

دانشگاه فنی و حرفه‌ای

دانشکده‌ی فنی شماره‌ی ۲ ساری

عنوان :

ماشینهای CNC چوب

گردآورنده:

احسان باری

۱۳۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

۱	چکیده.....
۲	مقدمه.....
۳	فصل اول : CNC.....
۵	فصل دوم : مبانی ماشینکاری.....
۶	مبانی کنترل عددی NC.....
۷	اجزای CNC.....
۸	قرارداد محورها در ماشینهای CNC.....
۹	ساختمان یک برنامه NC.....
۱۰	طبقه بندی سیستم های کنترل عددی.....
۱۱	ماشینکاری نقطه به نقطه در مقابل ماشینکاری پیوسته.....
۱۳	کنترل سخت افزاری NC در مقابل کنترل نرم افزاری.....
۱۵	سیستم های نموی و مطلق.....
۱۷	سیستم های حلقه باز و حلقه بسته.....
۱۸	ماشینکاری با سرعت بالا.....
۱۹	مفهوم سرعت های بالا در ماشینکاری.....
۲۰	سرعت های بالا بر اساس معیار DN.....
۲۱	سرعت های بالا بر اساس داده های پایداری.....
۲۳	فصل سوم : انواع روشهای نمایشی منحنی.....
۲۴	روشهای نمایش منحنی و پارامتری.....
۲۶	منحنی های BEZER.....
۲۷	منحنی های B-SPLINE.....
۲۸	منحنی های NURBS.....
۳۰	منحنی های فیثاغورث-هدوگراف.....
۳۲	چند جمله ای های سه گانه فیثاغورث.....
۳۴	مبانی منحنی فیثاغورث-هدوگراف.....
۳۵	درجه منحنی فیثاغورث.....
۳۶	منحنی های منحنی فیثاغورث-درجه ۳.....
۳۸	منحنی های فیثاغورث هدوگراف-درجه بالاتر-درجه ۵.....
۳۹	محاسبه طول کمان در منحنی های فیثاغورث.....
۴۴	تولید فرمان سرعت در سیستم های CNC.....
۴۵	پروفیل سرعت دوزنقه ای.....
۵۲	روش درون یابی خطی با بکارگیری پروفیل سرعت دوزنقه ای.....
۵۶	روش درون یابی دایره ای.....
۶۵	منابع.....

چکیده

در این تحقیق در ابتدا به بیان مبانی ماشینکاری و نحوه های نمایش یک منحنی پرداخته می شود. و سپس با معرفی منحنی های فیثاغورث-هدوگراف و بیان خواص ریاضی آنها، مسأله درونیابی هندسی با بکارگیری چنین منحنی هایی بحث و حل می گردد. در ادامه ضمن تشریح عملکرد واحد درونیاب، در ابتدا انواع درونیابی خطی و دایره ای با بکارگیری پروفیل سرعت مناسب شبیه سازی می شوند. سپس با بکارگیری منحنی های فیثاغورث-هدوگراف، درونیابی به صورت Real-Time توسط این منحنی ها (در قالب G05) تشریح و شبیه سازی می گردد.

مقدمه

امروزه قطعات صنعتی دارای پیچیدگی های هندسی متفاوتی می باشند که فقط با استفاده از ماشین ابزارهایی با دقت بالا قابل تولید اند. با پیشرفت چشمگیری که در صنعت الکترونیک در دهه هفتاد میلادی به وجود آمد بکارگیری مینی کامپیوتر ها در صنعت ماشینکاری مرسوم گردید.

ماشین ابزارهایی که به کمک کامپیوتر هدایت می شدند CNC نام گرفتند. به کمک CNC به تدریج دقت مورد نیاز برای تولید قطعات پیچیده در صنایع مختلف مانند هوافضا و قالب سازی حاصل شد. با دست یابی به تلرانسهای بسیار دقیق برای تولید یک قطعه تدریجا اندیشه بالاتر بردن سرعت تولید نیز قوت یافت. با ساخت ابزارهایی با سختی زیاد، شرایط برای بالا بردن نرخ تولید نیز بهبود یافت «۲». تا اینکه امروزه با بکارگیری تکنیکهای ماشینکاری با سرعتهای بالا قطعاتی با تلرانسهای دقیق در زمان بسیار کوتاهی تولید می گردند. برای دست یابی به قابلیت ماشین کاری با سرعتهای بالا می باید در زمینه های مختلف مانند طراحی سازه ای، کنترل ارتعاشات خود برانگیخته، یافتن بهترین نرخ براده برداری و کنترل حرکت و سرعت در راستای مسیر مورد نظر به پیشرفتهایی دست یافت.

فصل اول :

Cnc:

کنترل حرکت در راستای یک مسیر در ماشینهای CNC در واحد درونیاب صورت می گیرد. اکثر درونیابهای CNC فقط قابلیت درونیابی در راستای خط و دایره را دارا می باشند. به دلیل اینکه برای ماشینکاری یک مسیر منحنی شکل در حالت عمومی با بکارگیری این نوع درونیابها نیاز به شکسته شدن منحنی به قطعاتی از خط و دایره می باشد، لذا این دو نوع درونیابی به تنهایی پاسخگوی همه کاربردها از جمله ماشینکاری در سرعتهای بالا، نیستند. بنابراین بکارگیری نوع دیگری از درونیابها یعنی درونیابی در راستای یک منحنی ضروری به نظر می رسد. محققین مختلفی در این زمینه به تحقیق پرداخته اند و الگوریتمهای مختلفی را بر مبنای بکارگیری منحنی های پارامتری چند جمله ای در حالت عمومی ارائه داده اند.

