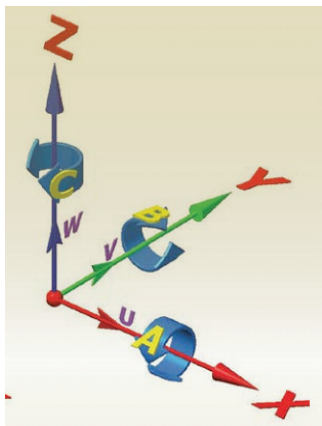
ماشین های فرز CNC پنج محور

فردین دهبان
کارشناس مهندسی ساخت وتولید
fardindehban@yahoo.com
۰۹۱۹۲۸۶۹۰۱۱

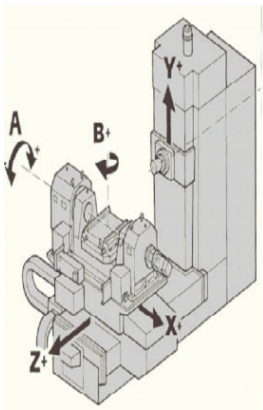
چکیده: ماشین های فرزCNCامروزه دارای عمومیت سراسری هستند. سینماتیک بیشتر این نوع ماشین ها مبتنی بریک سیستم کارتزین مستطیلی می باشد. ماشین هایCNCپنج محور بر اساس دوهدف کلی طراحی و ساخته می شوند ۱- موقعیت دهی(positioning) ۲ .کانتورینگ(contouring). هم چنین مزایا ومعایب، انتخاب آپشن های ماشین، اهمیت میزچرخشی (rotary table)، هد گردان دستگاه(rotary head)، نکات مهم درباره استفاده از نرم افزارCAD/CAM، و غیره دراین مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

مقدمه: اصولا درماشین های فرزCNC پنج محورعلاوه بر سه محور خطیx،y،z دارای دومحورچرخشی نیز می باشند. بادراختیارداشتن یک ماشین پنج محورشما می توانید ۹۰درصدقطعات صنعتی راماشین کاری نمایید. این نوع ماشین ها امروزه یکی ازملزومات اساسی صنایعی ازقبیل: هوا فضا، نفت وگاز، دریایی وریلی، اتومبیل سازی و.... می باشند. دراین نوع ماشین ها به علت حرکت همزمان محورها برنامه نویسی به صورت دستی کاربسیار مشکلی می باشد وگاهی اوقات غیر ممکن به نظر می رسد، مانندماشین کاری پره های توربین، پره های ملخ کشتی، پره های کمپرسورهای صنایع نفت وگاز. بنابراین باید ازیک نرم افزارCAD/CAM قوی درماشین های فرزCNCپنج محوراستفاده نمود.

تشریح محورها: با توجه به شکل های(۱) و(۱-۱) محورهای اصلی عبارتنداز X،Y،Z، محورهای کمکی عبارتنداز U،V،W . اگرمحورکمکی به موازات Xباشد U، اگربه موازات Yباشد V، واگربه موازاتZباشدW، می نامند. محورهای چرخشی عبارتند ازA،B،C اگرمحور چرخشی حول محورXچرخش نمایدمحورA،واگر حول محور Y، چرخش نماید محورB، واگرحول محورZ، چرخش نمایدمحورC، خواهدبود.



شکل ۱

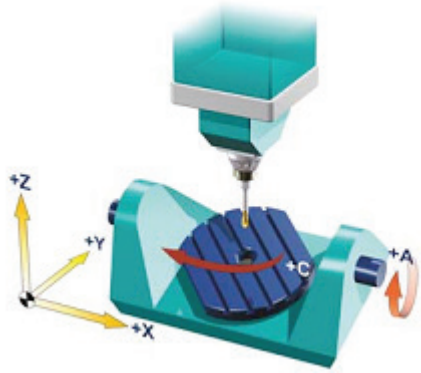


شکل(۱-۱)

