بـــه منظور محدود کردن تعداد تیغه فرزها برای هر چرخ‌دنده که شـــکل پهلوی آن‌ها با هم تفاوت زیادی ندارند. یک تیغه فرز در نظر گرفته شـــده است. به این ترتیب هر سری تیغه فرز شامل ۸ عدد از شماره ۱ تا ۸ به شرح زیر بوده و مورد اســـتفاده قرار می‌گیرد. در این جدول فرم منحنی بغل دنده و تعداد دنده مربوط به آن مشاهده می‌شود.

شماره‌ی تیغه فرز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
تعداد دنده‌ها	۱۲-۱۳	۱۴-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱-۲۵	۲۶-۳۴	۳۵-۵۴	۵۵-۱۳۴	۱۳۵-∞
فرم دنده تراشیده شده								

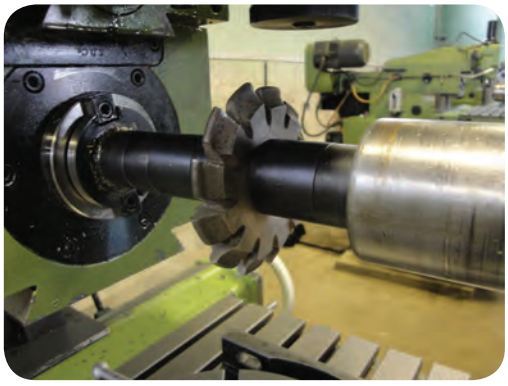
سری ۸ تایی تیغه فرزهای مدولی

برای تراشـــیدن چرخ‌دنده‌های دقیق‌تر سری ۱۵ تایی از تیغه فرزهای مدولی به شرح جدول زیر ساخته شده است.

شماره تیغه‌فرز	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_∞	–

سری۱۵تایی تیغه فرزهای مدولی

لازم به ذکر است تیغه فرزهای مدولی را بر روی هر دو نوع دستگاه فرز افقی و عمودی می توان بســـت. بر روی ماشین فرز افقی تیغه فرز مدولی همانند تیغه فرز غلطکی بر روی میله فرزگیر دوطرفه بسته می‌شود. درماشین فرز عمودی با استفاده از میله فرزگیر یک طرفه این کار انجام می‌شود.



بستن تیغه فرز مدولی بر روی میله فرزگیر یک و دو طرفه

۴-۷- ترتیب و مراحل ساخت چرخ‌دنده‌های ساده

برای ساخت چرخ‌دنده ساده باید تمام مراحل زیر را به ترتیب دنبال کنیم:

۱- محاسبات لازم جهت تراش چرخ‌دنده را انجام دهیم.

این محاسبات بر اساس داده‌های موجود می‌تواند صورت بگیرد. دانستن مدول، قطر خارجی، عمق هر دنده و میزان گردش دستگیره دستگاه تقسیم از مهم‌ترین موارد است.

۲- جنس چرخ‌دنده را مطابق نقشه انتخاب کنیم. موارد ۶،۵،۴،۳ و ۷ را بر روی ماشین تراش دنبال کنیم.

۳- در مرکز قطعه کار روی ماشین‌تراش، سوراخی ایجاد می‌کنیم. (جهت عبور درن یا محور مخروطی)

۴- یک طرف استوانه را پیشانی تراشی می‌نمائیم.

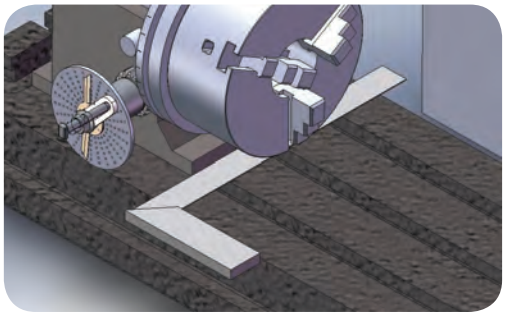
۵- استوانه را روی درن یا محور مخروطی شکل سوار می‌نمائیم.

سوار کردن قطعه بر روی محور مخروطی

۶- طرف دیگر اســـتوانه را که روی درن سوار و بین دو مرغک قرار دارد تا اندازه پهنای چرخ‌دنده (B) پیشانی‌تراشی می‌نمائیم.

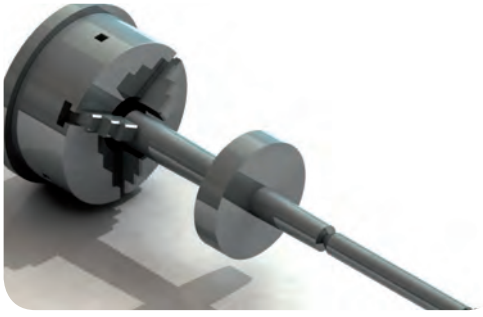
۷- استوانه را تا اندازه قطر خارجی حساب شده جهت چرخ‌دنده می‌تراشیم.

۸- دســـتگاه تقسیم را بر روی میز ماشـــین و به صورت صحیح مستقر می‌کنیم. تمیز بودن سطح میز و سفت کردن پیچ‌ها را مد نظر داشته باشیم.



نصب صحیح دستگاه تقسیم بر روی میز ماشین

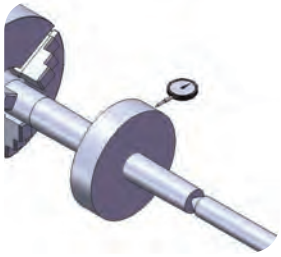
۹- درن یا محور را که اســـتوانه روی آن قرار دارد بین دو مرغک یا مرغک و سه نظام ماشین فرز افقی محکم می‌نمائیم.



سوار کردن درن بر روی دستگاه تقسیم

۱۰- صفحه سوراخ‌دار مناسب را بر اساس محاسبات انجام شده انتخاب و بر روی دستگاه تقسیم نصب کنیم. سایر متعلقات مثل قیچی، دستگیره، پیچ و مهره‌ها و ... را نیز در ادامه می‌بندیم.

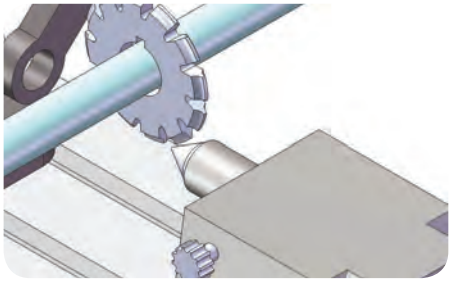
۱۱- دور بودن قطعه کار را با چرخش قطعه کار توسط دستگاه تقسیم و به کمک ساعت اندازه‌گیری کنترل می‌کنیم.



کنترل دور بودن قطعه با ساعت اندازه‌گیری

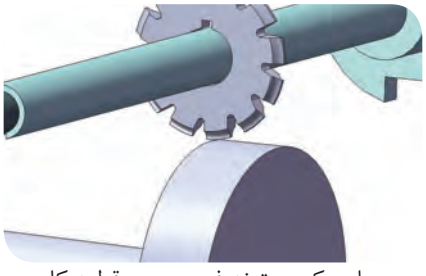
۱۲- عده دوران دستگاه، مایع خنک کننده مناسب و سایر شرایط لازم را تنظیم و کنترل می‌نماییم.

۱۳- تیغه فرز را روی محور ماشین فرز سوار نموده و سپس آن را با مرکز قطعه کار منطبق می‌کنیم. برای میزان کردن تیغه فرز از نوک مرغک کمک می‌گیریم.



منطبق کردن تیغه فرز با مرکز قطعه کار

۱۴- هنگام گردش تیغه فرز با حرکت طولی و عمودی میز ماشین تیغه فرز را روی چرخ مماس می‌کنیم.



مماس کردن تیغه فرز بر روی قطعه کار

۱۵- با حرکت عمودی میز ماشین قطعه کار را با اندازه h که ارتفاع دندانه است بار می‌دهیم.

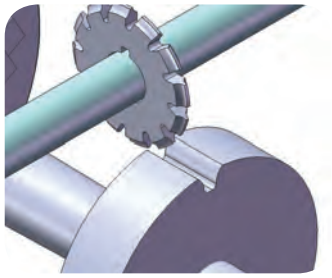
ورنیه فلکه باردهی

۱۶- در صورتی‌که جنس قطعه کار سخت باشد عمل بار دادن را در چند مرحله انجام می‌دهیم.

۱۷- به وسیله پیچ‌های مخصوص، حرکت عرضی و عمودی میز ماشین را متوقف (ترمز) می‌نمائیم.

اهرم‌های قفل کننده حرکت‌های ماشین فرز

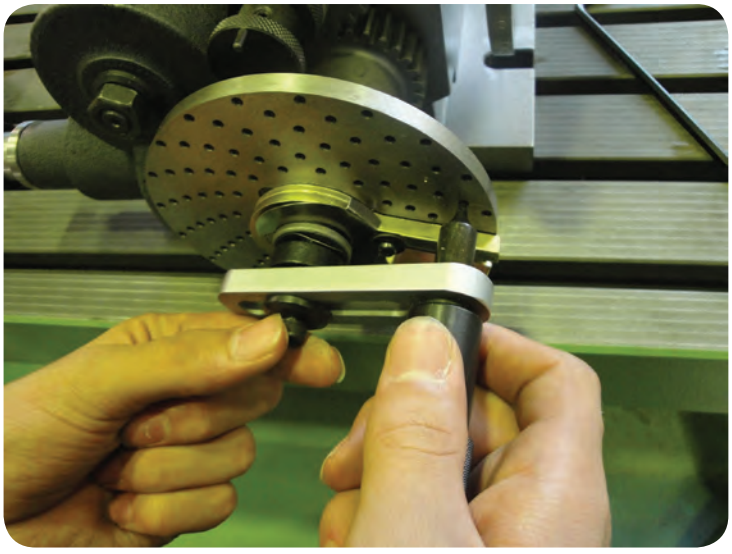
۱۸- با حرکت طولی میز ماشین (خلاف جهت دوران تیغه فرز) اولین شیار دندانه چرخ‌دنده را ایجاد می‌کنیم.