Korn در ابتدا با توسعه درونیابی دایره ای، روشهایی را برای درونیابی منحنی ها درجه دو ارائه داد Korn , Yang , Kong, Huang , Yang با بکارگیری منحنی های پارامتری چند جمله ای روشهایی را برای درونیابی یک منحنی ارائه دادند اما این روشها قاعدتاً برای درونیابی یک منحنی درجه سه به کار می رود و در بکارگیری منحنی های درجه بالاتر کارایی لازم را ندارند. به تدریج با بکارگیری مفاهیم B-Spline ها، Bedi و همکاران روش دیگری را برای درونیابی در راستای یک منحنی ارائه دادند. تقریباً در همین زمان Wang , Yang بر اساس پارامتر سازی طول کمان روش بسیار مناسبی را برای مسأله درونیابی Real-Time در راستای منحنی ارائه دادند. که این روش برای بکارگیری در CNC نسبتاً رواج یافت. با بهبود روش پارامتر سازی طول کمان توسط Wang , Wright این روش برای بکارگیری منحنی های درجه پنج بسیار کارا گردید. همچنین این روش

توسط Altintas [1] نیز با بکارگیری پروفیل سرعت متفاوتی استفاده شده اتس. اما تمامی این روشه که مبتنی بر پارامتر سازی طول کمان می باشند روشهای تقریبی هستند.

با بکارگیری منحنی های خاصی بنام منحنی های فیثاغورث – هِدوگراف¹ (PH) که زیر مجموعه ای از منحنی های پارامتری چند جمله ای می باشند مسأله درونیابی Real-Time را می توان به صورت تحلیلی نیز حل نمود. این منحنی ها که توسط Farouki , Sakalis معرفی شدند خواص ریاضی ویژه ای دارند که این خواص قابلیت محاسبه طول کمان به صورت یک عبارت پارامتری چند جمله ای را ممکن می سازند. روشهای درونیابی مختلفی به صورت Real-Time بر مبنای انی منحنی ها توسط Farouki ارائه گردیده است. همچنین با بکارگیری منحنی های فیثاغورث- هِدوگراف می توان سرعت پیشروی بهینه را برای حرکت بر روی یک مسیر منحنی با توجه به قدرت ماشین نیز بدست آورد.

همچنین ترکیب متفاوتی از انواع پروفیل های سرعت برای ماشینکاری یک مسیر منحنی بررسی شده و بهترین پروفیل سرعت جهت بکارگیری در ماشینکاری با سرعتهای بالا پیشنهاد می گردد. در بخشهای بعدی مسأله یافتن سرعت پیشروی بهینه بر روی یک منحنی فیثاغورث- هِدوگراف با توجه به توانایی و قدرت ماشین مورد استفاده بیان شده و پروفیل های سرعت متفاوتی برای حل این مسأله بکار گرفته می شوند.

ضمن اینکه با وارد کردن نیروهای برشی در قیود موجود و بکارگیری پروفیل های سرعت مناسب تر، فرمول بندی جدیدی برای مسأله صورت می گیرد و جوابهای واقعی تری برای حل این مسأله ارائه می گردد. در پایان الگوریتمهای شبیه سازی شده برای درونیابی در راستای خط، دایره و منحنی با بکارگیری تکنیکهای خاصی عملاً بر روی دستگاه CNC موجود پیاده می گردند.

¹Pythagorean-Hodograph

فصل دوم: مبانی ماشینکاری

۱-۲- مقدمه

سیستم های تولید پیشرفته و رباتهای صنعتی سیستم های اتوماتیک پیشرفته ای هستند که از کامپیوترها به عنوان واحد کنترل استفاده می کنند. کامپیوترها امروزه اصلی ترین قسمت اتوماسیون می باشند که سیستم های مختلف تولید مانند ماشینهای ابزار پیشرفته، ماشین های جوشکاری دستگاههای برش لیزری و غیره را کنترل می کنند.

پس از اینکه مکانیزم تولید اتوماتیک و تولید انبوه در اواخر قرن ۱۸ توسعه یافت اولین ماشینهای ابزار اتوماتیک مانند ماشینهای کپی تراش بوجود آمدند [1]. نخستین ماشین ابزار کنترل عددی بوسیله شرکت پارسونز و MIT در سال ۱۹۵۲ ساخته شد. اولین نسل ماشین های کنترل عددی از مدارهای الکترونیکی دیجیتال استفاده می کردند و در حقیقت در آنها هیچ واحد پردازش مرکزی وجود نداشت. در دهه ۱۹۷۰ با بکارگیری مینی کامپیوترها به عنوان واحد کنترل ماشین های ابزار با کنترل عددی به کمک کامپیوتر (CNC) گسترش یافتند.

این ماشینها توانای ماشینکاری انواع شکلهای پیچیده در صنعت قالب سازی و هوافضا را به خوبی دارا بودند. از اواسط دهه ۸۰ با توسعه صنعت ساخت ابزارهایی با سختی بالا ماشینکاری با سرعتهای بالا (^۱HSM) به منظور افزایش نرخ تولید رواج یافت. بکارگیری این قابلیت در CNC نیاز به داشتن اطلاعات ویژه ای درباره نرخ براده برداری بهینه ، پیش بینی وقوع ارتعاشات خود برانگیخته، طراحی سازه ای و نحوه کنترل محورها را بیش از پیش ضروری ساخت. امروزه علاوه بر این موارد انتخاب صحیح نرخ پیشروی و شتاب گیری محورها در ماشینکاری با سرعت بالا حایز اهمیت می باشد بطوری که سعی می شود به نحوی مقادیر بهینه آنها در ماشینکاری بکار گرفته شود.

¹High Speed Machining

هم اکنون با پیشرفت در صنعت الکترونیک و کامپیوتر ماشینهای CNC با بکارگیری چندین میکروپرسور و کنترل کننده منطقی بطور موازی قابلیت‌های بسیاری را دارا می باشند بطوری که این ماشینها قابلیت کنترل موقعیت و سرعت چندین محور و قابلیت برنامه ریزی بصورت Real-Time و نمایش گرافیکی مراحل مختلف کار و پروسه برش و نمایش تغییر اندازه قطعه در حل ماشینکاری را دارا می باشند.

در این فصل ضمن بیان مبانی کنترل عددی و معرفی اجزای CNC و ساختار برنامه ای آن به طبقه بندی سیستم های NC و معرفی HSM نیز پرداخته می شود.

