10^{19}) + (6.0 \times 10^{17})}{10^{18}} = 5.97 + 0.83 = \$6.80$$

که C_{min} حداقل هزینه تولید یعنی حداقل مقدار C_{pr} است. سرانجام سرعت تراش بهینه در هر ایستگاه از معادله (۱۱-۲) به دست می‌آید پس در ایستگاه‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ سرعت تراش به ترتیب ۰.۴۹، ۰.۶۵، ۰.۲۴ و $0.33m/s$ است.

ماشین‌های خودکار

در حالی که آزمایش‌های انتقال منحصر برای تولید انبوه استفاده می‌شود، ماشین‌ابزارهای معروف به خودکار هم در تولید انبوه و هم در تولید دسته‌ای پرتعداد به کار می‌روند. متداول‌ترین این نوع ماشین‌ابزارها ماشین تراش خودکار است.

ماشین‌تراش‌های خودکار تک‌محوری که برای تولید قطعه از میله طراحی شده‌اند، بدون نیاز به مراقبت، این

قطعات را به طور پیوسته تولید می‌کنند و فقط باید برای تعویض قلم فرسوده یا تغذیه میله جدید به سراغ آن‌ها رفت. میله از طریق گیره فشنگی، به صورت منقطع یادر ماشین تراش‌های خودکار نوع سوئیسی، به صورت پیوسته و در حین انجام عملیات تراشکاری، به ماشین تغذیه می‌شود. در صورت تغذیه منقطع ماشین را سرتراش خودکار می‌نامند در تغذیه پیوسته قلم‌ها به طور شعاعی قرار می‌گیرند و میله در حین چرخش از ناحیه تراشکاری عبور می‌کند.

حرکت کشوهای حامل قلم غالباً با بادامک‌های تحت کنترل می‌شود برای هر کار باید بادامکی مخصوص تراشید. به طور کلی در ماشینی تک‌محوری به ۳ بادامک نیاز است. هر یک از این بادامک‌ها را باید با تیغه فرز انگشتی، که قطر آن با قطر پیرو بادامک برابر است، تراشید. بدیهی است که ساخت این بادامک‌ها هنگامی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است که دسته تولید پرتعداد باشد.

ماشین‌تراش‌های خودکار تک‌محوری نظام‌دار برای تولید قطعاتی به کار می‌روند که می‌توان آن‌ها را از میله تراشید. در این ماشین‌ها هر قطعه‌کار را با دست به ماشین می‌بندند و یک تراشکار می‌تواند چند ماشین از این نوع را رهبری کند.

گروه آخر از ماشین‌تراش‌های خودکار، ماشین‌های خودکار چند محوری‌اند. این ماشین‌تراش‌ها اساساً ماشین‌های انتقال چرخان انعطاف‌پذیری به شمار می‌روند که هر محور آن‌ها یک گیره فشنگی یا نظام دارد که به شیوه مرحله‌ای حول قلم‌هایی که در مکان‌های مختلف قرار گرفته‌اند می‌چرخد و بدین ترتیب عملیات مختلف ماشینکاری روی قطعه کار انجام می‌شود به نحوی که پس از طی کردن یک چرخه کامل قطعه‌ای کامل تولید

می‌شود. در این ماشین‌ها به جای بادامک تخت از بادامک بشکته‌ای استفاده می‌کنند.

گروه دیگری از ماشین‌های ابزار که می‌توانند خودکار شوند ماشین‌های گردسای داخلی و خارجی‌اند. اگر این ماشین‌ها به مکانیسم‌های خودکار برای بستن قطعه‌کار و لکه‌گیری چرخ سنباده مجهز شوند، می‌توانند به طور پیوسته قطعه تولید کنند. قطعه‌کارها معمولاً در یک خزانه قرار می‌گیرند و تراشکار فقط باید در فواصل زمانی معین این خزانه را با قطعه‌های جدید پر کند. در این ماشین‌ها، به سبب کوچک بودن قطعات و در نتیجه نیروهای تراش، غالباً از صفحه نظام‌ها مغناطیسی استفاده می‌شود و بدین ترتیب می‌توان قطعه‌کار را به شیوه خودکار به ماشین بست.

بررسی ماشین‌های خودکار از لحاظ اقتصادی

فرض می‌کنیم که هر تراشکار می‌تواند N_a ماشین خودکار را راهبری کند، دستمزد تراشکار (شامل هزینه‌های بالاسری) W'_0 و هزینه هر ماشین (شامل هزینه‌های بالاسری) M'_t است. هزینه تولید هر قطعه C_{pr} از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{pr} = \frac{C_b}{N_b} + (W'_0 + M'_t)t_1 + \left(\frac{W'_0}{N_a} + M'_t \right)t_m + [(W'_0 + M'_t)t_{ct} + C_t] \frac{t_m}{t} \quad (11-11)$$

که در آن:

C_b : هزینه تنظیم و آماده کردن ماشین (شامل ساخت بادامک‌ها و...)

N_b : اندازه دسته

t_{ct} : زمان لازم برای تعویض قلم

C_t : هزینه تهیه یک لبه برنده جدید

t_m : زمان ماشینکاری

t : عمر قلم

t_i : زمان لازم برای بستن و باز کردن قطعه‌کار

مثال

فرض می‌کنیم که یک تراشکار به تنهایی می‌تواند شش دستگاه ماشین تراش خودکار تک محوری را راهبری کند؛ با توجه به این که این ماشین‌ها با میله‌های استاندارد تغذیه می‌شوند و $t_1=0$. هزینه ساخت یک قطعه را با استفاده از داده‌های زیر محاسبه کنید:

$$t_m = 30s, t = 400s, t_{ct} = 60s, W'_0 = 2.20 \times 10^{-3} \$/s,$$

$$M'_t = 1.40 \times 10^{-3} \$/s, C_t = 0.5 \$/s, C_b = 1000 \$$$

با قرار دادن این مقادیر در معادله (۱۱-۱۱) نتیجه می‌شود:

$$C_{pr} = \frac{1000}{N_b} + \left[\left(\frac{2.2 \times 10^{-3}}{6} + 1.4 \times 10^{-3} \right) 30 \right]$$

$$= \left[(2.2 \times 10^{-3} + 1.4 \times 10^{-3}) 60 + 0.5 \right] \frac{30}{4000} = \frac{1000}{N_b} + 0.058$$

مشاهده می‌شود که در این مثال باید دسته‌ای به تعداد ۲۰۰۰۰۰ قطعه مورد نیاز باشد تا هزینه‌های تنظیم و آماده‌سازی ماشین به ۱۰٪ هزینه تولید هر قطعه کاهش یابد.

بررسی اقتصادی ماشین‌های ابزار با کنترل عددی

در ماشین‌های NC، هزینه تدارکات برای ماشینکاری یک دسته قطعه‌کار، C_b عمدتاً شامل هزینه‌های برنامه‌نویسی و تهیه نوار است. به طور کلی بین این هزینه‌ها و زمان ماشینکاری، t_m رابطه‌ای به شرح زیر وجود دارد:

$$C_b = K_p t_m$$

(۱۲-۱۱)

که در آن K_p هزینه برنامه‌نویسی و تهیه نوار به ازای واحد زمان ماشینکاری است. بنابراین هزینه تولید هر قطعه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_{pr} = \frac{K_p t_m}{N_b} + M(t_1 + t_m) + \frac{t_m}{t} (Mt_{ct} + C_t) \quad (11-13)$$

که در آن:

N_b : اندازه دسته

M : هزینه کل ماشین و تراشکار

C_{ct} : هزینه تهیه یک قلم تیز

t : عمر قلم

t_m : زمان بستن و باز کردن قطعه‌کار و پیشروی و

بازگشت قلم

t_t : زمان تعویض قلم

مثال

یک ماشین سری‌تراش بزرگ NC را در نظر بگیرید. قلم‌های این ماشین تیغچه‌های الماسه قابل تعویض دارند که قیمت هر لبه برنده آن ۰/۵۰ دلار است و تنظیم هر لبه به طور میانگین ۶۰s طول می‌کشد. هزینه تهیه نوار به ازای واحد زمان ماشینکاری به طور نمونه وار ۰/۱۰ دلار در ثانیه است و چرخه کل ۳۰۰s فرض می‌شود که ۵۰٪ از آن صرف بهره‌برداری خواهد شد. قیمت این ماشین تراش ۱۲۵۰۰۰ دلار است و باید در طی ۳ سال مستهلك شود. تراشکار ساعتی ۴ دلار دستمزد می‌گیرد و هزینه بالاسری ماشین و تراشکار ۱۰۰٪ است. بنابراین هزینه کل ماشین چنین به دست می‌آید:

$$M = \frac{2 \times 125000}{2 \times 50 \times 40 \times 3600} + \frac{2 \times 4}{3600} \approx \$0.02/s$$

بالاخره فرض می‌شود زمان بستن و باز کردن قطعه $150s$ و عمر قلم $300s$ است. با قرار دادن این اعداد در معادله (۱۱-۱۳) نتیجه می‌شود:

$$C_{pr} = \frac{0.1 \times 150}{N_b} + 0.02(150 + 150) + \frac{150}{300} [(0.02 \times 60) + 0.5] = \frac{15}{N_b} + 9.85$$

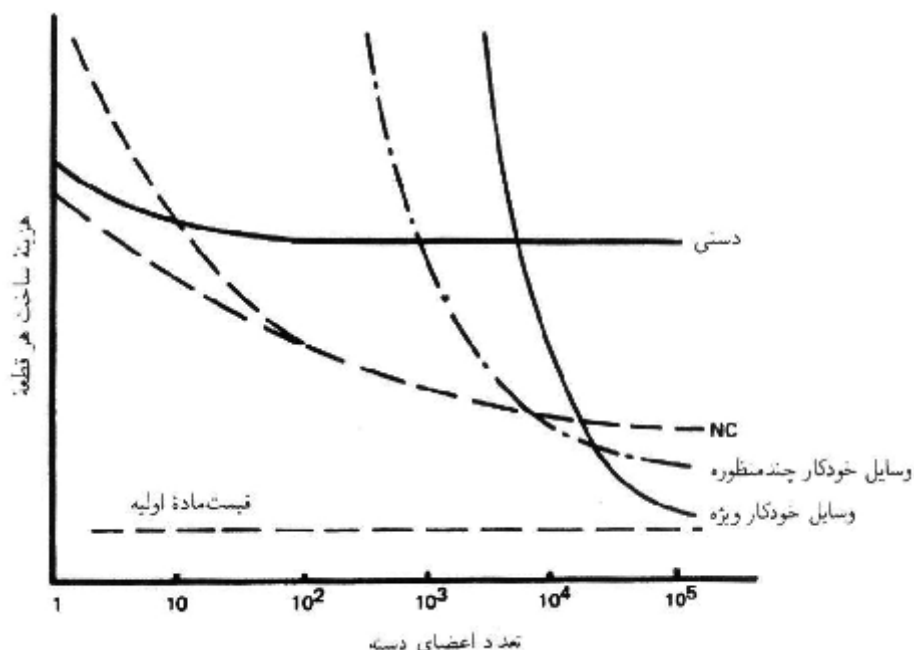
این نتیجه آشکارا نشان می‌دهد که سیستم برای دسته‌های کم تعداد اقتصادی است و هزینه برنامه‌نویسی و تهیه نوار $(15/N_b)$ کمتر از ۱۰٪ هزینه کل تولید هر قطعه است. به شرط آن که تعداد قطعات دسته از ۵ بیشتر باشد.

مقایسه اقتصادی سیستم‌های مختلف اتوماسیون

سطح اتوماسیون مناسب برای هر موقعیت خاص تولیدی عمدتاً بر اساس اندازه دسته و تنوع قطعات انتخاب می‌شود. با بررسی جنبه‌های اقتصادی ساخت انواع نمونه‌وار قطعات با ماشین‌های مشابه، اما مجهز به انواع مختلف اتوماسیون، می‌توان این موضوع را به خوبی نشان داد. شکل ۳-۱ نتیجه‌ای نمونه‌وار را نشان می‌دهد. [۲] که در آن کاربرد یک ماشین‌تراش معمولی، یک ماشین سری‌تراش NC برای ساختن قطعه‌ای نمونه‌وار مقایسه شده است.

استفاده از ماشین‌های خودکارتر برای ساختن دسته‌های بسیار کم تعداد مقرون به صرفه نیست زیرا هزینه‌های پس از تولید، شامل تنظیم و برنامه‌نویسی، به قطعات کمتری سرشکن خواهد شد. در هنگام تولید دسته‌های بزرگتر، کاهش زمان چرخه در نتیجه استفاده از تجهیزات خودکار هزینه‌های بیش از تولید را جبران می‌کند. این نتیجه نمونه‌وار است و نشان می‌دهد که ماشین‌های دستی هنگامی مناسب‌ترند که فقط به چند قطعه نیاز داشته باشیم و ماشین‌های NC برای تولید تعدادی متوسط مناسب‌اند و سطوح بالاتر اتوماسیون

صرفاً در هنگام تولید در دسته‌های پرتعداد به کار می‌آید.



شکل ۱۱-۶- تغییر هزینه ساخت با اندازه دسته برای سطوح مختلف اتوماسیون

سیستم‌های ساخت انعطاف‌پذیر

مرحله‌ای منطقی از مفاهیم جامع‌گروهی و ماشین‌ابزارهای NC و رباتیک، مجتمع‌های ماشینکاری چندایستگاهی مرتبط با کنترل کامپیوتری، یا سیستم‌های ساخت انعطاف‌پذیر (FMS)^۱ است. این سیستم‌ها را می‌توان سلول‌های بسیار خودکار برای ساخت خانواده‌هایی از قطعات تلقی کرد.

FMS مفهومی نوینی نیست؛ این سیستم نخستین بار در اواسط دهه ۱۹۶۰ پیشنهاد شد [۵-۷] در سال‌های اخیر شاهد افزایش تعداد این سیستم‌ها به ویژه در ژاپن بوده‌ایم به طور که تخمین زده می‌شود که افزون بر یک

^۱ - Flexible Manufacturing System (FMS)

صد سیستم از این نوع در سرتاسر جهان نصب شده است. [۸]

هر سیستم ساخت انعطاف‌پذیر ویژگی‌هایی به شرح زیر دارد:

۱- ایستگاه‌های کار *NC* مرتبط به هم که روی گستره محور، یا خانواده‌ای از قطعات کار می‌کنند. در سیستم‌های اولیه، ماشین‌ها ساختمان مدولی داشتند اما در سیستم‌های جدید بیشتر از ماشین‌های *NC* همه‌کاره، به ویژه مراکز ماشینکاری، استفاده می‌شود.

۲- حمل و نقل، بستن و باز کردن خودکار قطعه‌کارها و قلم‌ها با استفاده از وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار (*AGV*)^۱ روبات‌ها و....

۳- قطعه‌کارها برای حمل و نقل روی طبق نصب می‌شوند یکی از دلایل این کار آن است که مشکلات ناشی از تنظیم مجدد در هر ایستگاه کار برطرف می‌شود.

۴- استفاده از *NC* یا *DNC* مرکزی ممکن می‌شود و می‌توان کل سیستم را با کامپیوتر کنترل کرد.

۵- راهبري به مدت‌های نسبتاً طولانی بدون دخالت دست یا با دخالت‌اند.

در *FMS* منظور از واژه انعطاف‌پذیری، توانایی پردازش انواع قطعات بدون نیاز به تنظیم ماشین یا تعویض قلم است. انعطاف‌پذیری زیاد متضمن آن است که بتوان خانواده‌ای بزرگ از قطعات را با استفاده از سیستم مورد نظر تولید کرد. در شکل ۴-۱، چندین گونه از مفهوم *FMS* نشان داده شده است. [۹] این گونه‌ها عبارتند از:

^۱- Automatic Guided Vehicle (AGV)



شکل ۴-۱- گونه‌های سیستم FMS

۱- سلول‌های ساخت انعطاف‌پذیر (FMC)^۱

این سیستم‌ها اساساً مراکز ماشین‌کاری‌اند با این تفاوت که طبق یا خزانه به آن‌ها افزوده شده است. (شکل ۵-۱)

هدف ماشینکاری قطعه‌کار با یک بار تنظیم ماشین است. این نوع ماشین می‌تواند به مدتی طولانی بدون مراقبت انسان، کار کند. بدین منظور قطعات نصب شده روی طبق به شیوه خودکار به درون ماشین منتقل شده، از آن بیرون آورده می‌شوند. این نوع سلول‌های ساخت انعطاف‌پذیر نیاز به ماشین‌ها یا افرادی دارند که کارهای تدارکاتی و نصب قطعه‌کارها در طبق‌ها را انجام دهند. این سلول‌ها بسیار انعطاف‌پذیرند و می‌توانند گستره بزرگی از قطعات (۴۰ تا ۸۰۰) را در دسته‌های کوچک ۱۵ تا ۵۰۰ تایی ماشینکاری کنند.

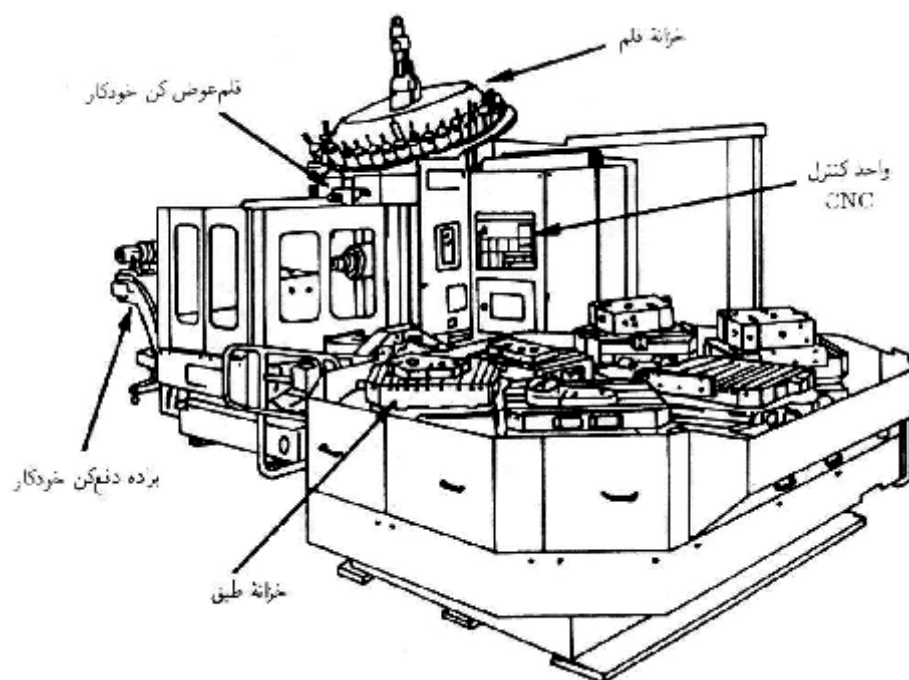
۲- خطوط انتقال انعطاف‌پذیر (FTL)^۲

این سیستم‌ها از تعدادی ماشین‌ابزار NC، یا ماشین‌ابزار با کله‌گی قابل تعویض تشکیل می‌شوند که

^۱ - Flexible Manufacturing Cell (FMC)

^۲ - Flexible Transfer Lines (FTL)

به وسیله سیستم‌های انتقال خودکار مواد به هم مرتبط شده‌اند. این سیستم می‌تواند قطعات مختلف را ماشینکاری کند اما از لحاظ مسیر قطعه‌کارها انعطاف‌پذیر نیست. خانواده قطعاتی که این سیستم می‌تواند بسازد اعضای محدودی دارد (<20) و قطعات باید نسبتاً به هم شبیه باشند زیرا انعطاف‌پذیری این سیستم اندک است و نمی‌تواند خود را با تغییرات زیاد انطباق دهد. در نتیجه چرخه‌های کاری در هر ایستگاه باید کاملاً متوازن باشند. تعداد قطعات هر دسته باید زیاد باشد تا استفاده از این سیستم‌ها مقرون به صرفه شود (۱۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ عدد از هر قطعه در سال)



شکل ۱-۵- مرکز ماشینکاری

۳- سیستم‌های ساخت انعطاف‌پذیر (FMS)^۱

در این سیستم‌ها ایستگاه‌های کار NC با سیستم‌های انتقال و جابه‌جایی خودکار قطعه‌کار و مسیرهای

^۱ - Flexible Manufacturing System (FMS)

انعطاف‌پذیر و سیستم‌های خودکار بستن و باز کردن قطعه‌کار مرتبط‌اند. زمان ماشینکاری در ایستگاه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد تعداد قطعات مختلفی که می‌توان با این سیستم‌ها پردازش کرد بین ۱۰ تا ۱۵ قطعه است و می‌توان دسته‌های متوسط تعداد را با این ماشین‌ها تولید کرد (۱۵ تا ۵۰۰ قطعه از هر نوع در هر سال).

ساخت به کمک کامپیوتر

مقدمه

از کامپیوتر در زمینه‌های علمی و تجاری بسیار استفاده می‌شود. پیشرفت‌های اخیر در زمینه میکروالکترونیک به پیدایش سیستم‌های کامپیوتری انجامیده است که توان محاسباتی بالا را همراه با قابلیت اعتماد زیاد، ابعاد کوچک و قیمت ارزان، یک جا دارند و از این رو تنوع کاربردهای آن‌ها هر روز بیشتر می‌شود. در نتیجه این پیشرفت‌ها، اجرای سریع کارهایی که انجام آن‌ها با دست پیچیده‌تر و وقت‌گیر است، امکان‌پذیر شده است. کامپیوترها را می‌توان چنان برنامه‌ریزی کرد که محاسبات پیچیده را انجام دهند و مقدار زیادی داده را با سرعت و بازده زیاد پردازش و ذخیره کنند. در نتیجه، کامپیوتر در عرصه‌های طراحی و ساخت کاربرد فزاینده‌ای یافته است و مفاهیمی از قبیل طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) و ساخت به کمک کامپیوتر (CAM)، یا به اختصار CAD/CAM مطرح شده است. هدف از به کارگیری CAD/CAM افزایش بازده همه عملیات طراحی و ساخت و مجتمع کردن این فعالیت‌ها به وسیله پایگاه‌های داده اشتراکی، همراه با انتقال خودکار داده‌ها بین فعالیت‌های گوناگون طراحی و طرح‌ریزی است. در این فصل تنها جنبه‌هایی از CAD/CAM را که با ویژگی‌های

تکنولوژیکی کاربرد ماشین‌ابزار سر و کار دارند به تفصیل بررسی می‌کنیم. به ویژه درباره طرح‌ریزی فرآیند و کاربردهای برنامه‌نویسی کنترل عددی (NC) بحث می‌شود. جزئیات سایر کاربردهای CAD/CAM را می‌توان در کتاب‌های مختلف یافت. [۱-۳] پیش از پرداختن به جزئیات طرح‌ریزی فرآیند به کمک کامپیوتر و سیستم‌های پردازش NC، گستره کاربردهای CAD/CAM را به طور اجمالی بررسی می‌کنیم.

گستره کاربردهای CAD/CAM

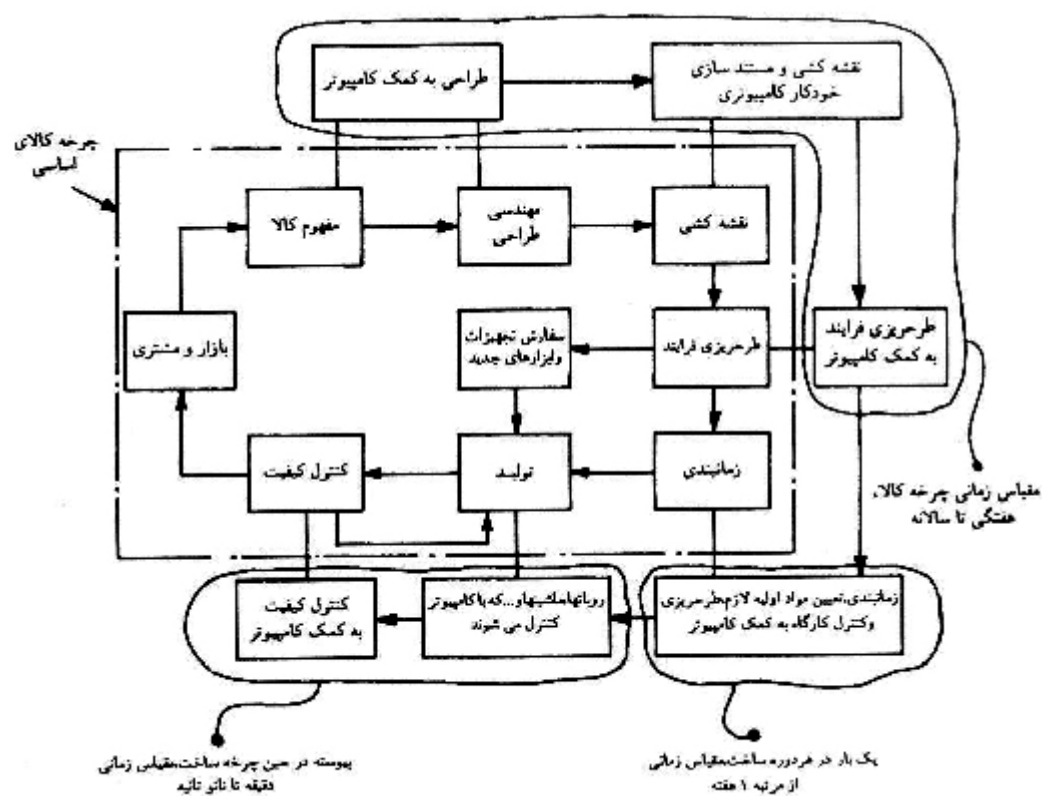
طراحی به کمک کامپیوتر عبارت است از به کارگیری سیستم‌های کامپیوتر برای کمک به آفرینش، اصلاح، تحلیل و بهینه‌سازی یک طرح [۱]. در این زمینه منظور از اصطلاح سیستم کامپیوتری تلفیقی از سخت‌افزار و نرم‌افزار است. ساخت به کمک کامپیوتر به کارگیری سیستمی کامپیوتری برای طرح‌ریزی، اداره و کنترل عملیات در یک واحد ساخت است. با توجه به مراحل که باید در طراحی و ساخت هر کالا طی کرد و با چرخه در شکل ۱-۶ نشان داده شده است می‌توان به گستره کاربرد CAD/CAM پی برد.

حلقه داخلی در شکل ۱-۶، شامل مراحل مختلفی است که باید در چرخه تولید کالا پشت سر گذاشت و حلقه خارجی بعضی از کارکردهای CAD/CAM را در چرخه کالا نشان می‌دهد.

بر اساس خواسته‌های بازار و مشتری کالایی در نظر گرفته می‌شود که ممکن است گونه اصلاح شده‌ای از کالاهای قبلی باشد. سپس این کالا طراحی تفصیلی می‌شود که مشتمل است بر هر نوع تحلیل طرح مورد نیاز، نقشه‌ها و فهرست‌های قطعات نیز تهیه می‌شود. پس از آن قطعان و مجموعه‌های گوناگون چرخه همراه با تعیین پارامترهای فرآیند، از قبیل پیشروی‌ها و

سرعت‌هاست. هنگامی که کالا به مرحله تولید می‌رسد زمان‌بندی و کنترل ساخت انجام می‌شود و ترتیب و زمان هر مرحله از ساخت برای هر قطعه و مجموعه چنان تعریف می‌شود که با برنامه زمانی کلی ساخت سازگار باشد. سپس کنترل ساخت و کنترل کیفیت کالا، مطابق با برنامه زمانی انجام می‌شود و کالاهای تولید شده به مشتری عرضه می‌شوند.

برای کمک به انجام هر مرحله از عملیات چرخه کالا، روش‌های مبتنی بر کامپیوتر ابداع شده و می‌شوند این روش‌ها در حلقه خارجی شکل ۶-۱ نشان داده شده‌اند. فنون طراحی و نقشه‌کشی به کمک کامپیوتر نیز ابداع شده است. به کمک این فنون می‌توان مدلی هندسی از کالا و قطعات آن را در کامپیوتر خلق کرد. سپس می‌توان با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری تخصصی، از قبیل بسته‌های مورد استفاده در تحلیل تنش اجزای متناهی، طراحی مکانیسم‌ها و... این مدل را تحلیل نمود. نقشه‌ها و فهرست قطعات را می‌توان به کمک کامپیوتر، شامل تهیه برنامه‌های NC، ابداع شده‌اند که می‌توانند بر اساس توصیف هندسی قطعات و مجموعه‌ها، طرح‌های کار، برآوردها و دستورهای ساخت را به طور خودکار تولید کنند.



شکل ۶-۱- چرخه کالا با روش‌های مبتنی بر کامپیوتر

فصل دوم: کنترل عددی

مقدمه

کنترل عددی توسط کامپیوتر (cnc) شامل مراحل ساختی می‌شود که در آن ماشین براده برداری فرمانهای لازم برای انجام کارهای مختلف بر روی یک قطعه کار را توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده توسط شخص عملگر (اپراتور) از کامپیوتر دریافت می‌کند و به آن فرامین عمل می‌نماید.

کنترل کننده موجود در این سیستم‌ها در حقیقت سه وظیفه اصلی زیر را بر عهده دارد:

۱- کنترل جهت دوران ابزار براده برداری یا قطعه کار

۲- کنترل سرعت دوران ابزار براده برداری یا قطعه کار

۳- کنترل مدت زمان دوران ابزار براده برداری یا قطعه کار

لازم به ذکر است که در بعضی از ماشین‌های CNC قطعه کار ثابت بوده و ابزار براده برداری دوران می‌نماید به این ماشین‌ها فرز و عملیات انجام گرفته را MILLING می‌گویند و در بعضی دیگر از ماشین‌های براده برداری ابزار براده برداری ثابت بوده و قطعه کار

دوران می‌نماید، به این ماشین‌ها تراش و عملیات انجام گرفته را TURNING می‌گویند.

فن آوری کنترل عددی NC یکی از پیشرفته‌های اساسی در صنعت تولید در ۵۰ سال گذشته بوده است. توسط این فن آوری نه تنها در دیگر زمینه‌های علمی و صنعتی پیشرفت سریعی حاصل شده بلکه استفاده از این فن آوری باعث بالا بردن کمیت و کیفیت قطعات تولیدی نیز گردیده است.

تاریخچه CNC

کنترل عددی توسط کامپیوتر (CNC) فرآیند ساخت قطعه ماشینکاری می‌باشد. عمل تولید به وسیله کنترل‌کننده‌های کامپیوتری کنترل می‌شود. کنترل‌کننده از یک موتور برای به حرکت درآوردن هر محور ماشین ابزار استفاده می‌کند و جهات و سرعت و طول زمانی گردش هر موتور را تنظیم می‌کند. برنامه حرکت مسیر ابزار در کامپیوتر ماشین برنامه‌ریزی شده و به وسیله اپراتور، آن برنامه به اجرا درمی‌آید. برنامه شامل اطلاعات نقطه‌ای عددی با فرمان کنترل و کدهای عملکردی ماشین می‌باشد. کنترل عددی (NC) عبارت اصلی داده شده به این تکنولوژی است و هنوز برای دستگاه‌های CNC نیز همین عبارت به کار گرفته می‌شود.

کنترل عددی (NC) در پنجاه سال اخیر یکی از تکنولوژی‌های توسعه یافته برای تولید می‌باشد. نه تنها به ایجاد روش‌های جدید منجر گردید بلکه تولید را نیز بسیار ارتقاء داده است این تکنولوژی کمک به افزایش مرغوبیت کالا نموده و هزینه‌های ساخت را نیز ثبات بخشیده است.

تکامل NC

اصول ساخت و تولید NC از انقلاب صنعتی رو به تکمیل شده بوده است. اگرچه روش تکامل آن با توسعه تکنولوژیکی میسر گردیده است. اولین اقدامات برای تولید اتوماتیک با ساخت تسمه‌ها، پولی‌ها و شفت‌ها آغاز گردید، اگرچه هزینه‌های کارگر و کاردستی بسیار پرهزینه‌تر از هزینه‌های ماشین‌های بزرگ است.

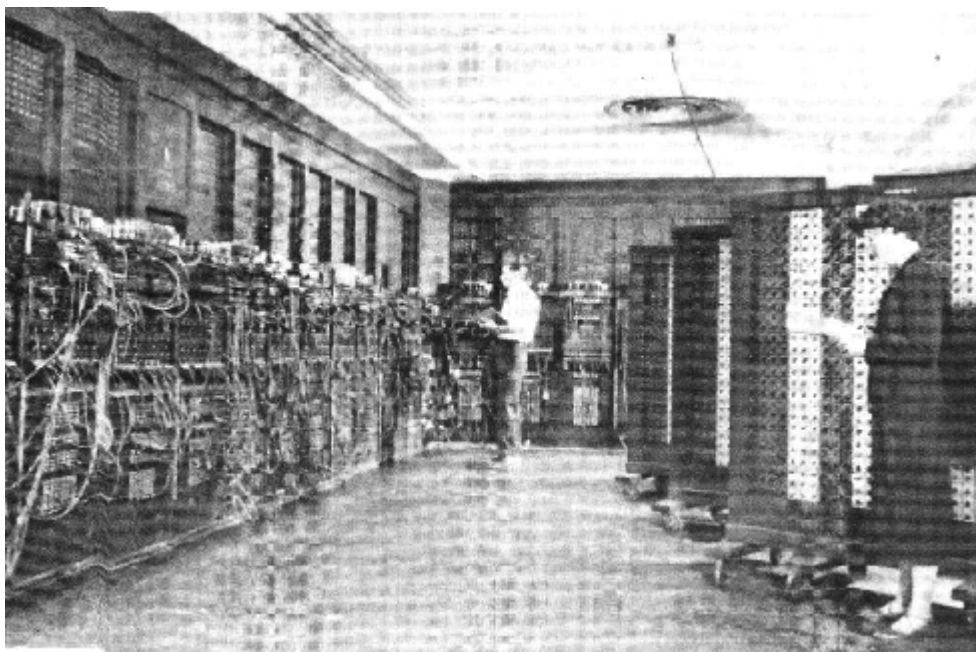
تا آغاز جنگ جهانی دوم صنایع نتوانستند به این واقعیت دست یابند که می‌توان هم مقدار و هم کیفیت را در یک زمان به دست آورد. تولیدکنندگان از موقعی که توانستند قطعاتی با کیفیت بالا تولید کنند میزان تولید آنها نمی‌توانست زیاد باشد. همان گونه که تولید بالا می‌رفت کیفیت کالا به خاطر فاکتور انسانی درگیر در کار کاهش می‌یافت.



شکل ۱-۲- تأثیر جنگ جهانی دوم بر تکامل ماشین‌های NC بسیار فراوان بوده است.

در خلال جنگ جهانی دوم آزمایشگاه تحقیقاتی بالستیک ارتش آمریکا و دانشگاه پنسیلوانیا در یک همکاری اولین کامپیوتر دیجیتال (ENIAC) را توسعه و ساختند. این یک کامپیوتر لامپی عظیم بود که فقط برای محاسبات ریاضی پرتابه‌های بالستیک و جداول آنها برای توپخانه به کار گرفته می‌شد. برنامه‌ریزی

آن به وسیله تنظیم کردن صدها سوئیچ و کابل به طور دستی بود تا بتوان این دستگاه را تنظیم نمود. در اوایل دهه ۱۹۵۰ بود که دانشگاه تکنولوژی ماساچوست (MIT) یک کامپیوتر لابی پیشرفته‌تر به نام ویرل وانید را ساخت. این کامپیوتر قادر بود هزاران برابر محاسبات بر ثانیه را بیشتر از (ENIAC) انجام دهد.



شکل ۲-۲- اولین کامپیوتر دیجیتال جهان (ENIAC)

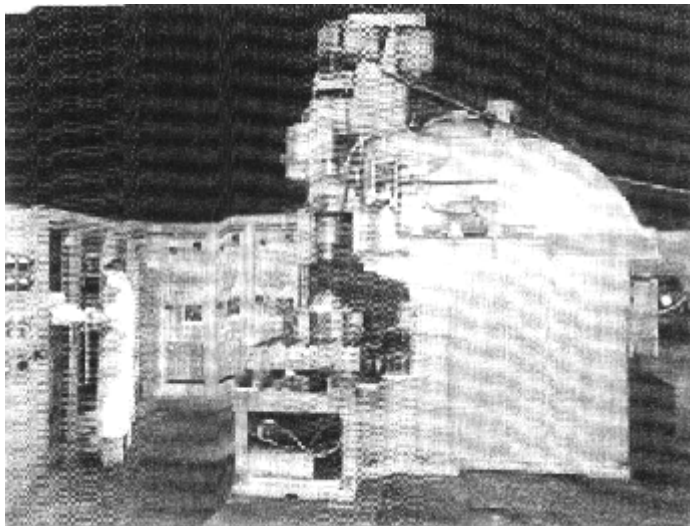
برای اطمینان از این که هواپیماهای ارتش آمریکا به طور یکسانی ساخته شوند، نیروی هوایی از چندین شرکت برای ساخت سیستم کنترل عددی دعوت به عمل آورد که بتواند ساخت قطعه را با حجم زیاد و تکرارپذیری (تکراری بودن قطعات) تولید نماید.

هدف اصلی از توسعه NC به قرار زیر بود:

- افزایش تولید
- ارتقا کیفیت و دقت قطعات ساخته شده
- ثبات در هزینه‌های ساخت و

- ساخت و اسمبل (جمع کردن) قطعات پیچیده با سرعت بالا
 - همراه با اتوماتیک شدن و برنامه‌ریزی کردن، NC طراحی شد تا بتواند تغییرات در طراحی محصول انجام دهد و کمکی باشد در تولید قطعاتی که:
 - در نوع مواد خام یکسان و از نظر شکل نیز یکسان بودند
 - در اندازه و شکل هندسی متفاوت بودند
 - در دسته‌های با اندازه کوچک و متوسط ساخته شوند
- و
- نیازمند مراحل مشابه بودند تا قطعه‌کار ساخته شوند.
- اولین قرارداد با شرکت پارسون می‌شیگان منعقد گردید که سیستم کنترلی را به وجود آورده بود که Spinde در نقاط زیادی با موفقیت هدایت می‌شد. اگرچه قرارداد در ۱۵ جون ۱۹۴۹ منعقد گردید اما تقاضا برای چنین سیستمی در اثر نیاز مستقیم در جنگ سرچشمه گرفته بود.
- در سال ۱۹۵۱ آزمایشگاه سرو مکانیزم دانشگاه MIT قرارداد با شرکت پارسون منعقد نمود که برای ساخت سیستم سروماشین ابزار بود. همچنان که MIT در همان موقع مشغول کار بر روی Whirlwind بود توسعه و ساخت پروژه NC به وسیله آزمایشگاه MIT هدایت و کنترل می‌شد.
- در سال ۱۹۵۲ اولین ماشین کنترل عددی سه محوره تغذیه شونده به وسیله نوار به وجود آمد. ماشین فرز محور گردان عمودی سنسیناتی میلاکورن هیدروتل هماهنگ شونده به وسیله کامپیوتر ویرل وایند کنترل گردید. کنترل‌کننده با حسگرهای نوری مجهز و از نوار سوراخ شده Binary (صفر و یک) برای دستورات استفاده می‌کرد.