زدن اولین شیار چرخ‌دنده با حرکت طولی میز ماشین

۱۹- با حرکت طولی میز (موافق جهت دوران تیغه فرز) تیغه فرز را از کار خارج نموده و میز را به حالت اول برمی‌گردانیم.

۲۰- دسته دستگاه تقسیم را به اندازه حساب شده، برای هر دندانه که قبلاً محاسبه شده می‌چرخانیم. سپس شروع به تراشیدن شیار دوم چرخ‌دنده می‌کنیم. دقت داشته باشیم که جهت چرخش را باید ثابت در نظر بگیریم و برگشت در جهت عکس حرکت قبل ممکن است در کار خطا ایجاد کند. به طور مثال اگر پس از زدن شیار اول، دستگیره را در جهت گردش عقربه ساعت به اندازه محاسبه شده بچرخانیم و شیار دوم را بزنیم، در ادامه نیز این کار را باید در جهت همان تکرار کنیم.



صفحه سوراخ‌دار و قیچی نصب بر روی دستگاه تقسیم

۲۱- با تکرار مراحل ۲۰ و ۲۱ تراشیدن بقیه دندانه های چرخ‌دنده با توجه به جنس قطعه کار را ادامه می‌دهیم.

۲۲- هنگام تراشیدن چرخ‌دنده با توجه به جنس قطعه کار از مواد خنک کننده، مانند آب صابون و گازوئیل استفاده می‌نمائیم تا نوک تیغه فرز، گرم نشده و از بین نرود.

جدول روابط چرخ دنده های ساده	
نام	فرمول
گام	$p = m \times \pi$
مدول	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_k}{Z+2}$
قطر دایره گام	$d_0 = m \times z = d_k - 2m$
ارتفاع سر دنده	$h_k = m$
لقی	$c = \frac{1}{6}m = 0.167m$
ارتفاع پای دنده	$h_f = m + c = 1.167m$
ارتفاع دنده	$h = m + m + c = 2.167m$
قطر سر دنده	$d_k = d_0 + 2m$ $d_k = m(z+2)$
قطر پای دنده	$d_f = d_0 - 2.334m$ $d_f = m(z - 2.334)$
تعداد دنده	$z = \frac{d_0}{m} = \frac{d_k - 2m}{m}$
پهنای دنده	$B=10m$
ضخامت دنده	$s = \frac{19}{40}p$
فاصله شیار دنده	$l = \frac{21}{40}p$
فاصله بین دو محورخارجی	$a = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$
فاصله بین دو محورداخلی	$a = \frac{m(z_2 - z_1)}{2}$

مثال: مدول یک چرخ‌دنده ساده ۲ میلی متر و تعداد دندانه ی آن ۸۰ عدد است، سایر مشخصات آن را به دست آورید.

نام	فرمول	حل بر اساس فرمول
گام	$p = m \times \pi$	$p = 6.28$
مدول	$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_k}{z+2}$	$dk = m(z+2)$ $164mm$
قطر دایره گام	$d_o = m \times z = d_k - 2m$	$do = 160mm$
ارتفاع سر دنده	$h_k = m$	$2mm$
لقی	$c = \frac{1}{6}m = 0.167m$	$0.334mm$
ارتفاع پای دنده	$h_f = m + c = 1.167$	$2.334mm$
ارتفاع دنده	$h = m + m + c = 2.167m$	$4.334mm$
قطر سر دنده	$d_k = d_o + 2m$ $d_k = m(z+2)$	$164mm$
قطر پای دنده	$d_f = d_o - 2.334m$ $d_f = m(z - 2.334)$	$155.33mm$
تعداد دنده	$z = \frac{d_0}{m} = \frac{d_k - 2m}{m}$	80
پهنای دنده	$b = 10m$	$20mm$
ضخامت دنده	$s = \frac{19}{40}p$	$5.966mm$
فاصله شیار دنده	$\iota = \frac{21}{40}p$	$3.297mm$

مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم:

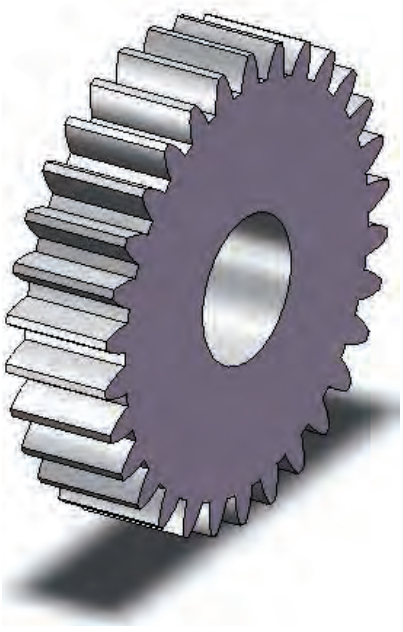
اگر نسبت دستگاه تقسیم ۱:۴۰ باشد بنابراین: $n_k = \frac{۴۰}{۸۰} = \frac{۱}{۲}$

یعنی از هر ردیفی، ردیف زوجی را که انتخاب کردیم، تنها کافی است هر بار نیم دور دسته را دوران می‌دهیم. به طور مثال اگر ردیف ۱۶ سوراخ را داشته باشیم و دسته را در این ردیف تنظیم کنیم، کافی است هر بار ۸ سوراخ از این ردیف را پشت سر بگذاریم.

$$\frac{۱}{۲} \times \frac{۸}{۸} = \frac{۸}{۱۶}$$

در مواردی ممکن است تعداد دندانه‌ها به گونه‌ای باشد که هر چقدر کسر موجود را در اعدادی ضرب می‌کنیم صفحه سوراخ‌دار مربوط به آن موجود نباشد. در این شرایط باید به روش اختلافی چرخ‌دنده را تراشید.

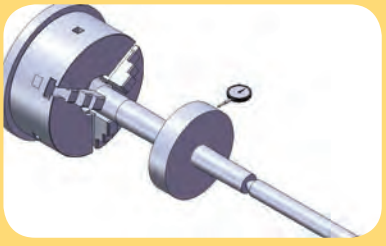
ساخت چرخ‌دنده ساده z=۱۸ و m=۲

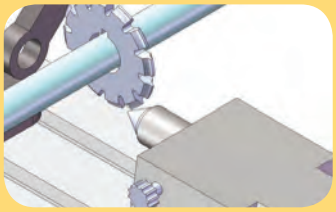
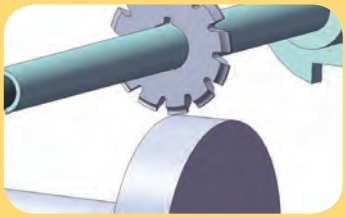
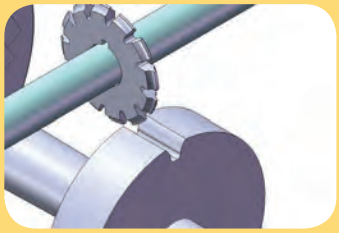


جدول DIN ISO 2768					
اندازه / درجه تولرانس	از 0.5 تا 3	از 3 تا 6	از 6 تا 30	از 30 تا 120	از 210 تا 400
f (ظریف)	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2
m (متوسط)	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
g (خشن)	± 0.15	± 0.2	± 0.5	± 0.8	± 1.2

شماره‌کار عملی	شماره واحد کار	جنس ماده‌ی اولیه	اندازه ماده اولیه	مشخصات قطعه	تعداد	شماره
۱	۷	St ۳۷	۵۰ میلیمتر		۱	
زمان: ۵ ساعت	هدف آموزشی: ساخت چرخ‌دنده ساده				مقیاس:۱:۱	
درجه تولرانس: m					استاندارد:ISO	

جدول تجهیزات و ابزار		
ابزارهای لازم	مشخصات فنی	تعداد
۱- ماشین فرز	افقی، عمودی یا انیورسال	۱
۲- تیغه فرز مدولی	مدول۲شماره ۳	۱
۳- میله فرزگیر	دو یا یک طرفه، بسته به نوع ماشین	۱
۴- دستگاه تقسیم	با نسبت ۱:۴۰یا ۱:۶۰	۱
۵- صفحه سوراخ‌دار	متناسب با محاسبات انجام شده	۱
۶- مرغک	مخصوص دستگاه	۱
۷- درن	متناسب با قطر سوراخ داخلی قطعه	۱

مراحل انجام کار		
ردیف	شرح مراحل کار	شکل
۱	ابتـدا محاسـبات لازم جهت تـراش چرخدنـده را انجام دهید.	
۲	ماده خام را بر اسـاس جنس چرخدنـده انتخاب و آماده کنید. قطر و عرض مواد انتخاب شده استوانه ای شکل را به اندازه اصلی یعنی d_k و B بگیرید. در مرکز کار روی ماشـین تراش، سـوراخی جهت عبور درن یا محور مخروطی ایجاد کنید. یک طرف اسـتوانه را پیشانی تراشی نمائید پس از ترشیدن طرف دوم قطعه را به اندازه پهنای دنده بتراشید استوانه را روی درن یا محور مخروطی شکل سوار نمائید.	
۳	درن یـا محور که اسـتوانه روی آن قـرار دارد را بین دو مرغک یا مرغک و سـه نظام ماشین فرز محکم نمائید. از سـاعت اندازه‌گیری جهت کنترل دور بودن قطعه کمک بگیرید.	
۴	به وسـیله پیچ یا اهرم‌های مخصـوص، حرکت عرضی و عمودی میز ماشین را متوقف (ترمز) نمایید.	