۲-۲- مبانی کنترل عددی NC:

کنترل یک ماشین ابزار بوسیله یک برنامه تهیه شده را کنترل عددی (NC) می نامند. یک سیستم کنترل عددی توسط EIA (Electronic Industrial Association) بصورت زیر تعریف می گردد:

سیستم کنترل عددی سیستمی است که حرکات در آن بوسیله وارد کردن اطلاعات بصورت عددی در هر نقطه صورت می گیرد و این سیستم می باید این اطلاعات را به عنوان فرمان به صورت اتوماتیک اجرا کند.

در یک سیستم NC اطلاعات عددی مورد نیاز برای تولید یک قطعه بصورت برنامه قطعه به ماشین داده می شود که این برنامه در گذشته بوسیله نوار پانچ به ماشین وارد می شد. برنامه یک قطعه به صورت بلوک‌هایی از اطلاعات مرتب می شود که هر بلوک حاوی اطلاعات عددی مربوط به تولید یک قسمت از قطعه کار مانند: طول قطعه، سرعت برش، نرخ پیشروی و ... می باشد. اطلاعات ابعادی (طول، عرض، شعاع دواير) و نوع درونیابی (خطی، دایره ای، در راستای منحنی) با توجه به طراحی قطعه مشخص می گردند. همچنین سرعت برش، نرخ پیشروی و توابع کمکی مانند خاموش و

روشن کردن مایع خنک کننده جهت چرخش اسپیندل و ... با توجه به پرداخت نهایی سطح و تلرانسهای مورد نیاز در برنامه قطعه کار وارد می گردند.

در مقایسه با ماشینهای ابزار سنتی، سیستم NC جایگزین عملیاتی می شود که اپراتور بصورت دستی انجام می دهد. در ماشینکاری سنتی یک قطعه با حرکت ابزار در طول قطعه کار بوسیله چرخاندن دستگیره متصل به پیچهای راهنما توسط اپراتور تولید می شود. بنابراین نیاز به اپراتوری با تجربه و زبردست می باشد که بتواند قطعه مورد نظر را ماشینکاری کند. اما در ماشین های NC نیازی به اپراتور با مهارت نیست در حقیقت اپراتور فقط می باید مراقب درست انجام شدن روند ماشینکاری با توجه به دستورات منتقل شده به ماشین باشد.

کلیه ابعادی که در برنامه وارد می گردند بر اساس واحد طول-مبنی (Basic Length Unit) BLU مقیاس بندی شده و به محورها ارسال می گردند. واحد طول - مبنی (BLU) به عنوان اندازه نمو نیز شناخته می شود که در عمل مربوط به دقت سیستم NC می شود و در حقیقت کوچکترین اندازه نموی می باشد که هر یک از محورهای می توانند حرکت کنند. در سیستم NC برای صدور فرمان حرکت هریک از محورها ابتدا طول حقیقی بر واحد-طول مبنی تقسیم می گردد. بعنوان مثال در یک سیستم NC که در آن $BLU=0.0001$ است برای حرکت 0.7 mm محور X در جهت مثبت دستور حرکت $x+700$ صادر می شود.

در ماشینهای NC هریک از محورهای حرکت مجهز به یک وسیله محرک جداگانه می باشند. این وسیله محرک می تواند یک dc موتور، یک عمل کننده هیدرولیکی و یا یک موتور پله ای باشد که بر اساس قدرت مورد نیاز دستگاه انتخاب می شوند.

۱-۲-۲- اجزاء CNC :

یک ماشین ابزار CNC از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: واحد مکانیکی ماشین ابزار، واحد تولید قدرت (شامل موتورهای و تقویت کننده ها) و واحد CNC.

واحد مکانیکی ماشین شامل بستر، ستونها، اسپیندل و سیستم محرک پیشروی می باشد. همچنین موتورهای محرک، تقویت کننده ها، منبع تغذیه ولتاژ بالا، سویچ های حدی از اجزای واحد الکترونیکی دستگاه می باشند. قسمت CNC دستگاه که بعنوان مرکز محاسبه و صدور فرمان حرکت محورها مطرح می گردد شامل حس گرهای موقعیت و سرعت و واحد کنترل دستگاه^۱ MCU می باشد. شکل (۱-۲) واحد های مختلف یک ماشین ابزار CNC را نمایش می دهد. واحد MCU از دو قسمت اصلی به نامهای واحد پردازش اطلاعات^۲ DPU و واحد حلقه های کنترل^۳ CLU تشکیل شده است وظیفه DPU رمزگشایی اطلاعات رسیده از برنامه قطعه کار و انتقال آن به CLU می باشد این اطلاعات شامل موقعیت ها و سرعت های مورد نیاز هر یک از محورها و همچنین سیگنالهای کنترل توابع کمکی می باشد از طرف دیگر CLU نیز به محض اتمام عملیات لازم برای ماشینکاری یک قسمت، اطلاعات لازم برای ماشینکاری قسمت بعدی را با فرستادن یک سیگنال درخواست می کند. همچنین CLU موتورهای هر یک از محورهای ماشین دارای یک موتور محرک و یک وسیله پس خور مجزا می باشند در سیستم های NC کل واحد MCU بصورت مدارهای سخت افزاری می باشند در حالیکه در CNC وظیفه قسمت DPU را نرم افزار انجام می دهد اما CLU همانند سیستم های NC از قطعات سخت افزاری تشکیل شده است.

۲-۲-۲- قرارداد محورها در ماشینهای ابزار CNC

^۱Machine Control Unit

^۲Digital Processing Unit

^۳Control Loops Unit

استاندارد RS-367A مربوط به EIA تا ۱۴ محور حرکت را در انواع ماشین های مختلف مشخص می کند. تعداد محورهای حرکت در ماشینهای ابزار معمولی عموماً تا پنج محور و در ماشینهای سنگ زنی تا چهارده محور نیز می رسد. ماشینهای ابزار در دستگاه مختصات کارترین برنامه ریزی می شوند. سه محور اصلی حرکت با نامهای X,Y,Z شناخته می شوند که محور Z عمود بر Y,X بوده و سه محور یک سیستم مختصات دست راست را تشکیل می دهند حرکت مثبت محور Z باعث دور شدن ابزار برش از قطعه کار می گردد. شکل (۲-۲) سیستم مختصات در یک ماشین سوراخکاری، فرزکاری و تراش را نمایش می دهد. جهت های مشخص شده در هر شکل نمایانگر جهت مثبت محورها در هر یک از ماشینها می باشد. در فرزکاری و سوراخکاری دو محور X,Y در صفحه افقی قرار دارند. در ماشین سوراخکاری حرکت مثبت محور Z باعث بالا رفتن اسپیندل می شود در حالیکه در فرز این حرکت بر عکس است. در تراش فقط دو محور برای ایجاد حرکت و ماشینکاری کافی است و چون اسپیندل بصورت افقی قرار دارد محور Z نیز افقی است. همچنین حروف A,B,C نیز برای حرکت زاویه ای به ترتیب حول محورهای X,Y,Z بکار می روند.