طبقه‌بندی کلی ساختار سینماتیک ماشین‌های پنج‌محور:
با توجه به حرکت چرخشی(R)وحرکت خطی(T) به چهارگروه تقسیم می شوند.
۱-سه محور(T)ودومحور(R)
۲-دومحور(T) وسه محور(R)
۳-یک محور(T)وچهارمحور(R)
٤-پنج محور (R).
تقریبا تمام ماشین ابزارهای پنج محور رایج ازخانواده گروه اول می باشند، محدوده کمی از ماشین های پنج محورکه برای ماشین کاری ملخ کشتی یاهواپیما استفاده می شونددرگروه دوم قرار می گیرند.ازگروه های سوم وچهارم هم درطراحی رباتهایی بادرجات آزادی بیشتر استفاده می شود.

طبقه بندی برمبنای محورهای چرخشی:
در این طبقه بندی فقط ماشین های فرزCNCپنج محوری که دارای دومحورچرخشی وسه محورخطی هستند دسته بندی شده اند.

۱)چرخش محورها روی میز ماشین (Table/Table):
دراین نوع ماشین ها دومحور چرخشی حمل کننده قطعه کاروجود داردومحورابزار می تواند ثابت باشد.(شکل۲-۱)



شکل۲-۱چرخش محورها روی میز ماشین

مزایایی ماشین های(Table/Table):

۱) در حالتی که اسپیندل افقی است به خاطر اثر گرانشی و سقوط براده،برداشت براده به صورت بهینه فراهم می گردد.

۲) محورابزاردرهنگام ماشین کاری همواره موازی بامحورzماشین است بنابراین سیکل سوراخکاری درامتداد محورzاجرا می شود.

۳)برون یابی ودرون یابی دایروی با توجه به جهت یابی قطعه کاردرپلانxyماشین اجرا می شود.

٤)امکان ماشین کاری چندوجه ازقطعه کار وجوددارد.

۵)ماشین کاری پرفایل های پره های توربین و کمپرسورها با توجه به هندسه دورانی آنها .

۶)برنامهNCمی تواندروی زوایای معین به صورت پی درپی یکسان باشد.

معایب ماشین های(Table/Table):

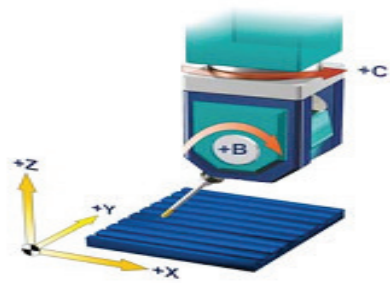
۱) برای قطعه کارهایی با ابعاد محدود مناسب هستند.

۲) وضعیت ابزاروابسته به موقعیت قطعه کارروی میز ماشین است.

۳) قطعه کارها معمولا نسبت به حاصل حرکت درمحورهایx،y،z،خیلی کوچکترند.

۲)چرخش محورهاروی اسپیندل (محورابزار) (Head/Head):

دومحورچرخشی حمل کننده ابزار وجود دارد،محورقطعه کار می تواند ثابت باشد.شکل (۳-۱).



شکل۳-۱ چرخش محورها برروی اسپیندل

مزایایی ماشین های(Head/Head):

۱) برای ماشین کاری قطعات بزرگ مناسب می باشد.

۲) ایجاد موقعیت کلمپ جدید روی قطعه کاربه علت حرکت های خطی ساده.

معایب ماشین های(Head/Head):

۱) تحریک کردن اسپیندل خیلی پیچیده است.

۲) طرح وساختار ساده برای اسپیندل فقط تازمانی فراهم می آیدکه اسپیندل باموتور خودش تماما به صورت چرخشی باشد.دراین حالت صلبیت پایینی وجوددارد.

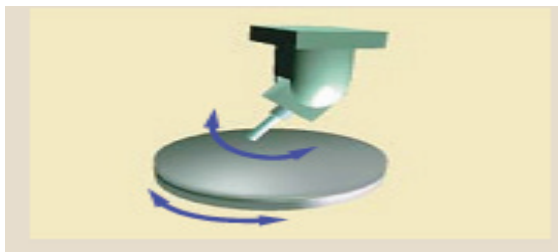
۳)در تعداد دورانهای بالابایدشمارنده گشتاوروجودداشته باشد، چون ماشین کاری باسرعت خیلی بالا می تواند یک زیان برای اسپیندل ابزارباشد.