۵	تیغـه فـرز را روی محـور ماشـین فـرز سـوار نموده و سپس آن را با مرکز چرخ‌دنده میزان کنید.	
۶	هنـگام گردش تیغه فرز با حرکـت طولی و عمودی میز ماشین تیغه فرز را روی قطعه مماس کنید.	
۷	بـا حرکت عمودی میز ماشـین کار را با انـدازه h ارتفاع دندانه بار دهید. در صورتی‌که جنس کار سـخت باشـد عمل بار دادن را در چند مرحله انجام دهید. با حرکت طولی میز ماشـین (خلاف جهت دور تیغه فرز) اولین شیار دندانه چرخ‌دنده را درآورید.	
۸	با حرکت طولی میز (موافق جهت دور تیغه فرز) تیغه فرز را از کار خـارج نموده و میز را به حالـت اول برگردانید. دسته دستگاه تقسـیم را به اندازه حساب شده، برای هر دندانه که قبلاً محاسـبه و آماده شـده بچرخانید. سپس شروع به تراشیدن شیار دوم چرخ‌دنده نمائید.	
۹	با تکرار مرحله۸ تراش بقیه دندانه های چرخ‌دنده را ادامه دهیـد. هنگام تراش چرخ‌دنده از مواد خنک کننده مانند آب صابون استفاده نمائید تا تیغه فرز گرم نشده و از بین نرود.	
۱۰	ارائه گزارش به هنرآموز محترم	
ارزشیابی نهایی		

سوالات نظری (۱۵ دقیقه)	ارزشیابی پایانی

سوالات صحیح و غلط:

۱- چرخ‌دنده مخروطی در جایی کاربرد دارد که محورها با هم موازی هستند.

۲- در تمام چرخ‌دنده‌ها انتقال حرکت دورانی اتفاق می‌افتد.

سوالات کوتاه پاسخ یا جای خالی:

۳- فرم دندانه‌های برنده تیغه فرزهای مدولی را به شکل ..... می‌سازند.

۴- در چه مرحله ای مرکز قطعه ای که می خواهد تبدیل به چرخ‌دنده شود باید سوراخ‌کاری شود؟

سوالات چند گزینه‌ای:

۵- مدول یک چرخ‌دنده ساده m= ۵ mm است. عمق شیار دندانه آن چند میلی‌متر است؟

الف- ۱۰/۸۳۵ ب- ۱۲/۵۶

ج- ۱۴/۸۶ د- ۹/۵۶

۶-مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم برای یک چرخ‌دنده ساده با Z=۲۰ و نسبت دستگاه i=۴۰:۱ برابر کدام مقدار است؟

الف- ۱ دور ب- ۲ دور

ج- ۴ دور د- نیم دور

۷-ضخامت یک چرخ‌دنده ساده با مدول m = ۳ mm چند میلی‌متر است؟

الف- ۳۰ ب-۱۵

ج- ۲۰ د- ۴۵

سوالات تشریحی:

۸-هدف از ساختن چرخ‌دنده‌ها را بنویسید؟

۹-مراحل ساخت یک چرخ‌دنده ساده با دستگاه فرز را توضیح دهید؟

۱۰- اگر بخواهیم با تیغه فرز مدولی ۵ و تعداد دنده ۳۰ یک چرخ‌دنده ساده بسازیم. محاسبات لازم چیست؟

واحد کار ۸

هدف کلی: توانایی تراشیدن چرخ‌دنده ساده اختلافی میلی‌متری با ماشین فرز

هدف‌های رفتاری:

۱- پس ازآموزش این واحد کار از فراگیر انتظار می‌رود:

۲- روش‌های تولید چرخ‌دنده اختلافی را شرح دهد.

۳- چرخ‌دنده‌ای با تعداد دندانه خاص که نیاز به چرخ‌دنده تعویضی دارد را بسازد.

	زمان آموزش	
توانایی تراشیدن چرخ‌دنده ساده اختلافی میلی‌متری با ماشین فرز	نظری	عملی
	یک ساعت و ۳۰ دقیقه	۱۷ ساعت
ارزشیابی ورودی و پایانی توسط هنرآموز و ثبت در برگه ارزشیابی	۳۰ دقیقه	یک ساعت
جمع	۲۰ ساعت	

پیش آزمون: (۱۵ دقیقه)

۱- آیا چرخ‌دنده با تعداد دندانه فرد دیده‌اید؟

۲- اگر تعداد دندانه‌های یک چرخ‌دنده ۵۳ عدد باشد و با نسبتی که در دستگاه تقسیم است نتوانیم صفحه سوراخ‌داری را پیدا کنیم، چگونه می‌توان آن را تولید کرد؟

۳- اگر در محاسبات گردش دسته دستگاه تقسیم به جای ۱۹ دندانه عدد ۲۰ را قرار دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا فرم دنده‌ها تغییر می‌کند؟

۱-۸-تقسیم اختلافی

در ادامه آشنایی با تقسیم محیط قطعه کار و تولید چرخ‌دنده ساده با تعداد دنده مشـــخص که امکان استفاده از صفحه سوراخ‌دار را میسر می‌ساخت، با طرح یک سوال به موضوع چرخ‌دنده‌های اختلافی می‌پردازیم:

می‌خواهیم چرخ‌دنده‌ای با تعداد ۵۱ دندانه بسازیم. مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم راحساب کنید.

$$n_k = \frac{i}{z} \rightarrow n_k = \frac{40}{51}$$

این محاسبه نشان می‌دهد که دسته دستگاه تقسیم بایستی ۴۰ سوراخ از ردیف ۵۱ سوراخی گردش کند. همان‌طور که می‌دانیم صفحه سوراخ‌دار با تعداد سوراخ ۵۱ سوراخه همراه دستگاه تقسیم وجود ندارد. بطور کلی در تقسیم محیط یک قطعه با دســـتگاه تقســـیم گاهی مواردی از این دست پیش می‌آید که صورت یا مخرج کسر قابل تجزیه و تبدیل شدن به کسر ساده نیست. برای حل این مشکل راه حل‌های مختلفی وجود دارد:

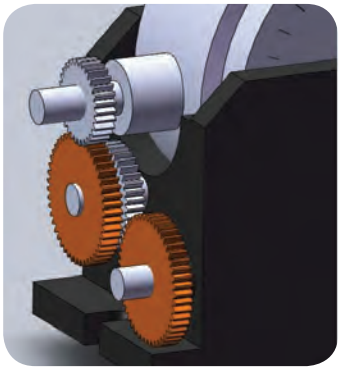
۱- استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی

۲- استفاده از روش ایجاد دنده با فاصله‌های متفاوت

هر کدام از این دو روش در جای خود کاربرد دارند.

روش اول:

استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی

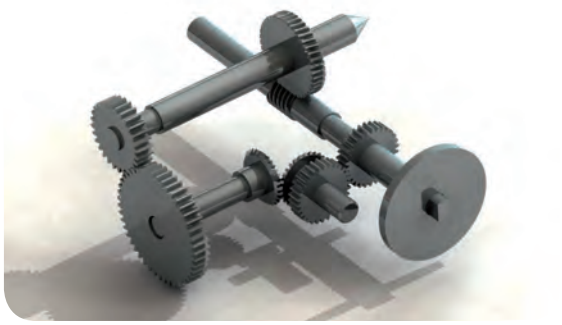


استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی برای زدن چرخ‌دنده اختلافی

در مثال قبل مشـاهده شـد که مخرج کسر و گاهی نیز صورت کسر به گونه‌ای اسـت که نمی‌توان تعداد سـوراخ و یا مقدار گردش دسـته را با آن تنظیم کرد. برای حل این مشـکل می‌توان به جای تقسیمات واقعی تعداد تقسیمات فرضی را انتخاب کرد که مقدار گردش دسـته تقسـیم را بتوان به سهولت انجام داد. به عنوان مثال در حالت قبل به جای تعداد تقسـیمات ۵۱ تعداد تقسـیم ۵۲ را در نظر می‌گیریم و مقدار گردش دسته را با آن محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{Zt}{Zt}=\frac{i}{T'}\times(T'-T)\Rightarrow\frac{Zt}{Zg}=\frac{40}{50}(52-51)=\frac{40}{52}=\frac{20}{26}$$

مقدارگردش برابر ۲۰ سـوراخ از ردیف ۲۶ سـوراخه خواهد شـد. همان‌طورکه می‌دانیم این مقدارگردش برای تعداد تقسـیم ۵۲ محاسـبه شـده اسـت و در مجمـوع برای هر دنده، مقـداری اختلاف با تعداد تقسـیمات ۵۱ وجود خواهد داشـت. برای جبران این اختلاف باید ترتیبی اتخاذ کنیم که صفحه سـوراخ‌دار، همزمان با گردش دسته دستگاه تقسیم به اندازه اختلاف دو مقدار محاسبه شده فوق برای هر فاصله جابجا شـود. این جابجایی بوسیله سوارکردن چرخ‌دنده‌های تعویضی بین محور کار و محور فرعی دستگاه امکان پذیر است.



سیستم انتقال دور بین قطعه کار و صفحه سوراخ‌دار در روش اختلافی

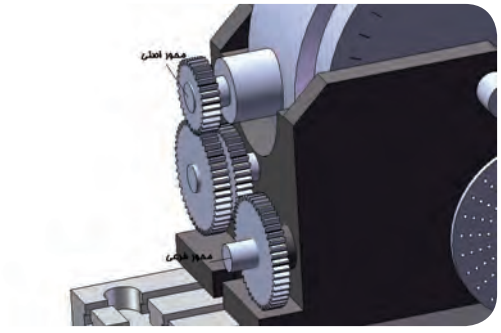
۲-۸- محاسبه چرخ‌دنده‌های تعویضی

همان‌طور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، در داخل دستگاه تقسیم دو چرخ‌دنده ساده و دو چرخ‌دنده مخروطی وجود دارد که انتقال دور را از محور پیچ حلزون با نسـبت ۱:۱ به محور فرعی انتقال می‌دهند. بنابراین نسبت چرخ‌دنده‌های درون دستگاه i_1=۱:۱ خواهد بود.