نوار به وسیله يك مكانيزم تغذيه مكانيكی خوانده می‌شد. در سال ۱۹۵۴ ماشین کنترل عددی به عموم معرفی گردید و سه سال بعد اولین تولید ماشین NC تحویل و نصب گردید.



شکل ۳-۲- آزمایشگاه سرو مکانیزم در MIT (با اجازه از موزه MT)

تا سال ۱۹۶۰ ماشین‌های NC به طور وسیعی در دسترس و قابل قبول شدند. اگرچه کنترل‌کننده از حروف الفبا برای کدهای کنترل مورد استفاده قرار می‌گرفت ولی به آن ماشین کنترل عددی گفته می‌شد.

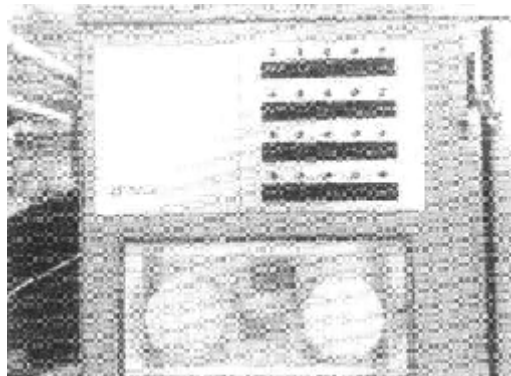
اکثریت ماشین‌های NC اولیه نیاز به نوار کاغذی برای کار داشتند. مهندسین کدهای NC برای کامپیوترهایشان می‌نوشتند سپس در روی نوارهای طویل کاغذی آن را سوراخ‌کاری می‌کردند. به دلیل اینکه سوراخ‌های به کد بودند لذا مشخص کردن برنامه قطعه مشکل بود که بعدها این مشکل با استفاده از نوار قابل خواندن به وسیله انسان حل گردید. کدهای قابل خواندن به وسیله انسان سوراخ‌های مخصوصی بودند (روش سوراخ‌کاری) که الگوی سوراخ عددی حروفی بودند که به وسیله اپراتور به آسانی قابل خواندن بود. این

سوراخ‌ها قبل از برنامه اصلی برای کار در نوار ایجاد می‌شد.



شکل ۴-۲- اولین ماشین NC قطعات یکسان تولید کرد.

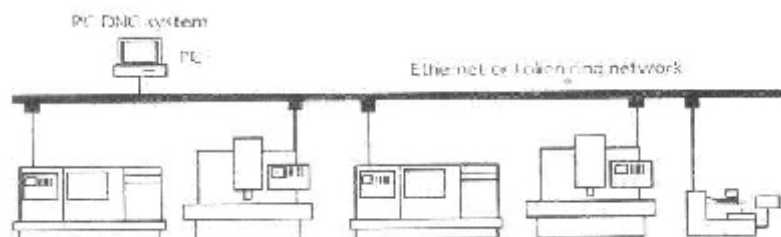
بعضی اوقات نوارها به قدری طولانی بودند که باید روی قرقره پیچیده می‌شدند و به کارگاه برده می‌شدند تا اپراتور دستگاه آن‌ها را به کنترل‌کننده برای اجرا وارد کند. این نوارهای سوراخ شده شامل کلیه اطلاعات مورد نیاز برای ماشین می‌شد. سپس ماشین ابزار دقیقاً این برنامه‌ها را برای چندین بار متوالی به اجرا درمی‌آورد (تولید یکسان قطعه) تحقیقات بیشتر باعث تولید و توسعه نسل جدیدی از ماشین‌های NC گردید. در پی معرفی کامپیوترهای کنترل عددی و سپس کامپیوتر برای هدایت و کنترل ماشین ابزار مورد استفاده قرار گرفت که باعث جرحذف نوارهای کاغذی و شکننده از ماشین ابزار گردید.



شکل ۵-۲- نوارخوان اولیه NC

کنترل عددی مستقیم و کنترل عددی توزیعی (DNC) ارتباط ماشین و کامپیوتر را از راه دور میسر ساخت. در سیستم کنترل عددی مستقیم، بلوک‌های دستورالعمل برنامه قطعه یا ماشین‌ابزار یا سرعتی که برای ماشین قابل قبول باشد مکالمه می‌نماید. این روش مکالمه بسیار متداول است به دلیل این که سیستم نوار کاغذی را حذف نموده و باعث افزایش طول برنامه ماشینکاری نیز شده است در سیستم کنترل عددی توزیعی، تمام یک خط ارتباطی مکالمه سریال RS232 انجام می‌پذیرد. این عمل با افزایش حافظه کنترل کننده CNC میسر شده است.

در ابتدای کار کنترل‌کننده‌ها توانایی ذخیره برنامه را نداشتند لذا برنامه روی نوار کاغذی ذخیره‌سازی می‌شد. بعدها کنترل‌کننده‌ها قادر به ذخیره مقدار محدودی از برنامه شدند. کنترل‌کننده‌های جدید قادرند که صدها برنامه را روی هاردیسک سیستم حافظه خود ذخیره نمایند.



شکل ۶-۲- طرح یک DNC پیشرفته

با استفاده روزافزون شبکه‌های کامپیوتری برنامه‌قطعه‌سازی را می‌توان روی کامپیوتر سرور مرکزی ذخیره نمود و هر ماشین CNC کارخانه با استفاده از شبکه کامپیوتری (قرارداد اینترنتی TCP/IP) می‌تواند از فواصل بسیار زیاد درخواست برنامه مشخص را برای CNC بنماید. این روش جدید می‌تواند مرکزیت طراحی و مهندسی خارج از کارگاه قرار دهد. این امکان نیز وجود دارد که برنامه ماشین ابزار CNC در مکانی به غیر از مکان خود CNC نگهداری شود که برنامه‌ریزی کاری نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

از سال ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۰ دانشگاه MIT سیستم برنامه‌ریزی به کمک کامپیوتر را به وجود آورد که به آن ابزار برنامه‌نویسی اتوماتیک (Automatic Programming Tool: APT) گفته می‌شود، توسعه داد. این زبان برنامه‌ریزی برای ساده کردن برنامه‌ریزی ماشین‌های سه محوره توسعه یافته است که اصولاً در صنایع هوا فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. APT از زبانی شبیه انگلیسی برای توضیح هندسه و حرکتهای ابزار و برنامه قطعه استفاده می‌کند.

```

%AMCNC 3764
MACHIN/3137
CUTTER/.375
FEEDRAT/5
SF = POINT/.25,.25,.5
P1 = POINT/0.0,0.0
P2 = POINT/.25,.25,-.125
P3 = POINT/.5,.25,-.125
L1 = LINE/P2, A1ANG1,G
C1 = CIRCLE/(1.25 +1.75),.375,.375
C2 = CIRCLE/1.750,1.950,.5
L2 = LINE/RIGHT, TANTO, C1, RIGHT, TANTO, C2
L3 = LINE/P1, LEFT, TANTO, C2
FROM/SP
GO/TO, P1
GO/TO, P2
G0GRT/L2, TANTO C1
G0GRT/L3, TANTO C2
GO/TO, SP
FINI
    
```

شکل ۷-۲- یک مثال از برنامه APT

بزرگترین فرمت ماشین‌های CNC مدرن آن است که برنامه‌نویسی را از دیارتان مهندسی به درون کارگاه کشانده است. کامپیوتر و واحد کنترل ماشین (MCU) در حال حاضر یک واحد می‌باشند که قادر به خلق برنامه، ذخیره‌سازی در حافظه و اجرا برنامه می‌باشد. این عمل همچنین باعث کاهش در نیاز به نوارهای کاغذی شده است به استثناء برنامه‌های خیلی بزرگ، اغلب برنامه‌های NC در حافظه خود ماشین نگهداری می‌شوند. (حافظه کامپیوتری کنترل‌کننده)

مرکز ماشینکاری، مجموعه‌ای از نیم‌دوجین ماشین ابزار قادر به انجام بسایری از عملیات‌ها شامل:

Tapping, Threading Counteboring, Spoting, Facing, Drilling, boring, Milling

در یک مجموعه است. از این گونه ماشین ابزارها اصولاً در تولیدات زیاد و یا متوسط استفاده می‌شوند و برای تولید یک مجموعه از قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در حال حاضر تکنولوژی خوب ماشین‌های CNC يك چیز پیش از پا افتاده محسوب می‌شود. بیش از ۸۵٪ از ماشین‌های ابزار توليدي در حال حاضر CNC می‌باشند. سیستم‌های ساخت زیادی به وجود آمده و بیشتر شرکت‌های مهندسی در سطح بالایی از ماشین‌های کامپیوتری شده استفاده می‌نمایند.

همکاری کامپیوتر و ماشین را می‌توان در هر سطحی در کارگاه‌ها مشاهده نمود که همراه با سیستم تولید به کمک کامپیوتر (CAM) همراه می‌باشد. شرکت‌هایی مشاهده می‌شوند که محل طراحی و مهندسی را در يك جا دارند و صدها سیستم ماشین‌افراز در مکانی دیگر برایشان به انجام کار مشغول می‌باشند.

تکنولوژی CNC دارای مزیت‌های زیر نسبت به تکنولوژی NC می‌باشد

۱- برنامه به ماشین وارد شده و در قسمت حافظه ذخیره می‌شود.

۲- برنامه را آسان‌تر می‌توان تصحیح نمود بنابراین برنامه‌ریزی برای قطعه و طراحی پردازش آن زمان کمتری می‌خواهد.

۳- قطعات با پیچیدگی‌های زیاد را می‌توان تولید نمود.

۴- شکل سه‌بعدی مدل در کامپویتر ذخیره شده که از آن می‌توان برای برنامه CNC به طور اتوماتیک استفاده نمود. بنابراین در زمان برنامه‌نویسی دستی (سنتی) صرفه‌جویی خواهد شد و

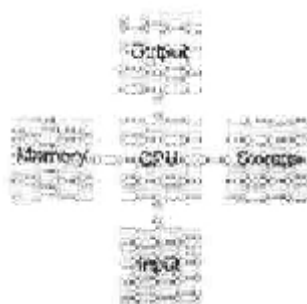
۵- کامپیوتر را می‌توان در جهان به دیگر کامپیوترها وصل نمود (به وسیله اتصال مستقیم مودم و یا از طریق شبکه) بنابراین به برنامه برای ساخت این اجازه داده می‌شود که مستقیماً از راه دور به دستگاه CNC منتقل گردد.

تکنولوژی CNC دارای معایب زیر می‌باشد

- ۱- CNC کمی گران است اما امروزه هیچ ماشین NC بدون این که CNC باشد به فروش نمی‌رسد.
- ۲- برای اپراتور دستگاه CNC آموزش بیشتری مورد نیاز است که بستگی به پیچیدگی نوع ماشین دارد همان گونه که در بعضی مواقع دستگاه CNC نیاز به آموزش کمتری داشته باشد. امروزه کنترل‌کننده‌های CNC بسیار سهل و آسان می‌باشند که این خود باعث کاهش زمان آموزش برای اپراتور می‌شود که بازگشت سرمایه را در کوتاه‌ترین مدت برمی‌گرداند.
- ۳- هزینه تعمیر و نگهداری احتمالا بیشتر است.

تکنولوژی میکرو کامپیوتر

کامپیوتر یک ماشین الکتریکی است که عملیات ریاضی و منطقی را بر طبق ساختاری از پیش تعیین شده اجرا می‌نماید. به کامپیوتر به تنهایی سخت‌افزار گفته می‌شود و برنامه‌ای که کامپیوتر را هدایت می‌کند، نرم‌افزار نامیده می‌شود.



شکل ۸-۲- نمای مؤلفه‌های اصلی که یک کامپیوتر را می‌سازند.

سه قسمت اصلی کامپیوتر به قرار زیر است:

۱- واحد پردازش مرکزی (CPU)

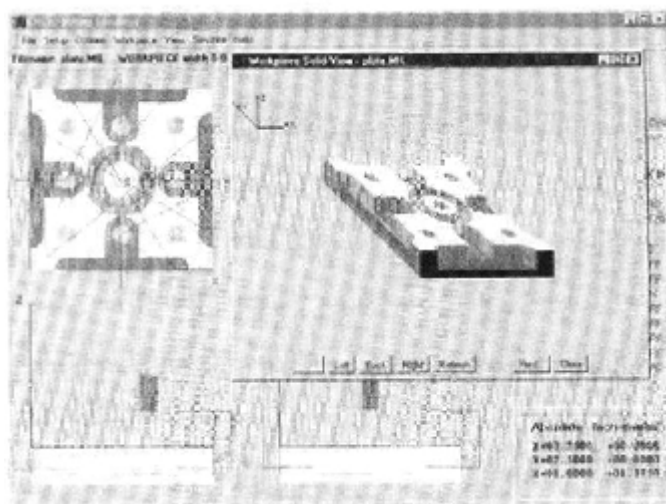
۲- حافظه

۳- قسمت ورودی/ خروجی.

CPU مراحل کنترل و فعالیت قطعات کامپیوتر را به عهده دارد و اعمال محاسباتی ریاضی و منطقی انجام می‌دهد. CPU را حافظه مورد استفاده قرار می‌دهد تا برای ذخیره‌سازی و بازیافت مجدد داده‌های ریاضی استفاده کند قسمت ورودی- خروجی سیگنال‌های ورودی و خروجی را تفسیر (از طریق CPU) می‌کند.

قطعات دیگری نظیر صفحه نمایش، چاپگر، پلاتر و اسکنر نیز همراه کامپیوتر می‌توان مورد استفاده قرار داد. استفاده از کامپیوتر در صنایع امروزه يك امر پیش پا افتاده محسوب می‌شود به کامپیوترهای کوچکتر و وسیع‌تر شخصی (PC) امروزه به صنایع و شرکتی ارائه می‌شود و برنامه‌های مختلف برای کامپیوتر در زمینه کنترل کارگاه و برنامه‌ریزی NC در بازار موجود می‌باشد.

اگرچه کامپیوتر باعث پیشرفت زیاد ماشین‌های NC گردید اما در حقیقت قوانینی جاری است که یکی از آنها که امروزه صادق است عبارت است از:
(برنامه بد) = (محصول خراب)



شکل ۹-۲- صفحات نمایش جسم Solid در نرم افزار CNCez که حاصل اجرای يك برنامه CNC است.

این روش یکی از راه‌های مفید تست حرکت ابزار قبل از اجرای برنامه است.

این یک قانون عمومی در صنعت است که در گذشته نسبت به امروز صادق‌تر بوده است. وقتی برای نوشتن برنامه NC از سیستم‌های قدیمی استفاده می‌شد، برنامه‌نویسی برای پیدا کردن خطای برنامه تنها باید آن را اجرا می‌کرد. اشتباه در برنامه ورودی باعث این می‌شود ماشین‌ابزار به خوبی عمل خود را انجام ندهد و یا این که اصلاً کار نکند. امروزه با کامپیوتر قوی‌تر و سریع‌تر همراه با نرم‌افزارهای مناسب نظیر چک برنامه CNCez و شبیه‌سازی برنامه نوشته به اپراتور این اجازه را می‌دهد بدون این که دستگاه را به کار گیرد برنامه خود را مورد تأیید قرار دهد بنابراین باعث کاهش زمان تولید و هزینه‌های آن خواهد شد و ماشین ابزار CNC نیز برای کار خود آزاد است تا برنامه دیگری را انجام دهد (قبل از برنامه جدید).

کاربردهای NC

از ابتدای کار با ماشین ابزار CN کاربردهای تکنولوژی متفاوتی وجود داشت از جمله فرزکاری، تراشکاری، قوس الکتریکی (EDM) دندانه زنی حتی با استفاده از لیزر برای برش پلاستی، سوراخکاری، شکل دهی، خمش، شبکه، بازرسی و ربایک مورد استفاده قرار گرفته است.

گرچه صنایع هوا و فضا از جمله صنایعی هستند که به طور وسیعی از تکنولوژیکی CNC استفاده می‌کنند اما دیگر صنایع نیز بخوبی از آن بهره می‌برند. به دلیل افزایش مداوم در کامپیوترها پیشرفت این صنعت هزینه تکنولوژی CN بسرعت کاهش یافته است و

امروزه صنایع کوچک هم از این تکنولوژی استفاده می‌کنند.

امروزه محصولات CN را در هر زمینه می‌توان پیدا کرد که محدوده آن از کار روی فلزات، ماشین سازی و حتی الکترونیک از کاربردهای NC می‌باشد. کاربردهای نظیر جواهرسازی، کنده کاری و مبلمان سازی نیز از این تکنولوژی استفاده می‌کنند.

فرز کاری

فرزکاری عملی است که یک ابزار دوار مواد اضافی را از قطعه کار جدا می‌سازد. کنترل حرکت محورهای یگانه و یا چندگانه می‌تواند الگوهای دو بعدی و یا شکلهای پیچیده سه بعدی را به وجود آورد.

تراشکاری

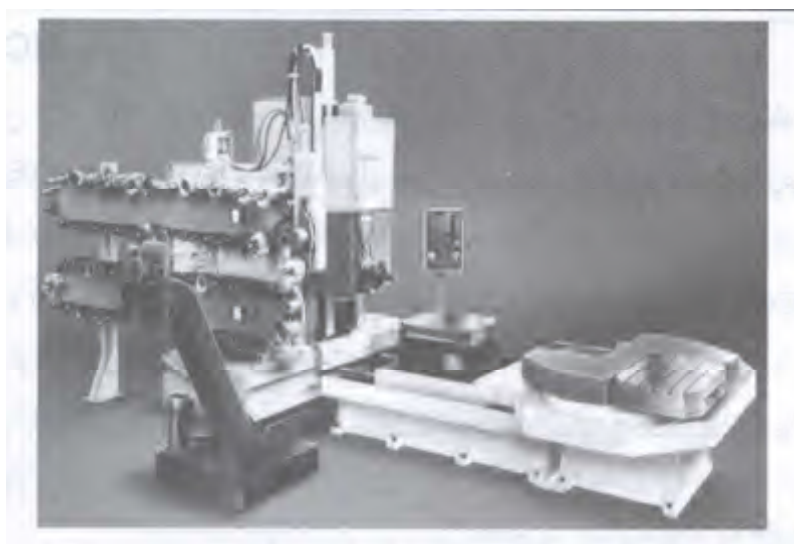
Turning عملی است که تیغ برنده عمود به دوران قطعه کار حرکت می‌کند. شکل قطعه کار بستگی به شکل تیغه و نوع عملکرد دارد تا قطعه نهایی به دست آید.

وایرکات (Wire EDM)

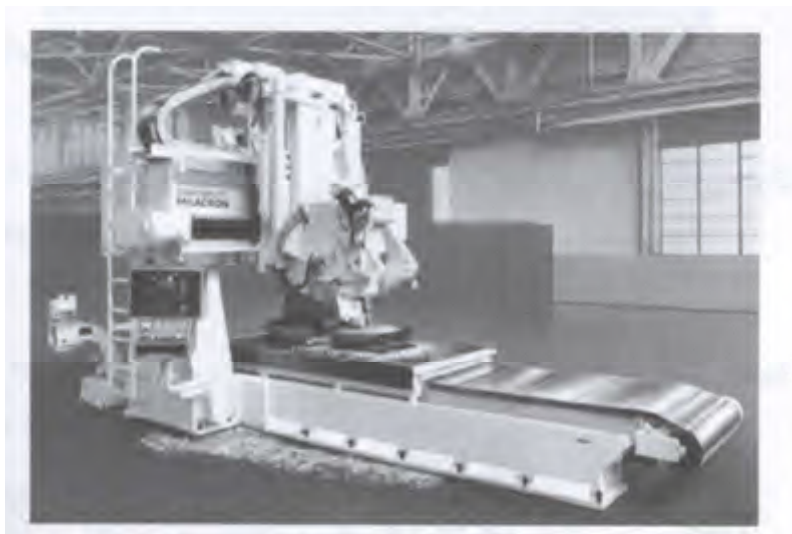
ماشین قوس الکتریکی از نیروی الکتریک در یک سیم باریک استفاده می‌کند تا برشهای ظریف در مواد ایجاد کند اغلب ماشینهای EDM از دو صفحه موازی استفاده می‌کنند که هر نقطه برش مجزا از یکدیگر می‌تواند حرکت کند. این عمل برای تولید قطعات که دارای تغییر زاویه می‌باشند مناسب است (تغییر زاویه در یک جهت) و می‌توان از آن برای قالبهای بش و یا استمپ (Stamp) استفاده نمود.



شکل ۲-۱۰- ماشین CNC با چرخش حول محور A (چهار محوره)



شکل ۲-۱۱- ماشین پنج محوره سنسیناتی میلاکرون
با تعویض کننده اتوماتیک میز کار و نوار انتقال براده



شکل ۱۲-۲- ماشین عمود سنسیناتی میلکرون دروازه ای



شکل ۱۳-۲- ماشین تراش سنسیناتی میلکرون

لیزر، شعله و پلاسما (Laser, Flame and Plasma)

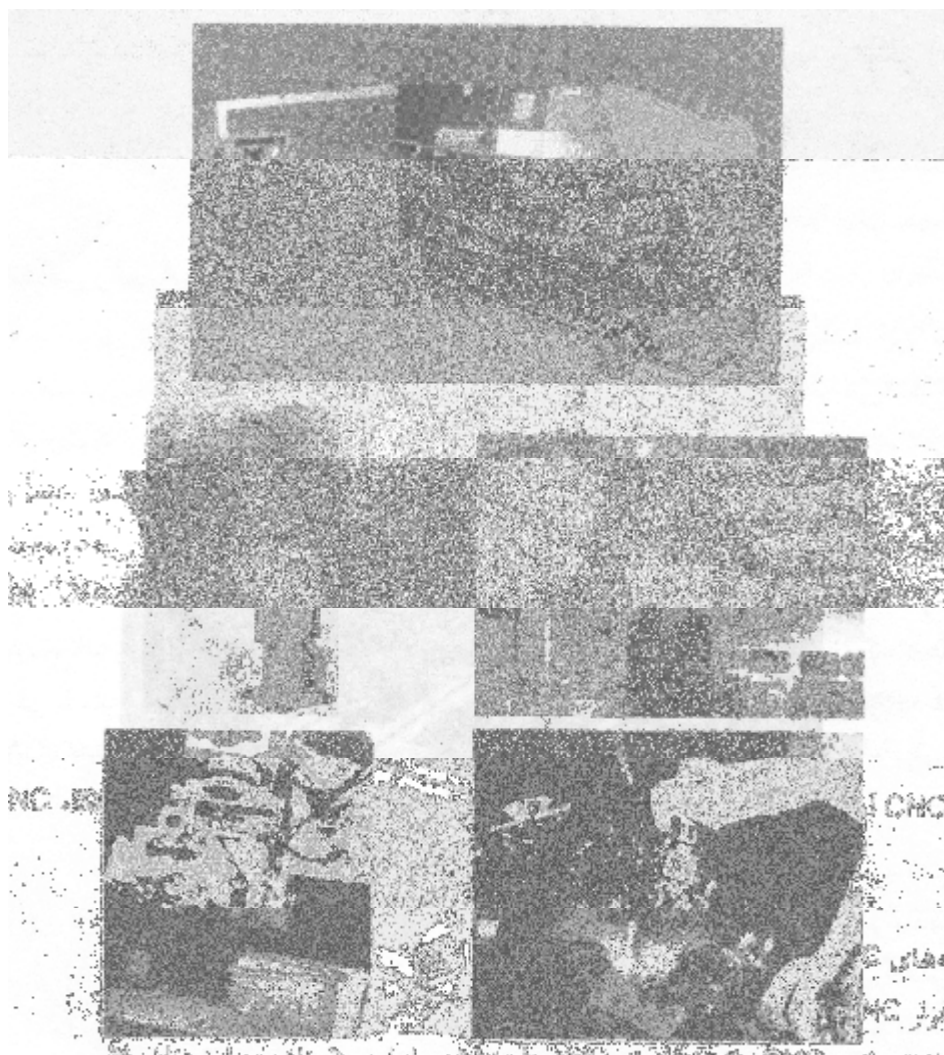
این دستگاه (برش لیزر، شعله و پلاسما) از یک رشته قوی نور، شعله متحدالمرکز یا قوس پلاسما استفاده می‌کند تا از مواد قسمت اضافی را بردارد. هر کاربردی بستگی به ضخامت مواد مورد استفاده برای قطعه دارد.

سوراخ کردن و دنده زدن (Punching and Nibbling)

از سوراخ کردن و دنده زدن برای بریدن الگو نهایی در صفحه (ورق) مواد با استفاده از قالبهای سوراخکاری می‌توان استفاده نمود تکرار عمل سوراخ کردن (بریدن) در امتداد یک مسیر تأثیر دنده‌زنی را دارد که می‌تواند شکلهای پیچیده که در غیر این صورت مشکل باشد به دست آورد. شکل دهی ... از کاربردهای ماشین پانچ CNC می‌باشد.

روبات و CNC

استفاده وسیع از CNC در تولید و ساخت مناسب و ایده‌آل است که در صنعت از روبات برای انجام کارهای تکراری نیز استفاده شود. این اعمال تکراری ممکن است که شامل جا به جایی قطعات بزرگ و سنگین و یا خطرناک نیز می‌شود. یک مرکز پیشرفته ماشین افزارهای CNC می‌تواند تغییر دهنده‌های پلت و رباتهای صنعتی را نیز در برگیرد.



شکل ۱۴-۲

استانداردهای کنترل‌کننده‌ها

برای درک کردن CNC ابتدا باید تفاوت‌ها و شباهت‌های کنترل‌کننده‌های موجود در بازار را درک کرد. علاوه بر اختلاف در کنترل‌کننده‌ها بر مبنای گوناگونی ماشین‌افزارها و کاربرد آن‌ها، اختلافات دیگری در ارتباط با تولیدکنندگان و استانداردها وجود دارد که باید آن‌ها رعایت شود و بستگی مستقیم به چگونگی رعایت کردن آن‌ها دارد.



شکل ۱۵-۲- کارخانه تولید فانوک، سلولي با چندین روبات و ماشین‌های CNC

کنترل‌کننده‌های CNC

ماشین‌های افزار CNC دارای سه قسمت اصلی و اساسی می‌باشند:

۱- ماشین افزار که می‌تواند یکی از انواع مختلف آن باشد.

۲- موتور و مکانیزم برگشت تغذیه که بسیار مهم می‌باشد به دلیل این که آن‌ها ارتباط بین ماشین‌افزار و کنترل‌کننده می‌باشند. بنابراین نوع، اندازه و کیفیت آن‌ها از نکات مهمی است که برای کاربردهای متفاوت باید مورد توجه قرار گیرد.

۳- قلب اصلی ماشین‌افزار CNC کنترل‌کننده یا واحد کنترل ماشین (MCU).

استانداردهای EIA, ISO

سازمان بین المللی استانداردگذاری (ISO) و مؤسسه صنعتی الکترونیک (EIA) دو استاندارد تقریباً شبیه به وجود آورده‌اند که معمولاً در دنیا از آن‌ها استفاده

می‌شود EIA RS274, ISO6983 بعضی کشورها ممکن است که استاندارد مخصوص به خود داشته باشند اما اغلب از این دو استاندارد استفاده می‌کنند. استاندارد اصلی برای NC دستورالعمل‌های ساده می‌باشد که ماشین را قادر به انجام کار به خصوصی می‌کند. به طور مثال خطوط کد زیرین یک ماشین‌افزار CNC را مجبور به اجرا کردن خط و یا بلوک شماره ۱۰۰ می‌نماید که ابزار نسبت به نقطه مرکز برش انجام می‌دهد که نرخ برش آن 620in/min در امتداد محور 1.25X اینچ و در امتداد محور 1.75y اینچ برش دهد.

N95 G90 G20

N100 G01 X1.25 Y1.75 F20.0

مکالماتی (غیراستاندارد)

کنترل‌کننده مکالماتی نیز وجود دارد که جایگزینی برای کنترل‌کننده‌های معمول می‌باشد. این کنترل‌کننده‌ها معمولاً از استانداردی تبعیت نمی‌کنند و فرض بر این است که استفاده از آن‌ها ساده‌تر می‌باشد. اپراتور نیازی ندارد که بداند چگونه برنامه‌ریزی کند بلکه تنها با خواندن دستورالعمل‌ها بر روی صفحه نمایش و اجرا آن می‌تواند کار را انجام دهد. معمولاً ماشین‌های ساده‌ای که قطعات ساده‌ای را تولید می‌کنند از این طریق کار می‌کنند و ماشین‌های پیچیده‌ای که قطعات پیچیده تولید می‌کنند از این برنامه استفاده نمی‌کنند. بنابراین بعضی ماشین‌افزارهای CNC ممکن است که دارای هر دو نوع برنامه‌ریزی باشد هم استاندارد ISO/EIA را داشته باشند و هم از روش برنامه‌ریزی مکالماتی استفاده نمایند. علاوه بر نداشتن استاندارد در کنترل‌کننده‌های مکالماتی مشکل ارتباطی با سیستم‌های CAD/CAM نیز دارند. معمولاً یک ماشین ساده که نیازی به برنامه ندارد از طریق سیستم CAD/CAM قطعات

بسیاری ساده‌ای می‌تواند تولید نماید و اینگونه ماشین‌های ساده برای سیستم‌های کنترل‌کننده مکالماتی جایگزین خوبی می‌باشند.

همان طوری که شما بیشتر وارد صنعت CNC شوید، خواهید دید چنین تولیدکننده اصلی کنترل‌کننده‌ها وجود دارند این کنترل‌کنندگان عبارتند از فانوک، جنرال الکتریک، میتسوبیشی، یاستاک و بندیکس هستند اگرچه بعضی از سازندگان CNC نظیر سینسیناتی میلاکورن، گیدینگر و لوئیس و پریچ پرت ممکن است که از سیستم‌های کنترل‌کننده مخصوص ماشین‌افزار خود استفاده کنند (حق مالکیت آن را دارند). معمولاً اغلب این شرکت‌ها استاندارد برنامه ریزی ISO/EIA را دنبال می‌کنند لذا برنامه‌هایشان کاملاً قابل حمل و انتقال می‌باشد.

فرآیند تولید CNC

در اصل فرآیند ساخت CNC شبیه روش‌های تولید معمول می‌باشد. معمولاً نقشه ساخت هب وسیله مهندس طراحی کشیده می‌شود و سپس به تکنسین داده می‌شود. تکنسین نقشه را خوانده و مسیر ابزار را معین می‌نماید و بقیه عوامل را نظیر سرعت براده‌برداری، سرعت تغذیه، زمان ماشینکاری و امثال این را نیز تعیین می‌نماید. در برنامه نویسی CNC تکنسین برنامه نویس مسئول اصلی برای عملکرد ماشین می‌باشد. اگرچه که کنترل بر دستگاه دیگر به صورت دستی نمی‌باشد (محورها را با چرخ دستی بگردانند) و به وسیله کنترل‌کننده صورت می‌پذیرد.

این درست نیست که گفته شود که اغلب تکنسین‌ها برنامه نویس کامپیوتر هستند. ماشین‌های CNC اوله نیازمند وارد کردن کدهای ورودی M,G به صورت دستی

بودند اما امروزه متخصص کامپیوتر برای این کار مورد نیاز نمی‌باشد.

جریان فرآیند ساخت با CNC

- ۱- ایجاد نقشه ساخت قطعه
- ۲- تصمیم‌گیری برای این که کدام ماشین ساخت قطعه را انجام دهد.
- ۳- تصمیم‌گیری روی مراحل کار ماشین و تصمیم‌گیری برای مسیر حرکت تیغه.
- ۴- انتخاب ابزار مورد نیاز
- ۵- انجام محاسبات ریاضی مورد نیاز برای مختصات برنامه
- ۶- محاسبه سرعت گرداننده و نرخ برش مورد نیاز برای ابزار و مواد قطعه
- ۷- نوشتن برنامه CNC
- ۸- آماده‌سازی و لیست ابزار (این مرحله برای ساخت نیز اجرا می‌شود)
- ۹- تأیید و تصحیح برنامه یا استفاده از ماشین شبیه ساز مجازی نظیر CNC و یا ماشین‌ابزار واقعی، ایجاد نمونه اولیه.
- ۱۰- تأیید و تصحیح برنامه روی ماشین‌افزار و تغییرات ضروری مورد نیاز
- ۱۱- اجرای برنامه و تولید قطعه نهایی

جریان فرآیند ساخت با CNC با کمک کامپیوتر

- ۱- ایجاد مدل هندسی سه‌بعدی قطعه با کمک CAD.
- ۲- تصمیم‌گیری که کدام ماشین قطعه را تولید و مسیر حرکت تیغه چگونه باشد (بعضی اوقات با کمک کامپیوتر و یا از روی نقشه)

- ۳- انتخاب ابزار مورد نیاز (بعضی اوقات با کمک کامپیوتر)
- ۴- اجرا کردن برنامه نرم‌افزاری CAM برای ایجاد برنامه تولید قطعه که شامل اوراق تنظیم و ابزار نیز می‌شود.
- ۵- تصحیح و تأیید برنامه با استفاده از ماشین مجازی شبیه‌ساز نظیر CNCez.
- ۶- خوراندن برنامه به ماشین مورد نظر برای کار از طریق شبکه کامپیوتری و ساختن نمونه اولیه (بعضی اوقات چندین ماشین برای ساخت يك قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد)
- ۷- تأیید برنامه روی ماشین حقیقی و تصحیح برنامه در صورت نیاز
- ۸- اجرای برنامه و تولید قطعه، اگر در محیط تولید باشد، تولید قطعه شروع می‌شود.

کنترل مرغوبیت

همین که اپراتور از ماشین‌افزار CNC و کنترل‌کننده آن استفاده می‌کند معلوم می‌شود که چه ابزاری و چه روش ساختی بهترین روش می‌باشد. این گونه اطلاعات باید مکتوب شوند و گه‌گاهی این اطلاعات مرور شوند و در مراحل برنامه‌نویسی قطعه برای ماشین خاص مورد استفاده قرار گیرند. این يك عمل تکراری است که به بهبود مداوم نیازمند است. انجام این اعمال باعث افزایش راندمان برنامه‌نویسی شده و نیز مشکل زمان اجرا نیز کاهش می‌یابد.

فصل سوم: بررسی ساختمان مکانیکی ماشین‌های CNC

تفاوت‌های طراحی ماشین‌های کنترل عددی با ماشین‌های سنتی

تفاوت‌های بسیاری در طراحی ماشین‌های کنترل عددی نسبت به ماشین‌های سنتی وجود دارد، ماشین‌های سنتی از نظر قدمت، سادگی، ثابت بودن شکل و مشخصات با ماشین‌های CNC تفاوت دارند که این عوامل موجب گردیده است تا ماشین‌های سنتی ارزانتر از ماشین‌های CNC مشابه باشند، دقت و کیفیت قطعات بستگی به مهارت ماشین کار دارد، هرچه مهارت ماشین کار بیشتر باشد کیفیت و دقت قطعه تولید بیشتر خواهد بود بنابراین مهارت ماشین کار نقص طراحی ماشین را جبران می‌کند همچنین این وابستگی به مهارت ماشین کار، کیفیت و دقت کالاها را غیر قابل اعتماد می‌سازد، اما قیمت تمام شده قطعه با این دستگاه‌ها ارزانتر و معقولتر است با افزایش قابل توجه نرخ کار، دقیق و پیچیده شدن قطعات، دیگر ماشین‌های سنتی قابل اعتماد نیستند بنابراین انگیزه رشد و توسعه ماشین‌ها هر روز بیشتر می‌گردد. با حذف مهارت ماشین کار و سپردن این عمل به ماشین حداکثر محصول تولید شده در ساعت نیز رشد یافته است.

مدت زمان تولید قطعه و زمانهای تلف شده در تولید به شدت کاهش یافته است، زمان تولید قطعه با ماشینهای سنتی بسیار بیشتر از زمان تولید آن قطعه با ماشینهای CNC است همچنین ماشینهای سنتی برای یک شیف‌ت هشت ساعته طراحی شده‌اند و استفاده از آنها در چند شیف‌ت تا حدی با مشکل مواجه خواهد شد بنابراین تردید در قابلیت اعتماد و دقت ماشینهای سنتی بیشتر شده است. ماشینهای کنترل عددی برای عملیات متناوب بیش از ۲۰ ساعت طراحی شده است.

کیفیت، دقت، پیچیدگی و سنگینی کار موجب گردیده تا در طراحی ماشینهای سنتی تغییراتی بوجود آمده و از نو ساخته شوند ابزارهای برشی با سرعت‌های بالا قادر به براده برداری می‌باشد، زمان تولید با بالا رفتن سرعت برش و پیشروی ابزار و میله پیچ بری به حداقل رسیده است افزایش دامنه تغییرات سرعتها و پیشرویهای دخواه باعث اصلاح ابزارهای برشی و ماشینکاریهای متناوب را موجب گردیده است.

نیروهای مختلف از چندین جهت بر روی ماشینها اثر گذاشته که قبلاً تحت اثر چنین نیروهایی قرار نگرفته‌اند. پیشرفت در موارد و ابزار لازمه اش وسایل و امکاناتی است که بتواند نیروهای جلو برنده و با فشار زیاد و استحکام بالا را تحمل کنند، ساختار ابزارهای برشی در حالی که مقاومت زیادی در برابر استهلاک و سایش دارند بسیار سخت و در عین حال شکننده نیز می‌باشند، بنابراین لازم است منابع قدرتمند ارتعاشی و پس زنی یا لقی در دستگاهها پیش بینی و هنگام طراحی حذف شوند.