۳-۲-۲- ساختمان یک برنامه NC:

یک برنامه NC مراحل ماشینکاری یک قطعه را نمایش می دهد. این برنامه از بلوکهایی حاوی اطلاعات تشکیل شده است که هر بلوک با حرف N شروع شده و با شماره خط مشخص می گردد. بعنوان مثال یک بلوک معمولی از یک برنامه NC می تواند به شکل زیر باشد:

M03 T06 S1100 F150 Z-12.55 Y10 X25 G91 N0040
M07

هر بلوک از چندین کلمه تشکیل شده است و هر کلمه با یک حرف شروع می شود که عدد بعد از آن نمایانگر فرمان مشخصی برای ماشین می باشد. کلماتی که با حروف M,G شروع می شوند به

ترتیب به عنوان مقدماتی و توابع متفرقه معرفی می گردند. انواع حروف مورد استفاده در ماشینهای کنترل عددی را می توان بصورت خلاصه به شکل زیر تشریح نمود:

N	.....	شماره خط برنامه
G	.....	توابع مقدماتی
X	.....	حرکت در راستای محور X
Y	.....	حرکت در راستای محور Y
Z	.....	حرکت در راستای محور Z
A	.....	حرکت زاویه ای حول محور X
B	.....	حرکت زاویه ای حول محور Y
C	.....	حرکت زاویه ای حول محور Z
F	.....	نرخ پیشروی
M	.....	توابع کمکی
S	.....	سرعت اسپیندل
T	.....	شماره ابزار
R	.....	حرکت سریع محور Z

انواع کلمات مجاز در NC و توابع مربوط به آنها را می توان در استاندارد بین المللی ISO1056 یافت.

۳-۲- طبقه بندی سیستم های کنترل عددی

سیستم های کنترل عددی را می توان بر اساس چهار گروه زیر طبقه بندی کرد:

۱- با توجه به نوع ماشین: ماشینکاری نقطه به نقطه در مقابل ماشینکاری پیوسته.

۲- بر اساس ساختمان کنترلر: سخت افزار یا NC در مقابل CNC .

۳- بر اساس روش برنامه سازی: روش نموی در مقابل روش مطلق.

۴- بر اساس نوع حلقه های کنترل: حلقه باز در مقابل حلقه بسته.

۱-۳-۲- ماشینکاری نقطه به نقطه^۱ در مقابل ماشینکاری پیوسته^۲

ساده ترین مثال از ماشین ابزار NC نقطه به نقطه (PTP) ماشین سوراخکاری است در سوراخکاری، قطعه کار در راستای محورها به حرکت در می آید تا محلی که می خواهد مرکز سوراخ در آنجا واقع شود دقیقاً زیر ابزار قرار گیرد. سپس اسپیندل بصورت اتوماتیک به سمت قطعه کار حرکت کرده و عملیات سوراخکاری انجام می شود. پس از اتمام سوراخ مورد نظر ماشین بدون کنترل پیشروی و با حرکت سریع به سمت بالا حرکت می کند و قطعه کار به نقطه جدیدی که می باید سوراخ شود منقل شده عملیات تکرار می گردد.

در یک سیستم PTP مسیر ابزار برش و نرخ پیشروی آن هنگام عبور از یک نقطه به نقطه بعدی اهمیت چندانی ندارد و مسیر حرکت از نقطه ابتدا تا نقطه انتهایی احتیاج به کنترل ندارد (شکل (۲-۳)). بنابراین سیستم فقط احتیاج به کنترل موقعیت در نقطه نهایی دارد یعنی جایی که در قطعه باید سوراخ شود. این نوع عملیات PTP بوسیله تابع G00 صورت می گیرد [1].

در سیستم ماشینکاری یک مسیر پیوسته مانند عملیات فرزکاری در حالیکه ابزار عملیات برش را انجام می دهد محورها نیز قطعه کار را در مسیر خاصی حرکت می دهند. همه محورها می باید قادر باشند که بطور همزمان و با سرعتهای متفاوت حرکت کنند تا پروفیل مسیر مورد نظر را ایجاد کنند. مخصوصاً وقتی یک مسیر غیر خطی مورد نظر باشد تغییر سرعت هر یک از محورها بسیار مهم است.

¹Point – To – Point Machining

²Countouring Machining

در سیستم های پیوسته موقعیت ابزار برشی در انتهای هر قسمت به همراه نسبت بین سرعت های محوری، مسیر صحیح را در ماشینکاری قطعه مورد نظر معین می کنند. همچنین پیشروی منته به کیفیت سطح نهایی تأثیر می گذارد. به دلیل اینکه در این سیستم ها خطا در سرعت یک محور باعث ایجاد خطا در مسیر ماشینکاری می گردد (شکل (۴-۲)) سیستم می باید دارای حلقه های کنترل موقعیت پیوسته نیز باشد. در ماشینهای CNC هر محور مجهز به یک حلقه کنترل موقعیت جداگانه و یک شمارنده برای دریافت اطلاعات ابعادی قطعه می باشد که این اطلاعات به همراه نرخ پیشروی مورد نظر به واحد پردازش داده ها DPU برای درونیابی مناسب منتقل می گردند.

روشهای درونیابی مختلفی به صورت Real-Time در ماشینکاری پیوسته بکار گرفته می شود که از جمله مهمترین آنها که در همه ماشینهای CNC یافت می شود درونیابی خطی و درونیابی دایره ای می باشد که با دستورات G01 برای حالت خطی و G02 , G03 برای حالت دایره ای در ماشینهای ابزار بکار گرفته می شوند.