سیستم انتقال دور بین قطعه کار و صفحه سوراخ‌دار در روش اختلافی

با اســتفاده از رابطه زیر می‌توان چرخ‌دنده‌های مورد اســتفاده بر روی محورهای اصلی و فرعی را محاسبه کرد.

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{i}{T'} \times (T' - T)$$



معرفی محور اصلی و محور فرعی در دستگاه تقسیم

در رابطه فوق:

Zt: تعداد دنده چرخ‌دنده‌های محرک (محور اصلی دستگاه مرغک یا محوری که قطعه کار روی آن سوار می‌شود.)

Zg: تعداد دنده چرخ‌دنده متحرک

i: نسبت دستگاه تقسیم ۱:۴۰

T': تعداد تقسیمات فرضی

T: تعداد تقسیمات واقعی

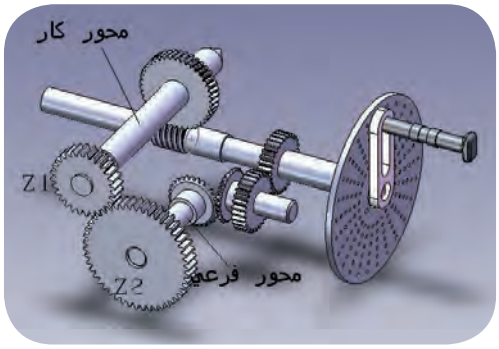
معمولاً به همراه دســتگاه تقسیم، یک ســری چرخ‌دنده تعویضی استاندارد شده وجود دارد که عبارتند از:

۲۴-۲۴-۲۸-۳۰-۳۲-۳۶-۴۰-۴۴-۴۸-۵۶-۶۴-۷۲-۸۰-۸۶ و ۱۰۰

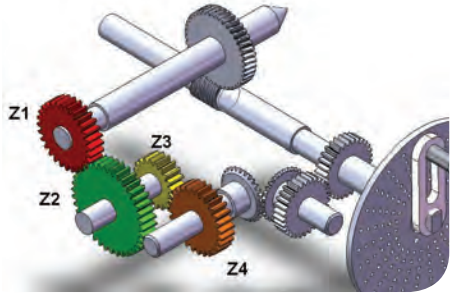
سری چرخ‌دنده تعویضی استاندارد

مقـدار عدد انتخابـی 'T را می‌توان کاملاً به دلخواه بزرگتر یـا کوچکتر از تعداد تقسـیمات واقعی T انتخاب نمود. بهتر اسـت عدد انتخابـی نزدیکترین عدد به تعداد تقسیمات اصلی باشد. عدد فرضی را طوری انتخاب می‌کنیم که قابل تجزیه و تبدیل به یکی از تعداد سوراخ‌های صفحه سوراخ‌دار استاندارد و هم‌چنین قابل تبدیل به تعداد دنده‌های چرخ‌دنده‌های تعویضی باشد.

در هنگام محاسـبه چرخ‌دنده‌های تعویضی ممکن اسـت محاسبه چرخ‌دنده‌ها با نسـبت سـاده و یا مرکب انجام گیرد. اشکال زیر نحوه سوار شدن چرخ‌دنده‌ها با نسبت ساده و مرکب را نشان می‌دهد.

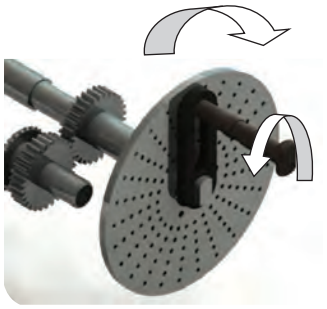


نحوه سوار شدن چرخ‌دنده‌ها با نسبت ساده

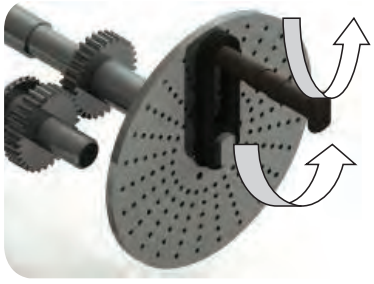


نحوه سوار شدن چرخ‌دنده‌ها با نسبت مرکب

باید توجه داشــت که اگر عدد انتخاب شــده T' بزرگتر از عدد تقسیمات اصلی T باشــد به عبارتی $T<T'$ باشــد جهت حرکت گردش صفحه سوراخ‌دار موافق جهت گردش دســته خواهد بود. در صورتیکه $T>T'$ باشد جهت حرکت صفحه سوراخ‌دار مخالف جهت گردش دسته دستگاه تقسیم می‌شود.

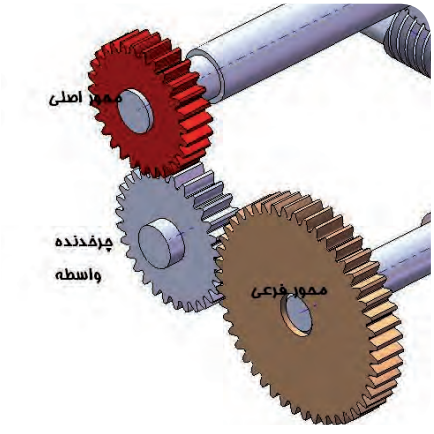


عدد انتخاب شده T' کوچکتر از عدد تقسیمات اصلی T و جهت حرکت گردش صفحه سوراخ‌دار مخالف جهت گردش دسته تقسیم



عدد انتخاب شده T' بزرگتر از عدد تقسیمات اصلی T و جهت حرکت گردش صفحه سوراخ‌دار موافق جهت گردش دسته تقسیم

چنانچه پس از ســوار کردن چرخ‌دنده‌های تعویضی جهت‌های گردش هماهنگ نبودند با سوار کردن یک چرخ‌دنده واسطه در مسیر حرکت، جهت گردش را به شکل دلخواه تغیر می‌دهیم.



استفاده از چرخ‌دنده واسطه برای تغییر جهت گردش

چون لازم است در تقسیم اختلافی صفحه سوراخ‌دار نیز ضمن گردش دسته تقسیم، گردش یا حرکت دورانی داشته باشد، لذا در تقسیم اختلافی بایستی ضامن نگهدارنده صفحه سوراخ‌دار را آزاد کرد.

مثـال: جهت تراشـیدن چرخ‌دنده‌ای با تعداد دنده ۷۱ مقدار گردش دسـتگاه تقسـیم را در صورتی که نسبت دستگاه ۴۰:۱ باشد حساب‌کنید در صورت نیاز تعداد دنده‌های چرخ‌دنده‌های تعوضی را نیز محاسبه کنید.

$$n_k = \frac{i}{Z} = \frac{۴۰}{۷۱}$$

کسـر فوق قابل تجزیه نیست و همچنین ۷۱ سوراخ نیز بر روی صفحه سوراخ‌دار وجود ندارد. پس باید عددی فرضی را برای محاسبه در نظر بگیریم.

حالت اول: عدد انتخابی از T بزرگتر اسـت $T<T'$ که مقدار T' را ۷۲ در نظر می‌گیریم. بنابراین:

$$n_k = \frac{۴۰}{۷۲} = \frac{۲۰}{۳۶}$$

مقدار گردش ۲۰ سوراخ از ردیف ۳۶ سوراخه خواهد بود:

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{i}{T'} = (T' - T)$$

$$\frac{۴۰}{۷۲}(۷۲ - ۷۱)$$

$$\frac{۴۰}{۷۲} = \frac{Zt}{Zg}$$

چرخ‌دنده $Zt=۴۰$ روی محور کار و چرخ‌دنده $Zg=۷۲$ روی محور فرعی دسـتگاه تقسـیم سوار می‌شود. چون در این حالت $T<T'$ است باید جهت حرکت صفحه سـوراخ‌دار با جهت گردش دسته دستگاه تقسیم موافق باشد. که این موضوع را می‌توان از مثبت بودن تفاضل $T-T'$ نیز نتیجه گرفت.

$$N_k = \frac{i}{T} = \frac{۴۰}{۷۰} = \frac{۴}{۷} = \frac{۱۴}{۲۱}$$

حالت دوم: اگر عدد انتخابی کوچکتر از عدد تقسیمات اصلی باشد.

$T>T'$ در این مثال می‌توان مقدار T' را ۷۰ در نظر بگیریم. بنابراین:

مقدار گردش ۱۲سوراخ از ردیف۲۱ سوراخه خواهد بود. چرخ‌دنده‌های تعویضی عبارتند از:

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{i}{T'}(T' - T) = \frac{۴۰}{۷۰} = (۴۰ - ۷۱)$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{۴۰}{۷۰} = -\frac{۴}{۷} = -\frac{۳۲}{۵۶}$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{۳۲}{۵۶}$$

علامت منفی در این عبارت صرفاً برای تشخیص جهت گردش صفحه سوراخ‌دار می باشد و در سایر محاسبات دخالت داده نمی‌شود.

مثـال دوم: جهـت ایجاد چرخ‌دنـده‌ای با تعداد دنده ۶۳ مقدار گردش دسـته دستگاه تقسیم و چرخ‌دنده‌های تعویضی لازم را حساب کنید.

$$T = ۶۳$$

$$T' = ۶۰$$

$$N_k = \frac{i}{T'} = \frac{۴۰}{۶۰} = \frac{۲}{۳} = \frac{۱۴}{۲۱}$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{i}{T'}(T' - T) = \frac{۴۰}{۶۰} = (۶۰ - ۶۳)$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{۴۰}{۶۰}(-۳)$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{۱۲۰}{۶۰} = \frac{(۲\times۶)}{(۱۲\times۵)}$$

$$(\frac{۲۰}{۱۲})\times(\frac{۶}{۵}) =$$

$$(\frac{۴۰}{۲۴})\times(\frac{۳۶}{۳۰})$$

$$(\frac{Z_۱}{Z_۲})\times(\frac{Z_۳}{Z_۴}) = (\frac{۴۰}{۲۴})\times(\frac{۳۶}{۳۰})$$

علامــت منفی مخالف بودن جهت گردش دســته دســتگاه تقســیم و با صفحه سوراخدار نشــان می دهد در این مسئله نسبت چرخدندهها مرکب بدست آمده است.