٤) برای تغییر درارتفاع ابزاراغلب به یک تجدید محاسبه کامل روی برنامه نیاز داریم به داشتن یک postprocessor .

۵) درونیابی وبرون یابی دریک پلان تصادفی غیراز پلان های اصلی وسایکل سوراخکاری روی جهت یابی تصادفی اغلب انجام می شود.

۳)چرخش محورها به صورت ترکیبی (Head/Table):

دراین نوع ماشین ها یک محور چرخشی روی رشته سینماتیک قطعه کار ودیگر محورچرخشی دررشته سینماتیک ابزار قرار گرفته است. امروزه ماشین های تجاری زیادی با یک محور چرخشی روی اسپیندل و یک محورچرخشی روی میز وجوددارد،این نوع ترکیبی ازمعایب دونوع قبل را دارد. و اغلب برای تولیدقطعات کوچک استفاده می گردد. دامنه کاربرد این ماشین ها نزدیک به ماشین هایی است که دومحورچرخشی آنها روی میز می باشد. شکل(٤-۱).



شکل(٤-۱)چرخش محورها به صورت ترکیبی

معیارهای انتخاب ماشین فرز پنج محور:

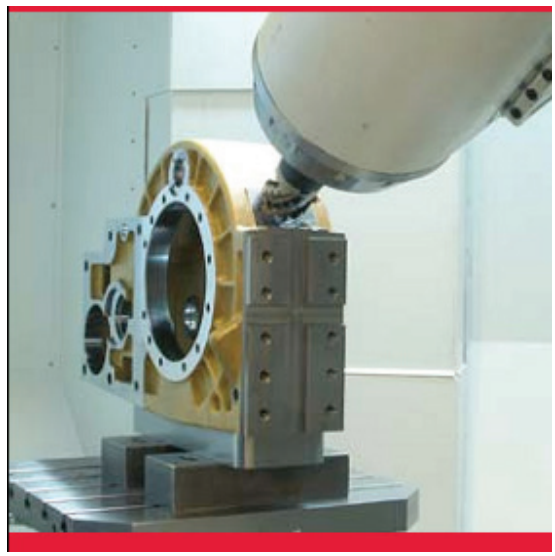
اصولا معیارهای زیادی درانتخاب این نوع ماشین ها وجود دارد.شش معیاربسیارمهم وجوددارد که عبارتنداز ۱-کاربرد ماشین های فرزپنج محور ۲-انتخاب پیکربند ی محورها ۳-انتخاب آپشن های ماشین٤-افقی یا عمودی

بودن اسپیندل ۵-انتخاب میز چرخشی ۶-هد گردان.

کاربرد ماشین های فرزپنج محور:

۱)به منظور موقعیت دهی(positioning)۲) به منظور ایجاد طرح(contouring).

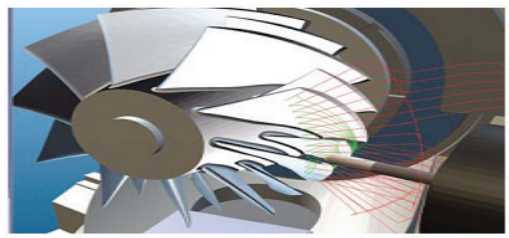
۱)موقعیت دهی(positioning): در این حالت ابزار می تواند نسبت به قطعه کاردرهرراستا وامتدادی قرار گیرد.دراین موارد می توان برای ساخت ازماشین های سه محورهم استفاده کردولی پروسه دریک مرحله setup امکان پذیرنیست. عملیاتی مانند سوراخ کاری،پاکت تراشی، بورینگ کاری وغیره شکل (۵-۱).



