

به نام خداوند جان و خرد

فرزکاری (۲)



فهرست

بخش اول :

یادآوری ۹

بخش دوم :

فرزکاری شیارهای مارپیچ ۳۳

بخش سوم :

فرزکاری چرخنده مارپیچ ۴۱

بخش چهارم :

فرزکاری چرخنده مخروطی ۵۲

بخش پنجم :

فرزکاری چرخ حلزون ۶۶

بخش ششم :

فرزکاری سطوح کروی ۸۰

بخش هفتم :

فرزکاری بادامک ۸۹

پیوست ۱۰۱

مراجع ۱۲۵

نکته های ایمنی و فنی در فرزکاری

۱- قبل از انجام هر عملیاتی، نحوه کار با ماشین و دستورات ایمنی، نوبت سرویس و محل های گریس کاری و روغن کاری را به دقت مورد مطالعه قرار دهید و پس از اطلاع از تمام نکته های بالا با دستگاه شروع بکار نمایید. همچنین انتخاب ماشین، تیغ فرز، وسیله بستن و روش کار اهمیت زیادی دارد و بهتر است که پس از انتخاب درست این عوامل، با دستگاه کار کنید.

۲- همواره از روپوش مناسب، عینک ایمنی و کفش کار استفاده نمایید.

۳- برای تمیز کردن براده های جمع شده روی میز ماشین فرز، از برس استفاده کنید. براده ها تیز و برنده هستند نباید به آنها دست زد. هرگز از شلنگ باد برای تمیز کردن ماشین استفاده نکنید چون ممکن است براده ها پرتاب گردد و به شما یا اطرافیان آسیب برساند. همچنین فشار هوا براده ها را به قسمتهای لغزنده دستگاه هدایت می کند که باعث خراشیده شدن ریل ها و خرابی دستگاه خواهند شد همچنین قبل از کنار زدن براده ها، ماشین را متوقف کنید.

۴- بستن و باز کردن کار را فقط در حالت توقف ماشین انجام دهید. پیش از تنظیمات یا اندازه گیری و کنترل قطعه کار، ماشین فرز را حتماً خاموش کنید. هنگام تنظیم کار جهت جلوگیری از بروز حوادث ناشی از برخورد دست با تیغ فرز، باید کار را به اندازه کافی از تیغ فرز دور نمود.

۵- قبل از توقف ماشین، اهرم پیشروی را قطع نمایید. جای اهرم توقف ماشین را دقیقاً شناسایی کنید.

۶- محدودکننده های حرکت خودکار میز ماشین را در محلهایی تنظیم کنید که در صورت غفلت، امکان ایجاد آسیب به ماشین وجود نداشته باشد.

۷- از نزدیک کردن دست به تیغ فرز در حال گردش جداً خودداری کنید. در این حالت حتی دور کردن براده ها از سطح کار نیز خطرناک است.

۸- برای حمل هر نوع وسیله سنگین مثل گیره، دستگاه تقسیم، میز گردان و یا قطعه کار بزرگ از تجهیزات مناسب نظیر جک ها و جرثقیل ها استفاده نمایید و از دیگران نیز کمک بگیرید.

۹- مطمئن شوید که گیره بروی میز ماشین فرز و قطعه کار در گیره محکم بسته شده اند و توجه کنید که هنگام کار کردن با تیغ فرزهای نازک به محض نوسان، تیغ فرز مثل تیغ اره خواهد شکست.

۱۰- هنگام کار با کسی صحبت نکنید و از کسی هم نخواهید ماشین شما را روشن کند. هرگز ماشین روشن و در حال کار را ترک نکنید.

۱۱- اطراف ماشین را تمیز نگاه دارید.

۱۲- به هنگام سوار کردن تیغفرز بروی میل فرز از یک پارچه ضخیم برای برداشتن آن استفاده کنید و هرگز با دست برهنه به تیغفرز دست نزنید.

۱۳- از قراردادن وسایل اندازه‌گیری، چکش و سایر وسایل اضافی بروی میز ماشین جداً خودداری کنید.

۱۴- هیچگاه با وسایلی مانند کولیس، پیچ گوشتی، آچار و.... براده‌ها را تمیز نکنید و یا از آنها به عنوان چکش یا زیرکاری استفاده ننمایید.

۱۵- قطعه کار را تا حد امکان کوتاه و محکم و نزدیک به بدنه ماشین ببندید در غیر این صورت به علت بروز لرزش، سطح خوبی تولید نمی‌گردد.

۱۶- قبل از سوار کردن وسایل بستن مانند گیره‌ها و دستگاه تقسیم همچنین تیغفرز و قطعه کار، سطوح تکیه‌گاهی آنها را کاملاً تمیز کنید.

۱۷- تیغفرز را تا حد امکان نزدیک به بدنه ماشین ببندید.

۱۸- تیغفرز را باید به محض کند شدن تیز نمود در غیر این صورت احتمال شکستن آن افزایش می‌یابد. در مورد تیغفرزهای اینسرت‌دار توجه نمایید که که نوک همه اینسرت‌ها سالم باشد. همچنین هنگام جابه‌جایی آنها مراقب باشید که به آنها ضربه وارد نگردد.

۱۹- قبل از شروع به کار، عده دوران، جهت گردش، سرعت پیشروی و عمق براده را انتخاب و دستگاه را برمبنای آنها تنظیم کنید.

۲۰- جهت گردش تیغفرزها را باید مشابه جهت لبه برنده آنها انتخاب کرد و جهت حرکت پیشروی را برحسب روش براده‌برداری (همراه یا معکوس) نسبت به آن تعیین نمود. در کارگاه از روش فرزکاری همراه (موافق) استفاده نکنید.

۲۱- در شروع براده‌برداری لازم است که برای تعیین عمق براده ابتدا تیغفرز را در حال دوران به سطح کار مماس کنیم. در نهایت عمق براده را تنظیم نموده، فرزکاری را آغاز می‌کنیم.

۲۲- از مایع خنک کننده مناسب استفاده نمایید.

نکته: وظیفه‌ی سیالات خنک‌کننده دور کردن براده‌ها از موضع ماشین‌کاری و خنک کردن و همچنین تا حدودی روانکاری محل ماشین‌کاری می‌باشد. استفاده از مایع خنک‌کننده متناسب با جنس قطعه کار و ابزار و شرایط ماشین‌کاری تغییر می‌کند.

بطور کلی برای فولادهای معمولی که ویژگیهای خاصی ندارند عموماً از روغنهای حل شونده در آب استفاده می‌گردد. نفت مایع خنک‌کننده مناسبی برای آلومینیم است و برنج و چدن نیز بدون استفاده از مایع خنک‌کننده و یا با دمش هوا، ماشین‌کاری می‌شوند.

نکته مهم آن است که مایع خنک‌کننده باید از همان ابتدای عملیات به موضع ماشین‌کاری (بطور پیوسته و به میزان کافی) هدایت گردد. هرگز خنک‌کاری را به صورت منقطع و لحظه به لحظه انجام ندهید چرا که گرم و سرد شدن مرتب ابزار و قطعه کار علاوه بر ایجاد تنشهای حرارتی باعث تغییر ساختار متالورژیکی ابزار و قطعه کار می‌گردد.

ابزارهای کاربردی (اینسرت‌ها) با تنظیم صحیح سرعت‌های ماشین‌کاری معمولاً نیازی به خنک‌کننده ندارند اما توجه کنید که این نوع ابزار به شوک حرارتی حساس می‌باشد و چنانچه می‌خواهید از مایع خنک‌کاری استفاده نمایید از همان ابتدای ماشین‌کاری این کار را انجام دهید.

۲۳- هنگام کار بار فرز عمودی باید از اعمال بار زیاد و حرکت سریع ابزار خودداری کرد در غیر این صورت تیغ فرز شکسته می‌شود و ممکن است باعث ایجاد جراحاتی در بدن گردد.

۲۴- چنانچه مهره میل محور فرز محکم شده باشد از نیروی گرداننده خود ماشین برای باز کردن آن استفاده نکنید بلکه پس از توقف کامل ماشین با آچار مخصوص آن را باز کنید. همواره برای تعمیر، اندازه‌گیری و تعویض ابزار دستگاه را خاموش کنید.

۲۵- آچار میل فرز را بروی دستگاه جا نگذارید.

۲۶- ایجاد اشکال، خرابی، شکستن ابزار و پیش آمدهایی از این گونه را به سرپرست کارگاه اعلام کنید.

فصل نخست : یادآوری

۱. پیشگفتار

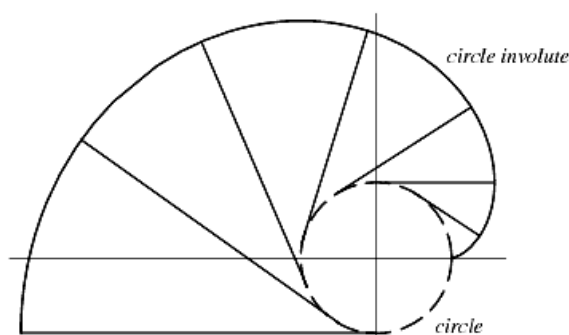
طبق تعریف ارائه شده در استاندارد ISO 1121-1 هر قطعه دندانه‌داری که برای انتقال حرکت به قطعه‌ای مشابه یا دریافت حرکت از آن از طریق درگیری پیاپی دندانه‌ها به کار رود چرخنده نامیده می‌شود. بطور کلی چرخنده از وسایل ضروری صنعت امروز می‌باشد که اهمیت روزافزون آن موجب شده است کشورهای پیشرفته جهان در ساخت و اندازه‌گیری آن دقت زیادی به کار برند.

😊 برای آشنایی بهتر با پارامترهای چرخنده، پویانمایی چرخنده را ببینید.

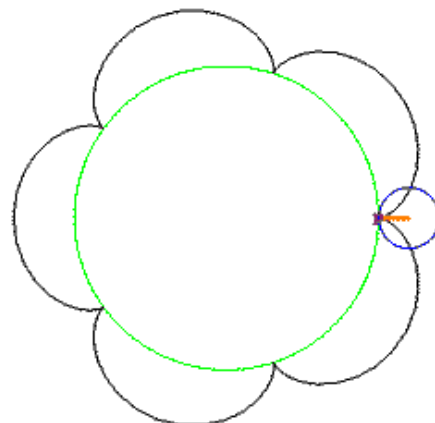
۲. انواع چرخنده

۲-۱. بر پایه‌ی مسیر تماس یا شکل مقطع دندانه

هنگامی که دو چرخنده درگیر می‌شوند، مسیر تماس یا درگیری معینی را طی می‌کنند. شکل این مسیر در هر جفت چرخنده ثابت است و البته به **فرم دندانه‌ها** بستگی دارد. تجربه و پژوهش نشان داده است که دو منحنی **گلبرگی (سیکلوئید)** و **چنبره (اینولوت)**، مناسب‌ترین مسیرهای تماس برای چرخنده‌ها می‌باشند و چرخنده‌هایی که بر پایه‌ی آنها ساخته می‌شوند فزونی‌ها (مزایا) و کاربردهای گوناگون صنعتی دارند.



منحنی چنبره (اینولوت)



منحنی گلبرگی (سیکلوئید)

😊 برای آشنایی بیشتر با منحنیهای گلبرگی (سیکلوئید) و چنبره (اینولوت) روی نام آنها کلیک کنید.

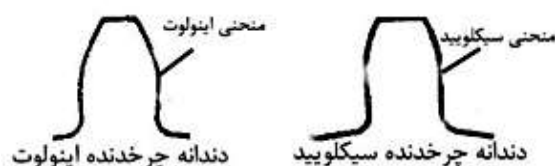
در چرخنده‌هایی که منحنی تماس آنها **گلبرگی** است، **ریشه‌ی دندانه کوچکتر** می‌باشد و لذا این نوع چرخنده‌ها **قادر به تحمل و انتقال نیروهای زیاد نیستند** و عموماً در کارهای دقیق و ظریف مانند وسایل اندازه‌گیری یا ساعت‌ها کاربرد دارند. اما چرخنده‌هایی که بر اساس منحنی **اینولوت** ساخته می‌شوند **ریشه‌ی دندانه‌ی ضخیمتری** دارند، در

نتیجه مقاومت دندانه بیشتر بوده، در برابر نیروهای ضربه‌ای، خمشی و برشی مقاومت می‌نمایند. به همین دلیل کاربرد آنها در صنعت، **عمومی‌تر و بیشتر** است. گزینش منحنی اینولوت برای نمایش منحنی دندانه چرخنده دو فزونی دیگر نیز دارد:

(۱) سرعت یک جفت چرخ‌دنده اینولوت بدون توجه به خطاها یا تغییرات جزئی در فاصله مرکز تا مرکز دو چرخنده، ثابت است.

(۲) یک چرخنده اینولوت را با یک تیغ فرز نسبتاً ساده می‌توان تولید کرد.

با توجه به اینکه چرخنده‌های اینولوت، بخش بزرگی از چرخنده‌های به کار رفته در صنعت را تشکیل می‌دهند متن حاضر نیز به بررسی این چرخنده‌ها اختصاص خواهد داشت.



۲-۲. بر پایه‌ی کاربرد

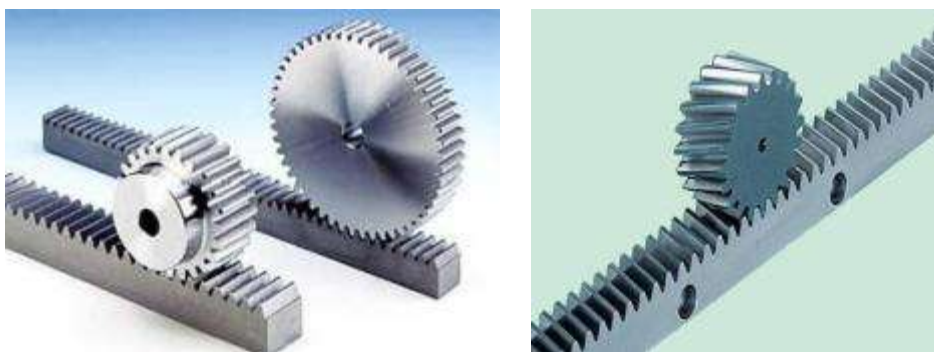
الف) چرخنده‌های ساده: از این چرخنده‌ها برای انتقال حرکت در محورهای موازی استفاده می‌گردد. دنده‌های این نوع چرخ‌دنده‌ها موازی محور آنها بوده و بر روی پیرامون استوانه‌ای ایجاد می‌گردد. **سوی دوران** دو چرخنده‌ی ساده‌ی درگیر که بر روی محورهای موازی قرار دارند، مخالف یکدیگر است.



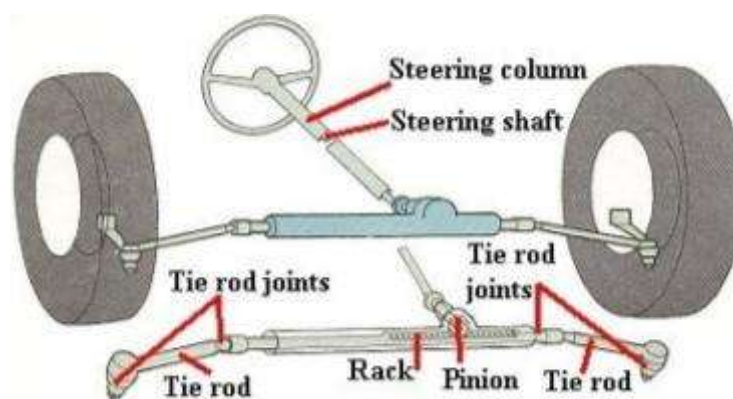
چرخنده‌های ساده بیرونی

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخنده‌ی ساده روی ۱، ۲، ۳، ۴ کلیک کنید.

ب) چرخ و شانه: این نوع چرخنده‌ها معمولاً برای دگرگشت حرکت چرخشی به حرکت راست به کار می‌روند (مانند حرکت سوپرت طولی دستگاه تراش و یا حرکت عمودی میز مته‌ی رومیزی و ستونی). چرخ و شانه با دندانه‌های ساده یا مورب ساخته می‌شود.



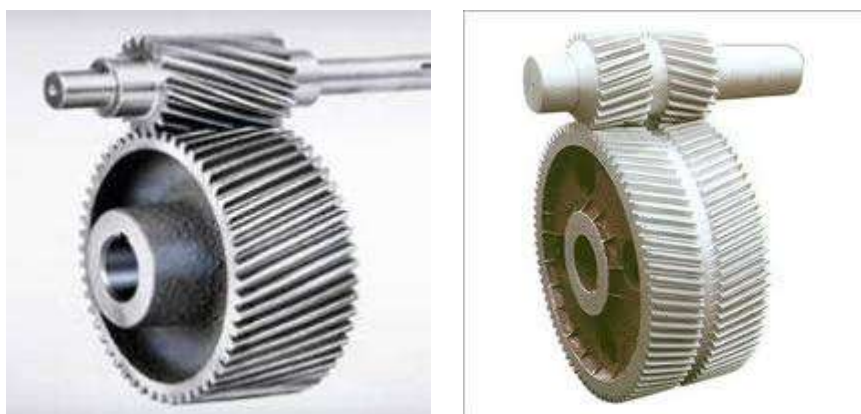
چرخ و شانه



کاربرد چرخ و شانه در فرمان خودرو

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخ و شانه، روی ۲.۱ و ۳ کلیک کنید.

پ) چرخنده‌های مارپیچ: این نوع چرخنده‌ها برای انتقال نیرو در محورهای موازی و محورهای زاویه‌دار که نسبت به هم متناظر می‌باشند بکار می‌روند. نسبت به چرخنده‌های ساده آرامتر بوده با سروصدای کمتری کار می‌کنند و مقاومت آنها بیشتر از چرخنده‌های ساده است.



چرخنده‌های مارپیچی: دو ردیفه، تک ردیفه

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخنده‌های مارپیچ اینجا را کلیک کنید.

ت) چرخنده‌های مخروطی: از این نوع چرخنده‌ها برای انتقال نیرو در **محورهای عمود برهم** و یا محورهایی که با هم **مقاطع** بوده و زاویه‌ی بین آنها کمتر یا بیشتر از ۹۰ درجه است استفاده می‌گردد. دندانه‌های این نوع چرخنده‌ها بر روی پیرامون یک مخروط ناقص به صورت **ساده** و یا به صورت **مارپیچ** ایجاد می‌شود.



چرخنده‌های مخروطی

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخنده‌های مخروطی روی ۱ و ۲ کلیک کنید.

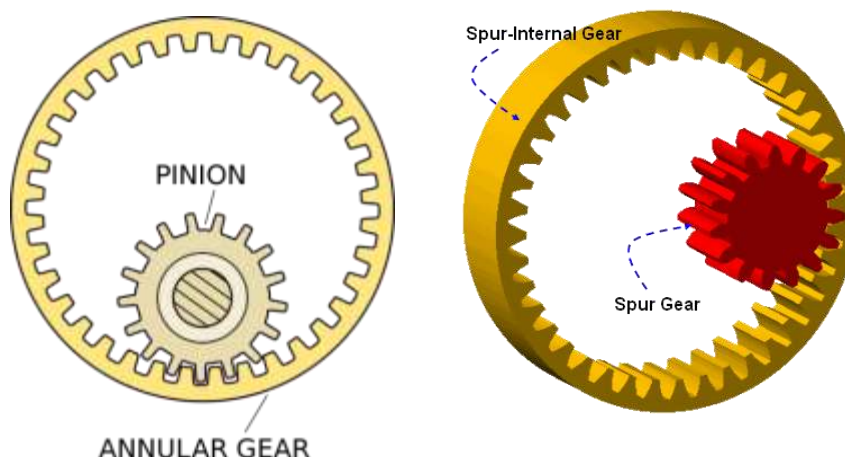
ث) چرخنده‌های حلزونی: این نوع چرخنده‌ها برای کاهش سرعت روی دو محور عمود برهم و متناظر بکار می‌روند. ساختمان این چرخنده‌ها شبیه **چرخنده‌های مارپیچ** است، با این تفاوت که با پیچ حلزون درگیر می‌شوند و به همین دلیل در سطح بیرونی آنها شکل **کمان ماندنی** ایجاد می‌شود که به نوع پیچ بستگی دارد.



چرخ و حلزون

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخنده‌های حلزونی روی ۱ و ۲ کلیک کنید.

ج) چرخنده‌های درونی (ساده یا مارپیچ): این نوع چرخنده‌ها را در مواردی که دو محور نسبت به یکدیگر نزدیک هستند و امکان استفاده از دنده‌های ساده‌ی بیرونی دیگر وجود ندارد به کار می‌برند. همانطور که می‌توان روی پیرامون استوانه‌ای دندانه ایجاد نمود در داخل استوانه‌ها نیز می‌توان دندانه‌ی ساده یا مارپیچ ایجاد کرد؛ این نوع چرخنده‌ها دارای استحکام و دوام بیشتری می‌باشند.



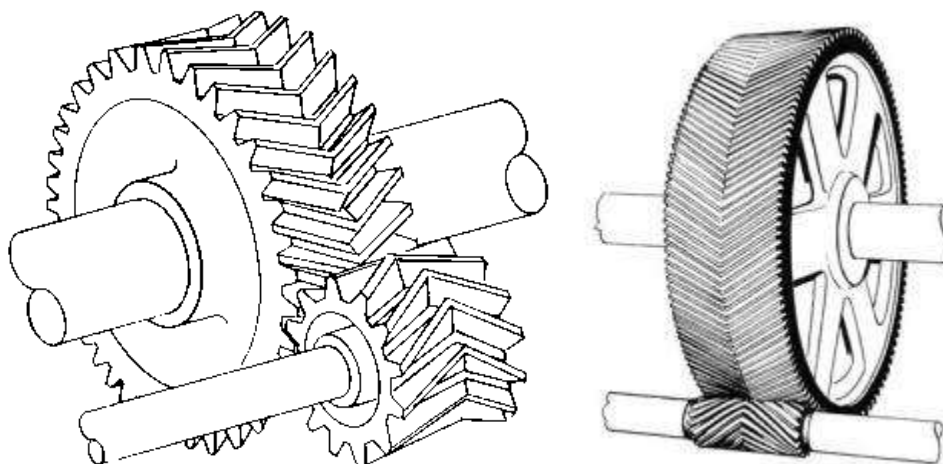
چرخنده های درونی

😊 برای آشنایی بیشتر با چرخنده های درونی روی ۱ و ۲ کلیک کنید.

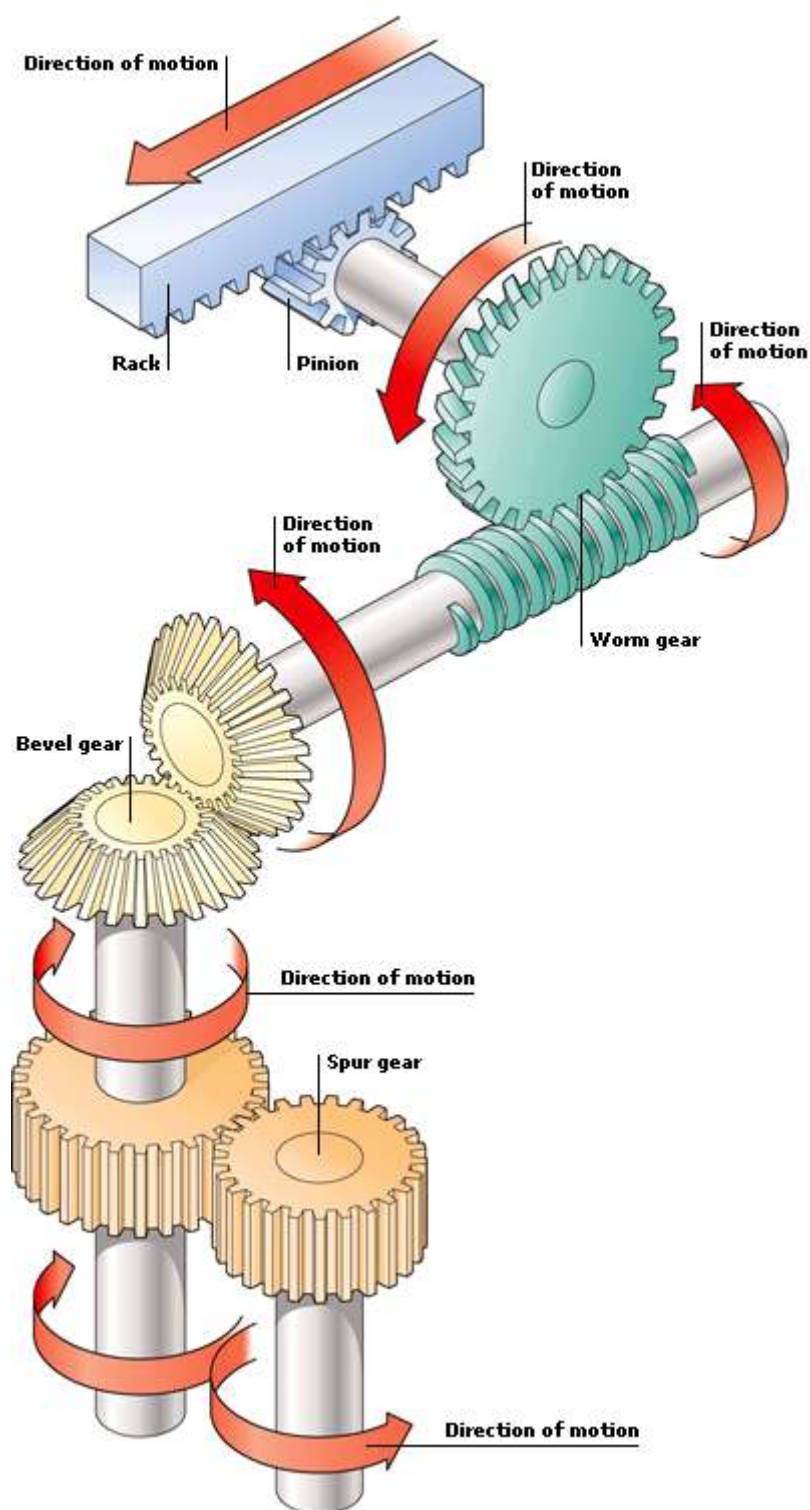
چ) چرخنده های جناغی: همانگونه که گفته شد چرخنده های مارپیچی، به دلیل زاویه دار بودن دندانه ها با محور چرخنده، نسبت به چرخنده های ساده درگیری نرمتر و تدریجی تری دارند اما به دلیل همین زاویه دار بودن دندانه ها، بار محوری پدید می آید که توسط یاتاقان ها بایستی خنثی شوند.

بارهای محوری سبب می شوند چرخنده های مارپیچی در انتقال نیروهای زیاد کاربرد چندانی نداشته باشند. همچنین اگر کاربرد چرخنده به گونه ای باشد که **سوی (جهت) انتقال نیرو** (چرخش چرخنده) **مکرراً عوض** شود، این یاتاقان ها نیز **شل** شده و **عمر** دستگاه **کاهش** می یابد؛ برای چاره ی این مشکلات از چرخنده های دو مارپیچی و چرخنده های جناغی استفاده می شود.

دندانه های این نوع چرخنده ها را طوری بر روی پیرامون استوانه درست می کنند که **دندانه ها نسبت به هم زاویه دار** باشند و معمولاً این زاویه از **۹۰ درجه کمتر** است. در نگاره ی بعد بیشتر چرخنده های مورد بحث را نشان می دهد.



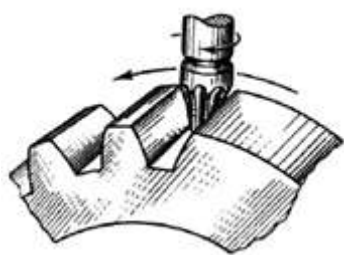
چرخنده های جناغی



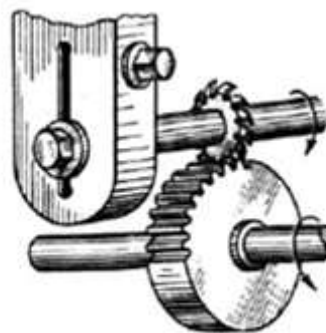
انتقال نیرو به کمک چرخدنده‌های گوناگون

۳. روشهای ساخت چرخنده

روشهای تولید چرخنده به دو گروه **براده برداری** و **بدون براده برداری** بخش پذیر است. در روشهای براده برداری توسط انواع ماشین ابزار عمومی و تولیدی می توان چرخنده های گوناگونی ساخت. ماشینهای **فرز زانویی** و **همه کاره** (انیورسال) از جمله ماشین ابزار عمومی هستند که به کمک دستگاه تقسیم می توانند انواع چرخنده ها را **در شمار کم** تولید نمایند. در این ماشینها از **تیغ فرزهای مدولی انگشتی** یا **پولکی** استفاده می شود.

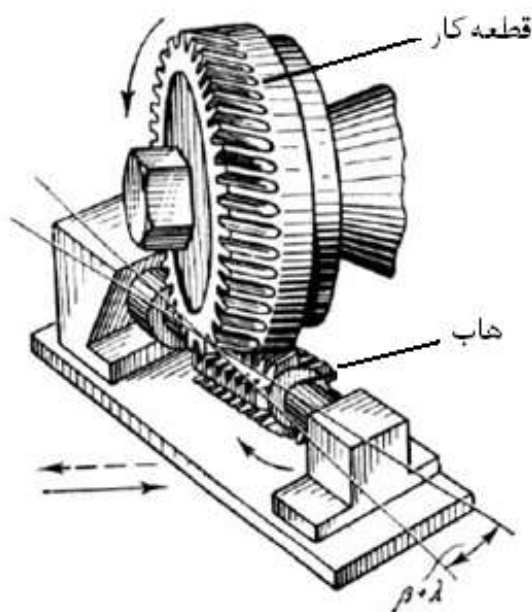
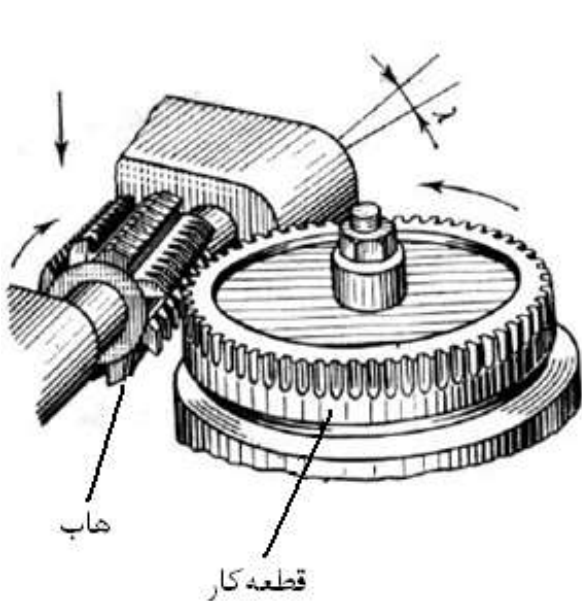


تیغ فرز انگشتی مدولی



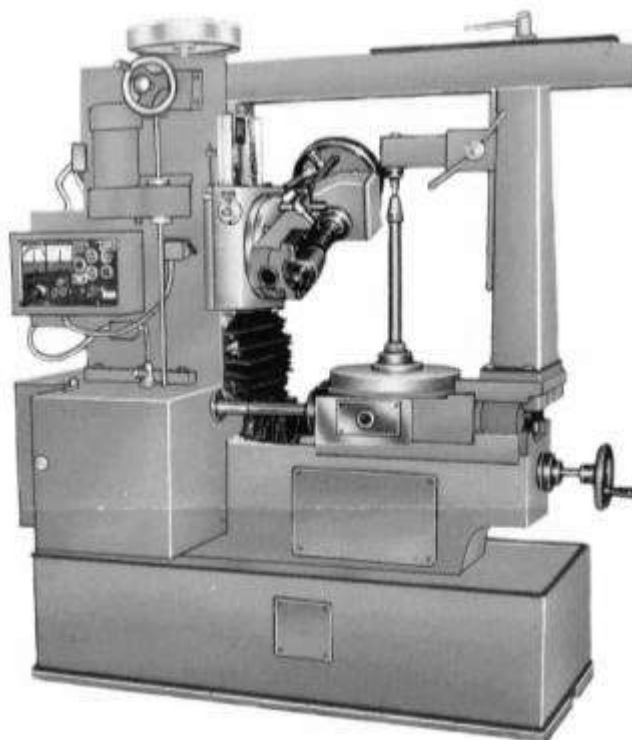
تیغ فرز پولکی مدولی

اما برای **تولید انبوه** از ماشین ابزار تولیدی مخصوص چرخنده زنی یعنی ماشین **هاب** (چرخنده تراشی **غلشی**) و ماشین **کله زنی** (چرخنده تراشی **رفت و برگشتی**) به کارگیری می شود. برای تولید برخی از چرخنده ها مانند **چرخنده های ساده**، ماشینهای **خان کشی** نیز بکار می روند.

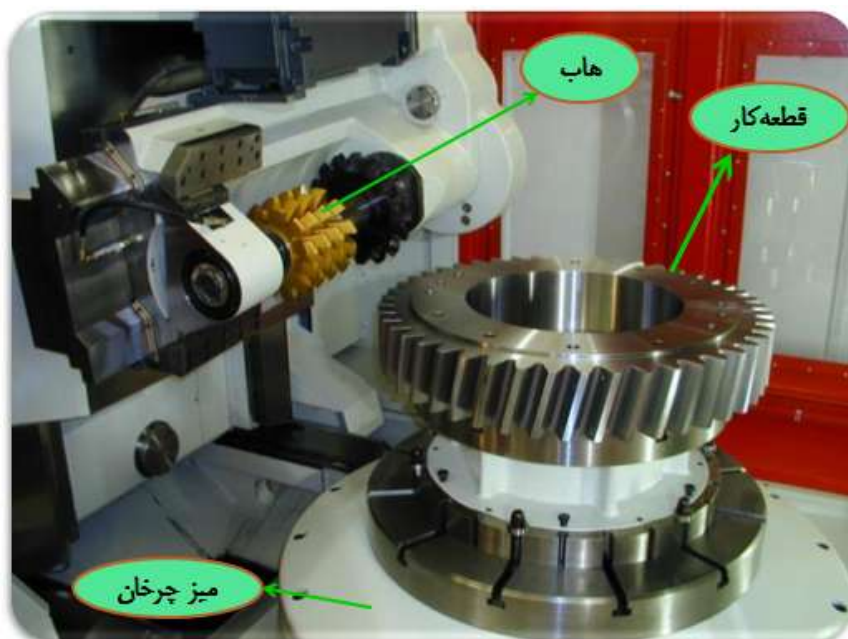


روش ساخت چرخنده های **مارپیچ** (سمت راست) و چرخنده های **ساده** (سمت چپ) به کمک ماشین هاب

در این روش **ابزاری چند دندانه** به نام **هاب** (Hob) که شکل دندانه‌های آن متناسب با شکل دندانه‌های چرخدنده است (چنبره شکل) روی محور دستگاه **می‌چرخد** و از روی **قطعه‌کاری** که با **تندی مناسب دوران می‌کند** باربرداری می‌نماید. ماشین **هاب نیازی به دستگاه تقسیم (Dividing Head) ندارد** اما دندانه‌ها را با فاصله‌ی درست تولید می‌کند.

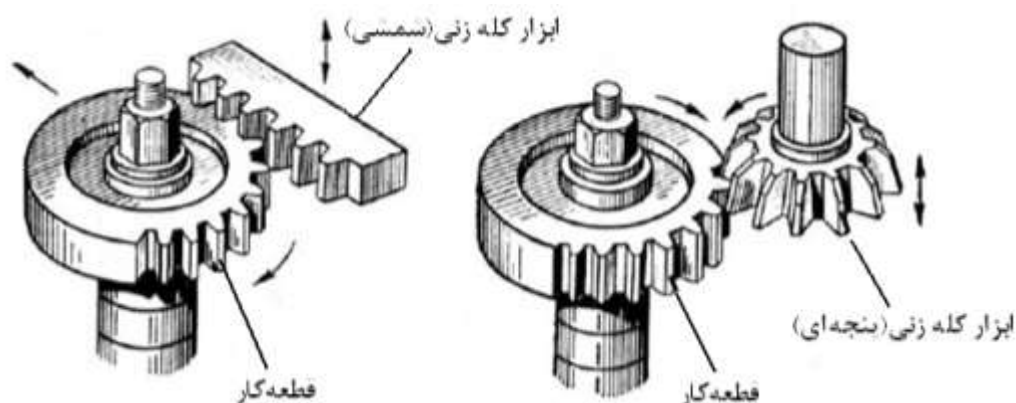


نمونه‌ای از ماشین هاب

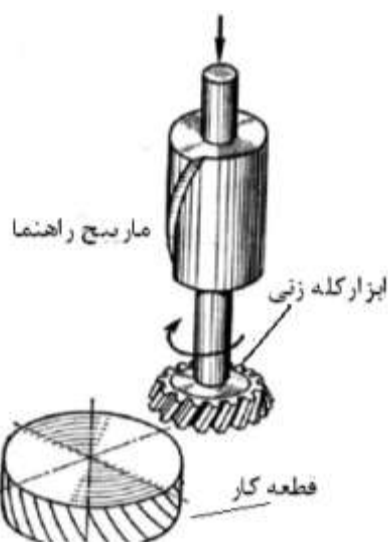


طرز قرار گرفتن قطعه‌کار روی ماشین (سمت راست)، ابزار چرخدنده‌تراشی (هاب)

در روش **کله‌زنی** ابزاری به نام ابزار کله‌زنی با یک حرکت **رفت و برگشتی عمودی مداوم**، روی قطعه کار بار می‌دهد. **قطعه کار** نیز با **سرعت مناسبی** گرد محور خود **می‌چرخد**. به این ترتیب دندانه‌ها بروی قطعه کار تولید می‌گردد.



چرخنده‌زنی با ماشین کله‌زنی و ابزار کله‌زنی **پنجه‌ای** (راست) و **شمسی** (چپ)



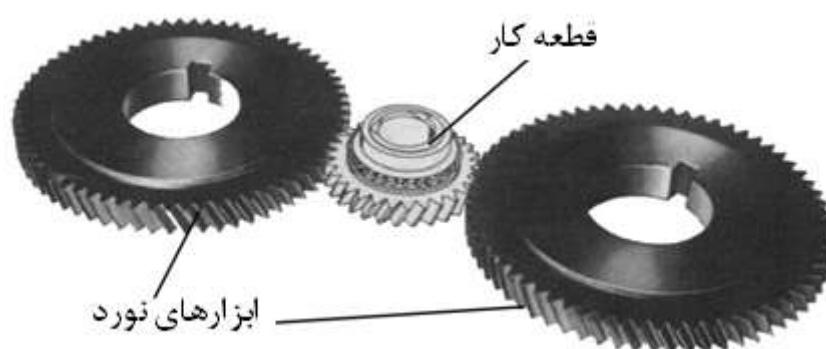
ساخت چرخنده‌ی **مارپیچ** به روش کله‌زنی (ابزار کله‌زنی روی مارپیچ راهنما حرکت می‌گردد)



یک ابزار کله‌زنی دو تایی همزمان دو قطعه را ماشینکاری می‌کند.