در ساختارهای بسیار پیچیده ماشینها، یاتاقانهای دقیق و ضد اصطکاک با کیفیت بسیار دقیق اجزای خود خصوصیات مطلوبی را بوجود آورده‌اند. با استفاده از

سیستم‌های اتوماتیک بیشترین عمق براده برداری حاصل می‌شود که ماشین‌های سنتی با این نسبت براده برداری و با چنین سرعتی قادر به زدودن مواد نیستند، به همین دلیل ضرورت داشتن درپوش‌های محافظ در ماشین‌های CNC به ماشین‌های سنتی بیشتر احساس می‌گردد.

عملیات توسط سیستم کنترل هدایت گردیده و به کنترل دستی نیاز ندارد بنابراین ماشین‌های سنتی با این وسعت نمی‌توانند عمل کنند. با ماشین‌های چند منظوره مدرن عملیات مختلف را میتوان روی یک ماشین اجرا کرد: مانند: فرز، درل، پیچ و قلاویز زنی و غیره. یعنی در هر سطح قطعه میتوان عملیات مختلف براده برداری در یکبار تنظیم قطعه انجام داد.

طراحی ماشین‌های CNC

همه ماشین‌های CNC با سه هدف زیر طراحی و ساخته می‌شوند:

الف - دستیابی به دقت‌های مورد انتظار و حفظ آن دقت‌ها.

ب - دستیابی به قابلیت تکرار تلرانسها و دقت‌های مورد نیاز در قطعات.

ج - قابلیت اعتماد و اطمینان.

باید دانست که دستیابی به حداقل زمان برای تولید قطعات با کفایت ثابت و یکنواخت از مهمترین خصوصیات این ماشین‌ها می‌باشند. ساختمان این ماشین‌ها از ۴ قسمت زیر تشکیل شده‌اند:

الف- مشخصات ساختمانی ماشین

ب- مشخصات مکانیکی ماشین

ج- امکانات سیستم کنترل

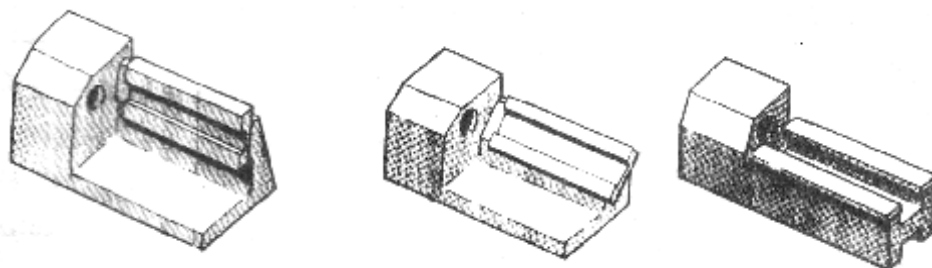
د- وسایل اضافی و کمکی

مهمترین عامل در طراحی این ماشین‌ها بررسی و محاسبات اقتصادی در ساخت دستگاه و در تولید قطعه

توسط دستگاه می‌باشد و عامل اقتصادی می‌تواند در بهبود طراحی ماشین تاثیر گذارد. بنا بر يك ضرب المثل قدیمی: همان قدر که پول داده‌ای آش می‌خوری؟ سرمایه گذاری روی این ماشینها می‌تواند گستره وسیعی از تنوع این ماشینها را پدید آورد.

ساختار ماشین

شکل فیزیکی: دقت در طراحی ساختار ماشینها، روی شکل فیزیکی ماشین تاثیر خواهد داشت همچنین کاربرد ماشین نیز در شکل آن موثر می‌باشد برای مثال: شکل ظاهری يك ماشین افقی با شکل ظاهری يك ماشین عمودی متفاوت است، و حتی هر مدل ماشین با مدل دیگر ممکن است تفاوت‌هایی داشته باشد، قسمت‌های مختلف ماشین نیز از دقت خاصی در طراحی بهره می‌گیرند.

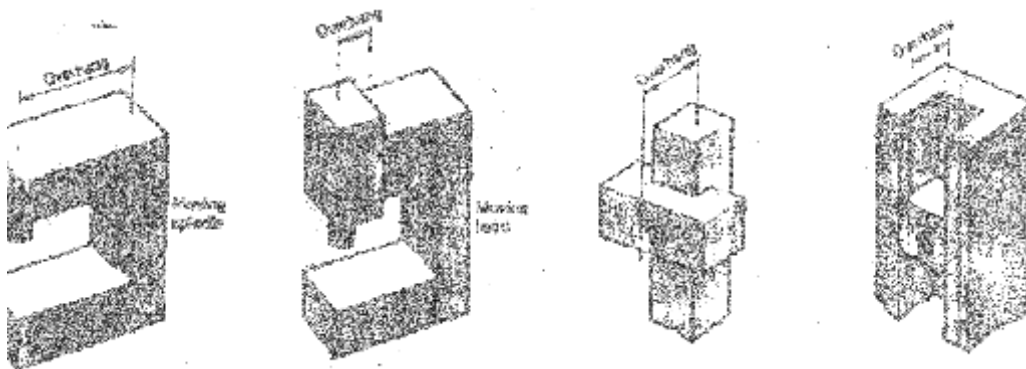


شکل ۱-۳
الف- بستر افقی
ب- بستر شیبدار
ج-

مثلاً دقت در طراحی بستر ماشین با دقت در طراحی جعبه دنده‌ها یا درپوش‌ها تفاوت دارد، هر قسمت از دستگاه بسته به کاربرد آن قسمت ممکن است انعکاسات دینامیکی و استاتیکی خاصی داشته باشند و نیز این تاثیر در نقاط مختلف نیز افزایش یا کاهش خواهد داشت، وزن سوپرتها، میزها و بستر ماشین نیز نادر دینامیکی و استاتیکی خاص خود را داشته که همواره باید در طراحی در نظر گرفته شود، بعنوان نمونه در

شکل زیر سه مدل از سازه بدنه ماشین‌های تراش نشان داده شده است:

شکل (الف)- در این مدل انتقال نیروهای وارده، از سوپرتها و ابزار گیر، به پایه‌ها به سهولت انجام می‌گیرد. در شکل (ب) و (ج) براده‌ها بر راحتی از محل دور میشوند و همچنین باز و بسته کردن قطعه کار و ابزار به سهولت انجام می‌گیرد دقت در طراحی بدنه ماشین در استحکام ماشین موثر خواهد بود. در شکلهای زیر محور در دو حالت افقی و عمودی نشان داده شده است، نوسان و پیچش محور را بررسی کنید، شکل (ب) هر دو حالت ترجیح داده می‌شود.



شکل ۲-۳

طراحی بدنه ماشین: بدنه ماشینها مشخص کننده شکل ظاهری آنها میباشد، پایه ها، بستر و راهنماهای ماشینها ی صنعتی از چدن خاکستری با روش ریخته گری که ساده و ارزان میباشد تولید می‌گردد. وجود گرافیت در چدن باعث میشود که همیشه لایه نازکی از روغن روی بستر و راهنماها وجود داشته و زنگ زدگی را کاهش میدهد پایه‌ها و بدنه ماشینهای کنترل عددی نیز هنوز از چدن، ریخته گری میشود و جهت بهبود کیفیت آن از فلزات آلیاژی چون کرم و نیکل در ساخت آنها استفاده می‌شود.

پایه باید از استحکام فوق العاده ای برخوردار باشد، بهبود کیفیت راهنماها، سرسره‌ها و محورها از مشخصات ویژه این ماشینهای مدرن می‌باشد. راهنماها تاثیر نیروهای پیچشی را خنثی کرده و نیروهای برش را بخوبی تحمل می‌نماید ساختارهای جوشکاری شده نیز در ماشینها مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند اسکلت جعبه ای دستگاهها که از استحکام مطلوبی برخوردار است و انعطاف و یدک پذیر نیز می‌باشد تناسب و قابلیت انعطاف قابل توجه نیز در ابرژزارهای کمکی ماشین موجود است. از طراحیهای مناسب نیز مقاومت افزایش یافته فولاد و قابلیت انعطاف از کار درآمده ساختمانی، آن می‌باشد که اسکلت فولادی به راحتی ساختار را نگهداری می‌کند. سازه‌های جعبه ای جوشکاری شده به دلیل افزایش تقارن، تعادل و انعطاف قابل ملاحظه در نگهداری اجزا توصیه می‌شود زیرا سازه‌های جعبه ای به علت مقاوم بیشتر فولاد و انعطاف در طراحی، با استفاده از قطعات نیم ساخته، مانند ورقها، نبشی و ... سبب سبکی وزن ساختار می‌گردند.

پایه‌ها از صلبیت کافی باید برخوردار باشند و برای دست یابی به دقت بیشتر راهنماها سخت کاری و شابر زده می‌شوند زیرا باقیماندن روغن روی راهنماها باعث کاهش اصطکاک می‌گردد. در جاهایی که از یاتاقانهای خطی استفاده می‌شود میتوان از پوششهای پلی تترا فلئور اتیلن PTFE (Poly Fluore Ethilene) استفاده کرد. در بسیاری از حالات برای کاهش اصطکاک و سایش از سیستمهای روغن کاری پیوسته و تحت فشار بهره می‌گیرند. یکی از معایب طراحی در ساختمان ماشینهای ابزار وجود حرارت و گرما می‌باشد که موجب اعوجاج‌های

حرارتي ميگردد. حرارت از منابع مختلفي از داخل و خارج ماشين ميتواند بوجود آيد. منابع گرمائي در داخل ماشين شمال: جعبه دنده ها، موتورها، ياتاقانها، تبديل كننده‌هاي انرژي، عوامل انتقال دهنده حركت، اصطكاك، براده و خود عمل براده برداري مي‌باشد. گرمائي خورشيد كه از پنجره‌هاي كارگاه ممكن است روي دستگاه بتابد از منابع خارجي گرمائي محسوب ميگردد كه به سادگي مي‌توان از ابتدا دستگاه را در جايي نصب نمود كه گرمائي خورشيد روي آن تاثير نگذارد و يا به كمك تهويه درجه حرارت كارگاه را ثابت نگه داشت. اين منابع حرارتي مي‌توانند موجب اعوجاج ساختماني ماشين گردند بنابراين طراحي صحيح سازه در کاهش درجه حرارت درون دستگاه تاثير بسزايي خواهد داشت.

متناسب بودن ساختار ماشين در تقسيم حرارت و کاهش آن موثر خواهد بود انتخاب صحيح محل موتورها، جعبه دنده‌ها و ديگر منابع گرمائي و فاصلح صحيح آنها از يكدیگر باعث کاهش حرارت گرديده و انتقال حرارت به قسمتهاي مختلف را به حداقل ميرساند و بدون اينكه حرارت روي سازه اثر گذارد از بين خواهد رفت ضمناً مي‌توان به وسيله خنك كاري و استفاده از سيستمهاي خنك كننده درجه حرارت را کاهش داد. همچنين ايشنها ميگردد هر روز قبل شروع توليد و يا در ابتداي هر شيفت ماشين را روشن كرده تا گرم شود زيرا بدین صورت درجه حرارت دروني ماشين درهمه قسمتها به نسبت تقريباً ثابتي خواهد رسيد و اين بهترين راه از بين بردن تاثير حرارت مي‌باشد كه موجب افزايش عمر ماشين ميگردد.

ساختار مكانيكي

انتقال حركت از محرك‌ها جهت چرخش محور و جابجايي ميزها داراي حداقل دقت مي‌باشد، حركت از موتورها

تا محور و میز از مراحل مختلفی می‌گذرد که هر چه این مراحل کمتر باشد دقت انتقال بیشتر می‌باشد.

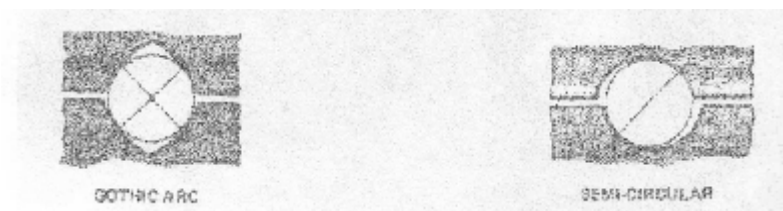
جعبه دنده / چرخ تسمه: معایب جعبه دنده‌ها شامل پس زنی یا لقی و اصطکاک ناشی از زاویه فشار چرخ دنده هاست. برای رفع این معایب از جعبه دنده‌های با نسبت ساده استفاده می‌شود زیرا در این جعبه دنده‌ها در هر لحظه فقط دو دنده درگیر می‌باشد بنابراین لقی به نسبت دندانه‌های درگیر افزایش خواهد داشت و در مواردی که انتقال حرکت بوسیله تسمه صورت می‌گیرد استفاده از تسمه‌های دندانه دار مطلوبتر است و امکان سر خوردن تسمه از بین خواهد رفت. همچنین استفاده از تسمه در حالت عمودی مناسب نیست زیرا ارتعاشات ماشین به آن منتقل می‌شود و نیز در انتقال قدرتهای زیاد از تسمه نباید استفاده کرد چون تسمه‌ها حالت ارتجاعی دارند.

مراحل انتقال حرکت: تقریباً ۹۰٪ از ماشینها جهت انتقال حرکت از پیچ راهنما استفاده می‌کنند اما استفاده از این پیچها در ماشینهای CNC مناسب نیست زیرا اصطکاک زیاد و راندمان کمی دارند، سایدگی و لقی دارند از آنها در سرعتهای کم استفاده می‌شود، دقت کمی دارند و قابلیت تکرار کافی جهت تقاضاهای CNC ندارند بنابراین از این مکانیزم در ماشینهای CNC استفاده نمی‌شود و بجای آن پیچ راهنما با مهره‌های ساچمه‌ای بکار گرفته شده است.

غلطکهای استوانه‌ای اصطکاک‌ی جایگزین مناسبی برای راهنماهای اصطکاک‌ی گردیده است. اگر چه بجای یاتاقانهای برنزی سطح نیز از ساچمه‌های دورانی ضد اصطکاک استفاده شده است. هر دو پیچ راهنما و مهره با دقت با یکدیگر درگیر شده، طوری که ساچمه‌ها اجازه چرخش و دوران دارند و سطح تماس بسیار کمی با اطراف

دارند. شیارهایی که این ساچمه‌ها درون آنها قرار می‌گیرند از نظر شکل هندسی، بصورت نیم‌دایره یا قوسه‌ای که در يك نقطه مشترك هستند می‌باشند و به اندازه کافی ساچمه در داخل شیار جای گرفته است، این مجموعه که شامل: قاب ساچمه، ساچمه و پیچ می‌باشد مجموعه پیچ و مهره را تشکیل می‌دهند.

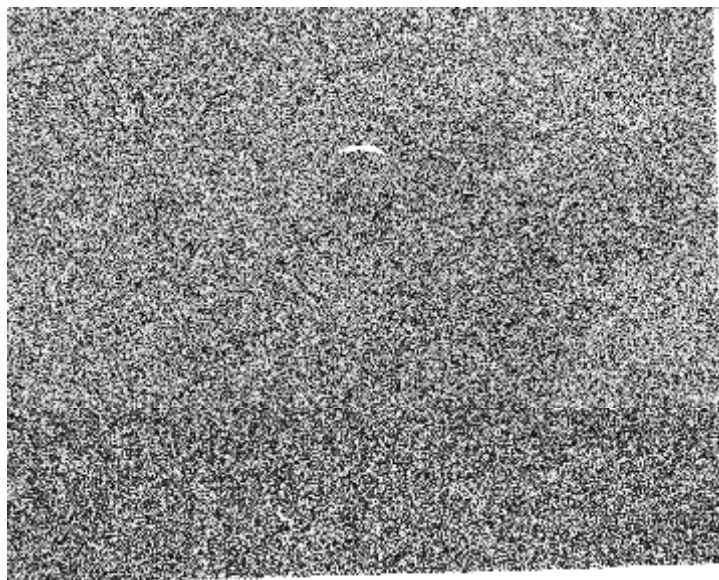
ساچمه‌ها در داخل شیار قرار گرفته و پیوسته در حال چرخش می‌باشند بدون اینکه خود یا شیارها را خراش بدهند. پیچ راهنما نیز با دقت جاسازی و یاتاقان بندي شکه، که یاتاقان مجبوی وزن پیچ را نیز تحمل می‌نمایند. جهت افزایش دقت پیچ تراشی و حذف لقی پیچ و مهره هنگامی که دورها عکس می‌شوند از دو مهره ساچمه ای استفاده شده است که در هر حالت یکی از آنها با پیچ درگیر می‌باشند و این موجب دوام بیشتر مهره‌ها در مقابل نیروی گشتاوری پیچ خواهد بود و هم اینکه لقی پیچ و مهره گرفته خواهد شد. در شکل‌های زیر شیارهای نیم‌دایره و قوسه‌ای تیز نشان داده شده است که شیارها با قوسه‌ای تیز بعلاحدادن سطح تماس نسبت به شیارهای نیم‌دایره ای برتری دارند.



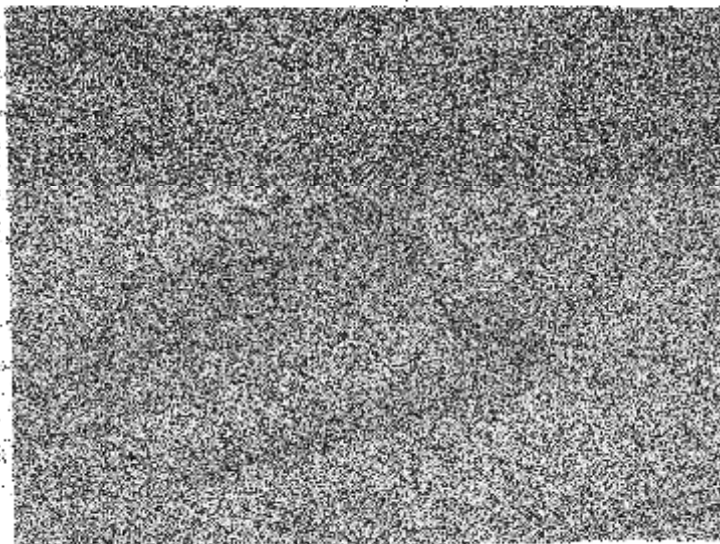
شکل ۳-۳

برای اطمینان از دقت مختصات ماشین‌های CNC و روبات‌های صنعتی، از پیچ راهنما با غلطک‌های ستاره ای میتوان استفاده کرد. در این پیچ‌ها از غلطک‌های رزوه شده بسیار دقیق که پیچ راهنما با آنها درگیر میشود، بهره گرفته شده است، غلطک‌ها شبیه يك جعبه دنده ستاره ای در اطراف پشیچ می‌چرخند و مجموعاً يك

پیچ و مهره را تشکیل می‌دهند، در انتهای غلطکها دندانه‌هایی موجود بوده که با دندانه‌هایی داخلی رینگ داخل مجموعه درگیر میشوند و از حرکت محوری غلطکها ممانعت کرده و فقط اجزای حرکت خطی به مجموعه میدهد.



شکل ۳-۴ الف - پیچ راننده و مجموعه‌های داخلی پیچ

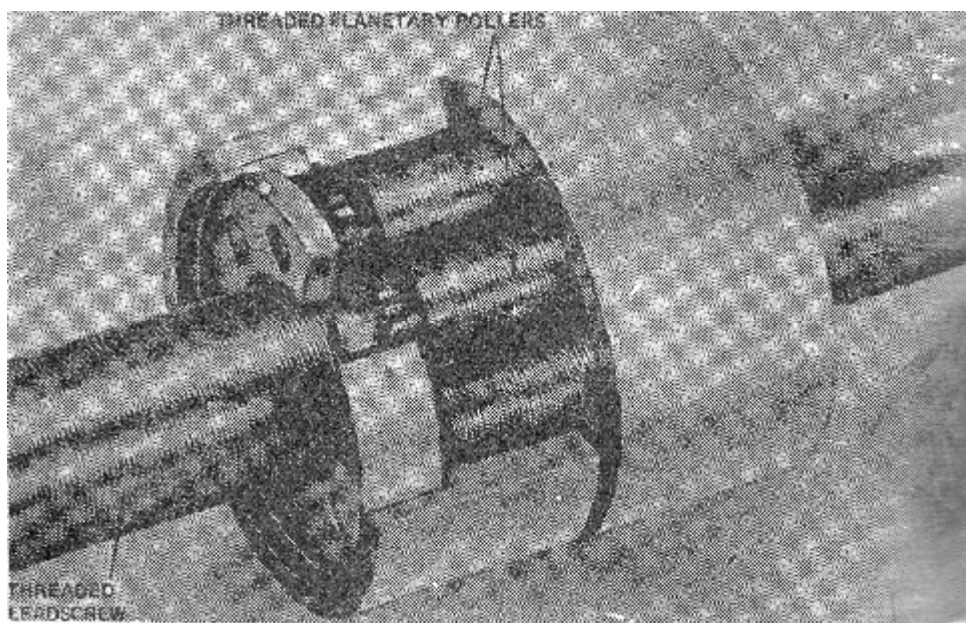


شکل ۳-۴ ب - پیچ راننده و مجموعه‌های داخلی پیچ

شکل ۳-۴

حرکت دقیق از طریق پیچ راهنما کسب شده که این پیچ میتواند چند نخه باشد با چندین نقطه تماس با رزوه‌های دقیق تماس و پخش نیروها در نقاط مختلف بدست

می‌آید. غلطک‌های رزوه شده پیوسته در تماس با پیچ راهنما می‌باشند و هیچگونه لقی بین مجموعه مهره‌ها و پیچ وجود ندارد، ساچمه‌ها می‌چرخند بنابراین سرعت‌های بالا و بالاتر دست‌یافتنی است. ساچمه‌ها و پیچ راهنما، غلطک‌های ستاره‌ای در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳-۵

هنگامی که حرکت میز از $\frac{2}{3}$ متر بیشتر شود کشش پیچ راهنما کمتر خواهد شد زیرا اینرسی بالا و صدمات فشاری و گرایش پیچ به خم شدن تحت تاثیر وزن خود، نمونه‌ای از مشکلات شناخته شده‌ای است که در سرعت‌های بالا ممکن است بروز نماید. برای جابجایی و تغییر مکان زیاد از چرخ دنده و شانه و یا از شانه و پینیون می‌توان استفاده کرد. به هر حال این سیستم‌ها با وسایل گرانی‌متری مجهز شده‌اند و نگهداری و مراقبت از آنها نیز هزینه‌بر خواهد داشت. میزهای مجهز به سیستم هدایت هیدرولیکی نسبتاً عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند. به نسبت هزینه کم، این وسایل کارآیی و راندمان کمتری دارند زیرا

جایی که (تولید = حجم \times طول کورس) باشد راندمان نسبتاً کم است. در جابجایی و تغییر مکانهای زیاد نیز طول کورس پیستون زیادت‌ر شده و حجمهای زیادت‌ری از مایع هیدرولیک برای جابجایی لازم است که در نتیجه فشار کم الاستیکی آن باعث کاهش دقت موقعیت یا موضع می‌گردد، همچنین خاک و آشغال و نشت مشکلات دیگری می‌باشند که بعدها بوجود خواهد آمد.

راهنماها: ماشینها سنتی عموماً متکی به تماس راهنماها و دیگر اجزای محرکه می‌باشند، حرکت نسبی بین سطوح نسبتاً کم است زیرا بصورت دستی کنترل می‌شوند، بنابراین کیفیت استفاده از ماشین پائین بوده و در نتیجه تولید با این ماشینها ارزانتر می‌باشد. راهنماها سخت کاری شده و صلب و محکم می‌باشند، با استفاده از خاصیت خود روغنکاری چدن خاکستری، روغنکاری آنها ساده بوده و سطح راهنماها سنگ زده شده می‌باشد و در روی یکدیگر می‌لغزند و اصطکاک را تا حد ممکن کاهش می‌دهند.

در ماشینهای CNC راهنماها بسیار دقیق و مطلوب طراحی شده‌اند. اینرسی کم، سرعت و شتاب بالا و نسبت کاهش سریع سرعت در طراحی آنها در نظر گرفته شده است و توسط سیستم کنترل به صورت خودکار انجام می‌گیرد. حرکت بدون وقفه و لغزش صورت گرفته و دستیابی به موقعیتهای مورد نظر و دقیق امکان پذیر می‌باشد حرکت بدون وقفه و لغزش هنگامی که بین دو قطعه تماس بسیار کمی نیاز است اهمیت پیدا میکند.

در اثر روغنکاری بین دو قطعه لغزنده روی یکدیگر، چسبندگی ایجاد شده و تمایل به توقف حرکت افزایش خواهد یافت در نتیجه مانعی در برابر دو قطعه لغزنده و چسبنده بوجود خواهد آمد، چنین سطوحی در

این ماشینها مورد نیاز میباشد، سطوح با اصطکاک کم، همچنین مقدار مصرف برق را کاهش خواهد داد.

در ماشینهای CNC بجای راهنماهای اصطکاکي و تماس مستقیم از غلطکهای اصطکاکي، نظیر پیچ راهنما و مهره ساچمه ای، از بلبرینگ و ساچمه‌های ضد اصطکاک استفاده شده است و این تجهیزات به روشهای مختلفی بکار گرفته شده‌اند. یکی از این ابزارها بوشنای ساچمه ای خطی میباشد که ساچمه‌ها در داخل بوش بعنوان یک بلبرینگ استفاده میکنند و جهت چرخش محورهای دقیق، دوران بدون اصطکاکي را ایجاد خواهند کرد و در راستای طول محور، ضربه‌های گوناگونی را با دقت خطی بسیار تحمل خواهد کرد و بیش از شش عدد از این ساچمه‌های غلطان در طول بوش می‌چرخند و در جاییکه حرکت دورانی محور لازم باشد از آنها استفاده میشود.

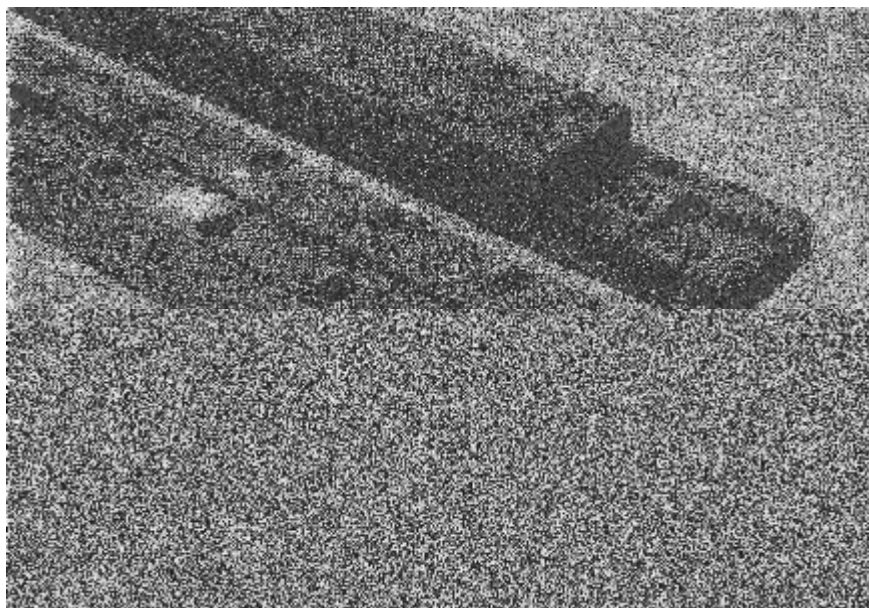
این بوشها در شکل ۶-۲ نشان داده شده است، همچنین در محلهایی که در امتداد یک سطح صاف حرکتی نیاز باشد از این استوانه‌های غلطان نیز میتوان استفاده کرد.

اینها قطعات دقیق و بسیار روانی هستند که بی شباهت به اسکیت نمی‌باشند و چون پیوسته در حال چرخش می‌باشند مقاومت زیادی در برابر نیروها خواهند داشت و حرکت رفت و آمدي نامحدودي نیز دارند، تنظیم دقیق در حرکات، زمانی میسر است که از غلطکها بصورت جفت استفاده شده باشد. همچنین از اینها میتوان در جابجایی میز و سوپرت ماشینها در حالات افقی و عمودي استفاده کرد. در راهنماهایی که از این استوانه‌های غلطان استفاده شده است میزها مقاومت زیادی خواهند داشت. این غلطکها در اندازه‌های مختلف موجود بوده و بصورت یک مجموعه سبک و سختکاری شده داخل ماشین قرار داده شده است و حالت وقفه و سر خوردن در حرکت را از بین برده و

حرکت نرم و مناسبی را به وجود می‌آورند. استوانه‌های غلطان بدون اصطکاک در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



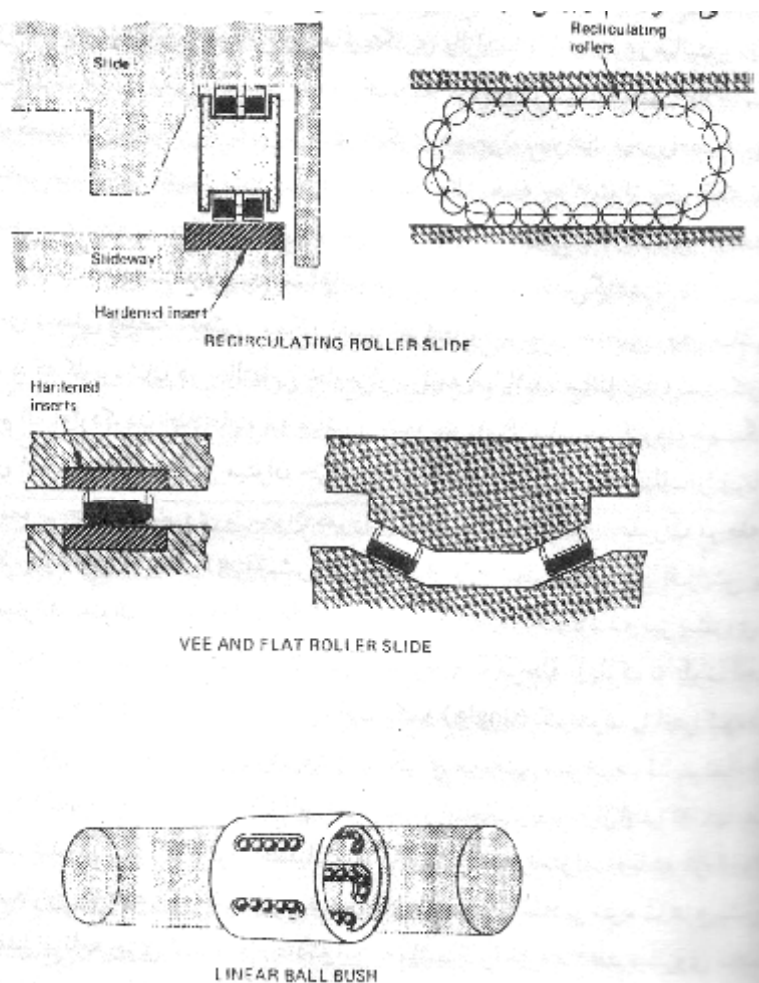
شکل ۲-۶



شکل ۷-۳

حرکتهای خطی و بدون اصطکاک را همچنین از طریق راهنماهای V شکل و تخت می‌توان بوجود آورد، در هر دو طرح از استوانه ای غلطان، سختکاری شده و سنگ زده شده و دقیق استفاده می‌شود، چنین استوانه هایی نیز حرکت موزون و دقیقی را ایجاد خواهند کرد و همچنین با طراحی مناسب می‌توان مقاومت در برابر حرکت را به حداقل ممکن رساند. راهنماهای V شکل و تخت در شکل ۹-۲ نشان داده شده است. با طراحی مکانیزم خاصی نیز می‌توان از تمایل حرکت به سمت جلو اینگونه راهنماها جلوگیری کرد. مهمترین و برجسته ترین حرکت دورانی چرخش محور اصلی است که یاتاقانهای خاصی در آن نصب شده که در برابر نیروهای وارده در سرعتهای مختلف دارای استحکام و سفتی مناسبی می‌باشند، یاتاقانهای محوری عقب نیز برای جذب و انتشار گرما مجهز به سیستمی فنر مانند می‌باشند و با کیفیت بالا سخت کاری شده و هیچ گونه لنگی ندارند و برای کاهش صدا و ارتعاش نیز از قفسه‌های مناسبی استفاده شده است. یک وسیله خودکار روغنکاری نیز ممکن است به مجموعه اضافه شود زیرا قسمت‌های حساس اگر روغنکاری

نشوند، تحت فشار، ممکن است فرسوده و خراب شوند، بنابراین یک فیلتر تحت فشار ممکن است روغنکاری را تامین کند.



شکل ۸-۳

سیستم کنترل: عملیاتی که در ماشین‌های سنتی به صورت دستی انجام می‌گیرد در ماشین‌های کنترل عددی ممکن نیست. در واقع روی انی ماشین‌ها هیچگونه تابلک یا چرخ دستی دیده نمی‌شود وظایف همه قسمت‌ها را مجموعاً سیستم کامپیوتری کنترل می‌کنند واحد کنترل ممکن است داخل بدنه ماشین جاسازی شده و یا روی بازویی متحرک قرار گرفته باشد، در هر صورت در جایی باید قرار گیرد که به راحتی در دسترس ماشینکار بوده و به سهولت

قادر به کنترل دکمه‌ها و اهرمها باشد. این امر باعث تنوع در شکل ظاهری ماشینها گردیده است و اجازه کنترل دستی و نغ دستي حرکات را ممکن می‌سازد و همچنین امکان سهولت در برنامه نویسی را میسر می‌سازد، این سادگی کنترل کم و بیش در ماشینها رعایت می‌شود.

وضعیت شاخصها

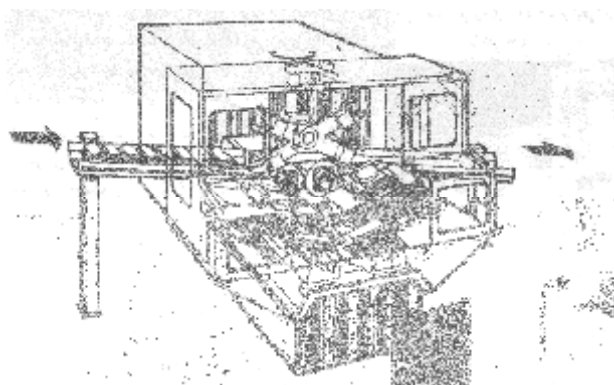
برای کنترل حرکت در ماشین ابتدا باید آنها را شناخت.

سیستم کنترل: CNC (دستگاههای تراش چند محوري کنترل CNC با هدایت خودکار قطعه کار)

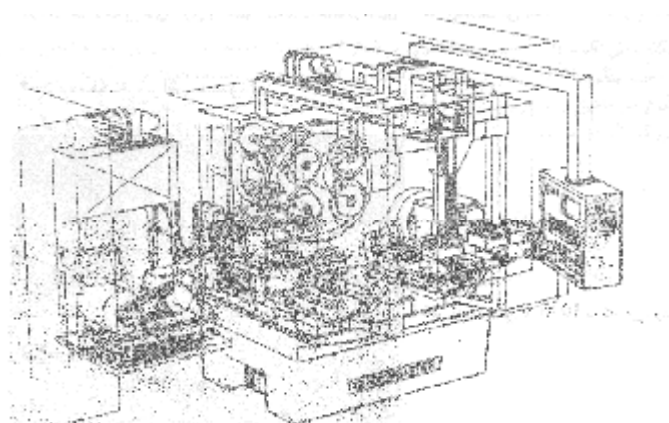
این ماشینها به عنوان دستگاههای تراش مرکزی مطرح می‌شوند که جهت سری سازی کم تا متوسط توسعه یافته‌اند. باری قطعات با بازار فروش متغیر با حد اشباع کم و مقدار تولید پایین می‌توان روی این ماشینها حساب کرد. سری سازی متوسط و کم جزو محدوده کنترل CNC است. مزایای این دستگاه عبارتند از: مدت زمان تغییر تجهیزات کوتاه و مدت زمان فرعی کمتر

دستگاه تراش چند محوري: CNC نشان داده شده در شکل ۶-۶۵ کاربردهای متنوع و کاملی روی قطعه کار انجام می‌دهد. دستگاه تراش با تجهیزات خودکار هدایت قطعه کار، می‌تواند قطعه کار را 180° گردانده (جهت ماشینکاری طرف دیگر قطعه کار) و به طرف محور کار هدایت نماید. وقتی دو محور از چهار محور عمل ماشینکاری را انجام می‌دهد، تعویض قطعه کار در دو محور دیگر صورت می‌گیرد. محور استوانه ای چهار ایستگاهی در پایه دستگاه قرار داده شده است. زیر دو محور کشوییهای صلیبی قرار داده شده است. سیستم محرکه پیشروی در چهار محور توسط موتور جریان مستقیم با کنترل تریستوری کار می‌کند. حرکت طولی به کمک

محورهای ساچمه ای صورت می‌گیرد. دو محور کاری زیری موتور جداگانه ای دارند. سیستم محرکه فوق از دو موتور جریان مستقیم با جعبه دنده واسطه تشکیل شده است. تمام حرکات گرفتن قطعه کار به صورت هیدرولیکی صورت می‌گیرد. تمام مراحل کاری با کنترل CNC کنترل می‌شود. این دستگاهها تا حداکثر قطر کاری 360 mm ساخته می‌شوند.



شکل ۳-۹



شکل ۳-۱۰

دستگاه تراش خودکار دو محوری: CNC نشان داده شده در شکل ۶-۶ جهت ماشینکاری دو طرفه قطعه کار دیسکی شکل و یا بدون فلانچ به کار می‌رود. به کمک دست صلیبی شکل با کنترل- میکروپروسسوری، این ماشین کاملاً خودکار می‌گردد.

حرکت نوسانی دست صلیبی شکل با کنترل CNC کنترل شده و با دو محور دقیقاً در وضعیت برنامه ریزی شده قرار می‌گیرد. ساختمان این ماشینها از نظر اجرای اصلی (موتور جریان مستقیم، سپورتهای صلیبی، محورهاى ساچمه‌ای و غیره) و تعداد محورهاى کاری با ماشین نشان داده شده در شکل ۶-۶۵ مطابقت می‌کند.