شکل(۵-۱)

۲)کانتورینگ(contouring):

دراین حالت به کنترل جهت یابی ابزار نسبت به قطعه کار در مدت براده برداری نیازمندیم جهت یابی قطعه کارو ابزار درهرتنظیم عوض می شود.احتیاج به کنترولرهای CNCپنج محورهمزمان است.شکل(۱-۶-۱)و(۲-۶-۱)

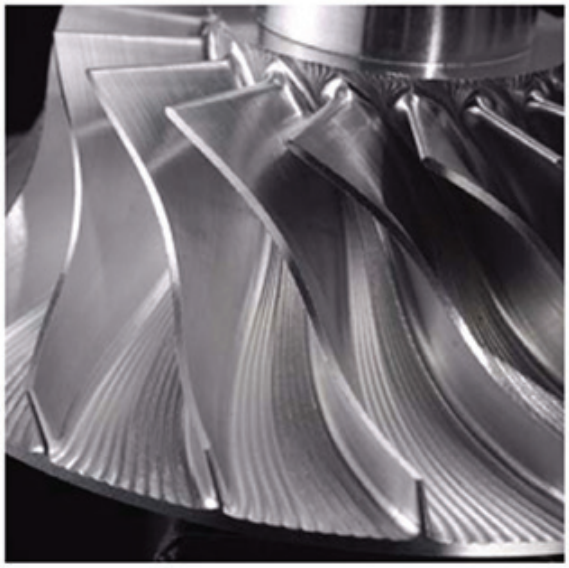


شکل(۱-۶-۱)

شکل(۲-۶-۱)ساخت پره باپنج محورهمزمان

کاربردهای کانتورینگ:

۱-تولیدپره‌های کمپرسوروتوربین۲-انژکتورپمپهای‌سوخت



شکل(۲-۶-۱)ساخت پره باپنج محورهمزمان

۳-پروفایل تایرها ٤-اندام مصنوعی طبی مانند دریچه قلب مصنوعی۵-ساختن سطوح پیچیده قالب ها و.....

۲- انتخاب پیکربندی:

اندازه ووزن قطعه کاردراین زمینه عامل تعیین کننده ای می باشد.درانتخاب برای قطعه کارهای سنگین یک طرح ازپیکربندیهای مختلف بایددارای رشته سینماتیک قطعه کارکوتاه باشد. درپیکربندیهای یک مزیت برای میزهای افقی وجوددارددچون دراین حالت راحت تربه قطعه کاردسترسی پیدا می کنیم.دربیشترکیس ها، زنجیره سینما تیک حمل کننده ابزار تاحدامکان کوتاه نگه داشته می شود، چون اسپیندل ابزارهم محرک است وهم باید حمل شود.

۳- انتخاب آپشن های ماشین:

۱-۳:تعویض اتوماتیک ابزار(ATC): این آپشن برای تولید انبوه مناسب است.برخورداری ازATCبرای کارگاههای کوچک مثل قالبسازی دارای اولویت چندانی نیست.یک ATCروی یک ماشین ابزار می تواند زمان ازکارافتادگی ماشین را درشبانه روز به دودلیل زیاد کند.الف) ازکارافتادن سیستم هیدرولیک وپنوماتیک.ب)قطع نیرو وایستادن بازوی تعویض ابزار درنیمه راه و استفاده ازتحریک دستی برای شیرهای کنترل.

۲-۳تعویض اتوماتیک پالت(APC): این آپشن برای سری کوچک تا بزرگ تولیدات بسیارمفید است. یکی ازنیازهای اساسی درAPC این است که میز ماشین که قطعه کاررامی گیردباید افقی باشد.

