تولرانس‌های هندسی

بخش سوم

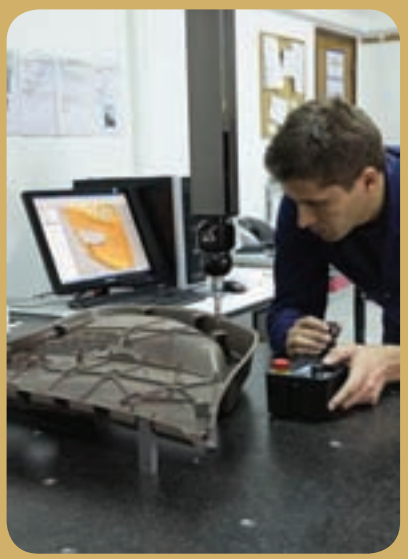
فصل ۳

تعیین تولرانس های ابعادی برای ساخت قطعات صنعتی لازم است ، اما کافی نیست. برای تکمیل شدن اطلاعات نقشهٔ ساخت به تولرانس دیگری به نام تولرانس هندسی نیاز است.تولرانس های هندسی تحت عنوان GD&T[1] در دنیا شناخته شده است ، که با رعایت موارد آن ، قطعات ساخته شده از دقت کافی برخوردار خواهند بود، در حقیقت این مهم ترین مزیت تولرانس های هندسی است که مقاصد و اهداف طراحان را در کلیهٔ کشورها ، یک سان می کند .

برای تولید قطعات این دستگاه تراش مخصوص دقت بالایی لازم است . به همین منظور باید دقیقاً به تولرانس های هندسی توجه کرد و سازندهٔ خود را به استفاده از آن ها ملزم نماید .
در این فصل با تولرانس‌های هندسی و علائم آن در نقشه‌ها آشنا می‌شویم.

پس از آموزش این فصل از هنرجو انتظار می‌رود:

- مفهوم تولرانس هندسی را بیان کند.
- علائم و نمادهای مربوط به انواع تولرانس های هندسی را نام ببرد.
- علائم و نمادهای مربوط به انواع تولرانس های هندسی را از روی نقشه تفسیر کند.

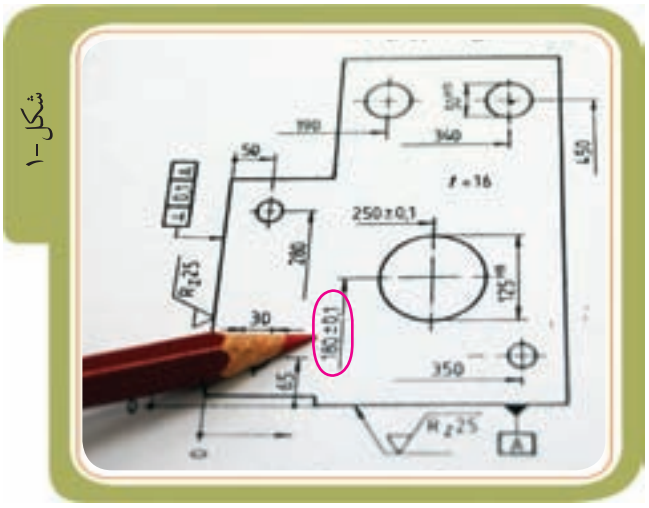


بررسی و کنترل اندازه‌های یک قطعه
توسط دستگاه اندازه‌گیری سه بعدی

[1] GD&T(Geometrical &Dimensioning Tolerancing)

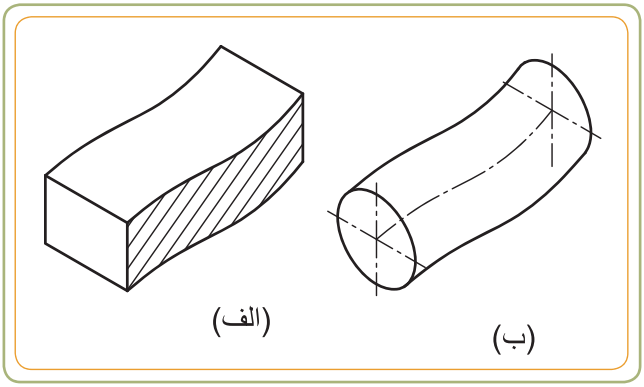
ساخت یک قطعهٔ صنعتی با دقت مطلق ، نه امکان پذیر است و نه مقرون به صرفه . به همین جهت اندازهٔ ها را ، با در نظر گرفتن تولرانس های معیّن و با توجه به نوع کاربرد و به تناسب نیاز ، می سازند.به این ترتیب :

* تولرانس های ابعادی نشانگر اختلاف اندازهٔ های طولی مُجاز برای ساخت یک قطعه است و این همان تولرانسی است که معمولاً روی نقشه های ساخت مشاهده می شود وبه کار می‌رود.(شکل-۱)



شکل-۱

در برخی شرایط خاص ، تولرانس های ابعادی نمی توانند به تنهایی شکل های مورد نظر را به میزان لازم کنترل نمایند.
به دو شکل زیر دقت کنید:



این قطعات به لحاظ ابعادی صحیح اند ، ولی در هنگام مونتاژ قطعات ، ایجاد مشکل می نمایند.