دستگاه تراش رولور

به کمک دستگاه‌های تراش رولور می‌توان تولید سری انبوه قطعات با اندازه ثابت را در مدت زمانی کوتاه‌تر از دستگاه‌های تراش معمولی انجام داد. به علاوه می‌توان نیروهای کاری آزموده یا ناآزموده را به کار گرفت. این کار به کمک اقدامات زیر عملی است:

۱- کل ابزارهای لازم جهت ماشینکاری یک‌طرفه قطعه‌کار، نه فقط تراشکاری بلکه مثلاً سوراخکاری، برقوکاری، خزینه‌زنی، پیچ بری و ... روی برجک بسته می‌شود. در یک طرح منحصر به فرد کل ابزار روی یک صفحه قابل جابه‌جایی بسته شده و جهت استفاده مجدد در انبار نگهداری می‌شود.

۲- ترتیب عملیات کاری و نیز ابزارها طوری انتخاب می‌شود که تا حد امکان ابزارهای زیادی به طور همزمان جهت براده‌برداری به کار می‌روند.

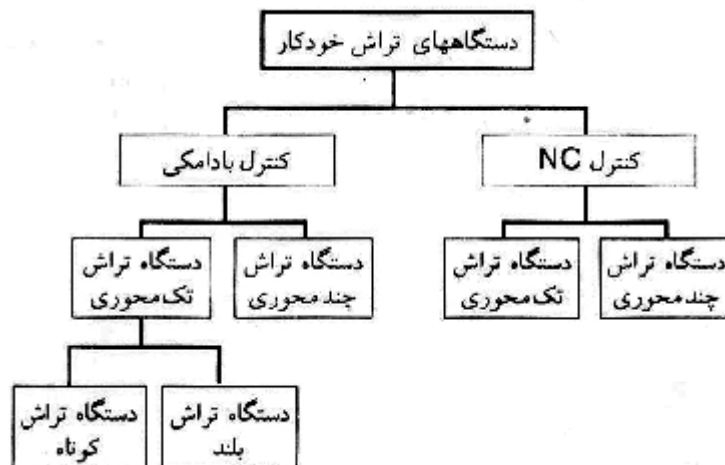
۳- بازدهی- ابزاری که دارای تنظیم ثابتی می‌باشد ضروری نیست محدودیت لازم حرکت سپورت به روش‌های زیر صورت می‌گیرد: در ماشین‌های کنترل دستی با موانع قابل تنظیم و در ماشین‌های NC- مسیر برنامه‌ریزی می‌شود و با کنترل NC- دقیقاً کنترل می‌گردد.

- ۴- برنامه حرکت دستگاه‌های تراش رولور NC- کاملاً خودکار است.
- ۵- جهت بستن قطعه کار تجهیزات گیرنده سریع به کار می‌رود (سه نظام یا فشنگی)
- ۶- در دستگاه‌های تراش رولور غالباً از مواد اولیه مفتولی استفاده می‌شود.
- با اقدامات فوق، صرفه‌جویی بیشتری در مدت زمان فرعی و اصلی و نیز مراحل اندازه‌گیری می‌شود. در مقابل این صرفه‌جویی‌ها با افزایش پیچیدگی‌های دستگاه و نیز تعداد مراحل کاری مدت زمان تجهیز طولانی می‌شود.
- مدت زمان طولانی تنظیم وقتی قابل قبول است که تعداد طبقات مطلوب به اندازه کافی زیاد باشد. نمایی از این کار را می‌توان با مقایسه زمان- تعداد قطعه‌کار به دست آورد.

دستگاه‌های تراش رولور دستی

- دستگاه‌های تراش قدیمی دستی و توسعه یافته آن‌ها با کنترل برنامه‌ای امروزه دیگر ساخته نمی‌شود. این دستگاه‌ها به دلیل مقایسه با سایر دستگاه‌ها به طور اختصار توضیح داده می‌شوند:
- سپورت رولور مجهز به برجک (رولور استوانه‌ای)
 - مسیر سپورت با موانع نگهدار تنظیم می‌شود
 - جریان نیز توسط کلیدهای حدی بادامکی که روی محور رولور سوار شده، قطع می‌گردد
 - سیستم محرکه سپورت رولور شبیه سیستم محرکه کششی دستگاه تراش یونیورسال است
 - رولور استوانه‌ای حول محور موازی محور اصلی قابل چرخش است. به خاطر این که دستگاه تراش با رولور استوانه‌ای معمولاً سپورت صفحه‌ای ندارد عملیات کف‌تراشی و گاه‌گیری با چرخش رولور صورت می‌گیرد. علاوه

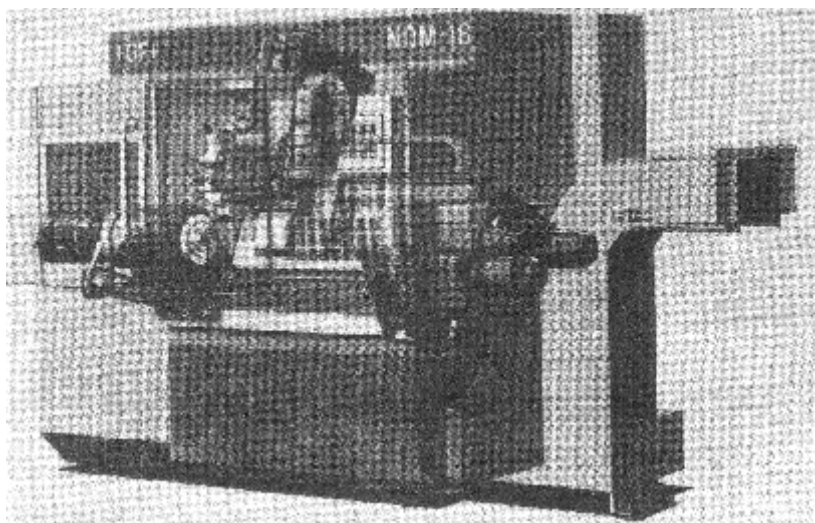
بر رولور استوانه‌ای، رولورهای ستاره نیز وجود دارند. محور رولور ستاره‌ای عمود بر محور اصلی می‌باشد. ابزارها در سوراخ‌های شعاعی بسته می‌شوند.



شکل ۳-۱۱ تقسیم‌بندی دستگاه‌های تراش خودکار

طراحی دستگاه تراش رولور CNC

دستگاه تراش رولور - CNC نشان داده شده در شکل ۳۴-۶، هم با سه نظام و هم گیره‌های فشنگی می‌تواند به کار گرفته شود.



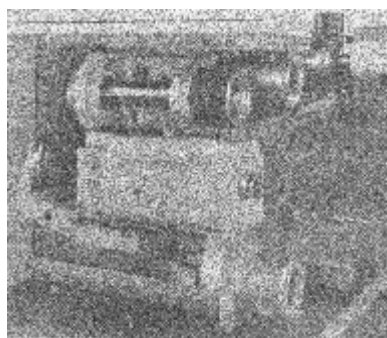
شکل ۳-۱۲

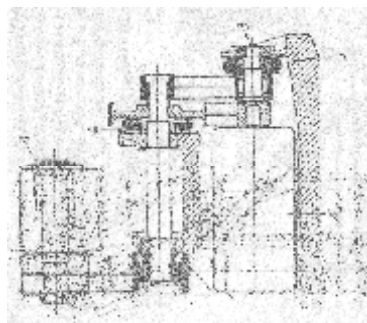
۱- بستر ماشین تراش

بستر ماشین تراش کلا از بتون مسطح (مخلوط بتون با الياف فولادي ، به بخش ۵-۱-۲ ر.ك) بوده و داراي مشخص جرم زياد و خواص استهلاك بالاي ارتعاش و مقاومت حرارتي بالا مي باشد . زوارهاي راهنماي سخت شده (60 HRC) و سنگ خورده كه روي بستر ماشين پيچ مي‌شود داراي دقت بالايي است. كشويي طولي و دستگاه مرغك روي زوار راهنما حركت مي كند.

۲- محركه اصلي

حركه اصلي از يك موتور جريان مستقيم ، دو محور و دو كوپلینگ تشكيل شده سات . ارتباط موتور اصلي به محور اصلي در دو مرحله صورت ميگيرد. بسته به اينكه کدام يك از كوپلینگها در مسير جريان نيرو قرار گيرد، جريان نيزو از محور موتور به فلكه تسمه اي بزرگ يا به فلكه تسمه اي كوچك محور مياني منتقل مي‌شود. محور اصلي توسط محور مياني به حركت درآورده مي‌شود.

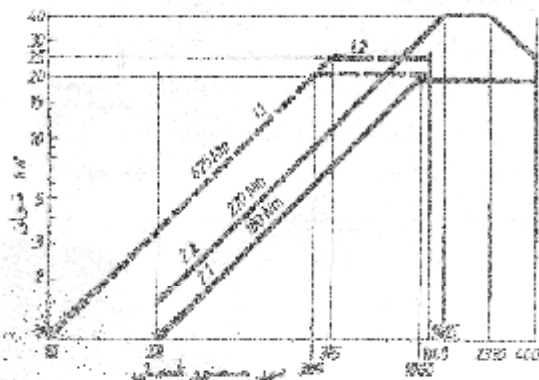




شکل ۱۳-۳

حرکه اصلی که از موتور ، حول میانی و کوپلینگ تشکیل شده است پشت بستر بتونی (شکل ۶-۳۶) نصب می‌شود. بدین ترتیب میتوان ارتعاشات بوجود آمده در سیستم حرکه و نیز حرارت بوجود آمده در محور اصلی را از سایر قسمت‌ها دور نگه داشت. بدنه محور اصلی بر روی راهنای زیری و میانی فولادی محکم می‌شود . در صورتی که در دستگاه محور کار چرخ دنده یا کوپلینگ وجود داشته باشد و انتقال حرکت به محور اصلی از طریق تسمه صورت گیرد حرکت کاری خیلی آرامی به وجود می‌آید . دقت کاری بالای محور علاوه بر حرکت آرام آن حاصل از ابعاد مناسب ، استفاده از یاتاقانهای ساچمه ای مایل و یاتاقانهای غلتکی تحت پیش تنش و ترتیب (فاصله کوتاه یاتاقانها) آنها بستگی دارد . یاتاقانهای محور نیاز به سرویس گریسکاری ندارند (به شکل ۶-۷ ، بخش ۶-۱-۳ ر.ک.).

در محدوده ۱۱ دور محور اصلی (نمودار ۶-۳۷) بین ۱۵-۱۱۴۰ و در محدوده ۴۰۰۰-۵۰ می‌باشد.



شکل ۳-۶: نمودار تغییرات سرعت برش

۱-۱	برای برشکاری با سرعت برش ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر بر دقیقه
۲-۱	برای برشکاری با سرعت برش ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بر دقیقه
۲-۲	برای برشکاری با سرعت برش ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر بر دقیقه
۲-۳	برای برشکاری با سرعت برش ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بر دقیقه

شکل ۳-۱۴

سیستم محرکه پیشروی

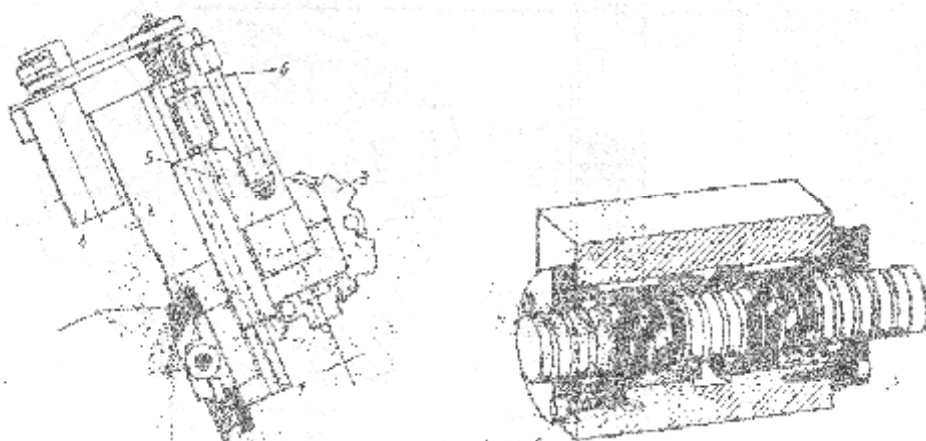
حرکت پیشروی به تنهایی از سپورت طولی (در قطعات استوانه‌ای) و یا سپورت طولی و عرضی به طور همزمان (برای خطوط و فرم‌های دخواه) صورت می‌گیرد. بدین جهت هرکدام از سپورتهای موتور مخصوصی دارند. روی سپورت طولی

(۳۸-۶) سپورت عرضی با کُلگی رولور می‌نشیند. بدینوسیله هنگام حرکت سپورت عرضی فقط باید نیروی جلو برند اعمال شود. نیروی جرم سپورت عرضی به همراه کُلگی رولور توسط تجهیزات هیدرولیکی متعادل کننده وزن، متعادل می‌شود.

راهنمای هر دو سپورت با مواد مصنوعی پوشش داده می‌شود، به طوری که در اینجا تماس مواد مصنوعی- فولاد برقرار می‌شود.

برای سیستم محرکه پیشروی در این ماشینها موتور جریان مستقیم با کنترل ترانزیستوری یکار می‌رود. بدینوسیله تسریع حرکت (شتاب) سپورت در دو سطح با سرعت 10 m/min امکان پذیر است. نیروی پیشروی هنگام

کار دستگاه حدود 5000N است، این نیرو در مدت زمان کوتاهی می‌تواند به 9000N افزایش یابد. تسمه‌های دندانه‌دار (شکل ۶-۳۸) توان موتور پیشروی (شکل ۶-۳۹) را جهت حرکت طول و عرضی انتقال می‌دهند. توسط دو مهره محکم شده متقابل که در بین آنها ساچمه‌ها می‌گردند، سیستم محرکه پیشروی، بدون لقی شده و دقت بالایی هر دو سپورت (حدود 0.005 mm) امکان‌پذیر می‌شود.



شکل ۱۵-۳

سیستم اندازه‌گیری مسیر

اندازه‌گیری مسیر حرکت طولی (محور Z ها) به طور چرخشی - غیرمستقیم صورت می‌گیرد. نمایش دهنده طول مسیر در طرف سیستم محرکه سپورت طول نصب می‌شود. در محور X ها که دقت قطری قطعه تراشکاری تعیین می‌شود، با سیستم اندازه‌گیری مسیر- خطی بدون تماس اندازه‌گیری می‌شود.

سیستم ابزارها

سیستم ابزارها روی بازدهی دستگاه‌های تراش پر قدرت به طور موثری تاثیر می‌گذارد.

مدت زمان اصلی

سیستم ابزار پایدار امکان افزایش مشخصات برش (a.s.v) را کُلگی فراهم آورده و بدینوسیله مدت زمان اصلی را کاهش می‌دهد.

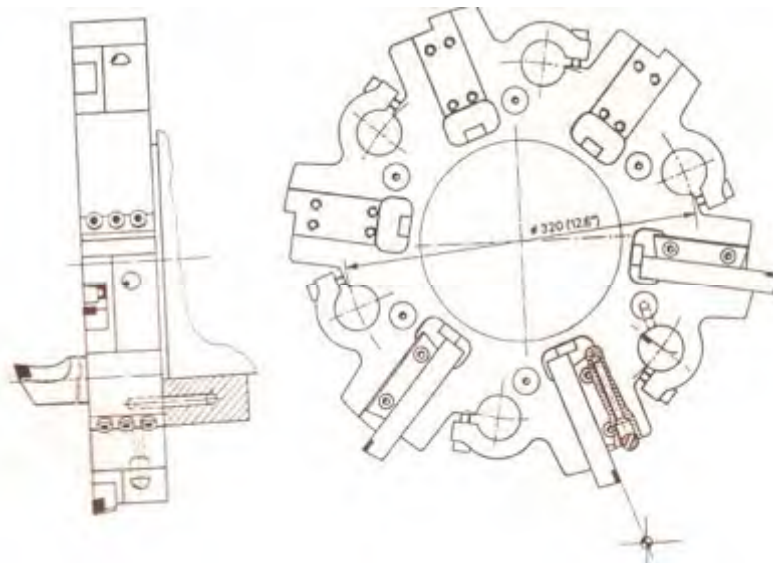
مدت زمان فرعی

ترتیب و تقسیم بندی ابزارها در ابزارگیر مدت زمان جابجایی و مسیر فرآیند براده‌برداری را تعیین می‌کند. در یک ترتیب بهینه، مسیرها و حرکات جابجایی کمتر شده و در نتیجه مدت زمان فرعی نیز کوتاه‌تر می‌گردد.

مدت زمان تجهیز

مدت زمان تجهیز جهت تعیین سرعتی که می‌توان سیستم ابزارها را در ماشین نصب کرد به کار می‌رود. ماشین‌های مورد نظر طوری طراحی شده‌اند که مجموعه ابزارها خارج از ماشین آماده و در عرض چند دقیقه روی ماشین نصب و آماده می‌شوند.

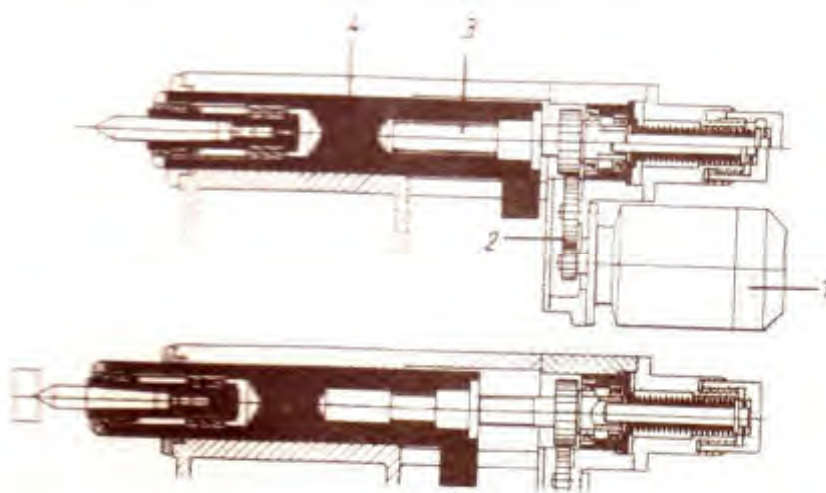
ابزارگیر شکل ۶-۴۰ دارای شش سوراخ جهت ابزارهای سوراخ‌کاری با محکم کننده طبق VDI 3425 و شش شکاف شعاعی برای گرفتن ابزارهای ماشین‌کاری خارجی می‌باشد. این ابزارها به کمک گوه‌های تماسی محکم می‌شوند.



شکل ۲-۱۶

دستگاه مرغک

دستگاه مرغک به کمک زوار پایینی و میانی راهنماها گرفته می‌شود. دستگاه مرغک در راستای طولی قابلیت حرکت دارد. مرغک شکل ۶-۴۱ توسط الکتروموتور و از طریق جعبه دنده کاهنده و توسط محور ساچمه‌ای جابجا می‌شود. نیروی اعمالی آن ۲-۱۲ kN است. خود مرغک دارای یاتاقان غلتکی است.



شکل ۲-۱۷

دستگاه تراش خودکار تک‌محوري با کنترل CNC-

دستگاه تراش خودکار تک‌محوري- کنترل عددی فقط وقتی برای تولید تعداد قطعات زیاد به کار می‌رود که ساخت آن روی دستگاه تراش کنترل بادیامکی غیرممکن و یا به طور مشروط امکان‌پذیر دیگر باشد.

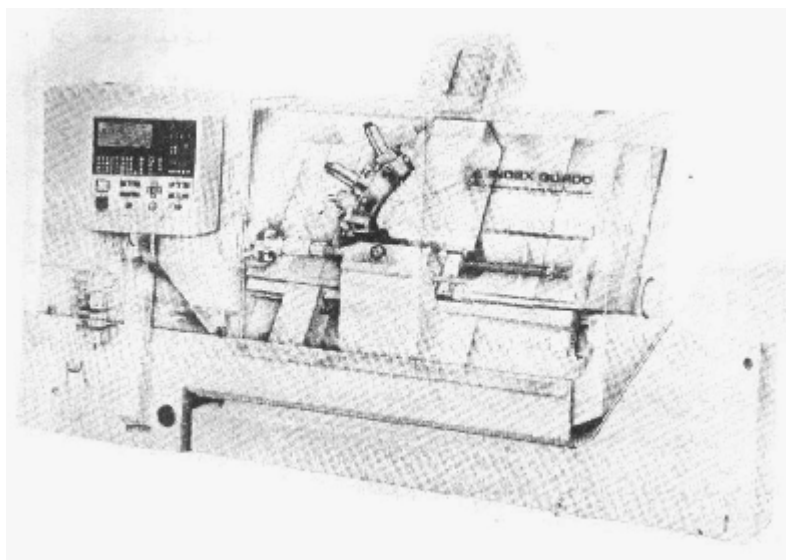
شرایط و عوامل کاربرد دستگاه تراش خودکار کنترل CNC- عبارتند از:

- کاهش قابل توجه هزینه کنترل،
- افزایش اطمینان کاری کنترل،
- با روش‌های شناسایی، عیوب کار به سرعت تعیین و در مدت زمان کوتاهی برطرف می‌گردد،
- در کنترل‌های چهارمحوري می‌توان کشویی‌های زیادی را به طور هم‌زمان و یا مستقل از هم کنترل نمود،
- برنامه ریزی فوق‌العاده ساده شده و در نتیجه مدت زمان تجهیز به حداقل می‌رسد.
- هزینه تجهیز و آماده‌سازی در مقایسه با دستگاه‌های کنترل بادیامکی خیلی کمتر است.

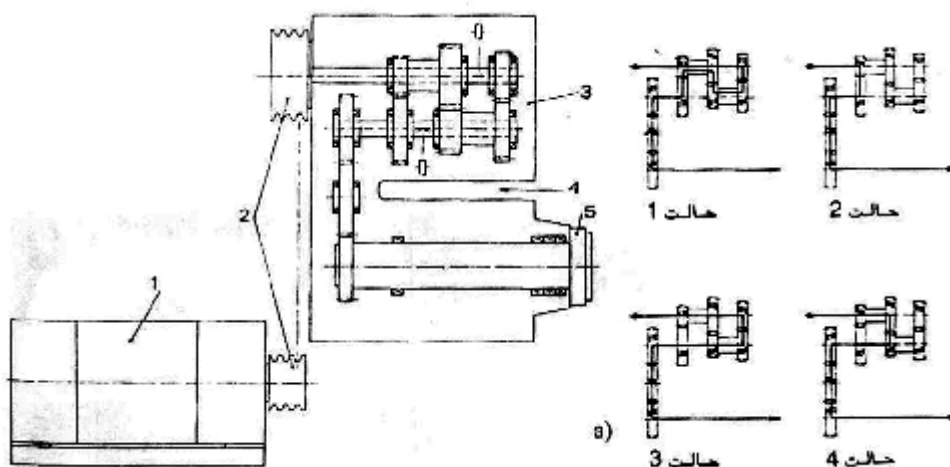
دستگاه تراش CNC- با مشخصات:

کارهای سه نظامی	تا قطر	۲۵۰ mm
کارهای فشنگی	تا قطر	۶۵ mm
فاصله بین مرغک‌ها	حداکثر طول تراشکاری	تا ۸۲۰ mm

در شکل ۶-۵ نشان داده شده است. این دستگاه دارای دو محور با کنترل قوسی بوده که هم به طور دستی (فرم و شعاع برش به طور خودکار حساب می‌شود) و هم ماشینی (تهیه برنامه به کمک کامپیوتر و زبان برنامه‌ریزی) قابل برنامه‌ریزی می‌باشد. محور اصلی توسط موتور جریان مستقیم (۲۲ kw با ۲۸ kw با ۲۴ % ED) و یک جعبه دنده و محور تغیر سرعت به حرکت به در می‌آید. (شکل ۶-۵)



شکل ۱۸-۳- دستگاه تراش خودکار یونیورسال- CNC نوع GU 800



شکل ۱۹-۳- جعبه دنده اصلی GTR چهارسرعت تراش خودکار GU 800
(a) نمودار جریان توان جعبه دنده تغییر سرعت
۱- موتور جریان مستقیم، ۲- فلکه تسمه‌ای، ۳- جعبه دنده تغییر سرعت، ۴- شکاف، ۵- محور اصلی

نمودار جریان توازن در شکل ۶a-۹۵ جریان نیرو در چهار حالت سرعت را نشان می‌دهد. اتصال شکلی هر کدام از چرخ‌دنده‌ها به کمک دو محور کشویی مرکزی با پروفیل دندانه‌دار ایجاد می‌شود. محور کشویی در درگیری دائم با فلکه تسمه‌ای جزا و چرخ محرک می‌باشد. در دو

انتهای دیگر محور کشویی با هر کدام از دو چرخ‌دنده‌های دخواه درگیر می‌باشد. سیلندر هیدرولیکی دو طرفه در انتهای محور کشویی عمل تغییر جهت حرکت را تأمین می‌کند که خود آن نیز با کلیدهای حدی کنترل می‌گردد.

در این جعبه دنده تمام چرخ‌دنده‌ها دائماً در حرکت درگیری می‌باشند. محور کشویی فقط جهت انتقال گشتاور به کار می‌رود. بدین جهت تأثیری روی دقت جعبه دنده ندارد.

سطح مقطع لوله‌ای شکل بستر از نظر تحمل تنش درست طراحی شده است. راهنمای سخت شده عمقی و سنگ خورده از فولاد ابزاری آلیاژی با اتصال محکمی به بستر ماشین محکم شده است.

سپورت طولی و عرضی به کمک موتور جریان مستقیم و از طریق محورهای ساچمه‌ای به حرکت درمی‌آید. جهت جلوگیری از اعمال نیروی وزن عرضی روی محور ساچمه‌ای سپورت عرضی توسط متعادل‌کننده وزنی هیدرولیکی مهار می‌شود. چنین طراحی برای کشویی بستر (میز دستگاه) نیز به کار می‌رود. بدین ترتیب راهنمای بستر از تحمل بار اضافی آزاد شده و فقط وظیفه اصلی خود را انجام می‌دهد.

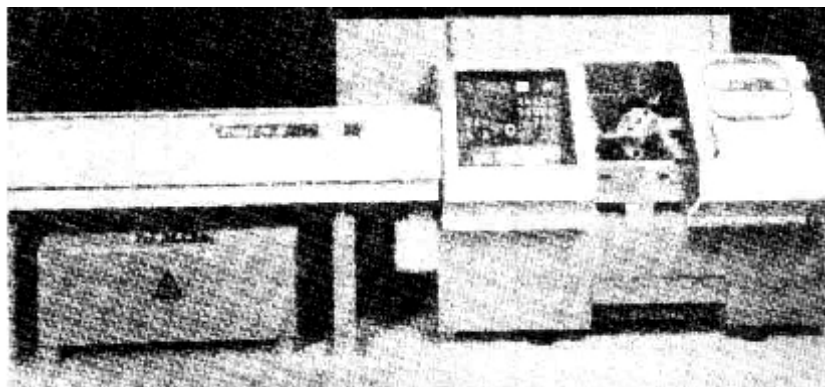
رولور آن به دو صورت رولور تاجی با محور مایل طراحی شده است. این طرح مزایای هر دو رولور ستاره‌ای و رولور استوانه‌ای را داراست. در هر هشت حالت کاری دو ابزار می‌تواند به کار رود.

در کارهای مرحله‌ای بلند سمت ماشینکاری به کمک فشنگی محکم گرفته می‌شود. طرف دیگر میله‌های ماشینکاری در کلگی کشویی که در داخل محور دستگاه می‌تواند حرکت کند گرفته شده است. برای میله‌های

بلند (تا $3/2m$) هدایت میله با یاتاقان‌بندی هیدروستاتیکی صورت می‌گیرد.

دستگاه تراش خودکار CNC- با رولور ستاره‌ای و دوازده ابزاری که جهت کارهای فشنگی (قطر میله $42mm$ یا $60mm$) نیز کارهای سه نظامی (قطعاتی را که می‌توان در سه نظام بست) تا قطر $160mm$ به کار می‌رود در شکل ۶-۶۰ نشان داده شده است.

در دستگاه تراش Traub-CNC TX8 مدرن می‌توان به هنگام کار نیز برای قطعات دیگر برنامه‌نویسی کرد.



شکل ۲۰-۳- دستگاه تراش خودکار- CNC با انبار قطعات DN42

ماشین‌های فرز

ساختمان و تقسیم‌بندی ماشین‌های فرز

ماشین‌های فرز زانویی

ماشین‌های فرز بستری

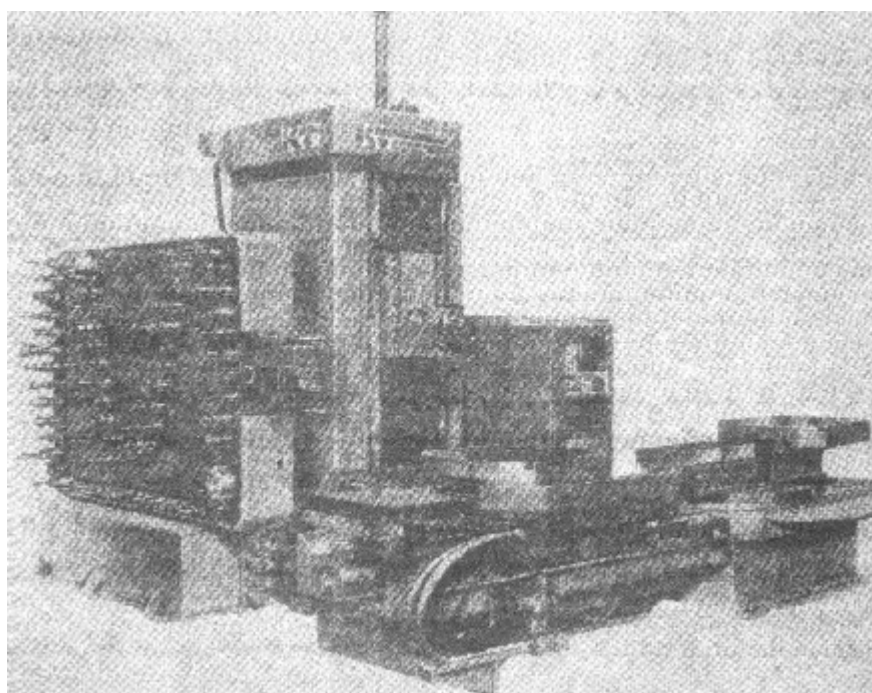
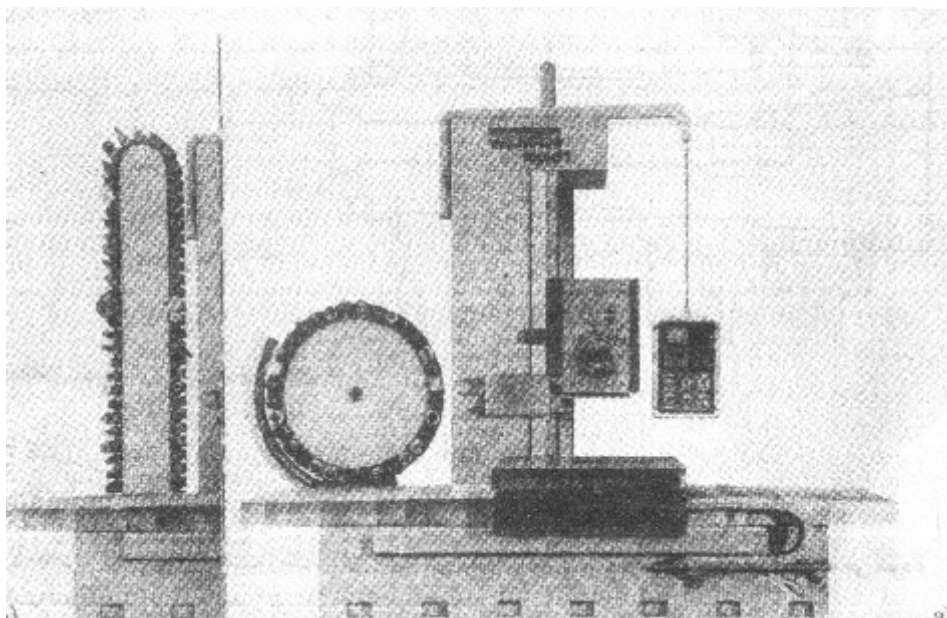
ماشین‌های فرز مرکزی

ماشین‌های فرز مرکزی

ماشین‌های فرز مرکزی ماشین‌های فرز افقی، عمودی و سوراخکاری می‌باشند که می‌توانند در ۳ و ۴ یا ۵ محور تنظیم گردند. از ویژگی‌های این ماشین‌ها این است که مجهز به ابزار گیرهایی می‌باشند که بسته به اندازه و طراحی ماشین می‌توانند تا ۷۰ ابزار را گرفته و با

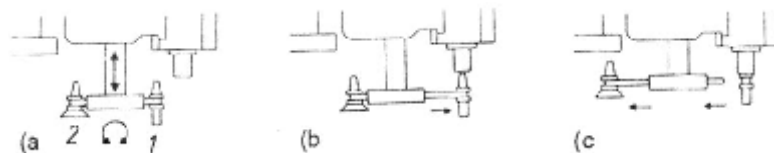
تجهیزات خاصی تعویض ابزار را به طور خودکار انجام می‌دهد.

شکل ۳-۲۱a و b نمونه‌ای از ماشین‌های فرز مرکزی را نشان می‌دهد. در ابزار گیر دیسکی (شکل ۳-۲۱a) تا ۴۰ ابزار و در ابزارگیر زنجیری (شکل ۳-۲۱b) تا ۷۰ ابزار را می‌توان نگه داشت. ماشین فرز مرکزی نشان داده شده در شکل ۳-۲۱c برای ماشینکاری پیوسته به کار می‌رود بدین ترتیب که روی یک میز قطعه‌کار ماشینکاری شده و در همان حال روی میز دیگر تعویض قطعه‌کار صورت می‌گیرد. تعویض ابزار با سیستم گیرنده تمام خودکار انجام می‌گیرد.



شکل ۳-۲۱- ماشین فرز مرکزی
a- با ابزارگیر دیسکی، b- با ابزارگیر زنجیری، c- با ابزارگیر زنجیری
و میز فرز

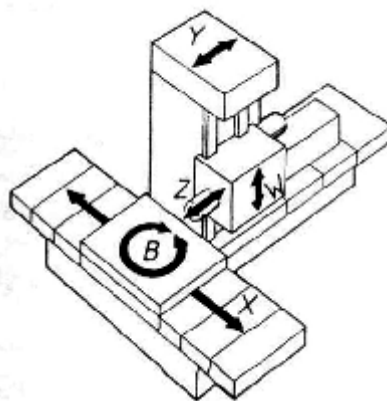
اصول تجهیزات تعویض ابزار در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است. این تجهیزات حرکت چرخشی-محوری (شکل ۳-۲۲a) و نیز حرکت اضافی جانبی را (شکل ۳-۲۲b,c) را انجام می‌دهند.



شکل ۳-۲۲- سیستم گیرنده جهت تعویض خودکار ابزار
a- حرکت چرخشی و محوری، b,c- حرکت بازو، ۱+۲ ابزار

در ماشین‌های کوچک میز ماشین به شکل صلیبی طراحی می‌شود بدین صورت که حرکت در راستای Y, X را انجام می‌دهد.

ماشین‌های بزرگ (شکل ۳-۲۳) بستر T - شکل دارند. در این ماشین‌ها پایه با واحد کَلگی و ابزارگیر در راستای Y و میز فقط در راستای X حرکت می‌کنند.



شکل ۳-۲۳- ماشین فرز مرکزی با طرح میز T شکل

از آن جا که در این ماشین‌ها باید دقت کاری بالا باشد در طراحی میز و پایه از نظر استحکام خمشی و پیچشی باید توجه خاصی مبذول گردد.

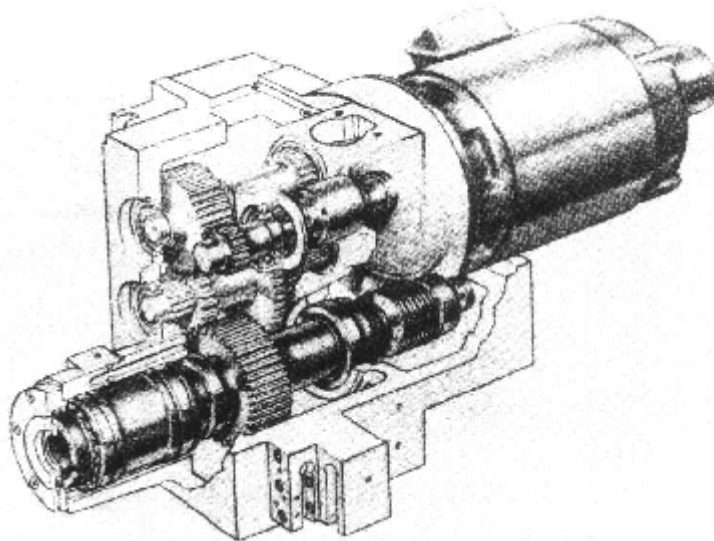
راهنمای حرکت مستقیم ماشین‌ها یا به صورت ریل تحت یا پوشش مواد مصنوعی یا به صورت ریل ترکیبی V - شکل

و یا به صورت ریل غلتکی بدون نیاز به سرویس طراحی می‌شود.

حرکه

در اکثر ماشین‌های فرزکاری محور فرز توسط موتور جریان مستقیم که به یک جعبه دنده ۲ تا ۴ سرعت متصل شده کار می‌کند.

حرکه پیشروی- برای هر حرکه یک موتور ویژه- از موتور جریان مستقیم، جعبه‌دنده کاهنده و محور ساچمه‌ای تشکیل شده است.



شکل ۳-۲۴- حرکه محور فرز ماشین مرکزی شکل ۳-۲۱

کنترل‌ها

ماشین‌های فرز مرکزی تقریباً به طور مجهز به کنترل عددی فضایی چندمحوری می‌باشند. کنترل مناسب در این جا کنترل CNC- است زیرا میان‌یابی (اینترپولاسیون) سه‌بعدی و تصحیح ابزار را در نظر گرفته و خطای لقی گام محور و دما را جبران می‌کند.

محدوده کاربرد

ماشین‌های فرز مرکزی جهت ساخت قطعاتی که نیاز به ماشینکاری زیادی دارند به کار می‌رود. کاربرد این ماشین‌ها برای قطعات پیچیده و نیز قطعات با دقت بالا خیلی مناسب است. در ارتباط با تعداد قطعه کار کاربرد آن برای سری قطعات کم تا متوسط اقتصادی است.