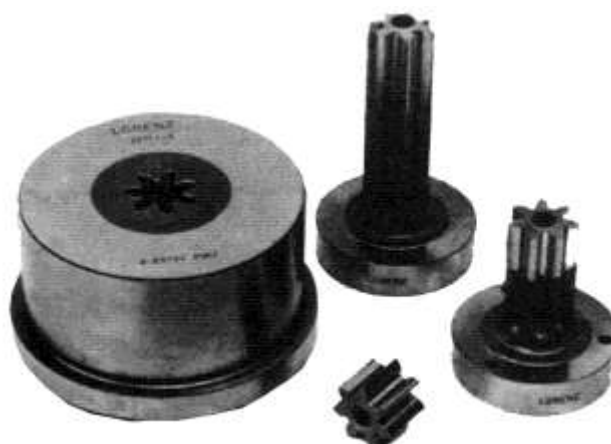
روشهای تولید چرخدنده بدون براده‌برداری به خاطر فزونیهای اقتصادی خوبی که دارند در تولید انبوه چرخدنده‌ها به کار گرفته می‌شوند. از این فرایندها بیشتر در تولید چرخدنده‌های کم‌دقت یا کم‌استحکام بکارگیری می‌شود. از جمله‌ی این روشها می‌توان به نورد (Rolling) چرخدنده، متالورژی پودر و پولک‌زنی اشاره نمود. تجربه نشان داده است که برای تولید چرخدنده‌های دقیق بهتر است آمیزه‌ای از هر دو گروه فرایند براده‌برداری و بدون براده‌برداری باشد.

در روش نورد، در آغاز چرخدنده خشن‌تراشی می‌گردد و سپس زیر فشار زیاد و طی حرکتهای چرخشی دو ابزار نورد، که روبه‌روی یکدیگر قرار دارند، قطعه‌کار نورد می‌شود. در راستای خط تماس چرخدنده و ابزار نورد تغییرشکل مومسان (پلاستیک) رخ می‌دهد که سبب پیدایش سطحی پرداخت شده روی قطعه‌کار می‌شود؛ مدت زمان باردهی خودکار بین ۶ تا ۱۰ ثانیه است.



ساخت چرخدنده به روش نورد

در روش متالورژی پودر که برای تولید انبوه چرخدنده‌های کم‌دقت و کم‌استحکام بکار می‌رود در کوتاهترین زمان می‌توان چرخدنده تولید نمود. در این روش درون قالبی فلزی به مانند چرخدنده، پودر ماده‌ی خام (فلزی که به صورت پودر درآمده است) زیر فشار زیاد و در دمای معین شکل داده می‌شود. نگاره‌ی زیر قالب متالورژی پودر و سنبه‌ی آن را همراه یک چرخدنده‌ی تولید شده نشان می‌دهد.



قالب متالورژی پودر و سنبه‌ی آن، همراه با چرخدنده‌ی تولید شده

برای تولید انبوه چرخنده‌های کم‌دقت روش **پولک‌زنی** نیز به کار گرفته می‌شود. در این روش باید قالب و سنبه‌ی مورد نظر متناسب با اندازه‌ی چرخنده فراهم گردد.

برای آگاهی بیشتر در زمینه‌ی روشهای تولید چرخنده به کتاب چرخنده‌تراشی ترجمه مهرداد مرادی انتشارات طراح مراجعه نمایید.

۴. اندازه‌گیری چرخنده‌ها

ماشین CNC با نرم‌افزار بازرسی چرخنده از رایجترین و دقیقترین روشهای بررسی چرخنده‌ها می‌باشد. این ماشین‌ها بسته به مدل و ویژگیهای که دارند می‌توانند گونه‌های چرخنده‌هایی که کران (قطر) بیرونی آنها به چند متر و وزنشان به چند تن می‌رسد را کنترل نمایند. اجزای پدیدآور این ماشینها عبارتند از :



۱. چاپگر

۲. مجموعه‌ی تکیه‌گاه مرغک و مرغک

۳. سیستم جایگزینی خودکار پراب (حسگر)

۴. واحد کنترل CNC

۵. بستر ماشین که میز گردان قطعه‌کار روی آن قرار دارد.

۶. نمایشگر رایانه

۷. صفحه کلید متصل به رایانه

۸. محورهای اندازه‌گیری X, Y, Z

۹. سامانه‌ی سه بعدی حسگر



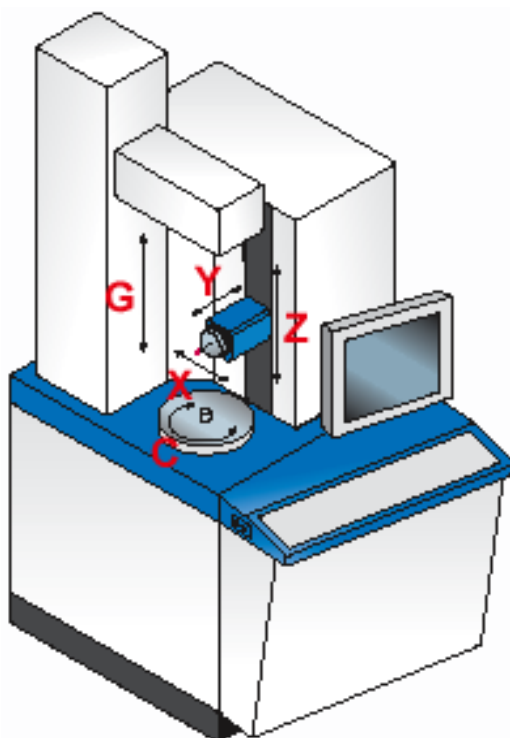
نحوه‌ی کنترل سطح دندانه هنگام اندازه‌گیری چرخنده

درآمیزه‌های (ترکیبهای) گوناگونی از محورهای مرکز اندازه‌گیری چرخنده برای انواع اندازه‌گیری بکار می‌روند به عنوان نمونه در نگاره‌ی زیر:

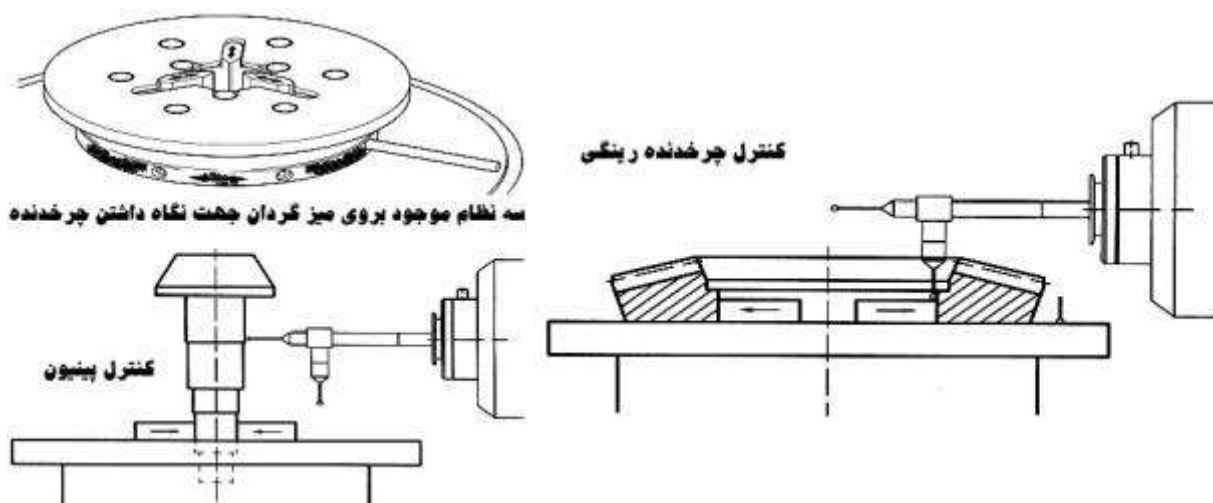
C, X, Y, Z: برای بررسی پهلوی دندانه

Y و C: برای بررسی پینیون

Z و C: برای بررسی چرخدنده رینگ



در نگاره‌های زیر شیوه‌ی نگهداشتن انواع چرخدنده (پینیون یا چرخدنده کوچک و کرانویل یا چرخدنده رینگ) بر روی میز گردان و پراب بررسی چرخدنده نشان داده شده است.



نحوه‌ی نگهداشتن انواع چرخدنده و بررسی آن

دستگاه اندازه‌گیری چرخدنده ویژگیهای زیر را داراست:

طراحی چرخنده‌ها، محاسبه‌ی اجزای چرخنده، تحلیل نحوه‌ی تماس دندانه، نمایش منحنی مسیر تماس، نمایش شکل دندانه، تعیین مقدار پس‌زنی و زاویه آزاد نوک دندانه، رسم شکل مقطع دندانه، ارائه اندازه‌های نامی چرخنده، محاسبه‌ی مقدار خطا در ساخت چرخنده.

در شکل‌های زیر اندازه‌گیری نمونه‌ای دیگر از چرخنده‌ها به کمک این نوع ماشین‌ها دیده می‌شود.



اندازه‌گیری چرخنده مخروطی مارپیچ (سمت راست) اندازه‌گیری چرخ و پیچ حلزون (سمت چپ)

۵. استاندارد چرخنده‌ها

برای چرخنده‌ها استانداردهای تقریباً کاملی تدوین شده است. شماره و عنوان هر استاندارد در این بخش آورده می‌شود. به خواننده پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی متن این استانداردها به کتاب سه جلدی استانداردهای کامل چرخنده‌ها و گیربکسها ترجمه فتح ا... معروفی انتشارات پرتو علم مراجعه نماید.

ردیف	استاندارد	موضوع
۱	DIN 3998 بخش اول	نام گذاری و دسته بندی چرخنده‌های جفت-تعاریف عمومی
۲	DIN 3998 بخش دوم	نام گذاری و دسته بندی چرخنده‌های جفت-چرخنده‌های استوانه‌ای
۳	DIN 3998 بخش سوم	نام گذاری و دسته بندی چرخنده‌های جفت-چرخنده‌های مخروطی هیپوئید
۴	IN 3998 بخش چهارم	نام گذاری و دسته بندی چرخنده‌های جفت-چرخنده‌های حلزونی

۵	DIN 3998 ضمیمه ۱	نام گذاری و دسته بندی چرخنده‌های جفت-اصطلاحات
۶	DIN 868	تعاریف عمومی و عوامل اختصاصی چرخنده‌های جفت و چرخنده‌های رشته ای (دنبال هم)
۷	DIN 867	پروفیل دندان چرخنده شانه ای اینولوت
۸	DIN 3960	مفاهیم و پارامترهای چرخ دنده های استوانه ای جفت با دندانه‌های اینولوت
۹	DIN 3978	زوایای مارپیچ برای دندانه‌های چرخنده‌های استوانه ای
۱۰	DIN 3971	تعاریف و پارامترهای مربوط به چرخنده‌های مخروطی و چرخنده‌های مخروطی جفت
۱۱	DIN 3975	اصطلاحات و تعاریف مربوط به چرخنده‌های استوانه ای حلزونی با زاویه محور ۹۰ درجه
۱۲	DIN 3976	بررسی ابعاد، فاصله مرکز تا مرکز و نسبت چرخنده‌ها در پیچ حلزون استوانه ای محرک
۱۳	DIN 780 بخش اول	مدولهای مورد استفاده در چرخنده‌ها-مدول چرخنده‌های ساده
۱۴	DIN 780 بخش دوم	مدولهای مورد استفاده در چرخنده‌ها-مدول چرخنده‌های استوانه ای
۱۵	DIN 37	قواعد نمایش ساده و خلاصه شده چرخنده‌ها و چرخنده‌های جفت
۱۶	DIN 3966 بخش اول	اطلاعات نقشه کشی دندانه‌های چرخنده-دندانه‌های اینولوت چرخنده‌های استوانه ای
۱۷	DIN 3966 بخش دوم	اطلاعات نقشه کشی دندانه‌های چرخنده-دندانه‌های چرخنده مخروطی مستقیم
۱۸	DIN ISO 2203	فنون ترسیم و نمایش قرار دادی چرخنده‌ها
۱۹	ISO 9457 بخش اول	وسایل نقلیه جاده ای- کاربرد رایج پینیونهای متریک مرتبط با استارتر موتور
۲۰	ISO 9457 بخش دوم	وسایل نقلیه جاده ای- پینیونهای با زاویه فشار ۲۰ درجه
۲۱	ISO 1340	اطلاعات لازم چرخنده‌های استوانه ای برای سازنده
۲۲	DIN 3961	تلرانسهای دندانه‌های چرخنده استوانه ای پایه
۲۳	DIN 3967	سیستم فیت چرخنده، لقی بین دو دنده، تلرانسهای ضخامت دندانه، قواعد کلی
۲۴	DIN 3962 بخش اول	تلرانسهایی برای دندانه‌های چرخنده استوانه ای- تلرانس برای انحراف در پارامترهای اختصاصی
۲۵	DIN 3962 بخش دوم	تلرانسهایی برای دندانه‌های چرخنده استوانه ای-انحرافهای اثر دندانه
۲۶	DIN 3962 بخش سوم	تلرانسهایی برای دندانه‌های چرخنده استوانه ای-انحراف دهانه گام
۲۷	DIN 3963	تلرانسهایی برای دندانه‌های چرخنده استوانه ای و انحرافهای کارکرد
۲۸	DIN 3964	انحراف در فاصله مرکز تا مرکز و تلرانس موقعیت محور چرخنده استوانه ای
۲۹	DIN 3977	اندازه‌گیری اجزاء قطر و اندازه های قطری یا شعاعی برای بررسی ضخامت دندانه چرخنده استوانه ای
۳۰	DIN 3993 بخش اول	طراحی هندسی چرخنده‌های اینولوت زوج داخلی-قواعد کلی
۳۱	DIN 3993 بخش دوم	طراحی هندسی چرخنده‌های اینولوت زوج داخلی-نمودارهای حدود هندسی در درگیری با پینیون جفت
۳۲	DIN 3993 بخش سوم	طراحی هندسی چرخنده‌های اینولوت زوج داخلی-نمودارهای اندازه‌گیری ضریب اصلاح اندوم
۳۳	DIN 3993 بخش	طراحی هندسی چرخنده‌های اینولوت زوج داخلی- نمودارهای حدود هندسی در درگیری

	چهارم	با پینیون
۳۴	DIN 58405 ضمیمه ۱	چرخنده ساده دورانی در محدوده مکانیک ظریف-تعاریف، اطلاعات و قواعد طراحی و طبقه بندی
۳۵	DIN 58405 ضمیمه ۲	چرخنده ساده دورانی در محدوده مکانیک ظریف-انتخاب فیتها، تolerانسها و الوونسیها
۳۶	DIN 58405 ضمیمه ۳	چرخنده ساده دورانی در محدوده مکانیک ظریف-نشانه های نقشه کشی و مثالهایی برای محاسبات
۳۷	DIN 58405 ضمیمه ۴	چرخنده ساده دورانی در محدوده مکانیک ظریف-جداول
۳۸	DIN 3965 بخش اول	تولانس برای چرخندههای مخروطی-مفاهیم پایه
۳۹	DIN 3965 بخش دوم	تولانس برای چرخندههای مخروطی-پارامترهای اختصاصی
۴۰	DIN 3965 بخش سوم	تولانس برای چرخندههای مخروطی-خطاهای ترکیبی تماسی
۴۱	DIN 3965 بخش چهارم	تولانس برای چرخندههای مخروطی-خطاهای زاویه محور و انحراف در نقاط تقاطع محورها
۴۲	DIN 5480 بخش ۱	اتصالات هزارخاری اینولوت-قواعد کلی
۴۳	DIN 5480 بخش ۲	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰-قواعد کلی
۴۴	DIN 5480 بخش ۳	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۱ و ۸/۵ و ۱۷/۵ و ۶۰/۵ و ۵۰/۵
۴۵	DIN 5480 بخش ۴	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۱/۲۵
۴۶	DIN 5480 بخش ۵	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۱/۵ و ۱۷/۵
۴۷	DIN 5480 بخش ۶	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۲
۴۸	DIN 5480 بخش ۷	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۲/۵
۴۹	DIN 5480 بخش ۸	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۳
۵۰	DIN 5480 بخش ۹	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۴
۵۱	DIN 5480 بخش ۱۰	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۵
۵۲	DIN 5480 بخش ۱۱	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۶
۵۳	DIN 5480 بخش ۱۲	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۸
۵۴	DIN 5480 بخش ۱۳	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰ و مدول ۱۰
۵۵	DIN 5480 بخش ۱۴	اتصالات هزارخاری اینولوت-زاویه فشار ۳۰-فیتهای پهلوی، تولانسیها
۵۶	DIN 5480 بخش ۱۵	اتصالات هزارخاری اینولوت-سنجش فیت پهلوی
۵۷	DIN 5480 بخش ۱۶	اتصالات هزارخاری اسپلین، نوع اینولوت، زاویه فشار ۳۰ درجه، هاب ها، تیغفرزهای پینیون و خان کشها
۵۸	ISO 14	اندازه و تولانسیهای هزارخارهای راست گوشه
۵۹	DIN 5481 بخش اول	دندانههای داخلی و خارجی
۶۰	DIN 8196 بخش اول	دنده زنی در چرخ زنجیر برای زنجیرهای رولر-اندازه های مقطع برش یا پروفیل

۶۱	DIN 8196 بخش دوم	دنده زنی در چرخ زنجیر برای زنجیرهای رولر-اندازه های پروفیل و برش
۶۲	DIN 8164	زنجیرهای بوش دار
۶۳	DIN 8187	زنجیرهای رولر نوع اروپایی
۶۴	DIN 8187-1	زنجیرهای رولر نوع اروپایی-زنجیرهای یک، دو و چند راهه
۶۵	DIN 8188	زنجیرهای رولر نوع آمریکایی
۶۶	DIN 8188-1	زنجیرهای رولر نوع آمریکایی-زنجیرهای یک، دو و چند راهه
۶۷	DIN 8195	طراحی و انتخاب سیستمهای جلوبرنده دورانی با زنجیر
۶۸	DIN 3968	تلائس هاب های تک استارت برای چرخندههای ساده اینولوت
۶۹	DIN 3972	پروفیلهای مرجع برای ابزار چرخنده تراشی در سیستم اینولوت
۷۰	DIN 8002	ابزار براده برداری چرخنده ساده با مدولهای ۱ تا ۲۰
۷۱	ISO 2490	هاب چرخنده زنی یک راهه و یک پارچه با جای زبانه یا جای خار
۷۲	ISO 10825	عبارات رایج در سایش چرخندهها و تخریب دندانههای چرخنده

موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نیز درباره چرخنده‌ها، استاندارد ملی ایران را (ISIRI) به شرح زیر ارائه نموده است که متن آنها از تارنمای موسسه به نشانی www.isiri.ir در دسترس است :

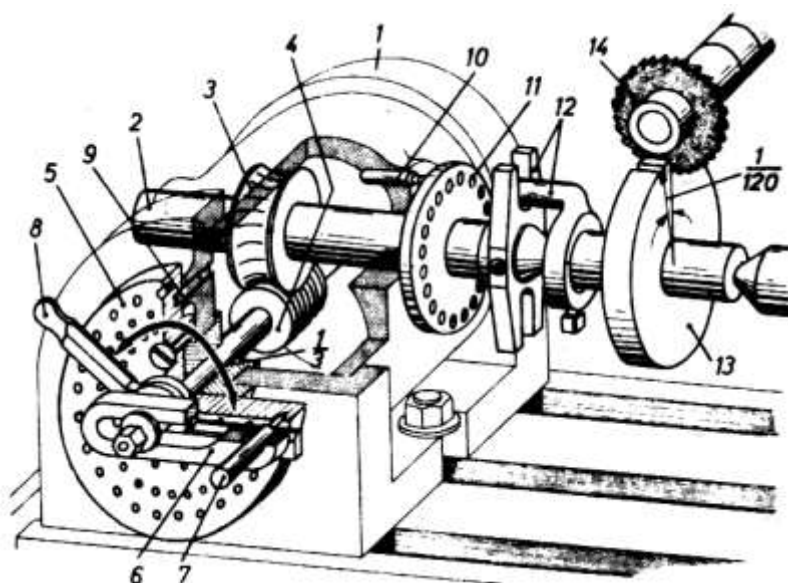
ردیف	استاندارد	موضوع	ردیف	استاندارد	موضوع
۱	ISIRI 4544	چرخنده‌های استوانه‌ای برای مهندسی عمومی، چرخنده‌های مبنا	۳	ISIRI 4546	دقت در چرخنده‌های چنبره‌ی موازی
۲	ISIRI 4545	چرخنده‌های استوانه‌ای برای مهندسی عمومی، مدول و گام قطری	۴	ISIRI 4548	واژه‌های چرخنده‌ها

۶. تولید چرخنده به کمک ماشین فرز و دستگاه تقسیم

برای تولید انواع چرخنده‌ها در شمار کم می‌توان از ماشین فرز، دستگاه تقسیم و تیغ‌فرزهای مدولی استفاده نمود.

۶-۱. دستگاه تقسیم (Dividing head)

دستگاه تقسیم ابزاری است برای انجام دقیق تقسیمات محیطی روی قطعات مختلف. دستگاه تقسیم برای فرزکاری هر گونه چرخنده به کار گرفته می‌شود. مشخصات ساختمانی آن با توجه به نگاره‌ی زیر عبارت است از :



۱- بدنه‌ی پایا(ثابت): یاتاقان محور حلزونی و عامل اتصال حلزون به چرخ حلزونی درون آن قرار دارد و نیز تکیه‌گاهی است برای چرخش و تحت زاویه قرار گرفتن محور کار در فرزکاری تحت زاویه.

۲- محور کار(محور اصلی): محور سوراخداری است که چرخدنده حلزونی و صفحه‌ی سوراخدار یا شیاردار برای تقسیم روی آن سوار می‌گیرد. سوراخ سرتاسری آن در یک طرف به صورت مخروط ساخته می‌شود تا بتوان مرغک را در آن جای داد. محیط بیرونی این قسمت پیچ‌دار است که سه نظام یا چهار نظام دستگاه روی آن بسته شود. سمت دیگر محور کار دارای سوراخ استوانه‌ای است که محور یدکی جهت سوار کردن چرخدنده‌های تعویضی (مثلاً در چرخدنده تراشی دیفرانسیلی) روی آن سوار می‌شود.

۳- چرخدنده حلزونی: چرخدنده‌ای است که با یک خار روی محور اصلی ثابت شده است. این چرخدنده با میل حلزون درگیر می‌شود و حرکت آن با نسبت خاصی که به شمار دندانه‌های آن بستگی دارد به محور اصلی منتقل می‌گردد. نسبت انتقال حرکت دستگاه‌های تقسیم معمولاً $i = \frac{40}{1}$ است که در این صورت چرخدنده حلزونی ۴۰ دندانه خواهد بود ولی دستگاه‌های با نسبت ۶۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ به یک نیز وجود دارد که در این حالت تعداد دندانه‌ی چرخدنده حلزونی به نسبت انتقال حرکت فرق خواهد داشت. در هر صورت اگر تعداد مارپیچ میل حلزونی را با g و تعداد دندانه چرخدنده حلزونی را با Z نشان دهیم نسبت انتقال حرکت بین حلزون و میل حلزون برابر است با:

$$i = \frac{Z}{g}$$

۴- میل حلزون: محوری است که در بخش مناسبی از آن پیچ مدولی (حلزون) ایجاد شده است. این پیچ در تقسیم غیر مستقیم با چرخدنده حلزونی درگیر می‌شود. دو طرف این محور در بدنه‌ی ثابت دستگاه تقسیم یاتاقان بندی شده است و در یک طرف آن، دسته‌ی دستگاه تقسیم سوار می‌شود. با حرکت این دسته، میل حلزون و چرخدنده حلزون حرکت کرده و سرانجام این چرخش با نسبت مشخص به قطعه منتقل می‌شود.

۵- صفحه‌ی سوراخدار: ابزاری است برای کنترل مقدار حرکت دسته تقسیم. معمولاً هر دستگاه تقسیم سه صفحه‌ی سوراخدار یک طرفی هر کدام با ۶ ردیف سوراخ به قرار زیر دارد:

صفحه‌ی I: ۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵

صفحه‌ی II: ۳۳-۳۱-۲۹-۲۷-۲۳-۲۱

صفحه‌ی III: ۴۹-۴۷-۴۳-۴۱-۳۹-۳۷

همچنین ممکن است دستگاه تقسیم دارای یک صفحه‌ی سوراخدار دو رویه (طرفی) باشد که ردیفهای هشتگانه‌ی آن دارای شمار سوراخ هایی به قرار زیر هستند:

رویه‌ی I: ۴۷-۴۱-۳۷-۳۱-۲۲-۲۰-۱۸-۱۶

رویه‌ی II: ۴۹-۴۳-۳۹-۳۳-۲۹-۲۱-۱۹-۱۷

این صفحه در وسط دارای سوراخی است که با فشار کم دست روی میل حلزون جا می‌گیرد. در برخی دستگاههای تقسیم این صفحه توسط ۲ یا ۳ پیچ بر روی بدنه‌ی دستگاه ثابت می‌شود.

۶- بازوی دسته تقسیم: تسمه‌ای است شیاردار که می‌تواند در راستای کرانی (شعاعی) صفحه‌ی سوراخدار بلغزد و نسبت به ردیف سوراخ دلخواه، توسط مهره‌ای که در سر میل حلزون بسته می‌شود، ثابت گردد.

۷- دسته ضامن‌دار: دسته‌ای است همراه با پین ضامن‌دار که با کشیدن آن فنر مارپیچ داخلی جمع و پین ضامن از سوراخ صفحه‌ی سوراخدار بیرون می‌آید تا بتوان دسته را حرکت داد. پس از جابجایی دسته و برداشتن فشار دست، فشار فنر مارپیچ، پین ضامن‌دار را در سوراخ مورد نظر جا می‌دهد و از حرکت بی‌مورد و ناخواسته دسته جلوگیری می‌کند.

۸- قیچی (پرگار): از دو بازو تشکیل شده است که با سطح صفحه سوراخدار در تماس هستند. فاصله‌ی این دو بازو را می‌توان به کمک دست نسبت به هم تغییر داد و با سفت کردن یک پیچ چاکدار ثابت نمود. قیچی برای جلوگیری از اشتباه در جابجا کردن دسته در تقسیم‌های مساوی و ایجاد سرعت عمل در کار استفاده می‌شود. ابتدا بازوها به اندازه مورد نظر و محاسبه‌شده تنظیم می‌گردند. یکی از بازوها به پین ضامن‌دار تماس داده می‌شود. در هر تقسیم پین توسط دسته از محل خود خارج می‌گردد و فاصله بین دو بازوی پرگار را طی می‌کند. هنگامی که ضامن در محل جدید خود مستقر شد پرگار جابجا و بازوی قبلی دوباره به پین ضامن‌دار تماس می‌شود و عملیات تقسیم به همین ترتیب ادامه می‌یابد.

۹- ضامن صفحه: خار ضامنی است که به وسیله دسته‌ای جابجا می‌شود و در یکی از سوراخ های محیطی صفحه ثابت شده و از حرکت صفحه هنگام جابجایی دسته جلوگیری می‌کند. در دستگاه های تقسیم نیمه انیورسال به این

ضامن نیاز نیست، چون صفحه ثابت است ولی در فرزکاری چرخنده‌های دیفرانسیلی و مارپیچی که صفحه باید حرکت کند از این ضامن استفاده می‌شود.

۱۰- پین ضامن صفحه تقسیم محور اصلی: زمانی که محور آزاد است (دسته حرکت داده نمی‌شود) و می‌خواهیم تقسیم را به صورت مستقیم توسط چرخاندن محور اصلی انجام دهیم ضامن آزاد می‌شود.

۱۱- صفحه تقسیم محور اصلی: معمولاً ۲۴ سوراخ دارد و برای اجرای تعداد تقسیمهای مستقیم قطعه که عدد ۲۴ به آن بخش‌پذیر است مانند (۲ و ۳ و ۴ و ۶ و ۸ و ۱۲ و ۲۴ قسمتی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دستگاههای تقسیم مستقیم تعداد این صفحه‌ها ۳ تا ۴ عدد است که می‌توان آنها را به دلخواه روی محور سوار کرد. تعداد سوراخهای صفحه دوم ۳۰ تایی است که برای اجرای تقسیمهای ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۱۰ و ۱۵ و ۳۰ بکار می‌رود. صفحه‌ی سوم نیز ۳۶ سوراخی است که برای انجام تقسیمهای مستقیم ۲ و ۳ و ۴ و ۶ و ۹ و ۱۲ و ۱۸ و ۳۶ از آن بهره برده می‌شود.

۱۲- صفحه مرگ و گیره قلبی: در صورتی که لازم باشد قطعه‌کار بین دو مرگ قرار گیرد از صفحه مرگ و گیره قلبی استفاده می‌شود در غیر این صورت سه نظام یا چهار نظام بکار می‌رود.

۱۳- قطعه‌کار: که در اینجا روی درن قرار گرفته و بین دو مرگ بسته شده است و در محیط آن باید ۱۲۰ شیار با فاصله مساوی ایجاد شود.

۱۴- تیغ فرز دنداناره‌ای: که روی درن فرزگیر توسط بوشها و پیچ و مهره ثابت شده است.

۶-۱-۱. محاسبات دستگاه تقسیم

حداقل تعداد دندانه چرخنده‌های صنعتی معمولاً بیش از ۱۲ عدد است لذا در چرخنده تراشی به ندرت از تقسیم مستقیم استفاده می‌شود و این در حالتی است که تعداد دندانه‌های چرخنده ۱۲-۱۵-۱۸-۲۴-۳۰ و ۳۶ دندانه باشد که در چنین مواقعی عمل تقسیم مستقیم بسیار ساده است و از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

$$n_k = \frac{n}{T}$$

در این رابطه n_k تعداد سوراخهای جابه‌جا شونده برای هر تقسیم و n تعداد شیار یا سوراخ های صفحه تقسیم مستقیم و T تعداد دندانه چرخنده مورد نظر است.

نمونه پرسمان: برای تراشیدن یک چرخنده ۱۸ دندانه از صفحه‌ی سوراخ دار تقسیم محور اصلی ۳۶ سوراخی استفاده می‌شود. شمار سوراخهای جا به جا شونده‌ی مورد نیاز نسبت به ضامن صفحه را حساب کنید.

پاسخ:

$$n_k = \frac{36}{18} = 2$$

پس صفحه‌ی سوراخ دار که متصل به محور اصلی است باید به اندازه‌ی ۲ سوراخ نسبت به ضامن صفحه جابجا شود.

در چرخنده تراشی اغلب از دستگاه های تقسیم غیر مستقیم بهره برده می شود که محاسبات و فرآیند مربوط به تقسیم کردن ساده در نمونه های زیر توضیح داده می شود.

نمونه پرسمان: مقدار گردش دسته ی دستگاه تقسیمی را که نسبت انتقال حرکت آن $i = 40:1$ است برای چرخنده ۶۰ دندانه حساب کنید.

پاسخ: می دانیم که در دستگاه تقسیمی که نسبت انتقال حرکت آن ۴۰ به ۱ است اگر دسته ی دستگاه تقسیم ۴۰ دور بزند قطعه کار یک دور کامل خواهد چرخید. پس برای فرزکاری هر دندانه از چرخنده ی ۶۰ دندانه ای قطعه کار باید یک شصتم دور بچرخد و با یک تناسب ساده می توان مقدار گردش دسته ی دستگاه تقسیم را پیدا کرد.

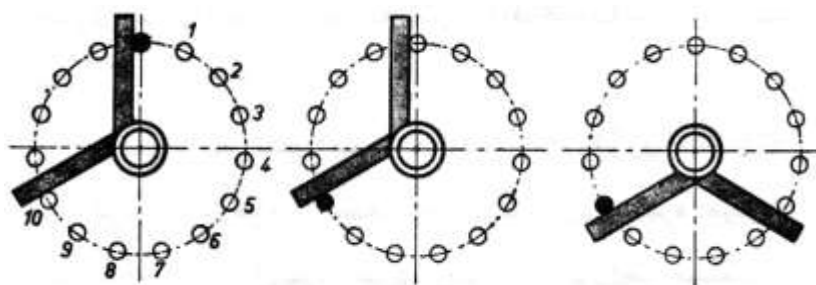
$$\frac{(1 \text{ دور}) \text{ شمار دورهای قطعه کار}}{n_k} = \frac{(40 \text{ دور}) \text{ شمار دورهای دسته ی دستگاه تقسیم}}{1/60} \Rightarrow n_k = \frac{40}{60} = \frac{10}{15}$$

مخرج این کسر نشان می دهد که یک دور کامل دسته به ۱۵ قسمت مساوی تقسیم شده است و صورت کسر نشان می دهد که از این ۱۵ قسمت برای اجرای عمل تقسیم باید دسته به اندازه ی ۱۰ سوراخ جابجا شود.

اگر مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم را با n_k و نسبت انتقال حرکت دستگاه تقسیم را با i و شمار دندانه ی چرخنده (قطعه کار) را با T نمایش دهیم، با نگاه به پاسخ برداشت شده ، مقدار گردش دسته ی دستگاه تقسیم برای انجام تقسیمها از رابطه ی زیر به دست می آید.

$$n_k = \frac{i}{T}$$

پس باید صفحه ی سوراخدار شماره ی ۲ را روی دستگاه سوار کرد و پین ضامن دسته را پس از باز کردن مهره، لغزاند و در یکی از سوراخ های ردیف ۱۵ سوراخی مستقر نمود و مهره را سفت کرد. سپس یکی از بازوهای قیچی را با پین ضامن دسته مماس نموده، تیغه ی دیگر را به اندازه ی ۱۱ سوراخ با شمار آوردن سوراخی که پین ضامن در آن قرار دارد (یعنی ۱۰ فاصله) باز و پیچ بازوی قیچی را محکم می کنیم. پس از تراشیدن دندانه ی نخست از چرخنده، ضامن دسته را کشیده و به اندازه ی فاصله ی دو بازوی قیچی آن را می چرخانیم. سپس قیچی را روی صفحه دوران داده، بازوی اول را دوباره با پین ضامن دسته مماس می کنیم. این کار را تکرار می نماییم تا همه ی شیارهای چرخنده تراشیده شود.



توجه: روی همین صفحه برای فرزکاری چرخنده مثال بالا می توان فرایند تقسیم را روی ردیف ۱۸ سوراخی انجام داد چون:

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} \times \frac{6}{6} = \frac{12}{18}$$

یعنی روی ردیف ۱۸ سوراخی برای تولید یک دندانه از چرخنده ۶۰ دنده‌ای، دسته‌ی دستگاه تقسیم باید ۱۲ فاصله جابجا گردد. همچنین می توان از ردیف های مضرب ۳ صفحه های دیگر استفاده نمود.

نمونه پرسمان: مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم 40:1 که صفحه‌ی شماره III روی آن قرار دارد را برای فرزکاری یک چرخنده ۱۲۰ دندانه حساب کنید.

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} \times \frac{13}{13} = \frac{13}{39}$$

پاسخ:

یعنی دسته تقسیم باید روی ردیف ۳۹ سوراخی برای انجام یک تقسیم به اندازه‌ی ۱۳ فاصله حرکت کند.

نمونه پرسمان: برای تراشیدن یک چرخنده ۳۲ دندانه‌ای مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم 40:1 را حساب کنید.

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{32} = \frac{5}{4} = 1 \frac{1}{4} = 1 \frac{4}{16}$$

پاسخ:

پس برای اجرای تقسیمات دسته دستگاه تقسیم روی صفحه شماره I باید یک دور کامل و ۴ فاصله روی ردیف ۱۶ سوراخی حرکت کرد.

نمونه پرسمان: مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم 60:1 را برای تراشیدن یک چرخنده‌ی ۲۴ دندانه‌ای حساب کنید.

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{60}{24} = \frac{5}{2} = 2 \frac{1}{2} = 2 \frac{8}{16}$$

پاسخ:

یعنی برای تراش این چرخنده پس از تراشیدن هر دندانه، دسته تقسیم روی صفحه‌ی سوراخ دار شماره I دو دور کامل و ۸ فاصله روی ردیف ۱۶ سوراخی جا به جا می‌شود.

۶-۲. تیغ فرز های مدولی

برای تراشکاری چرخنده‌ها توسط ماشین‌های فرز می‌توان از سه نوع تیغ فرز مدولی پولکی، تیغ فرز مدولی انگشتی و تیغ فرز غلتکی (هاب) استفاده نمود. از هر سه نوع تیغ فرز می‌توان برای فرزکاری همه نوع چرخنده بهره برد ولی در کارگاه‌ها همواره از تیغ فرزهای مدولی پولکی استفاده می‌شود زیرا هنگام کند شدن به آسانی قابل تیزشدن هستند.

برای فرزکاری چرخنده‌های جناغی یک تکه، باید از تیغ فرزهای مدولی انگشتی استفاده کرد. از تیغ فرزهای غلتکی در ماشینهای چرخنده تراش غلتی خودکار (هابینگ) برای فرزکاری انواع چرخنده‌ها به جز چرخنده‌های مخروطی بکار می‌رود. دنده‌ی تیغ فرزهای مدولی پولکی، که زین پس به آنها تیغ فرزهای مدولی خواهیم گفت، به شکل شیار دندانه‌ی چرخنده ساخته شده است.

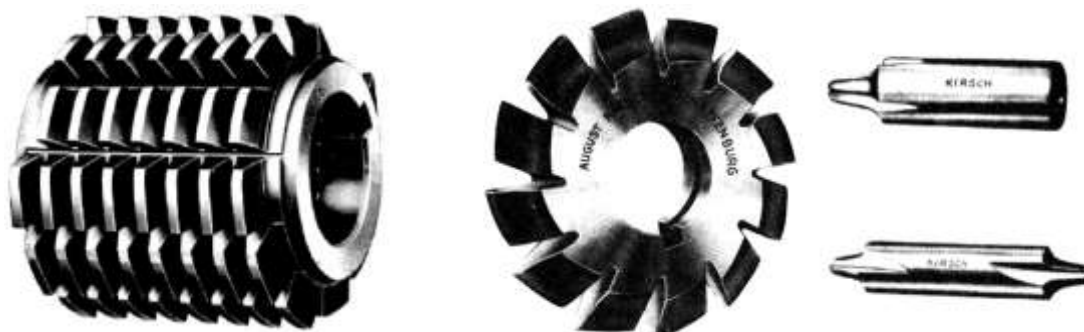
اگر بخواهیم در پیرامون یک چرخنده با کران (قطر) بیرونی ثابت شمار گوناگون دندانه محیطی با یک مدول ویژه ایجاد کنیم، ریخت شیار دندانه‌ها و اندازه‌ی پهنای آنها دگرسانی (تغییر) می‌یابد، بنابراین کارخانه‌های سازنده تیغ فرزهای مدولی، بسته به دقت کار دو سری تیغ فرز ۸ تایی و ۱۵ تایی آماده می‌کنند که دقت عمل سری ۱۵ تایی بیشتر از ۸ تایی است.