در (شکل الف) ضخامت قطعهٔ مربوطه در تمام قسمت های آن یک سان است، اما این قطعه تاب دارد .

در (شکل ب)تمامی سطح مقطع‌های قطعهٔ مربوطه مدوّر هستند ، ولی امتداد این قطعه تاب دارد .

هر چند ممکن است این دو قطعه از نظر ابعادی مورد تأیید باشند ، اما تحت هیچ شرایط مُجازی نمی توانند با قطعهٔ دیگری مونتاژ شوند. مشکل این قبیل قطعات را می توان با استفاده از تولرانس هندسی برطرف کرد.

شکل-۲

به نظر شما اگر محور سوراخ‌های مشخص شده قطعه (شکل-۲) در یک راستا نباشند و اختلاف محورآن‌ها با مقدار موجود در نقشه مطابقت نکند، چه مشکلی پیش می‌آید؟

امروزه در اغلب نقشه های صنعتی از تولرانس‌های هندسی استفاده می‌شود. با به کارگیری تولرانس‌های هندسی:

۱- طراح قطعه بهتر می تواند جزئیات طرح خود را بیان کند.

۲- سازندهٔ قطعه نیز راحت تر می‌تواند کلیهٔ مشخصات قطعهٔ کار را دریابد.

۳- درهنگام مونتاژ از مشکلات کاسته می شود و به حداقل ممکن می‌رسد.

انحرافات هندسی

هر قطعه ای که ساخته می شود باید وظیفه مشخصی را انجام دهد که برای آن منظور تولید شـده اسـت. وظیفهٔ هر قطعه‌ای معمولاً در مجـاورت قطعات دیگر قرار گرفتن بـرای انجام کار خاصی اسـت. توانایی انجام وظیفه از نظر هندسی به معنی توانایی جفت شدن است.

در تصاویـر مقابـل اگر هر یک از قطعات تشـکیل دهنده آن‌ها، بیشـتر از حد مُجاز انحراف داشته باشند نمی توانند روی همدیگر جفت شوند یا حرکتی داشته باشند.

بنابرایـن هرقطعه‌ای باید طوری تولرانس گذاری شـود که بتواند وظایفش را به درستی در طول عمر مورد نظر (در داخل مجموعه به کار رفته) انجام دهد .

علت ایجاد انحراف‌های هندسی

انحراف های شکلی به واسطهٔ مواردی مثل:

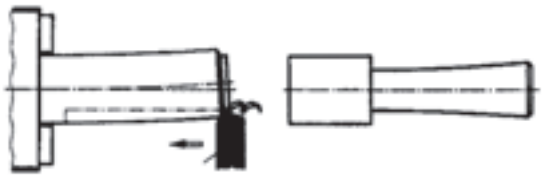
- بی دقتی ماشین ها و ابزارها؛
- اثر نیروی برش توسط ابزارها بر روی قطعه کار؛
- خطای ماشین کار و ...

به وجود می آیند.

به دومثال شکل زیر توجه کنید :

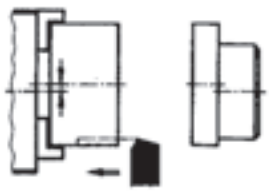
انحراف مدوّر بودن قطعهٔ تراشکاری در(شکل الف) به یاتاقان بندی محور ماشین وابسته است . انحراف لنگی قطعه تراشکاری در(شکل ب) ناشی از نبودن دقت در فک های سه نظام است . بنابراین ساخت قطعات با شکل دقیق هندسی بدون هیچ گونه خطایی امکان پذیر نیست .