۳-۳تعویض اتوماتیک کلگی ماشین(AHC):از این آپشن

به دودلیل استفاده می شود:
۱- دریک پروسه ازچندین نوع ابزار(تراشکاری-بورینگ-سنگزنی-و....)استفاده شود.
۲- از طرف دیگردامنه وسیعی ازنیروهای ماشین کاری وارد برقطعه کار نیاز باشد. برای سرعت های بالای دورانی به منظور افزایش کیفیت سطوح ماشین کاری وهمچنین قابلیت استفاده ازابزارهایی باقطرهای کوچک به یک اسپیندل سرعت بالا(HSS(High Speed Spindle. نیازاست.معمولا دراین مورداز کلگی هایی استفاده می شودکه اسپیندل وموتورش باهم به صورت چرخشی می باشند. معمولااز ۱۲۰۰۰RPM به بالاکه به آن کلگیFinishingاطلاق می شود. معمولا برای بورینگ کاری فوق پرداخت سوراخها وکانتورینگ مورداستفاده قرار می گیرد. برای اعمال نیروهای برشی زیاد به یک کلگی باصلبیت بالا نیازاست، دراین حالت تنها اسپیندل به صورت چرخشی می باشدوموتورآن ثابت است از این کلگی نیزبه عنوان کلگی خشن کاری(Roughing) یادمی شود. معمولا برای موقعیت دهی استفاده می شود.

٤-افقی یا عمودی بودن اسپیندل:

مزایایی استفاده ازماشین های با اسپیندل افقی: ۱-فایده سقوط براده درجریان براده برداری درصورت جلوگیری ازبازگشت دوباره براده.۲-توانایی میزدر ماشین کاری چندین پهلوی قطعه کاردریکset up ۳-سادگی درفراهم آوردنAPC.
معایب:۱-انحراف فاحش ابزار۲-قیمت گرانترنسبت به ماشین های اسپیندل عمودی.
مزایای استفاده ازماشین های با اسپیندل عمودی:۱-مناسب برای صفحات تخت بزرگ وکانتورینگ سطوحD2
۲-استفاده ازابزارهای سنگین بدون انحراف(انحناء)ابزار
۳-کم خرج بودن.
معایب: به وجودآمدن براده های وسیع که مانعی برای براده های ماشین کاری شده جدیدهستند.

۵- انتخاب میزچرخشی(Rotary Table):

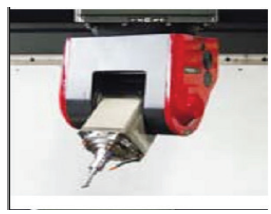
میزچرخشی درماشین های(Table/Table) و (Head/Table) از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تنوع میزهای چرخشی وسازندگان آنها بسیار زیاد است. میزهای چرخشی به دونوع کلی تقسیم می شود:
۱-میز باچرخش مرحله ای(Index): این نوع میز مرحله به مرحله متوقف می شود ودرهنگام چرخش میزابزار باید ازکارجداشده باشد.ازاین سیستم برای ماشین کاری وجه های مختلف یک قطعه کار مورد استفاده قرار می گیرد.
۲-با چرخش پیوسته(NC Rotary):این نوع سیستم می تواند به طور مداوم وبدون نیازبه جداشدن ابزارچرخش نماید و برای ماشین کاری مسیرهای پیچیده مانند پره های توربین وکمپرسورها و.... مورد استفاده قرارمی گیرد. درشکل(۷-۱)نمونه های ازاین نوع میزها نشان داده شده است.

شکل(۷-۱) انواعRotary Table

میزهای چرخشی که دارای دومحورچرخشی هستند هم می توانند روی۱- میزهای عمودی نصب شوند،وهم ۲-روی میزهای افقی. مدل اول بیشتر برای(کاربردکانتورینگ)و قطعه کارهای کوچک که دارای سطوح پیچیده ای هستند مناسب می باشد. همچنین در این نوع مدل مقدار سرعت زاویه ای میز نسبت به میز افقی بیشتراست وبرای تولید انبوه مناسب نمی باشد. ومدل دوم بیشتر برای ماشین کاری قطعه کارهای بزرگ باتغییرکم درجهت یابی ابزار مناسب است.این مدل برای کاربرد موقعیت دهی ایده ال است ومی تواندتعویض کننده اتوماتیک قطعه کارداشته باشد ومناسب برای تولید انبوه در ایستگاههای کاری است. این میزها اکثرا دارای یک Mini controllerمی باشند که قابل برنامه ریزی به صورتG Code می باشند ومی توانند محورها را به صورت تکی کنترل نمایند. ولی برای کنترل همزمان چهار یا پنج محور باید ازکنترولرخوددستگاه استفاده نمود.
نکته:درموقع نصب میزچرخشی روی میز ماشین باید مرکزمیزچرخشی یا قیدوبست نصب شده برروی میز چرخشی رابامحور اسپیندل ماشین هم راستا کرد.که می توان ازساعت اندازه گیری استفاده نمود.