حد مرزی تعداد قطعات باید جزء به جزء از محاسبات هزینه قطعات به دست آید.

فصل چهارم : سیستم‌های کنترلی

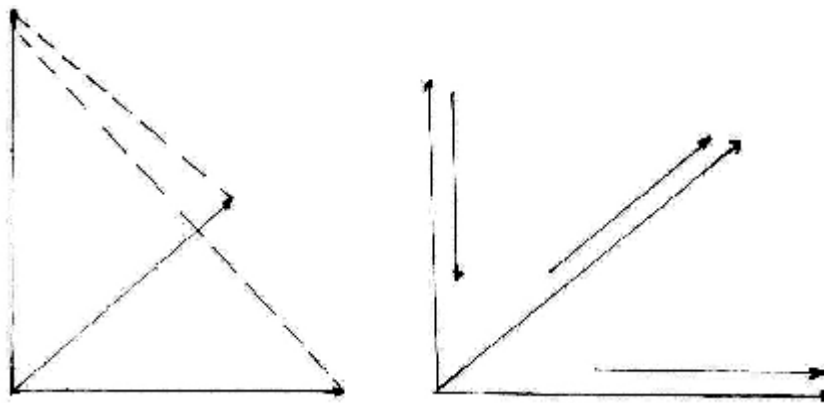
تقسیم‌بندی انواع کنترل ماشین‌های ابزار N-C

بدون توجه به چگونگی کاربرد سیستم کنترل ماشین‌های ابزار مانند ماشین‌های فرز دستگاه‌های برش جوش، دستگاه‌های بادی، ماشین‌های مته، ماشین‌های داخل تراشی می‌توان آن‌ها را به انواع مختلف زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- سیستم علی (Positioning System) یا نقطه به نقطه

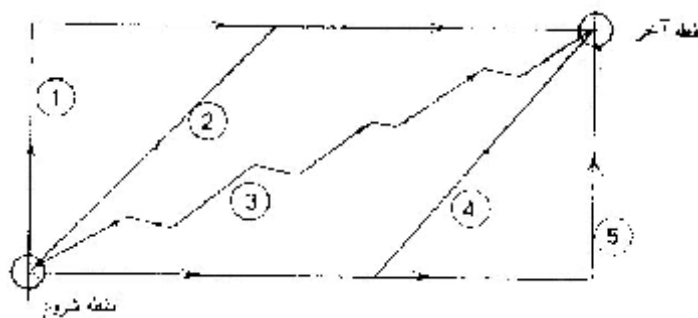
این سیستم ساده‌ترین نوع کنترل می‌باشد محل‌های لازم را به صورت خودکار می‌توان به دست آورد، به طوری که ابزار برنده از یک نقطه به نقطه دیگر را به صورت یک خط مستقیم در صفحه XY و یا در صفحات دیگر به طور سریع بپیماید و وقتی که به نقطه مذکور رسید عمل سوراخ‌کاری و تراش صورت خواهد گرفت و با تغییر ابزار (مته یا تیغه فرز) می‌توان به طور دخواه عمل تراشکاری را ادامه داده و یا با در نظر گرفتن تolerانس لازم عمل برقوکاری را انجام داد. همچنین می‌توان ابزارهای مختلفی را به کار برده و مراحل عمل مثل سرعت و بار را در نیز در نظر گرفت. در عمل حرکت سریع را می‌توان طوری تعیین کرد که ابزار برنده ابتدا در طول یک محور صورت گیرد و بعدی در طول محور بعد انجام گیرد و یا این که حرکت در دو محور صورت هم زمان صورت گیرد که در این صورت وتر مثلث

قائم‌الزاویه‌ای که از محورهای Z, X و یا محور Z, Y ساخته می‌شود، طی می‌گردد.



شکل ۴-۱- مسیر حرکت در سیستم محلی

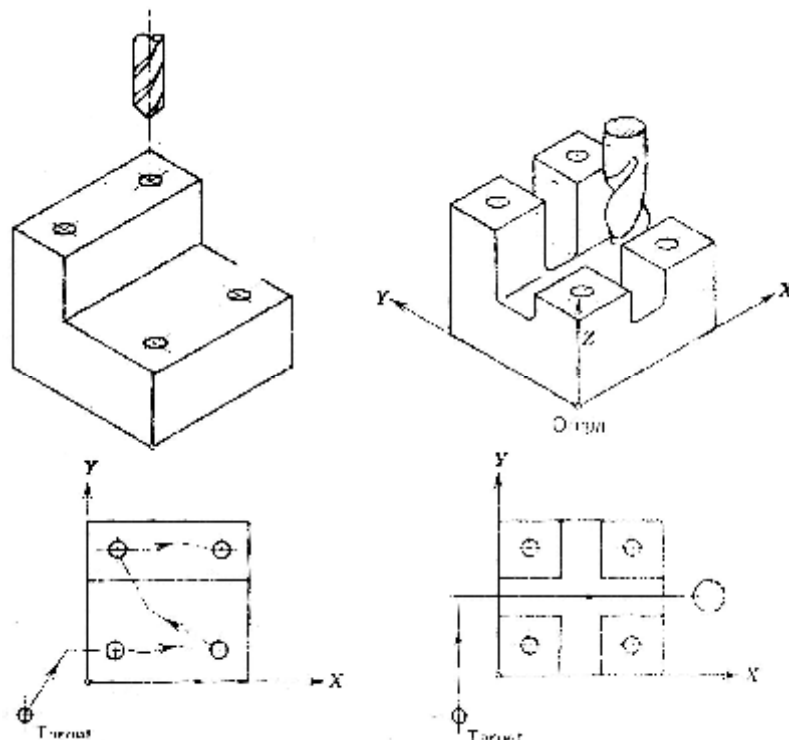
حرکت در طول دو محور در یک زمان به صرفه نزدیکتر است ولی برای برنامه‌نویس مشکل‌تر خواهد بود. از طرفی دیگر برای حرکت از نقطه شروع به طرف مختلف زیر می‌توان مسیرها را مشخص کرد.



شکل ۴-۲- مسیر حرکت رنده در جهات مختلف

۲- سیستم تراش مستقیم

در این سیستم حرکت رنده در یک خط مستقیم صورت می‌گیرد این روش مانند روش نقطه به نقطه می‌باشد و حرکت در طول محورهای Z, Y, X کنترل می‌شود این سیستم برای تراش اشکالی که به صورت مثلثی، مربع، مربع‌مستطیل و ... که دارای منحنی نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

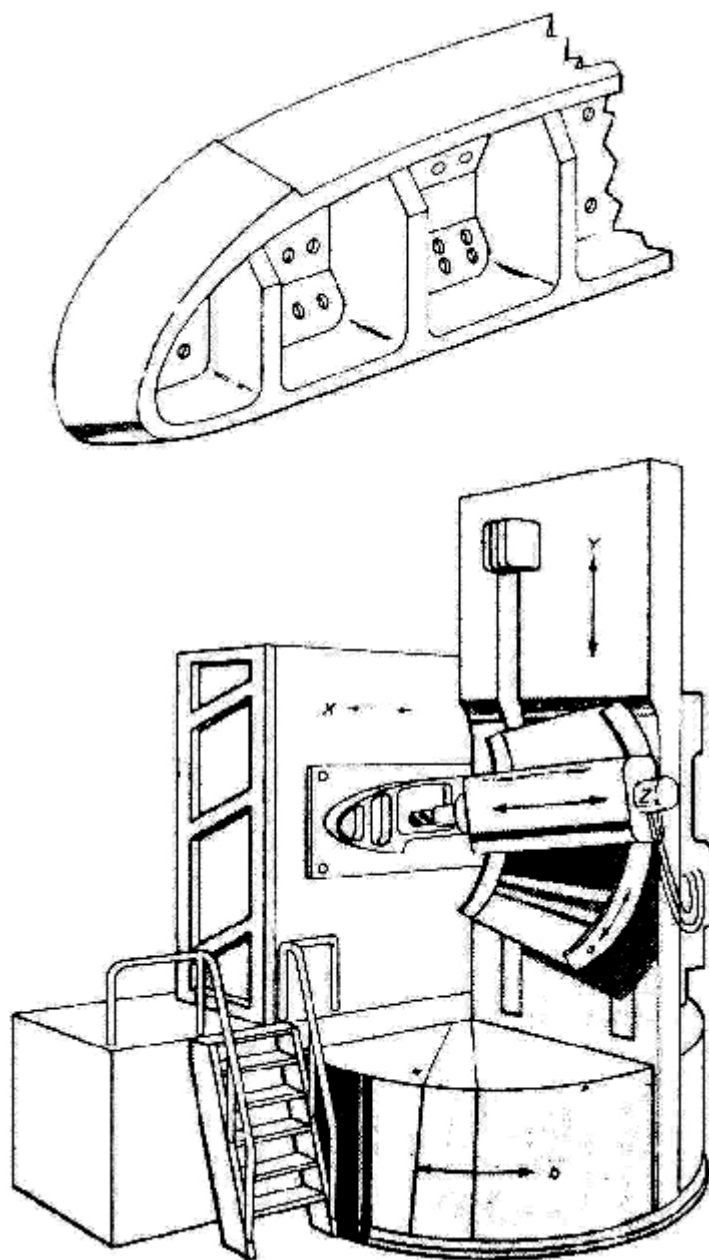


شکل ۳-۴- مسیر رنده به صورت مستقیم

۳- سیستم ادامه‌ای

این سیستم، مهم‌ترین سیستم قابل تغییر است. ضمناً تمام عملیات شرح داده شده در سیستم محلی و سیستم خطی در این سیستم اجرا می‌شود. زمانی که حرکت ابزار کنترل می‌شود، عملیات تراشکاری نیز صورت می‌گیرد. از طرفی در این روش تراشکاری کلیه خطوط مستقیم با هر زاویه و کلیه دایره‌ها و مخروط‌ها و با هر شکلی که قابل محاسبه باشد قابل اجرا می‌باشد. این روش را معمولاً روش ادامه‌ای (پیوسته) نیز می‌نامند و حرکات در ۲ تا ۹ محور کنترل می‌شود.

شکل (۴-۴) یک ماشین فرز ۵ محوری است که می‌تواند فرزکاری و سوراخکاری را با هر زاویه‌ای که لازم باشد، انجام دهد.

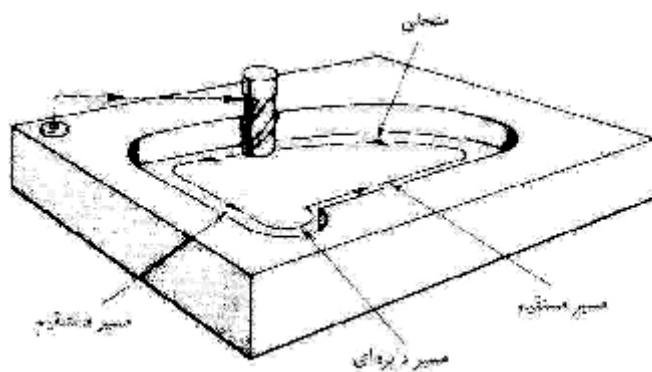
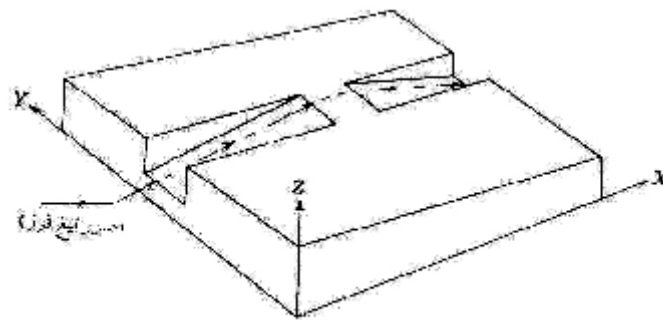


شکل ۴-۴- ماشین فرز N-C با ۵ محور

۴- سیستم محلی و مرکب

سیستم محلی و مرکب شامل نتایج سایر روش‌ها است. برای مثال اگر دستگاه کنترل ماشین با روش ادامه‌ای مجهز باشد همان عمل ادامه‌ای را اجرا خواهد کرد. در

این روش اگر دقیقاً محلی مورد نظر باشد مسیر کنترل، حذف شده و در محل مورد نظر عملیات براده‌برداری صورت می‌گیرد در این صورت سرعت عمل افزوده می‌گردد.



شکل ۵-۴- سیستم محلی و مرکب

۵- سیستم کنترل نسبی (افزاینده)

۶- سیستم کنترل مطلق

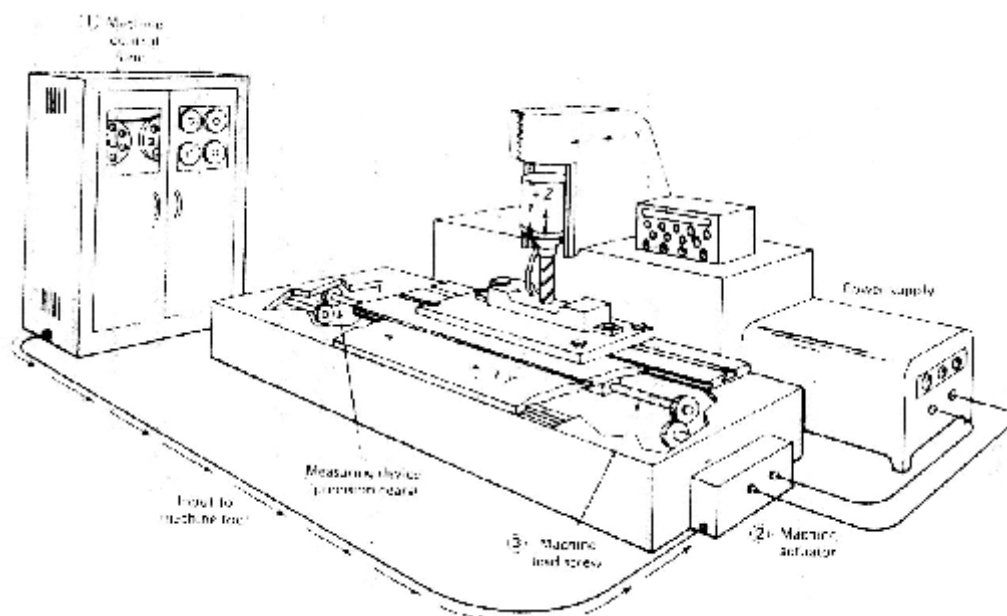
علاوه بر سیستم‌های فوق ماشین‌های افزار N-C را بر حسب نوع پس‌خور (بازخور Second block) آن می‌توان دو سیستم دیگر را یاد کرد که عبارتند از:

- ۱- سیستم‌های مدار باز
- ۲- سیستم‌های مدار بسته

سیستم‌های مدار باز

سیستم‌های مدار باز به سیستم‌هایی اطلاق می‌گردد که عوامل متحرک تحت کنترل در ضمن حرکتشان به کمک هیچ وسیله نمونه‌برداری و یا حس‌کننده شناسایی نمی‌شوند و

حرکت آن تحت این گونه فرامین دستخوش حرکت نمی‌گردند. این گونه ماشین‌ها می‌توانند فقط برنامه ریزی گرد و ماشین اجباراً در آن حیطه مشخص شده می‌تواند فعالیت نماید. نمونه‌هایی از این گونه سیستم‌ها دارای واحد و یا قسمت فهم (حس‌کننده) نبوده و قادر به هیچ‌گونه تصمیم‌گیری و تشخیص موقعیت خود نیست. یکی از مشخصات بارز سیستم‌های مدار باز در این است که این سیستم‌ها نمی‌توانند اطلاعات خارجی و یا محیطی خود را کشف و تشخیص دهند لذا نمی‌توانند بر مبنای آن‌ها تصمیم‌گیری کنند.

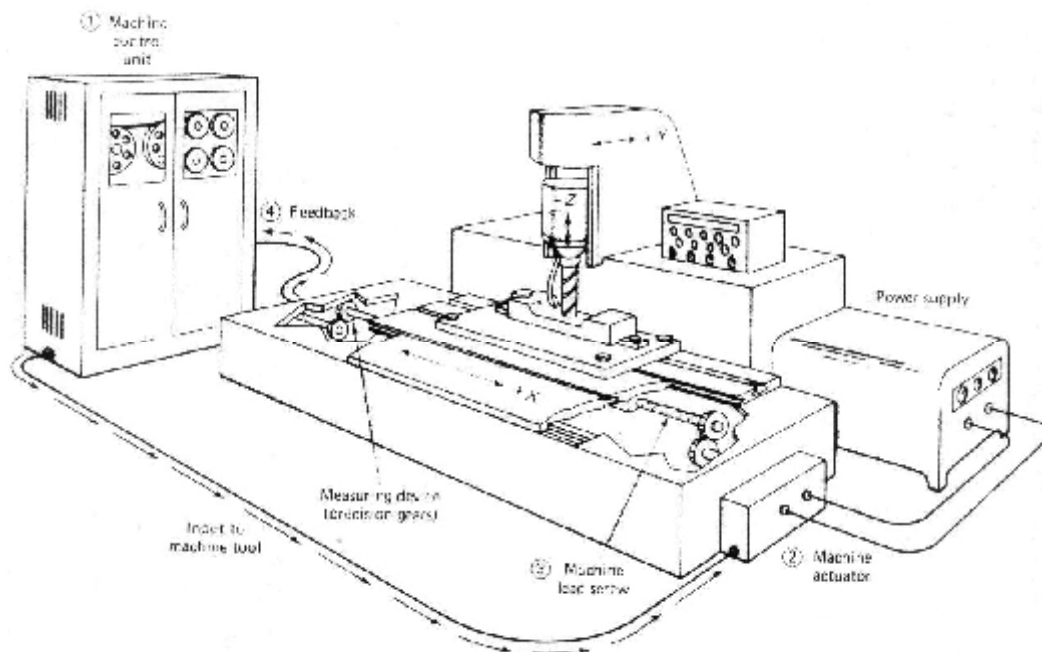


شکل ۶-۴- ماشین فرز N-C با سیستم مدار باز

۲- سیستم‌های مدار بسته

این سیستم‌ها طوری طراحی شده‌اند که قادرند اطلاعات محیط خارجی خود را به کمک واحدهای تشخیص‌دهنده سنسورها (واحد حس‌کننده) نمونه برداری نموده و متناسب با این پارامترهای سنجیده شده تصمیم‌گیری نمایند. به عبارت دیگر واحدهای مدار سیستم‌های فهمی (با شعوری) هستند که بر مبنای موقعیت‌ها و شرایط لحظه‌ای قادر به تصمیم‌گیری

می‌باشند. مشخصه بارز این سیستم داشتن حافظه و یا محلی برای ذخیره کردن اطلاعات نمونه برداری شده و مراحل انجام داده شده می‌باشد تا با استفاده از این اطلاعات بتواند متناسب با شرایط موجود تصمیم‌گیری نماید.



شکل ۷-۴- یک نوع ماشین فرز عمودی N-C با سیستم مدار بسته

در سیستم‌های مدار بسته به علت ارتباط بین تمام قسمت‌های مختلف سیستم امکان ارتباط اطلاعات بین قسمت‌های مختلف ماشین وجود دارد و به این وسیله امکان تصمیم‌گیری بر مبنای اطلاعات موجود ممکن و میسر می‌گردد.

نمونه سیستم‌های مدار بسته کنترل کوره‌های حرارتی، ماشین‌های فتوکپی و مهم‌تر از همه انسان‌ها می‌باشد. به عنوان مثال در سیستم کوره اگر درجه حرارت مورد نظر ۲۰۰۰ درجه باشد دکمه تنظیم کنترل دمایی کوره بر روی عدد ۲۰۰۰ قرار می‌گیرد این عدد در حافظه کنترل

کوره ذخیره می‌گردد. واحد کنترل‌کننده فرمانی به قسمت حرارت‌زاد صادر نموده و باعث روشن شدن کوره می‌گردد.

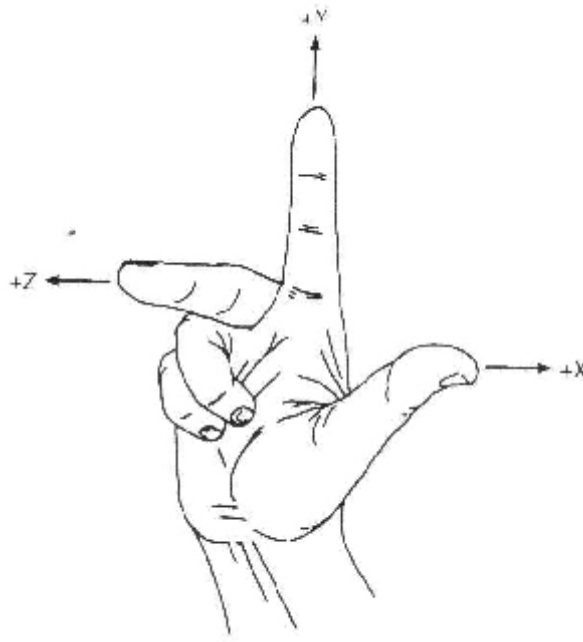
نامگذاری محورها و جهت حرکت

تمامی ماشین‌های کنترل عددی برای جهت حرکت و نامگذاری محورها از استاندارد مشابهی استفاده می‌نمایند. همان گونه که ذکر شد استاندارد استفاده شده در تعیین محورها و جهت حرکت‌های استاندارد EIA RS274 می‌باشد.

در این استاندارد سیستم مختصات و جهت حرکت‌ها به نوعی تعریف می‌شود که شخص استفاده‌کننده دیگر نگران این موضوع نباشد که قطعه‌کار به ابزار نزدیک می‌شود و یا ابزار به قطعه‌کار نزدیک می‌شود. ماشین‌های ابزار مختلف دارای حرکت‌های مختلفی نیز می‌باشند ولیکن اغلب از یک نوع سیستم مختصات استفاده می‌کنند.

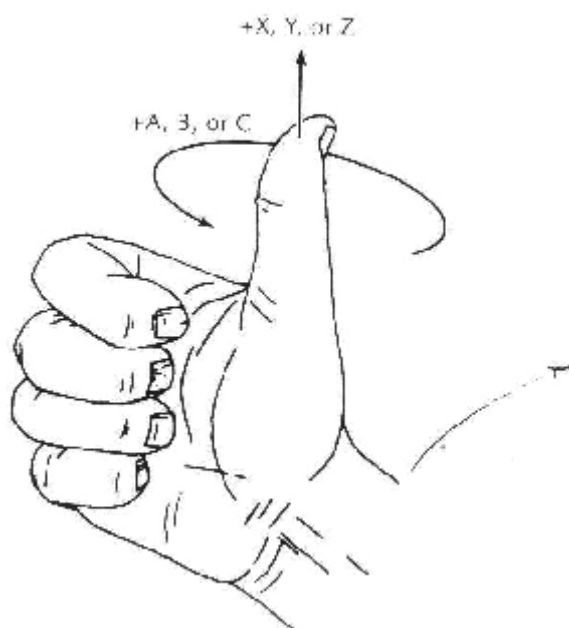
قانون دست راست برای تعیین مختصات

بر طبق استاندارد EIA RS274 ماشین‌های کنترل عددی از قانون دست راست (شکل ۸-۴) برای تعیین مختصات و جهت محورها استفاده می‌کنند. بر اساس این سیستم و همان گونه که در شکل نشان داده شده است، انگشتان دست راست را به گونه‌ای نگه می‌داریم که انگشت شصت وسطی و انگشت اشاره بر یکدیگر عمود باشند.



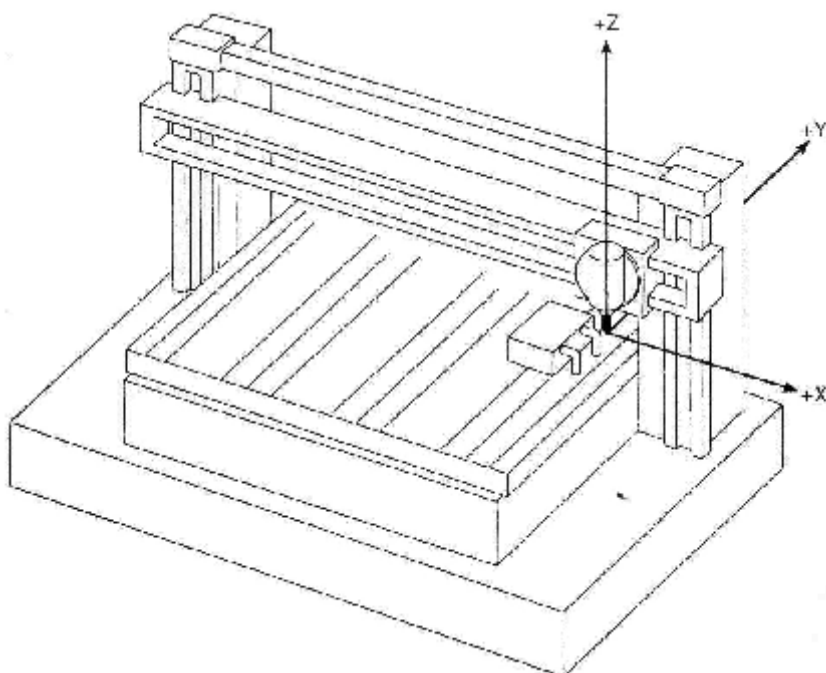
شکل ۸-۴- قانون دست راست برای تعیین محورها و مختصات

در این حالت محل برخورد سه انگشت نشان‌دهنده مرجع مختصات می‌باشد. هرگاه انگشت شصت به سوی مثبت محورها x ها باشد، انگشت اشاره از سوی مثبت محور y ها و انگشت وسطی سوی مثبت محور z ها را نشان خواهد داد. جهت هر انگشت در این حالت نشان‌دهنده حرکت مثبت در سوی مربوطه می‌باشد. محور اسپیندل اصلی معمولاً محور z ها انتخاب می‌گردد و جهت مثبت آن به سمت داخل اسپیندل می‌باشد. محل برخورد سه انگشت نشان‌دهنده مرجع است و با Xo, Yo, Zo نشان داده می‌شود. برای نشان دادن جهت محور دوران باید مطابق شکل ۹-۴، چهار انگشت را در جهت دوران ببندیم در این حالت انگشت شصت راست نشان‌دهنده سوی مثبت محور دوران می‌باشد.

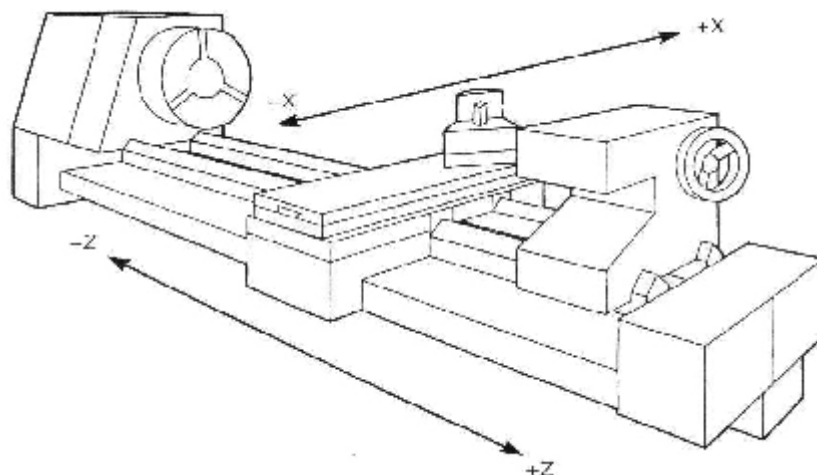


شکل ۴-۹- تعیین محور دوران و جهت مثبت دوران

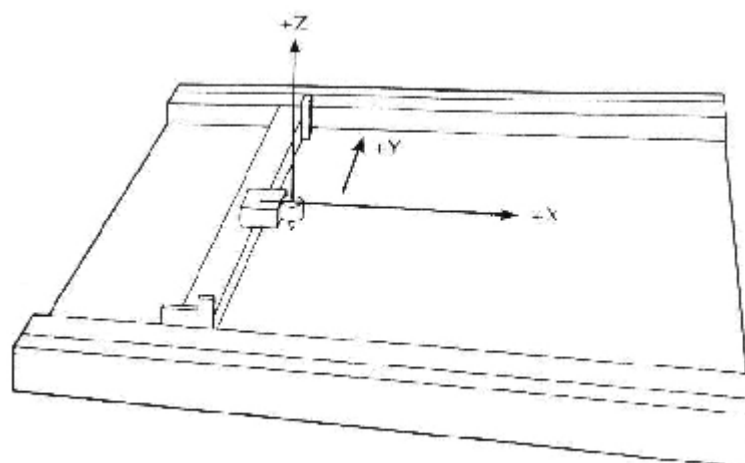
شکل‌های ۴-۱۰ تا ۴-۱۲ مثال‌هایی برای نشان دادن محورهای مختصات در ماشین‌های مختلف (ماشین فرز، ماشین تراش و پلاتر) می‌باشند.



شکل ۴-۱۰- سوی مثبت محورهای مختصات برای ماشین کنترل عدد فرز



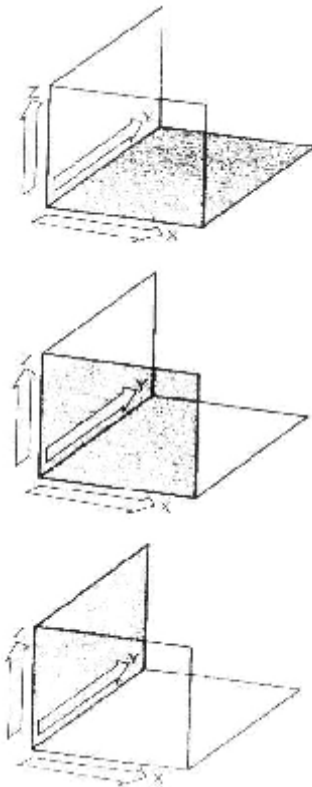
شکل ۴-۱۱- نام‌گذاری محوره‌ای مختصات برای ماشین کنترل عددی تراش



شکل ۴-۱۲- سوی مثبت محوره‌ای مختصات برای نوعی پلاتر

اساس ماشین‌های فرز CNC

در استاندارد مربوط به ماشین‌های CNC دو نوع مختصات وجود دارد. مختصات نوع اول، مختصات مطلق و مختصات نوع دوم مختصات نسبی نام دارند. در مختصات مطلق، مختصات يك نقطه نسبت به نقطه مرجع با مختصات Xo, Yo, Zo سنجیده می‌شوند ولیکن در مختصات نسبی، مختصات يك نقطه نسبت نقطه‌ای دیگر به غیر از نقطه مرجع سنجیده می‌شود.

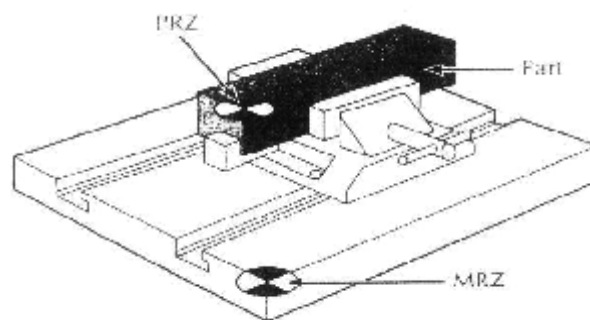


شکل ۱۳-۴- نمایش صفحات و محوره‌ای اصلی در سیستم مختصات کارتزین

همان گونه که در شکل ۱۳-۴، نشان داده شده است در سیستم مختصات کارتزین سه صفحه اصلی وجود دارد. این سه صفحه به ترتیب YZ, XZ, XY نام دارند. در استاندارد ماشین‌های CNC همچنین دو نقطه مرجع وجود دارد. نقطه مرجع اول نقطه مرجع ماشین یا MRZ نام

دارد و نقطه مرجع دوم نقطه مرجع قطعه‌کار یا PRZ نام دارد.

همان گونه که در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است نقطه مرجع ماشین، گوشه پایین سمت چپ میز کار و نقطه مرجع قطعه کار گوشه پایین سمت چپ سطح بالایی قطعه می‌باشد.



شکل ۴-۱۴- نقطه مرجع ماشین و نقطه مرجع قطعه‌کار

در محاسبات لازم برای ماشین فرز CNC بهتر است نقطه مرجع را همان نقطه مرجع قطعه‌کار یا PRZ انتخاب نمود. این طرز انتخاب مزایای زیر را در بر خواهد داشت:

- ۱- راحتی استفاده در سیستم‌های CAD/CAM
- ۲- پیدا کردن گوشه پایین سمت چپ قطعه کار به راحتی امکان‌پذیر است.
- ۳- در این حالت تمام Z های منفی در زیر سطوح بالایی قطعه کار خواهند بود.

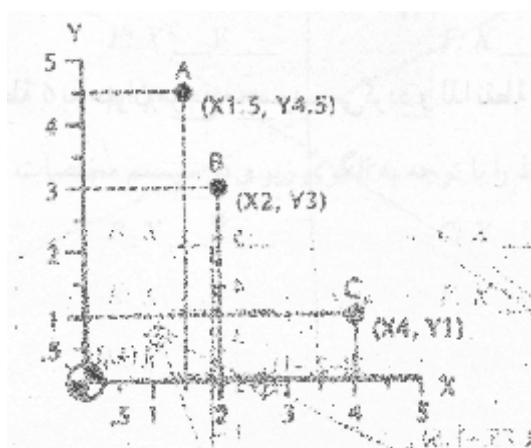
سیستم مختصات مطلق در ماشین‌های فرز CNC

در سیستم مختصات مطلق، مبداء به عنوان نقطه مرجع انتخاب می‌گردد. این طرز انتخاب به این معناست که X,Y,Z نقاط را می‌توان با داشتن فاصله آنها از مرجع مشخص نمود.

در این سیستم مختصات نقاط به صورت $(X(+)(-), Y(+)(-), Z(+)(-))$ نشان داده می‌شوند برای مثال می‌توان نوشت: $(X3.25, Y-7.5, Z-0.5)$.

با توجه به شکل ۱۵-۴ مختصات نقطه‌های A, B, C بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

نقطه A: این نقطه دارای X برابر با 1.5 و Y برابر با 4.5 نسبت به نقطه مرجع می‌باشد. $(X1.5, Y4.5)$
 نقطه B: این نقطه دارای X برابر ۲ و Y برابر ۳ واحد نسبت به نقطه مرجع می‌باشد. $(X2, Y3)$
 نقطه C: این نقطه دارای X برابر ۴ برابر و Y برابر با ۱ نسبت به نقطه مرجع می‌باشد. $(X4, Y1)$



شکل ۱۵-۴ مختصات نقاط در سیستم مختصات مطلق

سیستم مختصات نسبی در ماشین‌های فرز CNC

در این سیستم، مختصات هر نقطه در حرکت ابزار (لازم به یاد آوری است که ماشین‌های فرز CNC قطعه کار ثابت و ابزار براده برداری متحرک است) نسبت به نقطه قبل از خود سنجیده می‌شود. این بدان معناست که هر نقطه بعد از خود به عنوان مرجع محسور می‌گردد.

برای مشخص شدن این مطلب فرض کنید که در شکل ۲-9 ابزار ماشین فرز از نقطه مرجع به ترتیب به نقاط

۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ حرکت نموده است. در این حالت مختصات نقاط نسبت به یکدیگر به ترتیب زیر خواهد بود:

نقطه ۱ : مختصات این نقطه نسبت به اولین نقطه (نقطه مرجع) برابر است با $(X1, Y3)$.

نقطه ۲ : در این حالت هر گاه نقطه ۱ به عنوان مرجع محسوب گردد مختصات نقطه ۲ نسبت به نقطه ۱ برابر خواهد بود با $X=-2, Y=-1$ و لذا آن را چنین نمایش می‌دهیم: $2(X-2, Y-1)$.

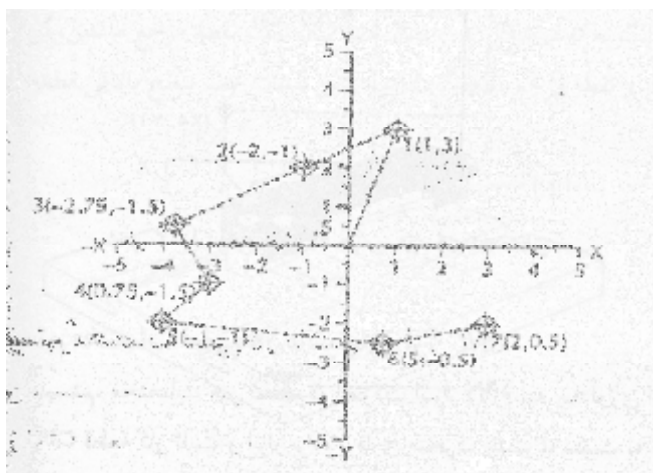
نقطه ۳ : در این حالت نقطه ۲ به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و مختصات نقطه ۳ نسبت به نقطه ۲ برابر خواهند بود با $X=-2.75, Y=-1.5$ و لذا نقطه ۳ را چنین نمایش می‌دهیم: $3(X-2.75, Y-1.5)$.

نقطه ۴ : در این حالت نقطه ۳ به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و لذا نقطه ۴ را چنین نمایش می‌دهیم: $4(X+0.75, Y-1.5)$.

نقطه ۵ : در این حالت نقطه ۴ به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و لذا نقطه ۵ را چنین نمایش می‌دهیم: $(X-1, Y-1)$.

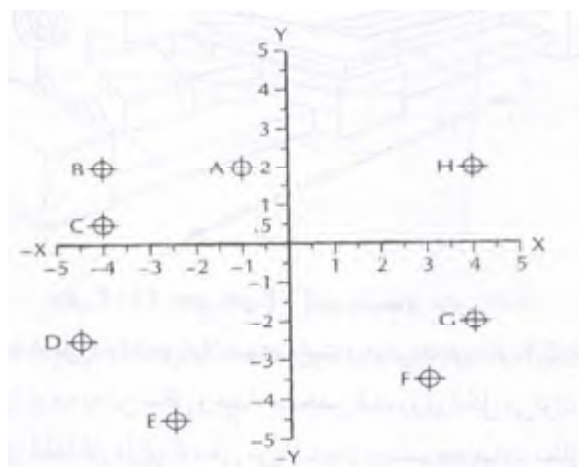
نقطه ۶ : در این حالت نقطه ۵ به عنوان مرجع محسوب می‌شود و لذا نقطه ۶ را چنین نمایش می‌دهیم: $(X+5, Y-0.5)$.