سری ۸ تایی تیغه فرزهای مدولی								
شماره تیغه فرز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
تعداد دنده	۱۲-۱۳	۱۴-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱-۲۵	۲۶-۳۲	۳۵-۵۴	۵۵-۱۳۴	۱۳۵-۵۵
فرم دنده تراشیده شده								

سری ۱۵ تایی تیغه فرزهای مدولی								
شماره تیغه فرز	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
تعداد دنده	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵-۱۶	۱۷-۱۸	۱۹-۲۰	۲۱-۲۲	۲۳-۲۵
شماره تیغه فرز	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷	۷/۵	۸	-
تعداد دنده	۲۶-۲۹	۳۰-۳۴	۳۵-۴۱	۴۲-۵۴	۵۵-۷۹	۸۰-۱۳۴	۱۳۵-۵۵	-

هر تیغ فرز برای فرزکاری یک سری چرخنده با تعداد دندانه‌ی معین استفاده می‌گردد. تیغ فرز بسته به تعداد دندانه‌ی چرخنده‌هایی که به وسیله‌ی آن تراشیده خواهد شد شماره‌گذاری می‌گردد. مثلاً از تیغ فرز شماره ۶ در سری ۸ تایی برای تراشیدن چرخنده‌هایی استفاده می‌گردد که تعداد دندانه آنها از ۳۵ تا ۵۴ دندانه باشد. در تیغ

فرزهای سری ۱۵ تایی این تعداد دندانه با دو نوع تیغ فرز شماره ۶ و ۶/۵ تراشیده می‌شوند. تیغ فرز مدولی شماره ۶ برای تراشیدن چرخنده‌های از ۳۵ تا ۴۱ دندانه و تیغ فرز مدولی شماره ۶/۵ جهت تراشیدن چرخنده‌های از ۴۲ تا ۵۴ دندانه بکار می‌رود. مدول چرخنده‌ها که درشتی دندانه و قدرت انتقال حرکت چرخنده‌ی مربوط به آن است استاندارد شده‌اند.



تیغ فرز مدولی انگشتی (راست) و تیغ فرز مدولی پولکی (میان)، تیغ فرز غلتکی چرخنده یا هاب (چپ)

بر روی تیغ فرزها، اندازه‌ی مدول و شماره‌ی تیغ فرز، تعداد دندانه‌هایی که می‌توان با آن تراشید، اندازه‌ی قطر درن فرزگیر، جنس تیغ فرز که بیشتر از نوع فولاد ابزار آلیاژی است و همچنین اندازه‌ی ژرفای (عمق) دنده نوشته می‌شود. در گزینش تیغ فرز حتماً باید مدول و شماره‌ی تیغ فرز را معین کرد.

خوبی تیغ‌فرزهای مدولی آن است که دندانه‌های آنها از نوع پشت تراشی شده است و در صورت کند شدن تنها کافی است پیشانی آنها سنگ زده شود. زاویه‌ی براده در این نوع تیغ فرزها برابر صفر است یعنی راستای سطح براده از محور تیغ فرز گذر می‌کند، در نتیجه زاویه‌ی گوه تیز کردن لازم ندارد. همیشه باید از تیغ فرز تیز و بدون اشکال استفاده نمود در غیر این صورت فرم دنده حالت استاندارد خود را از دست می‌دهد. اگر بخواهیم چرخنده‌هایی با مدول بزرگ فرزکاری نماییم باید در آغاز از تیغ فرزهای خشن تراش و سپس از تیغ فرز اصلی استفاده نمود.

۳-۶. روش ساخت چرخنده‌های ساده

چرخنده‌های ساده یا دنده مستقیم به چرخنده‌هایی گفته می‌شود که راستای دندانه‌های آنها در راستای محور چرخنده باشند. برای فرزکاری چرخنده‌ها، محاسبه‌ی همه‌ی ویژگی‌های آنها نیاز نیست بلکه کافی است ویژگی‌های تراشکاری و فرزکاری آنها دانسته گردد. این ویژگی‌های در چرخنده‌های ساده به قرار زیر می‌باشد:

$$d_k = m(z + 2)$$

کران سردنده یا کران بیرونی چرخنده

$$b = 10 \times m$$

ضخامت چرخنده

$$h = 2.167 \times m = \frac{13}{6} \times m$$

ژرفای (عمق) دنده یا ژرفای بار

$$n_k = \frac{i}{T}$$

مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم

نمونه : مراحل فرزکاری یک چرخنده ۳۴ دندانه‌ای از جنس St50 با مدول ۲ میلی‌متر توسط دستگاه تقسیم را توضیح دهید (کران تیغ‌فرز ۶۰ میلی‌متر است و ۱۲ لبه‌ی برش دارد).

پاسخ:

گام (۱) اندازه قطر بیرونی چرخنده را حساب می‌کنیم.

$$d_k = m(z + 2) = 2(34 + 2) = 72 \text{ mm}$$

گام (۲) ماده‌ی خام را از لحاظ جنس و اندازه‌ی کران (قطر) بزرگتر از ۷۲ میلی‌متر انتخاب می‌کنیم. همچنین ضخامت آن را نیز حدود ۵ میلی‌متر بزرگتر از اندازه ضخامت چرخنده توسط ماشین اره می‌بریم. بریدن ماده‌ی خام توسط ماشین اره هزینه‌ی کمتری دارد و گرنه می‌توان به کمک ماشین‌تراش نیز این عمل را انجام داد. در صورتی که بخواهیم ضخامت چرخنده استاندارد باشد:

$$b = 10 \times m = 10 \times 2 = 20 \text{ mm}$$

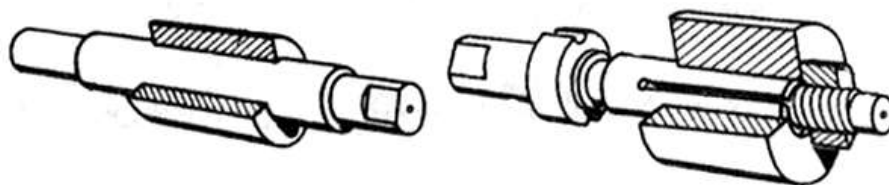
گام (۳) ماده اولیه‌ی بریده شده را در ماشین‌تراش می‌بندیم و پیشانی‌تراشی می‌کنیم. سپس جای گذر محور را سوراخکاری و به طور دقیق داخل‌تراشی می‌نماییم. در صورتی که طراحی اندازه‌ی سوراخ محور چرخنده به عهده‌ی سازنده باشد باید با توجه به توانی که چرخنده جابجا می‌کند، از فرمول‌های مقاومت مصالح (بخش پیچش) کران محور مناسب و در نتیجه اندازه‌ی سوراخ چرخنده محاسبه گردد.

گام (۴) چرخنده‌ی پیشانی‌تراشی و سوراخ شده را از روی ماشین تراش باز کرده با فشار پرسی، دُرَن را که محوری کمکی است در درون سوراخ سفت می‌کنیم. دُرَنها دو گونه‌اند :

دُرَن ساده: محور فولادی آبداده شده‌ای می‌باشد و در هر ۱۰۰ میلی‌متر ۰/۰۵ میلی‌متر مخروطی است. در نتیجه براحتی در سوراخ محور چرخنده وارد شده با اعمال نیروی پرسی با قطعه به صورت تقریباً یک تکه در می‌آید.

دُرَن چاکدار: یک بوش چاکدار فنری می‌باشد و دارای چاکهای محیطی یک طرفه یا دو طرفه با سوراخ درونی مخروطی و یک محور مخروطی مشابه است. دُرَن اصلی در آن قرار می‌گیرد و با فشار پرسی یا نیروی کشش پیچ و مهره قطعه را محکم می‌گیرد. از این نوع درن زمانی استفاده می‌شود که اندازه‌ی سوراخ دقیق نیست به گونه‌ای که امکان گرفتن آن توسط درن ساده وجود ندارد.

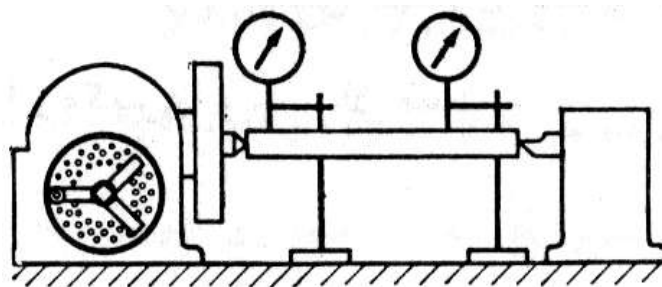
هر دو نوع درن در پیشانی دارای جای مرغک هستند و باستی بین دو مرغک بسته شوند ولی در بیشتر کارگاهها برای صرفه‌جویی در زمان، درن‌ها را بین سه نظام و مرغک می‌بندند که در این صورت باید دو نکته رعایت گردد: نخست این که دقت گردد تا فک سه نظام روی بخش تخت شده سر درن قرار نگیرد و دوم این که لنگی درن به کمک ساعت اندازه‌گیری واریسی شود.



دُرَن چاکدار (راست) و دُرَن ساده (چپ)

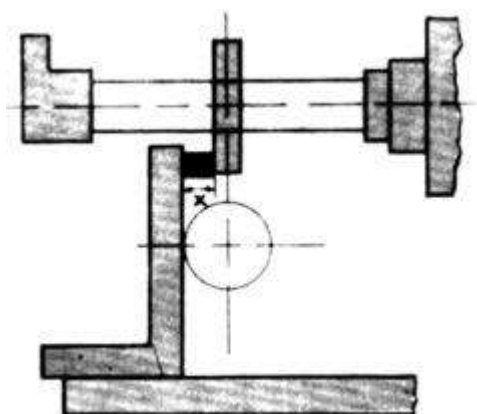
گام ۵) درن حامل قطعه کار را با توجه به تذکرات فوق طوری روی ماشین سوار می کنیم که نیروی پیشروی رنده تراشکاری به طرف قطر بزرگ دُرَن باشد تا قطعه کار روی درن شل نشود. سپس با استفاده از رنده های مناسب قطر خارجی و ضخامت چرخنده را به اندازه می رسانیم.

گام ۶) درن حامل چرخنده را با توجه به تذکرات فوق بین دو مرغک و سه نظام دستگاه تقسیم روی ماشین فرز می بندیم. برای اطمینان از دقت بستن، می توان از یک استوانه ی دقیق و ساعت اندازه گیری استفاده کرد.



گام ۷) با توجه به مدول چرخنده و شمار دندانه ی چرخنده، تیغ فرز مناسب را انتخاب نمایید. با توجه به قطر سوراخ تیغ فرز محور یا درن فرز گیر لازم را نیز تعیین می کنیم.

گام ۸) هنگامی که قطعه کار و تیغ فرز بسته شدند قطعه کار را به تیغ فرز نزدیک کرده، امتداد تیغ فرز را با استفاده از گونیا و پرگار یا بلوک اندازه گیری با محور چرخنده همراستا می کنیم. برای این کار گونیا و سطح میز ماشین باید تمیز باشد و کار با دقت انجام گیرد چون در غیر این صورت راستای دندانه ها نسبت به محور چرخنده کج و چرخنده در ضمن کار زود مستهلک خواهد شد.



گام ۹) مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم را حساب می‌کنیم. پس برای انجام هر تقسیم، دسته‌ی دستگاه تقسیم باید ۱ دور کامل و ۳ فاصله روی ردیف ۱۷ سوراخی گردش کند.

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{34} = 1\frac{3}{7}$$

گام ۱۰) صفحه‌ی شماره I را روی دستگاه تقسیم سوار می‌کنیم و پین ضامن دسته را روی ردیف ۱۷ سوراخی قرار می‌دهیم. قیچی دستگاه را به فاصله‌ی ۴ سوراخ (یا ۳ فاصله) تنظیم می‌کنیم.

گام ۱۱) سرعت برشی (و در نتیجه تعداد دور تیغ فرز) و مقدار پیشروی میز ماشین را با توجه به عمق براده و جنس قطعه از جداول استاندارد یافته بر روی فرز تنظیم می‌کنیم.

چون جنس چرخنده از فولاد st50 است استحکام کششی آن (R_m) تقریباً ۵۰ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع می‌باشد. البته با توجه به جداول کلید فولاد استحکام کششی st50 (فولاد ساختمانی غیر آلیاژی) به طور کلی بین ۴۷۰ تا ۶۱۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع (حدوداً ۴۷ تا ۶۱ کیلوگرم بر میلی‌متر مربع) می‌باشد. با توجه به جدول پیوست برای فولاد غیر آلیاژی با استحکام کششی (R_m) تا ۷۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع و تیغ فرز پولکی از جنس فولاد تندبر، سرعت برش برای خشن‌کاری بین ۳۰ تا ۴۰ متر بر دقیقه می‌باشد. حال با داشتن قطر تیغ فرز (۶۰ میلی‌متر) و سرعت برش (مثلاً ۳۰ متر بر دقیقه) به نمودار **صفحه ۱۰۳** مراجعه و سرعت دوران تیغ فرز را معین می‌کنیم. این سرعت بین ۱۴۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه می‌باشد که می‌توان نزدیک‌ترین تعداد دور عملی را که روی ماشین قابل تنظیم است انتخاب و دستگاه را برای اجرای همان دوران تنظیم نمود. برای محاسبه سرعت پیشروی نیز از جدول **صفحه ۱۰۲** مقدار f_z بار به ازاء هر لبه‌ی برش از تیغ فرز فولاد تندبر برای خشن‌کاری بین ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر است. تعداد لبه‌ی برش تیغ فرز، Z ، نیز معین می‌باشد. بنابراین از رابطه‌ی زیر سرعت پیشروی حاصل می‌گردد:

$$V_f = f_z \times Z \times n$$

گام ۱۲) موتور ماشین فرز را با سرعت دورانی تعیین شده روشن می‌کنیم و میز ماشین را آن قدر بالا می‌آوریم تا تیغ فرز با قطعه‌کار به طور جزئی تماس یابد.

گام ۱۳) میز ماشین را در سوی موافق گردش تیغ فرز به طور طولی حرکت داده، قطعه کار را از زیر تیغ فرز کنار می کشیم.

گام ۱۴) عمق بار (ارتفاع دندان) را مانند زیر حساب می کنیم:

$$h = 2.167 \times m = 4.33 \text{ mm}$$

گام ۱۵) میز ماشین را به اندازه ی $4/33$ میلی متر بالا می آوریم. عمل بار دادن را می توان در چند پاس انجام داد ولی باید به این نکته توجه کرد که هر چه شمار دندان در پیرامون چرخنده کمتر باشد به خاطر تغییر شکل شیار دندان و بزرگ شدن ته شیار، تا حد امکان باید تلاش کرد که با تنظیم مناسب سرعت پیشروی، عمق همه ی دنده را در یک یا دو پاس به وجود آورد

گام ۱۶) با سفت کردن پیچ های مربوط از حرکت میز ماشین جلوگیری می کنیم. میز ماشین را با دست حرکت داده به تیغ فرز نزدیک می نماییم و با پیشروی خودکار در خلاف جهت چرخش تیغ فرز عمل براده برداری را آغاز می کنیم. ضمن براده برداری باید ماده ی خنک کننده متناسب با جنس قطعه کار را به کار برد.

جنس قطعه ای که باید فرزکاری شود	ماده ی خنک کاری و روانکاری
فولاد غیر آلیاژی و آلیاژدار با استحکام متوسط	آب روغن
فولاد با استحکام زیاد- فولاد سخت ریختگی	روغن برش
چدن خاکستری- مواد مصنوعی و پرس شده	خشک
برنج - برنز	آب روغن یا روغن برش
آلومینیم - آلیاژ های آلومینیم	خشک

گام ۱۷) پس از پایان عمل براده برداری نخستین دندان، میز را از حالت خودکار آزاد کرده آن را با دست حرکت می دهیم تا قطعه کار از زیر تیغ فرز بیرون آید و به محل شروع ماشینکاری منتقل گردد.

گام ۱۸) دسته ی دستگاه تقسیم که از پیش آماده شده است را به اندازه ی یک دور کامل و ۳ فاصله روی ردیف ۱۷ سوراخی حرکت می دهیم. پرگار را جا به جا و دندانه ی دوم را فرزکاری می کنیم. کار را به همین ترتیب ادامه می دهیم تا چرخنده کامل شود.

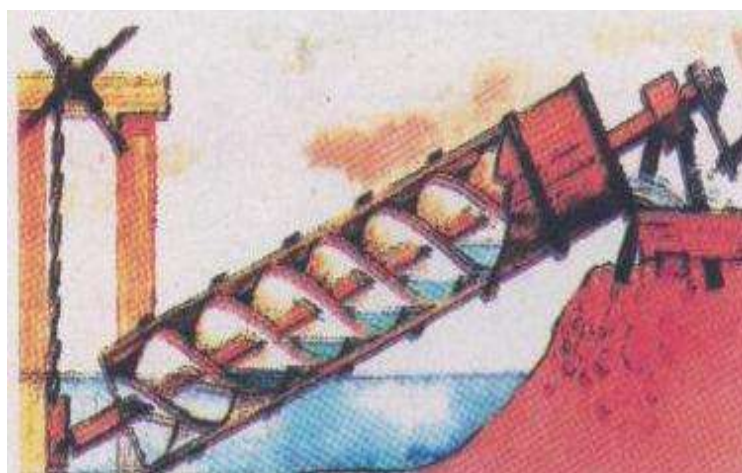
گام ۱۹) چرخنده را از روی ماشین فرز باز و پلیسه گیری می کنیم و درن را از داخل آن بیرون می آوریم.

فصل دوم: فرزکاری شیارهای مارپیچ

۱. مقدمه

در تاریخ آمده است که ارشمیدس دانشمند و مخترع یونانی وسیله‌ای اختراع کرده بود که به کمک آن با کمترین سختی آب از پایین به بالا انتقال داده می‌شد. این وسیله که شکل آن در تصویر زیر دیده می‌شود به مارپیچ ارشمیدس معروف گردید. امروزه از روش کار مارپیچ ارشمیدس در ابزارهایی مانند مته و کامیون مخلوط‌کن سیمان استفاده می‌شود. وقتی با دستگاه مته، جسم سختی را سوراخ می‌کنید شیار مارپیچ مته به براده اجازه می‌دهد که از حفره‌ی ایجاد شده خارج شوند. اگر مته شیار مارپیچ نداشته باشد با افزایش عمق سوراخ، مواد اضافی حفره را مسدود می‌کنند.

نمونه‌ی دیگری از کاربرد شیار مارپیچ کامیون مخلوط‌کن سیمان است که درون بخش استوانه‌ای شکل خود مارپیچ بزرگی دارد. با چرخیدن استوانه و مارپیچ درون آن بتون سنگین آبدار به سمت عقب کامیون رفته و بدون صرف نیروی زیادی به تدریج از آن سرازیر می‌شود.

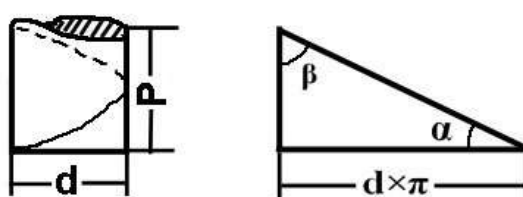


۲. مشخصات شیار مارپیچ

شیار مارپیچ شیری است که ضمن چرخش پیرامون یک استوانه، به طور یکنواخت و هماهنگ در راستای محور استوانه نیز ادامه می‌یابد. برای فرزکاری یک شیار مارپیچ بروی محیط قطعه‌کار لازم است که قطعه‌کار هم زمان دارای دو حرکت طولی و دورانی باشد. حرکت طولی قطعه‌کار به وسیله‌ی پیچ هادی میز ماشین فرز تأمین می‌گردد و حرکت دورانی قطعه‌کار به وسیله‌ی چرخنده تعویضی که بین پیچ هادی میز ماشین فرز و محور فرعی دستگاه تقسیم سوار می‌شوند، تأمین می‌گردد. نسبت حرکت طولی قطعه‌کار به مقدار گردش دورانی آن متأثر از گام مارپیچ و گام میز ماشین است که دقیقاً باید محاسبه گردد. با این توضیح روشن است که برای فرزکاری شیار مارپیچ ابتدا باید گام مارپیچ و سپس چرخنده‌های تعویضی تعیین گردند.

۳. محاسبات مربوط به مارپیچ تراشی

نگاهی زیر گسترش مسیر یک شیار مارپیچ که روی پیرامون استوانه قرار دارد را نشان می‌دهد.



در مثلث راستگوشه‌ی به وجود آمده، ضلع افقی مثلث محیط استوانه یعنی $d \times \pi$ و ضلع عمودی آن فاصله‌ی گام مارپیچ یعنی P و وتر مثلث مسیر پیچش شیار مارپیچ را نشان می‌دهد. از آنجا که شیار مارپیچ عمق دارد، در محاسبه‌ی طول محیط استوانه مخصوصاً در چرخنده تراشی به جای استفاده از قطر خارجی استوانه (d) از قطر متوسط آن روی شیار مارپیچ (d_0) استفاده می‌گردد. در این مثلث زاویه‌ی گام یا زاویه‌ی مارپیچ α و زاویه‌ی انحراف یا زاویه‌ی تنظیم میز ماشین فرز β نامگذاری می‌شوند. به این ترتیب روابط زیر بین اضلاع و زوایای مثلث برقرار است:

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

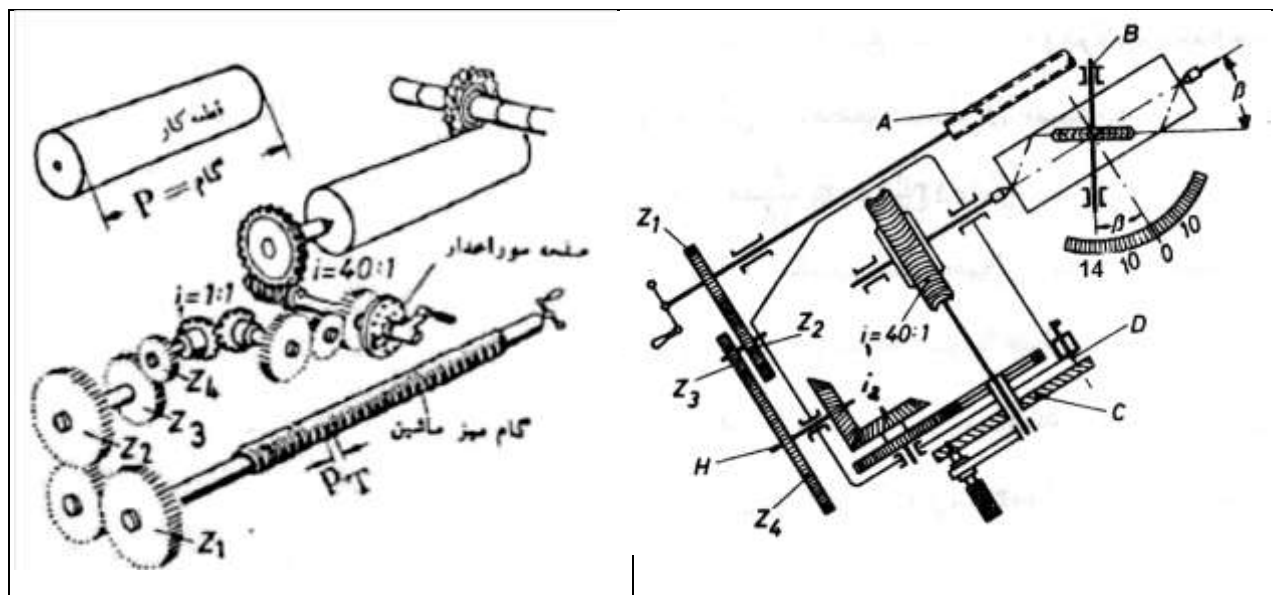
$$\cot \beta = \frac{P}{\pi \cdot d} \left(\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d} \right)$$

$$P = \pi \cdot d \cdot \tan \alpha = \pi \cdot d \cdot \cot \beta$$

۴. اصول سوار کردن چرخنده‌های تعویضی

همچنانکه گفته شد شیار مارپیچ دارای دو مسیر هماهنگ یکی طولی، در راستای محور استوانه و دیگری دورانی، گرد محیط استوانه است. در مارپیچ تراشی حرکت طولی به کمک میز ماشین فرز و حرکت چرخشی به کمک محور کار دستگاه تقسیم که قطعه به آن متصل شده است ایجاد می‌گردند. برای این که بین این دو حرکت نسبت درستی برقرار باشد، محور کار دستگاه تقسیم باید توسط چرخنده‌های تعویضی به پیچ هادی میز ماشین فرز متصل گردد. در نتیجه عامل انتقال حرکت هماهنگ از محور پیچ میز ماشین فرز به محور کار دستگاه تقسیم یک سری چرخنده تعویض‌پذیر است که بین این دو محور سوار می‌شوند. برای محاسبه‌ی این چرخنده‌ها رابطه‌ی زیر به کار می‌رود.

$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{i \cdot P_T}{P}$$



در این رابطه Z_t شمار دنده‌های چرخنده‌ی گرداننده (متصل به پیچ میز ماشین فرز)، Z_g شمار دنده‌های چرخنده‌ی گردان (متصل به دستگاه تقسیم)، i نسبت کل دستگاه تقسیم، P گام شیار مارپیچ و P_T گام پیچ هادی میز ماشین فرز است. برای اندازه‌گیری گام پیچ هادی می‌توان یک کاغذ را روی آن فشار داد و سپس به وسیله خط‌کش یا کولیس فاصله‌ی بین اثر دو دندانه‌ی کناری روی کاغذ را اندازه‌گیری نمود. اگر نسبت بین چرخنده‌های موجود درون دستگاه تقسیم $i_1 = 1:1$ باشد در این صورت رابطه‌ی بالا به گونه‌ی زیر خواهد بود:

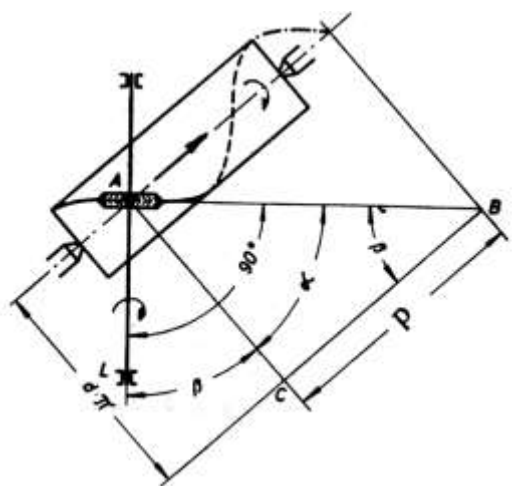
$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{i \cdot i_1 \cdot P_T}{P}$$

شمار دندانه‌ی چرخنده‌های تعویضی موجود در بیشتر کارگاه‌ها در زیر آمده است: ۲۴-۲۸-۳۲-۴۰-۴۴-۴۸-۵۶-۶۴-۷۲-۸۶-۱۰۰

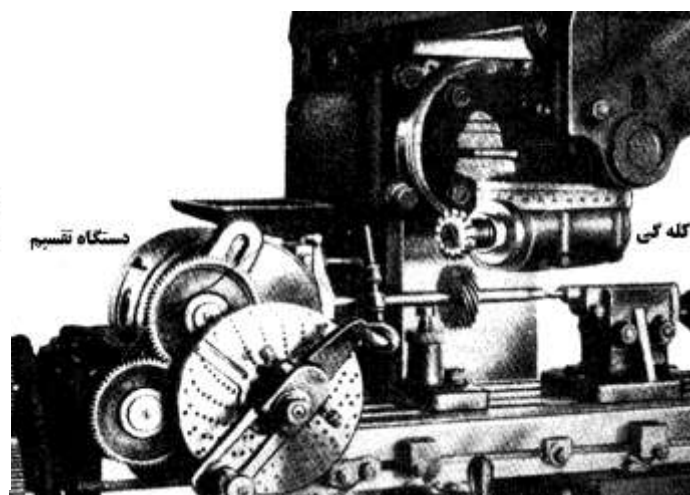
۵. اصول تنظیم میز بر مبنای زاویه‌ی محاسبه شده

چون شیار مارپیچ نسبت به محور قطعه کار تحت زاویه قرار دارد برای این که تیغ فرز بتواند در مکان شیار قرار گیرد و عمل براده‌برداری را انجام دهد، باید یا تیغ فرز و یا میز ماشین فرز اونیورسال تحت زاویه‌ی انحراف β قرار گیرد. علاوه بر این که میز فرز می‌تواند به طور افقی بچرخد و قطعه را تحت زاویه‌ی دلخواه قرار دهد، با سوار کردن کلگی ویژه می‌توان ابزار را نیز تحت هر زاویه‌ی دلخواه تنظیم نمود.

تراشیدن شیار مارپیچ روی استوانه هم توسط تیغ فرز پولکی و هم توسط تیغ فرز انگشتی امکان‌پذیر است. در هر صورت حالت تنظیم شده‌ی تیغ فرز و قطعه کار نسبت به هم مانند شکل زیر خواهد بود.



انحراف میز و قطعه کار



انحراف کله گی مخصوص

۶. اصول فرزکاری شیارهای مارپیچ

می‌خواهیم روی استوانه‌ای به قطر ۶۱ میلی‌متر توسط ماشین فرز اونیورسال که دارای گام پیچ هادی ۴ میلی‌متر است سه شیار مارپیچ راستگرد با زاویه‌ی انحراف میز ۱۴ درجه ایجاد نماییم. برای این کار از دستگاه تقسیم یونیورسال با نسبت $i=40:1$ استفاده می‌کنیم. مراحل کار به شرح زیر خواهد بود:

پس از محاسبه‌ی گام مارپیچ چرخنده‌های تعویضی را به روش زیر بدست می‌آوریم:

$$P = \pi \cdot d \cdot \cot \beta = 61 \times \pi \times \cot 14 = 766.16 \text{ mm}$$

برای محاسبه چرخنده‌های تعویضی خواهیم داشت:

$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{P_T \cdot i}{P} = \frac{4 \times 40}{766.16} = \frac{160}{766.16}$$

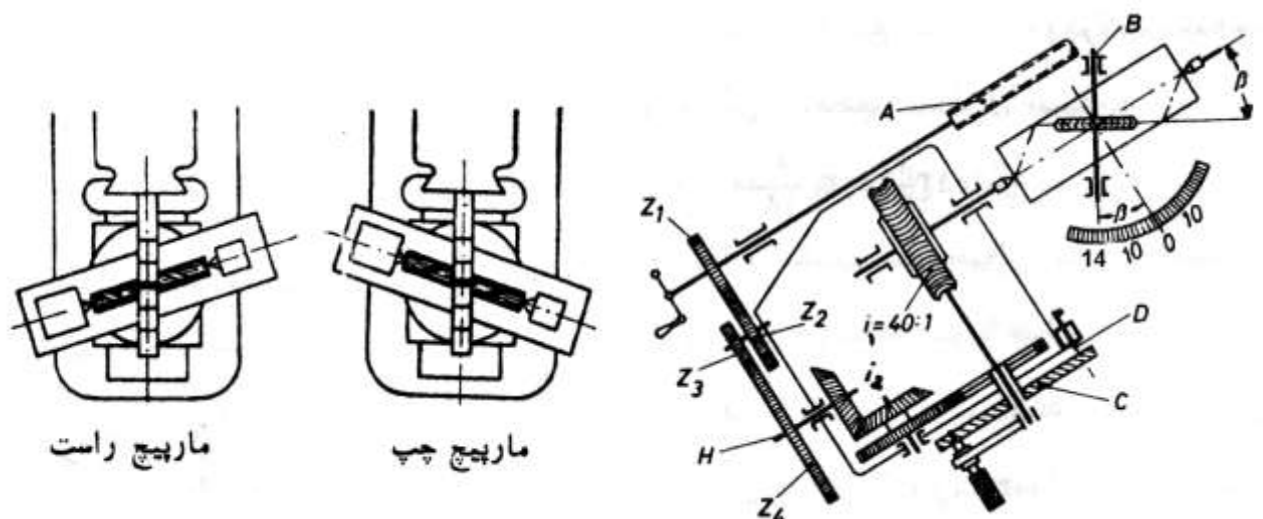
کسر حاصل قابل ساده کردن نیست. برای حل این مشکل می‌توان اندازه‌ی گام مارپیچ را کمی بیشتر یا کمتر منظور کرد. مثلاً در اینجا اگر اندازه‌ی گام را ۷۶۸ میلی‌متر منظور کنیم با یک تناسب ساده معلوم می‌شود که زاویه‌ی انحراف میز در حدود ۱۴ ثانیه فرق خواهد کرد و این تقریب با دقت ماشین‌های فرز معمولی که بر حسب درجه است و با چشم کنترل و تنظیم می‌شوند قابل قبول است حتی می‌توان ۴ تا ۵ میلی‌متر اختلاف را در اندازه گام منظور نمود. حال با گام ۷۶۸ میلی‌متر محاسبه را ادامه می‌دهیم:

$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{4 \times 40}{768} = \frac{40}{72} \times \frac{24}{64} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$$

چون چرخنده‌ها باید به صورت مرکب سوار شوند امکان درگیری چرخنده‌ها را به کمک شرایط امکان مونتاژ بررسی می‌نماییم.

$$\begin{aligned} Z_1 + Z_2 &> 15 + Z_3 & , & & Z_3 + Z_4 &> 15 + Z_2 \\ 40 + 72 &> 15 + 24 & , & & 24 + 64 &> 15 + 72 \\ 112 &> 39 & , & & 88 &> 87 \end{aligned}$$

دستگاه تقسیم یونیورسال را بر روی میز ماشین در محل مناسبی کنار میز قرار می‌دهیم. چرخنده‌ها را با بهره‌گیری از بازوی کمکی مانند شکل زیر طوری روی دستگاه سوار می‌کنیم که چرخنده‌ی Z_1 روی محور پیچ هادی میز ماشین (محور A) قرار گیرد و با چرخنده‌ی Z_2 که با چرخنده‌ی Z_3 روی محور فرعی بازوی کمکی سوار شده است درگیر شود. چرخنده‌ی Z_4 روی محور مربوط به صفحه‌ی سوراخدار (محور H) سوار و با چرخنده‌ی Z_3 درگیر می‌شود.



در صورتی که چرخنده‌ها از هم فاصله داشته باشند و یا بسته به چرخش شیار مارپیچ روی استوانه (راست یا چپ) از یک یا دو چرخنده‌ی واسطه استفاده می‌کنیم و پس از درگیری کامل چرخنده‌های تعویضی پیچهای مربوطه را کاملاً محکم می‌کنیم.

چون سه شیار باید در محیط قطعه ایجاد شود مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم را برای ایجاد تقسیمات محیطی محاسبه می‌کنیم.

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{3} = 13\frac{1}{3} = 13\frac{6}{18}$$

پس برای انجام تقسیمات محیطی دسته‌ی دستگاه تقسیم روی ردیف ۱۸ سوراخی از صفحه‌ی سوراخدار به اندازه‌ی ۱۳ دور کامل و ۶ فاصله باید حرکت کند. می‌توان از صفحه‌های دیگر با شمار سوراخ مضرب ۳ نیز بکارگیری کرد.

اگر تنها یک شیار مارپیچ در محیط قطعه ایجاد شود چرخنده‌های تعویضی بدون دخالت دادن نسبت دستگاه تقسیم از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردند. به این ترتیب این چرخنده‌ها بین محور پیچ هادی میز ماشین و محور یدکی دستگاه تقسیم سوار می‌شوند و حرکت مستقیماً از پیچ هادی میز ماشین به قطعه انتقال می‌یابد که در این صورت داریم:

$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{P_T}{P}$$

حال صفحه‌ی سوراخدار مناسب (C) را روی دستگاه تقسیم سوار و پین ضامن دسته‌ی تقسیم و پرگار را به ترتیبی که بیان شد تنظیم می‌کنیم. تیغ فرز لازم را روی محور B و قطعه‌کار را بین دو مرغک یا بین سه نظام و مرغک دستگاه تقسیم سوار می‌کنیم. راستای تیغ فرز را با راستای قطعه میزان می‌کنیم.

پیچ‌های میز ماشین را باز کرده میز را به همراه تجهیزات سوار شده روی آن تحت زاویه‌ی $\beta = 14^\circ$ به سمت راست منحرف می‌کنیم (جهت انحراف میز ماشین مانند جهت انحراف مارپیچ است) و پیچ‌ها را سفت می‌کنیم.

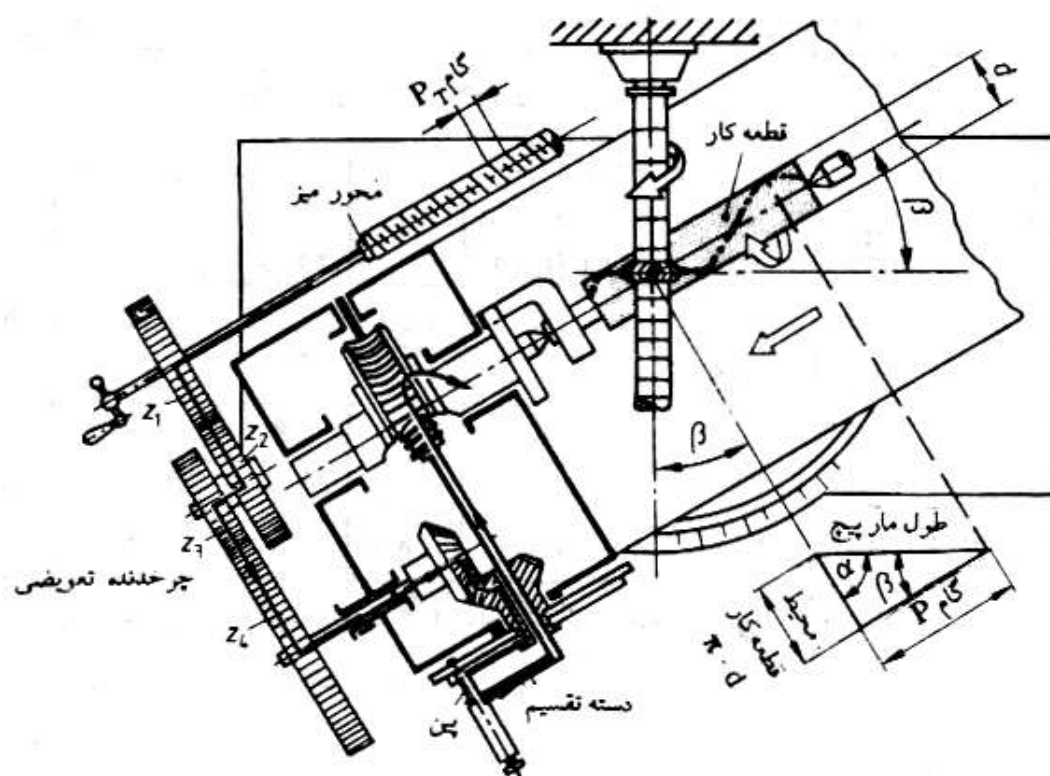
سرعت برش تیغ فرز و سرعت پیشروی میز ماشین را تنظیم می‌کنیم و ماشین را به کار می‌اندازیم. میز ماشین را بالا آورده با تیغ فرز در حال دوران مماس می‌کنیم. ضامن صفحه‌ی سوراخدار (D) را آزاد کرده با چرخاندن دسته‌ی پیچ میز فرز، قطعه را از زیر تیغ فرز در جهت موافق حرکت تیغ فرز خارج می‌کنیم.

با بالا آوردن میز ماشین، عمق فرزکاری مورد نیاز را با توجه به حلقه‌ی مدرج دسته، تنظیم می‌کنیم. بهتر است فرزکاری شیار در چند پاس باردهی شود. حرکت‌های عمودی و عرضی (عمقی) میز ماشین را ترمز می‌کنیم.