۶-هد گردان(ROTARY HEAD):درماشین های (Head/Head)و(Head/Table) که محور چرخشی

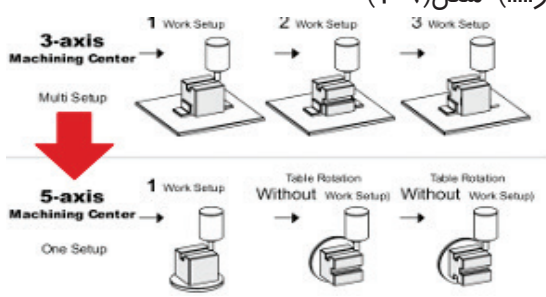
آنها دراسپیندل ماشین قراردارد مجهز به انواع هدهای گردان فرزکاری می باشند. هدگردان هم مانند میزهای چرخشی دارای دو نوع۱-چرخش به صورت مرحله ای(Index)۲-چرخش پیوسته می باشند. ماشین های(Head/Head)دارای دو محور چرخشی می باشندکه یکی حول محورZ معمولا ۳۶۰درجه دوران می نماید ودیگری حول محورX که بستگی به رنج کاری وشرکت سازنده می تواند۹۰± درجه یا۱۱۰±درجه یا۱۱۰-/۹۵+درجه وغیره باشددوران نماید. به عنوان مثال برای ساخت یک کره کامل دومحور چرخشی مورد نیاز می باشد،که یک محورباید۳۶۰ درجه ومحوردیگر۱۸۰درجه چرخش داشته باشد.از طرف دیگر نوعTool Holder،ماکزیمم دوران،ماکزیمم قدرت اسپیندل،ماکزیمم گشتاور، در انتخاب هد های گردان باید مورد توجه قرار گیرد. شکل(۸-۱).



مجهزبه یک محورچرخشی مجهز به دومحور چرخشی

برخی ازمزایای استفاده ازماشین فرز پنج محور:

۱-امکان ماشین کاری کل قطعه دریک مرحله بازوبستن قطعه کار(ماشین کاری زوایای منفی، وجوه مختلف قطعه کارو.....) شکل(۹-۱)

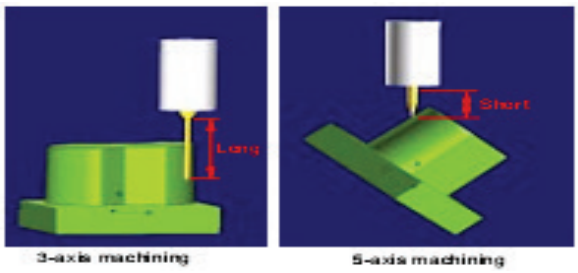


۲- افزایش دقت، سرعت،کیفیت سطح وکاهش تایم ماشین کاری

۳- افزایش عمر ابزاربه دلیل تماس نقطه ای ابزار

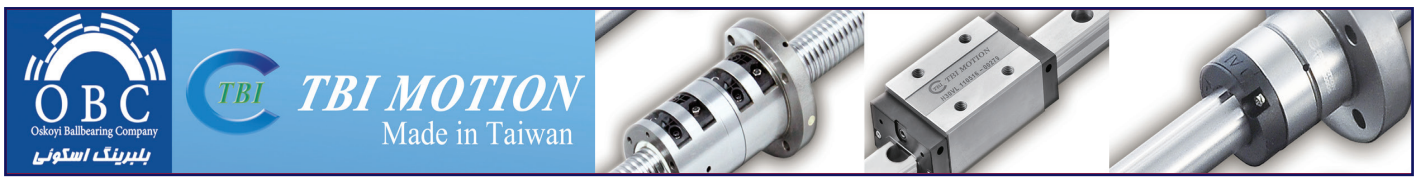
٤-کاهش هزینه ساخت فیکسچر به علت ماشین کاری چندین وجه یک قطعه دریکSet up.