نقطه ۷ : در این حالت نقطه ۶ به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و لذا نقطه ۷ را چنین نمایش داده می‌شود: $7(X+2, Y-0.5)$.



شکل ۴-۱۶- مختصات یک سری از نقاط در سیستم مختصات نسبی

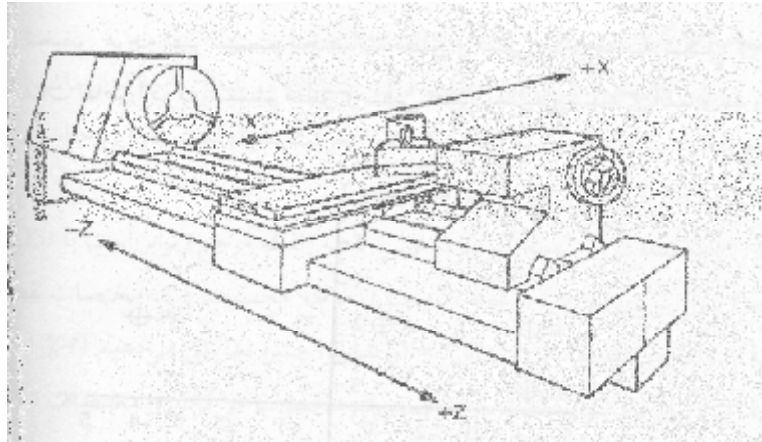
برای تشخیص هر چه بهتر سیستم مختصات مطلق و نسبی با توجه به شکل ۴-۱۷ می‌توانید مختصات نقاط را در دو سیستم مطلق و نسبی تعیین نمائید و بندهای الف و ب را پر نمائید.



شکل ۴-۱۷- مختصات یک سری از نقاط جهت تمرین

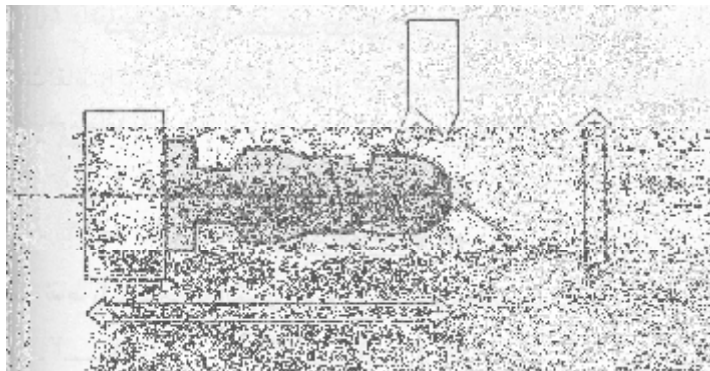
اساس ماشینهای تراش CNC

در ماشینهای تراش CNC عموماً از دو محور Z, X همانند آنچه در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است استفاده می‌گردد. در این گونه ماشینها محور Z به عنوان محور اولیه (افقی) و محور X بعنوان محور ثانویه (عمودی) شناخته میشود.



شکل ۱۸-۴- محوره‌ای Z,X در ماشین‌های تراش CNC

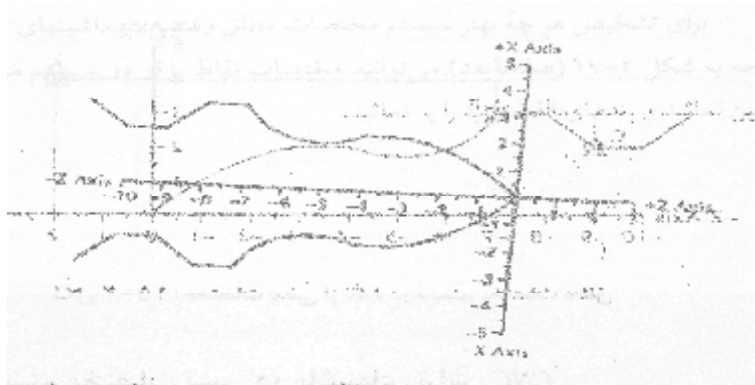
با توجه به شکل ۱۹-۴ می‌توان سویی مثبت و منفی محوره‌ای Z,X را نسبت به قطعه کار تشخیص داد با توجه به این شکل و مبداء مشخص شده روی شکل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تمام نقاط روی قطعه کار دارای Z منفی می‌باشد. (در سیستم مختصات مطلق)



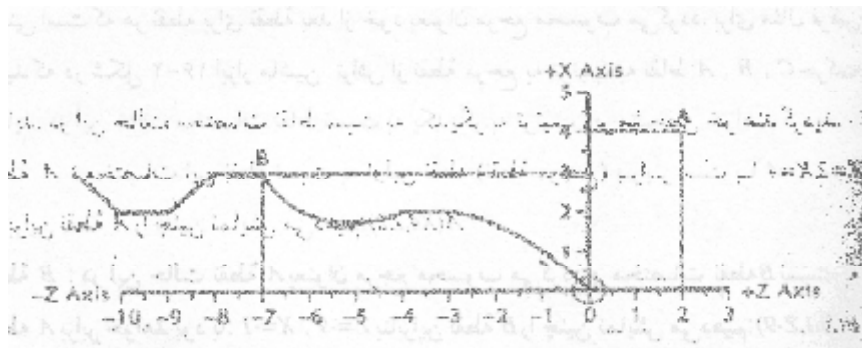
شکل ۱۹-۴- سویی مثبت و منفی محوره‌ای اولیه و ثانویه نسبت به قطعه کار

از آنجا که قطعاتی که توسط ماشین تراش CNC ساخته می‌شوند نسبت به محور Z ها تقارن دارند. لازم نیست هر چهار ناحیه‌ای که از برخورد محور X ها بوجود می‌آید، برای تعیین مختصات نقاط یک قطعه مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت تنها از سویی مثبت محور X ها و سویی منفی محور Z ها برای نمایش مختصات نقاط جسم استفاده می‌شود.

شکل ۴-۲۰ نشان دهنده حالي است که چهار ناحیه برای تعیین مختصات نقاط روی قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد و شکل ۴-۲۱ نشان دهنده حالي است که تنها دو ناحیه برای تعیین مختصات نقاط روی قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۲۰- حالي که هر چهار ناحیه برای تعیین مختصات نقاط استفاده می‌شود. (توصیه نمی‌گردد)

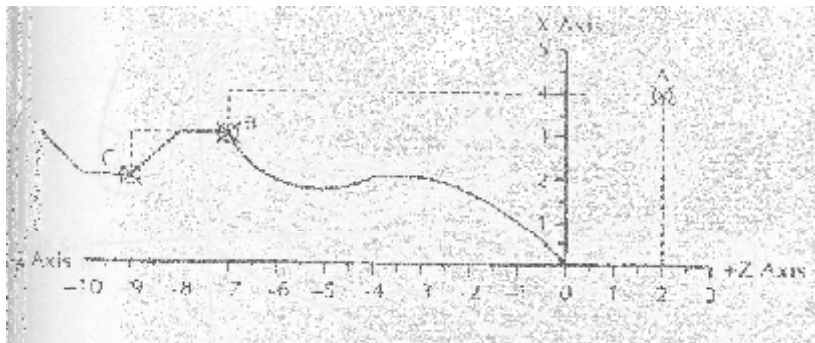


شکل ۴-۲۱- حالي که دو ناحیه برای تعیین مختصات نقاط استفاده می‌شود. (توصیه می‌گردد)

توجه داشته باشید که در هر دو حالت نقطه مرجع جسم PRZ در مرکز و در انتها الیه سمت راست قطعه قرار می‌گیرد. به خاطر داشته باشید که طرز تعیین مرجع جسم در این حالت با حالي که ماشین فرز CNC مورد استفاده قرار می‌گیرد، فرق اساسی دارد.

سیستم مختصات مطلق در ماشین‌های تراش CNC

در این سیستم مبدا مختصات (محل برخورد محورهای X,Z) به عنوان نقطه مرجع انتخاب می‌گردد و X,Z تمامی نقاط قزعه نسبت به نقطه مرجع (X0, Z0) سنجیده و نشان داده خواهند شد. برای مثال با توجه به شکل ۴-۲۲ واضح است که مختصات نقطه A برابر است با $A(X4, Z2)$ و مختصات نقطه B برابر است با $B(X3, Z-7)$ و مختصات نقطه C برابر است با $C(X2, Z9)$



شکل ۴-۲۲- مختصات بعضی از نقاط در سیستم مختصات مطلق

سیستم مختصات نسبی در ماشین‌های تراش CNC

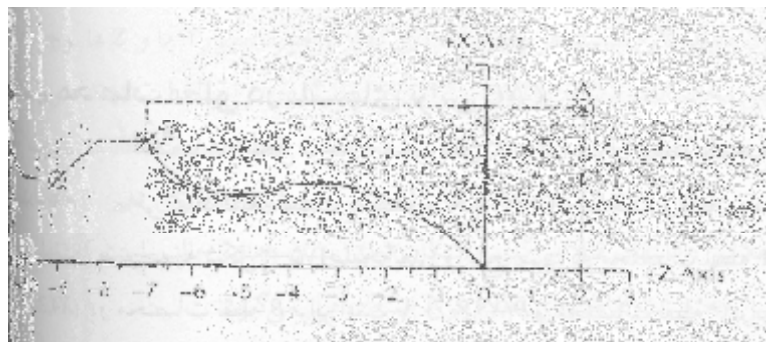
در این سیستم مختصات هر نقطه نسبت به نقطه قبل از خود سنجیده می‌شود. این بدان معنی است که هر نقطه برای نقطه بعد از خود به عنوان مرجع محسوب می‌گردد. برای مثال فرض کنید که در شکل ۴-۲۳ ابزار ماشین تراش از نقطه مرجع به ترتیب به نقاط A, B, C حرکت نماید. در این حالت مختصات نقاط نسبت به یکدیگر به ترتیب زیر مشخص خواهند گردید.

نقطه A : مختصات این نقطه نسبت به اولین نقطه (نقطه مرجع) برابر است با $Z=2, X=4$ بنابراین نقطه A را چنین نمایش می‌دهیم: $A(X4, Z2)$.

نقطه B : در این حالت نقطه A به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و مختصات نقطه B نسبت به نقطه A برابر

خواهد بود با $Z=-9, X=-1$ بنابراین نقطه B را چنین نمایش می‌دهیم: $B(X-1, Z-9)$.

نقطه C: در این حالت نقطه B به عنوان مرجع محسوب می‌گردد و مختصات نقطه C نسبت به نقطه B (مرجع جدید) برابر خواهد بود با: $Z=-2, X=-1$ و لذا نقطه C را در این سیستم مختصات چنین نمایش می‌دهیم: $C(X-1, Z-2)$



شکل ۴-۲۳- مختصات تعدادی از نقاط در سیستم مختصات

فصل پنجم: برنامه‌نویسی ماشین‌های تراش و فرز CNC

زبان‌های عمده برنامه‌نویسی ماشین‌های افزار

زبان‌های عمده برنامه‌نویسی برای ماشین‌های افزار
به صورت زیر تقسیم می‌شود:

- ۱- زبان برنامه‌نویسی ^{APT} (Automatically Programmed tool)
- ۲- زبان برنامه‌نویسی ^{NEL} (National Engineering Laboratory) ^{APT}
- ۳- زبان برنامه‌نویسی ^{2CL} (2 Continue Linear)
- ۴- زبان برنامه‌نویسی PC APT
- ۵- زبان برنامه‌نویسی ^{AD APT} (Adaptation of APT)
- ۶- زبان برنامه‌نویسی ^{Miturn} (Metal Reserch Instite turning)
- ۷- زبان برنامه‌نویسی BATCHCURVE
- ۸- زبان برنامه‌نویسی AUTOSPOT
- ۹- زبان برنامه‌نویسی Compact

۱- زبان برنامه‌نویسی APT

APT مادر خیلی از زبان‌های دیگر است و از آن می‌توان روی همه انواع ماشین‌های ابزار استفاده کرد. APT می‌تواند برای قطعات سه بعدی، قطعاتی با سطوح و با معادله مشخصی نظیر استوانه- هذلولی- مخروط- سطوح بیضوی- سطوح سهمی و غیره بکار رود. APT همچنین قادر است ماشین‌های افزار با پنج محور را کنترل نماید و لی برنامه لازم را فقط می‌توان روی کامپیوترهای بسیار بزرگ وارد ساخت. از این رو استفاده کنندگان APT بایستی به یک کامپیوتر بزرگ دسترسی داشته باشند.

۲- زبان برنامه‌نویسی NEL APT

NEL APT یک زبان شبیه به APT ولی کوچکتر از آن است که توسط آزمایشگاه مهندسی ملی انگلستان (National Engineering Laboratory) ایجاد شد. برنامه این زبان

کوچکتر از APT بوده و می‌توان آن را به کامپیوترهای متوسط وارد ساخت.

۳- زبان برنامه‌نویسی 2CL

این زبان برای مصرف در ماشین‌های افزار NC و CNC در آمریکا و انگلستان بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. طریقه برنامه‌نویسی شبیه برنامه‌نویسی APT می‌باشد.

۴- زبان برنامه‌نویسی PC APT

۵- زبان برنامه‌نویسی AD APT

به زبانی شبیه APT نوشته می‌شود ولی برای کارهای دو بعدی و بعضی انواع کارهای سه به زبانی مناسب است. برنامه لازم برای این زبان را می‌توان روی کامپیوترهای متوسط وارد ساخت. بسیاری از تولید کنندگان کامپیوتر هر کدام برای خود نوعی AD APT ایجاد کرده اند.

۶- زبان برنامه‌نویسی Miturn

زبانی است که در هلند درست شده و برای ماشین‌های تراش NC و CNC می‌باشد.

۷- زبان برنامه‌نویسی BATCHCURVE

زبانی است که برای تولید نوارهای کنترل ماشین‌های تراش طرح شده است.

۸- زبان برنامه‌نویسی AUTOSPOT

عبارت است از یک برنامه کامپیوتری برای تعیین موقعیت ابزار. از این برنامه می‌توان به خوبی برای سوراخکاری و قلاویز کاری و برقوزنی یک دسته سوراخ که تکرار می‌شوند، استفاده کرد.

۹- زبان برنامه‌نویسی Compact

Compact یک زبان کارگاهی است که برای ماشین‌های NC و CNC با ۲ و ۳ و ۴ و ۵ محور طرح شده است. مزیت عمده‌ی آن این است که این برنامه را می‌توان روی کامپیوترهای کوچک نظیر PC کامپیوتر هم وارد ساخت. برنامه‌نویسی با این زبان ساده است. برنامه‌نویسی با ماشین‌های تراش و فرز EMCO با زبان Compact ورژن‌های ۵ و ۱۱ و ۸۵۰ و بر اساس استاندارد DIN 66025 عمل می‌نمایند.

تعریف رفرنس (Refrence)

معرفی کلیه محورهای متحرک ماشین نسبت به یک نقطه ثابت به نام نقطه صفر ماشین Refrence گفته می‌شود.

نحوه Refrence

رفرنس در ماشین‌های افزار به دو صورت انجام می‌شود:

۱- رفرنس به صورت اتوماتیک

با فشردن یک یا چند کلید فرمان رفرنس صادر و اجرا می‌شود مانند فرز EMCO.

۲- رفرنس به صورت نیمه‌اتوماتیک

ابتدا محورهای متحرک را در یک نقطه قرار داده و سپس فرمان رفرنس صادر می‌شود مثل تراش EMCO.

عملگردها یا مودهای اصلی ماشین‌های تراش و فرز CNC

مودهای اصلی ماشین‌های تراش و فرز CNC به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

- 1- EDIT
- 2- Manual
- 3- Execute
- 4- Automatic

وظایف مودها

۱- مود *Manual*

جهت رفرنس رفتن و حرکت دادن محورها به روش دستی و روشن نمودن اسپیندل در جهت موافق یا مخالف حرکت عقربه‌های ساعت از این مود استفاده می‌شود.

۲- مود یا عملگر *EDIT*

جهت نوشتن برنامه، ویرایش برنامه، انتقال نقاط مرجع، اطلاعات مربوط به ابزار، وارد نمودن برنامه از دستگاه‌های جانبی دیگر مانند کامپیوتر، کاست، نوارخوان و ... از این مود استفاده می‌شود.

۳- مود *Execute*

جهت نوشتن برنامه یک خطی و اجرای آن برنامه از این مود استفاده می‌شود.

۴- مود *Automatic*

جهت اجرای برنامه به صورت یک خطی (Single) یا کلی به همراه پرش خطوط برنامه از این مود استفاده می‌شود.

نکات ایمنی در برنامه‌نویسی و اپراتوری ماشین‌های CNC

- ۱- قبل از اجرای برنامه نوشته شده روی ماشین و با قطعه کار اصلی، برنامه نوشته شده چک شود.
- ۲- ابزار و تجهیزات مناسب با جنس قطعه کار انتخاب شود.
- ۳- از برخورد ابزار در حرکت سریع جلوگیری شود.
- ۴- سرعت‌های پیشروی و برشی مناسب جهت تراشیدن قطعات انتخاب شود.
- ۵- تعویض ابزار در فاصله دوری از سه نظام انجام شود.
- ۶- در هنگام استفاده از ابزار شیار تراشی در تراش CNC حتما سرعت کاهش یابد و حتی‌الامکان از مرغک استفاده شود.

۷- از مواد خنک‌کننده استفاده شود.

۸- دستگاه به موقع سرویس شود.

کاربرد ریاضیات در برنامه‌نویسی

دایره

دایره مکان‌هندسی نقاطی از صفحه است که از یک نقطه ثابت واقع در آن صفحه به یک فاصله باشد. نقطه ثابت را مرکز و مقدار ثابت را شعاع دایره گویند.

شعاع دایره $OA = R =$

قطر دایره $AB = 2R =$

وتری از دایره $\overline{CD} =$

کمانی از دایره $\widehat{CD} =$

۱- اگر دو وتر مساوی باشند کمان‌های آنها هم مساویند و یا برعکس.

۲- اگر دو وتر از مرکز به یک فاصله باشند مساویند و یا برعکس

۳- قطر عمود بر وتر، و ترو کمان مقابلش را نصف می‌کند.

مساحت و محیط دایره

مساحت دایره $= \pi R^2$

محیط دایره $= 2\pi R = \pi D$

که R شعاع و D قطر دایره می‌باشد.

قطاع دایره

سطح بین دو شعاع دایره را قطاع دایره گویند.

مساحت قطاع برابر است با:

$$S = \pi R^2 \times \frac{\alpha}{360}$$

که R شعاع دایره و α زاویه قطاع می‌باشد.

رابطه فیثاغورث

در مثلث قائم الزاویه شکل زیر داریم:

$$C^2 = a^2 + b^2$$

$$a = c \times \cos \alpha$$

$$b = c \times \sin \alpha$$

$$\frac{a}{\sin \gamma} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \alpha}$$

قانون تشابه در مثلث

هرگاه خطی موازی یک ضلع مثلثی رسم شود دو ضلع دیگر را به یک نسبت قطع می‌کند.
اگر داشته باشیم:

$$DE \parallel BC$$

خواهیم داشت:

$$\frac{DE}{BC} = \frac{AE}{AC} = \frac{AD}{AB}, \frac{AE}{EC} = \frac{AD}{DB}$$

وقتی دو مثلث را متشابه گویند که:

۱- دو زاویه از یک مثلث برابر دو زاویه از مثلث دیگر باشد.

۲- دو ضلع از یک مثلث با دو ضلع مثلث دیگر متناسب و زوایای بین آنها برابر باشند.

۳- سه ضلع مثلث متناسب باشند.

مخروط

مخروط بامشخصات زیر را در نظر بگیرید:

قطر بزرگ مخروط $D =$

قطر کوچک مخروط $d =$

طول مخروط $L =$

زاویه مخروط $\alpha =$

زاویه تراشکاری مخروط $\alpha/2 =$

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L}$$

کلیات برنامه‌نویسی مقدمه

قبل از ورود به بحث برنامه‌نویسی CNC شخص برنامه‌نویس باید يك دید كلي نسبت به مراحل ساخت قطعه و عملیات لازم برای این کار داشته باشد. مراحل لازم برای تولید يك قطعه با استفاده از ماشین CNC به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- ترسیم نقشه قطعه
- ۲- تصمیم‌گیری در مورد انتخاب نوع ماشین لازم برای تولید قطعه
- ۳- انتخاب ابزار مناسب
- ۴- تصمیم‌گیری در مورد ترتیب زمانی عملیات مختلف بر روی قطعه
- ۵- انجام عملیاتی ریاضی برای وارد نمودن مختصات قطعه به کامپیوتر
- ۶- محاسبات مربوط به سرعت دوران ابزار یا قطعه و نیز محاسبه نرخ تغذیه ابزار براده‌برداری
- ۷- نوشتن برنامه کامپیوتری CNC
- ۸- تهیه نقشه مقدماتی و لیست قطعات
- ۹- وارد نمودن برنامه کامپیوتری در داخل ماشین
- ۱۰- امتحان برنامه
- ۱۱- تولید قطعه به وسیله اجرای برنامه کامپیوتری در صورت عدم‌نیاز به تغییرات از مهم‌ترین موارد لازم برای يك قطعه با استفاده از CNC نوشتن برنامه کامپیوتری CNC می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد.

آماده نمودن برنامه

يك برنامه کامپیوتری لیستی از فرمان‌های مختلف می‌باشد که این فرمان‌ها برای ماشین CNC قابل فهم

بوده و استفاده‌کننده می‌تواند با وارد کردن این برنامه به ماشین CNC اهداف مورد نظر خود را برآورده سازد. فرمان‌های مختلف در ماشین‌های CNC به صورت کدهای مخصوص می‌باشند. این کدها تمامی اطلاعات مربوط به فرمان مورد نظر را شامل می‌شوند. کدهای CNC باید در يك بلوك يا خط مجزا توسط برنامه‌نویس به ماشین CNC وارد شوند.

کدهای CNC

در تمامی ماشین‌های CNC اعم از فرز و تراش دو نوع کد اصلی وجود دارد. این کدهای اصلی کدهای G و کدهای M نام دارند. کدهای G توابع مقدماتی می‌باشند که در بر گیرنده حرکتهای واقعی ابزار کار (ابزار براده‌برداری) ماشین CNC می‌باشند. از جمله این حرکات واقعی می‌توان به حرکت سریع، حرکت در ضمن براده‌برداری، حرکت شعاعی همراه با براده‌برداری و ... اشاره نمود.

کدهای M توابع گوناگونی را شامل می‌شوند که در بردارنده فعالیت‌های لازم برای انجام عملیات ماشین‌کاری می‌باشند ولیکن این نوع کدها هیچگونه حرکت ابزار کار را تولید نمی‌نمایند. از جمله فعالیت‌های که توسط کدهای M صورت می‌گیرد می‌تواند به موارد زیر اشاره نمود.

خاموش و روشن شدن اسپیندل، تعویض ابزار، خنک کاری یا عدم خنک کاری، قطع شدن برنامه و ... پس از حرف G یا M در هر کدام از کدهای G, M اعداد يك رقمی یا دو رقمی نیز می‌آیند که نشان دهنده عملیات خاص مربوط به هر کدام می‌باشند.

لازم به ذکر است که در برنامه‌نویسی CNC اعداد يك رقمی را نیز باید با اضافه نمودن يك صفر به سمت چپ

آنها تبدیل به اعداد دو رقمی نمود. به غیر از حروف G, M که نشان دهنده کدهای اصلی مورد نظر برای عملیات CNC می‌باشند از حرفهای دیگری نیز برای يك برنامه کامل CNC استفاده می‌شود. این حرفها به شرح زیر می‌باشند:

N : شروع هر خط و نشان دهنده شماره خط مورد نظر

X : مختصات محور Xها

Y : مختصات محور Yها

Z : مختصات محور Zها

I : نشان دهنده X مربوط به مرکز کمان در براده‌برداریهای دایره‌ای

J : نشان دهنده Yها مربوط به مرکز کمان در براده‌برداریهای دایره‌ای

K : نشان دهنده Zها مربوط به مرکز کمان در براده‌برداریهای دایره‌ای

S : تنظیم سرعت دورانی اسپیندل

F : تنظیم نرخ براده‌برداری

T : مشخص نمودن نوع ابزار براده‌برداری

در تمامی برنامه‌های CNC بایستی نکات زیر را مورد توجه خاص قرار داد:

۱- بایستی سیستم مختصات و واحدها را به طور مناسب انتخاب نمود (مثلا سیستم مختصات مطلق و واحدها بر حسب میلیمتر).

۲- بایستی نرخ براده‌برداری و سرعت دوران اسپیندل را با توجه به تجربه با جداول مربوطه به طرز مناسب استخراج نمود.

سه فاز اصلی برنامه‌های کامپیوتری CNC

هر برنامه CNC دارای سه فاز اصلی می‌باشد که عبارتند از:

- ۱- فاز ابتدائی یا فاز تنظیمات
 - ۲- فاز میانی یا فاز حرکات و جابجائی
 - ۳- فاز انتهائی یا فاز خاموش شدن سیستم
- در ادامه با توجه به برنامه زیر این سه فاز با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار خواهیم داد.

%

:1001

N5 G90 G20

N10 M06 T2

N15 M03 S1200

N20 G00 X1 Y1

N25 Z0.125

N30 G01 Z-0.125 F5

N35 G01 X2 Y2

N40 G00 Z1

N45 X0 Y0

N50 M05

N55 M30

الف) فاز ابتدائی یا فاز تنظیمات

فاز ابتدائی این برنامه شامل خطوط زیر می‌باشد:

%

1001

N5 G90 G20

N10 M06 T2

N15 M03 S1200

تفسیر خطوط مربوط به این فاز به شرح زیر می‌باشد:

% : این علامت پرچم شروع برنامه است.
1001 : این عبارت نشان دهنده شماره برنامه می‌باشد.

N5 : در این خط از برنامه نوع سیستم مختصات و واحد آن مشخص‌گرفته است (در مورد کدهای سیستم مختصات و واحد آن در آینده بیشتر خواهیم دانست).
N10 : در این خط از برنامه ابزار براده‌برداری با کد #2 استفاده گردیده است.

N15 : این خط نشان دهنده دوران اسپندل ماشین فرز یا سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه و در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد.

در مورد فاز ابتدایی یا فاز تنظیمات هر برنامه CNC نکات زیر بایستی حتما مد نظر قرار گیرند:
۱- فاز ابتدایی هر برنامه با یک پرچم شروع می‌گردد.

۲- در فاز ابتدایی برنامه شماره‌ای چهار رقمی (از صفر تا ۹۹۹۹) به برنامه اختصاص می‌یابد.

۳- خطوط بعدی این فاز به ترتیب نشان دهنده نوع سیستم مختصات و واحد آن، نوع ابزار براده‌برداری و سرعت دوران اسپندل دستگاه می‌باشند.

۴- توجه داشته باشید که در فاز ابتدایی شماره گذاری از خط سوم شروع گردیده است و دو خط ابتدایی برنامه همیشه بدون شماره خط می‌باشند.

۵- در این برنامه شماره هر خط نسبت به خط قبلی ۵ واحد اضافه شده ولیکن برنامه نویس می‌تواند از اعداد ۱۰ تا ۱ نیز برای این کار استفاده نماید.

۶- فاز ابتدایی برنامه حاوی تمامی اطلاعاتی است که ماشین را برای انجام عملیات مورد نظر آماده می‌نماید. این فاز ممکن است حاوی اطلاعات اضافی دیگری نظیر استفاده از سیستم خنک‌کن دستگاه، توقف برای تعویض ابزار، بی اثر کردن فرمانهای دیگر و ... نیز باشد.

(ب) فاز میانی یا فاز حرکتها

فاز میانی این برنامه شامل خطوط زیر می‌باشد:

N20 G00 X1 Y1

N25 Z0.125

N30 G01 Z-0.125 F5

N35 G01 X2 Y2

N40 G00 Z1

N45 X0 Y0

تفسیر خطوط مربوط به این فاز به شرح زیر می‌باشد:
N20 : در این خط از برنامه ابزار براده‌برداری حرکت سریعی را از نقطه مرجع شروع کرده و به نقطه (X1,Y1,Z1) می‌رسد. لازم به ذکر است که همیشه در ماشینهای فرز CNC نقطه شروع نقطه‌ای با مختصات (X0,Y0,Z1) می‌باشد.

N25 : در این خط برنامه ابزار براده از نقطه (X1,Y1,Z1) حرکت سریعی را تا نقطه (X1,Y1,Z0.125) انجام میدهد در حقیقت در این خط از برنامه ابزار براده‌برداری ارتفاع را کاهش میدهد تا نزدیک به سطح قطعه برسد.

N30 : در این خط از برنامه ابزار براده با نرخ
۵ اینچ بر دقیقه شروع به براده‌برداری می‌نماید تا
از نقطه (X1,Y1,Z0,125) به نقطه (X1,Y1,Z-0.125) برسد.

N35 : در این خط از برنامه ابزار براده‌برداری
با نرخ ۵ اینچ بر دقیقه شروع به براده‌برداری
می‌نماید تا از نقطه (X1,Y1,Z-0.125) به نقطه (X2,Y2,Z-
0.125) می‌رود.

N45 : در این نقطه از برنامه ابزار براده
برداری از نقطه فعلی (X2,Y2,Z-0.125) با حرکتی سریع به
نقطه (X0,Y0,Z+1) حرکتی سریع را انجام می‌دهد.
در مورد فاز میانی یا فاز حرکتها بایستی توجه
داشت که این فاز از برنامه در برگرفته تمامی
حرکتها اعم از حرکت سریع یا حرکت کند (حرکت همراه
با براده‌برداری) می‌باشد. همچنین این فاز می‌تواند
حاوی اطلاعات مربوط به براده‌برداری دایره ای،
برنامه‌های از پیش نوشته شده (مانند عملیات خان
کشی، برق‌کاری و ...) نیز باشد.

ج) فاز انتهایی

فاز انتهایی این برنامه شامل خطوط زیر می‌باشد:

N50 M05

N55 M30

تفسیر خطوط مربوط به این فاز به شرح زیر می‌باشد:

N50 : این خطوط نشان دهنده خاموش شدن اسپیندل
می‌باشد.

N55 : این خط نشان دهنده پایان برنامه می‌باشد.
در مورد فاز انتهایی برنامه بایستی توجه داشت که
این فاز حاوی تمام کدهایی است که مربوط به اتمام
عملیات ماشین کاری می‌باشد. در این فاز تمامی
دستوراتی که فاز ابتدایی به حالت ON بوده‌اند
تبدیل به حالت OFF می‌شوند.

کدهای قیدی

فرض کنید در یک خط از برنامه از یک نوع کد G استفاده گردد و فرمان اجرا شود، حال اگر در خط بعد از این خط نیز بخواهیم از همان کد G استفاده کنیم به شرطی که کد G مربوطه، یک کد قیدی باشد دیگر لازم به نوشتن آن کد G نمی‌باشد.

برای مثال، فرض کنید لازم است ابزار براده‌برداری ابتدا حرکت سریعی به نقطه $(X1, Y1)$ داشته باشد و سپس همان حرکت سریع را به نقطه Z داشته باشد در این صورت از آنجاکه کد $G00$ یک کد قیدی است می‌توان نوشت:

$N5 \quad G00 \quad X1 \quad Y1$

$N10 \quad Z1$

۱- حرف F اگرچه کد نمی‌باشد ولیکن مانند کد $G00$ رفتاری قیدی از خود نشان می‌دهد. این بدان معنی است که اگر در یک خط از برنامه برای نرخ براده‌برداری عدد خاصی مطرح گردد (مثلاً $F5$) آن‌گاه در خطوط بعدی برنامه تا موقعی که صراحتاً برای نرخ براده برداری عددی خاصی ذکر نگردد از همان نرخ براده‌برداری قبلی استفاده می‌گردد.

۲- تماس ابزار براده‌برداری با قطعه‌کار از زمانی شروع می‌شود که مختصات Z در برنامه منفی اختیار گردد. در این حالت باید بسیار مواظب بود زیرا عملاً با دادن یک فرمان اشتباه در خطوط بعدی برنامه و یا یک حرکت نامناسب ابزار براده‌برداری ممکن است صدمات جبران‌ناپذیری به ماشین CNC یا قطعه کار وارد گردد. به همین لحاظ توصیه می‌شود قبل از وارد کردن برنامه به ماشین واقعی CNC برنامه حتماً امتحان گردد و شخص از

چگونگی حرکت ابزار براده‌برداری نسبت به قطعه‌کار آگاهی پیدا نماید.

استفاده از جدول برنامه‌نویسی

برای آماده‌سازی برنامه CNC مورد نظر به‌تراست که ابتدا جدولی تهیه نماییم و اهداف مورد نظر را ابتدا در جدول پیاده سازیم و سپس با استفاده از این جدول برنامه CNC را بنویسیم. در ادامه یک نمونه از این جدول به همراه اهداف موردنظر آورده شده است.

جدول ۳-۱- یک نمونه از جدول برنامه‌نویسی CNC

برنامه‌نویس:										
نام قطعه:										
صفحه:										
تاریخ:										
ابعاد قطعه‌کار:										
سر	کد	موقعیت	موقعیت	موقعیت	موقعیت	نرخ براده	شعاع	سرعت	ابزار	کد
N	G	X	Y	Z	K, J, I	برداری F	R	S	T	M
5	20.90									
10									5	6
15								1200		3
20	0 0	0	0							
25				0.1						
30	1			-0.1		2				
35		1.5								
40	0 0			0.1						
45										5
50										30

با توجه به جدول ۳-۱، برنامه مربوطه به شرح زیر خواهد بود:

%

1002

N5 G20 G90

N10 M06 T5

N15 M03 S1200

N20 G00 X0 Y0

N25 Z0.1

N30 G01 Z-0.1 F2.0

N35 G01 X1.5

N35 G01 X1.5

N40 G00 Z0.1

N45 M05

N50 M30

ساختار يك خط از برنامه

غالباً توجه به ساختار برنامه بسیار مهم‌تر از توجه به ساختار کل برنامه می‌باشد زیرا ممکن است در يك خط از برنامه اتفاقی حادث شود که عملکرد کل ماشین CNC را خراب نماید و دیگر ماشین CNC فرصت رسیدگی به خطوط دیگر برنامه را نداشته باشد. هر خط از برنامه مستقیماً وارد CPU کامپیوتر می‌گردد و این امر باعث حیاتی بودن ساختار يك خط می‌گردد به عنوان مثال ساختار خط زیر را در نظر بگیرید:

N135 G01 X1 Y1 Z-0.125 F5

این خط شامل اجزای زیر می‌باشد:

N135: این جز نشان دهنده شماره خط می‌باشد.

G01: کد G که به ماشین فرمان می‌دهد آمادگی لازم برای يك جابه‌جایی خطی ابزار براده‌برداری را داشته باشد.

X1, Y1, Z-0.125: مختصات نقطاتی که ابزار

براده‌برداری در انتهای عملیات خود باید به آنها برسد را به اطلاع ماشین می‌رساند.

F5: به ماشین CNC اعلام می‌نماید که باید نرخ براده‌برداری ابزار براده‌برداری تا رسیدن به مختصات مورد نظر به اندازه ۵ اینچ بر دقیقه باشد (به شرطی که در خط‌های قبلی برنامه واحدهای مختلف بر حسب اینچ تنظیم شده باشد)

لازم به ذکر است که در تمامی خطوط مربوط به برنامه‌های CNC محدودیت‌هایی مشابه وجود دارد که به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- هر خط برنامه تنها می‌تواند شامل یک جابه‌جایی ابزار براده‌برداری باشد.
- ۲- هر خط برنامه تنها می‌تواند شامل یک نرخ براده‌برداری باشد.
- ۳- هر خط برنامه تنها می‌تواند شامل یک ابزار براده‌برداری و یک دور موتور خاص برای اسپیندل باشد.
- ۴- هر خط برنامه تنها می‌تواند شامل یک شماره خط باشد.

اعمال لازم قبل از نوشتن برنامه CNC

قبل از شروع به برنامه‌نویسی CNC شخص برنامه نویس باید اطلاعات لازم را در مورد مختصات نقطه‌های مختلف قطعه کار و انتخاب سرعت دورانی و نیز نرخ براده‌برداری ابزار کار را استخراج نماید. پس از اینکه این اطلاعات را استخراج نمود جداگانه به شرح زیر تنظیم نماید.

جدول مربوط به مختصات نقاط: پس از انجام عملیات ریاضی لازم بایستی اطلاعات نقاط مختلف کار را به شرح زیر در جدول مربوط وارد نمود.

حرکت ابزار

در تمامی ماشین‌های CNC تنها سه نوع حرکت به شرح زیر وجود دارد:

G00 : حرکت سریع ابزار براده‌برداری

G01 : حرکت کند ابزار براده‌برداری همراه با عمل براده‌برداری در یک خط مستقیم

G02/G03 : حرکت کند ابزار براده‌برداری همراه با عمل براده‌برداری در یک مسیر دایره‌ای تمامی حرکات دیگر مانند کد G81 در ماشین فرز (این کد مربوط به سوراخکاری است) یا کد G84 به صورت ترکیبی از این سه نوع حرکت اصلی قابل بیان می‌باشند. لازم به ذکر است که این سه نوع کد G از نوع کدهای قیدی می‌باشند. بعضی دیگر از کدهای G مورد استفاده در برنامه‌نویسی CNC نیز قیدی می‌باشند که در جای خود توضیح داده خواهد شد.

استفاده از برنامه‌های آماده

برنامه‌های آماده برنامه‌هایی هستند که کمک مؤثری به برنامه نویس در جهت نوشتن ساده یک برنامه می‌نمایند. استفاده از این نوع برنامه‌ها می‌تواند کمک مؤثری در کم کردن حجم برنامه، حذف عملیات ریاضی پیچیده و بهینه نمودن برنامه نماید. مثالهایی از برنامه‌ها آماده در ماشین‌های فرز عبارتند از: برنامه سوراخکاری، برنامه برزو کاری، برنامه قالویزکاری، برنامه بورینگ و

هر کدام از این برنامه‌ها به جای اینکه حاوی سه فاز اصلی و خطوط مربوط باشند تنها با یک کد مشخص می‌گردند همین امر در بهینه نمودن برنامه‌نویسی کمک به سزایی برنامه نویس می‌نماید.