قطعه‌کار را با چرخش دسته‌ی پیچ میز دستگاه فرز به تیغ فرز نزدیک کرده با روشن نمودن پیشروی خودکار عمل براده‌برداری را با استفاده از مایع خنک کننده مناسب انجام می‌دهیم.

پس از پایان کار یک شیار، حرکت خودکار میز را قطع می‌نماییم و در حالی که تیغ فرز می‌گردد قطعه‌کار را از زیر آن بیرون آورده و به محل پیشین منتقل می‌کنیم. در صورتی که اندازه‌ی شیار و صافی سطح آن بایستی دقت زیادی داشته باشد بهتر است در حرکت برگشت، میز را پایین آورده تیغ فرز را از شیار خارج کنیم تا لقی پیچ و مهره‌ی میز ماشین، کیفیت شیار را خراب نکند.

ضامن صفحه‌ی سوراخدار را با صفحه درگیر می‌کنیم و به وسیله‌ی دسته یک تقسیم محیطی را مانند آن چه در در بالا گفته شد انجام داده پرگار را روی صفحه جابجا می‌نماییم. ضامن صفحه را آزاد کرده عمل فرزکاری را ادامه می‌دهیم. با تکرار عملیات بالا، مارپیچ تراشی قطعه را به پایان می‌رسانیم.



۷. تمرین

۱,۷. تیغ فرز مارپیچی به قطر ۸۰ میلی‌متر باید زاویه‌ی تنظیم $\beta = 25^\circ$ و ۹ دندانه داشته باشد. $P_T = 6 \text{ mm}$ و نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ است. گام مارپیچ، میزان چرخش دسته دستگاه تقسیم و چرخنده‌های تعویضی را محاسبه نمایید.

۲,۷. قطعه‌کاری به قطر ۱۲۰ میلی‌متر باید ۶ شیار مارپیچ با گام ۲۰۰ میلی‌متر داشته باشد. $i_1 = 2$ و $P_T = 4 \text{ mm}$ و نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ است. زاویه تنظیم، میزان چرخش دسته‌ی دستگاه تقسیم و چرخنده‌های تعویضی را محاسبه نمایید.

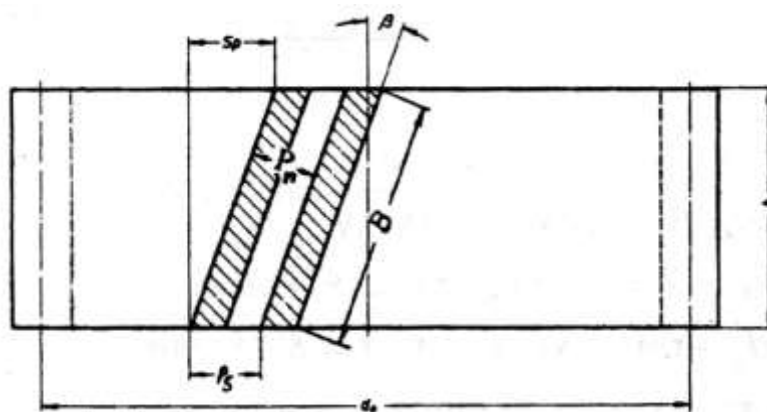
۳,۷. مته‌ی مارپیچی به قطر ۱۲ میلی‌متر دارای دو شیار است. اگر زاویه تنظیم ۳۰ درجه و نسبت حلزون و چرخ حلزون دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ و نسبت چرخنده‌های موجود در داخل دستگاه تقسیم ۱ به ۱ باشد، مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم، گام مارپیچ و چرخنده‌های تعویضی را محاسبه نمایید. گام پیچ هادی میز ماشین فرز ۶ میلی‌متر می‌باشد.

۴,۷. به کمک ماشین فرز انیورسال شیار مارپیچی با گام ۱۵۰۰ میلی‌متر بر روی استوانه‌ای به قطر ۱۲۰ میلی‌متر فرزکاری خواهد شد. اگر گام میز ماشین فرز ۵ میلی‌متر و نسبت پیچ و چرخ حلزون دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ و نسبت چرخنده‌های موجود در داخل دستگاه تقسیم ۱ به ۱ باشد، زاویه‌ی تنظیم و چرخنده‌های تعویضی را محاسبه نمایید.

فصل سوم: فرزکاری پرندنده‌های مارپیچ

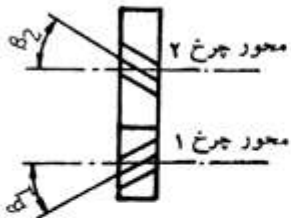
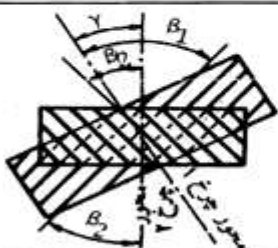
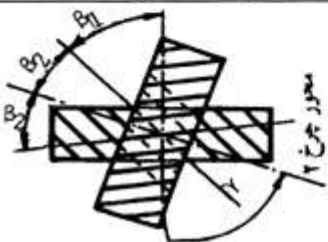
۱. قسمت‌های مختلف چرخدنده مارپیچ

راستای دندانه‌های این چرخدنده‌ها با محور آنها زاویه‌دار است و برای انتقال حرکت بین محورهای موازی، متنافر و عمود برهم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نگاره‌ی زیر مقدار انحراف دنده (SP) و زاویه انحراف آن نسبت به محور چرخدنده β نشان داده شده است.



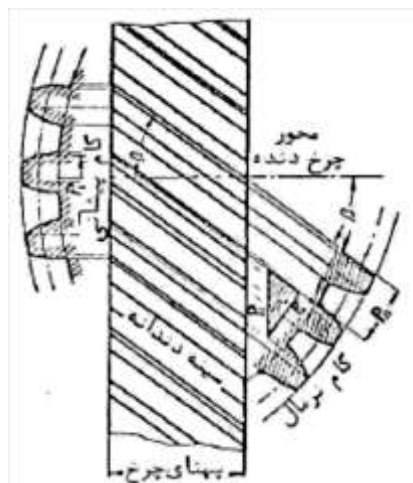
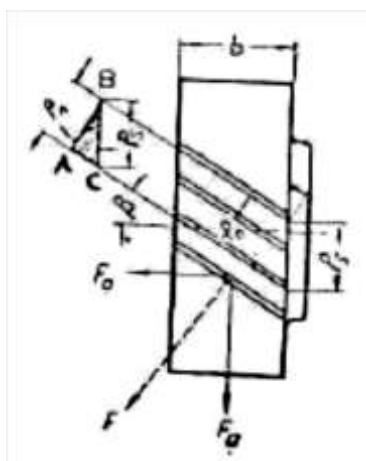
جدا از زاویه‌ی انحراف β که نسبت به مقدار نیروی انتقالی قابل محاسبه است، جهت انحراف دنده چرخدنده‌های مارپیچ نسبت به زاویه‌ی بین محورهای دو چرخدنده‌ی مارپیچ درگیر با هم (γ) ممکن است به طرف راست یا چپ باشد. جدول زیر چگونگی تشخیص جهت انحراف دنده لازم را معلوم می‌کند.

توجه: اگر چرخدنده را از پیشانی روی سطح افقی قرار دهیم راست یا چپ بودن دنده معلوم می‌شود.

وضعیت محورها نسبت به هم	زاویه محوری γ	زاویه انحراف β	جهت انحراف دندانه‌ها	شکل شماتیک
محورهای موازی	$\gamma = 0$	$\beta_1 = \beta_2$	یکی چپ و یکی راست	
محورهای متقاطع	$\gamma < 25^\circ$ $\gamma = \beta_1 - \beta_2$	$\beta_1 > \beta_2$	یکی چپ و یکی راست	
	$25^\circ < \gamma < 90^\circ$ $\gamma = \beta_1 + \beta_2$	$\beta_1 > \beta_2$	هر دو چپ و یا هر دو راست	

۲. محاسبه‌ی اجزای چرخ‌دنده مارپیچ و چرخ‌دنده‌های تعویضی

چون راستای دندانه‌ها نسبت به محور چرخ‌دنده مایل قرار گرفته‌اند، دو نوع گام در این چرخ‌دنده‌ها دیده می‌شود: گام نرمال یا حقیقی (P_n) عمود بر راستای دنده و گام پیشانی یا ظاهری (P_s) بزرگتر از گام نرمال است. از اندازه‌ی این دو گام و زاویه‌ی انحراف دنده‌ها β می‌توان از مثلث ABC رابطه‌ی بین گامها و زاویه‌ی β را با توجه به این که $P = m \times \pi$ محاسبه نمود:



$$\cos \beta = \frac{P_n}{P_s} = \frac{m_n \cdot \pi}{m_s \cdot \pi} = \frac{m_n}{m_s}$$

که در این رابطه m_n مدول نرمال یا مدول حقیقی (مدول تیغ فرز لازم) و m_s مدول پیشانی یا مدول ظاهری است :

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (۱)$$

و چون محیط متوسط چرخنده از مجموع گامهای پیشانی حاصل می شود پس:

$$U_o = P_s \cdot Z \rightarrow \pi \cdot d_o = \pi \cdot m_s \cdot Z \rightarrow d_o = m_s \times Z \quad (۲)$$

با در نظر گرفتن رابطه‌ی (۱) و (۲) سایر ویژگیهای چرخنده‌های مارپیچ همانند چرخنده‌های ساده به قرار زیر محاسبه می شود:

$d_k = d_o + 2m_n$	قطر بیرونی یا قطر تراش چرخنده
$b = 10m_n$	ضخامت چرخنده
$h = \frac{13}{6} \times m_n = 2.167 m_n$	عمق دنده یا عمق بار
$P = d_o \cdot \pi \cdot \cot \beta$	گام مارپیچ چرخنده
$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{i \cdot P_T}{P}$	چرخنده‌های تعویضی
$n_k = \frac{i}{T} = \frac{i}{Z}$	مقدار گردش دسته تقسیم
$Z_i = \frac{Z}{(\cos \beta)^3}$	تعداد دندانه فرضی برای انتخاب تیغ فرز

نمونه پرسمان ۱: محاسبات لازم برای فرزکاری یک چرخنده‌ی مارپیچ ۴۴ دندانه‌ای چپ دنده با مدول نرمال ۲/۵

میلیمتر و زاویه پیش مارپیچ ۷۰ درجه را انجام دهید؛ گفتنی است که نسبت دستگاه تقسیم $i = 40:1$ و گام میله‌ی پیشروی میز ماشین فرز ۶ میلی‌متر باشد.

پاسخ:

$$\beta = 90 - \alpha = 90 - 70 = 20^\circ$$

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{2.5}{\cos 20} = 2.66 \text{ mm}$$

$$d_o = m_s \cdot Z = 2.66 \times 44 = 117 \text{ mm}$$

$$d_k = d_o + 2m_n = 117 + 2 \times 2.5 = 122 \text{ mm}$$

$$b = 10m_n = 10 \times 2.5 = 25 \text{ mm}$$

$$Z_i = \frac{Z}{(\cos \beta)^3} = \frac{44}{0.94^3} = 53$$

$$P = \pi \cdot d_o \cdot \cot \beta = \pi \times 117 \times 2.74 = 1006 \text{ mm}$$

مدول تیغ فرز 2.5 mm و شماره تیغ فرز 6 می‌باشد؛ اگر $P = 1000 \text{ mm}$ در نظر بگیریم $\beta = 69.83^\circ$ که در همسنجی با 70° ناچیز است چراکه دقت چرخش میز دستگاه فرز 1° می‌باشد. با این انگاشت انتخاب چرخنده به ترتیب زیر راحت‌تر انجام خواهد گرفت:

$$\frac{Z_t}{Z_g} = \frac{i \times P_T}{P} = \frac{40 \times 6}{1000} = \frac{6}{25} = \frac{24}{100} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

۳. مراحل فرزکاری چرخنده مارپیچ

(۱) محاسبه قطر بیرونی چرخنده، d_k ، اندازه‌ی ضخامت آن، b (با کمک جدول بالا) و انتخاب ماده‌ی خام و بریدن آن.

(۲) اجرای عملیات تراشکاری روی ماشین‌تراش همانند مراحل ۲، ۳ و ۴ ساخت چرخنده‌های ساده و بستن قطعه به کمک دستگاه تقسیم روی ماشین فرز. شایان ذکر است چون راستای دندانه‌ها کج است، برای جلوگیری از چرخش چرخنده ضمن تراش، نیروی پرشی درگیری درن و سوراخ محور چرخنده باید بیشتر باشد.

(۳) انتخاب تیغ فرز مناسب با توجه به مدول نرمال چرخنده، m_n ، و شمار دنده‌های مجازی، Z_i

(۴) بستن تیغ فرز و تنظیم مشخصات فنی ماشین مانند مراحل ساخت چرخنده‌های ساده.

(۵) محاسبه گام مارپیچ چرخنده، P ، از جدول بالا

(۶) محاسبه‌ی چرخنده‌های تعویضی لازم

(۷) آزمایش امکان درگیری چرخنده‌های تعویضی از روابط زیر (در صورت مرکب بودن نسبت چرخنده‌ها).

$$Z_1 + Z_2 > 15 + Z_3 \quad \text{و} \quad Z_3 + Z_4 > 15 + Z_2$$

(۸) سوار کردن چرخنده‌های حساب شده با استفاده از چرخنده‌های واسطه با توجه به جهت چرخش قطعه کار به کمک بازوی کمکی دستگاه تقسیم.

(۹) محاسبه‌ی مقدار گردش دسته‌ی تقسیم برای اجرای تقسیمات محیطی، n_k ، (جدول بالا)

(۱۰) مونتاژ صفحه‌ی سوراخدار مورد نیاز روی دستگاه تقسیم و تنظیم دسته‌ی تقسیم و پرگار در حالی که ضامن صفحه با صفحه درگیر است.

(۱۱) تنظیم امتداد تیغ فرز با محور چرخنده

(۱۲) تحت زاویه در آوردن میز ماشین به اندازه‌ی زاویه‌ی β (زاویه‌ی انحراف)

(۱۳) روشن کردن ماشین فرز و مماس کردن تیغ فرز با محیط چرخنده

(۱۴) آزاد کردن ضامن صفحه و کنار کشیدن قطعه کار از زیر تیغ فرز با چرخاندن دسته میز

(۱۵) بالا آوردن میز ماشین به مقدار لازم و نزدیک کردن چرخنده به تیغ فرز با چرخش دسته میز با دست (برای اطمینان از آزاد بودن ضامن صفحه، حرکت دادن میز ماشین با دست لازم است) و آغاز عمل فرزکاری با پیشروی خودکار با استفاده از ماده‌ی خنک کننده

(۱۶) انتقال چرخنده به محل شروع ماشین کاری پس از پایان تراش اولین شیار و جا انداختن ضامن صفحه و اجرای عمل تقسیم و جابجا کردن پرگار و آزاد کردن ضامن صفحه

(۱۷) ادامه‌ی عملیات فرزکاری تا پایان کار چرخنده تراشی

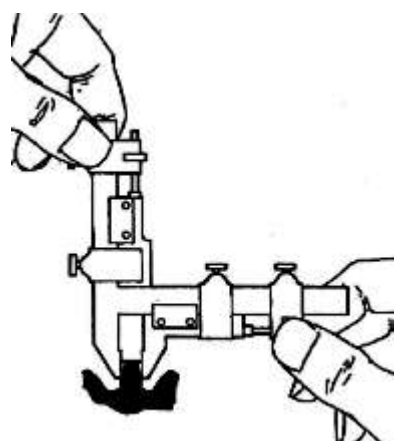
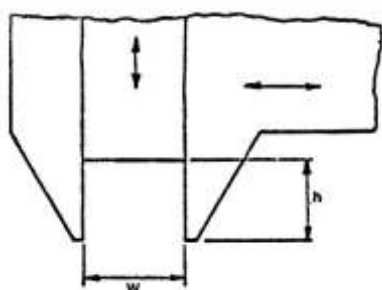
(۱۸) باز کردن چرخنده از ماشین فرز و اندازه‌گیری و بررسی آن

۴) کنترل کیفیت چرخنده‌های مارپیچ

در ساخت چرخنده‌های دقیق بایستی تک تک اجزای چرخنده بررسی شوند. یکی از این اجزاء که بررسی آن اهمیت زیادی دارد ضخامت دندانه است. وسیله‌ای که اغلب برای اندازه‌گیری ضخامت دندانه بکار می‌رود کولیس چرخنده است. این کولیس یک ورنیه برای اندازه‌گیری ضخامت دندانه w و یک عمق سنج ورنیه‌دار برای تنظیم کولیس در ارتفاع h (به هنگام اندازه‌گیری w) دارد. برای محاسبه‌ی مقدار w و h از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$h = m_n \times \left(1 + Z_i \times \left(\frac{1 - \cos\left(\frac{90}{Z_i}\right)}{2} \right) \right)$$

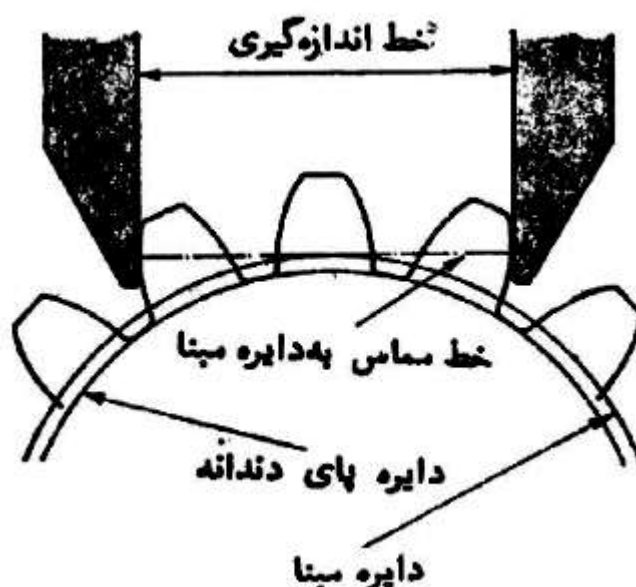
$$w = d_o \times \sin\left(\frac{90}{Z_i}\right)$$



گفتنی است که در چرخنده‌های مارپیچ ضخامت دندان در صفحه‌ی عرضی در خط گام به آسانی قابل اندازه‌گیری نیست ولی ضخامت عمودی دندان قابل تعیین می‌باشد. با محدود کردن دقت کولیس چرخنده، ضخامت عمودی دندان یعنی w را می‌توان برابر با ضخامت دندانه‌ی یک چرخ دنده ساده که دارای مشخصاتی مانسته (شبهه) به چرخنده‌ی مارپیچ است انگاشت، اما به جای Z باید مقدار Z_i در روابط قرار گیرد که در آن β زاویه‌ی مارپیچ چرخنده مارپیچ است. در این روابط Z شمار دندانه‌های چرخنده، m_n مدول نرمال چرخنده به میلی‌متر و d_0 قطر میانگین به میلی‌متر می‌باشد.

برای بررسی چرخنده به کمک کولیس چرخنده، پس از محاسبه‌ی h و w تیغه‌ی عمودی کولیس را به ارتفاع محاسبه شده‌ی h تنظیم کرده کولیس را روی دندان قرار می‌دهیم و ضخامت عمودی آن را اندازه‌گیری می‌نماییم. ضخامت همه‌ی دندانه‌ها در گستره‌ی تیرانس باید برابر با مقدار محاسبه شده‌ی w باشد.

روش اندازه‌گیری ضخامت دندان با کولیس چرخنده دقت کمی دارد. برای حل این مشکل به جای اندازه‌گیری ضخامت هر دندان، می‌توان فاصله‌ی بین تعداد مناسبی از دندانه‌ها را به صورتی که در نگاره‌ی زیر نشان داده شده است به دست آورد. اندازه‌گیری با این روش را می‌توان با بکارگیری یک میکرومتر فک بشقابی انجام داد.



اندازه‌گیری فاصله‌ی بین چند دندان با میکرومتر فک بشقابی

$\Psi = 14^\circ$			$\Psi = 20^\circ$			k
12	$\leq Z \leq$	25	12	$\leq Z \leq$	18	2
26	$\leq Z \leq$	37	19	$\leq Z \leq$	27	3
38	$\leq Z \leq$	50	28	$\leq Z \leq$	36	4
51	$\leq Z \leq$	62	37	$\leq Z \leq$	45	5
63	$\leq Z \leq$	75	46	$\leq Z \leq$	54	6
76	$\leq Z \leq$	87	55	$\leq Z \leq$	63	7
88	$\leq Z \leq$	100	64	$\leq Z \leq$	78	8

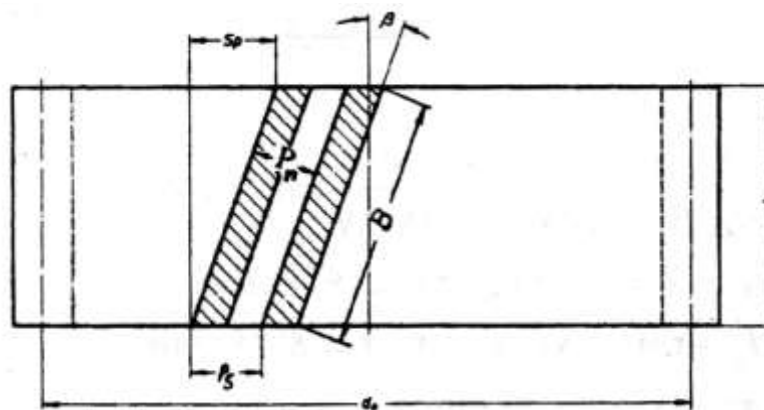
جدول انتخاب k

فرمول محاسبه‌ی فاصله بین چند دندانه برای چرخنده‌های مارپیچ عبارت است از :

$$W_N = Z \times m_n \times \cos \psi_n \times \left[\operatorname{inv} \psi_n + \frac{\pi}{2 \times Z} + \frac{\pi \times k}{Z} \right]$$

در این همسانه (معادله)، تعداد دندانه‌ها Z ، مدول نرمال m_n ، زاویه‌ی فشار در صفحه‌ی عمودی بر حسب رادیان ψ_{in} و k تعداد دندانه‌هایی که در فاصله‌ی W_n بین فکهای میکرومتر قرار گرفته‌اند و بسته به تعداد دندانه‌های چرخنده از جدول بالا بدست می‌آید. توجه کنید که برای چرخنده‌های مارپیچ فاصله‌ی بین دندانه‌ها در صفحه عمودی بررسی می‌گردد.

(۵) چکیده روابط محاسبه‌ی چرخنده‌های مارپیچ :



رَدیف	نام جزء مورد بررسی	نشانه	رابطه
1	مدول نرمال	m_n	$m_n = \frac{P_n}{\pi}$
۲	مدول ظاهری	m_s	$m_s = \frac{P_s}{\pi}$

μ	زاویه انحراف دندان	β	$\cos \beta = \frac{m_n}{m_s}$
κ	قطر دایره تقسیم	d_o	$d_o = Z \times m_s$
δ	قطر خارجی	d_k	$d_k = d_o + 2 \times m_n$
γ	قطر داخلی	d_f	$d_f = d_o - \frac{14}{6} \times m_n$
ν	گام مارپیچ چرخنده (گام پیچش دندان)	P	$P = \pi \times d_o \times \cot \beta$
λ	تعداد دندان فرضی برای انتخاب تیغ فرز	Z_i	$Z_i = \frac{Z}{(\cos \beta)^3}$
η	ارتفاع کل دندان	h	$h = h_k + h_f = m_n + \frac{7}{6} m_n = \frac{13}{6} \times m_n$
l	پهنا یا ضخامت چرخنده	b	$b = 10 \times m_n$
ll	پهنای دندان	B	$B = \frac{b}{\cos \beta}$
lll	فاصله بین دو محور چرخنده ۱ و ۲	a	$a = \frac{d_{o1} + d_{o2}}{2}$

۶. پرسش و پاسخ :

۱) دو چرخنده مارپیچ با هم کار می کنند. قطر متوسط چرخنده محرک ۹۶ میلی متر، تعداد دندان آن ۳۰ و زاویه انحراف آن ۲۰ درجه و ۶ دقیقه می باشد. قطر متوسط چرخنده متحرک ۲۰۸ میلی متر و زاویه انحراف آن ۳۰ درجه است. تعداد دندان چرخنده متحرک را تعیین کنید.

۲) قطر متوسط دو چرخنده مارپیچ که باهم کار می کنند برابر است. زاویه انحراف چرخنده محرک ۳۰ و متحرک ۴۵ درجه می باشد. اگر چرخنده محرک ۷۳۰ دور بر دقیقه بزند تعداد دوران چرخنده متحرک را محاسبه نمایید.

۳) دو چرخنده مارپیچ با قطرهای برابر که زاویه انحراف چرخنده محرک ۳۰ و متحرک ۶۰ درجه است با هم کار می کنند. اگر تعداد دندان چرخنده متحرک ۳۷ عدد باشد تعداد دندان چرخ متحرک را معین کنید.

۴) کدام گزینه نادرست است؟

۱) گام نرمال کوچکترین فاصله بین دو دندان از دندانه های چرخنده مارپیچ است.

۲) گام پیشانی فاصله بین دو دندان چرخنده مارپیچ در سطح پیشانی است.

۳) گام نرمال بزرگتر از گام پیشانی است.

۴) برای فرزکاری چرخنده مارپیچ، مدول تیغ فرز مدولی باید برابر مدول نرمال باشد.

۵) چرا چرخنده های مارپیچ نسبت به چرخنده های ساده آرامتر کار می کنند؟

۱) سطح تماس دندانه ها در چرخنده های مارپیچ بیشتر است.

(۲) چرخنده‌های مارپیچ دارای نیروی محوری هستند.

(۳) چرخنده‌های مارپیچ تعداد دور کمتری دارند.

(۴) در چرخنده‌های مارپیچ دندانها به صورت تدریجی با هم تماس پیدا می کنند.

(۶) دو چرخنده مارپیچ که هر دو دارای زاویه محوری یکسان هستند حرکت دورانی را با نسبت ۲/۵ به ۱ منتقل می کنند. اگر قطر متوسط چرخنده محرک ۹۶ و مدول پیشانی آن ۳/۲ میلی متر باشد تعداد دندان چرخنده متحرک را محاسبه کنید.

(۷) یک چرخنده مارپیچ با مدول نرمال ۲ و قطر خارجی ۸۹ میلی متر و زاویه انحراف ۲۰ درجه باید فرزکاری شود. تعداد دندان این چرخنده، تعداد دندان تیغ فرز مدولی مورد نیاز و عمق فرزکاری آن را تعیین کنید.

(۸) هنگامی که از دو چرخنده مارپیچ برای انتقال حرکت بین دو محور موازی استفاده می شود مناسب ترین زاویه انحراف دندانها چند درجه است؟

(۱) بین ۲۰ تا ۳۰ درجه

(۲) بین ۱۰ تا ۲۰ درجه

(۳) حدود ۲۰ درجه

(۴) بین ۵ تا ۵۰ درجه

(۹) برای انتقال حرکت بین دو محور متناظر توسط چرخنده‌های مارپیچ، مناسبترین زاویه انحراف برای دو چرخنده محرک و متحرک چیست؟

(۱) زاویه‌ی انحراف هر دو برابر باشند.

(۲) زاویه‌ی انحراف دندان چرخنده محرک بیشتر از متحرک باشد.

(۳) زاویه‌ی انحراف چرخنده متحرک بیشتر از محرک باشد.

(۴) به نسبت انتقال بستگی دارد.

(۱۰) منظور از تعداد دندان ایده آل در چرخنده‌های مارپیچ چیست؟

(۱) تعداد دندان چرخنده ای که بتواند نیروی بیشتری را منتقل کند.

(۲) تعداد دندان ای است که با ایجاد آن در محیط چرخنده فرم دندانها کامل می گردد.

(۳) تعداد دندان مناسب برای انتخاب تیغ فرز لازم برای تراش چرخنده

(۴) تعداد دندان فرضی است که برای انجام محاسبات چرخنده‌های مارپیچ اختلافی به کار می رود.

پاسخ پرسش ۱ :

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\frac{d_{o2}}{m_s}}{\frac{d_{o1}}{m_s}} = \frac{\left(\frac{d_{o2}}{mn} \right)}{\left(\frac{d_{o1}}{mn} \right)} = \frac{d_{o2} \cdot \cos \beta_2}{d_{o1} \cdot \cos \beta_1} = \frac{208 \times 0.866}{96 \times 0.938} = 2$$

$$i = \frac{z_2}{z_1} \longrightarrow 2 = \frac{z_2}{30} \longrightarrow z_2 = 2 \times 30 = 60$$

پاسخ پرسش ۲ :

$$i = \frac{d_{o2} \cdot \cos \beta_2}{d_{o1} \cdot \cos \beta_1} \xrightarrow{(d_{o2}=d_{o1})} i = \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} = \frac{0.707}{0.866} = 0.816$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} \longrightarrow 0.816 = \frac{730}{n_2} \longrightarrow n_2 = \frac{730}{0.816} \simeq 894 \frac{u}{min}$$

پاسخ پرسش ۳ : اگر قطر متوسط دو چرخنده مارپیچ برابر باشد و زوایای انحراف آنها متمم باشد یعنی $\beta_2 = 90^\circ$ +
 β_1 در این صورت :

$$\boxed{\cos \beta_2 = \sin \beta_1}$$

$$i = \frac{d_{o2} \cdot \cos \beta_2}{d_{o1} \cdot \cos \beta_1} = \frac{\sin \beta_1}{\cos \beta_1} = \operatorname{tg} \beta_1 \longrightarrow i = \operatorname{tg} \beta_1 = \operatorname{tg} 30^\circ = 0.577$$

$$i = \frac{z_2}{z_1} \longrightarrow 0.577 = \frac{37}{z_1} \longrightarrow z_1 = \frac{37}{0.577} = \boxed{64}$$

پاسخ پرسش ۴ :

از آنجا که در چرخنده‌های مارپیچ دندانه‌ها به صورت مورب قرار گرفته اند گامی که در پیشانی چرخنده وجود دارد یعنی Ps بزرگتر از گام نرمال یعنی Pn است.

پاسخ پرسش ۵ : گزینه ۴

پاسخ پرسش ۶ :

$$i = \frac{d_{o2}}{d_{o1}} \longrightarrow 2.5 = \frac{d_{o2}}{96} \longrightarrow d_{o2} = 2.5 \times 96 = 240^{mm}$$

$$d_{o2} = m_s \cdot z_2 \longrightarrow z_2 = \frac{d_{o2}}{m_s} = \frac{240}{3.2} = 75$$

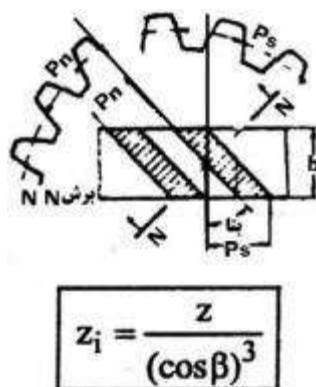
پاسخ پرسش ۷ :

تعداد دندان‌های چرخنده

تعداد دندان‌های تیرغفرز

عمق فرز کاری

پاسخ پرسش ۱۰: گزینه ۳ - در چرخنده ساده برای انتخاب شماره تیغ‌فرز داشتن دو عامل مدول و تعداد دندان‌ها موجود در محیط چرخنده ضروری است. در چرخنده‌های مارپیچ مدول انتخابی مدول نرمال است اما چون شکل دندان‌ها در این چرخنده‌ها در مقطع عمود بر مارپیچ با شکل آنها در مقطع عمود بر محور چرخنده (پیشانی چرخنده) تفاوت دارد (شکل زیر) بنابراین شماره تیغ‌فرز از روی تعداد دندان‌ها حقیقی انتخاب نمی‌شود بلکه به کمک تعداد دندان‌های ایده آل (Z_{ideal} یا Z_i) که بیشتر از تعداد دندان‌ها حقیقی است و به زاویه انحراف β بستگی دارد از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:



۷. تمرین :

(۱) برای فرزکاری چرخنده مارپیچ با ۲۴ دندانه، مدول حقیقی ۳ میلی متر و زاویه انحراف ۲۰ درجه با ماشین فرزی که گام پیچ هادی آن ۶ میلی متر و نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ است محاسبات لازم را انجام دهید.

(۲) برای کنترل چرخنده مثال قبل از هر دو روش کولیس چرخنده و میکرومتر فک بشقابی محاسبات لازم را انجام دهید.

(۳) قطر خارجی چرخنده مارپیچی ۶۰، مدول نرمال آن ۳ و طول گام مارپیچ آن ۵۰۰ میلی متر است. زاویه مارپیچ را محاسبه نمایید.

(۴) محاسبات لازم برای فرزکاری چرخنده مارپیچ با مشخصات زیر را بنویسید. گام پیچ هادی فرز ۶ میلی متر و نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ می باشد.

$$Z = 32 \text{ و } \beta = 30^\circ \text{ و } m_n = 3$$

(۵) برای کنترل چرخنده مثال قبل از هر دو روش کولیس چرخنده و میکرومتر فک بشقابی محاسبات لازم را انجام دهید.

(۶) دو چرخنده مارپیچ بروی دو محور موازی قرار گرفته اند. فاصله مرکز دو محور آنها ۴۳۲ و گام نرمال آنها ۲ میلی متر می باشد. چرخنده بزرگ ۴۸ دندانه و چرخنده کوچک ۲۰ دندانه دارد و زاویه مارپیچ آنها ۲۰ درجه است. موارد زیر را محاسبه کنید :

الف) قطر بزرگ هر چرخنده

ب) شماره تیغ فرز برای فرزکاری این دو چرخنده

ج) گام مارپیچ هر چرخنده

(۷) با توجه به فرمول زاویه انحراف دندانه تحقیق کنید که کدام یک از روابط زیر همواره درست است؟

الف) $m_n = m_s$

ب) $m_n < m_s$

ج) $m_n > m_s$

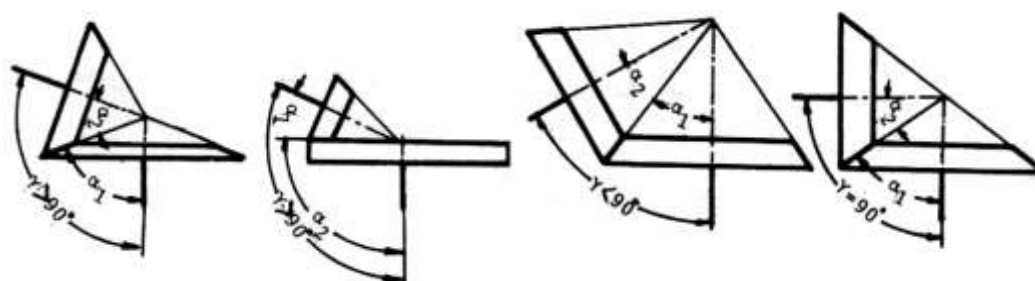
فصل چهارم: فرزکاری پرفدنده‌های مخروطی

۱. مقدمه

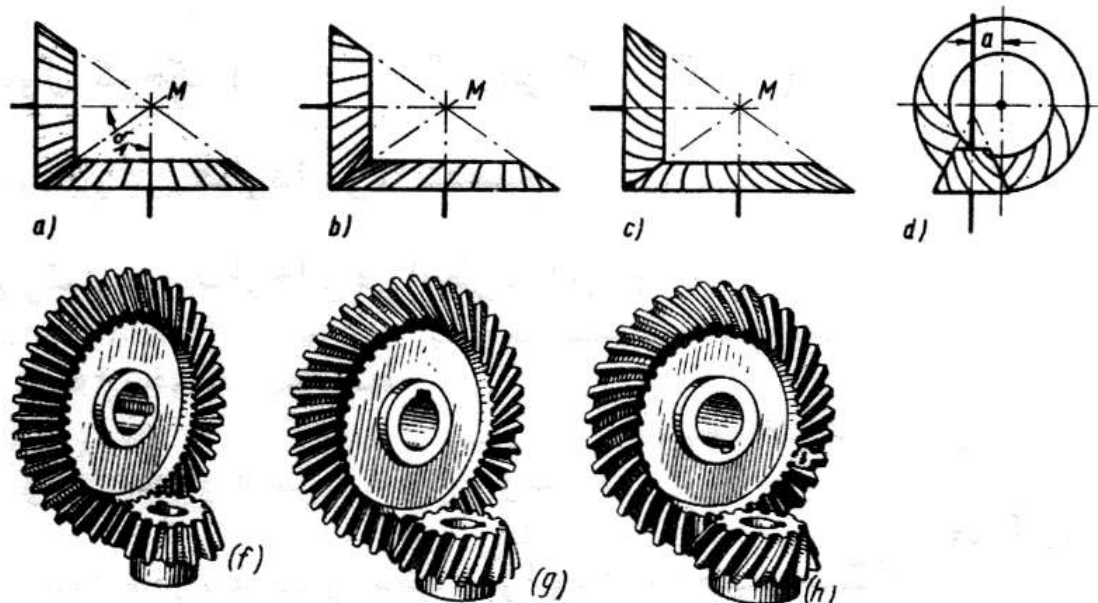
از چرخدنده‌های مخروطی برای انتقال حرکت بین محورهای غیر موازی و متقاطع استفاده می‌شود. بیشتر زاویه‌ی بین محورهای دو چرخدنده‌ی مخروطی ۹۰ درجه است (نگاره‌ی زیر)، اما بسته به نیاز ممکن است چرخدنده‌های مخروطی با زاویه‌ی بین محوری بیشتر یا کمتر از ۹۰ درجه نیز ساخته شده و بکار گرفته شوند.



نگاره‌ی زیر چند نوع درگیری چرخدنده‌های مخروطی را از لحاظ زاویه‌ی بین محورهای آنها نشان می‌دهد.