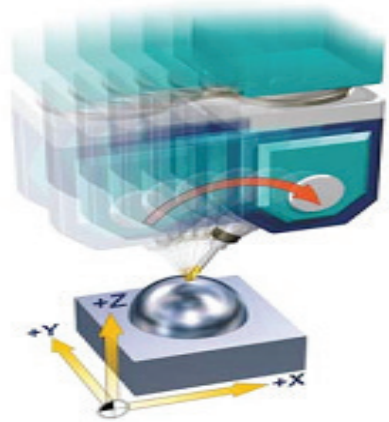
۵-باتوجه به شکل زیردربرخی مواردمجبور به استفاده ازابزارهایی باطول بلند هستیم.که این طول بلند ابزارباعث پایین آمدن صلبیت ابزار، ارتعاش و انحراف ابزارمی گردد. همچنین به علت قدرت براده برداری ضعیف راندمان ماشین کاری پایین می آیدو امکان شکست ابزاروآسیب دیدن قطعه کاربه وجودمی آید درفرزهای پنج محوربا تغییرزاویه میز چرخشی یاکلگی ماشین این نقیصه برطرف می شود. (طول ابزارکوتاهترمی گردد).



۶-درابزارهای سرکروی(ball nose) نوک ابزارمحل برخوردودولبه برنده اصلی با یکدیگر است به همین دلیل معمولا زوایای آزاد، برش وگوه، دراین نقطه خیلی مطلوب نیست. همچنین با داشتن یک دوران ثابت هرچه به مرکزابزارنزدیک می شویم با کم شدن شعاع سرعت برشی نیزکم می گردد به نحوی که دقیقا درنوک ابزاربرابرباصفراست. این دودلیل باعث می شود تاکیفیت سطح مطلوبی ایجادنگردد. درفرزهای پنج محوربا اعمال زاویه بین ابزاروقطعه کار واستفاده ازنقطه تماسی غیراز نوک ابزارمشکل فوق حل شده ودولبه برنده به نوبت ازروی کار براده برداری می نمایند.

۷- درماشین های سه محور به علت ثابت بودن اسپیندل فقط ازیک نقطه ابزاردائما استفاده می شود ولی درماشین های فرزپنج محوربه علت قابلیت چرخش کلگی توانایی چرخش ابزار حول نقطه مرکزی اش(Rotation tool center point)RTCP. می توان درحین ماشین کاری زاویه اسپیندل نسبت به قطعه کاررا بدون ایجاد اختلالی در امرماشین کاری تغییردادودرصورت فرسایش در قسمتی از لبه برشی ابزار از قسمتهای همجوار آن استفاده کرد.(استفاده از کل سطح کروی ابزار).





استفاده ازکل سطح کروی

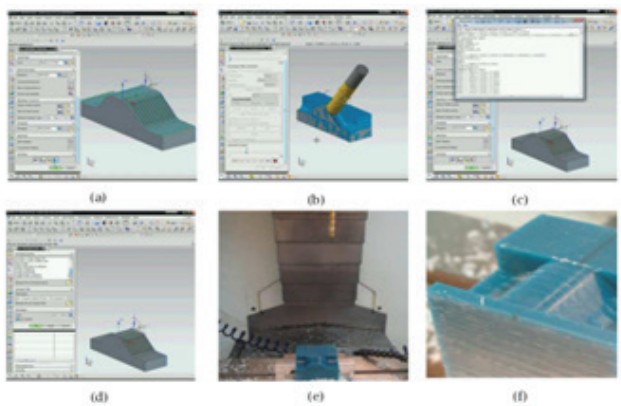
برخی از معایب فرزهای CNC پنج محور:

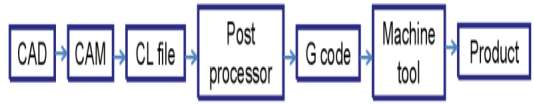
۱- بسیار گران قیمت هستند ۲- تعمیر ونگهداری تخصصی نیاز دارند ۳- فرد آموزش دیده نیاز دارند ٤-در محورهای چرخشی امکان errorهای موقعیتی نسبت به ماشین های سه محوره بیشتر است۵- هزینه تعمیر ونگهداری آن زیاد است.