(الف)



انحراف مدوّر بودن

(ب)



انحراف لنگی

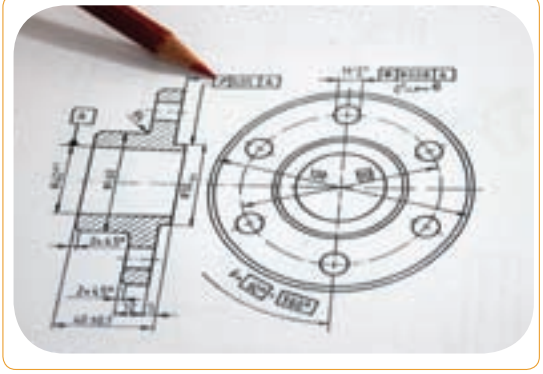
خرد کن دستی

منگنه

قفل درب

لـذا طراحان، عـلاوه بر در نظـر گرفتن مواردی مثل کیفیت سـطح ، تولرانس های ابعادی ، انطباقات و ...، انحرافات شـکل هندسـی را نیز مورد توجه قرار می دهند و در قالب تولرانس های هندسـی آن ها را به روی نقشه های ساخت به نمایش در می آورند.

با توجه به توضیحات فوق ، تولرانس هندسی را به طور ساده تعریف می کنیم : تولرانس هندسی انحراف های مُجاز یک شکل هندسی را از فرم و موقعیت ایده آل آن بیان می کند ، طوری که قطعه پس از تولید بتواند وظیفهٔ خود را به درستی انجام دهد.



چند اصطلاح در تولرانس های هندسی

برای درک مطلب مورد بحث در تولرانس های هندسی بهتر است با چند واژهٔ مهم آشنا شویم .

اندازهٔ های روی نقشــه ، اندازهٔ اســمی (ایده آل) تعیین شده توسط طراح است .

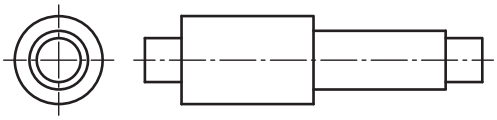
از آنجایــی که یــک اندازهٔ ایــده آل فقــط در ذهن وجود دارد، باید پذیرفت که در ســاخت وتولید، همیشه اختلافات (انحرافاتــی) بین اندازهٔ فعلــی(اندازهٔ ای که پس از تولید به دست می آید)و اندازهٔ مورد نظر طراح (اندازهٔ ایده آل) قابل تصور است.بنابراین تغییراتی ابعادی یا هندسی در اندازهٔ ها و شکل قطعه پس از تولید ، مطابق تصاویر زیر خواهیم داشت که برای آشــنایی بهتر با این تغییرات (درصفحهٔ بعد) با چند واژه آشنا می شویم .

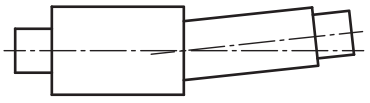
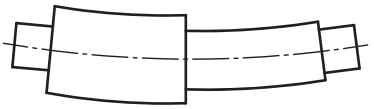
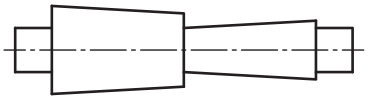
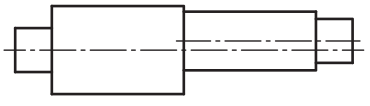
قبل از آن ، به تصاویر زیر نگاه کنید و با ذکر شماره مشخص کنید از نظر شــما کدام عبارت سمت چپ مربوط به تصاویر سمت راست است؟

داخل دایره ها را شماره گذاری کنید.

متخصصان اندازه گیری دقیق به کمک دستگاه‌های پیشرفته و حساس، اندازه دقیق قطعه را پس از تولید با اندازه مورد نظر طراح که روی نقشه درج شده است، مقایسه می کنند.

فرم ایده آل مورد نظر طراح قطعه کار:



۱- مخروطی تولید شده است.	○ 
۲- خم شده تولید شده است.	○ 
۳- خارج از مرکز تولید شده است.	○ 
۴- انحنادار تولید شده است.	○ 

برخی از تعاریف

طرح اسمی: از یک طرح که به صورت ایده آل در ذهن طراح قطعه وجود دارد، صحبت می کند.

طراح به هنگام اندازهٔ گذاری نقشه ، یک اندازهٔ اسمی(که عملاً ایده آل و دست نیافتنی است) تعیین می کند و سپس با تولرانس‌های مورد نظر، خطای مُجاز آن را مشخص می نماید.

اندازه: یک سوراخ یا میله می‌تواند بزرگ تر یا کوچک‌تر از اندازهٔ مورد نظر تولید شود.

فرم: یک سوراخ یا میله ممکن است خمیده تولید شود، در حالی که وسیلهٔ اندازهٔ گیری، اندازهٔ قطر آن را به طور صحیح نشان بدهد.

مکان: یک سوراخ یا میله ممکن است خارج از مرکز یا کج تولید شود، هرچند وسیلهٔ اندازهٔ‌گیری اندازهٔ قطر آن را به طور صحیح نشان بدهد .