Z۱ روی محور کار و Z۲ و Z ۳ روی محور ی بر روی گیتاری نصب میشود و Z۴ نیز روی محور فرعی دستگاه تقسیم نصب میگردد.

در نسبت مرکب ممکن است محور چرخدندهها با هم برخور داشته باشند. برای کنترل عدم برخورد بایســتی شــرایط مجموع دندهها را بررسی کنیم. با استفاده از رابطه زیر میتوان شرط مجموع را کنترل کنیم. در صورتی که شرط مجموع دندهها برقرار نباشــد میتوان با جابجایی چرخدندهها این شــرط را بر قرار کرد. (جابجایی صورت با صورت و مخرج با مخرج کسر باید صورت بگیرد.)

$$Z_۱ + Z_۲ \geq ۱۵ + Z_۲$$

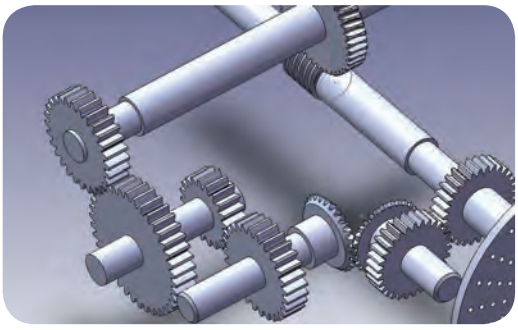
$$Z_۳ + Z_۴ \geq ۱۵ + Z_۲$$

در مثال فوق شرط مجموع به صورت زیر خواهد بود:

$$۴۰ + ۲۴ \rangle ۱۵ + ۳۶ \rightarrow ۵۱ \langle ۶۴$$

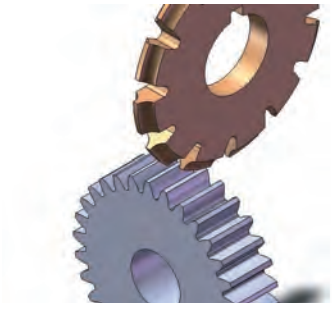
$$۳۶ + ۳۰ \rangle ۲۴ + ۱۵ \rightarrow ۶۶ \rangle ۳۹$$

شکل زیر نمونهای از طرز سوار کردن چرخدنده واسطه با توجه به جهت گردش آخرین چرخدنده را نشان میدهد که به محور فرعی دستگاه تقسیم متصل شده است.



نحوه نصب چرخ‌دنده‌های واسطه

برای تراشـــکاری و فرزکاری چرخ‌دنده‌های اختلافی بعد از محاســـبات لازم جهت تقسیمات دنده همانند چرخ‌دنده‌های ساده عمل می‌کنیم.



نمایش تیغه فرز مدولی و قطعه کار

مثال: مطلوب است محاسبه چرخ‌دنده‌های تعویضی لازم برای تولید چرخ‌دنده با ۳۱ دندانه.

$$T = ۳۱$$

$$T' = ۳۰$$

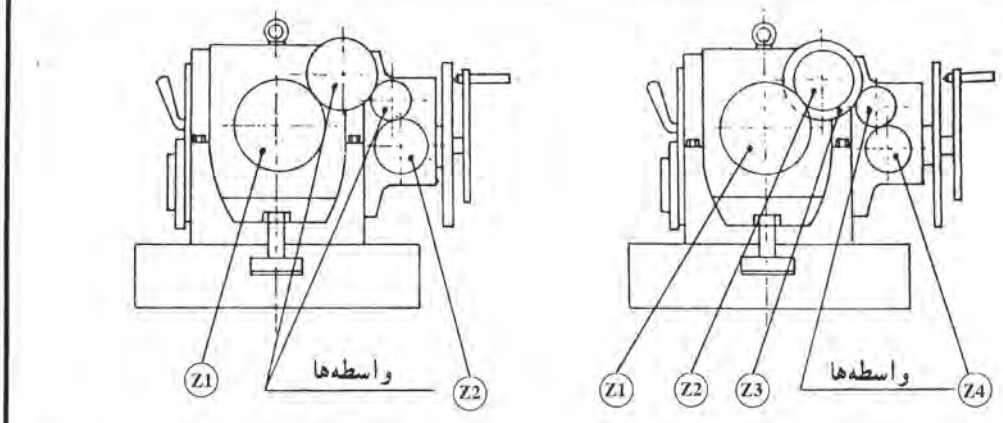
$$N_k = \frac{i}{T'} = \frac{۴۰}{۳۰} = ۱\frac{۱}{۳} = ۱\frac{۷}{۲۱}$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{i}{T'}(T' - T) = \frac{۴۰}{۳۰} = (۳۰ - ۳۱)$$

$$\frac{Zt}{Zg} = \frac{۴۰}{۶۰}(-۱)$$

جهت تســـهیل در محاســـبه چرخ‌دنده‌های تعویضی برای اعداد اول جداول زیر آورده شده است.

این جدول جهت سرعت عمل دریافتن چرخ دندانه‌های تعویضی دندانه‌های اعداد اول در سه صفحه طراحی شده است.
نسبت دستگاه تقسیم ۱:۴۰ است.



تعداد دندانه	صفحات سوراخدار	تعداد سوراخ	چرخ دنده Z1	چرخ دنده Z2	چرخ دنده Z3	چرخ دنده Z4	واسطه یک	واسطه دو
51	17	14	48			24	24	44
53	49	35	72	24	40	56		
57	21	15	40			56	24	44
59	39	26	32			48	44	
61	39	26	32			48	24	44
63	39	26	48			24	24	44
67	21	12	48			28	44	
69	20	12	56			40	24	44
71	18	10	40			72	24	
73	21	12	48			28	24	44
77	20	10	48			32	44	
79	20	10	24			48	44	
81	20	10	24			48	24	44
83	20	10	48			32	24	44
87	15	7	24			40	24	44
89	18	8	32			72	44	
91	39	18	48			24	24	44
93	18	8	32			24	24	44
96	21	9	32			28	24	44
97	20	8	48			40	44	
99	20	8	32	40	28	56		
101	20	8	48	40	24	72		24
102	20	8	32			40	24	44
103	20	8	48			40	24	44
106	43	16	48	24	24	86		
107	20	8	64	32	56	40		24
109	16	6	28			32	24	44
111	39	13	72			24	32	
112	39	13	64			24	44	
113	39	13	56			24	44	
114	39	13	48			24	44	
117	39	13	24			24	56	
118	39	13	32			48	44	
119	39	13	24			72	44	

تعداد دندانه	صفحات سوراخدار	تعداد سوراخ	چرخ دنده Z1	چرخ دنده Z2	چرخ دنده Z3	چرخ دنده Z4	واسطه یک	واسطه دو
121	39	13	24			72	24	44
122	39	13	32			48	24	44
123	39	13	24			24	32	44
125	39	13	40			24	24	44
126	39	13	48			24	24	44
127	39	13	56			24	24	44
129	39	13	72			24	24	44
131	20	6	28			40	44	
133	21	6	48			24	44	
134	21	6	48			28	44	
137	21	6	24			28	56	
138	21	6	32			56	44	
139	21	6	24	48	32	56		
141	18	5	40			48	44	
142	21	6	32			56	24	44
143	21	6	24			28	24	44
146	21	6	48			28	24	44
147	21	6	48			24	24	44
149	21	6	72			28	24	44
151	20	5	72			32	44	
153	20	5	56			32	44	
154	20	5	48			32	44	
157	20	5	24			32	56	
158	20	5	24			48	44	
159	20	5	28	56	32	64		
161	20	5	82	56	32	64		24
162	20	5	24			48	24	44
163	20	5	24			32	24	44
166	20	5	48			32	24	44
167	20	5	56			32	24	44
169	20	5	72			32	24	44
171	21	5	40			56	24	44
173	18	4	64	32	56	72		
174	18	4	32			24	56	

تعداد دندانه	صفحات سوراخدار	تعداد سوراخ	چرخ دنده Z1	چرخ دنده Z2	چرخ دنده Z3	چرخ دنده Z4	واسطه یک	واسطه دو
175	18	4	64	32	40	72		
176	18	4	64	24	24	72		
177	18	4	48			72	24	
178	18	4	32			72	44	
179	18	4	32	48	24	72		
181	18	4	32	48	24	72		24
182	18	4	32			72	24	44
183	18	4	32			48	24	44
186	18	4	64			48	24	44
187	18	4	56	24	48	72		24
189	18	4	64			32	24	44
191	20	4	72			40	24	
192	20	4	64			40	44	
193	20	4	56			40	44	
194	20	4	48			40	44	
197	20	4	24			40	56	
198	20	4	32	40	28	56		
199	20	4	32	64	40	100		
201	20	4	24	40	24	72		24
202	20	4	48	40	24	72		24
203	20	4	24			40	24	44
204	20	4	32			40	24	44
206	20	4	48			40	24	44
207	20	4	56			40	24	44
208	20	4	64			40	24	44
209	20	4	72			40	24	44
211	16	3	28			64	44	
212	43	8	48	24	24	86		
213	27	5	40			72	44	
214	20	4	64	32	56	40		24
217	21	4	64			48	24	44
218	16	3	56			64	24	44
219	21	4	48			28	24	44
221	17	3	24			24	56	