در درونیابی خطی (G01) سرعت هر محور به نحوی کنترل می گردد که ابزار در امتداد یک مسیر مستقیم در صفحه حرکت قرار گیرد. بعنوان مثال شکل (۵-۲) یک مسیر خطی فرزکاری را نمایش می دهد در این شکل به منظور اینکه ابزار در راستای خط مستقیم P1,P2 با سرعت مطلوب حرکت نماید می باید فرمان درونیابی G01 در برنامه قطعه کار بکار گرفته شود به عنوان مثال دستور ایجاد چنین مسیری می تواند به شکل زیر باشد:

f300 Y37.0 X60.00 G01 G90 N0010

در درونیابی دایره ای (G02 , G03) سرعت هر یک از محورها در صفحه حرکت برای ایجاد یک کمان می باید متفاوت باشند. فرمان درونیابی دایره ای در ماشینهای CNC به دو صورت به کار گرفته می شود. بعضی سیستم های CNC نیاز به دانستن مرکز کمان و نقطه انتهایی کمان دارند و

برخی دیگر احتیاج به شعاع دایره و نقطه انتهایی کمان دارند. شکل (۶-۲) یک نمونه مسیر فرزکاری بصورت کمانی از دایره را نشان می دهد.

CNC فرض می کند که ابزار در نقطه شروع کمان P1 قرار دارد. با توجه به صفحه حرکت و نسبت به جهت حرکت قبلی ابزار، ماشینکاری یک کمان می تواند در جهت عقربه های ساعت (G02) و یا خلاف جهت عقربه های ساعت (G03) صورت گیرد. در شکل (۶-۲) ابزار می باید در جهت خلاف عقربه های ساعت با یک سرعت پیشروی ثابت حرکت کند. هریک از خطوط فرمان زیر می توانند برای ایجاد این شکل با توجه به نوع واحد درونیایی CNC بکار گرفته شوند.

Xx_2, Yy_2, Rr_c, F_f G03 G90 N010

$Xx_2, Yy_2, Ii_c, Jj_c, F_f$ G03 G90 N010

که در دستور اول مختصات نقطه انتهایی و شعاع کمان به ماشین وارد می شود و در دستور دوم ماشینکاری کمان به کمک مختصات مرکز و نقطه انتهایی صورت می گیرد. در دستور دوم مقادیر j_c و i_c مختصات مرکز دایره نسبت به نقطه شروع می باشند که بصورت $j_c = y_c - y_1$ و $i_c = x_c - x_1$ تعریف می گردند.

در ماشینهای CNC جدید امکان درونیایی در راستای یک منحنی نیز فراهم شده است این نوع درونیایی با دستور G05 در یک ماشین بکار گرفته می شود [3]. جزئیات مربوط به این نوع درونیایی در فصلهای آینده به تفصیل بحث خواهد شد.

۲-۳-۲- کنترل سخت افزاری (NC) در مقابل کنترل نرم افزاری (CNC)

سیستم های NC که در دهه ۶۰ برای اولین بار بکار گرفته شدند از سخت افزارهای الکترونیکی بر اساس مدارهای دیجیتالی استفاده می کنند. سیستم های CNC که در دهه ۷۰ معرفی شده اند از یک مینی کامپیوتر و با یک میکرو کامپیوتر برای کنترل ماشین ابزار استفاده می کنند.

انعطاف پذیری سیستم و امکان تصحیح برنامه مربوط به یک قطعه، همچنین کم کردن تعداد مدارات سخت افزاری از جمله عواملی است که باعث تمایل استفاده روزافزون از سیستم های CNC به جای سیستم های NC می شود.

کنترلر های دیجیتال سخت افزاری در سیستم های NC از پالسهای ولتاژ استفاده می کنند که هر پالس باعث حرکتی به اندازه 1BLU در محور مربوطه می شود. در این سیستم ها یک پالس معادل 1BLU می باشد.

$$\text{Puls} = \text{BLU}$$

این پالسها باعث بکار انداختن موتورهای پله ای در سیستم های کنترل حلقه باز و یا سرو موتورهای DC در سیستم های کنترل حلقه بسته می شوند. تعداد پالسهایی که به هر محور منتقل می گردند معادل نمو حرکت مورد نیاز و فرکانس آنها نمایانگر سرعت هر محور می باشد.

در کامپیوتر اطلاعات به شکل کلمات در مبنای دو مرتب و ذخیره می گردند. هر کلمه از تعداد ثابتی بیت تشکیل می گردد که تعداد آنها معمولاً ۸ یا ۱۶ بیت می باشند. در کامپیوتر CNC هر بیت (یک رقم در مبنای دو) نمایانگر 1BLU می باشد.

$$\text{Bit} = \text{BLU}$$

بنابراین به عنوان مثال یک کلمه ۱۶ بیتی می تواند تا $2^{16} = 65536$ حرکت متفاوت محوری را نشان دهد (با احتساب صفر). اگر توانایی سیستم برای مثال $\text{BLU} = 0.01\text{mm}$ باشد این عدد حرکتی به اندازه 655.35 mm را نشان می دهد.

سیستم های CNC در ترکیبهای مختلف می توانند طراحی شوند ساده ترین آنها که به عنوان دیدگاه reference-pulse معرفی می گردد با سیستم های سخت افزاری NC برابری نموده و همانند آنها پالسها را به عنوان خروجی منتقل می کنند. بنابراین در این سیستم ها می توان نوشت:

$$\text{Bit} = \text{Pulse} = \text{BLU}$$

در شکل دیگر ماشینهای CNC کلمات در مبنای دو^۱ به عنوان خروجی منتقل می شوند. با وجود این موقعیت واقعی در این سیستم ها توسط یک وسیله دیجیتالی که آن نیز پالسهای تولید می کند نمایش داده می شود. بنابراین در همه سیستم های مبتنی بر CNC عبارات بیت و پالس و BLU هم ارزند.

۳-۲- سیستم های نموی و مطلق

یک سیستم نموی سیستمی است که در آن نقطه مرجع دستور بعدی، نقطه انتهایی عملیات در حال اجرا می باشد. در این سیستم ها هر قسمت از اطلاعات ابعادی به صورت یک اندازه نموی به ماشین منتقل می گردد.