انحراف: اختلاف بین اندازهٔ موجود (اندازهٔ فعلی) و اندازهٔ اسمی (اندازهٔ ایده آل) را انحراف می گوییم.

اندازهٔ فعلی – اندازهٔ اسمی = انحراف

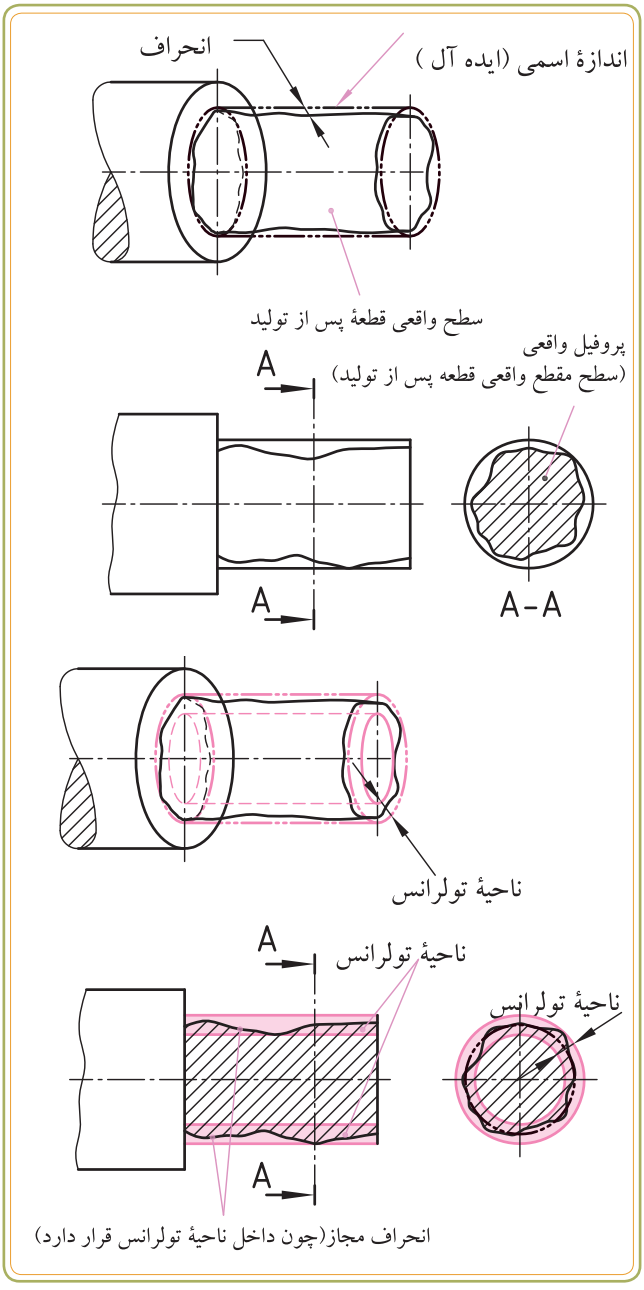
منطقهٔ (ناحیهٔ) تولرانس : فضا و محدوده ای که سطح قطعهٔ تولید شده باید درون آن فضا قرار گیرد (در صفحه ۱۶۳ با منطقهٔ تولرانس هندسی بیش تر آشنا می شویم)

انحراف مُجاز: هر انحراف موجود که درون منطقهٔ تولرانس قرار گیرد، انحراف مُجاز است که یک اندازهٔ فعلی (اندازهٔ پس از تولید) را نشان می دهد.

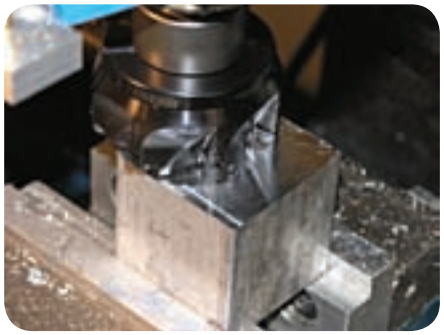
* زمانی که انحراف داخل منطقهٔ تولرانس باشد ، انحراف مُجاز خواهد بود.

خطای غیر مُجاز : وقتی انحراف از منطقهٔ (ناحیهٔ) تولرانس خارج شود، آن موقع می گوییم خطا وجود دارد.

در صفحهٔ بعد به کمک یک مثال با اصطلاحات و تعاریف فوق بیشتر آشنا می‌شویم.