مراحل ساخت یک قطعه درماشین فرزپنج محورباکمک نرم افزارCAD/CAM:

با توجه به شکل زیر. a: ابتدا قطعه دریک نرم افزار CAD طراحی می شود.b: سپس درنرم افزارCAM مسیرهای حرکت ابزارمشخص می گردد. c: ایجاد فایلClsf. d: استخراج G کدهای مربوطه توسطPostprocessor e: ماشین کاری قطعه f: شکل نهایی قطعه کار.

وظیفهPostprocessor: وظیفه آن انطباق کامل فایل ماشینکاری باماشینCNCموردنظرمی باشد. پس ازطراحی وانتخاب مسیرابزار درنرم افزارCAM وایجادفایلCLF ازCAM برای این که بتوانیم زبان CAMرا با زبان ماشین تطبیق دهیم برای استخراج G کدهای مربوطه ازچندین Post processorدرنرم افزار استفاده می شود.





نکات مهم درباره استفاده ازنرم افزار CAD CAM:

۱-ازنرم افزاراورجینال استفاده شود.۲- ازنرم افزاری استفاده نمایید که بتواند چندین کنترولر CNCرا ساپورت نماید.۳-نرم افزارباید مجهزبه شبیه ساز گرافیکی قطعه کارباشد.٤-درنرم افزارCAD/CAM کلیه منحنی ها تبدیل به چندین پاره خط می شود وبرای هرکدام یک بلوک ازبرنامه را اشغال می نمایید که حجم برنامه بسیارزیادخواهدشد، بنابراین ازماشین هایی استفاده نماییدکه دارای حافظه زیادیامجهز به امکاناتDNCباشند. ۵-امکان نوشتن برنامه پارامتریک وپیشرفته درنرم افزارCAD/CAM وجوددارد.

نتیجه گیری: باتوجه به مطالب ارایه داده شده برای خریداری یک ماشین فرزCNCپنج محوربایددو مقوله مهم موردبررسی ومطالعه دقیق قرار گیرد۱-نوع محصول ورنج محصولاتی راکه می خواهیم ماشین کاری نماییم.۲- ازچه نوع ماشینی استفاده کنیم بهتر است. (Table/Table،Head/Table،و.....). تقریبا همه ماشین های پنج محور دکارتی کلاسیک به گروهی با سه محور خطی ودومحورچرخشی تعلق دارند. فرزکاری باپنج محور باعث کاهش درتعدادset up، افزایش عمرابزار،کاهش تایم ماشین کاری، افزایش صحت،دقت،کیفیت و... می شود. ازطرف دیگر دارای برخی معایب ازقبیل: قیمت بالای ماشین های پنج محوروایجاد خطاهای موقعیتی زیاد به طوری که برای ماشین های سه محور۲۱خطای هندسی موقعیتی تعریف می گردد. درحالی که تعدادابن خطاهادرماشین های پنج محور۳۹خطامی باشد.سنجش این خطاهاوجبران آنهادرماشین های پنج محور به مراتب بیشتر است.

منابع ومراجع:

1)FIDIA S.P.A San Mauro Torins"FIDIA C CLASS User and programming lnaual"1999.
2) w.Anotopapaiboon:S.S.machanov E.L.J.Behez "optimal set up for fiveaxis machining"international journal of MACHIN TOOLS AND MANUFACTURE OCTOBER2005
3)universal mill center for5-axis machine from MAG.CO
4)Cataloge from FIDIA andfanuc co.
5)NC Rotary table fromTECNAVA CO
6)General Cataloge NC Rotary table from TSUDAKOMA corp.
7)www.matsuura.co.jp.
8)milling with SINUMERK5-axis machining.
۹- طراحی وآنالیز سینماتیک ماشین های فرزپنج محور نوشته آقایان امیرعلینقی زاده وفرهاد نجاریان .