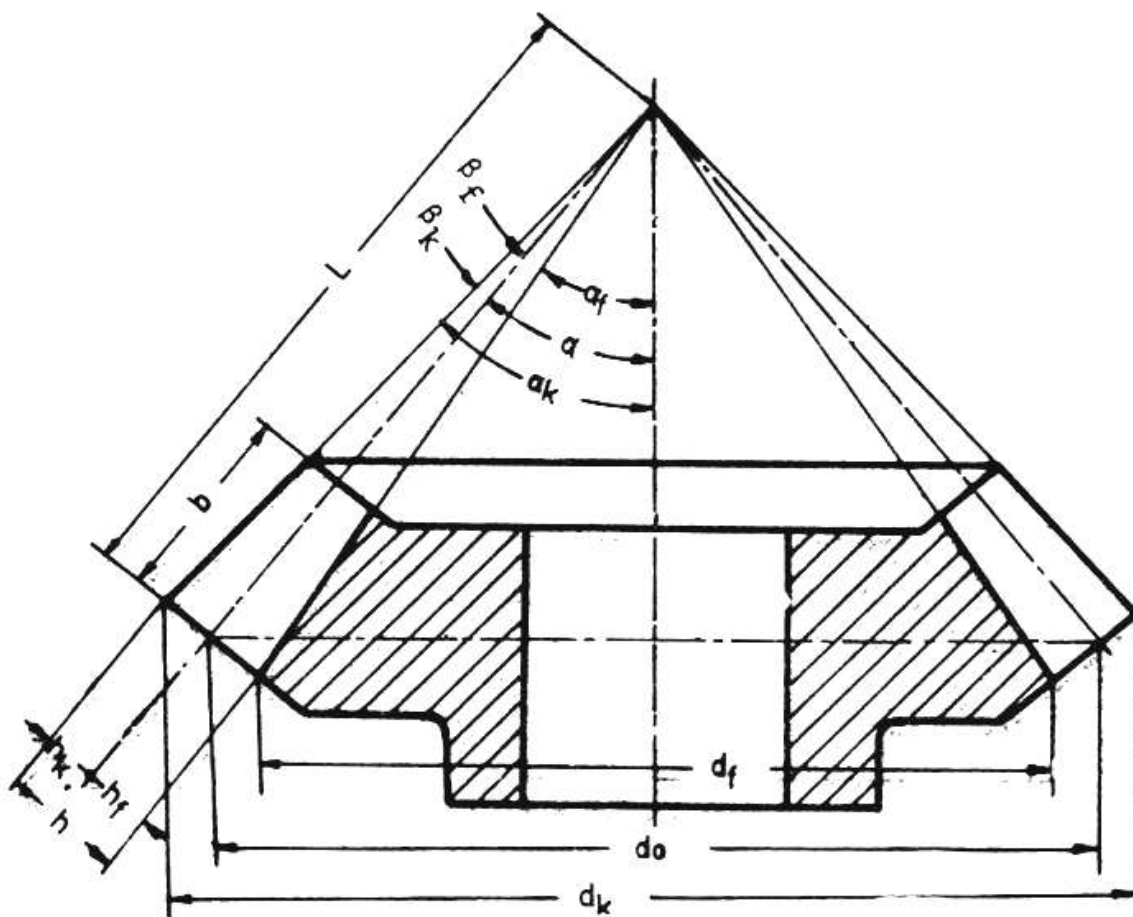
در هر صورت گوشه‌ی مخروطهای دو چرخدنده در محل برخورد محورهای آن دو باید به هم برسند یعنی $L_1 = L_2$ که L اندازه‌ی یال مخروط چرخدنده است. در غیر این صورت درگیری دو چرخدنده همراه با صدا بوده و خیلی زود دچار خرابی خواهند شد. البته نوعی چرخدنده‌ی مخروطی با دندانه‌های کمانی و برون محوری به نام پینیون و کرانویل برای جاگیری در حجم کمتر و انتقال قدرت بیشتر در ساختمان دیفرانسیل اتومبیل‌ها به کار برده می‌شود. برون محوری این نوع چرخدنده‌ها در حدود یک هشتم قطر دایره‌ی تقسیم کرانویل است. (شکل زیر قسمت d) چرخدنده‌های مخروطی از لحاظ ریخت دندانه به سه گروه با دندانه‌های مستقیم، مارپیچ و قوسدار ساخته می‌شوند. در اینجا روش ساخت چرخدنده‌های مخروطی با دندانه‌ی مستقیم توضیح داده می‌شود.



۲. شناسایی اجزای چرخدنده مخروطی

با توجه به نگاره‌ی زیر نام بخشهای گوناگون یک چرخدنده‌ی مخروطی که در محاسبات به کار برده می‌شوند عبارت است از:

مدول بزرگ (مدول بخش بزرگ دندانه)	زاویه‌ی مخروط پای دنده (زاویه‌ی تنظیم دستگاه تقسیم)
مدول کوچک (مدول بخش کوچک دندانه)	زاویه‌ی سر دنده
بزرگترین کران (قطر) دایره تقسیم	زاویه‌ی پای دنده
بزرگترین قطر بیرونی (قطر تراش)	بلندای دنده
زاویه‌ی مخروط میانگین	اندازه‌ی یال مخروط کامل چرخدنده
زاویه‌ی مخروط سر دنده (زاویه‌ی تراش)	پهنای دنده

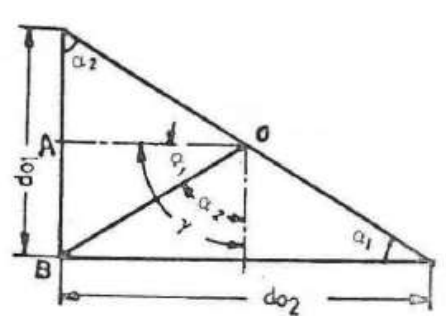
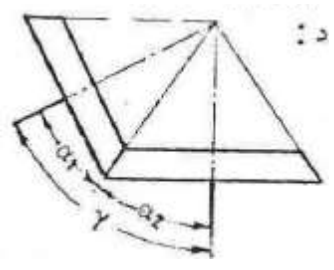
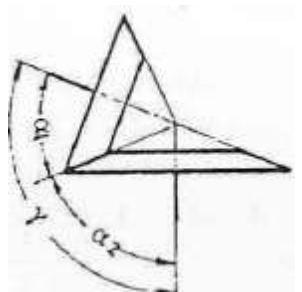


۳. رابطه‌های چرخنده مخروطی

رابطه	نشانه	نام جزء مورد بررسی
$d_o = m_a \times Z$	d_o	بزرگترین قطر دایره‌ی تقسیم
$d_k = d_o + 2m_a \cdot \cos \alpha = m_a(Z + 2 \cos \alpha)$	d_k	بزرگترین قطر خارجی (قطر تراش)
$L = \frac{d_o}{2 \sin \alpha} = \frac{m_a \times Z}{2 \sin \alpha}$	L	اندازه‌ی پال مخروط کامل چرخنده
$b = \frac{L}{3} = \frac{d_o}{6 \sin \alpha}$	b	پهنای دنده
$\tan \beta_k = \frac{2 \sin \alpha}{Z}$	β_k	زاویه‌ی سر دنده
$\tan \beta_f = \frac{2.33 \sin \alpha}{Z}$	β_f	زاویه‌ی پای دنده
$\alpha_k = \alpha + \beta_k$	α_k	زاویه‌ی مخروط سر دنده (زاویه‌ی تراش)
$\alpha_f = \alpha - \beta_f$	α_f	زاویه‌ی مخروط پای دنده (زاویه‌ی تنظیم دستگاه تقسیم)

$h_k = m_a$	h_k	بلندای سر دنده
$h_f = \frac{7}{6} m_a$	h_f	بلندای پای دنده
$h = \frac{13}{6} m_a$	h	بلندای دنده

محاسبه‌ی زاویه‌ی مخروط میانگین به شمار دندانه‌ی دو چرخنده‌ی مخروطی درگیر با هم یعنی Z_1 و Z_2 و زاویه‌ی محوری آنها، γ ، بستگی دارد و از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند:

$\alpha_2 = 90 - \alpha_1$ $\tan \alpha_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{1}{i}$	الف) $\gamma = 90^\circ$ 
$\alpha_2 = 90 - \alpha_1$ $\tan \alpha_1 = \frac{\sin \gamma}{\frac{Z_2}{Z_1} + \cos \gamma}$	ب) $\gamma < 90^\circ$ 
$\alpha_2 = 90 - \alpha_1$ $\tan \alpha_1 = \frac{\sin(180 - \gamma)}{\frac{Z_2}{Z_1} - \cos(180 - \gamma)}$	ج) $\gamma > 90^\circ$ 

نمونه پرسسان ۱: مشخصات ساختاری دو چرخنده‌ی مخروطی که باید با زاویه‌ی محوری $\gamma = 90^\circ$ کار کنند را حساب کنید. ($m_a = 3 \text{ mm}$, $Z_2 = 32$, $Z_1 = 24$)

حل: ویژگیهای چرخ گرداننده:

$$\tan \alpha_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{24}{32} = 0.75 \rightarrow \alpha_1 = 36^\circ, 52'$$

$$d_{o1} = m_a \times Z_1 = 3 \times 24 = 72 \text{ mm}$$

$$d_{k1} = d_{o1} + 2m_a \cdot \cos \alpha_1 = 72 + 2 \times 3 \times 0.8 = 76.8 \text{ mm}$$

$$b_1 = \frac{d_{o1}}{6 \sin \alpha_1} = \frac{72}{6 \times 0.7} = 20 \text{ mm}$$

$$\tan \beta_{k1} = \frac{2 \sin \alpha_1}{Z_1} = \frac{2 \times 0.6}{24} = 0.05 \rightarrow \beta_{k1} = 2^\circ, 51'$$

$$\alpha_{k1} = \alpha_1 + \beta_{k1} = 36^\circ, 52' + 2^\circ, 51' = 39^\circ, 51'$$

$$\tan \beta_{f1} = \frac{2.33 \sin \alpha_1}{Z_1} = 0.058 \rightarrow \beta_{f1} = 3^\circ, 20'$$

$$\alpha_{f1} = \alpha_1 - \beta_{f1} = 36.52^\circ - 3.20^\circ = 33.32^\circ$$

$$h = \frac{13}{6} m_a = \frac{13}{6} \times 3 = 6.5 \text{ mm}$$

ویژگیهای چرخ گردان:

$$\alpha_2 = \gamma - \alpha_1 = 90 - 36.52 = 53.8^\circ$$

$$d_{o2} = m_a \times Z_2 = 3 \times 32 = 96 \text{ mm}$$

$$d_{k2} = d_{o2} + 2m_a \cdot \cos \alpha_2 = 96 + 2 \times 3 \times 0.6 = 99.6 \text{ mm}$$

$$b_2 = \frac{d_{o2}}{6 \sin \alpha_2} = \frac{96}{6 \times 0.8} = 20 \text{ mm}$$

$$\tan \beta_{k2} = \frac{2 \sin \alpha_2}{Z_2} = \frac{2 \times 0.8}{32} = 0.05 \rightarrow \beta_{k1} = 2^\circ, 51'$$

$$\alpha_{k2} = \alpha_2 + \beta_{k1} = 53.8 + 2.51 = 55.59^\circ$$

$$\tan \beta_{f2} = \frac{2.33 \sin \alpha_2}{Z_2} = 0.058 \rightarrow \beta_{f1} = 3^\circ, 20'$$

$$\alpha_{f2} = \alpha_2 - \beta_{f2} = 53.8^\circ - 3.20^\circ = 49.48^\circ$$

$$h = \frac{13}{6} m_a = \frac{13}{6} \times 3 = 6.5 \text{ mm}$$

همانطور که دیده می‌شود دو چرخنده‌ی محرک و متحرک دارای مشخصات یکسان زیر هستند:

$$b_1 = b_2, h_1 = h_2, \beta_{k1} = \beta_{k2}, \beta_{f1} = \beta_{f2}$$

بدیهی است مدول دو چرخنده نیز بایستی با یکدیگر برابر باشد.

۴. مراحل فرزکاری چرخنده مخروطی با دندانه مستقیم

اصولا چرخنده‌های مخروطی که به وسیله ماشینهای فرز تراشیده می‌شوند دقت زیادی نخواهند داشت و از این روش در موارد ضروری استفاده می‌گردد. همچنین باید توجه داشت که روش زیر در حالتی درست می‌باشد و دقت نسبتا خوبی دارد که پهنای دنده $b = \frac{L}{3} = \frac{d_o}{6 \sin \alpha}$ و تعداد دندانه بیش از ۲۴ دندانه باشد.

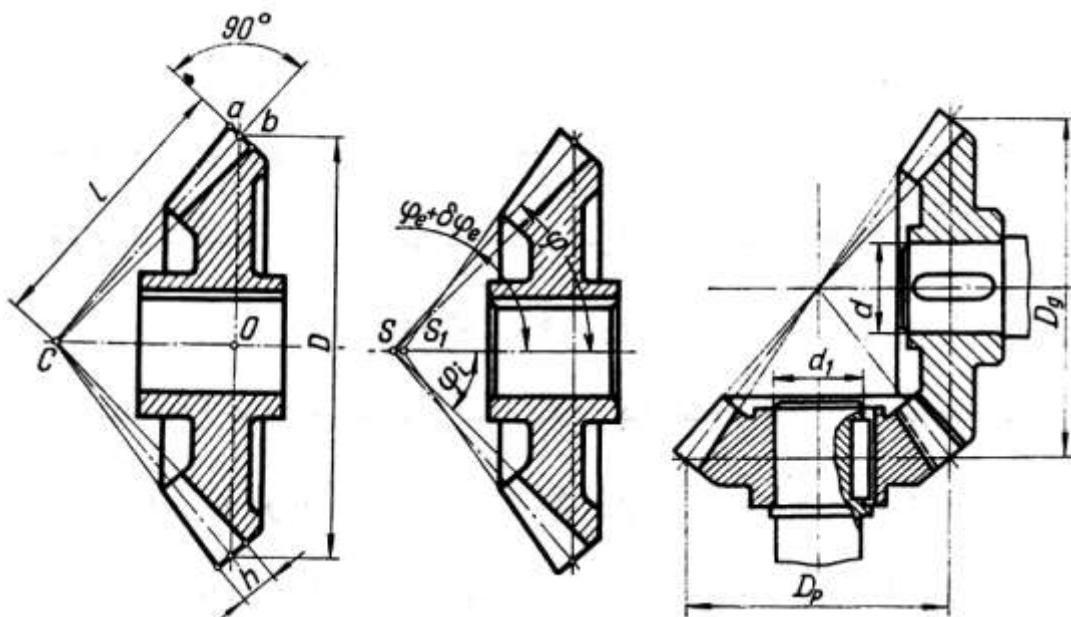
نمونه پرسسان μ: روش ساخت چرخنده مخروطی ۴۰ دندانه‌ای را که دارای مدول بزرگ $m_a = 1.5 \text{ mm}$ و زاویه‌ی مخروط میانگین $\alpha = 45^\circ$ می‌باشد با بکارگیری ماشین تراش و فرز توسط دستگاه تقسیم با نسبت $i = 40:1$ توضیح دهید.

حل:

- قطر تراش چرخنده را حساب می‌کنیم:

$$d_k = d_o + 2m_a \cdot \cos \alpha = m_a (Z + 2 \cos \alpha)$$

- ضخامت چرخنده را نسبت به فرم چرخنده معلوم می‌کنیم. چرخنده‌های مخروطی نسبت به توان انتقالی و مقاومت محور چرخنده در برابر نیروهای خمشی و محل مونتاژ و نظر طراح به فرم‌های مختلف ساخته می‌شوند که نمونه‌هایی در شکل زیر ملاحظه می‌گردد.



- ماده‌ی خام چرخنده را بریده و آن را روی ماشین تراش می‌بندیم و به مقدار بزرگترین قطر بیرونی $(dk = 62 \text{ mm})$ رو تراشی و پیشانی تراشی می‌نماییم، سپس سوراخ جای محور را ایجاد می‌کنیم.

- زاویه مخروط سر دنده یا زاویه تراش را حساب می‌کنیم:

$$\tan \beta_k = \frac{2 \sin \alpha}{Z} = \frac{2 \times \sin 45}{40} = 0.035 \rightarrow \beta_k = 2^\circ$$

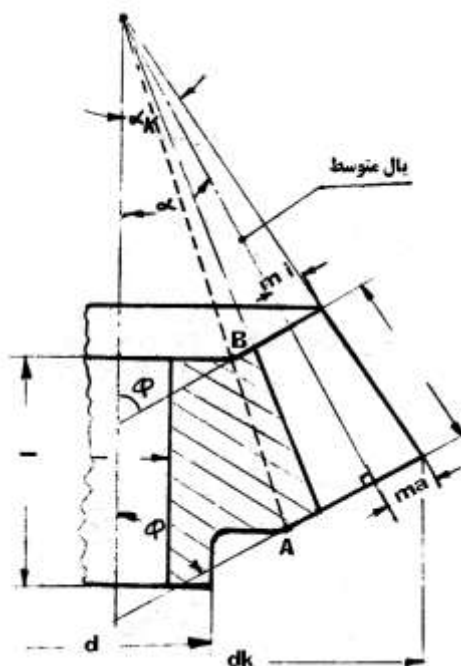
$$\alpha_k = \alpha + \beta_k = 45 + 2 = 47^\circ$$

- ساپورت ماشین تراش را به اندازه α_k کج کرده و مخروط دنده‌های چرخنده را تا اندازه‌ای تراشکاری می‌کنیم که اندازه b برابر شود با :

$$b = \frac{d_o}{6 \sin \alpha} = \frac{m_a \times Z}{6 \sin \alpha} = \frac{1.5 \times Z}{6 \sin 45} = 14.2 \text{ mm}$$

- در صورتی که امکان تراشکاری پشت چرخنده در همان حالتی که بسته شده است وجود نداشته باشد آن را از روی ماشین تراش باز کرده روی درن قرار می‌دهیم. سپس درن را بین سه نظام و مرغک یا بین دو مرغک ماشین تراش می‌بندیم.

- با توجه به شکل زیر در صورتی که پشت و پیشانی چرخنده نیاز به باریک شدن داشته باشد با توجه به طول (l) و قطر (d) عمل تراشکاری را انجام می‌دهیم.



- اندازه‌ی زاویه‌ی پیشانی و پشت چرخنده را که باید متمم زاویه ϕ باشد حساب می‌کنیم:

$$\phi = 90 - \alpha = 90 - 45 = 45^\circ$$

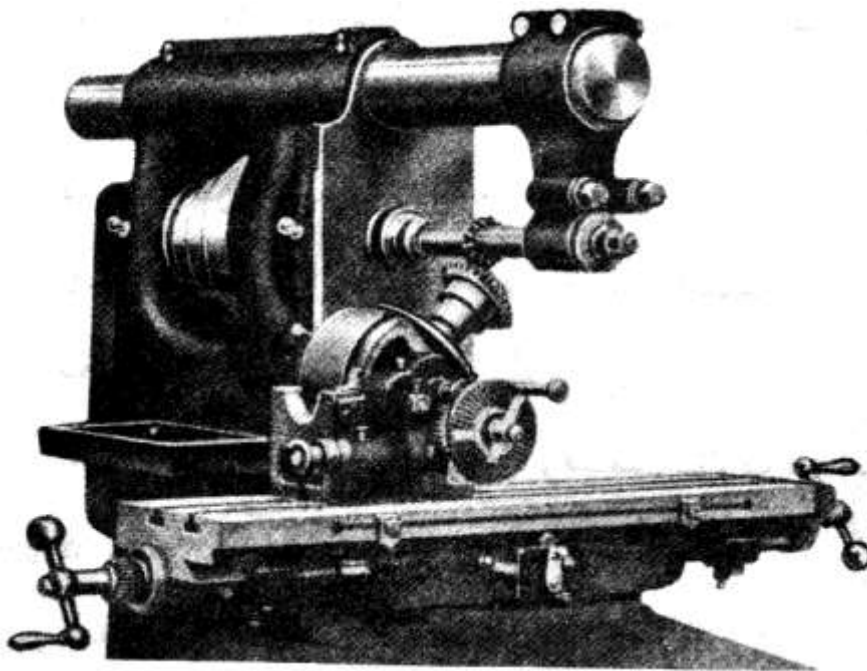
سپس با انحراف سوپرت، مخروط پشت و پیشانی چرخنده را می‌تراشیم. اگر از درن استفاده کرده باشیم در بار دادن باید به جهت شیب مخروط درن توجه کنیم تا نیروی بار سبب شل شدن قطعه روی درن نشود.

- دستگاه تقسیم یونیورسال را در محل مناسبی از میز ماشین فرز قرار می‌دهیم و چرخنده‌ی تراشکاری شده را روی سه نظام آن محکم می‌کنیم سپس دور بودن آن را می‌سنجیم.

- دستگاه تقسیم را به اندازه‌ی زاویه‌ی پای دنده (α_f) مانند نگاره‌ی زیر به طرف بالا کج می‌کنیم:

$$\beta_f = \beta_k = 2^\circ$$

$$\alpha_f = \alpha - \beta_f = 45 - 2 = 43^\circ$$



- مدول تیغ فرز مدولی مورد استفاده برای چرخنده‌های مخروطی که توسط ماشین فرز تولید می‌شود از رابطه‌ی $m_i = \frac{m_a}{1.5}$ محاسبه می‌گردد. شمار دندانه‌ی چرخنده برای انتخاب تیغ فرز مناسب نیز از رابطه‌ی $Z_i = \frac{Z}{\cos \alpha}$ حاصل می‌شود: پس برای انتخاب تیغ فرز مناسب جهت ماشینکاری چرخنده مخروطی مورد نظر باید مشخصات زیر را منظور کرد:

$$m_i = \frac{m_a}{1.5} = \frac{1.5}{1.5} = 1 \text{ mm}$$

$$Z_i = \frac{Z}{\cos \alpha} = \frac{40}{\cos 45} = 56$$

به این ترتیب تیغ فرز مدول ۱ میلی‌متر و شماره‌ی $n_r = 7$ را انتخاب می‌کنیم. پس از گزینش محور فرز گیر مناسب، آن را روی ماشین فرز می‌بندیم و راستای تیغ فرز را با مرکز چرخنده تنظیم می‌کنیم.

- مقدار گردش دسته‌ی دستگاه تقسیم را محاسبه می‌نماییم:

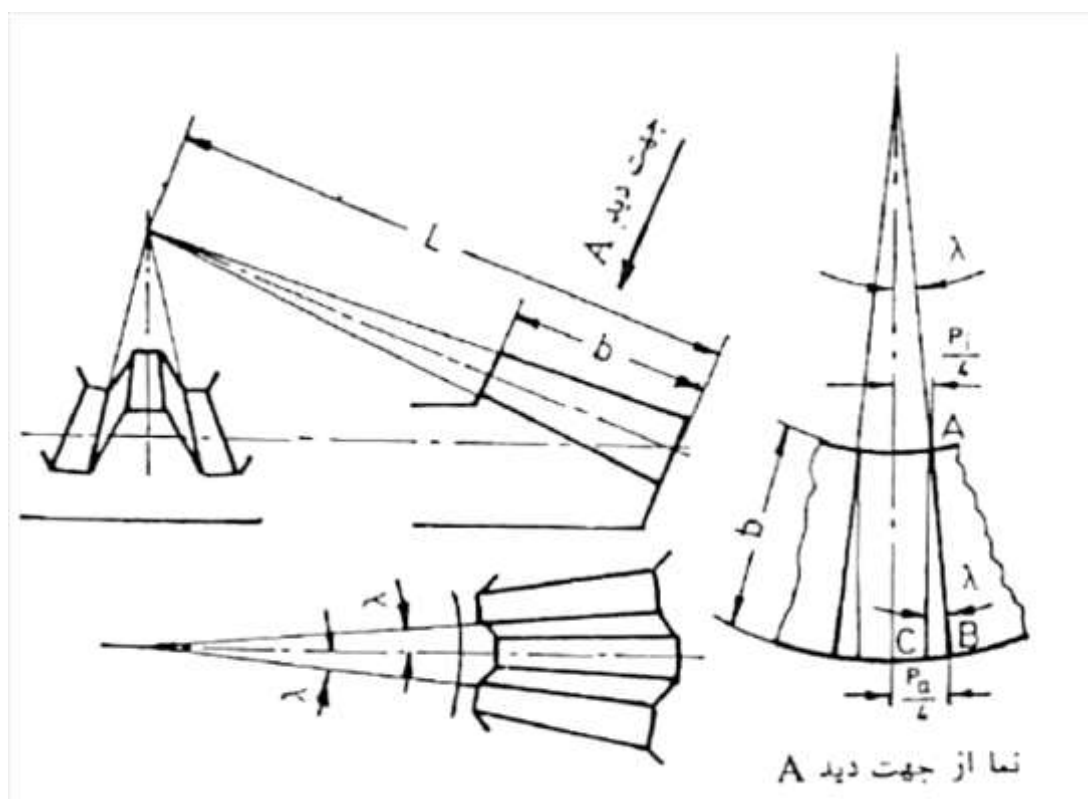
$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{i}{Z} = \frac{40}{40} = 1$$

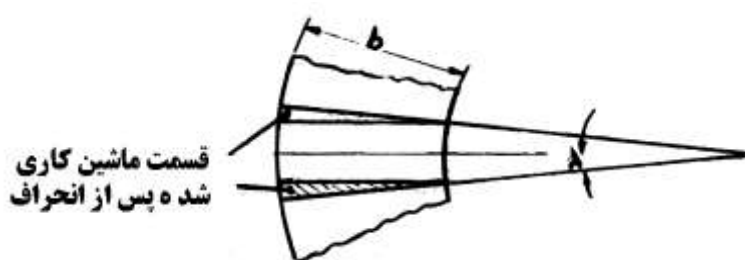
بار عمقی (بلندای همه‌ی دندانه) از بخش بزرگ دنده $h = \frac{13}{6} m_a = \frac{13}{6} \times 1.5 = 3.25 \text{ mm}$ است، یا بار عمقی از بخش کوچک دنده $h_i = \frac{13}{6} m_i = \frac{13}{6} \times 1 = 2.167 \text{ mm}$ می‌باشد (بسته به اینکه بار از کدام بخش دندانه داده شود).

در ادامه مشخصات فنی ماشین (a, s, n) را تنظیم و شیار نخست چرخدنده را ایجاد می‌کنیم.

- به این ترتیب چون در انتخاب تیغ فرز از مدول کوچک استفاده شده است پهنای شیار دندانه‌ها یکنواخت می‌باشد و در پیشانی چرخدنده مناسب اما در روی قطر بزرگ چرخدنده (پشت دندانه‌ها) نامناسب است. برای از بین بردن این اشکال باید مطابق شکل زیر بغل دندانه‌ها را به اندازه زاویه λ ماشینکاری کنیم تا به این ترتیب بر اثر مخروطی بودن ریخت چرخدنده شیارها از بخش کوچک دنده به طرف پشت دندانه‌ها به طور یکنواخت پهنتر شوند و به شکل اصلی خود تولید گردند.

$$\tan \lambda = \frac{\pi(m_a - m_i)}{4b} = \frac{\pi(1.5 - 1)}{4 \times 14.2} = 0.028 \rightarrow \lambda = 1^\circ, 36'$$





- انحراف دندانه برای بغل تراشی به دو روش زیر انجام می‌شود:

الف) انحراف از طریق میز ماشین فرز

نوعی ماشین فرز انیورسال وجود دارد که میز آن می‌تواند در سه راستای گوناگون زاویه بگیرد. برای ایجاد زاویه بغل دنده‌ی چرخنده‌های مخروطی کافی است پس از باز کردن پیچ‌های میز ماشین فرز آن را نسبت به زمین به اندازه λ تحت زاویه قرار داد.

ب) انحراف به روش دستگاه تقسیم

منحرف کردن قطعه به اندازه‌ی زاویه λ از طریق دستگاه تقسیم دقیق‌تر است. برای این منظور از رابطه‌ی زیر برای یافتن مقدار جابه‌جا کردن دسته‌ی تقسیم استفاده می‌شود (در این رابطه اگر نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ باشد فرمول ساده شده و به صورت $n_{kt} = \frac{\lambda}{9}$ در می‌آید).

$$n_{kt} = \frac{i \cdot \lambda}{360}$$

$$n_{kt} = \frac{\lambda}{9} = \frac{1^\circ, 35'}{9} = \frac{1^\circ \frac{35}{60}}{9} = \frac{19}{108}$$

چون کسر حاصل ساده‌پذیر نیست و در چرخنده تراشی مخروطی نمی‌توان از روش اختلافی (دیفرانسیلی) بهره برد، بنابراین با یک تقریب کم کسر را به عدد مناسب دیگری تبدیل می‌کنیم تا عمل ساده کردن امکان‌پذیر باشد. به کمک یک تناسب ساده اعدادی نزدیک به اعداد صورت و مخرج می‌یابیم به گونه‌ای که ساده‌پذیر باشند:

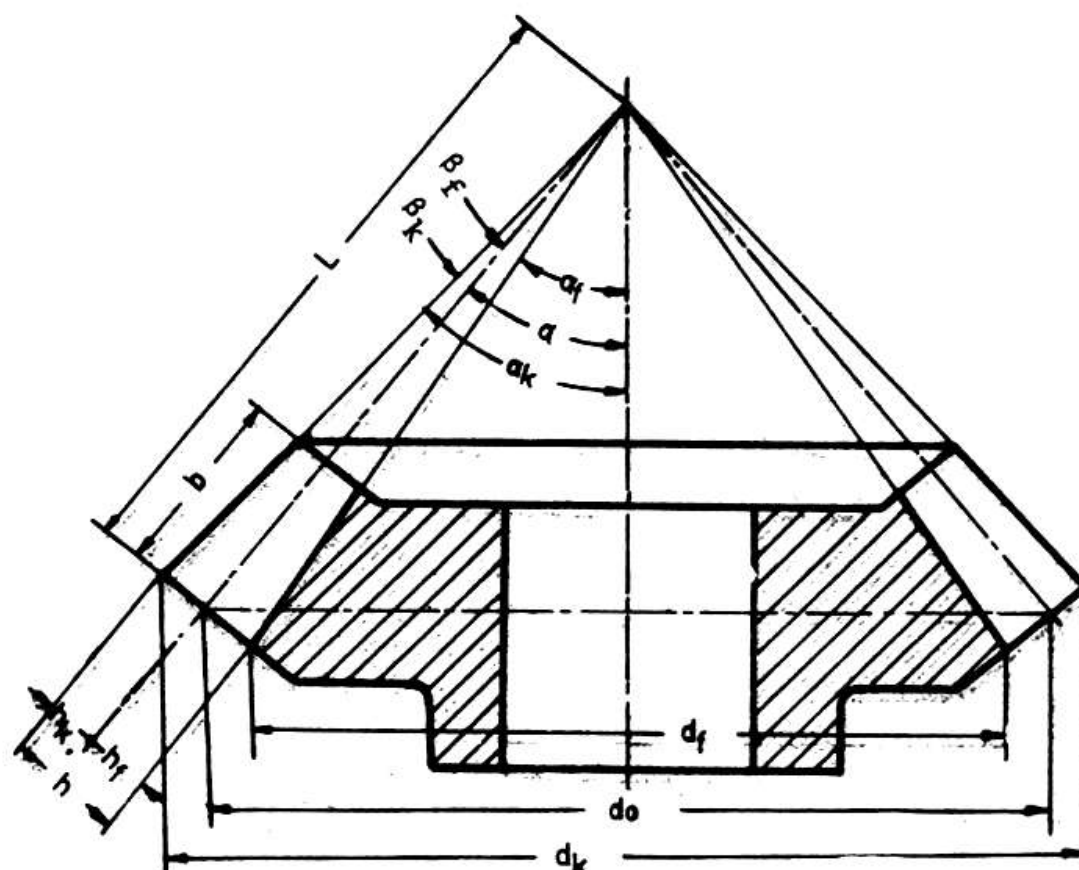
$$n_{kt} = \frac{18}{102} = \frac{3}{17}$$

پس می‌توان صفحه‌ی شماره‌ی I را بکاربرد و ۳ فاصله روی ردیف ۱۷ سوراخی، دسته‌ی تقسیم را جابه‌جا کرد. با بستن صفحه‌ی شماره‌ی I روی دستگاه کافی است پین ضامن دسته را آزاد نمود و پس از شل کردن پیچ دسته، بدون این که محور دسته حرکت دورانی نماید بازوی دسته را روی ردیف ۱۷ سوراخی قرار داد. پس از محکم کردن پیچ، پین دسته را به اندازه‌ی ۳ فاصله روی این ردیف جابه‌جا می‌کنیم و سپس با باز کردن مجدد پیچ به همان روش قبلی دسته را به محل نخست خود برگردانده محکم می‌کنیم (لغزش جزئی برای جا افتادن پین دسته در سوراخ ردیف جدید گریزناپذیر است).

- پس از تنظیم مقدار انحراف، تیغ فرز را با کنار یکی از دندانه‌ها در بخش کوچک دنده مماس و با گرداندن دسته‌ی تقسیم یک طرف تمام دندانه‌ها را فرزکاری می‌کنیم.

- پس از پایان بغل‌تراشی یک طرف دندانه‌ها دسته تقسیم را به اندازه دو برابر n_{kl} در سوی عکس حرکت قبلی جابجا می‌کنیم (لقی دسته باید گرفته شود) و بغل دیگر دندانه‌ها را فرزکاری می‌نماییم.

۵. چکیده روابط محاسبه چرخنده‌های مخروطی



نام جزء مورد بررسی	نشانه	رابطه
مدول بزرگ	m_a	$m_a = \frac{P_a}{\pi}$
مدول کوچک	m_i	$m_i = \frac{m_a}{1.5}$
بزرگترین قطر دایره‌ی تقسیم	d_o	$d_o = m_a \times Z$
بزرگترین قطر خارجی (قطر تراش)	d_k	$d_k = d_o + 2m_a \cdot \cos \alpha = m_a(Z + 2 \cos \alpha)$
قطر داخلی	d_f	$d_f = d_o - 2.33 \times m_a \times \cos \alpha$
اندازه‌ی یال مخروط کامل چرخنده	L	$L = \frac{d_o}{2 \sin \alpha} = \frac{m_a \times Z}{2 \sin \alpha}$
پهنای دنده	b	$b = \frac{L}{3} = \frac{d_o}{6 \sin \alpha}$

$\tan \beta_k = \frac{2 \sin \alpha}{Z}$	β_k	زاویه‌ی سر دنده
$\tan \beta_f = \frac{2.33 \sin \alpha}{Z}$	β_f	زاویه‌ی پای دنده
$\alpha_k = \alpha + \beta_k$	α_k	زاویه‌ی مخروط سر دنده (زاویه‌ی تراش)
$\alpha_f = \alpha - \beta_f$	α_f	زاویه‌ی مخروط پای دنده (زاویه‌ی تنظیم دستگاه تقسیم)
$h_k = m_a$	h_k	بلندای سر دنده
$h_f = \frac{7}{6} m_a$	h_f	بلندای پای دنده
$h = \frac{13}{6} m_a$	h	بلندای دنده
$tg \lambda = \frac{\pi \times (m_a - m_i)}{4 \times b}$	λ	زاویه بغل دندانه
$n_{k'} = \frac{i \times \lambda^\circ}{360}$	$n_{k'}$	مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم
$Z_i = \frac{Z}{\cos \alpha}$	Z_i	شمار دندانه‌های مورد نیاز برای انتخاب تیغ‌فرز

۶. پرسش و پاسخ :

۱. کاربرد چرخنده‌های مخروطی در صنعت چیست؟

- (۱) انتقال حرکت بین دو محور موازی (۲) انتقال حرکت تنها بین دو محور عمود بر هم
(۳) انتقال حرکت بین دو محور متقاطع (۴) ایجاد نسبت انتقال حرکت دلخواه بین دو محور عمود بر هم

۲. رئوس مخروطهای دو چرخنده مخروطی باید چه شرایطی داشته باشند؟

- (۱) باید رئوس مشترک داشته باشند (یعنی محورهای آنها یک دیگر در محل تقاطع قطع کنند).
(۲) باید رئوس غیر مشترک داشته باشند.

(۳) محل قرار گرفتن رئوس مخروط ها به بزرگی و کوچکی آنها بستگی دارد.

(۴) وضعیت رئوس به تعداد دندانه چرخنده‌ها بستگی دارد.

۳. کدام یک از گزینه های زیر درباره مدول چرخنده‌های مخروطی درست است؟

- (۱) مدول چرخنده‌های مخروطی در تمام طول دندانه یکسان است.
(۲) چرخنده‌های مخروطی مانند چرخنده‌های مارپیچ دارای دو نوع مدول نرمال و پیشانی هستند.
(۳) مدول چرخنده‌های مخروطی در طول دندانه متفاوت است.
(۴) برای محاسبه چرخنده‌های مخروطی از مدول متوسط استفاده می‌شود.

۴. کدام یک از رابطه های زیر برای محاسبه قطر خارجی (قطر تراش) چرخنده های مخروطی به کار نمی رود؟

$$d_k = m_a \times (Z + 2\cos\alpha) \quad (۱)$$

$$d_k = d_f + (4.33 \times m_a \times \cos\alpha) \quad (۲)$$

$$d_k = d_o + (2 \times m_a \times \sin\alpha) \quad (۳)$$

$$d_k = (6 \times b \times \sin\alpha) + (2 \times m_a \times \cos\alpha) \quad (۴)$$

۵. در یک چرخنده مخروطی $\alpha = 45^\circ$ ، $Z = 30$ و $m_a = 2 \text{ mm}$ است. کران (قطر) بیرونی، طول یال و پهنای دندانه ی چرخنده را محاسبه نمایید.

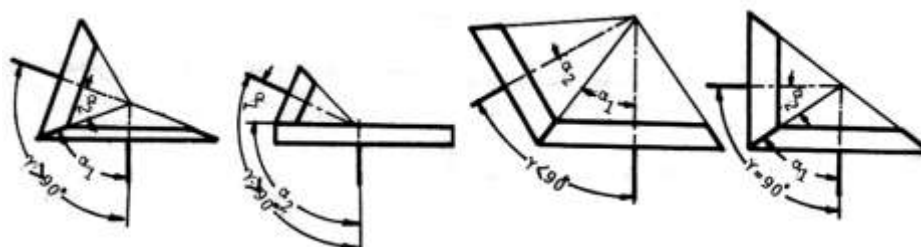
۶. نسبت انتقال حرکت بین دو چرخنده مخروطی با زاویه ی محوری 90° درجه برابر $i=1:2$ است. زاویه ی مخروط میانه هر یک از چرخنده ها را تعیین کنید.

۷. دو چرخنده ی مخروطی با شمار دندانه $Z_1 = 22$ و $Z_2 = 66$ با زاویه محوری 45° درجه باید با هم کار کنند. زاویه های مخروط میانه ی هر دو چرخنده را محاسبه نمایید.

۸. اگر زاویه ی محوری دو چرخنده مخروطی با تعداد دندانه $Z_1 = 24$ و $Z_2 = 36$ برابر 120° درجه باشد، مقدارهای α_1 و α_2 را محاسبه کنید.

۹. یک چرخنده ی مخروطی 20 دندانه باید با یک چرخنده بشقابی 80 دندانه ای را تحت زاویه 100° درجه حرکت دهد. زاویه مخروط متوسط هر دو چرخنده را معین کنید.

پاسخ پرسش ۱: گزینه ۳) درست است. چرخنده های مخروطی در حقیقت مخروط ناقصی هستند که بر روی سطح جانبی آنها دندانه هایی ایجاد شده است. از این چرخنده ها برای انتقال حرکت بر روی محورهای متقاطع (غیر موازی) که معمولاً زاویه بین محور آنها 90° درجه است استفاده می گردد. اما مواردی نیز وجود دارد که زاویه محوری بین دو چرخنده کمتر یا بیشتر از 90° درجه است (نگاره ی زیر).



پاسخ پرسش ۲: گزینه ۱) درست می باشد. برای آن که بدنه ی دو چرخنده مخروطی درگیر هنگام کار به درستی روی یکدیگر قرار گیرند باید گوشه ی مخروط چرخنده ها در محل برخورد محورهایشان یکدیگر را قطع کنند. در

غیر این صورت انتقال حرکت به صورت نقطه ای انجام می‌شود که نتیجه آن سر و صدای زیاد و فرسودگی شدید دندانها است.

پاسخ پرسش ۳: گزینه ۳) درست است. مدول چرخنده‌های مخروطی در طول دندان متفاوت است به این معنی که هر چه به سمت رأس مخروط نزدیکتر شویم مدول کوچکتر می‌گردد.