ادامه جدول

تعداد دندانه	صفحات سرانغار	تعداد سوراخ	چرخ‌دنده Z1	چرخ‌دنده Z2	چرخ‌دنده Z3	چرخ‌دنده Z4	واسطه یک	واسطه دو
222	18	3	72			24	44	
223	43	8	64	24	48	86		24
224	18	3	64			24	44	
225	27	5	40			24	24	44
226	18	3	56			24	44	
227	49	8	72	28	64	56		
228	18	3	48			24	44	
229	18	3	44			24	48	
231	18	3	48			32	44	
233	18	3	56			48	44	
234	18	3	24			24	56	
236	18	3	32			48	44	
237	18	3	24			48	44	
238	18	3	24			72	44	
239	18	3	32	64	24	72		
241	18	3	32	64	24	72		24
242	18	3	24			72	24	44
243	18	3	32			64	24	44
244	18	3	32			48	24	44
246	18	3	24			24	28	44
247	18	3	56			48	24	44
249	18	3	48			32	24	44
250	18	3	40			24	24	44
251	18	3	64	32	44	48		24
252	18	3	48			24	24	44
253	33	5	40			24	56	
254	18	3	56			24	24	44
255	18	3	64	24	40	48		24
256	18	3	72			24	24	44
257	49	8	72	28	48	56		24
258	43	7	72			32	24	44
259	21	3	64			24	44	
261	29	4	64	24	64	48		
262	20	3	28			40	44	
263	49	8	72	28	64	56		24
265	21	3	72	24	40	56		
266	21	3	64			32	44	
267	27	4	32			72	44	
268	21	3	48			28	44	
269	20	3	28	40	32	84		24
271	21	3	72	24	24	56		
272	21	3	64			56	42	
273	21	3	24			24	56	
274	21	3	48			56	44	
275	21	3	40			56	44	
276	21	3	32			56	44	
277	21	3	24			56	44	
278	21	3	24	48	32	56		
279	27	4	32			24	24	44
281	21	3	24	56	24	72		24
282	43	6	56	24	24	86		
283	21	3	24			56	24	44
284	21	3	32			56	24	44
285	21	3	40			56	24	44
286	21	3	48			56	24	44
287	21	3	24			24	28	44
288	21	3	32			28	24	44
289	21	3	72	24	24	56		24
291	15	2	48			40	44	
292	21	3	48			28	24	44
293	15	2	56	40	32	48		
294	21	3	48			24	24	44
295	15	2	32			48	44	
297	33	4	56	24	48	28		
298	21	3	72			28	24	44
299	23	3	24			24	56	
301	34	6	48			24	24	44
302	16	2	72			32	24	
303	15	2	48	40	24	72		24
304	16	2	48			24	44	
305	15	2	32			48	24	44
306	15	2	32			40	24	44
307	15	2	56	40	48	72		24
308	16	2	48			32	44	
309	15	2	48			40	24	44
311	16	2	72	24	24	64		
313	16	2	28			32	56	
314	16	2	24			32	56	
315	16	2	40			64	24	
316	16	2	32			64	44	
317	16	2	24			64	44	
318	16	2	24	48	28	56		
319	29	4	72	24	64	48		24
321	16	2	24	64	24	72		24
322	23	3	64			32	24	44
323	16	2	24			64	24	44
324	16	2	32			64	24	44
325	16	2	40			64	24	44
326	16	2	24			32	24	44
327	16	2	28			32	24	44
329	16	2	72	24	24	64		28
331	16	2	48	24	44	64		24
332	16	2	48			32	24	44
333	18	2	72			24	44	
334	16	2	56			32	24	44
335	33	4	40	44	48	72		24
336	16	2	64			32	24	44
337	43	5	56	32	40	86		
338	16	2	72			32	24	44
339	18	2	56			24	44	
341	43	5	40	32	24	86		
342	18	2	64			32	44	
343	15	2	86	24	64	40		24
345	18	2	40			24	56	
346	18	2	64	32	56	72		
347	43	5	40	32	24	86		24
348	18	2	32			24	56	
349	18	2	48	24	44	72		
350	18	2	64	32	40	72		
351	18	2	24			24	56	
352	18	2	64	24	24	72		
353	18	2	56	24	24	72		
354	18	2	48			72	24	
355	18	2	40			72	24	
356	18	2	32			72	24	
357	18	2	24			72	44	
358	18	2	24	48	32	72		
359	43	5	100	32	48	86		24
361	19	2	64			32	44	
362	18	2	32	56	28	72		24
363	18	2	24			72	24	44
364	18	2	32			72	24	44
365	20	2	56	24	48	32		
366	18	2	32			48	24	44
367	18	2	56			72	24	24
368	18	2	64	24	24	72		28
369	41	4	64	28	56	32		
371	21	2	64	24	56	32		
372	18	2	64			48	24	44
373	20	2	72	32	48	40		
374	18	2	56	32	64	72		24
375	18	2	40			24	24	44
377	29	3	24			24	56	
378	18	2	64			32	24	44
379	20	2	72	40	56	48		
381	18	2	56			24	24	44
382	20	2	72			40	24	
383	20	2	68			40	44	
384	20	2	64			40	44	
385	20	2	48			32	44	
386	20	2	56			40	44	
387	43	4	64	28	56	32		
388	20	2	48			40	44	
389	20	2	44			40	56	
391	20	2	72	40	24	48		
393	20	2	28			40	44	
394	20	2	24			40	56	
395	20	2	32			64	44	
396	20	2	32	40	28	56		
397	20	2	32	40	24	64		
398	20	2	32	64	40	100		
399	21	2	64			32	44	
401	21	2	76	24	32	56		

ادامه جدول

تعداد دندانه	صفحات سرانگار	تعداد سرراخ	چرخ دنده Z1	چرخ دنده Z2	چرخ دنده Z3	چرخ دنده Z4	واسطه یک	واسطه دو
402	21	2	48			28	44	
403	20	2	32	40	24	64		24
404	20	2	48	40	24	72		24
405	20	2	32			64	24	44
406	20	2	24			40	24	44
407	20	2	28			40	24	44
408	20	2	32			40	24	44
409	20	2	48	32	24	40		24
411	21	2	24			28	56	
412	20	2	48			40	24	44
413	21	2	32			48	44	
414	21	2	32			56	44	
415	20	2	48			32	24	44
416	20	2	64			40	24	44
417	21	2	24	48	32	56		
418	20	2	72			40	24	44
419	33	3	72	24	28	44		
421	20	2	72	40	56	48		24
422	20	2	64	32	44	40		24
423	21	2	48	56	24	72		24
424	43	4	48	24	24	86		
425	21	2	40	56	48	72		24
426	21	2	32			56	24	44
427	20	2	72	32	48	40		24
428	20	2	64	32	56	40		24
429	21	2	24			28	24	44
431	21	2	48	28	44	72		24
432	20	2	64	28	56	40		24
433	20	2	72	24	44	40		24
434	21	2	64			48	24	44
435	21	2	40			28	24	44
436	20	2	72	24	48	40		24
437	23	2	64			32	44	
438	21	2	48			28	24	44
439	43	4	72	24	24	86		24
441	21	2	64			32	24	44
442	20	2	72	24	56	40		24
443	20	2	86	24	48	40		24
444	21	2	64	24	48	56		24
445	33	3	40	44	32	64		24
446	33	3	24			44	24	48
447	21	2	72			28	24	44
448	20	2	72	24	64	40		24
449	33	3	72	44	32	64		24
450	33	3	40			44	24	32
451	33	3	24			24	28	44
452	33	3	48			44	24	40
453	33	3	52			44	24	40
454	49	4	72	28	64	56		
455	49	4	64	32	40	28		
456	21	2	72	24	64	56		24
457	33	3	68			44	24	40
458	33	3	72			44	24	24
459	27	2	72	24	48	24		
461	33	3	72	24	28	44		24
462	33	3	64			32	24	44
463	21	2	86	24	64	56		24
464	33	3	56	28	48	44		24
465	33	3	100	24	24	44		24
466	49	4	64	28	48	56		
467	33	3	72	32	48	44		24
468	39	3	56	24	48	28		
469	49	4	48			28	44	
471	49	4	76	28	32	56		
472	49	4	72	28	32	56		
473	33	3	72	32	64	48		24
474	49	4	64	28	32	56		
475	49	4	48	28	40	56		
476	49	4	64			56	24	
477	27	2	56	24	48	24		
478	49	4	64	28	24	56		
479	49	4	44	28	32	56		
480	49	4	40	28	32	56		
481	37	3	24			24	56	
482	33	3	72	24	56	44		24
483	49	4	32			56	44	
484	49	4	32	28	24	56		
485	23	2	100	24	24	46		24
486	27	2	64	28	56	32		
487	39	3	44	52	72	24		
488	33	3	72	24	64	44		24
489	23	2	64	32	58	46		24
491	33	3	72	24	68	44		24
492	41	3	56	24	48	28		
493	29	2	72	24	64	32		
494	39	3	64			32	44	
495	27	2	64	24	40	32		
496	49	4	32	28	24	56		24
497	49	4	32			56	24	44
498	27	2	64	24	56	48		
499	49	4	48	28	24	56		24
500	49	4	40	28	32	56		24

روش دوم:

(عدم استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی)

این توضیحات برای تراشیدن چرخ‌دنده‌های اختلافی ساده بدون استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی قابل استفاده خواهد بود. همانگونه که بیان شد برای تقسیمات اعداد اختلافی باید از چرخ‌دنده‌های تعویضی استفاده کرد. اما محاسبه این چرخ‌دنده‌ها و کار گذاشتن آن‌ها نیاز به وقت زیادی دارد. طبق محاسبات انجام شده می‌توان بدون استفاده از چرخ‌دنده‌های تعویضی به طور مستقیم، فقط با استفاده از دایره سوراخ‌های مناسب روی صفحه سوراخ‌دار چرخ‌دنده‌های اختلافی را تراشید.