ابزار براده‌برداری

باید توجه داشت که برای هر نوع عملیات ماشین‌کاری خاص نظیر سوراخکاری، قلاویزکاری و ... ابزار کار مناسبی وجود دارد که شخص برنامه‌نویس باید با توجه به تجربه، ابزار کار مناسب را انتخاب نماید. اندازه و شکل ابزار براده‌برداری برای یک هدف خاص نیز مسئله دیگری است که باید به نحو مناسب به آن پرداخته شود. در این خصوص کاتالوگ‌های صنعتی مربوط به ابزارهای مختلف می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار برنامه‌نویس قرار دهند. لازم به ذکر است که ماشین‌های فرز CNC از تعداد محدودی ابزار براده‌برداری می‌توانند استفاده نمایند. مشخصات این سری از ابزارهای براده‌برداری و کد مربوط به آنها در حافظه این گونه ماشین‌ها ذخیره گردیده است. در انتخاب ابزار براده‌برداری مناسب باید به نکات زیر توجه نمود:

۱- ابزار کار در سوراخکاری

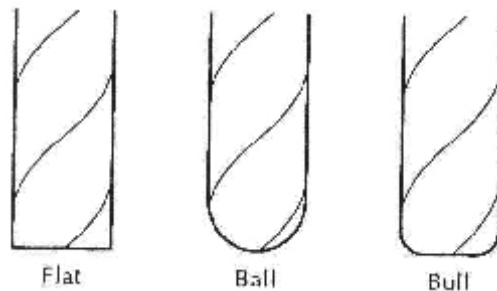
ابزارهای مناسب برای سوراخکاری عبارتند از: مته‌های ساده که دارای ۲ یا ۳ یا ۴ لبه برش می‌باشند. مته‌های دولبه برای سوراخکاری اولیه استفاده می‌شوند و از مته‌های ۳ یا ۴ لبه برای صیقل‌کاری سوراخ‌هایی که توسط مته‌های دولبه ایجاد می‌شوند، استفاده می‌گردد.

۲- ابزار کار در ماشین‌های فرز

در ماشین‌های فرز قطعه کار ثابت بوده و ابزار براده‌برداری دارای حرکت دورانی می‌باشد. انتهای ابزارهای براده‌برداری در ماشین‌های فرز دارای سه شکل به شرح Flat^۱ و ballnose^۲ و یا ترکیبی از این دو

^۱- تخت
^۲- نیم‌کروی

(Bull) می‌باشد. این سه نوع انتها در شکل ۱-۵، نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۵- سه نوع انتهای ابزار کار در ماشین فرز

۳- ابزار کار در ماشین‌های تراش

در ماشین‌های تراش نوع سطح تولید شده توسط ماشین تراش بستگی کامل به نوع ابزار براده‌برداری و مسیر براده‌برداری دارد. هنگامی که لبه برنده‌ای از ابزارهای براده‌برداری شکسته می‌شوند سطح قطعه‌کار خشن شده و نیروی لازم برای براده‌برداری افزایش می‌یابد. در این حالت ارتعاش و صدای سوت مانندی تولید می‌شود که می‌تواند بیانگر شکسته شدن لبه ابزار براده‌برداری باشد. در هر حال در انتخاب ابزار براده‌برداری مناسب در ماشین‌های تراش باید عوامل زیر را مد نظر قرار داد.

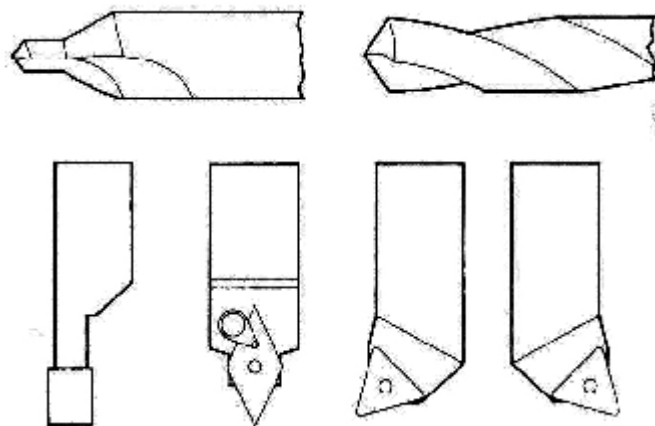
الف- جنس ابزار براده‌برداری

ب- شکل و فرم ابزار براده‌برداری

ج- فرم ابزار

در مورد جنس ابزار براده‌برداری ماشین‌های تراش باید در نظر داشت که جنس این گونه ابزارها می‌تواند از نوع فولادهای ابزار کربنی، فولادهای تندبر، آلیاژهای غیرآهنی ریختگی، فولادهایی با فاز کاربیدی، فولادهای تفجوش و یا فولادهای مصنوعی سائیده و الماسه‌ها باشد.

همچنین در مورد شکل و فرم ابزار براده‌برداری در ماشین‌های تراش باید به مسائلی نظیر زاویه ابزار، زاویه لبه برنده، شعاع دماغه ابزار و زاویه شیار توجه نمود. شکل ۵-۲ نشان‌دهنده بعضی از ابزارهای براده‌برداری در ماشین‌های تراش می‌باشد.



شکل ۵-۲- بعضی از ابزارهای براده‌برداری در ماشین‌های تراش

محاسبات مربوط به نرخ براده‌برداری و سرعت اسپیندل

از آنجا که جنس مواد مختلف متفاوت می‌باشد لذا برای براده‌برداری از مواد مختلف باید متناسب با جنس مورد نظر نرخ براده‌برداری، سرعت اسپیندل و مایع خنک‌کاری مناسب انتخاب نمود. همچنین نوع ابزار براده‌برداری نیز بر پارامترهای ذکر شده اثر بسزائی می‌گذارد. بنابراین با توجه به جنس قطعه کار و نوع ابزار براده‌برداری باید پارامترهای مربوط به نرخ براده‌برداری و سرعت اسپیندل و مایع خنک‌کاری را به نحوی مناسب انتخاب نمود که عملیات ماشین‌کاری به بهترین وجه صورت گیرد. لازم به ذکر است که انتخاب سرعت بالای اسپیندل و نیز نرخ براده‌برداری بالا منجر به شکسته شدن ابزار براده‌برداری یا خشن شدن

سطح قطعه‌کار می‌شود و نیز انتخاب سرعت پایین منجر به اتلاف وقت می‌گردد.

هرگاه سرعت دوران اسپیندل با RPM نشان داده شود می‌توان نوشت:

$$RPM = \frac{4CS}{D} \quad (۱-۳)$$

در این رابطه CS نشان‌دهنده سرعت برش ماده در سطح است و واحد آن می‌تواند فوت بر دقیقه یا متر بر دقیقه باشد و نیز D نشان‌دهنده قطر قطعه کار (در عملیات تراشکاری) و یا قطر ابزار براده‌برداری (در عملیات فرز) می‌باشد و واحد آن فوت یا متر می‌باشد. همچنین هرگاه Feed نشان‌دهنده نرخ براده‌برداری باشد می‌توان نوشت:

الف- در سیستم‌های اینچی ماشین‌های تراش

که رابطه فوق RPM سرعت دورانی اسپیندل بوده و r نرخ براده‌برداری با واحد اینچ در دوران می‌باشد. معمولاً محدوده تغییرات r بین 0.001 تا 0.020 اینچ بر دوران می‌باشد.

ب- در سیستم‌های اینچی ماشین‌های فرز

$$Feed(inch/min) = RPM \times T \times N \quad (۴-۳)$$

که در رابطه فوق RPM سرعت دورانی اسپیندل بوده و T نشان‌دهنده نیروی براده‌برداری هر دندانه و N نشان‌دهنده دندانه‌های ابزار برش می‌باشد.

ج- در سیستم‌های متریک ماشین‌های تراش

$$Feed(inch/min) = RPM \times r \quad (۴-۳)$$

در رابطه فوق r نرخ براده‌برداری با واحد میلیمتر بر دوران می‌باشد و RPM نشان‌دهنده دور اسپیندل است.

د- در سیستم متریک ماشین‌های فرز

$$Feed(mm/min) = RPM \times T \times N \quad (۳-۵)$$

جداول ۵-۱ و ۵-۲ به ترتیب نشان‌دهنده پارامتری در سیستم‌ها اینچی و متریک می‌باشند.

جدول ۵-۱- مقادیر CS در سیستم اینچی

CS	جنس ابزار براده‌برداری	جنس قطعه‌کار
180	فولاد تندبر	آلومینیوم و منیزیم
70	فولاد تندبر	برنج و برنز
45	فولاد تندبر	مس
23	فولاد تندبر	چدن نرم
14	فولاد تندبر	چدن سخت
8	فولاد تندبر	فولاد
11	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ سخت
21	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ شکل‌پذیر
11	فولاد تندبر	تیتانیوم
12	فولاد تندبر	آلیاژهای آهنی
6	فولاد تندبر	آلیاژهای آستنی
2	فولاد تندبر	آلیاژهای نیکل
2	فولاد تندبر	آلیاژهای کبالت

جدول ۲-۵- مقادیر CS در سیستم متریک

CS	جنس ابزار براده‌برداری	جنس قطعه‌کار
250	فولاد تندبر	آلومینیوم و منیزیم
220	فولاد تندبر	برنج و برنز
150	فولاد تندبر	مس
75	فولاد تندبر	چدن نرم
50	فولاد تندبر	چدن سخت
25	فولاد تندبر	فولاد
35	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ سخت
70	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ شکل‌پذیر
35	فولاد تندبر	تیتانیوم
40	فولاد تندبر	آلیاژهای آهنی
20	فولاد تندبر	آلیاژهای آستنی
5	فولاد تندبر	آلیاژهای نیکل
5	فولاد تندبر	آلیاژهای کبالت

هم‌چنین جدول ۳-۵ و ۴-۵ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر T برای ماشین‌های فرز در حالت سیستم اینچی و سیستم متریک می‌باشند.

جدول ۳-۵- مقادیر T در سیستم اینچی برای حالت مختلف

T	جنس ابزار براده‌برداری	جنس قطعه‌کار
0.005	فولاد تندبر	آلومینیوم و منیزیم
0.005	فولاد تندبر	برنج و برنز
0.005	فولاد تندبر	مس
0.005	فولاد تندبر	چدن نرم
0.003	فولاد تندبر	چدن سخت
0.004	فولاد تندبر	فولاد
0.003	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ سخت
0.003	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ شکل‌پذیر
0.002	فولاد تندبر	تیتانیوم
0.001	فولاد تندبر	آلیاژهای آهنی
0.001	فولاد تندبر	آلیاژهای آستنی
0.001	فولاد تندبر	آلیاژهای نیکل
0.001	فولاد تندبر	آلیاژهای کبالت

جدول ۴-۵- مقادیر T در سیستم متریک برای حالات مختلف

T	جنس ابزار براده‌برداری	جنس قطعه‌کار
0.12	فولاد تندبر	آلومینیوم و منیزیم
0.12	فولاد تندبر	برنج و برنز
0.12	فولاد تندبر	مس
0.12	فولاد تندبر	چدن نرم
0.07	فولاد تندبر	چدن سخت
0.1	فولاد تندبر	فولاد
0.08	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ سخت
0.08	فولاد تندبر	فولاد ضدزنگ شکل‌پذیر
0.08	فولاد تندبر	تیتانیوم
0.05	فولاد تندبر	آلیاژهای آهنی
0.03	فولاد تندبر	آلیاژهای آستنی
0.03	فولاد تندبر	آلیاژهای نیکل
0.03	فولاد تندبر	آلیاژهای کبالت

در مورد مایع خنک‌کاری باید توجه داشت که دو دلیل اصلی برای استفاده از مایع خنک‌کاری در ماشینکاری وجود دارد.

۱- انتقال حرارت تولید شده

۲- کاهش فرسودگی ابزار براده‌برداری

در اغلب موارد از مایع خنک‌کننده برای برآورده شدن دو مورد ذکر شده در بالا استفاده می‌شود ولیکن در بعضی از موارد خاص از مایع خنک‌کاری برای جابه‌جا نمودن براده‌های تولید شده نیز استفاده می‌شود.

فصل ششم: برنامه‌نویسی فرز CNC

کدهای G مقدماتی

در این بخش کدهای G مقدماتی قابل استفاده در ماشین‌های فرز CNC مطرح خواهند شد. لازم به تذکر است که تمامی این کدهای G مقدماتی در ماشین‌های فرز CNC واقعی و نیز در نرم‌افزار شبیه‌ساز CNCez کاربرد داشته و قابل استفاده‌اند. لازم به تذکر است که علاوه بر کدهای G مقدماتی، کدهای G دیگری نیز قابل استفاده در ماشین‌های فرز CNC می‌باشند ولیکن این کدها در نرم‌افزار شبیه‌ساز CNCez کاربرد ندارند.

در این بخش صرفاً به کدهای مقدماتی که هم در ماشین‌های واقعی و هم در نرم‌افزار CNCez مطرح می‌شوند پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است که تمامی برنامه‌هایی که در این بخش مطرح می‌شوند را می‌توان توسط نرم‌افزار CNCez اجرا نمود و نتیجه را روی مانیتور کامپیوتر مشاهده نمود.

کدهای G مقدماتی که در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد در جدول ۱-۶ نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که بعضی از این کدها مقید (قیدی) و بعضی دیگر غیرمقید می‌باشند.

جدول ۶-۱- کدهای G مقدماتی مورد استفاده در ماشین‌های فرز CNC و نرم‌افزار CNCez

کد	کاربرد	نوع کد
G00	حرکت سریع ابزار براده برداری	قیدی
G01	حرکت کند ابزار براده برداری به صورت خطی	قیدی
G02	حرکت کند ابزار براده برداری به صورت دایره‌ای (CW)	قیدی
G03	حرکت کند ابزار براده برداری به صورت دایره‌ای (CCW)	قیدی
G04	زمان توقف ماشین	غیر مقید
G17	نشان دهنده صفحه XY (به عنوان صفحه مبنا)	قیدی
G18	نشان دهنده صفحه XZ (به عنوان صفحه مبنا)	قیدی
G19	نشان دهنده صفحه YZ (به عنوان صفحه مبنا)	قیدی
G20/G70	نشان دهنده واحد اینچ به عنوان واحد محور مختصات	قیدی
G21/G71	نشان دهنده واحد میلیمتر به عنوان واحد محور مختصات	غیر مقید
G28	بازگشت اتوماتیک ابزار براده برداری به نقطه مرجع	غیر مقید
G29	بازگشت اتوماتیک ابزار براده برداری از نقطه مرجع به نقطه قبلی	غیر مقید
G40	لغو کننده کدهای G41 و G42	قیدی
G41	تصحیح کننده شعاع ابزار در حرکت از چپ به راست	قیدی
G42	تصحیح کننده شعاع ابزار در حرکت از راست به چپ	قیدی
G43	تصحیح مثبت طول ابزار	قیدی
G44	تصحیح منفی طول ابزار	قیدی
G80	لغو کننده کد برنامه‌های آماده	قیدی
G81	سیکل سوراخکاری	قیدی
G82	انجام عملیات بورینگ	قیدی
G83	انجام عملیات سوراخکاری عمیق	قیدی
G90	نشان دهنده سیستم مختصات مطلق	قیدی
G91	نشان دهنده سیستم مختصات نسبی	قیدی
G92	انتقال مبدا مختصات	غیر مقید
G98	انتقال ابزار کار به صفحه Z اولیه	غیر مقید
G99	انتقال سریع ابزار کار به صفحه میانی پس از عمل سوراخکاری	غیر مقید

استفاده‌کننده از این کدها حتما باید از ماهیت این کدها از نظر مقید یا غیرمقید بودن آنها آگاهی

داشته باشد. این امر باعث کاهش اشتباه و در حین برنامه‌نویسی و نیز بالا رفتن دقت برنامه نوشته شده و نیز جلوگیری از افزایش بی‌مورد طول برنامه خواهد شد.

در ادامه هر کدام از کدهای G مقدماتی با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

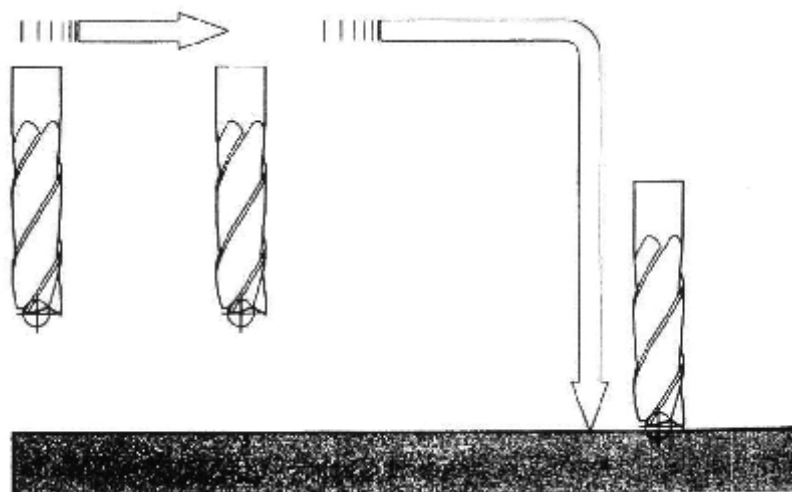
$G00$ حرکت سریع ابزار براده‌برداری

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

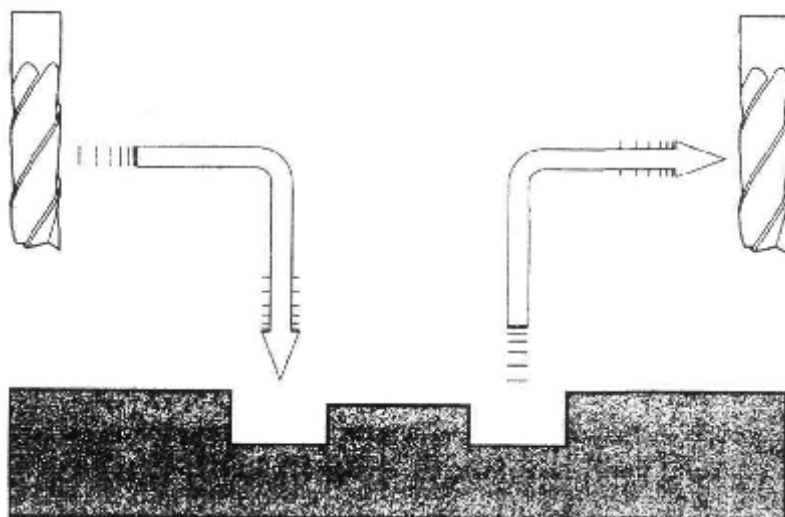
$N- G00 X- Y- Z-$

این کد مربوط به حرکت سریع ابزار براده‌برداری بوده و از آن در مواقعی استفاده می‌شود که بخواهیم ابزار براده‌برداری یک حرکت سریع خطی بدون براده‌برداری را از موقعیتی به موقعیت دیگر انجام دهد. باید دقت بسیار مبذول نمود که از این کد نباید برای برش فلز با براده‌برداری استفاده نمود. زیرا در این صورت شکستن ابزار براده‌برداری و آسیب دیدن قطعه‌کار حتمی است.

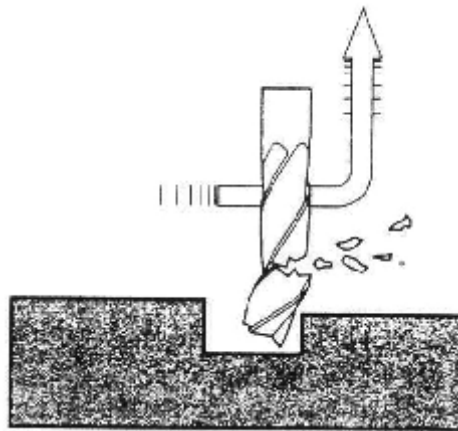
این کد یک کد مقید می‌باشد. در اکثر ماشین‌های CNC هرگاه لازم باشد ابزار براده‌برداری یک حرکت سریع سه‌بعدی (X,Y,Z) انجام دهد، ابتدا باید این حرکت در صفحه XY صورت گیرد و پس از آن در امتداد محور Z جابه‌جایی صورت گیرد و یا برعکس یعنی ابتدا حرکت سریع در امتداد محور Z صورت گیرد و سپس حرکت در صفحه XY صورت گیرد. در هر صورت باید حرکت در صفحه XY و حرکت در امتداد محور Z به صورت مجزا از یکدیگر صورت گیرند (به شکل‌های ۶-۱ و ۶-۲ و ۶-۳) نگاه کنید.



شکل ۶-۱- در این حالت ابتدا جایابی در صفحه xy صورت گرفته و سپس در امتداد محور z



شکل ۶-۲- در این تصویر ابتدا جایابی در امتداد محور z صورت گرفته و سپس در صفحه xy



شکل ۳-۶- در این تصویر حرکت بایستی در امتداد محور Z صورت می‌گرفت، لیکن چون این مورد رعایت نشده، ابزار براده‌برداری آسیب دیده است.

با توجه به موقعیت ابزار براده‌برداری باید نکات زیر را برای جلوگیری از صدمه دیدن ابزار براده‌برداری در حرکت سریع آن مد نظر قرار داد:

۱- هرگاه موقعیت ابزار براده‌برداری يك Z منفي را نشان دهد (یعنی ابزار کار در داخل قطعه باشد) ابتدا لازم است حرکت در امتداد محور Z صورت گیرد و سپس در داخل صفحه XY .

۲- هرگاه موقعیت ابزار براده‌برداری يك Z مثبت را نشان دهد (یعنی ابزار کار در داخل قطعه نباشد) ابتدا لازم است حرکت در صفحه XY صورت گیرد و سپس حرکت در امتداد محور Z ها انجام پذیرد.

$G01$ حرکت کند ابزار براده‌برداری به صورت خطی

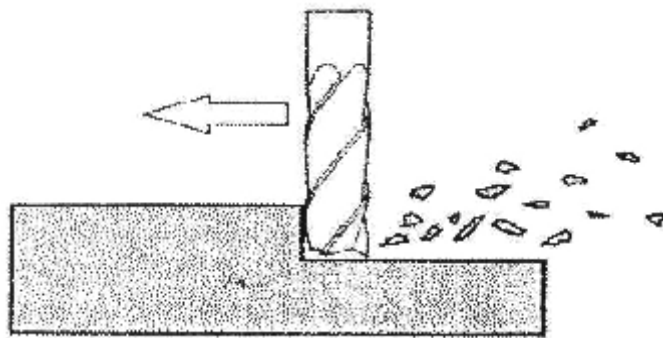
فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N- G01 X- Y- Z- F-$

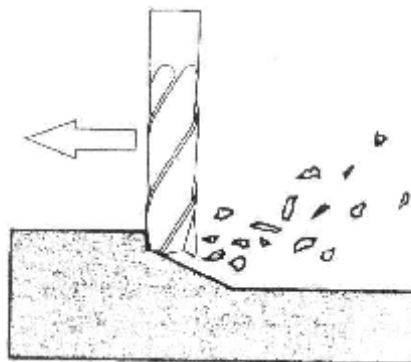
این کد برای حرکت خطی ابزار همراه با عملیات براده‌برداری می‌باشد. از این کد در مواقعی استفاده می‌شود که بخواهیم عمل براده‌برداری از قطعه کار را

از يك موقعیت مکانی به موقعیت مکانی دیگر داشته باشیم. سرعت انتقالی ابزار در این حالت بستگی کامل به نرخ براده‌برداری F دارد.

هر چه قدر این عدد بیشتر باشد، حرکت ابزار براده‌برداری سریع‌تر و هر چه قدر این عدد کمتر باشد حرکت انتقالی براده‌برداری کندتر خواهد بود. این کد يك کد قیدی است و همچنین حرکت خطی با استفاده از این کد محدودیتهای ذکر شده در کد $G00$ را ندارد و این بدان معناست که با استفاده از این کد می‌توان حرکت همزمان در امتداد محور Z ها و صفحه XY را شاهد بود. (به شکل‌های ۶-۴ و ۶-۵ نگاه کنید)



شکل ۶-۴- حرکت ابزار براده‌برداری در صفحه xy صورت گرفته است.



شکل ۶-۵- حرکت ابزار براده‌برداری همزمان در امتداد محور Z ها و صفحه xy صورت گرفته است.

G02 حرکت کند ابزار براده‌برداری به صورت دایره‌ای در جهت عقربه‌های ساعت (CW)

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N- \quad G02 \quad X- \quad Y- \quad Z- \quad I- \quad J- \quad K- \quad F-$

$N- \quad G02 \quad X- \quad Y- \quad Z- \quad R- \quad F-$

این کد برای حرکت دایره‌ای ابزار براده‌برداری به صورت کند بوده و از آن در مواقعی استفاده می‌شود که بخواهیم عمل براده‌برداری از قطعه کار از یک موقعیت مکانی به موقعیت مکانی دیگر را به صورت دایره‌ای داشته باشیم. در این کدنیز همانند کد G01 سرعت انتقالی ابزار براده‌برداری بر روی مسیر دایره‌ای بستگی کامل به نرخ براده‌برداری F دارد. در این کد می‌توان براده‌برداری در یک مسیر کامل دایره‌ای، نیم‌دایره‌ای، ربع دایره‌ای و یا هر کمانی از دایره را بسته به مقادیر انتخابی برای K, J, I و یا R شاهد بود.

همان‌طور که می‌دانید برای مشخص نمودن هر کمانی از دایره مختصات ابتدا و انتها و مرکز آن کمان مورد نیاز است. این مختصات را می‌توان به دو صورت برای ماشین مشخص نمود. برای تفهیم بهتر این موضوع دو مثال برای مشخص نمود کمانی از دایره یکی با داشتن مقادیر K, J, I و دیگری با داشتن مقدار R در ادامه آورده می‌شود.

مثال ۱

$G02 \quad X2 \quad Y1 \quad I0 \quad J-1$

در این مثال، با توجه به شکل ۶-۶، هرگاه مختصات ابتدای کمان $X1, Y2$ باشد و بخواهیم مختصات انتهای کمان $X2, Y1$ باشد و نیز مختصات مرکز این کمان $X1, Y1$ باشد باید مانند مثال بالا ابتدا کد G02 را وارد نمود و سپس مختصات انتهای کمان را وارد نمود و پس از

آن مختصات نسبی مرکز دایره‌ای را نسبت به نقطه ابتدای کمان وارد نمود. در این مثال مختصات نسبی مرکز کمان نسبت به نقطه ابتدای کمان به ترتیب برابر ۰ و ۱- می‌باشند. بنابراین مقادیر متعلق به J, I به ترتیب برابر ۰ و ۱- خواهند بود و لذا به صورت زیر نوشته می‌شود:

G02 X2 Y1 I0 J-1

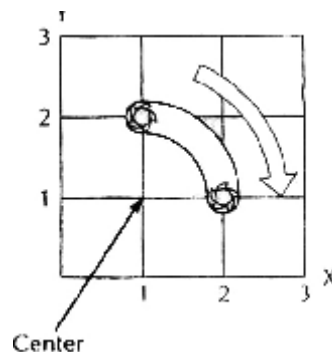


Figure 1

شکل ۶-۶- کمان به وجود آمده توسط ابزار کار بر روی قطعه کار با استفاده از کد G02

مثال ۲

G02 X2 Y1 R1

همانند مثال اول در اینجا نیز هدف به وجود آوردن کمان مورد نظر در شکل ۶-۶ است. برای این منظور کافیست مختصات انتهای کمان و شعاع کمان مورد نظر را به همراه کد G02 آورد.

باید توجه داشت که در مواردی که از این دستور برای مشخص نمود کمانی از دایره استفاده می‌شود و حداکثر کمانی که می‌توان مشخص نمود کمانی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه خواهد بود و یا به عبارت دیگر با این نوع دستور با مشخص نمودن شعاع دایره و مختصات انتهای کمان حداکثر می‌توان ربع دایره را مشخص کرد.

G03 حرکت کند ابزار براده‌برداری به صورت دایره‌ای در خلاف جهت عقربه‌های ساعت (CCW)

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N- \quad G03 \quad X- \quad Y- \quad Z- \quad I- \quad J- \quad K- \quad F-$

$N- \quad G03 \quad X- \quad Y- \quad Z- \quad R- \quad F-$

این کد برای حرکت دایره‌ای ابزار براده‌برداری به صورت کند بوده و از آن در مواقعی استفاده می‌شود که بخواهیم عمل براده‌برداری از قطعه کار از یک موقعیت مکانی به موقعیت مکانی دیگر را به صورت دایره‌ای داشته باشیم. در این کدنیز همانند کد G01 سرعت انتقالی ابزار براده‌برداری بر روی مسیر دایره‌ای بستگی کامل به نرخ براده‌برداری F دارد. در این کد می‌توان براده‌برداری در یک مسیر کامل دایره‌ای، نیم‌دایره‌ای، ربع دایره‌ای و یا هر کمانی از دایره را بسته به مقادیر انتخابی برای K, J, I و یا R شاهد بود.

همان طور که می‌دانید برای مشخص نمودن هر کمانی از دایره مختصات ابتدا و انتها و مرکز آن کمان مورد نیاز است. این مختصات را می‌توان به دو صورت برای ماشین مشخص نمود. برای تفهیم بهتر این موضوع دو مثال برای مشخص نمود کمانی از دایره یکی با داشتن مقادیر K, J, I و دیگری با داشتن مقدار R در ادامه آورده می‌شود.

مثال ۱

$G03 \quad X1 \quad Y1 \quad I0 \quad J-1$

در این مثال، با توجه به شکل ۶-۷، هرگاه مختصات ابتدای کمان $X2, Y2$ باشد و بخواهیم مختصات انتهای کمان $X1, Y1$ باشد و نیز مختصات مرکز این کمان $X2, Y1$ باشد باید مانند مثال بالا ابتدا کد G03 را وارد نمود و سپس مختصات انتهای کمان را وارد نمود و پس از

آن مختصات نسبی مرکز دایره‌ای را نسبت به نقطه ابتدای کمان وارد نمود. در این مثال مختصات نسبی مرکز کمان نسبت به نقطه ابتدای کمان به ترتیب برابر ۰ و -۱ می‌باشند. بنابراین مقادیر متعلق به J, I به ترتیب برابر ۰ و -۱ خواهند بود و لذا به صورت زیر نوشته می‌شود:

G03 X1 Y1 I0 J-1

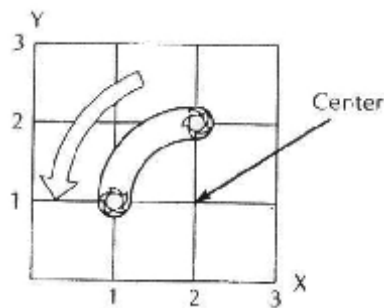


Figure ۷

شکل ۷-۶- کمان به وجود آمده توسط ابزار کار با استفاده از کد G03

مثال ۲

G02 X2 Y1 R1

همانند مثال اول در اینجا نیز هدف به وجود آوردن کمان مورد نظر در شکل ۷-۶ است. برای این منظور کافیت مختصات انتهای کمان و شعاع کمان مورد نظر را به همراه کد G03 آورد.

از آنجا که در این مثال مختصات انتهای کمان $(X1, Y1)$ و شعاع کمان برابر ۱ است لذا این دستور به صورت ذکر شده در مثال آورده می‌شود. همانند کد G02 باید توجه داشت که در مواردی که از این دستور برای مشخص نمود کمانی از دایره استفاده می‌شود و حداکثر کمانی که می‌توان مشخص نمود کمانی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه خواهد بود و یا به عبارت دیگر با این نوع دستور با مشخص نمودن شعاع دایره و مختصات

انتهای کمان حداکثر می‌توان ربع دایره را مشخص کرد.

G04 زمان توقف ماشین

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N - G04 P -$

این کد یک کد غیرمقید است و وظیفه آن توقف تمام حرکتهای محور برای یک مدت زمان خاص می‌باشد. در طی زمان توقف حرکتهای محوری، اسپیندل همچنان به حرکت دورانی خود با همان RPM اولیه ادامه خواهد داد. این کد بیشتر در عملیات سوراخکاری و جایی که صیقلی نمودن سوراخ ایجاد شده اهمیت دارد، کاربرد دارد. مدت زمان توقف را باید بر حسب ثانیه پس از حرف P در این دستور وارد نمود.

G17 تعیین صفحه XY به عنوان صفحه اصلی

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N - G17$

به کار بردن این کد صفحه XY را به عنوان صفحه اصلی عملیات ماشینکاری برای ماشین معرفی می‌کند. در تمامی ماشین‌های سه‌محوری دو نوع حرکت اصلی برای حرکت ابزار براده‌برداری وجود دارد. این دو نوع حرکت عبارتند از حرکت افقی (در جهت X و یا در جهت Y یا در هر دو جهت) و حرکت عمودی (حرکت در جهت Z). این کد یک کد مقید است و در اکثر ماشین‌های CNC به صورت از قبل تعریف شده $G17$ فعال می‌باشد.

G18 تعیین صفحه XZ به عنوان صفحه اصلی

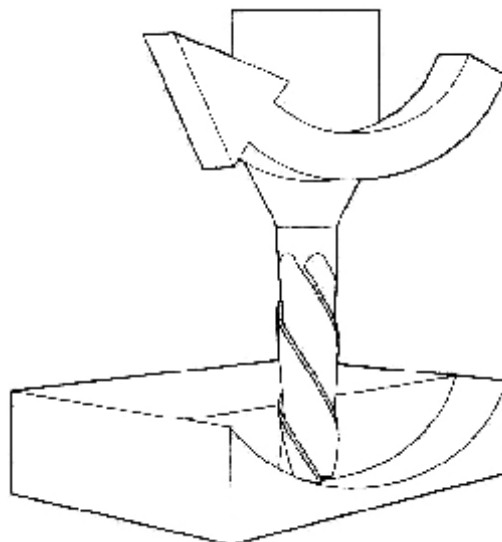
فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N - G18$

با به کار بردن این کد، صفحه XZ به عنوان صفحه اصلی عملیات ماشین‌کاری برای ماشین CNC شناخته می‌شود. پس از استفاده از این دستور محور Y به عنوان محور ثانویه شناخته خواهد شد و حرکت در جهت Y عمود بر صفحه XZ خواهد بود.

باید توجه داشت که هرگاه بخواهیم با استفاده از این کد و با استفاده از کدهای $G02$ و یا $G03$ کمانی از دایره در وجه XZ قطعه‌کار به وجود آوری، شعاع کمان مربوطه و مرکز کمان را دیگر نمی‌توانیم با حرف J, i مشخص نماییم بلکه برای این منظور باید از حروف K, I استفاده نمود.

در هنگام برنامه‌نویسی باید توجه داشت که هرگاه از این کد استفاده گردد محورهای اولیه و ثانویه برعکس می‌گردند و لذا کد $G02$ مبین براده‌برداری دایره‌ای در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت و کد $G03$ نشان‌دهنده براده‌برداری دایره‌ای در جهت حرکت عقربه‌های ساعت خواهد بود.



شکل ۸-۶- در این حالت با استفاده از کد $G03$ کمانی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت در وجه XZ قطعه کار به وجود آمده است.

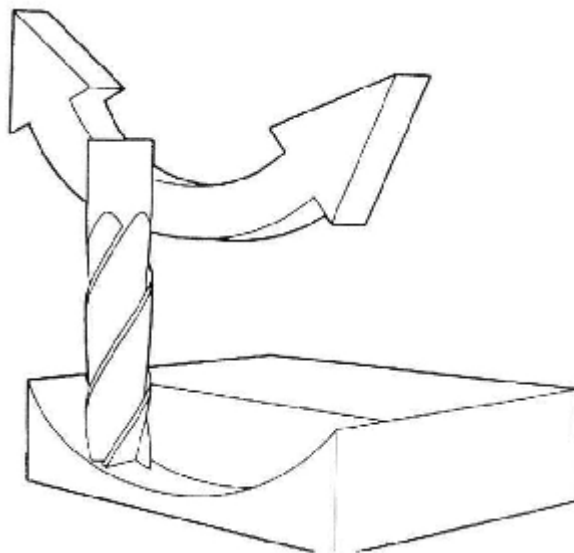
G19 تعیین صفحه YZ به عنوان صفحه اصلی

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N- G19

با به کار بردن این کد صفحه YZ به عنوان صفحه اصلی عملیات ماشینکاری در عملیت مربوطه به براده‌برداری و ملاحظات به اصلاح قطر ابزار براده‌برداری برای ماشین فرز CNC شناخته می‌شود. در این حالت محور X ها به عنوان محور ثانویه شناخته می‌شود و در جهت عمود بر صفحه YZ عمل می‌نماید.

در این حالت باید توجه داشت که مختصات نسبی مرکز کمان و شعاع کمان را نمی‌توان با حروف J, I مشخص نمود، بلکه باید برای این منظور از حروف K, J استفاده کرد.



شکل ۹-۶- کمان به وجود آمده توسط ابزار براده‌برداری در وجه yz
قطعه کار

در هنگام برنامه‌نویسی باید توجه داشت که در این حالت از آنجا که محورهای اولیه و ثانویه برعکس شده‌اند کد G02 در این حالت مبین براده‌برداری

دایره‌ای در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت و کد G03 نشان‌دهنده براده‌برداری دایره‌ای در جهت حرکت عقربه‌های ساعت خواهد بود.

G20 یا G70 انتخاب واحد اینچ به عنوان واحد مبناي محورهای مختصات

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N- G20

با استفاده از این کد سیستم واحدها تبدیل به سیستم اینچی می‌گردد. این کد یک کد مقید می‌باشد.

G21 یا G71 انتخاب واحد میلیمتر به عنوان واحد مبناي محور مختصات

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N- G21

با استفاده از این کد سیستم واحدها تبدیل به سیستم متریک می‌گردد. تمامی این فواصل بر حسب میلیمتر اندازه گرفته می‌شود. این کد یک کد مقید می‌باشد.