پاسخ پرسش ۴: گزینه ۳ درست است.

$$d_k = d_o + 2m_a \cdot \cos \alpha \xrightarrow{(d_o = m_a \cdot z)} d_k = (m_a \cdot z) + (2m_a \cdot \cos \alpha) \longrightarrow \boxed{d_k = m_a(z + 2 \cos \alpha)}$$

$$d_f = d_o - 2.33 m_a \cdot \cos \alpha \xrightarrow{(d_o = d_k - 2m_a \cdot \cos \alpha)} d_f = (d_k - 2.33 m_a \cdot \cos \alpha) - (2.33 m_a \cdot \cos \alpha)$$

$$\longrightarrow \boxed{d_k = d_f + 4.33 m_a \cdot \cos \alpha}$$

$$\left(\begin{aligned} b &= \frac{L}{3} = \frac{d_o}{6 \sin \alpha} \longrightarrow d_o = 6b \cdot \sin \alpha \\ d_k &= d_o + (2m_a \cdot \cos \alpha) \end{aligned} \right) \longrightarrow \boxed{d_k = 6b \sin \alpha + 2m_a \cdot \cos \alpha}$$

پاسخ پرسش ۵:

$$d_k = m_a(z + 2 \cos \alpha) = 2(30 + 2 \cos 45) = 2(30 + 2(0.707)) = 62.82^{\text{mm}}$$

$$L = \frac{d_o}{2 \sin \alpha} = \frac{m_a \cdot z}{2 \sin \alpha} = \frac{2 \times 30}{2 \times 0.707} = 42.43^{\text{mm}}$$

$$b = \frac{d_o}{6 \sin \alpha} = \frac{m_a \cdot z}{6 \sin 45^\circ} = \frac{2 \times 30}{6 \times 0.707} = 14.14^{\text{mm}}$$

پاسخ پرسش ۶: از آنجا که $\gamma = 90^\circ$ پس

$$\text{tg} \alpha_1 = \frac{l}{i} = 2 = \text{tg} 63.5^\circ \longrightarrow \boxed{\alpha_1 = 63.5^\circ}$$

$$\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 \longrightarrow \alpha_2 = \gamma - \alpha_1 = 90 - 63.5 = \boxed{26.5^\circ}$$

پاسخ پرسش ۷: از آنجا که $\gamma < 90^\circ$ پس

$$\text{tg} \alpha_1 = \frac{\sin \gamma}{\frac{z_2}{z_1} + \cos \gamma} = \frac{\sin 45^\circ}{\frac{66}{22} + \cos 45^\circ} = \frac{1}{3 + 1} = 0.25 = \text{tg} 14^\circ \longrightarrow \boxed{\alpha_1 = 14^\circ}$$

$$\alpha_2 = \gamma - \alpha_1 = 45 - 14 = \boxed{31^\circ}$$

پاسخ پرسش ۸:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{\sin(180-\gamma)}{\frac{z_2}{z_1} - \cos(180-\gamma)} = \frac{\sin(180-120)}{\frac{36}{24} - \cos(180-120)} = \frac{\sin 60^\circ}{1.5 - \cos 60^\circ} = \frac{0.866}{1.5 - 0.5} \\ &= 0.866 = \operatorname{tg} 41^\circ \longrightarrow \boxed{\alpha_1 = 41^\circ} \\ \alpha_2 &= 120 - \alpha_1 = 120 - 41 = \boxed{79^\circ} \end{aligned}$$

پاسخ پرسش ۹ :

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= \frac{z_1}{z_2} = \frac{20}{80} = 0.25 = \sin 14.5 \longrightarrow \boxed{\alpha_1 = 14.5^\circ} \\ \alpha_2 &= 100 - \alpha_1 = 100 - 14.5 = \boxed{85.5^\circ} \end{aligned}$$

۷. تمرین :

- محاسبات ساخت چرخنده مخروطی ۳۰ دندانه ای که دارای مدول بزرگ ۱/۵ میلی متر و زاویه مخروط متوسط ۴۵ درجه می باشد را با استفاده از ماشین تراش و فرز توسط دستگاه تقسیم با نسبت ۴۰ به ۱ انجام دهید.
- دو چرخنده مخروطی با تعداد دندانه مساوی ۲۰ و مدول بزرگ ۳ میلی متر باید فرزکاری شوند. اگر زاویه محوری این دو چرخنده ۹۰ درجه و نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ باشد محاسبات لازم را بنویسید.
- روش ساخت چرخنده مخروطی ۴۰ دندانه ای که دارای مدول بزرگ ۳ میلی متر و زاویه مخروط متوسط ۳۰ درجه می باشد را با استفاده از ماشین تراش و فرز توسط دستگاه تقسیم با نسبت $i = 40:1$ توضیح دهید.
- برای فرزکاری سیستم محرکه چرخنده مخروطی با مشخصات $m_a = 2$ و $Z_1 = 30$ و $Z_2 = 120$ و $\gamma = 90^\circ$ مقادیر لازم را برای چرخنده محرک و متحرک محاسبه نمایید.
- در یک چرخنده مخروطی ۱۲۰ دندانه زاویه مخروط متوسط ۴۲ درجه می باشد. میزان انحراف دسته دستگاه تقسیم را محاسبه نمایید. نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ فرض شود.
- قطر خارجی، پهنای دندانه و شماره تیغ فرز مورد نیاز جهت فرزکاری چرخنده مخروطی با این مشخصات را محاسبه نمایید : تعداد دندانه ۶۰، زاویه مخروط متوسط ۴۵ درجه، مدول بزرگ ۲ میلی متر
- یک چرخنده مخروطی ۲۴ دندانه با زاویه مخروط متوسط ۴۱ درجه با چه چرخنده مخروطی می تواند زاویه محوری ۱۲۰ درجه تشکیل دهد؟ تعداد دندانه و زاویه مخروط متوسط این چرخنده را محاسبه نمایید.

توجه: چرخنده های تعویضی موجود در بیشتر کارگاهها عبارت هستند از : ۲۴-۲۸-۳۲-۴۰-۴۴-۴۸-۵۶-۶۴-۷۲-

فصل پنجم: فرزکاری پرغ ملزون

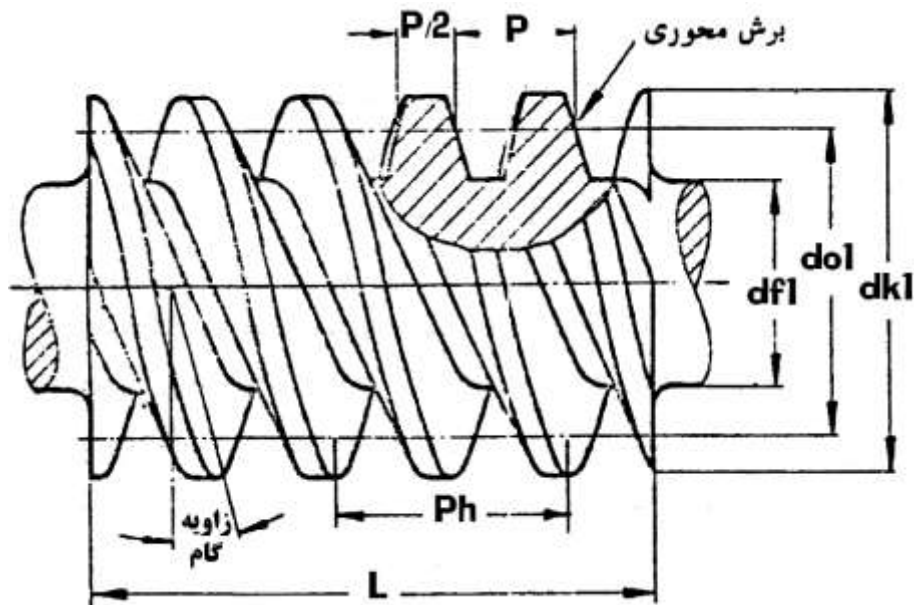
۱. مقدمه

از چرخ و حلزون برای انتقال حرکت با نسبت بزرگ و قدرت زیاد در حجم کم و بدون صدا بین دو محور عمود بر هم استفاده می‌شود. به عبارت دیگر چرخدنده‌های حلزونی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که بخواهیم تغییر زیادی در سرعت و یا قدرت ایجاد کنیم. معمولاً نسبت شعاع دو چرخدنده ۲۰:۱ است و گاهی حتی به ۳۰۰:۱ و بیشتر نیز می‌رسد. این چرخدنده‌ها ویژگی جالبی دارند که در هیچ چرخدنده‌ی دیگری پیدا نمی‌شود. پیچ حلزون می‌تواند به راحتی چرخ دیگر (چرخدنده حلزونی) را حرکت دهد، ولی چرخ پایینی نمی‌تواند پیچ حلزون را بچرخاند. در حقیقت زاویه‌ی دنده‌های روی پیچ حلزون آن قدر کوچک است که وقتی چرخ پایینی بخواهد آن را بچرخاند، اصطکاک بسیار زیاد می‌شود و از حرکت حلزون جلوگیری می‌کند. این ویژگی در جاهایی که به قفل خودکار نیاز باشد کاربرد دارد. به عنوان نمونه در یک بالابر وقتی موتور از کار بیفتد، چرخدنده‌ها قفل می‌شوند و نمی‌گذارند بار پایین بیاید. معمولاً در دیفرانسیل کامیون‌ها و خودروهای سنگین نیز از این چرخدنده‌ها استفاده می‌شود.



۲. ویژگیهای محور حلزون

محور حلزون، پیچی با گام مدولی است. زاویه‌ی پهلوی دندانه‌های آن معمولاً ۳۰ درجه می‌باشد (در پیچهای اینچی ۴۰ درجه). محور حلزونی ممکن است یک راهه یا چند راهه، چپگرد و یا راستگرد ساخته شود. نگاره‌ی زیر ویژگیهای ساختاری محورهای حلزونی را نشان می‌دهد.



نام بخشهای مختلف محورهای حلزونی عبارت است از :

شمار نخهای حلزون	Z	قطر درونی
گام ظاهری		طول بخش حلزونی
گام حقیقی		عمق دنده
قطر میانی		زاویه ی گام
قطر بیرونی		مدول

گام ظاهری، فاصله ی بین دنده ها روی قطر میانی است که به آن گام چرخنده گفته می شود. گام حقیقی فاصله ای است که هنگام ساختن پیچ یا محور حلزون، ابزار تراشکاری در یک دور گردش پیچ و در راستای محور طولی آن طی می کند. گام حقیقی در پیچهای دو نخه $P_h = 2P$ و در پیچهای سه نخه نیز برابر $P_h = 3P$ خواهد بود. شمار نخهای محور حلزونی به نسبت انتقال حرکت به قرار زیر است:

بزرگتر از ۳۰	۱۵ تا ۳۰	۱۰ تا ۱۵	۵ تا ۱۰	نسبت انتقال حرکت (i)
۱	۲	۳	۴	شمار نخهای حلزون (g)

۱.۲. محاسبه ی اجزای محور حلزونی

در پیچ های یک راهه ($Z_1 = 1$) گام حقیقی با گام ظاهری برابر است که مقدار آن مانند زیر بدست می آید:

$$P = m \cdot \pi$$

در صورتی که پیچ چند راهه ($Z_1 = g$) باشد گام حقیقی (P_h) برابر است با :

$$P_h = g \cdot m \cdot \pi$$

و دیگر روابط عبارتند از :

$$d_{o1} = \frac{P_h}{\tan \gamma_m \cdot \pi} = \frac{g \cdot m}{\tan \gamma_m}$$

$$d_{k1} = d_{o1} + 2m$$

$$h = \frac{13}{6}m$$

طول پیچ حلزون (L) بستگی به قطر چرخنده‌ی حلزونی ($d_{o2} = m \cdot Z_2$) دارد:

$$L = 2m\sqrt{Z_2 + 1}$$

۲.۲. مراحل ماشین کاری محور حلزونی

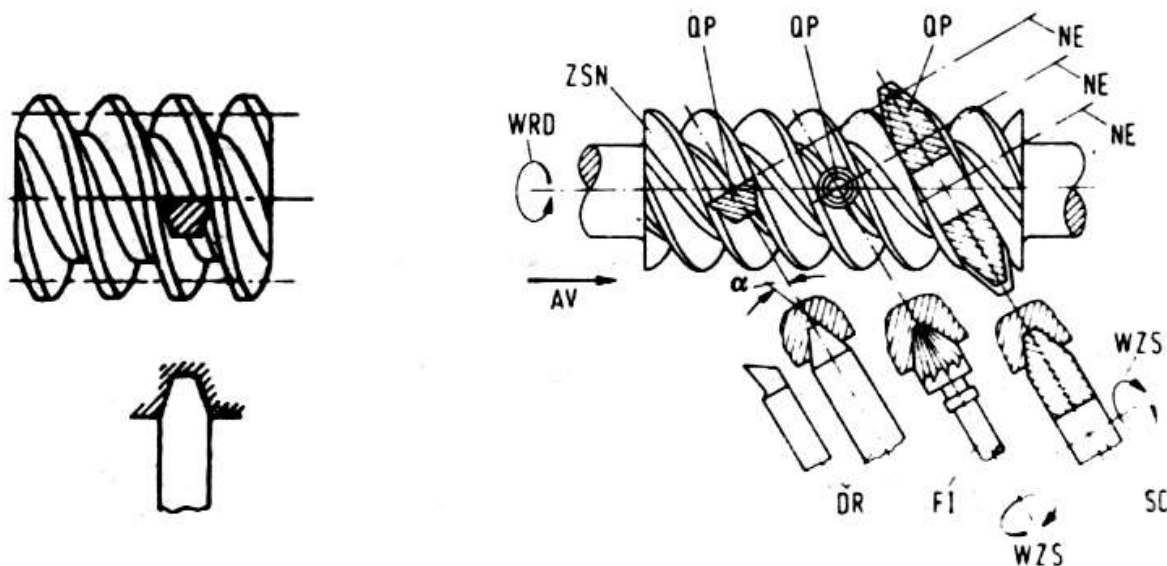
به طور کلی برای ساختن چرخ و محور حلزون به کمک ماشین تراش و فرز دو روش وجود دارد :

۱- روش ساخت معمولی

۲- روش ساخت دقیق

در اینجا تنها روش نخست شرح داده می‌شود.

محورهای حلزونی را می‌توان با استفاده از رنده تراشکاری که دارای زاویه‌ی رأس ۳۰ درجه است (مانند پیچ‌های دوزنقه‌ای) یا با استفاده از تیغ فرزهای انگشتی و پولکی ویژه در ماشینهای فرز اونیورسال تولید کرد.



الف) با استفاده از ماشین تراش

نمونه:

روش ساخت محور حلزونی با مدول ۴ میلی‌متر و قطر نامی یا میانه ($d_{o1} = 44mm$) را که با چرخنده‌ی ۲۸ دندانه‌ای کار خواهد کرد، توضیح دهید.

پاسخ:

۱- قطر خارجی پیچ حلزون را حساب می کنیم.

$$d_{k1} = d_{o1} + 2m = 44 + 2 \times 4 = 52 \text{ mm}$$

۲- با توجه به نقشه‌ی محور حلزونی یا قطعه نمونه طول آن را تعیین کرده و ماده‌ی خام را می‌بریم.

۳- قطعه را پیشانی‌تراشی کرده و مرغک می‌زنیم. سپس قطعه‌کار را بین دو مرغک یا بین سه نظام و مرغک ماشین‌تراش می‌بندیم.

۴- قطر آن را تا اندازه‌ی $d_{k1} = 52 \text{ mm}$ تراشکاری می‌کنیم.

۵- اگر طول L مشخص نباشد مقدار آن را از رابطه‌ی زیر بدست آورده و با توجه به فرم محور حلزونی عمل تراشکاری را با در نظر گرفتن اندازه‌ی L و محل ایجاد آن روی محور حلزونی ادامه می‌دهیم.

$$L = 2m\sqrt{Z_2 + 1} = 2 \times 4\sqrt{28 + 1} = 48 \text{ mm}$$

۶- برای ساختن پیچ حلزون، رنده ای با زاویه ۳۰ درجه مطابق توضیحات زیر تیز می‌کنیم :

پهنای نوک رنده برای هر مدول خاص فرق می‌کند زیرا با افزایش مدول، گام نیز زیاد می‌شود و پهنای شیار پیچ و چرخنده نیز افزایش می‌یابد. پس برای هر مدول باید رنده‌ی خاصی آماده کرد. برای این منظور مانند پیچهای میلی‌متری و دوزنقه‌ای و اینچی شابلونهایی وجود دارد که می‌توان از آنها بهره‌گیری کرد.

۷- رنده را به دقت در ماشین می‌بندیم.

۸- حال باید ویژگیهای فنی ماشین (a, s, n) را تنظیم کرد. هر ماشین تراش دارای جدولهای تنظیم پیچ تراشی، تنظیم بار و تنظیم سرعت برشی است. برای تنظیم ماشین جهت تراشکاری پیچ حلزونی از بخش مدولی جدول پیچ‌تراشی استفاده می‌کنیم و با توجه به مدول که در جدول نوشته شده است دسته‌ها را که هر کدام دارای علامتی است مطابق دستور جدول تنظیم می‌کنیم. شایان ذکر است که برای اجرای هر نوع پیچ تراشی باید چرخنده‌های پشت ماشین تراش را عوض کرد و مطابق دستور جدول مونتاژ نمود.

۹- تعداد دور قطعه‌کار را با توجه به در نظر گرفتن سرعت برش مناسب، جنس قطعه‌کار و جنس رنده برای روتراشی از جداول استاندارد تعیین نمایید. توجه کنید که سرعت چرخش قطعه‌کار در تراشکاری پیچ حلزون، یک سوم سرعت رو تراشی انتخاب می‌گردد. سپس جعبه‌دنده‌ی سرعت ماشین را با جابه‌جا کردن دسته‌ی دنده‌ها مطابق دستوره‌ای جدول آماده کنید.

مثلا اگر سرعت برشی مناسب $V = 28 \text{ m/min}$ باشد با توجه به اینکه قطر خارجی قطعه $d_{k1} = 52 \text{ mm}$ است، شمار دورهای روتراشی $n = 132 \text{ U/min}$ و شمار دورهای پیچ تراشی $n_1 = \frac{n}{3} = 47.5 \text{ U/min}$ خواهد بود.

۱۰- وقتی دستگاه آماده شد و پس از اتصال اهرم مهره دو پارچه، با بار عمقی مناسب و استفاده از ماده‌ی خنک‌کننده‌ی مناسب، عمل پیچ تراشی را تا جایی ادامه می‌دهیم که عمق دنده برابر شود با:

$$h = \frac{13}{6}m = \frac{13}{6} \times 4 = 8.7 \text{ mm}$$

۱۱- پس از پیچ تراشی و فرم دادن دنباله‌ی دو طرف بخش پیچ‌تراشی شده، محور حلزونی آماده است.

نمونه :

در صورتی که پیچ نمونه پرسمان پیش، دو راهه باشد روش کار را توضیح دهید.

پاسخ:

روش کار مانند عملیات تراشکاری نمونه‌ی پیشین است با این تفاوت که گام باید برابر گام حقیقی باشد که از رابط‌ی روبرو بدست می‌آید:

$$P_h = g.m.\pi = 2 \times 4 \times \pi = 25.12 \text{ mm}$$

ملاحظه می‌شود که اگر مدول دو برابر شود گام نیز دو برابر خواهد شد پس به جای انتخاب مدول ۴ در اینجا از دو برابر آن یعنی مدول ۸ استفاده می‌کنیم. پس از تراشکاری شیار اول سوپرت بالایی را به اندازه‌ی نصف گام به راست یا چپ حرکت داده (رنده را جابه جا می‌کنیم) و شیار دوم را می‌تراشیم.

$$P = \frac{P_h}{g} = \frac{25.12}{2} = 12.56 \text{ mm}$$

در صورت سه یا چند نخه بودن پیچ، باز روش کار به همین صورت خواهد بود. از روش تراشکاری محور حلزونی توسط ماشینهای تراش هنگامی استفاده می‌شود که دقت قطعه‌کار کم باشد و یا ابزار ویژه‌ی ماشینکاری چرخ حلزونی را نیز به همین ترتیب از طریق ماشین تراش تهیه کرده باشیم.

ب) با استفاده از ماشین فرز

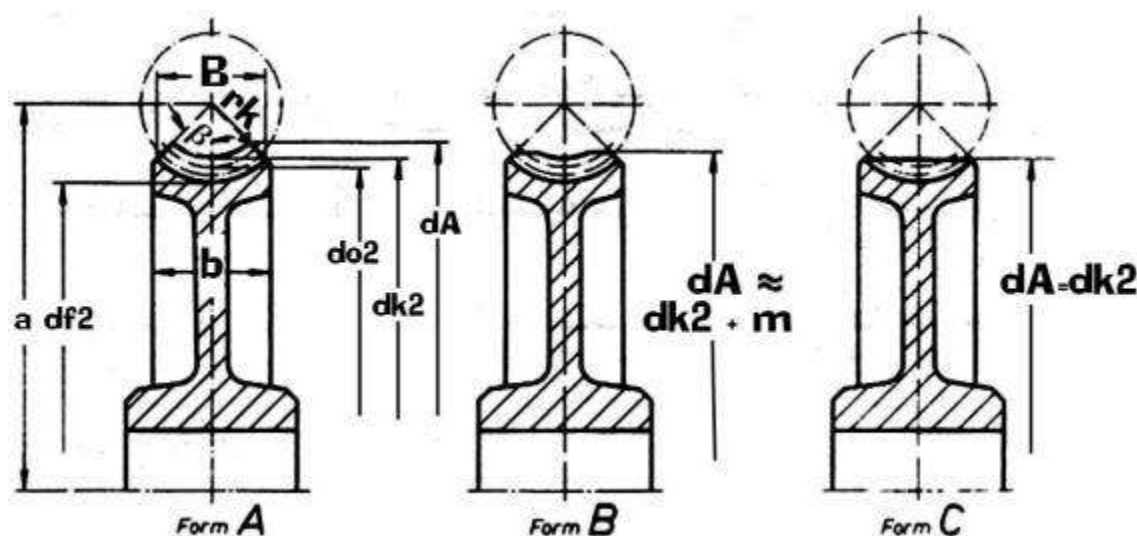
به کمک تیغ فرز پولکی مخصوص با زاویه‌ی بین لبه‌های برنده ۳۰ درجه و یا تیغ فرز انگشتی مخصوص با زاویه‌ی مخروطی ۳۰ درجه که در کله‌گی ماشین فرز بسته می‌شود می‌توان محور حلزونی را فرزکاری نمود. در این روش مانند روش مارپیچ تراشی، دستگاه تقسیم و چرخنده‌های تعویضی وظیفه‌ی چرخاندن قطعه‌کار را بر عهده دارند.

۳. مشخصات چرخنده‌ی حلزون

دندانه‌های چرخنده حلزونی تحت زاویه‌ای برابر با زاویه‌ی گام محور حلزونی (γ_m) نسبت به محور چرخنده قرار گرفته‌اند و دارای سطح بیرونی کمانی شکل هستند که پیچ حلزونی در داخل آن قوس قرار می‌گیرد و با دندانه‌های

چرخنده درگیر می‌شود. دندانه‌های این چرخنده به شکلهای گوناگون ساخته می‌شوند (نگاره‌ی زیر). در این جزوه چرخ حلزون نوع A که معمول‌تر است بررسی می‌شود. ویژگیهای ساختاری این چرخنده عبارت است از :

r_k	شعاع کمان دندانه‌ها	Z_2	شمار دندانه‌ی چرخ حلزون
β	زاویه‌ی پخ سر دنده	m	مدول
h	بلندای دندانه	d_{o2}	قطر میانه
b	پهنای چرخنده	d_{k2}	قطر بیرونی ته کمان
B	پهنای دندانه‌های چرخنده	d_{f2}	قطر درونی ته کمان
$\alpha/2$	مقدار انحراف برای تراش بغل دندانه‌ها	d_A	قطر تراش



۱.۳. محاسبه‌ی اجزای چرخنده‌های حلزونی

بیشتر روابط محاسباتی چرخنده‌های حلزونی مانند چرخنده‌های ساده است. فقط در چرخنده‌های حلزونی مقدار قطر تراش و اندازه‌ی شعاع کمان دنده و زاویه پخ بغل دنده باید از روابط جداگانه‌ای محاسبه شوند. روابط مورد نیاز برای ساخت چرخنده‌های حلزونی به قرار زیر است:

$d_{o2} = m \cdot Z_2$	قطر میانه
$d_{k2} = m(Z_2 + 2)$	قطر بیرونی ته کمان
$d_A = d_{k2} + m = (m + 3)Z_2$	قطر تراش
$b = (0.6 - 0.8)d_{o1}$	پهنای چرخنده
$B \cong b - m$	پهنای دندانه‌های چرخنده
$r_k = \frac{d_{o1}}{2} - m$	شعاع کمان دندانه‌ها
$\beta \leq 45^\circ$	زاویه‌ی پخ سر دنده
$\frac{\alpha}{2} = 90^\circ - \beta$	زاویه انحراف سوپرت ماشین تراش

$a = \frac{d_{o1} + d_{o2}}{2}$	فاصله‌ی محورهای چرخ و حلزون
---------------------------------	-----------------------------

برای محاسبه‌ی زاویه‌ی پخ بغل دنده از رابطه‌ی تجربی زیر استفاده می‌شود. f ضریبی است که نسبت به شمار دندانه چرخنده حلزونی تغییر می‌کند و مقدار آن از جدول زیر به دست می‌آید:

$$\tan \beta = \frac{2 \times p \times f}{d_{o1} + 1.2p}$$

	۲۸	۳۶	۴۵	۵۶	۶۲	۴۸	۷۶	۸۴
	۱/۹	۲/۱	۲/۳	۲/۵	۲/۶	۲/۷	۲/۸	۲/۹

۲.۳. مراحل ماشین کاری چرخنده‌های حلزونی

نمونه:

روش ساخت یک چرخنده حلزونی ۲۸ دندانه با مدول ۴ میلی‌متر که باید با محور حلزونی یک راهه با قطر میانه‌ی $d_{o1} = 44 \text{ mm}$ کار کند را توضیح دهید. نسبت دستگاه تقسیم ۴۰ به ۱ می‌باشد.

پاسخ:

۱- ابتدا قطر تراش را حساب می‌کنیم:

$$d_{k2} = m(Z_2 + 2) = 4(28 + 2) = 120 \text{ mm}$$

$$d_A = d_{k2} + m = 120 + 4 = 124 \text{ mm}$$

۲- پهنای چرخنده را نسبت به توانی که منتقل می‌کند در نظر می‌گیریم.

$$b = 0.7 \times d_{o1} = 0.7 \times 44 \cong 32 \text{ mm}$$

۳- با توجه به قطر تراش و پهنای چرخنده و نقشه یا نمونه‌ی موجود، ماده‌ی اولیه مناسب را انتخاب کرده، می‌بریم.

۴- با توجه به مراحل ساخت چرخنده‌های ساده و اندازه‌های بالا، شکل اولیه‌ی چرخنده را با استفاده از درن، تراش کاری می‌کنیم.

۵- شعاع کمان سردنده را حساب کرده با استفاده از هدایت هماهنگ طولی و عمقی رنده با دست و با بهره گرفتن از شابلونهای کمان‌سنج، شکل کمانی محور حلزونی را در پیرامون چرخنده ایجاد می‌کنیم (بهتر است از رنده فرم استفاده شود).

$$r_k = \frac{d_{o1}}{2} - m = \frac{44}{2} - 4 = 18 \text{ mm}$$

۶- زاویه ی بغل دندانها را با توجه به جدول صفحه ی پیش معلوم می کنیم.

$$p = m \cdot \pi = 4 \times \pi = 12.56 \text{ mm}$$

$$\tan \beta = \frac{2 \times p \times f}{d_{o1} + 1.2p} = \frac{2 \times 12.56 \times 1.9}{44 + 1.2 \times 12.56} = 0.8 \rightarrow \beta = 39^\circ$$

۷- سوپرت دستی را به اندازه ی $\frac{\alpha}{2} = 90 - \beta = 51^\circ$ منحرف نموده و زاویه ی بغل دندانها را به اندازه ی لازم ایجاد می کنیم. تراشکاری باید طوری انجام شود که پهنای دنده برابر شود با:

$$B = b - m = 28 \text{ mm}$$

۸- قطعه ی تراشکاری شده را به دستگاه تقسیم می بندیم و بر روی ماشین فرزی قرار می دهیم که میز آن را بتوان تحت زاویه تنظیم نمود. قطعه کار را بین دو مرگک و یا سه نظام و مرگک می بندیم.

۹- مقدار گردش دسته ی تقسیم را حساب کرده و دستگاه تقسیم را آماده می کنیم.

$$n_k = \frac{i}{Z_2} = \frac{40}{28} = 1 \frac{9}{21}$$

۱۰- با توجه به مدول و تعداد دندانهای چرخنده، تیغ فرز پولکی مدولی پیش تراش را انتخاب و روی ماشین فرز سوار می کنیم.

۱۱- راستای تیغ فرز را نسبت به محور و ضخامت چرخنده میزان کرده، میز ماشین را به اندازه زاویه ی گام محور حلزونی منحرف می نماییم.

$$\tan \gamma_m = \frac{P_h}{\pi \cdot d_{o1}} = \frac{m \cdot \pi}{\pi \cdot d_{o1}} = \frac{4}{44} = 0.9 \rightarrow \gamma_m = 5.12^\circ$$

۱۲- تعداد دور تیغ فرز را با توجه به جنس قطعه کار و ابزار تنظیم می کنیم.

۱۳- حرکات طولی و عمقی میز ماشین را قفل می کنیم (در دنده تراشی حلزونی بار دادن فقط به طور عمودی انجام می شود).

۱۴- ماشین را به کار می اندازیم و با بالا آوردن میز آن به اندازه کمتر از عمق دنده ($h < \frac{13}{6}m$) بار می دهیم.

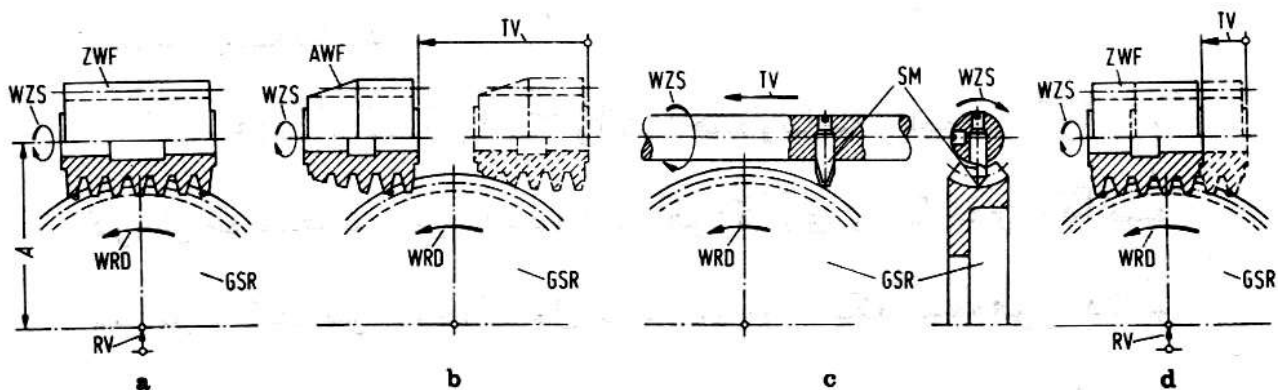
۱۵- میز ماشین را پایین آورده به وسیله ی دسته تقسیم، چرخنده را یک دنده جابه جا می کنیم و با تکرار این کار عملیات پیش تراشی چرخنده را به پایان می رسانیم.

۱۶- محور اصلی دستگاه تقسیم را آزاد و آن را آزمایش می کنیم تا بتواند به راحتی بچرخد.

۱۷- میز را از حالت انحراف خارج می کنیم.

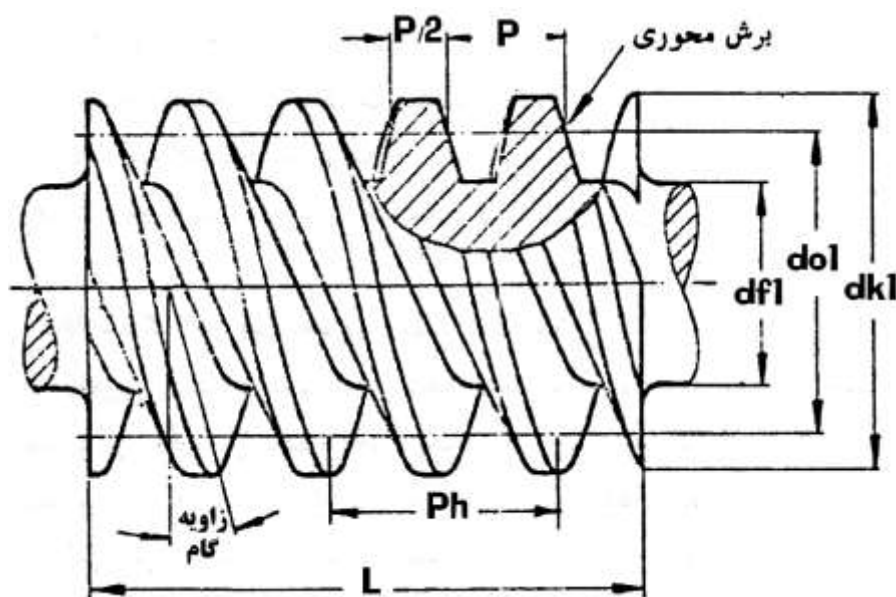
۱۸- به جای تیغ فرز مدولی پیش تراشی، تیغ فرز غلتکی (هاب) مورد نیاز را بسته و با دندانه‌های پیش تراشی شده تا حدی درگیر می‌کنیم که لقی جزئی بین تیغ فرز و چرخدنده وجود داشته باشد. برای این کار در حالی که ماشین کار نمی‌کند تیغ فرز غلتکی را با چرخدنده‌ی پیش تراشی شده درگیر کرده با چرخاندن دسته محور اصلی ماشین فرز لقی آن را تا حدی که بتوانند مانند چرخ و حلزون راحت با هم بچرخند از بین می‌بریم.

۱۹- ماشین را به کار انداخته با بار عمودی آرام و گردش خود به خودی چرخدنده، عمل فرزکاری را تا حدی ادامه می‌دهیم که عمق دنده $(h < \frac{13}{6}m)$ کامل شود. لازم است ضمن کار با تیغ فرز غلتکی از ماده‌ی خنک‌کاری که معمولاً روغن رقیق است استفاده کرد و ماشین را با دور نسبتاً آرام به کار انداخت.



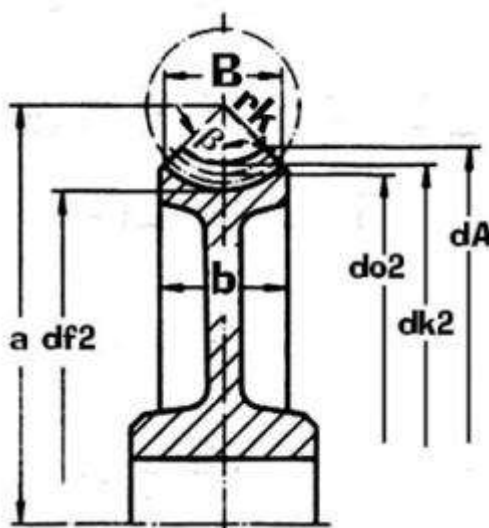
۲۰- چرخدنده‌ی آماده شده را باز کرده، بررسی و اندازه‌گیری می‌کنیم.

۵. چکیده‌ی روابط محاسبه محور حلزون :



نام جزء مورد بررسی	نشانه	رابطه
مدول	m	$m = \frac{P}{\pi}$
گام ظاهری	P	$P = \pi \times m$
گام حقیقی	P_h	$P_h = P \times g = \pi \times m \times g$
تعداد راه یا نخ	g	$g = \frac{P_h}{P}$
قطر متوسط	d_{O1}	$d_{O1} = \frac{P_h}{\pi \times tg\alpha}$
زاویه گام	γ_m	$tg\gamma_m = \frac{P_h}{\pi \times d_o}$
قطر خارجی	d_{k1}	$d_{k1} = d_{O1} + 2 \times m$
قطر داخلی	d_{f1}	$d_{f1} = d_{O1} - 2.33 \times m$
ارتفاع دندانه	h	$h = 2.167 \times m$
طول محور حلزون	L	$L = 2 \times m \times \sqrt{Z_2 + 1}$
زاویه دندانه (یا رنده)		۳۰ یا ۴۰ درجه
فاصله محور حلزون (۱) از محور چرخ حلزون (۲)	a	$a = \frac{d_{O1} + d_{O2}}{2}$

۶. چکیده‌ی روابط محاسبه‌ی چرخ‌دنده حلزون:



ناهم جزء مورد بررسی	نشانه	رابطه
مدول	m	$m = \frac{P}{\pi}$
قطر متوسط	d_{O2}	$d_{O2} = m \times Z_2$
قطر خارجی	d_{k2}	$d_{k2} = d_{O2} + 2 \times m$
قطر تراش	d_A	$d_A = d_{k2} + m$
قطر داخلی	d_{f2}	$d_{f2} = d_{O2} - 2.33 \times m$
ارتفاع دندانه	h	$h = 2.167 \times m$
پهنای درگیری دندانه	B	$B \cong b - m$
پهنای دندانه (چرخنده)	b	$b = (0.6 - 0.8)d_{o1}$
شعاع سر دندانه	r_k	$r_k = \frac{d_{o1}}{2} - m$
زاویه پخ سر دندانه	β	$tg\beta = \frac{2 \times p \times f}{d_{o1} + 1.2p}$
زاویه انحراف سوپرت تراش	$\frac{\alpha}{2}$	$\frac{\alpha}{2} = 90 - \beta$

۷. پرسش و پاسخ :

۱. بطور کلی دلیل استفاده از محور و چرخنده حلزون در صنعت چیست؟

(۱) انتقال قدرت زیاد بین دو محور عمود برهم

(۲) انتقال قدرت زیاد و کم کردن عده دوران با نسبت بسیار زیاد

(۳) انتقال قدرت و حرکت دو طرفه در پرسها و جکها

(۴) انتقال قدرت و تبدیل دور زیاد به دور کم بدون ایجاد لرزش و صدا

۲. زاویه بین دندانه‌های محورهای حلزونی چقدر است؟

۳. می‌خواهیم به کمک محور و چرخنده حلزونی با مدول ۲ میلی متر عده دوران یک موتور که ۱۴۴۰ دور می‌باشد و به محور حلزون متصل می‌گردد را در محور چرخ حلزون ۴۰ دندانه ای به ۷۲ دور تبدیل کنیم. گام محور حلزون باید چند میلی متر باشد؟

۴. طول محور حلزونی که با چرخنده حلزونی ۲۰ دندانه و مدول ۵ میلی متر کار می‌کند را محاسبه نمایید.

۵. قطر تراش چرخنده حلزونی ۴۰ دندانه ای با مدول ۲/۵ میلی متر را تعیین کنید.

پاسخ پرسش ۱ :

گزینه ۲) درست است. انتقال حرکت توسط محور و چرخنده حلزون مانند چرخنده‌های مارپیچ با محورهای متنافر انجام می‌گردد و معمولاً برای انتقال حرکت از زاویه محوری ۹۰ درجه استفاده می‌شود. مورد مصرف دیگر محور و چرخنده حلزون در انتقال حرکت با نسبت انتقالی بزرگ یا به عبارت دیگر جهت کاهش عده دوران است و در مقایسه با سایر وسایل انتقال حرکت فضای کمتری اشغال می‌کنند.