به عنوان مثال در شکل (۷-۲) می باید پنج سوراخ در قطعه ایجاد گردد. فواصل از نقطه صفر تا هر سوراخ در شکل مشخص است. برای سوراخکاری با حرکت نموی می توان مختصات در راستای محور X را به ترتیب برای نقاط ۱ تا ۵ $x-300$, $x-700$, $x-300$, $x+600$, $x+200$, $x+500$ در برنامه قطعه وارد کرد. دقت شود که وقتی یک سیستم نموی در نظر گرفته می شود هم روش برنامه نویسی و هم وسایل پس خور^۲ می بایستی بصورت نموی باشند.

یک سیستم مطلق سیستمی است که در آن همه حرکتها بر مبنای یک نقطه مرجع صورت می گیرد که این نقطه به عنوان مبدا بوده و نقطه صفر نام دارد. فرمانهای حرکت به صورت یک فاصله مطلق از نقطه صفر بیان می شوند. نقطه صفر ممکن است یک نقطه در خارج از قطعه کار یا یک گوشه از آن در نظر گرفته شود. اگر از فیکسچر برای ماشینکاری استفاده می شود بهتر است که نقطه ای بر روی آن به عنوان نقطه صفر در نظر گرفته شود. در شکل (۷-۲) برای سوراخکاری با حرکت

¹ Binary Word

² Feed Back device

مطلق می توان مختصات در راستای محور x را برای نقاط ۱ تا ۵ بصورت: $x+500$, $x+700$, $x+300$, $x+1000$, $x+1300$ وارد نمود. نقطه صفر می تواند یک نقطه ثابت و یا یک نقطه شناور باشد. با استفاده از نقطه صفر شناور کاربر می تواند هر نقطه را در محدوده میز دستگاه بعنوان صفر انتخاب کند و این قابلیت به کاربر اجازه می دهد که فیکسچر را در هر جایی از میز که مناسب است قرار دهد.

سیستم ها مطلق را به دو دسته سیستم های مطلق خالص و سیستم های با برنامه نویسی مطلق تقسیم می کنند. در سیستم های مطلق خالص هم برنامه نویسی و هم سیگنالهای پس خور به یک نقطه مرجع اشاره می کنند اما چون استفاده از وسایل پس خور مطلق پرهزینه است مانند (انکدر دیجیتال چند کاناله) از سیستم هایی با برنامه نویسی مطلق استفاده می شود. در این سیستم ها وسایل پس خور به صورت نموی عمل می کنند ولی برنامه نویسی قطعه کار بر مبنای سیستم مطلق است.

مزیت قابل توجهی که سیستم های مطلق نسبت به سیستم های نموی دارند در حالتی است که عملیات ماشینکاری در حین کار متوقف می شود. این وقفه ممکن است به دلایل مختلفی مانند شکستن ابزار یا چک کردن یک پارامتر اتفاق بیفتد. در چنین مواقعی می باید میز ماشین به صورت دستی حرکت داده شود تا مشکل بوجود آمده بر طرف گردد. برای از سرگیری ادامه عملیات ماشینکاری سیستم های مطلق قادرند به راحتی و بصورت دقیق به محلی که در آنجا عملیات متوقف شده بازگشته و ماشینکاری را ادامه دهند. اما در سیستم های نموی در چنین شرایطی کاربر می باید میز را به صورت دستی دقیقاً به همان محل میز را به صورت دقیق به محلی که در آنجا عملیات متوقف شده بازگشته و ماشینکاری را ادامه دهند. اما در سیستم های نموی در چنین شرایطی کاربر می باید میز را بصورت دستی دقیقاً به همان محل

قبلی بازگرداند که این کار غیر ممکن است. لذا مجبور است که برنامه را مجدداً از ابتدا اجرا کند و این کار زمان زیادی را در تولید تلف می کند.

در عوض سیستم های نموی نیز در بعضی موارد از قبیل چک کردن بسیار راحت مسیر، اطمینان از صحت برنامه، اجرای راحت عملیاتی مثل mirror در اشکال متقارن، بر سیستم های مطلق ارجحیت دارند.

اکثر CNC های پیشرفته هر دو روش برنامه نویسی بصورت مطلق (G90) و نموی (G91) را پشتیبانی می کنند و مزایای هر دو روش را در اختیار کاربران قرار می دهند.

۴-۳-۲- سیستم های حلق باز و حلقه بسته

هر سیستم کنترلی از جمله سیستم های NC ممکن است بصورت کنترل حلقه باز یا بسته طراحی شوند. کنترل حلقه باز به این مفهوم است که هیچ پس خوری در سیستم وجود نداشته و هیچ اطلاعاتی از سیگنالهایی که کنترلر تولید کرده به آن برگردانده نمی شود. سیستم های حلقه باز NC از نوع دیجیتال بوده و از موتورهای پله ای برای به حرکت در آوردن پیچهای راهنما استفاده می کنند. موتورهای پله ای ساده ترین روش برای تبدیل پالسهای الکتریکی به حرکت مکانیکی می باشند و تقریباً راه حل ارزانی برای کنترل یک سیستم به حساب می آیند. به علت اینکه در سیستم های حلقه باز هیچ پس خوری از موقعیت میز وجود ندارد دقت سیستم تابعی از قابلیت موتورها می باشد که تا چه حدی بتوانند تعداد دقیق پالسهای ورودی را دریافت و به حرکت تبدیل کند. شکل (۸-۲) یک حلقه کنترل باز و یک حلقه کنترل بسته برای یک محور حرکت را نشان می دهد.

سیستم کنترل حلقه بسته موقعیت و سرعت واقعی محورها را اندازه گیری کرده و با مقدار مطلوب مقایسه می کند. اختلاف بین مقدار واقعی و مطلوب مقدار خطا می باشد. سیستم کنترل طوری طراحی می شود که این خطا را حذف کرده و یا به مینیمم مقدار خود برساند.