G28 بازگشت اتوماتیک ابزار براده‌برداری به نقطه مرجع

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N- G28

یا:

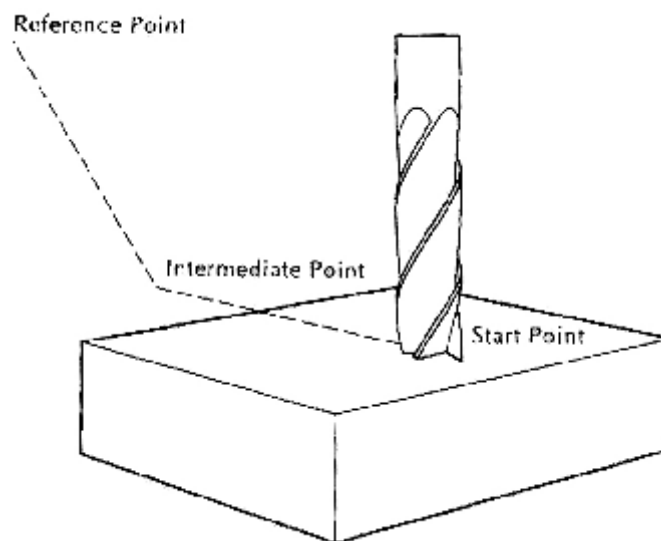
N- G28 X- Y- Z-

استفاده از این کد مقدمه‌ای برای تعویض ابزار براده‌برداری می‌باشد. با استفاده از این کد ابتدا ابزار براده‌برداری به نقطه مرجع از پیش تعیین‌شده‌ای بازگشت می‌نماید و پس از آن با استفاده از کدهای دیگر می‌توان ابزار براده‌برداری را به صورت اتوماتیک یا دستی تعویض نمود. هرگاه بخواهیم در مراجعه به نقطه مرجع از پیش تعیین شده ابزار

براده‌برداری از نقطه میانی دیگری IP نیز عبور نماید آنگاه از فرم:

$N- G28 X- Y- Z-$

استفاده می‌کنیم و مشخصات Z, Y, X نقطه میانی را در این دستور وارد می‌نماییم. (شکل ۶-۱۰ را نگاه کنید)



شکل ۶-۱۰- ابزار براده‌برداری از نقطه شروع به نقطه میانی و سپس به نقطه مرجع حرکت می‌کند.

به یاد داشته باشید که این کد یک کد غیرمقید است.

G29

بازگشت اتوماتیک ابزار براده برداری از نقطه مرجع به نقطه قبلی

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

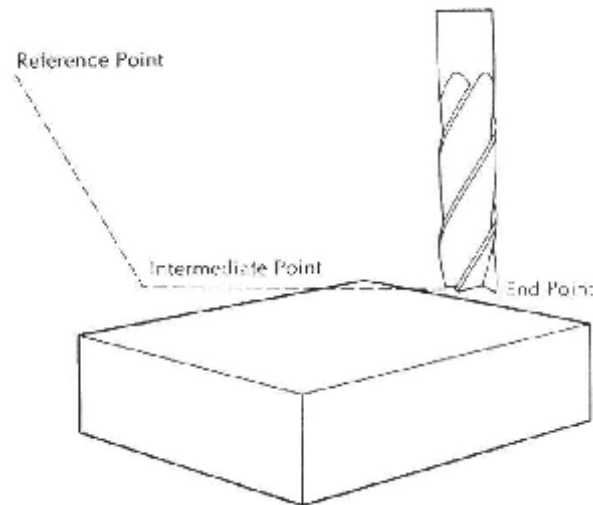
$N- \quad G29$

$N- \quad G29 \quad X- \quad Y- \quad Z-$

برای بازگشت اتوماتیک ابزار براده برداری از نقطه مرجع به نقطه قبلی از این کد استفاده می‌شود. این کد بلافاصله بعد از کد G28 و پس از تعویض ابزار براده برداری و انتخاب سرعت دورانی مناسب برای اسپیندل استفاده می‌گردد. هرگاه بخواهیم در مراجعه از نقطه مرجع به نقطه قبلی ابزار براده برداری از نقطه دیگری (Intermediate Point) نیز عبور نماید باید از فرم:

$N- \quad G29 \quad X- \quad Y- \quad Z-$

استفاده شود. در این حالت باید مختصات Z,Y,X مربوط به نقطه میانی را در این دستور وارد نمود. شکل ۶-۱۱ نشان دهنده حالتی است که ابزار براده برداری از نقطه مرجع و پس از گذشتن از نقطه میانی به نقطه ابتدایی بازگشت می‌نماید. به یاد داشته باشید که همانند کد G28 این کد نیز یک کد غیرمقید می‌باشد.



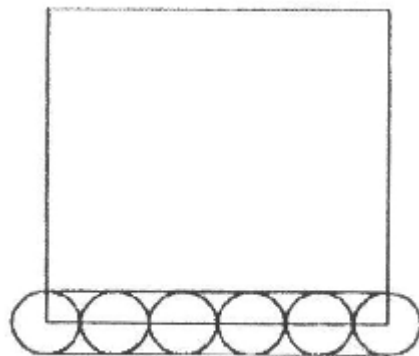
شکل ۱۱-۶- ابزار براده‌برداری از نقطه مرجع شروع به حرکت می‌نماید و پس از گذشتن از نقطه میانی به نقطه ابتدایی می‌رسد.

G40 لغو کننده فرامین تصحیح فاصله ابزار براده‌برداری

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

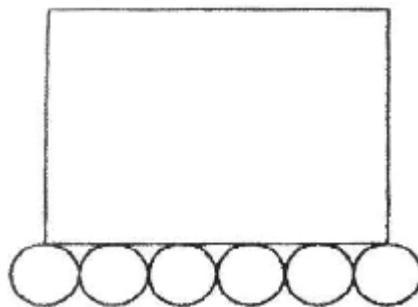
$N - G40$

این کد تمامی تصحیحات مربوط به فاصله ابزار براده‌برداری نسبت به قطعه‌کار را لغو می‌نماید. لازم به ذکر است که در طول برنامه‌نویسی CNC هرگاه از تصحیحات ابزار براده‌برداری استفاده نگردد، مختصاتی که برای حرکت ابزار به آن مختصات در طول برنامه آورده می‌شود، مکان‌هایی هستند که مرکز ابزار براده‌برداری در آن مختصات قرار می‌گیرد. لذا ممکن است براده‌برداری‌های ناخواسته‌ای (بنا به قطر ابزار براده‌برداری) انجام گیرد. برای مثال با توجه به شکل ۱۲-۶، هرگاه ابزار براده‌برداری بخواهد از نقطه $(X0, Y0)$ به نقطه $(X4, Y0)$ حرکت نماید مقدار براده‌برداری ناخواسته (به اندازه شعاع ابزار براده‌برداری) نیز انجام می‌گیرد.



شکل ۶-۱۲- براده‌برداری ناخواسته در طول مسیر حرکت ابزار
براده‌برداری
از نقطه $(X0, Y0)$ به نقطه $(X4, Y0)$

حال فرض کنید بخواهیم ابزار براده‌برداری همین مسیر را طی نماید بدون این که هیچ‌گونه براده‌برداری اتفاق بیفتد و در عین حال نیز لبه ابزار براده‌برداری با ضلع پایینی مستطیل تماس باشد. برای این کار دو راه وجود دارد. راه اول این است که مطابق شکل ۶-۱۳، مختصات نقطه مرجع $(X0, Y-R)$ تعریف گردد و سپس حرکت ابزار براده‌برداری انجام گیرد.



شکل ۶-۱۳- تغییر مختصات نقطه مرجع به نحوی که براده‌برداری ناخواسته اتفاق نیفتد.

راه دوم این است که یک تصحیح فاصله مناسب برای ابزار در نظر بگیریم که ماشین CNC به طور اتوماتیک در حرکت دادن‌های ابزار براده‌برداری به مختصات مختلف این تصحیح فاصله را اعمال نماید. در این حالت اصطلاحاً گفته می‌شود که تصحیح ابزار براده‌برداری

صورت گرفته است. کد $G40$ تمامی تصحیح ابزارهای در طول برنامه را بی‌اثر می‌نماید. این تصحیح ابزارها دارای کدهای مخصوص به خود می‌باشند که به آن‌ها پرداخته خواهد شد. به یاد داشته باشید که کد $G40$ یک کد مقید می‌باشد.

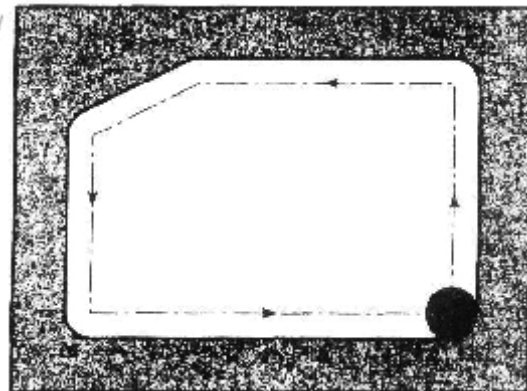
تصحیح ابزار چپ

$G41$

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ \quad G41 \quad D_$

این کد تصحیح فاصله مشخصی را به سمت چپ مسیر حرکت ابزار براده‌برداری اعمال می‌نماید.



شکل ۱۴-۶- ابزار براده‌برداری در سمت چپ خط برش قرار می‌گیرد.

در هنگام استفاده از این کد باید توجه داشت که پارامتر D ، مبین فاصله تصحیح بوده و بنا به مقادیری که به D نسبت داده می‌شود می‌توان فواصل متفاوتی را برای تصحیح فاصله ابزار براده‌برداری در نظر گرفت.

توجه داشته باشید که کد $G41$ یک کد مقید بوده و تا زمانی که توسط کد $G40$ آن را لغو ننماییم این کد به فعالیت خود ادامه خواهد داد. از آن جا که کد $G41$ تصحیح فاصله مشخصی را به سمت چپ مسیر براده‌برداری ابزار اعمال می‌نماید، باید شخص

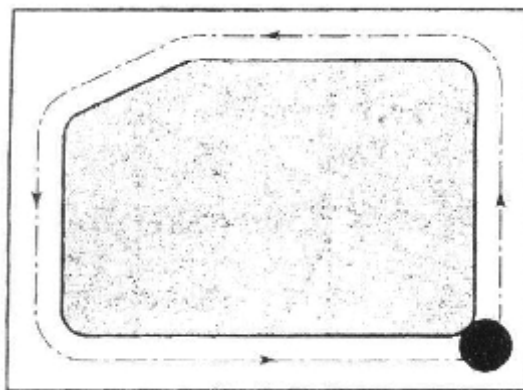
برنامه‌نویس حتماً به این نکته توجه داشته باشد که ابعاد قطعه پس از عمل براده‌برداری چه مقدار خواهد شد و این نکته را در پارامتر D اعمال نماید. هرگاه مسیر براده‌برداری تغییرجهت دهد (مثلاً از افقی به عمودی یا مورب) ابزار براده‌برداری به طور اتوماتیک، حرکت خود را با فاصله مورد نیاز برای تصحیح وفق می‌دهد.

G42 تصحیح ابزار راست

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ \quad G42 \quad D_$

این کد تصحیح فاصله مشخصی را به سمت راست مسیر حرکت ابزار براده‌برداری اعمال می‌نماید. (شکل ۶-۱۵)



شکل ۶-۱۵- ابزار براده‌برداری در سمت راست خط برش قرار می‌گیرد.

در هنگام استفاده از این کد باید توجه داشته باشید که پارامتر D مبین فاصله تصحیح بوده و بنا به مقادیری که به D نسبت داده می‌شود می‌توان فواصل متفاوتی را برای تصحیح فاصله ابزار براده‌برداری در نظرگرفت. توجه داشته باشید بنا به مقادیری که به D نسبت داده می‌شود حافظه ماشین (MCU) تصحیح فاصله‌های خاصی را به ابزار براده‌برداری نسبت می‌دهد. مثلاً برای D_{11} این مقدار

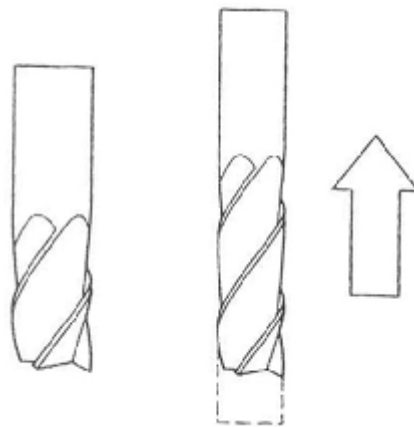
برابر 0.25 اینچ خواهد بود. از آن‌جا که کد G42 تصحیح فاصله مشخصی را به سمت راست مسیر براده‌برداری ابزار اعمال می‌نماید باید برنامه‌نویس حتماً به این نکته توجه داشته باشد که ابعاد قطعه پس از عمل براده‌برداری چه مقدار خواهد شد و این نکته را در پارامتر D اعمال نماید.

G43 تصحیح طول ابزار (مثبت)

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ \quad G43 \quad H_$

این کد تصحیح فاصله را به طول ابزار براده‌برداری اعمال می‌نماید. باید توجه داشت که ابزارهای مختلف دارای طول‌های متفاوتی می‌باشند و اگر نقطه مرجع برای ابزار خاصی تنظیم گردد، ممکن است برای ابزار دیگر این نقطه، نقطه مرجع نباشد. این مسئله موقعی حاد می‌گردد که در طول برنامه CNC احتیاج به تعویض ابزار براده‌برداری داشته باشیم. برای آن که نقطه مرجع در تعویض ابزار براده‌برداری تغییر موضع ندهد (در طول محور Z ها) از این کد استفاده می‌گردد. پارامتر H در این کد پارامتری است که به وسیله آن می‌توان تصحیح طول لازم را به ابزار براده‌برداری اعمال نمود. مثلاً $H13$ مبنی تصحیح فاصله‌ای برابر با 0.25 اینچ می‌باشد. (این مقادیر را می‌توان برای دستگاه CNC تعریف نمود). با توجه به شکل ۶-۱۶ مشخص است که طول ابزار جدید (سمت راست) نسبت به طول ابزار قدیم (سمت چپ) کمی بلندتر است بنابراین اسپیندل دستگاه باید مقداری به سمت بالا و در جهت محور Z ها حرکت نماید. (این مقدار حرکت برابر با تصحیح طول ابزار می‌باشد).



شکل ۱۶-۶- برای جلوگیری از جابجایی نقطه مرجع دستگاه، ابزار براده‌برداری می‌بایستی به سمت بالا حرکت نماید.

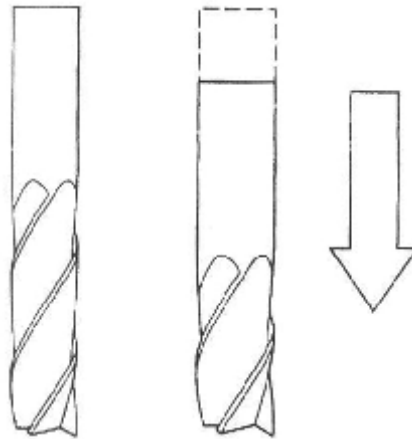
باید توجه داشت که مقدار H را باید به نوعی انتخاب کرد که تصحیح فاصله مربوطه به اندازه دقیقا برابر با اختلاف طول دو ابزار منجر گردد. مثلا اگر اختلاف طول دو ابزار متفاوت 0.25 اینچ بود می‌توان پارامتر $H10$ را برای ماشین CNC تعریف کرد و مقداری که به این پارامتر متعلق می‌گیرد را 0.25 اینچ معرفی نمود.

G44 تصحیح طول ابزار (منفی)

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ G44 H_$

همانند کد $G43$ این کد نیز تصحیح فاصله مشخصی را به طول ابزار براده‌برداری اعمال می‌نماید. پارامتر H در این کد پارامتری است که به وسیله آن می‌توان تصحیح طول لازم را به ابزار براده‌برداری اعمال نمود. باید توجه داشت که از این کد هنگامی استفاده می‌شود که طول ابزار جدید از طول ابزار قدیم کوتاه‌تر باشد.



شکل ۱۷-۶- برای جلوگیری از جابجایی نقطه مرجع دستگاه، ابزار براده‌برداری باید مقداری به سمت پایین حرکت نماید.

با توجه به شکل ۱۷-۶، مشخص است که طول ابزار جدید (سمت راست) نسبت به طول ابزار قدیم (سمت چپ) کمی کوتاه‌تر است بنابراین اسپیندل دستگاه باید مقداری به سمت پایین و در جهت منفی محور Z حرکت نماید. (این مقدار حرکت برابر با تصحیح طول ابزار می‌باشد)

در هنگام استفاده از این کد باید توجه داشت که مقدار H را باید به نوعی انتخاب کرد که تصحیح فاصله مربوطه به ابزار دقیقاً برابر با اختلاف طول دو ابزار گردد.

G49 لغوکننده کدهای مربوط به تصحیح طول ابزار

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ G49$

این کد لغوکننده کدهای مربوط به طول ابزار می‌باشد.

G80 لغوکننده مربوط به برنامه‌های آماده

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_G80

لازم به ذکر است که در بسیاری از ماشین‌های CNC برنامه‌های آماده‌ای وجود دارند که هرگاه کد مربوطه به این برنامه‌ها در خطی از برنامه CNC گنجانده شود آن برنامه‌ها به طور اتوماتیک اجرا خواهند شد. از جمله این برنامه‌های آماده می‌توان به کدهای G81 (سیکل سوراخکاری)، G82 (سیکل سوراخکاری به همراه توقف در حرکت عمودی ابزار براده‌برداری)، G83 (سیکل سوراخکاری عمیق)، قلاویزکاری، براده‌برداری و صیقل‌کاری اشاره نمود. کد G80 عملاً لغو‌کننده تمام این کدها می‌باشد و بهتر است که در سطرهای اول برنامه گنجانده شود.

G81 سیکل سوراخکاری

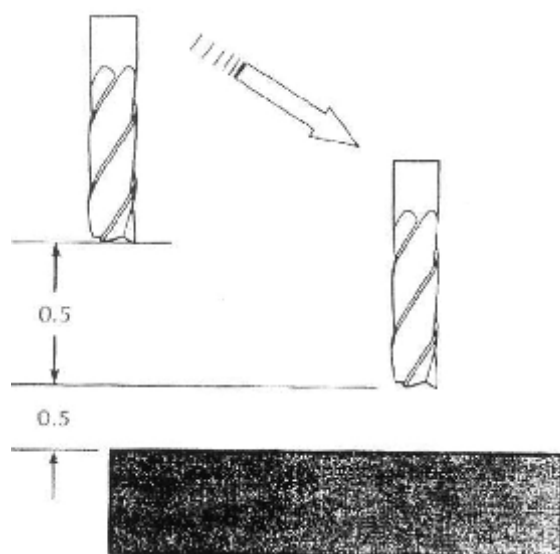
فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ \quad G81 \quad Z_ \quad R_ \quad F_$

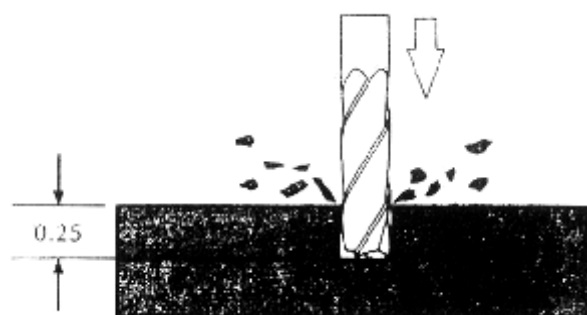
این کد یک کد مقید است و برای به وجود آوردن سوراخ بر روی قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این کد پارامتر Z نشان‌دهنده ارتفاعی است که از آن ارتفاع به بعد حرکت ابزار به صورت عمودی و همراه با براده‌برداری آغاز می‌گردد. مثلاً هرگاه ارتفاع کف ابزار براده‌برداری نسبت به سطح قطعه‌کار برابر برابر با ۱ اینچ باشد و سپس کد $G81$ را به طریقه زیر وارد نماییم:

$G81 \quad Z-0.5 \quad R0.125 \quad F5$

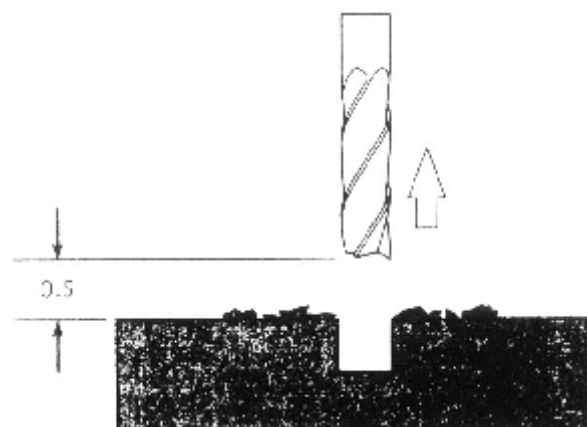
در ابتدا شاهد حرکت سریع ابزار براده‌برداری از $Z=1$ تا $Z=0.125$ خواهیم بود. پس از آن حرکت آهسته ابزار براده‌برداری با نرخ 5 اینچ بر دقیقه شروع می‌شود و تا $Z=-0.5$ ادامه پیدا می‌کند. سپس ابزار براده‌برداری به موقعیت میانی یعنی موقعیت $Z-0.125$ برمی‌گردد و منتظر موقعیت جدید مکانی برای سوراخکاری می‌ماند. اشکال ۶-۱۸ را نگاه کنید.



شکل ۱۸-۶-۱۸ a



شکل ۱۸-۶-۱۸ b



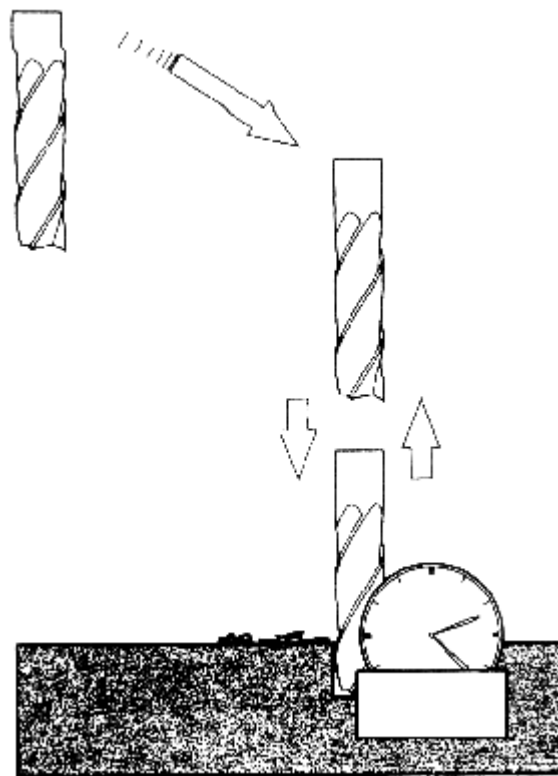
شکل ۱۸-۶-۱۸ c

G82 سیکل سوراخکاری به همراه توقف در حرکت عمودي ابزار براده‌برداری

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ \quad G82 \quad Z_ \quad R_ \quad P_ \quad F_$

این کد دقیقاً همان عمل کد G81 را انجام می‌دهد با این تفاوت که وقتی ابزار براده‌برداری به عمق مورد نظر برای سوراخکاری رسید، حرکت عمودي ابزار قطع می‌شود ولیکن ابزار براده‌برداری در همان عمق شروع به دوران تا مدت زمان خاصی می‌نماید. (شکل ۶-۱۹)



شکل ۶-۱۹- پس از رسیدن به عمق مورد نظر، ابزار براده‌برداری تا مدت زمان خاصی در همان عمق به دوران خود ادامه می‌دهد.

با استفاده از این کد می‌توان صیقلکاری مناسبی در درون سوراخ‌های ایجاد شده داشت. لازم به ذکر است که مدت زمان توقف در عمق سوراخ را با پارامتر P مشخص

می‌نماییم. زمان توقف بر حسب ثانیه می‌باشد. مثلاً پارامتر $P30$ نشان‌دهنده زمان توقفی برابر با ۳۰ ثانیه در عمق سوراخ ایجاد شده می‌باشد. دستور $G92$ جهت جابه‌جایی مختصات نقطه مبدأ به کار می‌رود. توجه داشته باشید که مبدأ یک نقطه فیزیکی در دستگاه ماشین ابزار نمی‌باشد. غالباً مبدأ را در محلی قرار می‌دهیم که بتوانیم به راحتی مختصات سایر نقاط را از مبدأ به دست آوریم. (برای مثال یکی از گوشه‌های قطعه‌کار). بعضی مواقع لازم می‌شود که نقطه مبنا انتقال یابد. به عنوان مثال اگر بخواهیم عملیات یکسان بر روی چند قطعه‌کار انجام دهیم می‌توان نقطه مبنا را حرکت داد و تا زمانی که خودتان آن را باز نگردانید در محل انتقال یافته خواهد ماند.

$G98$ حرکت سریع ابزار به صفحه ارتفاع اولیه

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ G98$

دستور $G98$ باعث می‌شود که ابزار براده‌برداری پس از انجام عمل سوراخکاری به طور اتوماتیک به صفحه ارتفاع اولیه بازگشت نماید. این برگشت به نوعی انجام می‌گیرد که ابزار براده‌برداری بالا و بیرون از قطعه‌کار قرار گیرد. (شکل ۲۰-۶)

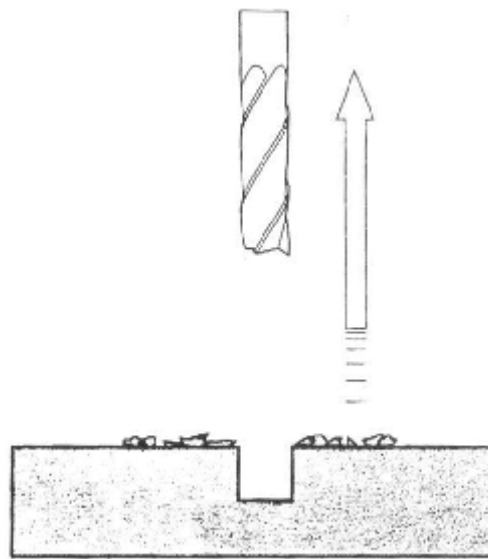


Figure 3

شکل ۲۰-۶- برگشت سریع ابزار براده‌برداری به صفحه ارتفاع اولیه پس از انجام عمل سوراخ‌کاری

G99 حرکت سریع ابزار به صفحه ارتفاع میانی

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ G99$

دستور G99 باعث می‌شود که ابزار براده‌برداری پس از انجام عمل سوراخ‌کاری به طور اتوماتیک به صفحه ارتفاع میانی بازگشت نماید.

کدهای M مقدماتی

همان طور که می‌دانید کدهای M توابع گوناگونی را شامل می‌شوند که در بردارنده فعالیت‌های لازم برای انجام عملیات ماشین‌کاری می‌باشند ولیکن هیچ‌گونه حرکت ابزار براده‌برداری را تولید نمی‌نمایند. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به مواردی از جمله اتمام برنامه، اتمام موضعی برنامه، حرکت دورانی اسپیندل در جهت عقربه‌های ساعت، حرکت دورانی اسپیندل خلاف

جهت حرکت عقربه‌های ساعت و ... اشاره کرد. کدهای M مقدماتی به شرح جدول ۶-۲ می‌باشند.

```

N20 G00 X1 Y1
N25 Z0.5
N30 G82 Z-0.25 R0.125 P1 F5
N35 X2
N40 X3
N45 Y2
N50 X2
N55 X1
N60 G80 G00 Z1
N65 X0 Y0
N65 X0 Y0
N70 M05
N75 M30

```

Figure ۴

G83 سیکل سوراخکاری عمیق

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ G83 Z_ R_ Q_ F_$

هرگاه خواهیم سوراخکاری عمیق بر روی قطعه کار انجام دهیم نباید این کار را تنها با یک کد G81 (سوراخکاری معمولی) انجام دهیم. زیرا امکان شکستن ابزار براده‌برداری در داخل قطعه کار وجود دارد. این مشکل را می‌توان با استفاده از کد G83 حل نمود. با استفاده از این کد می‌توان کل عمق سوراخ را به چند قسمت مساوی تقسیم نموده و در هر نوبت به همان مقدار براده‌برداری انجام داد. مثلاً فرض کنید عمق سوراخ 0.75 اینچ باشد، در این صورت می‌توان این عمق را به ۱۲ قسمت 0.0625 اینچی تقسیم کرد و در هر بار براده‌برداری (از ابتدای سوراخکاری تا انتهای آن) 0.0625 اینچ براده‌برداری نمود. پارامتر Q در این کد

مشخص می‌نماید که هر دفعه به چه اندازه براده‌برداری صورت می‌گیرد. مثلاً اگر کد G83 را به ترتیب زیر به کار ببریم:

G83 Z-0.1875 R0.0625 F5

ماشین CNC به تریب زیر عمل خواهد نمود:

- ۱- در این مرحله ابزار براده‌برداری حرکت وسیعی از $Z=0.125$ اولیه به $Z=0.125$ خواهد داشت.
- ۲- پس از طی مرحله اول ابزار براده‌برداری حرکت کندي از $Z=0.125$ تا $Z=-0.0625$ با نرخ براده‌برداری ۵ اینچ بر دقیقه خواهد داشت.
- ۳- در این مرحله ابزار براده‌برداری به $Z=0.125$ برمی‌گردد سپس حرکت وسیعی تا $Z=-0.0625$ انجام می‌دهد و پس از آن حرکت کندي با نرخ براده‌برداری 5ipm تا رسیدن به $Z=-0.125$ انجام می‌دهد.
- ۴- در این مرحله ابزار براده‌برداری به $Z=0.125$ برگشت می‌نماید. پس حرکت سریعی تا $z=-0.125$ انجام می‌دهد و پس از آن حرکت کندي با نرخ براده‌برداری 5ipm تا رسیدن به $Z=-0.1875$ انجام می‌دهد.
- ۵- عمل سوراخکاری عمیق پایان می‌پذیرد و ابزار براده‌برداری حرکت سریعی به طرف $Z=0.125$ انجام می‌دهد.

G90 مختصات مطلق

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ G90

این کد سیستم ماشین CNC را به نوعی تنظیم می‌نماید که تمام مختصات را به صورت مطلق بپذیرد به یاد داشته باشید که در این حالت تمام نقاط جسم نسبت به یک نقطه مرجع مثلاً $(X0, Y0, Z0)$ سنجیده می‌شود. در صورتی

که بخواهیم از این کد استفاده نماییم باید این کد را در اولین خطوط برنامه وارد نماییم.

G91 مختصات نسبی

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ G91

این کد ماشین CNC را به نوعی تنظیم می‌نماید که مختصات نقطه جدید را نسبت به مختصات نقطه قبل از خود اندازه‌گیری نماید.

G92 تغییر مختصات مبدأ

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ G92

N40 X1 Y2 Z-0.5

N45 G19 G02 Y1 Z-0.1 J-0.5 K0.2

N40 G17 G00 Z1

N45 X0 Y0

N50 M05

N55 M30

•Figure

M04 حرکت دورانی اسپیندل در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ M04 S_

این کد مانند M03 عمل می‌نماید، با این تفاوت که این کد باعث دوران اسپیندل در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌شود. بعد از کد M03 نیز باید فاکتور سرعت دورانی اسپیندل بر حسب rpm (دور بر دقیقه) قرار گیرد.

M05 توقف حرکت دورانی اسپیندل

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ M05

این کد جهت متوقف کردن حرکت اسپیندل اختصاص یافته است اگر چه سایر *M* کدهای (نظیر *M01, M00*) تمام حرکات و فعالیت‌ها را متوقف می‌کنند ولی کد *M05* منحصرًا حرکت دورانی اسپیندل را متوقف می‌سازد. این کد در خطوط انتهایی برنامه قرار می‌گیرد.

***M06* تعویض ابزار براده‌برداری**

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ M06 T_

کد *M06* تمامی عملیات ماشین را جهت تعویض ابزار متوقف می‌سازد. در واقع این کد شامل ۲ دستور می‌باشد. قسمت اول آن توقف تمام عملیات ماشین می‌باشد. (به عنوان مثال متوقف کردن حرکت اسپیندل و حرکت تمامی محورها و ...) و قسمت دوم آماده‌سازی جهت تعویض ابزار می‌باشد. بدین ترتیب یعنی کافی جهت تعویض ابزار حاصل می‌شود. بعد از اجرای این کد دستور زیر در صفحه نمایش ظاهر می‌گردد.

The New Tool Will be Change

برای از سرگیری عملیات ماشینکاری با توجه به دستور زیر:

"*M06 TOOL CHANGE – ENTER TO CONTINUE*"

باید حتماً دکمه *ENTER* فشار داده شود.

جدول ۶-۲- کدهای M مقدماتی

کد	کاربرد
M00	توقف برنامه
M01	توقف موضعی برنامه
M02	انتهای برنامه
M03	حرکت دورانی اسپیندن در جهت عقربه‌های ساعت
M04	حرکت دورانی اسپیندل در خلاف جهت عقربه‌های ساعت
M05	توقف حرکت دورانی اسپیندن
M06	تعویض ابزار
M08	روشن شدن سیستم خنک کاری
M09	خاموش شدن سیستم خنک کاری
M10	بستن گیره‌ها
M11	بازکردن گیره‌ها
M30	انتهای برنامه و تنظیم برای برنامه‌نویسی مجدد

Figure 6

M00 توقف برنامه

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_ M00

کد M00 برای توقف موقتی برنامه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اجرای این کد تمام عملیات به صورت موقتی متوقف می‌گردد و برای راه‌اندازی مجدد برنامه در دستگاه نیاز به تحریک اپراتور می‌باشد. در نرم‌افزار CNCez با اجرای این کد جمله زیر ظاهر می‌شود:

CNCez: "PROGRAM STOP. ENTER TO CONTINUE"

و تا زمانی که دکمه *ENTER* فشار داده نشود، راه‌اندازی نمی‌شود. این کد در طول برنامه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا با توقف برنامه

تنظیماتی مانند اندازه‌گیری تنظیم جریان خنک‌کاری و ... صورت گیرد.

M01 توقف موضعی برنامه

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M01$

این کد دستوری برای ایجاد مکث در برنامه می‌باشد. با گنجاندن این کد در یکی از بلوک‌های برنامه، برنامه CNC تا این بلوک اجرا شده و به محض رسیدن به این کد متوقف می‌گردد و تا تحریک توسط اپراتور صورت نگیرد، راه‌اندازی نخواهد شد.

M02 اتمام برنامه

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M02$

کد M02 بیانگر اتمام برنامه و تمام عملیات برنامه می‌باشد. به محض دریافت M02، قسمت (MCU) ماشین تمام اعمال ماشین را متوقف می‌سازد. (به عنوان مثال اسپیندل، تمام محورها، جریان خنک‌کاری و ...) این کد در آخرین خط برنامه قرار می‌گیرد.

M03 حرکت دورانی اسپیندل در جهت عقربه‌های ساعت

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M03$

با اجرای این کد اسپیندل دستگاه شروع به دوران در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌نماید. الزاماً بعد از حرکت (M03) سرعت دورانی اسپیندل باید قرار گیرد و متغیر S بیانگر سرعت دورانی اسپیندل بر حسب rpm (دور در دقیقه) می‌باشد.

M08 روشن شدن سیستم خنک‌کاری

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M08$

این کد باعث روشن شدن سیستم خنک‌کاری دستگاه و ریختن مایع خنک‌کاری در محل تنظیمی می‌گردد.

M09 خاموش شدن سیستم خنک‌کاری

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M09$

این کد باعث خاموش شدن سیستم خنک‌کاری و قطع جریان خنک‌کاری می‌شود. قطع جریان خنک‌کاری باید قبل از تعویض ابزار یا مواقعی ابزار فواصل طولانی را با حرکت سریع طی می‌کند، صورت می‌گیرد.

M10 بستن گیره‌ها

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M10$

با اجرای این دستور گیره‌های اتوماتیک روشن شده و قطعه‌ای را محکم در بر می‌گیرند. گیره‌های اتوماتیک می‌توانند از انواع پنوماتیکی، هیدرولیکی و الکترومکانیکی باشند. این کد غالباً در بلوک‌های ابتدایی برنامه CNC قرار می‌گیرد.

M11 باز کردن گیره

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

$N_ M11$

این دستور باعث باز شدن گیره‌های اتوماتیکی (پنوماتیکی، هیدرولیکی و الکترومکانیکی) شده و به دنبال آن می‌توان قطعه‌کار را جابه‌جا کرد و قطعه بعدی را جایگزین نمود. این کد غالباً در بلوک‌های انتهایی برنامه CNC قرار می‌گیرد.

M30 اتمام برنامه و تنظیم برای برنامه‌نویسی مجدد

فرم کلی این کد به صورت زیر می‌باشد:

N_M30

این کد به پایان برنامه‌نویسی اشاره می‌نماید. وارد کردن این کد در یکی از بلوک‌های برنامه به این معناست که دیگر بعد از آن برنامه‌نویسی ادامه نخواهد داشت. این مسأله به ماشین‌های NC قدیمی باز می‌گردد زیرا این ماشین‌ها قادر نبودند انتهای یک برنامه را با برنامه بعد تشخیص دهند. بنابراین به یک کد جهت پایان برنامه نیاز داشتند. در حال حاضر کد M30 وقتی استفاده می‌شود، بیانگر اتمام برنامه و تنظیم برای برنامه‌نویسی مجدد است.

فهرست اختصارات متداول در برنامه CNC

اختصارات در برنامه‌های CNC در موارد مختلف همراه با G کدها و M کدها مورد استفاده قرار می‌گیرند. برنامه‌نویس باید با تکتک این اختصارات آشنا باشد و بداند که هر کدام بیانگر چه تغییری هستند. در زیر این اختصارات و توضیح مربوط به هر کدام آورده شده است:

D : پارامتر مربوط به تصحیح اندازه قطر

F : پارامتر مربوط به نرخ براده‌برداری (تغذیه)

G : کدهای اعمال مقدماتی (G کدها)

H : پارامتر مربوط به تصحیح اندازه ارتفاع

I : پارامتر تعیین مختصات مرکز قوس نسبت به نقطه

شروع قوس در راستای محور X

J : پارامتر تعیین مختصات مرکز قوس نسبت به نقطه

شروع قوس در راستای محور Y

K : پارامتر تعیین مختصات مرکز قوس نسبت به نقطه

شروع قوس در راستای محور Z

M : پارامتر اعمال گوناگون (M کدها)
 N : پارامتر بیان کننده شماره خط برنامه
 P : پارامتر میزان تأخیر زمانی
 R : پارامتر میزان برگشت به فاصله میانی با کدهای
 $G83, G82, G81$ و پارامتر اندازه شعاع با کدهای $G03, G02$
 S : پارامتر میزان سرعت دورانی اسپیندل
 T : پارامتر مربوط به نوع ابزار
 X : بیانگر مختصات در راستای X
 Y : بیانگر مختصات در راستای Y
 Z : بیانگر مختصات در راستای Z