پاسخ پرسش ۲ :

محور حلزون از نظر فرم دندانه مانند رزوه‌های دنده دوزنقه ای است و زاویه دندانه آنها ۳۰ درجه می‌باشد. گاهی این زاویه ۴۰ درجه انتخاب می‌گردد که در این حالت ارتفاع دندانه بیشتر خواهد شد.

پاسخ پرسش ۳ :

$$n_1 \cdot g = n_2 \cdot z_2 \longrightarrow g = \frac{n_2 \cdot z_2}{n_1} = \frac{72 \times 40}{1440} = 2$$

$$P_h = m\pi g = 2 \times 3.14 \times 2 = 12.56^{mm}$$

پاسخ پرسش ۴ :

$$L = 2m\sqrt{z+1} = (2 \times 5) \times \sqrt{20+1} = 10 \times 4.582 = 45.82^{mm}$$

پاسخ پرسش ۵ :

$$d_{k_2} = m(z_2 + 2) = 2.5(40 + 2) = 105^{mm}$$

$$d_A = d_{k_2} + m = 105 + 2.5 = 107.5^{mm}$$

تمرین :

(۱) محاسبات لازم برای ساخت پیچ حلزون دو راهه ای که قطر متوسط آن ۴۰ میلی متر و مدول آن ۲/۵ میلی متر است را بنویسید. نسبت انتقال حرکت ۲۰ به ۱ می‌باشد.

(۲) چرخنده حلزونی ۴۰ دندانه ای با مدول ۲/۵ میلی متر که قطر متوسط پیچ حلزون درگیر با آن ۴۰ میلی متر است فرزکاری می‌شود. محاسبات لازم را انجام دهید.

(۳) در یک سیستم محرک چرخنده حلزونی با مدول ۲/۵ میلی متر، محور حلزون دو راهه و دارای قطر متوسط ۴۰ میلی متر می‌باشد. اگر قطر خارجی چرخنده حلزون ۴۰ میلی متر تعیین گردد سایر محاسبات لازم برای ساخت این سیستم را انجام دهید.

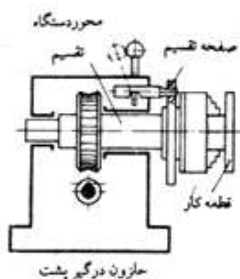
بخش هشتم

پیوست

تقسیم با دستگاه تقسیم (دستگاه تایلکف)

تقسیم مستقیم

در تقسیم مستقیم، محور دستگاه تقسیم به همراه صفحه تقسیم و قطعه کار به اندازه لازم چرخانده می شود. در این تقسیم حلزون و چرخ حلزون درگیر نیستند.



عدد تقسیم T
تقسیم زاویه ای α
تعداد سوراخهای صفحه تقسیم n_L
تعداد فاصله سوراخ، گام تقسیم n_1

$$n_1 = \frac{n_L}{T}$$

مثال ۱: $n_L = 24, T = 8, n_1 = ?$

$$n_1 = \frac{n_L}{T} = \frac{24}{8} = 3$$

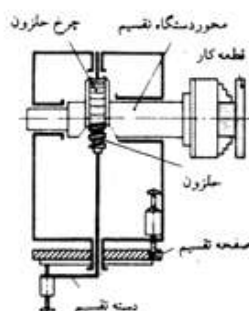
مثال ۲: $n_L = 24, \alpha = 30^\circ, n_1 = ?$

$$n_1 = \frac{\alpha \cdot n_L}{360^\circ} = \frac{30^\circ \cdot 24}{360^\circ} = 2$$

$$n_1 = \frac{\alpha \cdot n_L}{360^\circ}$$

تقسیم غیرمستقیم

در تقسیم غیرمستقیم محور دستگاه تقسیم توسط حلزون و از طریق چرخ حلزون حرکت می کند.



عدد تقسیم T
تقسیم زاویه ای α
نسبت انتقال دستگاه تقسیم i
تعداد گردش دسته تقسیم n_k
برای یک تقسیم، گام تقسیم

مثال ۱: $T = 68, i = 40, n_k = ?$

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{68} = \frac{10}{17}$$

مثال ۲: $\alpha = 37, 2^\circ, i = 40, n_k = ?$

$$n_k = \frac{i \cdot \alpha}{360^\circ} = \frac{40 \cdot 37, 2^\circ}{360^\circ} = \frac{37, 2}{9} = \frac{186}{9 \cdot 5} = 4 \frac{2}{15}$$

دایره سوراخ صفحه تقسیم

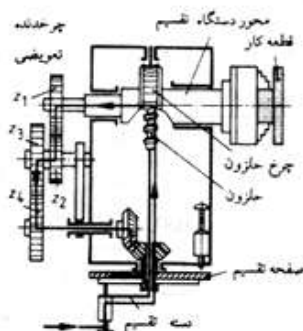
15	16	17	18	19	20	21	23	27
29	31	33	37	39	41	43	47	49
یا								
17	19	23	24	25	27	28	29	30
31	33	37	39	41	42	43	47	49
51	53	57	59	61	63			

$$n_k = \frac{i}{T}$$

$$n_k = \frac{i \cdot \alpha}{360^\circ}$$

تقسیم اختلافی

در تقسیم اختلافی محور دستگاه تقسیم مانند تقسیم غیرمستقیم توسط حلزون و چرخ حلزون حرکت می کند. هم زمان با آن محور دستگاه تقسیم از طریق چرخ دنده تعویضی، صفحه تقسیم را می چرخاند.



عدد تقسیم T
عدد تقسیم کمکی T'
تقسیم زاویه ای α
نسبت انتقال دستگاه تقسیم i
تعداد گردش دسته تقسیم برای یک تقسیم، گام تقسیم n_k
تعداد دندانه چرخ دنده متحرك (z_1, z_2)
تعداد دندانه چرخ دنده محرك (z_3, z_4)

$$n_k = \frac{i}{T'}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{i}{T'} (T' - T)$$

وقتی عدد تقسیم کمکی T' بزرگتر از عدد تقسیم T باشد، باید دسته تقسیم و صفحه تقسیم جهت یکسان داشته باشند. در غیر این صورت باید جهات فوق عکس هم باشند. جهت چرخش لازم با یک چرخ دنده میانی دیگر عملی است.

مثال: $i = 40, T = 97, n_k = ?, \frac{z_1}{z_2} = ?, T' = 100$ (انتخاب می شود)

$$n_k = \frac{i}{T'} = \frac{40}{100} = \frac{2}{5} = \frac{8}{20}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{i}{T'} \cdot (T' - T) = \frac{40}{100} \cdot (100 - 97) = \frac{2}{5} \cdot 3 = \frac{6}{5} = \frac{48}{40}$$

حل:

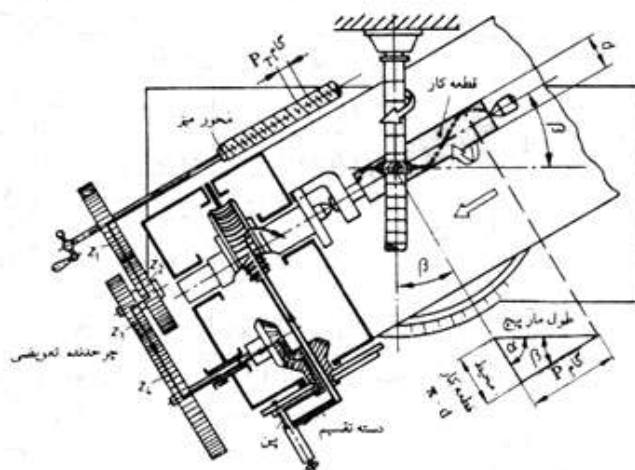
فرزکاری شیار مارپیچ

شیار مار پیچ ، مار پیچ گام بزرگ است ، این شیارها را می توان با دستگاه فرز یونیورسال و به کمک دستگاه تقسیم فرز کاری کرد . به هنگام فرز کاری ، میز دستگاه فرز به طور مستقیم و محور دستگاه تقسیم دورانی حرکت می کند ، حرکت دورانی از محور میز و از طریق چرخنده های تعویضی و چرخنده های مخروطی به صفحه تقسیم منتقل می شود . صفحه تقسیم نیز به کمک پین دسته تقسیم به حرکت در آمده ، نهایتا این حرکت از طریق سیستم حلزون به قطعه کار انتقال می یابد .

اگر قطعه کاری بیش از یک شیار مار پیچ داشته باشد ، باید بعد از اتمام فرز کاری هر شیار با تقسیم غیر مستقیم ، قطعه کار گردانده شود .

α	زاویه گام
β	زاویه تنظیم
P	گام شیار مارپیچ
P_T	گام محور میز
i	نسبت انتقال سیستم چرخنده حلزون
i_1	نسبت انتقال چرخنده مخروطی
$z_1 (z_1, z_3)$	تعداد دندانه چرخنده متحرک
$z_g (z_2, z_4)$	تعداد دندانه چرخنده محکم

دایره سوراخ صفحه تقسیم								
15	16	17	18	19	20	21	23	27
29	31	33	37	39	41	43	47	49
یا								
17	19	23	24	25	27	28	29	30
31	33	37	39	41	42	43	47	49
51	53	57	59	61	63			
دایره سوراخ صفحه تقسیم								
24	24	28	32	36	40	44	48	
56	64	72	80	84	86	96	100	



$$P = \pi \cdot d \cdot \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d}$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\frac{z_1}{z_g} = \frac{P_T \cdot i \cdot i_1}{P}$$

مثال 1: تیغه فرز مارپیچی باید زاویه تنظیم $\beta = 25^\circ$ و 9 دندانه داشته باشد ، $d = 80 \text{ mm}$; $i = 40$; $i_1 = 1$; $P_T = 6 \text{ mm}$ ،
مطلوب است : گام P ، چرخنده تعویضی z_1/z_g
و چرخش دسته تقسیم n_k .

$$\alpha = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$$

حل:

$$P = \pi \cdot d \cdot \tan \alpha = \pi \cdot 80 \text{ mm} \cdot \tan 65^\circ = 539 = 540 \text{ mm}$$

$$\frac{z_1}{z_g} = \frac{P_T \cdot i \cdot i_1}{P} = \frac{6 \text{ mm} \cdot 40 \cdot 1}{540 \text{ mm}} = \frac{240}{540}$$

$$= \frac{4}{9} = \frac{32}{72}$$

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{9} = \frac{4}{9} = 4 \frac{12}{27}$$

مثال 2: قطعه کاری با قطر $d = 120 \text{ mm}$ باید 6 شیار مارپیچ با $P = 200 \text{ mm}$ داشته باشد . $i = 40$ ، $i_1 = 2$ ،
 $P_T = 4 \text{ mm}$
مطلوب است : زاویه تنظیم β ، چرخنده های تعویضی z_1/z_g و
چرخش دسته تقسیم n_k .

حل:

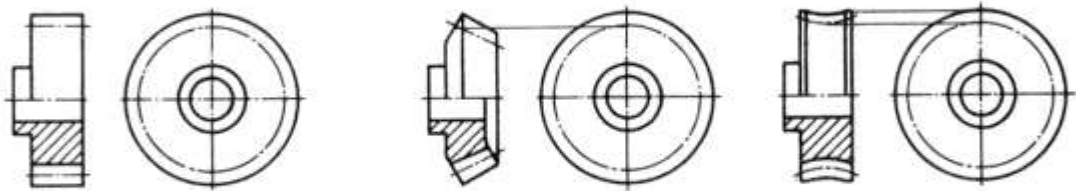
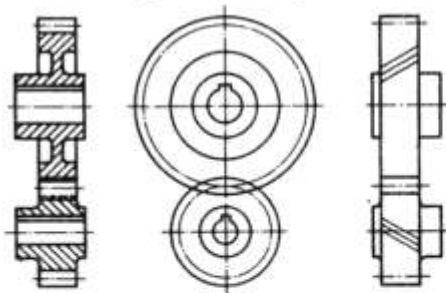
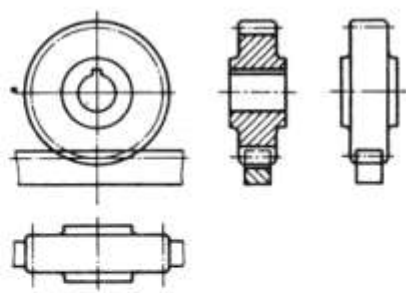
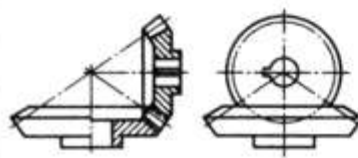
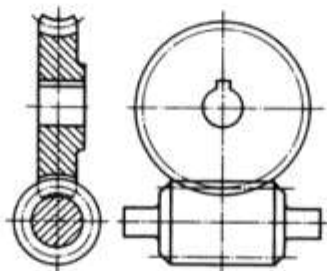
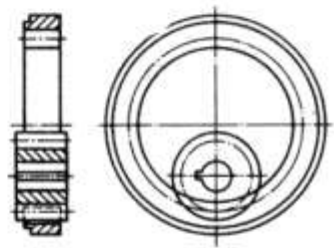
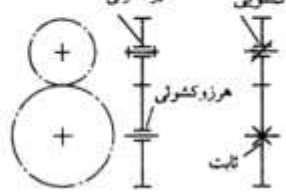
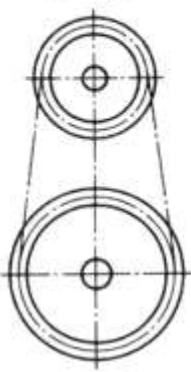
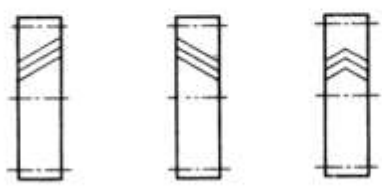
$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi \cdot d} = \frac{200 \text{ mm}}{\pi \cdot 120 \text{ mm}} = 0,5305$$

$$\alpha = 27,95^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 27,95^\circ = 62,05^\circ$$

$$\frac{z_1}{z_g} = \frac{P_T \cdot i \cdot i_1}{P} = \frac{4 \text{ mm} \cdot 40 \cdot 2}{200 \text{ mm}} = \frac{64}{40}$$

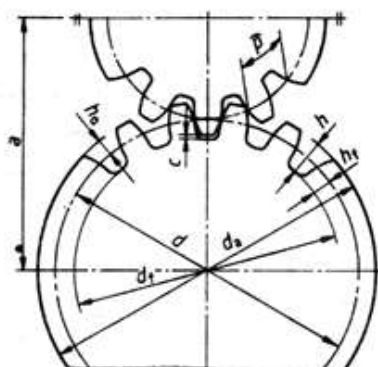
$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{6} = 6 \frac{4}{6} = 6 \frac{16}{24}$$

نمایش چرخدنده ها			چرخدنده ها
مقیاسه با (6.76) DIN ISO 2203			
			هنگام نمایش چرخدنده ها در نمای محور چرخدنده مخروطی، سطح مینا را به وسیله دایره گام بر روی مخروط پشتی نشان می دهند. هنگام نمایش چرخدنده ها در نمای محور چرخدنده مخروطی، سطح مینا را به وسیله دایره گام بر روی مخروط پشتی نشان می دهند. هنگام نمایش چرخدنده ها در نمای محور چرخدنده مخروطی، سطح مینا را به وسیله دایره گام بر روی مخروط پشتی نشان می دهند.
چرخدنده ساده خارجی			چرخدنده ساده با دندانه شانه ای
			
چرخدنده مخروطی (زاویه محورها 90°)			چرخ حلزون و حلزون
			
چرخدنده ساده داخلی			علامت
			مقیاسه با (12.61) DIN 37 روی محور: هرز و غیر هرز و کشویی هرز و کشویی تایت 
چرخ زنجیرها	جهت دندانه ها		
	چرخدنده های ساده  دندانه مایل چپ دندانه مایل راست دندانه پیکانی یا اجنای		

محاسبه چرخنده‌ها

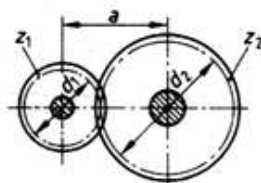
چرخنده ساده

محاسبه چرخنده ساده خارجی با دندانه راست

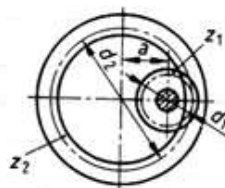


m	مدول
p	گام
d	قطر دایره گام
d_s	قطر دایره سر
d_f	قطر دایره پا
z	تعداد دندانه
h_s	ارتفاع سر دندانه
h_f	ارتفاع پای دندانه
h	ارتفاع دندانه
c	لقی سر دندانه

یک چرخنده ساده با دندانه راست، با مدول $m = 1 \text{ mm}$ دارای گامی برابر $p = \pi \cdot m$ ، اندازه قوسی روی دایره گام اندازه گیری می شود.



a	فاصله محور
d_1, d_2	قطر دایره گام
z_1, z_2	تعداد دندانه



مدول	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z}$
گام	$p = \pi \cdot m$
تعداد دندانه	$z = \frac{d}{m} = \frac{d_s - 2 \cdot m}{m}$
لقی سر دندانه	$c = 0,1 \cdot m \text{ تا } 0,3 \cdot m$ $c = 0,167 \cdot m$ اغلب
ارتفاع سر دندانه	$h_s = m$
قطر دایره گام	$d = m \cdot z = \frac{z \cdot p}{\pi}$
قطر دایره سر	$d_s = d + 2 \cdot m = m(z + 2)$
قطر دایره پا	$d_f = d - 2(m + c)$
ارتفاع دندانه	$h = 2 \cdot m + c$
ارتفاع پای دندانه	$h_f = m + c$

محاسبه چرخنده ساده داخلی با دندانه راست

قطر دایره سر	$d_s = d - 2 \cdot m = m(z - 2)$
قطر دایره پا	$d_f = d + 2(m + c)$
تعداد دندانه	$z = \frac{d}{m} = \frac{d_s + 2 \cdot m}{m}$

سایر اندازه ها مانند چرخنده ساده خارجی محاسبه می شود.

محاسبه فاصله محورها

فاصله محور دو چرخنده خارجی	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$
فاصله محور دو چرخنده داخلی	$a = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$

مثال: در چرخنده ساده داخلی

حل:

$$c = 0,167 \cdot m, z = 80, m = 1,5 \text{ mm}, h = ?, d = ?, d_s = ?$$

$$d = m \cdot z = 1,5 \text{ mm} \cdot 80 = 120 \text{ mm}$$

$$d_s = d - 2 \cdot m = 120 \text{ mm} - 2 \cdot 1,5 \text{ mm} = 117 \text{ mm}$$

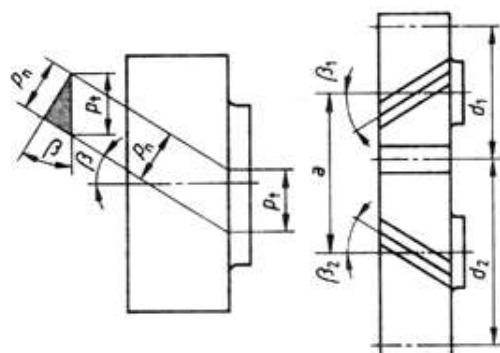
$$h = 2 \cdot m + c = 2 \cdot 1,5 \text{ mm} + 0,167 \cdot 1,5 \text{ mm} = 3,25 \text{ mm}$$

محاسبه چرخنده‌ها

چرخنده ساده با دندانه مایل

محاسبه چرخنده ساده خارجی با دندانه مایل

برای محاسبه قطر دایره گام چرخنده ساده خارجی با دندانه مایل باید به جای مدول نرمال m_n مدول پیشانی m_t را به کار برد. در حالت محور موازی، یک چرخنده راست گام و چرخنده دیگر چپ گام است. زاویه دندانه هردو چرخنده برابر است، یعنی $\beta_1 = \beta_2$ معمولاً β برابر $25^\circ - 8^\circ$ است.



d, d_1, d_2 قطر دایره گام
 d_a قطر دایره سر
 β زاویه دندانه
 z تعداد دندانه
 a فاصله محور
 p_n گام نرمال
 p_t گام پیشانی
 m_n مدول نرمال
 m_t مدول پیشانی

در چرخنده های ساده با دندانه مایل دندانه ها به صورت پیچی شکل روی بدنه استوانه ای چرخنده قرار می گیرد. ابزارهای ساخت چرخنده های پیشانی بر حسب مدول نرمال تعیین می شود.

مدول پیشانی	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{p_t}{\pi}$
گام پیشانی	$p_t = \frac{p_n}{\cos \beta} = \frac{\pi \cdot m_n}{\cos \beta}$
قطر دایره گام	$d = m_t \cdot z = \frac{z \cdot m_n}{\cos \beta}$
تعداد دندانه	$z = \frac{d}{m_t} = \frac{\pi \cdot d}{p_t}$
مدول نرمال	$m_n = \frac{p_n}{\pi} = m_t \cdot \cos \beta$
گام نرمال	$p_n = \pi \cdot m_n = p_t \cdot \cos \beta$
قطر دایره سر	$d_a = d + 2 \cdot m_n$
فاصله محور	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$

ارتفاع دندانه، ارتفاع سر دندانه، ارتفاع پای دندانه و لقی سر دندانه مانند فرمولهای چرخنده ساده با دندانه راست محاسبه می شود.

مثال: برای ساخت چرخنده با دندانه مایل با 32 دندانه، مدول نرمال $m_n = 1,5 \text{ mm}$ و زاویه دندانه $\beta = 19,5^\circ$ ، تمامی اندازه های لازم را با داشتن $c = 0,167 \cdot m$ محاسبه کنید.

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} = \frac{1,5 \text{ mm}}{\cos 19,5^\circ} = 1,591 \text{ mm}$$

$$d = d + 2 \cdot m_n = 50,9 \text{ mm} + 2 \cdot 1,5 \text{ mm} = 53,9 \text{ mm}$$

$$\text{حل: } d = m_t \cdot z = 1,591 \text{ mm} \cdot 32 = 50,9 \text{ mm}$$

$$h = 2 \cdot m_n + c = 2 \cdot 1,5 \text{ mm} + 0,167 \cdot 1,5 \text{ mm} = 3,25 \text{ mm}$$

مقایسه با DIN 780 T1, T2 (5.77)

سری مدول

سری 1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25
گام	0,628	0,785	0,943	1,257	1,571	1,885	2,199	2,513	2,827	3,142	3,927
سری 1	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0
گام	4,712	6,283	7,854	9,425	12,566	15,708	18,850	25,132	31,416	37,699	50,265

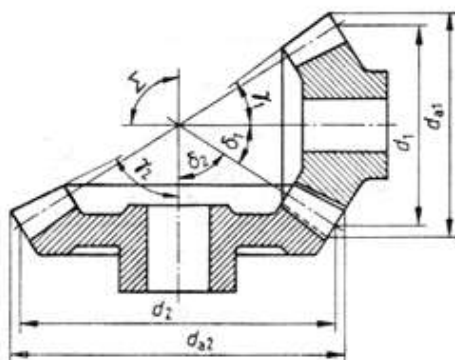
 تقسیم بندی سری فرزهای پولکی 8- مدولی (تا $m=9 \text{ mm}$)

شماره - فرز	1	2	3	4	5	6	7	8
دندانه شانه ای	12...13	14...16	17...20	21...25	26...34	35...54	55...134	135 ...

 برای چرخنده با $m > 9 \text{ mm}$ یک سری فرز پولکی 15 مدولی به کار می رود.

محاسبه چرخنده ها

چرخنده مخروطی با دندانه راست



زاویه محور Σ غالباً 90° است، البته می تواند بزرگتر و کوچکتر از مقدار فوق باشد.

محاسبه چرخنده های مخروطی

نام	چرخنده متحرك	چرخنده محرك
قطر دایره گام	$d_1 = m \cdot z_1$	$d_2 = m \cdot z_2$
قطر خارجی	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_2$
زاویه مخروط	$\tan \gamma_1 = \frac{z_1 + 2 \cdot \cos \delta_1}{z_2 - 2 \cdot \sin \delta_1}$	$\tan \gamma_2 = \frac{z_2 + 2 \cdot \cos \delta_2}{z_1 - 2 \cdot \sin \delta_2}$
زاویه دایره گام	$\tan \delta_1 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i}$	$\tan \delta_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = i$
زاویه محورها	$\Sigma = \delta_1 + \delta_2$	

لقی سر، ارتفاع دندانه، ارتفاع سر دندانه و غیره مانند چرخنده ساده است.

مثال: سیستم محرکه چرخنده مخروطی با مدول $m = 2 \text{ mm}$ ، $z_2 = 120$ ، $z_1 = 30$ ، $\Sigma = 90^\circ$ ، اندازه های لازم جهت تراشکاری چرخنده های مخروطی را حساب کنید.

چرخنده متحرك

$$\tan \delta_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{30}{120} = 0,25; \quad \delta_1 = 14,04^\circ$$

حل:

$$d_1 = m \cdot z_1 = 2 \text{ mm} \cdot 30 = 60 \text{ mm}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_1 = 60 \text{ mm} + 2 \cdot 2 \text{ mm} \cdot \cos 14,04^\circ = 63,88 \text{ mm}$$

$$\tan \gamma_1 = \frac{z_1 + 2 \cdot \cos \delta_1}{z_2 - 2 \cdot \sin \delta_2} = \frac{30 + 2 \cdot \cos 14,04^\circ}{120 - 2 \cdot \sin 14,04^\circ} = 0,267$$

$$\gamma_1 = 14,95^\circ$$

چرخنده محرك

$$\tan \delta_2 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{120}{30} = 4; \quad \delta_2 = 75,96^\circ$$

حل:

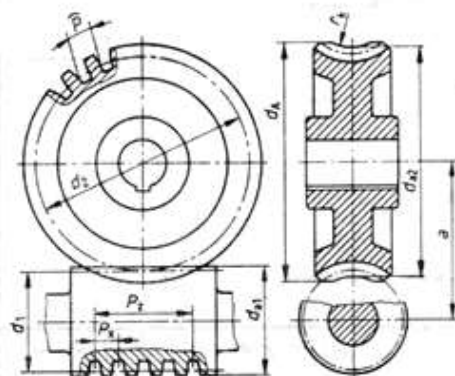
$$d_2 = m \cdot z_2 = 2 \text{ mm} \cdot 120 = 240 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m \cdot \cos \delta_2 = 240 \text{ mm} + 2 \cdot 2 \text{ mm} \cdot \cos 75,96^\circ = 240,97 \text{ mm}$$

$$\tan \gamma_2 = \frac{z_2 + 2 \cdot \cos \delta_2}{z_1 - 2 \cdot \sin \delta_2} = \frac{120 + 2 \cdot \cos 75,96^\circ}{30 - 2 \cdot \sin 75,96^\circ} = 4,294$$

$$\gamma_2 = 76,89^\circ$$

سیستم محرکه چرخنده حلزونی



لقی سر، ارتفاع دندانه، ارتفاع سر دندانه و ارتفاع پای دندانه مانند چرخنده ساده است.

محاسبه سیستم محرکه چرخنده حلزونی

نام	حلزون	چرخ حلزون
قطر دایره گام	$d_1 = \text{اندازه نامی}$	$d_2 = m \cdot z_2$
گام	$p_x = \pi \cdot m$	$p = \pi \cdot m$
قطر دایره سر	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m$	$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m$
قطر خارجی		$d_A = d_{a2} + m$
شعاع سر دندانه		$r_k = \frac{d_1}{2} - m$
ارتفاع گام	$p_z = p_x \cdot z_1 = \pi \cdot m \cdot z_1$	
فاصله محور	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$	

مثال: در یک سیستم محرکه چرخنده حلزونی با مدول $m = 2,5 \text{ mm}$ باید حلزون دو دندانه (= دو راهه) و با قطر گام $d_1 = 40 \text{ mm}$ و چرخ حلزون با $z_2 = 40$ باشد. سایر اندازه ها را حساب کنید.

حلزون

$$p_z = \pi \cdot z_1 \cdot m = \pi \cdot 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 15,708$$

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 40 \text{ mm} + 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 45 \text{ mm}$$

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{40 \text{ mm} + 100 \text{ mm}}{2} = 70 \text{ mm}$$

چرخ حلزون

حل:

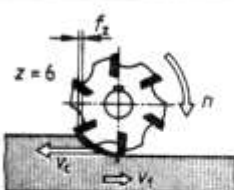
$$d_2 = m \cdot z_2 = 2,5 \text{ mm} \cdot 40 = 100 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 100 \text{ mm} + 2 \cdot 2,5 \text{ mm} = 105 \text{ mm}$$

$$d_A = d_{a2} + m = 105 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm} = 107,5 \text{ mm}$$

$$r_k = \frac{d_1}{2} - m = \frac{40 \text{ mm}}{2} - 2,5 \text{ mm} = 17,5 \text{ mm}$$

محاسبه دور و سرعت پیش روی

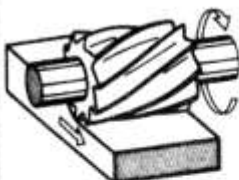
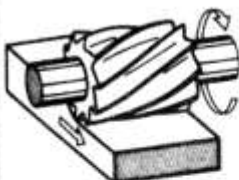
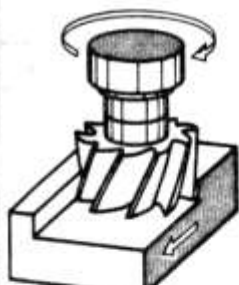
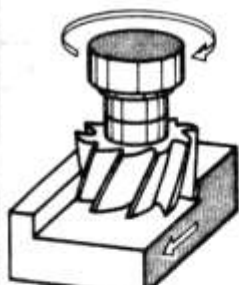
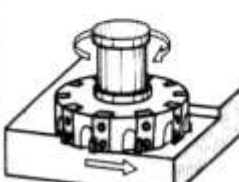


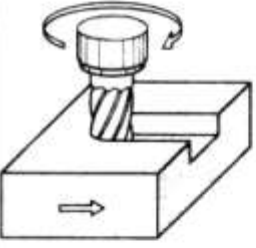
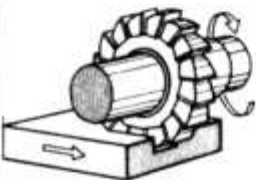
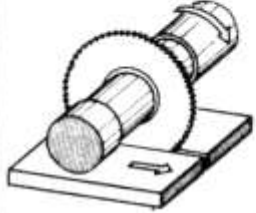
v_c	سرعت براده برداری
v_f	سرعت پیش روی
d	قطر تیغه فرز
n	دور تیغه فرز
f_z	پیش روی هر لبه تیغه فرز
z	تعداد لبه براده برداری

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

مقادیر محدودی سرعت براده برداری v_c به m/min و پیش روی f_z به mm / فرز

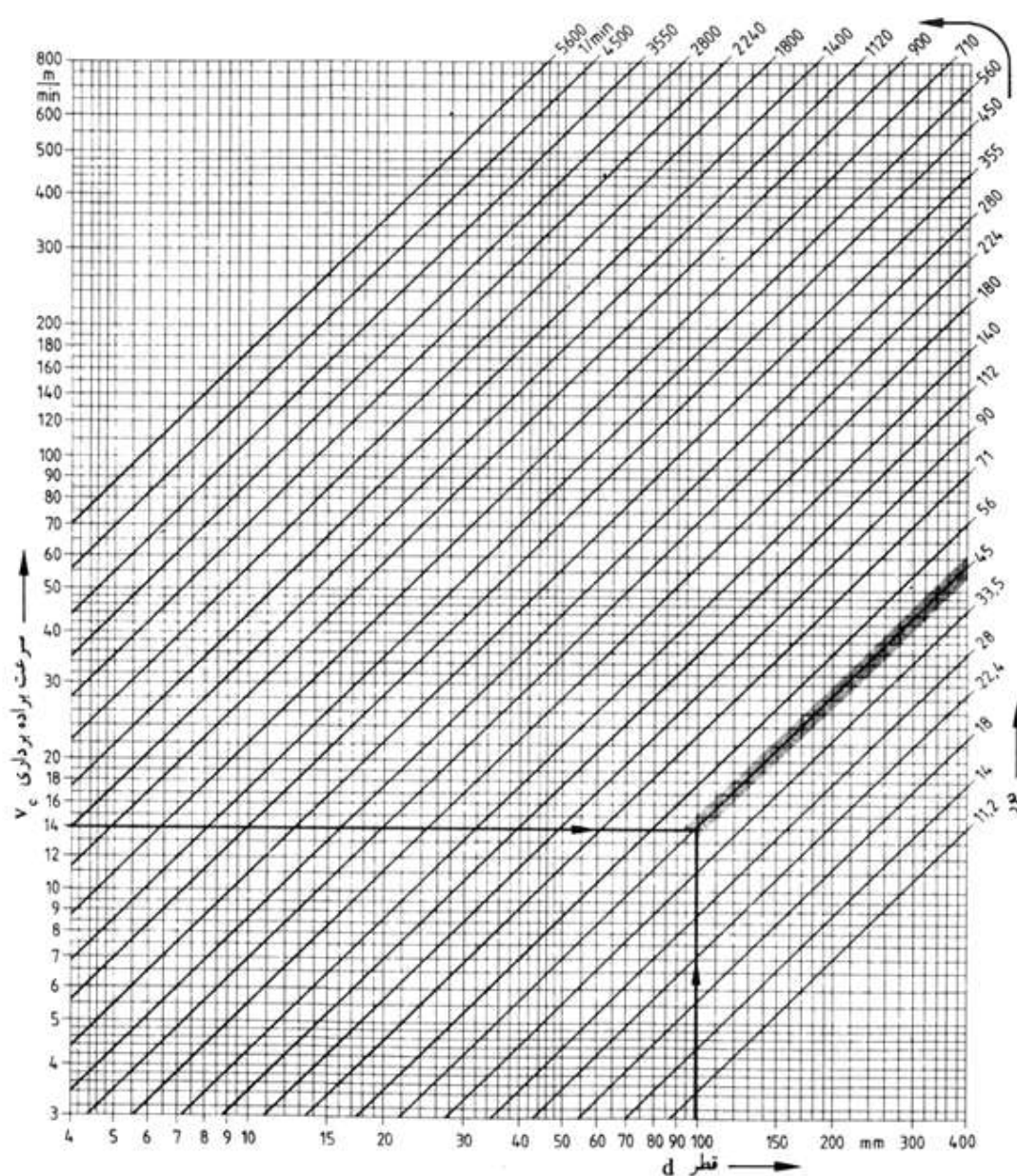
فلزات سبک	آلیاژهای مس	چدن سختی تا 180 HB	فولاد آلیاژی تا R_m 1000N/mm ²	فولاد آلیاژی تا R_m 750N/mm ²	مواد غیر آلیاژی تا R_m 700N/mm ²	نوع ماشینکاری	تیغه فرز	
تیغه فرزهای از جنس فولاد تند بر								
	خشن تراشی	v_c	30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...210
		f_z	0,1...0,2	0,1...0,15	0,1...0,15	0,1...0,3	0,1...0,25	0,15...0,2
	پرداخت	v_c	30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	200...300
		f_z	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1	0,1...0,15	0,1...0,15	0,1...0,15
تیغه فرز با لبه های براده برداری فلز سخت								
	خشن تراشی	v_c	80...150	80...150	60...120	70...120	150...400	350...800
		f_z	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,2...0,4	0,1...0,2	0,15
	پرداخت	v_c	100...200	100...200	80...150	100...160	150...400	400...1200
		f_z	0,05...0,15	0,05...0,15	0,03...0,1	0,1...0,2	0,05...0,1	0,08
تیغه فرزهای از جنس فولاد تند بر								
	خشن تراشی	v_c	30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...250
		f_z	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,15	0,15...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
	پرداخت	v_c	30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	200...300
		f_z	0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2
تیغه فرز با لبه های براده برداری فلز سخت								
	خشن تراشی	v_c	80...150	80...150	60...120	70...120	150...400	350...800
		f_z	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,08...0,15	0,1...0,2
	پرداخت	v_c	100...300	100...300	80...150	100...160	150...400	400...1200
		f_z	0,1...0,2	0,1...0,2	0,06...0,15	0,1...0,2	0,05...0,1	0,08...0,15
تیغه فرز با لبه های براده برداری تکه وید بایی								
	خشن تراشی	v_c	80...150	80...150	60...120	70...120	150...400	350...800
		f_z	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,1...0,3	0,08...0,15	0,1...0,2
	پرداخت	v_c	100...300	100...300	80...150	100...160	150...400	400...1200
		f_z	0,1...0,2	0,1...0,2	0,06...0,15	0,1...0,2	0,05...0,1	0,08...0,15

فرزکاری							
مقادیر حدودی سرعت براده برداری v_c به m/min ، پیش روی f_z به mm تیغه فرز/ mm و سرعت پیش روی v_f به mm/min							
ابزار فرزکاری	نوع ماشینکاری	R_m تا $700 N/mm^2$	فولاد R_m تا $750 N/mm^2$	R_m تا $1000 N/mm^2$	چدن، سختی 180 HB	آلیاژهای مس	فلزات سبک
تیغه فرز انگشتی 	تیغه فرزهای فولاد تندبر						
	خشن تراشی	v_c 30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...250
		f_z 0,1...0,2	0,1...0,15	0,05...0,1	0,15...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
	پرداخت	v_c 30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...250
		f_z 0,04...0,1	0,04...0,1	0,02...0,1	0,07...0,2	0,05...0,2	0,04...0,2
	تیغه فرزهای فلزات سخت						
	خشن تراشی	v_c 80...120	80...120	60...100	80...120	120...300	200...800
		f_z 0,04...0,15	0,04...0,15	0,04...0,1	0,06...0,15	0,08...0,15	0,60...0,1
	پرداخت	v_c 100...150	100...150	80...120	80...120	150...300	1200
		f_z 0,04...0,1	0,04...0,1	0,04...0,1	0,04...0,1	0,06...0,1	0,06...0,1
تیغه فرز پولکی 	تیغه فرزهای فولاد تندبر						
	خشن تراشی	v_c 30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...250
		f_z 0,1...0,2	0,1...0,15	0,1...0,15	0,15...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
	پرداخت	v_c 30...40	25...30	15...20	20...25	60...150	150...250
		f_z 0,05...0,1	0,05...0,1	0,05...0,1	0,07...0,2	0,07...0,2	0,07...0,2
	تیغه فرزهای با صفحات الماسه						
	خشن تراشی	v_c 100...180	100...160	80...120	80...120	120...300	200...800
		f_z 0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3	0,15...0,3	0,1...0,2
	پرداخت	v_c 120...250	120...250	100...150	100...160	150...300	300...800
		f_z 0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,3	0,1...0,2
تیغه فرز اره ای 	تیغه فرزهای اره ای فولاد تندبر						
	عمق براده برداری $< 5 mm$	v_c 45...50	35...40	25...40	25...45	100...200	200...400
		f_z 80...160	80...160	63...100	80...200	100...1000	—
	عمق براده برداری 5...10mm	v_c 40...45	30...35	20...25	30...35	300...400	300...350
		f_z 63...250	63...200	40...80	80...125	400...800	320...1600
	عمق براده برداری 10...15mm	v_c 35...40	25...30	15...20	20...30	300...350	200...300
		f_z 40...63	40...63	32...63	50...63	80...360	250...1000

نمودار دور

در ماشینهای ابزار اغلب باید با داشتن قطر d قطعه کار و سرعت براده برداری ممکن v_c ، دور محور n ماشین ابزار تعیین گردد. این کار را می توان به طور محاسباتی به کمک فرمول $v_c = \pi \cdot d \cdot n$ و یا گرافیکی و به وسیله نمودار دور یا نمودار انجام داد، که غالباً روی ماشینهای ابزار با دور قابل تنظیم موجود می باشد. دور محور کار با پرش هندسی یا پیوسته قابل تنظیم می باشند.