در سیستم های NC حلقه بسته هم ورودی به حلقه کنترل و هم سیگنال بازگتی توسط پس خور بصورت پالس می باشند. که هر پالس نمایانگر یک واحد BLU است. مقایسه کننده دیجیتالی پس از مقایسه این دو سیگنال مقدار خطا را مشخص کرده و آن را توسط یک تبدیل کننده دیجیتال-آنالوگ (DAC) به سروموتور منتقل می کند. لازم به ذکر است که سیگنال برگشتی توسط یک انکدر که روی پیچ راهنما سوار می شود به مقایسه کننده ها فرستاده می شود.

در مقایسه دو سیستم حلقه باز و حلقه بسته، سیستم حلقه باز قاعداً برای جاهایی بکار می رود که بار روی سیستم زیاد نیست. اما سیستم حلقه بسته را می توان برای انواع کاربردهای ماشینکاری بکار برد. محدودیت سیستم های حلقه باز مبتنی بر نوع ساختار سیستم و موتورهای پله ای می باشد. از خواص مهم موتورهای پله ای وابسته بودن سرعت ماکزیمم آن به بار گشتاوری وارد بر آن می باشد. در این موتور گشتاور بالاتر باعث کم شدن سرعت ماکزیمم می شود. لذا موتورهای پله ای برای بارهای گشتاورهای متغیر بکار برده نمی شوند. چون یک بار گشتاوری زیاد و غیر قابل پیش بینی در حین کار باعث از دست رفتن پالسها و در نتیجه تولید خطا می شود.

در سیستم های ماشینکاری پیوسته، گشتاور تأمین شده بوسیله موتور بر اساس نیروهای برش و وابسته به شرایط برش می باشد. بنابراین موتورهای پله ای به عنوان محرک این سیستم ها پیشنهاد نمی شوند. این موتورها قاعداً در برشکاری بوسیله لیزر و یا ماشینهای سوراخکاری PTP استفاده می شوند. در سیستم های حلقه بسته از موتورهای DC و یا AC به عنوان محرک استفاده می گردد.

۴-۲- ماشینکاری با سرعتهای بالا

نیاز صنعت به افزایش نرخ تولید همراه با کیفیت بالای محصولات نهایی باعث بکارگیری روشهای ماشینکاری با سرعت بالا (HSM) شده است. اصولاً با پیشرفت در صنعت ساخت ابزارهایی با سختی

بالا مانند CBN و Si3N4 راه برای افزایش نرخ براده برداری^۱ (MRR) هموار شد. با بکارگیری تحقیقات وسیعی که انواع سازندگان ماشین انجام داده اند امروزه نرخ براده برداری بصورت چشمگیری افزایش یافته است و این به معنی کاهش زمان تولید و افزایش بازده تولید می باشد. لذا استفاده از HSM روز به روز با استقبال گسترده تری مواجه می شود.

بطور کلی با بکارگیری قابلیت HSM در یک ماشین انجام عملیات ماشینکاری سریعتر صورت می گیرد. بعنوان مثال در سوراخکاری و قلاویز کاری، HSM باعث حرکت سریع بین سوراخها و رفت و برگشت سریع اسپیندل می گردد. اما عملکرد HSM در ماشینکاری سه بعدی انواع قالبها و سطوح پیچیده یعنی زمانی که نیاز به ماشینکاری در راستای میلیونها خط می باشد بهتر نمایان می شود. مثلاً در ماشینکاری قالب تزریق پلاستیک نشان داده شده در شکل (۹-۲) با بکارگیری HSM زمان ماشینکاری از ۳ ساعت و ۴۵ دقیقه به ۱۷ دقیقه کاهش یافته است.

با بکارگیری HSM علاوه بر افزایش نرخ براده برداری، سطح نهایی قطعه کار نیز مطلوبتر بوده و لذا نیاز به انجام عملیات ثانویه نظیر پرداخت کاری نخواهد بود. همچنین به علت براده برداری سریع اثرات ناشی از حرارت کاهش یافته و گرما به قطعه کار منتقل نمی گردد.

از دیگر مزایای استفاده از HSM کم شدن نیروهای برش می باشد. کاهش نیروهای برش علاوه بر تأثیر روی توان موردنیاز ماشینکاری بر روی وزن فیکسچرهای مورد استفاده نیز تأثیر می گذارد. بدین ترتیب که نیروی برش کمتر فیکسچر سبکتری را برای نگهداری قطعه کار طلب می کند. همچنین کم شدن نیروی برش باعث طولانی شدن عمر ابزار نیز می شود.

۱-۴-۲- مفهوم سرعتهای بالا در ماشینکاری

¹Material Removal Rate

عبارت HSM توانایی ماشینکاری با سرعت‌های سریع تر را نوید می دهد اما در ابتدا باید مفهوم کلمه سریعتر مشخص گردد.

در حقیقت همگی ما بر اساس تجربیات و نوع کاربردها تصور متفاوتی از کلمه سریعتر داریم. از آنجایی که طبق تئوری انیشتین هر حرکتی نسبی بوده لذا هر سرعتی نیز نسبی می باشد و HSM نیز از این امر مستثنی نیست و در حقیقت یک مفهوم نسبی است. مفهوم سرعت بالا می تواند با توجه به نوع عملیات و نوع ماده متفاوت باشد به عنوان مثال در قالب سازی افزایش نرخ پیشروی از میزان 250 mm/min در ماشینکاری قطعه از از جنس فولاد سخت شده تا 760 mm/min واقعا به مفهوم ماشینکاری با سرعت بالاست. یا افزایش سرعت فرزکاری از 380 mm/min تا 2600 mm/min در قنگام کار با یک قطعه آلومینیومی را نیز می توان به معنی استفاده از سرعت‌های بالا دانست. اما در فرزکاری شابلونی از جنس نرم سرعتی حدود 20000 mm/min نیز سرعت بالایی به حساب نمی آید.

به عبارت ساده HSM ماشینکاری با سرعت‌هایی بیشتر از سرعت‌های معمول در ماشینکاری سنتی می باشد. با این وجود تعاریف مختلفی بر اساس قطر و سرعت اسپیندل، سرعت و توان و دلانهای پایداری برای HSM ارائه شده است ([19] , [17]) که در ادامه دو معیار کاربردی تر آنها ارائه می گردد.