روش کار بدین صورت است که ابتدا پس از ایجاد اولین دنده، گردش دسته بگونه‌ای است که دنده دوم تراشیده نخواهد شد، بلکه ممکن است مثلاً دنده هفتم، دنده بعدی باشد و بعد از آن نیز دنده‌ای غیر از دنده هشتم خواهد بود. در این روش توالی و ترتیب پی‌درپی تراشیدن دنده‌ها وجود ندارد، بلکه دنده بدون ترتیب در اولویت تراشیدن قرار خواهد گرفت.

جدول زیر مقدار گردش دسته دستگاه تقسیم برای اعداد اول و اختلاف دو دنده برحسب میلی‌متر را آورده است. مثلاً برای تراشیدن چرخ‌دنده‌ای با تعداد دندانه ۶۱ می‌توان از روش زیر استفاده کرد:

از ردیف ۴۷ سوراخه ۷ دور کامل و ۱۰ سوراخ گردش کرده و فاصله دندانه‌های زده شده ۱۱ می‌باشد. یعنی بعد از تراشیدن دنده اول دنده یازدهم تراشیده خواهد شد و سپس دنده ۲۲ و ....

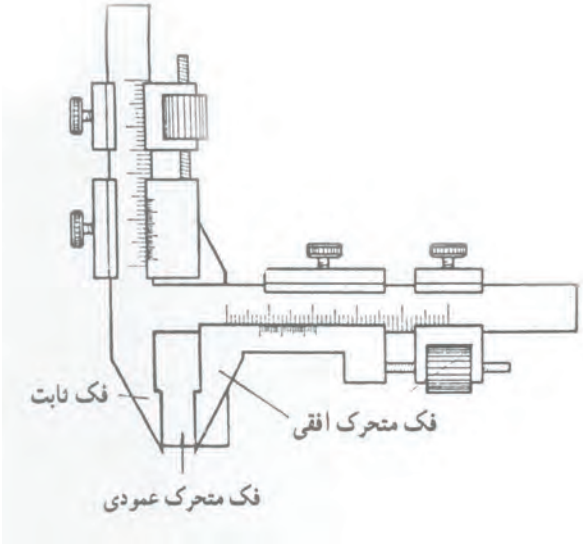
فاصله یک دندانه به دانداندیگر	مقدار اختلاف اندازه دو دندانه	سوراخ‌های دایره تقسیم	تعداد فاصله‌های داخل قیچی	تعداد دور دسته	تعداد تقسیمات
۱۱	-۰/۰۰۰۵۳۲	۴۷	۱۰	۷	۶۱
۱۰	-۰/۰۰۰۵۸	۴۳	۱۵	۶	۶۳
۴	-۰/۰۰۰۵۱	۴۹	۱۹	۲	۶۷
۱۰	-۰/۰۰۱۳	۵۴	۴۳	۵	۶۹
۷	-۰/۰۰۱۳	۵۴	۵۱	۳	۷۱
۱۰	+۰/۰۰۰۶	۴۱	۸	۵	۷۷
۵	+۰/۰۰۰۵۳	۴۷	۲۵	۲	۷۹
۴	+۰/۰۰۰۶	۴۱	۴۰	۱	۸۱
۱۱	-۰/۰۰۲۳	۴۳	۱۳	۵	۸۳
۱۳	-۰/۰۰۰۵۸	۴۳	۴۲	۵	۸۷
۱۱	+۰/۰۰۱۳	۵۴	۵۱	۴	۸۹
۱۵	+۰/۰۰۲۷	۳۷	۲۲	۶	۹۱
۵	-۰/۰۰۱۵	۴۹	۴۸	۱	۱۰۱
۱۰	+۰/۰۰۰۵۸	۴۳	۳۸	۳	۱۰۳
۶	+۰/۰۰۰۶۷	۳۷	۹	۲	۱۰۷
۱۶	+۰/۰۴۱	۵۳	۴۷	۵	۱۰۹
۱۱	۰/۰۰/۲۷	۵۴	۵۲	۳	۱۱۱
۹	-۰/۰۰۱۸	۵۴	۱۰	۳	۱۱۳
۴	-۰/۰۰۰۵۱	۴۹	۱۸	۱	۱۱۷
۲۰	-۰/۰۰۳۱	۵۴	۳۹	۶	۱۱۹
۵	+۰/۰۰۰۵۱	۴۹	۳۲	۱	۱۲۱
۹	+۰/۰۰۱۲	۴۱	۳۹	۲	۱۲۲
۹	-۰/۰۰۲۷	۵۴	۵۰	۲	۱۲۳
۹	+۰/۰۰۰۰۰۰۱	۴۹	۴۲	۲	۱۲۶

فاصله یک دندانه به دندانه دیگر	مقدار اختلاف اندازه دو دندانه	سوراخ‌های دایره تقسیم	تعداد فاصله‌های داخل قیچی	تعداد دور دسته	تعداد تقسیمات
۷	-۰/۰۰۲۰	۴۹	۱۰	۲	۱۲۷
۱۳	-۰/۰۰۴۰	۴۹	۳	۴	۱۲۸
۷	-۰/۰۰۱۰	۴۷	۸	۲	۱۲۹
۱۷	+۰/۰۰۲۱	۴۷	۹	۵	۱۳۱
۲۱	-۰/۰۰۳۲	۵۴	۱۷	۶	۱۳۳
۲۵	+۰/۰۰۰۹	۵۴	۲۵	۷	۱۳۴
۱۳	+۰/۰۰۲۳	۵۴	۴۳	۳	۱۳۷
	-۰/۰۰۳۰	۴۹	۱۷	۴	۱۳۸
۸	+۰/۰۰۰۵۸	۴۳	۱۳	۲	۱۳۹
۱۰	-۰/۰۰۰۵۱	۴۹	۴۱	۲	۱۴۱
۱۹	-۰/۰۰۰۹۲	۵۴	۱۹	۵	۱۴۲
۱۷	-۰/۰۰۰۵۱	۴۹	۳۷	۴	۱۴۳
۵	+۰/۰۰۱۸	۵۴	۲۰	۱	۱۴۶
۱۰	-۰/۰۰۰۵۸	۴۳	۳۱	۲	۱۴۷
۱۵	+۰/۰۰۰۶۷	۳۷	۱	۴	۱۴۶
۱۰	-۰/۰۰۳۲	۵۴	۳۵	۲	۱۵۱
۵	-۰/۰۰۴۰	۴۹	۱۵	۱	۱۵۳
۸	-۰/۰۰۳۸	۳۹	۳	۲	۱۵۴
۱۴	-۰/۰۰۰۸۳	۳۰	۱۷	۳	۱۵۷
۱۰	-۰/۰۰۴۰	۴۹	۲۶	۲	۱۵۸
۱۰	-۰/۰۰۲۲	۶۶	۳۴	۲	۱۵۹
۵	-۰/۰۰۱۲	۶۲	۱۵	۱	۱۶۱
۵	-۰/۰۰۲۱	۴۷	۱۱	۱	۱۶۲
۵	+۰/۰۰۴۳	۵۷	۱۳	۱	۱۶۳

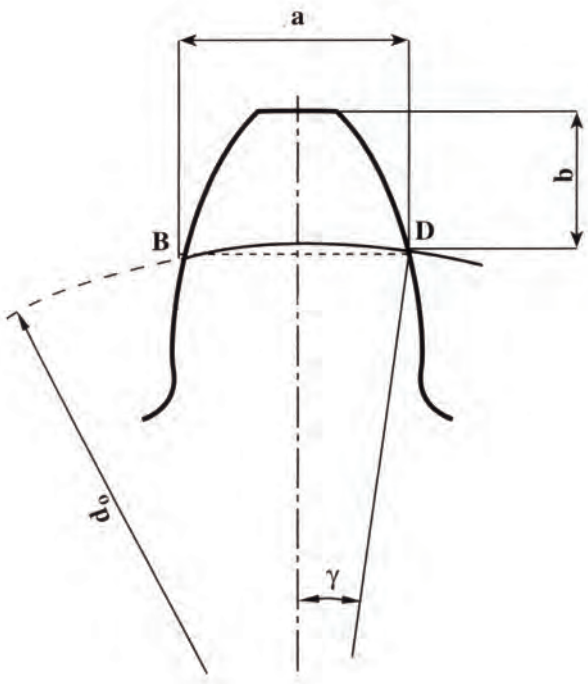
روش دوم بـرای تراشـیدن چرخ‌دنده‌های اختلافـی مارپیچ بدون اسـتفاده از چرخ‌دنده‌هـای تعویضی نیز قابل اسـتفاده خواهد بـود. چرخ‌دنده‌های اختلافی مارپیچ دو سری چرخ‌دنده تعویضی لازم خواهند داشت. یک سری برای اختلافی بـودن آن و دیگـری برای ایجاد حرکت مارپیچی و امکان بسـتن هر دو سـری این چرخ‌دنده‌ها بر روی دسـتگاه تقسـیم وجود ندارد. بنابراین با این روش تنها چرخ‌دنده‌هایـی را می‌بندیـم که حرکـت خطی میز را با حرکـت دورانی قطعه همزمـان می‌کند. این روش مناسـب‌ترین روش بـرای چرخ‌دنده‌های اختلافی مارپیچ می‌باشد.

۳-۸- اصول کنترل دندانه‌های چرخ‌دنده ساده با کولیس دنده‌سنج

بـرای اندازه‌گیـری دقیق ضخامت چرخ‌دنده‌ها از کولیس دنده‌سـنج اسـتفاده می‌شود.