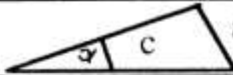
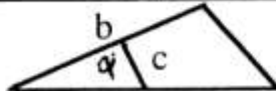
نمودار دور با محورهای تقسیمی لگاریتمی



$d = 100 \text{ mm}$; $v_c = 14 \frac{\text{m}}{\text{min}}$; $n = ?$ به دست آمده : $n = 45 \text{ min}^{-1}$

مثال خواندن نمودار:

0...45° سینوس		$\sin \varphi = \frac{a}{c}$						$a=c \cdot \sin \varphi$		$c = \frac{a}{\sin \varphi}$	
دقیقه											
درجه	0	10	20	30	40	50	60				
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89			
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88			
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0436	0,0465	0,0494	0,0523	87			
3	0,0523	0,0552	0,0581	0,0610	0,0640	0,0669	0,0698	86			
4	0,0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843	0,0872	85			
5	0,0872	0,0901	0,0929	0,0958	0,0987	0,1016	0,1045	84			
6	0,1045	0,1074	0,1103	0,1132	0,1161	0,1190	0,1219	83			
7	0,1219	0,1248	0,1276	0,1305	0,1334	0,1363	0,1392	82			
8	0,1392	0,1421	0,1449	0,1478	0,1507	0,1536	0,1564	81			
9	0,1564	0,1593	0,1622	0,1650	0,1679	0,1708	0,1736	80			
10	0,1736	0,1765	0,1794	0,1822	0,1851	0,1880	0,1908	79			
11	0,1908	0,1937	0,1965	0,1994	0,2022	0,2051	0,2079	78			
12	0,2079	0,2108	0,2136	0,2164	0,2193	0,2221	0,2250	77			
13	0,2250	0,2278	0,2306	0,2334	0,2363	0,2391	0,2419	76			
14	0,2419	0,2447	0,2476	0,2504	0,2532	0,2560	0,2588	75			
15	0,2588	0,2616	0,2644	0,2672	0,2700	0,2728	0,2756	74			
16	0,2756	0,2784	0,2812	0,2840	0,2868	0,2896	0,2924	73			
17	0,2924	0,2952	0,2979	0,3007	0,3035	0,3062	0,3090	72			
18	0,3090	0,3118	0,3145	0,3173	0,3201	0,3228	0,3256	71			
19	0,3256	0,3283	0,3311	0,3338	0,3365	0,3393	0,3420	70			
20	0,3420	0,3448	0,3475	0,3502	0,3529	0,3557	0,3584	69			
21	0,3584	0,3611	0,3638	0,3665	0,3692	0,3719	0,3746	68			
22	0,3746	0,3773	0,3800	0,3827	0,3854	0,3881	0,3907	67			
23	0,3907	0,3934	0,3961	0,3987	0,4014	0,4041	0,4067	66			
24	0,4067	0,4094	0,4120	0,4147	0,4173	0,4200	0,4226	65			
25	0,4226	0,4253	0,4279	0,4305	0,4331	0,4358	0,4384	64			
26	0,4384	0,4410	0,4436	0,4462	0,4488	0,4514	0,4540	63			
27	0,4540	0,4566	0,4592	0,4617	0,4643	0,4669	0,4695	62			
28	0,4695	0,4720	0,4746	0,4772	0,4796	0,4823	0,4848	61			
29	0,4848	0,4874	0,4899	0,4924	0,4950	0,4975	0,5000	60			
30	0,5000	0,5025	0,5050	0,5075	0,5100	0,5125	0,5150	59			
31	0,5150	0,5175	0,5200	0,5225	0,5250	0,5275	0,5299	58			
32	0,5299	0,5324	0,5348	0,5373	0,5398	0,5422	0,5446	57			
33	0,5446	0,5471	0,5495	0,5519	0,5544	0,5568	0,5592	56			
34	0,5592	0,5616	0,5640	0,5664	0,5688	0,5712	0,5736	55			
35	0,5736	0,5760	0,5783	0,5807	0,5831	0,5854	0,5878	54			
36	0,5878	0,5901	0,5925	0,5948	0,5972	0,5995	0,6018	53			
37	0,6018	0,6041	0,6065	0,6088	0,6111	0,6134	0,6157	52			
38	0,6157	0,6180	0,6202	0,6225	0,6248	0,6271	0,6293	51			
39	0,6293	0,6316	0,6338	0,6361	0,6383	0,6406	0,6428	50			
40	0,6428	0,6450	0,6472	0,6494	0,6517	0,6539	0,6561	49			
41	0,6561	0,6583	0,6604	0,6626	0,6648	0,6670	0,6691	48			
42	0,6691	0,6713	0,6734	0,6756	0,6777	0,6799	0,6820	47			
43	0,6820	0,6841	0,6862	0,6884	0,6905	0,6926	0,6947	46			
44	0,6947	0,6967	0,6988	0,7009	0,7030	0,7050	0,7071	45			
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°		درجه		
دقیقه											
$\cos \varphi = \frac{b}{c}$ $b=c \cdot \cos \varphi$ $c = \frac{b}{\cos \varphi}$										کسینوس 45...90°	

45...90° سینوس								
دقیقه								
درجه	0	10	20	30	40	50	60	
45	0,7071	0,7092	0,7112	0,7133	0,7153	0,7173	0,7193	44
46	0,7193	0,7214	0,7234	0,7254	0,7274	0,7294	0,7314	43
47	0,7314	0,7333	0,7353	0,7373	0,7392	0,7412	0,7431	42
48	0,7431	0,7451	0,7470	0,7490	0,7509	0,7528	0,7547	41
49	0,7547	0,7566	0,7585	0,7604	0,7623	0,7642	0,7660	40
50	0,7660	0,7679	0,7698	0,7716	0,7735	0,7753	0,7771	39
51	0,7771	0,7790	0,7808	0,7826	0,7844	0,7862	0,7886	38
52	0,7880	0,7898	0,7916	0,7934	0,7951	0,7969	0,7986	37
53	0,7986	0,8004	0,8021	0,8039	0,8056	0,8073	0,8090	36
54	0,8090	0,8107	0,8124	0,8141	0,8158	0,8175	0,8192	35
55	0,8192	0,8208	0,8225	0,8241	0,8258	0,8274	0,8290	34
56	0,8290	0,8307	0,8323	0,8339	0,8355	0,8371	0,8387	33
57	0,8387	0,8403	0,8418	0,8434	0,8450	0,8465	0,8480	32
58	0,8480	0,8496	0,8511	0,8526	0,8542	0,8557	0,8572	31
59	0,8572	0,8587	0,8601	0,8616	0,8631	0,8646	0,8660	30
60	0,8660	0,8675	0,8689	0,8704	0,8718	0,8732	0,8746	29
61	0,8746	0,8760	0,8774	0,8788	0,8802	0,8816	0,8829	28
62	0,8829	0,8843	0,8857	0,8870	0,8884	0,8897	0,8910	27
63	0,8910	0,8923	0,8936	0,8949	0,8962	0,8975	0,8988	26
64	0,8988	0,9001	0,9013	0,9026	0,9038	0,9051	0,9063	25
65	0,9063	0,9075	0,9088	0,9100	0,9112	0,9124	0,9135	24
66	0,9135	0,9147	0,91259	0,9171	0,9182	0,9194	0,9205	23
67	0,9205	0,9216	0,9228	0,9239	0,9250	0,9261	0,9272	22
68	0,9272	0,9283	0,9293	0,9304	0,9315	0,9325	0,9336	21
69	0,9336	0,9346	0,9356	0,9367	0,9377	0,9387	0,9397	20
70	0,9397	0,9407	0,9417	0,9426	0,9436	0,9446	0,9455	19
71	0,9455	0,9465	0,9474	0,9483	0,9492	0,9502	0,9511	18
72	0,9511	0,9520	0,9528	0,9537	0,9546	0,9555	0,9563	17
73	0,9563	0,9572	0,9580	0,9588	0,9596	0,9605	0,9613	16
74	0,9613	0,9621	0,9628	0,9636	0,9644	0,9652	0,9659	15
75	0,9659	0,9667	0,9674	0,9681	0,9689	0,9696	0,9703	14
76	0,9703	0,9710	0,9717	0,9724	0,9730	0,9737	0,9744	13
77	0,9744	0,9750	0,9757	0,9763	0,9769	0,9775	0,9781	12
78	0,9781	0,9787	0,9793	0,9799	0,9805	0,9811	0,9816	11
79	0,9816	0,9822	0,9827	0,9833	0,9838	0,9843	0,9848	10
80	0,9848	0,9853	0,9858	0,9863	0,9868	0,9872	0,9877	9
81	0,9877	0,9881	0,9886	0,9890	0,9894	0,9899	0,9903	8
82	0,9903	0,9907	0,9911	0,9914	0,9918	0,9922	0,9925	7
83	0,9925	0,9929	0,9932	0,9936	0,9939	0,9942	0,9945	6
84	0,9945	0,9948	0,9951	0,9954	0,9957	0,9959	0,9962	5
85	0,9962	0,9964	0,9967	0,9969	0,9971	0,9974	0,9976	4
86	0,9976	0,9978	0,9980	0,9981	0,9983	0,9985	0,9986	3
87	0,9986	0,9988	0,9989	0,9990	0,9992	0,9993	0,9994	2
88	0,9994	0,9995	0,9996	0,9997	0,9997	0,9998	0,99985	1
89	0,99985	0,99989	0,99993	0,99996	0,99998	0,99999	1,0000	0
	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	درجه
دقیقه								
0...45° کسینوس								

0...45° کاترانت		$\tan \alpha = \frac{a}{c}$ $a = b \cdot \tan \alpha$: $b = \frac{a}{\tan \alpha}$						
دقیقه								
درجه	0	10	20	30	40	50	60	
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0437	0,0466	0,0495	0,0524	87
3	0,0524	0,0553	0,0582	0,0612	0,0641	0,0670	0,0699	86
4	0,0699	0,0729	0,0758	0,0787	0,0816	0,0846	0,0875	85
5	0,0875	0,0904	0,0934	0,0963	0,0992	0,1022	0,1051	84
6	0,1051	0,1080	0,1110	0,1139	0,1169	0,1198	0,1228	83
7	0,1228	0,1257	0,1287	0,1317	0,1346	0,1376	0,1405	82
8	0,1405	0,1435	0,1465	0,1495	0,1524	0,1554	0,1584	81
9	0,1584	0,1614	0,1644	0,1673	0,1703	0,1733	0,1763	80
10	0,1763	0,1793	0,1823	0,1853	0,1883	0,1914	0,1944	79
11	0,1944	0,1974	0,2004	0,2035	0,2065	0,2095	0,2126	78
12	0,2126	0,2156	0,2186	0,2217	0,2247	0,2278	0,2309	77
13	0,2309	0,2339	0,2370	0,2401	0,2432	0,2462	0,2493	76
14	0,2493	0,2524	0,2555	0,2586	0,2617	0,2648	0,2679	75
15	0,2679	0,2711	0,2742	0,2773	0,2805	0,2836	0,2867	74
16	0,2867	0,2899	0,2931	0,2962	0,2994	0,3026	0,3057	73
17	0,3057	0,3089	0,3121	0,3153	0,3185	0,3217	0,3249	72
18	0,3249	0,3281	0,3314	0,3346	0,3378	0,3411	0,3443	71
19	0,3443	0,3476	0,3508	0,3541	0,3574	0,3607	0,3640	70
20	0,3640	0,3673	0,3706	0,3739	0,3772	0,3805	0,3839	69
21	0,3839	0,3872	0,3906	0,3939	0,3973	0,4006	0,4040	68
22	0,4040	0,4074	0,4108	0,4142	0,4176	0,4210	0,4245	67
23	0,4245	0,4279	0,4314	0,4348	0,4383	0,4417	0,4452	66
24	0,4452	0,4487	0,4522	0,4557	0,4592	0,4628	0,4663	65
25	0,4663	0,4699	0,4734	0,4770	0,4806	0,4841	0,4877	64
26	0,4877	0,4913	0,4950	0,4986	0,5022	0,5059	0,5095	63
27	0,5095	0,5132	0,5169	0,5206	0,5243	0,5280	0,5317	62
28	0,5317	0,5354	0,5392	0,5430	0,5467	0,5505	0,5543	61
29	0,5543	0,5581	0,5619	0,5658	0,5696	0,5735	0,5774	60
30	0,5774	0,5812	0,5851	0,5890	0,5930	0,5969	0,6009	59
31	0,6009	0,6048	0,6088	0,6128	0,6168	0,6208	0,6249	58
32	0,6249	0,6289	0,6330	0,6371	0,6412	0,6453	0,6494	57
33	0,6494	0,6536	0,6577	0,6619	0,6661	0,6703	0,6745	56
34	0,6745	0,6787	0,6830	0,6873	0,6916	0,6959	0,7002	55
35	0,7002	0,7046	0,7089	0,7133	0,7177	0,7221	0,7265	54
36	0,7265	0,7310	0,7355	0,7400	0,7445	0,7490	0,7536	53
37	0,7536	0,7581	0,7627	0,7673	0,7720	0,7766	0,7813	52
38	0,7813	0,7860	0,7907	0,7954	0,8002	0,8050	0,8098	51
39	0,8098	0,8146	0,8195	0,8243	0,8292	0,8342	0,8391	50
40	0,8391	0,8441	0,8491	0,8541	0,8591	0,8642	0,8693	49
41	0,8693	0,8744	0,8796	0,8847	0,8899	0,8952	0,9004	48
42	0,9004	0,9057	0,9110	0,9163	0,9217	0,9271	0,9325	47
43	0,9325	0,9380	0,9435	0,9490	0,9545	0,9601	0,9657	46
44	0,9657	0,9713	0,9770	0,9827	0,9884	0,9942	1,0000	45
	60	50	40	30	20	10	0	درجه
دقیقه								
		$\cos \alpha = \frac{b}{c}$ $b = c \cdot \cos \alpha$! $c = \frac{b}{\cos \alpha}$ 45...90° کتانرانت						

45...90° تانزان								
دقیقه								
درجه	0	10	20	30	40	50	60	
45	1,0000	1,0058	1,0117	1,0176	1,0235	1,0295	1,0355	44
46	1,0355	1,0416	1,0477	1,0538	1,0599	1,0661	1,0724	43
47	1,0724	1,0786	1,0850	1,0913	1,0977	1,1041	1,1106	42
48	1,1106	1,1171	1,1237	1,1303	1,1369	1,1436	1,1504	41
49	1,1504	1,1571	1,1640	1,1708	1,1778	1,1847	1,1918	40
50	1,1918	1,1988	1,2059	1,2131	1,2203	1,2276	1,2349	39
51	1,2349	1,2423	1,2497	1,2572	1,2647	1,2723	1,2799	38
52	1,2799	1,2876	1,2954	1,3032	1,3111	1,3190	1,3270	37
53	1,3270	1,3351	1,3432	1,3514	1,3597	1,3680	1,3764	36
54	1,3764	1,3848	1,3934	1,4019	1,4106	1,4193	1,4281	35
55	1,4281	1,4370	1,4460	1,4550	1,4641	1,4733	1,4826	34
56	1,4826	1,4919	1,5013	1,5108	1,5204	1,5301	1,5399	33
57	1,5399	1,5497	1,5597	1,5697	1,5798	1,5900	1,6003	32
58	1,6003	1,6107	1,6213	1,6318	1,6426	1,6534	1,6643	31
59	1,6643	1,6753	1,6864	1,6977	1,7090	1,7205	1,7321	30
60	1,7321	1,7438	1,7556	1,7675	1,7796	1,7917	1,8041	29
61	1,8041	1,8165	1,8291	1,8418	1,8546	1,8676	1,8807	28
62	1,8807	1,8940	1,9074	1,9210	1,9347	1,9486	1,9626	27
63	1,9626	1,9768	1,9912	2,0057	2,0204	2,0353	2,0503	26
64	2,0503	2,0655	2,0809	2,0965	2,1123	2,1283	2,1445	25
65	2,1445	2,1609	2,1775	2,1943	2,2113	2,2286	2,2460	24
66	2,2460	2,2637	2,2817	2,2998	2,3183	2,3369	2,3558	23
67	2,3559	2,3750	2,3945	2,4142	2,4342	2,4545	2,4751	22
68	2,4751	2,4960	2,5172	2,5387	2,5605	2,5826	2,6051	21
69	2,6051	2,6279	2,6511	2,6746	2,6985	2,7228	2,7475	20
70	2,7475	2,7725	2,7980	2,8239	2,8502	2,8770	2,9042	19
71	2,9042	2,9319	2,9600	2,9887	3,0178	3,0475	3,0777	18
72	3,0777	3,1084	3,1397	3,1716	3,2041	3,2371	3,2709	17
73	3,2709	3,3052	3,3402	3,3759	3,4124	3,4495	3,4874	16
74	3,4874	3,5261	3,5656	3,6059	3,6470	3,6891	3,7321	15
75	3,7321	3,7760	3,8208	3,8667	3,9136	3,9617	4,0108	14
76	4,0108	4,0611	4,1126	4,1653	4,2193	4,2747	4,3315	13
77	4,3315	4,3897	4,4494	4,5107	4,5736	4,6383	4,7046	12
78	4,7046	4,7729	4,8430	4,9152	4,9894	5,0658	5,1446	11
79	5,1446	5,2257	5,3093	5,3955	5,4845	5,5764	5,6713	10
80	5,6713	5,7694	5,8708	5,9758	6,0844	6,1970	6,3138	9
81	6,3138	6,4348	6,5605	6,6912	6,8269	6,9682	7,1154	8
82	7,1154	7,2687	7,4287	7,5958	7,7704	7,9530	8,1444	7
83	8,1444	8,3450	8,5556	8,7769	9,0098	9,2553	9,5144	6
84	9,5144	9,7882	10,0780	10,3854	10,7019	11,0594	11,4301	5
85	11,4301	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267	14,3007	4
86	14,3007	14,9244	15,6048	16,3499	17,1693	18,0750	19,0811	3
87	19,0811	20,2056	21,4704	22,9038	24,5418	26,4316	28,6363	2
88	28,6363	31,2416	34,3678	38,1885	42,9641	49,1039	57,2900	1
89	57,2900	68,7501	85,9398	114,5887	171,885	343,774		0
	60	50	40	30	20	10	0	درجه
دقیقه								
0...45° کتانزان								

مقیاسه با (8.66) DIN 7154 T1

انطباقات - ISO

محدوده تolerانس به μm ($1\mu m = 0,001 mm$)

سیستم ثبوت سوراخ

محدوده اندازه نامی تا... بالایی mm	سطح داخلی انطباق H6	سطح خارجی انطباق					سطح داخلی انطباق H7	سطح خارجی انطباق									
		محدوده تolerانس						محدوده تolerانس									
		لقی	عبوری			پرسی		لقی	عبوری			پرسی					
		h 5	j 6	k 6	n 5	p 5		f 7	g 6	h 6	j 6	k 6	m 6	n 6	r 6	s 6	
1...3	+ 6 0	0 - 4	+ 4 - 2	+ 6 0	+ 8 + 4	+10 + 6	+ 10 0	- 6 - 16	- 2 - 8	0 - 6	+ 4 - 2	+ 6 0	+ 8 + 2	+10 + 4	+ 16 + 10	+ 20 + 14	
3...6	+ 8 0	0 - 5	+ 6 - 2	+ 9 + 1	+13 + 8	+17 +12	+12 0	- 10 - 22	- 4 - 12	0 - 8	+ 6 - 2	+ 9 + 1	+12 + 4	+16 + 8	+ 23 + 15	+ 27 + 19	
6...10	+ 9 0	0 - 6	+ 7 - 2	+10 + 1	+16 +10	+21 +15	+15 0	- 13 - 28	- 5 - 14	0 - 9	+ 7 - 2	+10 + 1	+15 + 6	+19 +10	+ 28 + 19	+ 32 + 23	
10...14	+11 0	0 - 8	+ 8 - 3	+12 + 1	+20 +12	+26 +18	+18 0	- 16 - 34	- 6 - 17	0 - 11	+ 8 - 3	+12 + 1	+18 + 7	+23 +12	+ 34 + 23	+ 39 + 28	
14...18																	
18...24	+13 0	0 - 9	+ 9 - 4	+15 + 2	+24 +15	+31 +22	+21 0	- 20 - 41	- 7 - 20	0 - 13	+ 9 - 4	+15 + 2	+21 + 8	+28 +15	+ 41 + 28	+ 48 + 35	
24...30																	
30...40	+16 0	0 - 11	+11 - 5	+18 + 2	+28 +17	+37 +26	+25 0	- 25 - 50	- 9 - 25	0 - 16	+11 - 5	+18 + 2	+25 + 9	+33 +17	+ 50 + 34	+ 59 + 43	
40...50																	
50...65	+19 0	0 - 13	+12 - 7	+21 + 2	+33 +20	+45 +32	+30 0	- 30 - 60	- 10 - 29	0 - 19	+12 - 7	+ 4 - 2	+30 +11	+39 +20	+ 60 + 41	+ 72 + 53	
65...80																	
80...100	+22 0	0 - 15	+13 - 9	+25 + 3	+38 +23	+52 +37	+35 0	- 36 - 71	- 12 - 34	0 - 22	+13 - 9	+25 + 3	+35 +13	+45 +23	+ 73 + 51	+ 93 + 71	
100...120																	
120...140	+25 0	0 - 18	+14 - 11	+28 + 3	+45 +27	+61 +43	+40 0	- 43 - 83	- 14 - 39	0 - 25	+14 - 11	+28 + 3	+40 +15	+52 +27	+ 88 + 63	+117 + 92	
140...160																	
160...180																	
180...200	+29 0	0 - 20	+16 - 13	+33 + 4	+51 +31	+70 +50	+46 0	- 50 - 96	- 15 - 44	0 - 29	+16 - 13	+33 + 4	+46 +17	+60 +31	+106 + 77	+151 +122	
200...225																	
225...250																	
250...280	+32 0	0 - 23	+16 - 16	+36 + 4	+57 +34	+79 +56	+52 0	- 56 -108	- 17 - 49	0 - 32	+16 - 16	+36 + 4	+52 +20	+66 +34	+126 + 94	+190 +158	
280...315																	
315...355	+36 0	0 - 25	+18 - 18	+40 + 4	+62 +37	+87 +62	+57 0	- 62 -119	- 18 - 54	0 - 36	+18 - 18	+40 + 4	+57 +21	+73 +37	+144 +108	+226 +190	
355...400																	
355...400	+40 0	0 - 27	+20 - 20	+45 + 5	+67 +40	+95 +67	+63 0	- 68 -131	- 20 - 60	0 - 40	+20 - 20	+45 + 5	+63 +23	+80 +40	+166 +126	+272 +232	
355...500																	

[illegible]

مقیاسه با (8.66) DIN 7155 T1		انطباقات - ISO															
سیستم ثبوت میله																	
محدوده تolerانس به μm ($1 \mu m = 0.001 mm$)																	
محدوده اندازه نامی تا... بالایی mm	سطح خارجی انطباق h5	سطح داخلی انطباق محدوده تolerانس					سطح خارجی انطباق H6	سطح داخلی انطباق محدوده تolerانس									
		لغی	عبوری			پرسی		لغی	عبوری			پرسی					
			H 6	J 6	M 6				N 6	P 5	F 7		G 7	H 7	J 7	K 7	M 7
1...3	0 - 4	+ 6 0	+ 2 - 4	- 2 - 8	- 4 - 10	- 6 - 12	0 - 6	+ 16 + 6	+ 12 + 2	+ 10 0	+ 4 - 6	0 - 10	- 2 - 12	- 4 - 14	- 10 - 20	- 14 - 24	
3...6	0 - 5	+ 8 0	+ 5 - 3	- 1 - 9	- 5 - 13	- 9 - 17	0 - 8	+ 22 + 10	+ 16 + 4	+ 12 0	+ 6 - 6	+ 3 - 9	0 - 12	- 4 - 16	- 11 - 23	- 15 - 27	
6...10	0 - 6	+ 9 0	+ 5 - 4	- 3 - 12	- 7 - 16	- 12 - 21	0 - 9	+ 28 + 13	+ 20 + 5	+ 15 0	+ 8 - 7	+ 5 - 10	0 - 15	- 4 - 19	- 13 - 28	- 17 - 32	
10...18	0 - 8	+ 11 0	+ 6 - 5	- 4 - 15	- 9 - 20	- 15 - 26	0 - 11	+ 34 + 16	+ 24 + 6	+ 18 0	+ 10 - 8	+ 6 - 12	0 - 18	- 5 - 23	- 16 - 34	- 21 - 39	
18...30	0 - 9	+ 13 0	+ 8 - 5	- 4 - 17	- 11 - 24	- 18 - 31	0 - 13	+ 41 + 20	+ 28 + 7	+ 21 0	+ 12 - 9	+ 6 - 15	0 - 21	- 7 - 28	- 20 - 41	- 27 - 48	
30...40	0 - 11	+ 16 0	+ 10 - 6	- 4 - 20	- 12 - 28	- 21 - 37	0 - 16	+ 50 + 25	+ 34 + 9	+ 25 0	+ 14 - 11	+ 7 - 18	0 - 25	- 8 - 33	- 25 - 50	- 34 - 59	
40...50																	
50...65	0 - 13	+ 19 0	+ 13 - 6	- 5 - 24	- 14 - 33	- 26 - 45	0 - 19	+ 60 + 30	+ 40 + 10	+ 30 0	+ 18 - 12	+ 9 - 21	0 - 30	- 9 - 39	- 30 - 60	- 42 - 72	
65...80																	
80...100	0 - 15	+ 22 0	+ 16 - 6	- 6 - 28	- 16 - 38	- 30 - 52	0 - 22	+ 71 + 36	+ 47 + 12	+ 35 0	+ 22 - 13	+ 10 - 25	0 - 35	- 10 - 45	- 38 - 73	- 58 - 93	
100...120																	
120...140	0 - 18	+ 25 0	+ 18 - 7	- 8 - 33	- 20 - 45	- 36 - 61	0 - 25	+ 83 + 43	+ 54 + 14	+ 40 0	+ 26 - 14	+ 12 - 28	0 - 40	- 12 - 52	- 48 - 88	- 77 - 117	
140...160																	
160...180																	
180...200	0 - 20	+ 29 0	+ 22 - 7	- 8 - 37	- 22 - 51	- 41 - 70	0 - 29	+ 96 + 50	+ 61 + 15	+ 46 0	+ 30 - 16	+ 13 - 33	0 - 46	- 14 - 60	- 60 - 106	- 105 - 151	
200...225																	
225...250																	
250...280	0 - 23	+ 32 0	+ 25 - 7	- 9 - 41	- 25 - 57	- 47 - 79	0 - 32	+ 108 + 56	+ 69 + 17	+ 52 0	+ 36 - 16	+ 16 - 36	0 - 52	- 14 - 66	- 74 - 126	- 138 - 190	
280...315																	
315...355	0 - 25	+ 36 0	+ 29 - 7	- 10 - 46	- 26 - 62	- 51 - 87	0 - 36	+ 119 + 62	+ 75 + 18	+ 57 0	+ 39 - 18	+ 17 - 40	0 - 57	- 16 - 73	- 87 - 144	- 169 - 226	
355...400																	
400...450	0 - 27	+ 40 0	+ 33 - 7	- 10 - 50	- 27 - 67	- 55 - 97	0 - 40	+ 131 + 68	+ 83 + 20	+ 63 0	+ 43 - 20	+ 18 - 45	0 - 63	- 17 - 80	- 103 - 166	- 209 - 272	
450...500																	

DIN 7166 T1 (8.66)									ISO - انطباقات				
محدوده تolerانس به μm (1 μm = 0,001mm)													
محدوده اندازه نامی تا... بالای mm	سطح خارجی انطباق h9	سطح داخلی انطباق							سطح خارجی انطباق h11	سطح داخلی انطباق			
		محدوده تolerانس								محدوده تolerانس			
		لقی								لقی			
		C11	D10	E9	F8	H11	H8	P9		A11	C11	D11	H11
1...3	0 - 25	+ 120 + 60	+ 60 + 20	+ 39 + 14	+ 20 + 6	+ 60 0	+ 14 0	- 6 - 31	0 - 60	+ 330 + 270	+ 120 + 60	+ 80 + 20	+ 60 0
3...6	0 - 30	+ 145 + 70	+ 78 + 30	+ 50 + 20	+ 28 + 10	+ 75 0	+ 18 0	- 12 - 42	0 - 75	+ 345 + 270	+ 145 + 70	+ 105 + 30	+ 75 0
6...10	0 - 36	+ 170 + 80	+ 98 + 40	+ 61 + 25	+ 35 + 13	+ 90 + 0	+ 22 0	- 15 - 51	0 - 90	+ 370 + 280	+ 170 + 80	+ 130 + 40	+ 90 0
10...18	0 - 43	+ 205 + 95	+ 120 + 50	+ 75 + 32	+ 43 + 16	+ 110 0	+ 27 0	- 18 - 61	0 - 110	+ 400 + 290	+ 205 + 95	+ 160 + 50	+ 110 0
18...30	0 - 52	+ 240 + 110	+ 149 + 65	+ 92 + 40	+ 53 + 20	+ 130 0	+ 33 0	- 22 - 74	0 - 130	+ 430 + 300	+ 240 + 110	+ 195 + 65	+ 130 0
30...40	0 - 62	+ 280 + 120	+ 180 + 80	+ 112 + 50	+ 65 + 25	+ 160 0	+ 39 0	- 26 - 88	0 - 160	+ 470 + 310	+ 280 + 120	+ 240 + 80	+ 160 0
40...50		+ 480 + 320								+ 290 + 130			
50...65	0 - 74	+ 330 + 140	+ 220 + 100	+ 134 + 60	+ 76 + 30	+ 190 0	+ 46 0	- 32 - 106	0 - 190	+ 530 + 340	+ 330 + 140	+ 290 + 100	+ 190 0
65...80		+ 340 + 150								+ 550 + 360	+ 340 + 150		
80...100	0 - 87	+ 390 + 170	+ 260 + 120	+ 159 + 72	+ 90 + 36	+ 220 0	+ 54 0	- 37 - 124	0 - 220	+ 600 + 380	+ 390 + 170	+ 340 + 120	+ 220 0
100...120		+ 400 + 180								+ 630 + 410	+ 400 + 180		
120...140	0 - 100	+ 450 + 200	+ 305	+ 185	+ 106	+ 250 0	+ 63 0	- 43 - 143	0 - 250	+ 710 + 460	+ 450 + 200	+ 395 + 145	+ 220 0
140...160		+ 460 + 210								+ 770 + 520	+ 460 + 210		
160...180		+ 480 + 230								+ 820 + 580	+ 480 + 230		
180...200	0 - 115	+ 530 + 240	+ 355	+ 215	+ 122	+ 290 + 0	+ 72 0	- 50 - 165	0 - 290	+ 950 + 660	+ 530 + 240	+ 460 + 170	+ 290 0
200...225		+ 550 + 560								+ 1030 + 740	+ 550 + 260		
225...250		+ 570 + 280								+ 1110 + 820	+ 570 + 280		
250...280	0 - 130	+ 620 + 300	+ 400 + 190	+ 240 + 110	+ 137 + 56	+ 320 0	+ 81 0	- 56 - 186	0 - 320	+ 1240 + 920	+ 620 + 300	+ 510 + 190	+ 320 0
280...315		+ 650 + 330								+ 1370 + 1050	+ 650 + 330		
315...355	0 - 140	+ 720 + 360	+ 400 + 210	+ 265 + 125	+ 151 + 62	+ 360 0	+ 89 0	- 62 - 202	0 - 360	+ 1560 + 1200	+ 720 + 360	+ 570 + 210	+ 360 0
355...400		+ 760 + 400								+ 1710 + 1350	+ 760 + 400		
400...450	0 - 155	+ 840 + 440	+ 480 + 230	+ 290 + 135	+ 165 + 68	+ 400 0	+ 97 0	- 68 - 223	0 - 400	+ 1900 + 1500	+ 840 + 440	+ 630 + 230	+ 400 0
450...500		+ 880 + 480								+ 2050 + 1650	+ 880 + 480		

تولرانسهای هندسی و وضعی

نحوه بیان در نقشه کشی		مقایسه با DIN ISO 1101(3.85)	
اجزاء مورد نظر	مرجع	اصطلاحات عمومی	
حروف گمکی (در صورت لزوم) B مقدار تولرانس علامت تولرانس خط با پیکان مرجع جزء تولرانس	حرف مرجع خط مرجع مثلث مرجع جزء مرجع	هنگامی از تولرانسهای هندسی و وضعی در نقشه ها استفاده می شود که بنا به دلایل ساخت ، عملکرد یا قابلیت تعویض شدن قطعه کار ، به آن نیاز باشد.	
تولرانس بر اساس سطح و خط مرجع	مرجع یک سطح و یا یک خط است.	ابعاد چار چوب تولرانس	
تولرانس بر اساس سطح وسط شیار و محور قطر مرجع	مرجع ، سطح وسط شیار و محور قطر است.		
تولرانس بر اساس محور یا خط مرکزی مشترک	مرجع ، محور یا خط مرکزی مشترک است.		
منطقه تولرانس	توضیحات	علامت در نقشه فنی	علامت و معانی
	محور تولرانس استوانه (استوانه بیرون) باید در داخل استوانه ای به قطر $t = 0,04 \text{ mm}$ قرار گیرد.		راستی
	سطح تولرانی باید بین دو سطح موازی که فاصله آنها از یکدیگر $t = 0,03 \text{ mm}$ است قرار گیرد.		تختی
	خط پیرامون در هر سطح برش عمود بر محور باید بین دو دایره هم مرکز که فاصله آنها از یکدیگر $t = 0,08 \text{ mm}$ می باشد ، قرار گیرد.		گردی
	سطح پیرامون تولرانی استوانه باید بین دو استوانه هم-محور که به فاصله $t = 0,2 \text{ mm}$ از یکدیگر می-باشند ، قرار گیرد.		استوانه ای
	پروفیل تولرانی باید بین دو خط پوش که فاصله آنها توسط دوایری به قطر $t = 0,06 \text{ mm}$ محدود شده است ، قرار گیرد . مرکز این دایره ها بر روی خط ایده-آل قرار می گیرد.		فرم خطی
	سطح تولرانی بایستی بین دو سطح پوش که فاصله آنها توسط کره هائی به قطر $t = 0,3 \text{ mm}$ از یکدیگر محدود شده است ، قرار گیرد . مرکز کره ها بر روی سطح ایده آل هندسی قرار دارد.		فرم سطحی

تolerانسهای هندسی و وضعی

انواع تolerانس	علامت وضعی	علامت در نقشه فنی	توضیحات	منطقه تolerانس
تولرانس راستی	موازی بودن		سطح تولرانسی باید بین دو سطح که با محور مرجع A موازی بوده و فاصله آنها از یکدیگر $t = 0,3 \text{ mm}$ می باشد قرار گیرد.	
	عمود بودن		سطح عرضی تولرانسی باید بین دو سطح موازی که بر محور مرجع B عمود بوده و فاصله آنها از یکدیگر برابر $t = 0,04 \text{ mm}$ باشد، قرار گیرد.	
	شیب دار بودن		سطح تولرانسی شیب دار باید بین دو سطح موازی که نسبت به محور مرجع B شیب دار بوده و فاصله آنها از یکدیگر $t = 0,2 \text{ mm}$ می باشد، قرار گیرد. زاویه ایده آل هندسی 60° است.	
تولرانس مکانی	تولرانس موقعیت		هر خط تولرانسی مشخص شده باید بین دو خط موازی با فاصله $t = 0,08 \text{ mm}$ قرار گیرد.	
	هم مرکزی و هم محوری		محور قسمت تولرانس میله باید در داخل استوانه ای هم مرکز نسبت به محور مرجع A-B و به قطر $t = 0,3 \text{ mm}$ قرار گیرد.	
	تولرانس		سطح تولرانس میانی شیار باید بین دو سطح موازی با فاصله $t = 0,05 \text{ mm}$ قرار گیرد، که نسبت به دو سطح E خارجی متقارن می باشد.	
تولرانس دورانی	لنگی طولی		به هنگام دوران میله حول محور مرجع A-B انحراف لنگی طولی هر سطح اندازه گیری عمود بر محور نباید از $t = 0,3 \text{ mm}$ تجاوز نماید.	
	لنگی عرضی		به هنگام دوران میله حول محور مرجع F، انحراف لنگی عرضی در هر استوانه اندازه گیری نباید از $t = 0,3 \text{ mm}$ تجاوز نماید.	
تولرانس دورانی کل	لنگی طولی		به هنگام دوران حول محور مرجع C-D و جابه جایی محوری، تمام نقاط سطوح باید در داخل استوانه تو خالی به ضخامت $t = 0,3 \text{ mm}$ قرار گیرد.	
	لنگی عرضی		به هنگام دوران حول محور مرجع F و با جابه جایی در همه شعاعها تمام نقاط سطوح باید در فاصله $t = 0,2 \text{ mm}$ قرار گیرند.	

منابع

- (۱) چرخنده تراشی-نوشته احد آشوبی-انتشارات فن-چاپ سوم-شهریور ۱۳۷۰
- (۲) چرخنده تراشی-ترجمه مهرداد مرادی-انتشارات طراح-چاپ اول-زمستان ۱۳۸۳
- (۳) فرزکاری ۱ و ۲-نوشته مصطفی ضیائی-انتشارات آذریون-چاپ اول-۱۳۸۵
- (۴) جداول و استانداردهای طراحی و ماشین سازی-ترجمه عبدا... ولی نژاد-چاپ هفدهم-۱۳۸۲
- (۵) ماشینهای ابزار و روشهای تولید مدرسان شریف-مؤلف : علی جاریانی-انتشارات فرا آموزش-چاپ اول ۱۳۸۴
- (۶) طراحی اجزاء ماشین-جلد دوم-نوشته اسپاتز و ترجمه هدایت موتابی-انتشارات آشینا-چاپ پنجم ۱۳۷۴
- (۷) ماشینهای ابزار-نوشته ابراهیم صادقی-انتشارات دانشگاه علم و صنعت-جلد دوم-چاپ چهارم مهرماه ۱۳۷۳
- (۸) ماشینهای کنترل عددی کامپیوتری-نوشته محسن لطفی-انتشارات دیباگران تهران-چاپ اول تیرماه ۱۳۸۳
- (۹) اجزای ماشین-نوشته علی محمد برقی-شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران-وزارت آموزش و پرورش سال ۱۳۸۱
- (۱۰) دانش نامه ماشین کاری-نوشته رکس میلر و ترجمه احمد حجتی-انتشارات فنی ایران-جلد سوم-چاپ دوم ۱۳۸۰
- (۱۱) محاسبه و ساخت چرخندهها-تهیه و تنظیم مسعود مظهری-انتشارات سازمان فنی و حرفه ای کشور-چاپ اول-تیرماه ۱۳۷۹
- (۱۲) تکنولوژی فرزکاری-نوشته نوذر کیانیان-انتشارات سازمان فنی و حرفه ای کشور-چاپ دوم-۱۳۷۷

13) Technology of machine tools-By Steve Krar & William Oswald-McGRAW Hill Book Co.-Fourth Edition-1990