۲-۴-۲- سرعت‌های بالا بر اساس معیار DN

بعضی از منابع، از سرعت مطلق اسپیندل برای تعریف HSM استفاده می کنند. به عنوان مثال هر سرعتی بالاتر از 8000rpm را بعنوان سرعت بالا معرفی می کنند. اما این تعریف جامع نیست زیرا اندازه هندسی اسپیندل در آن وارد نمی شود. پر واضح است که بدست آوردن سرعت های بالای اسپیندل برای یک ماشین با قطر اسپیندل کوچک بسیار آسانتر از ماشینی با قطر اسپیندل بزرگتر می

باشد. نمایش دقیقتری از سرعت بالا از دیدگاه طراحی اسپیندل، عدد DN می باشد. DN حاصل ضرب قطر اسپیندل بر حسب میلی‌متر در سرعت اسپیندل بر حسب rpm می باشد. محدوده ای بین ۵۰۰۰۰ تا حداکثر ۲۰۰۰۰۰ برای عدد DN محدوده سرعت‌های بالا محسوب می شود قطر بزرگتر اسپیندل باعث کمتر شدن سرعت آن می گردد. بنابراین در طراحی ماشینهای با قدرت زیاد باید به این نکته توجه کرد که ممکن است برای یک ماشین سنگین سرعت‌های معمولی نیز به عنوان سرعت‌های بالا محسوب گردد.

به عنوان مثال سرعتی معادل 30000rpm برای یک ماشین با قطر اسپیندل کم سرعت معمولی به حساب می آید ولی سرعت 15000rpm برای یک ماشین با قطر اسپیندل زیاد سرعت بالا محسوب می شود.

۳-۴-۲- سرعت‌های بالا بر اساس دالانهای پایداری

تعریفی که در این قسمت ارائه می شود مربوط به دینامیک ابزار و اسپیندل می شود، این تعریف مبتنی بر فرکانسهای طبیعی مدهای غالب ارتعاشات می باشد. محدوده سرعت اسپیندل را برروی دیاگرام دالانهای پایداری همانند شکل (۱۰-۲) می توان به چهار قسمت تقسیم نمود. این شکل نمایشگر عمق برش محوری مجاز بر حسب سرعت اسپیندل برای یک عمق برشی شعاعی ثابت می باشد که قاعدتاً از چنین شکلی با عنوان دالانهای پایداری یاد می شود.

ماشینکاری با سرعت پایین زمانی صورت می گیرد که طول موج ارتعاشات در مدهای غالب به اندازه ای کوتاه شود که اثر مستهلک شوندگی بوجود آید. غالباً این اثر زمانی بوجود می آید که طول موج ارتعاشات کمتر از 3mm می شود. این ناحیه روی شکل (۱۰-۲) با حرف A مشخص شده است. برای مثال اگر فرکانس طبیعی غالب 1000HZ بوده و ابزار مورد استفاده یک فرز دو شیاره با قطر 25mm باشد ماشینکاری با سرعت پائین در محدوده سرعت‌هایی کمتر از 2300rpm می باشد.

ماشینکاری در محدوده متوسط در سرعت‌های بالاتر صورت می‌گیرد. در این محدوده اثر مسته‌لک شوندگی بوجود نیامده و دالانهای پایداری نیز آشکار نشده‌اند. این محدوده با حرف B در شکل (۱۰-۲) مشخص شده است. حد بالای این محدوده هنگامی است که فرکانس عبور دندان به تقریباً برابر $\frac{1}{4}$ فرکانس طبیعی غالب می‌باشد. برای ابزار ذکر شده در بالا محدوده متوسط ماشینکاری در سرعت‌هایی بالاتر از 2300rpm و کمتر از 7500rpm می‌باشد. در محدوده متوسط حد پایداری تقریباً ثابت است.

ماشینکاری با سرعت‌های بالا زمانی رخ می‌دهد که فرکانس عبور دندان به یک کسر قابل توجهی از فرکانس طبیعی غالب برسد. این محدوده با حرف C روی شکل (۱۰-۲) نشان داده شده است. برای ابزار معرفی شده در فوق محدوده سرعت‌های بالا از 7500rpm تا تقریباً 45000rpm می‌باشد. در این محدوده اثر دالانهای پایداری به خوبی آشکار است و می‌توان عمق برش مناسب را با مشخص کردن سرعت مناسب این محدوده به راحتی انتخاب کرد.

در سرعت‌هایی که فرکانس عبور دندان کسر صحیحی از فرکانس طبیعی غالب می‌باشد، افزایش نرخ براده برداری میسر است. پایدارترین سرعت، سرعتی است که در آن فرکانس عبور دندان به فرکانس طبیعی غالب برابر باشد.

ماشینکاری فوق سریع در سرعت‌هایی رخ می‌دهد که فرکانس عبور دندان بزرگتر از ۲ یا ۳ برابر فرکانس طبیعی غالب باشد. این محدوده در شکل با حرف D نشان داده شده است. برای مثال ذکر شده این سرعت در حد 600000rpm می‌باشد. ماشینهای CNC جدید با استفاده از تکنیک‌های شناسایی ارتعاشات خود برانگیخته و کنترل سیستم ($CRAC^1$) قابلیت تنظیم سرعت بصورت

¹Chatter Recognition And Control System

online را دارا می باشند و می توانند شرایط ماشینکاری را به هر یک از محدوده های پایدار فوق تغییر دهند.

بطور کلی بکارگیری روشهای HSM مستلزم فراهم آوردن قابلیت های گوناگونی در قسمتهای مختلف یک ماشین CNC می باشد. در این پایان نامه دیدگاه اصلی بکارگیری HSM از منظر توانایی درونیابی سیستم CNC می باشد. زیرا در HSM به علت نیاز شدید تر به نیروهای کمتر و سرعت برش بالاتر بکارگیری نوع درونیابی مناسب و سرعت پیشروی متناسب با مسیر بیش از کاربردهای دیگر اهمیت پیدا می کند. لذا در فصول آینده به بحث و تشریح درونیابی، با قابلیت بکارگیری HSM پرداخته خواهد شد.