کولیس دنده سنج

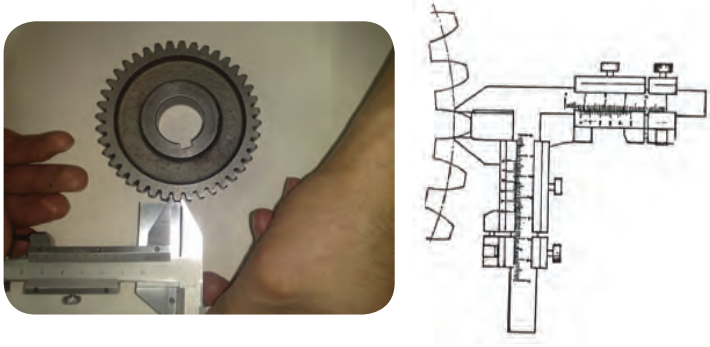


معرفی ضخامت و عمق دندانه قابل اندازه‌گیری در چرخ‌دنده

این کولیس از دو فک متحرک تشـکیل شده اسـت. از فک متحرک افقی برای کنترل وتر، ضخامت دنده (a) و از فک متحرک عمودی برای تنظیم عمق دندانه (b) استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری دقیق ضخامت دندانه چرخ‌دنده

در این روش پس از تنظیم عمق اندازه‌گیری آن را روی یک دنده چرخ‌دنده قرار می‌دهیـم و فـک افقی را به بغل دنده مماس کـرده و ضخامت دنده را به کمک کولیس خوانده و با مقدار محاسـبه شده آن مقایسه می‌کنیم. در نتیجه درستی چرخ‌دنده را کنترل می‌کنیم.



کنترل دقیق ضخامت چرخ‌دنده‌ی ساده با کولیس دنده‌سنج

اندازه‌گیری دقیق عمق دندانه‌ها

برای اندازه‌گیری عمق ابتدا باید عمق فک متحرک عمودی را که برابر b می‌باشد را تنظیم کرد. این مقدار کمی بزرگتر از ارتفاع سر دنده hk می‌باشد. در ابتدا زاویه گاما را که در اصل برابر $\frac{۱}{۴}$ زاویه گام دندانه می‌باشد را محاسبه می‌کنیم.

$$\gamma = \frac{۹۰}{z}$$

و نهایتاً فرمول اندازه‌گیری عمق به صورت زیر است:

$$b = m(۱ + z(۱ - \cos\frac{\gamma}{۲}))$$

محاسبه ضخامت دنده (a): این اندازه که در واقع با فک متحرک افقی سنجیده می‌شود عبارت است از اندازه‌گیری وتر و ضخامت دنده، اندازه بین نقطه D و B مقدار a از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$a = m \times Z \times \sin\gamma$$

مثال: در چرخ‌دنده ساده با ۲۰دندانه و مدول ۳ اندازه عمق تنظیم و وتر ضخامت دنده را محاسبه کنید. ببینید با فرمول‌های اشاره شده به اعداد زیر می‌رسید؟

$$\gamma = ۴/۵$$
$$b = ۳/۹۰$$
$$a = ۷/۷۱$$

در جدول زیر مقادیر a و b بر حسب میلی‌متر و تعداد دندانه‌ها بر حسب مدول یک تعیین شده است. برای به‌دست آوردن مقادیر a وb با مدول غیر از یک کافیست آن‌ها را در عدد مدول ضرب کنیم.

لازم به ذکر است که روش‌های مختلف دیگری نیز برای کنترل چرخ‌دنده‌ها وجود دارد. مثل استفاده از میکرومتر مخصوص و روش استفاده از میله‌های استاندارد.

z	b	a
۶	۱/۱۰۲۲	۱/۵۵۲۹
۷	۱/۰۸۷۸	۱/۵۵۷۶
۸	۱/۰۷۶۹	۱/۵۶۰۷
۹	۱/۰۶۸۴	۱/۵۶۲۸
۱۰	۱/۰۶۱۶	۱/۵۶۴۳
۱۱	۱/۰۵۶۰	۱/۵۶۵۳
۱۲	۱/۰۵۱۳	۱/۵۶۶۳
۱۳	۱/۰۴۷۴	۱/۵۶۷۰
۱۴	۱/۰۴۴۰	۱/۵۶۷۵
۱۵	۱/۰۴۱۱	۱/۵۶۷۹
۱۶	۱/۰۳۸۵	۱/۵۶۸۳
۱۷	۱/۰۳۶۲	۱/۵۶۸۶
۱۸	۱/۰۳۴۲	۱/۵۶۸۸
۱۹	۱/۰۳۲۴	۱/۵۶۹۰
۲۰	۱/۰۳۰۸	۱/۵۶۹۲
۲۱	۱/۰۲۹۴	۱/۵۶۹۳
۲۲	۱/۰۲۸۰	۱/۵۶۹۵
۲۳	۱/۰۲۰۸	۱/۵۶۹۶
۲۴	۱/۰۲۵۷	۱/۵۶۹۷
۲۵	۱/۰۲۴۷	۱/۵۶۹۸
۲۶	۱/۰۲۳۷	۱/۵۶۹۹
۲۷	۱/۰۲۲۳	۱/۵۶۹۹
۲۸	۱/۰۲۱۹	۱/۵۷۰۰
۲۹	۱/۰۲۱۲	۱/۵۷۰۰
۳۰	۱/۰۲۰۵	۱/۵۷۰۱

z	b	a
۳۲	۱/۰۱۹۳	۱/۵۷۰۲
۳۴	۱/۰۱۸۱	۱/۵۷۰۲
۳۵	۱/۰۱۷۶	۱/۵۷۰۲
۳۶	۱/۰۱۷۱	۱/۵۷۰۳
۳۸	۱/۰۱۶۲	۱/۵۷۰۳
۴۰	۱/۰۱۵۴	۱/۵۷۰۴
۴۲	۱/۰۱۴۷	۱/۵۷۰۴
۴۵	۱/۰۱۳۷	۱/۵۷۰۵
۴۸	۱/۰۱۲۸	۱/۵۷۰۵
۵۰	۱/۰۱۲۳	۱/۵۷۰۵
۵۵	۱/۰۱۱۲	۱/۵۷۰۶
۶۰	۱/۰۱۰۳	۱/۵۷۰۶
۶۵	۱/۰۰۹۵	۱/۵۷۰۶
۷۰	۱/۰۰۸۸	۱/۵۷۰۷
۸۰	۱/۰۰۷۷	۱/۵۷۰۷
۹۰	۱/۰۰۶۹	۱/۵۷۰۷
۱۰۰	۱/۰۰۶۲	۱/۵۷۰۷
۱۱۰	۱/۰۰۵۶	۱/۵۷۰۷
۱۲۰	۱/۰۰۵۱	۱/۵۷۰۷
۱۲۷	۱/۰۰۴۹	۱/۵۷۰۸
۱۳۰	۱/۰۰۴۷	۱/۵۷۰۸
۱۴۰	۱/۰۰۴۴	۱/۵۷۰۸
۱۶۰	۱/۰۰۳۹	۱/۵۷۰۸
۱۸۰	۱/۰۰۳۴	۱/۵۷۰۸
Grem.	۱	۱/۵۷۰۸

تعداد دنده Z	ضریب زاویه فشار $\alpha = 20^{\circ}$ C	تعداد دنده Z	ضریب زاویه فشار $\alpha = 20^{\circ}$ C	تعداد دنده Z	ضریب زاویه فشار $\alpha = 20^{\circ}$ C	تعداد دنده Z	ضریب زاویه فشار $\alpha = 20^{\circ}$ C
12	4.5963	48	16.9090	84	0.2217	120	0.5344
13	4.6103	49	16.9230	85	0.2372	121	0.5485
14	4.6243	50	16.9370	86	0.2497	122	44.5146
15	4.6383	51	16.9510	87	32.2169	123	0.5266
16	4.6523	52	19.9121	88	0.2299	124	0.5406
17	7.6184	53	19.9311	89	0.2439	125	0.5566
18	7.6324	54	19.9451	90	0.2579	126	0.5706
19	7.6161	55	19.9592	91	0.2719	127	0.5866
20	7.6605	56	19.9732	92	0.2859	128	0.5986
21	7.6745	57	19.9872	93	0.2999	129	0.6166
22	7.6883	58	20.0012	94	0.3139	130	47.5768
23	7.7025	59	20.0152	95	0.3229	131	0.5998
24	7.7165	60	20.0292	96	35.2940	132	0.6068
25	7.7305	61	22.9953	97	0.3080	133	0.6263
26	10.6966	62	23.0093	98	0.3220	134	0.6308
27	10.7106	63	0.0233	99	0.3361	135	0.6488
28	10.7246	64	0.0373	100	0.3501	136	0.6698
29	10.7386	65	0.0513	101	0.3641	137	0.6768
30	10.7576	66	0.0654	102	0.3781	138	0.6958
31	10.7666	67	0.0791	103	0.3971	139	50.6569
32	10.7806	68	0.0934	104	38.3587	140	0.6769
33	10.7916	69	0.1074	105	0.3777	141	0.6809
34	10.8086	70	26.0735	106	0.3867	142	0.6989
35	13.7748	71	0.0625	107	0.4002	143	0.7179
36	13.7888	72	0.1015	108	0.4146	144	0.7270
37	13.6028	73	0.1155	109	0.4283	145	0.7410
38	13.8168	74	0.1265	110	0.4423	146	0.7550
39	13.8308	75	0.1435	111	38.4563	147	0.7650
40	13.8448	76	0.1575	112	0.4793	148	53.7191
41	13.8688	77	0.1715	113	41.4354	149	0.7391
42	13.8728	78	29.1377	114	0.4504	150	0.7651
43	13.8868	79	0.1517	115	0.4614	151	0.7771
44	16.8530	80	0.1657	116	0.4784	152	0.7911
45	16.8669	81	0.1797	117	0.4994	153	0.6051
46	16.8810	82	0.1937	118	0.5011	154	0.8192
47	16.8950	83	0.2077	119	0.5204	155	0.8338