مثال: (برای توضیح اصطلاحات و تعاریف)

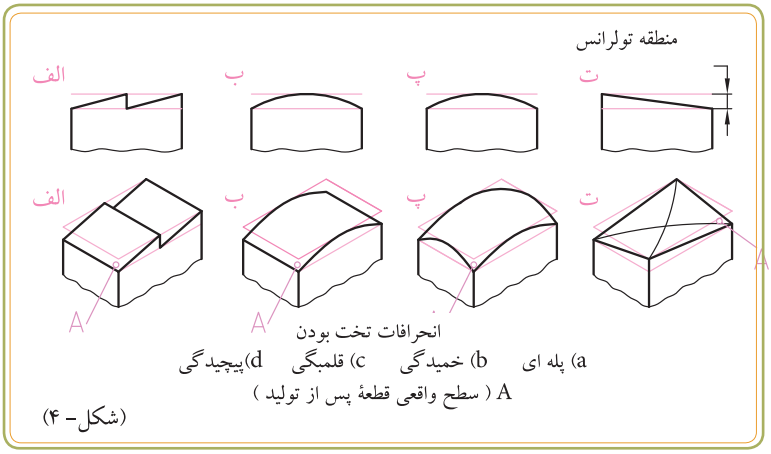


فرض کنید قراراست قطعه ای مکعبی شکل (مطابق نقشه شکل -۱)تولید شود. هدف طراح آن است که سطح A ، یک سطح تخت باشد و برای آن مقدار تولرانس ۰،۰۰۵mm راتعیین می کند. برای این منظور طراح باید مقصود خود را به سازنده کاملاً واضح و شفاف اعلام کند.

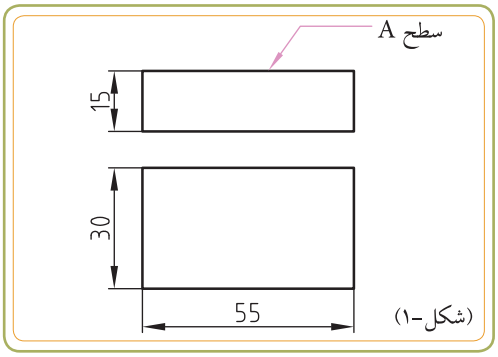
لذا طراح مقدار تولرانس(که مقدار ۰،۰۰۵mm است) را داخل یک مستطیل به نام کادر تولرانس قرار می‌دهد. او همچنین باید سازنده را مطلع کند که سطح A لازم است تخت باشد. او مفهوم تخت بودن را توسط یک نماد به شکل

در داخل کادر تولرانس معرفی می کند. از آنجایی که قطعهٔ پس از تولید ممکن است کاملاً تخت نباشد، برای آن یک منطقهٔ یا ناحیهٔ را تعریف و مشخص می کند که به آن منطقهٔ تولرانس یا ناحیهٔ تولرانس می گویند.(شکل-۳) نکته این که: سطح A وقتی قابل قبول است که پس از تولید در داخل این منطقه (ناحیه) قرار گیرد.

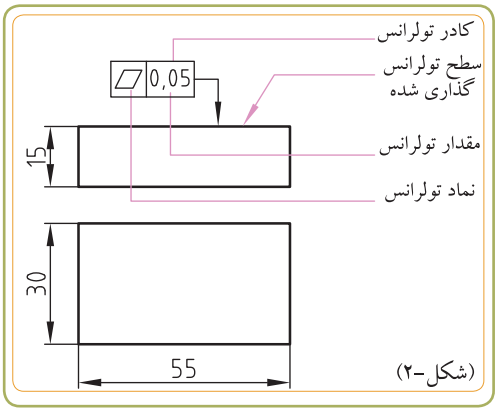
به عبارت ساده‌تر،سطح تولرانس گذاری شدهٔ A (درشکل -۲) فقط در منطقهٔ تولرانسی (شکل-۳)، مُجاز به انحراف دلخواه است. (شکل ۴) چند نمونه از انحرافاتی را که ممکن است پس از تولید برای مثال مورد نظر ما پیش بیاید، نشان می دهد .



(شکل- ۴)

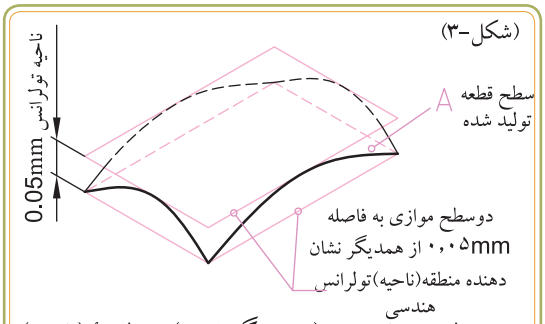


(شکل-۱)



(شکل-۲)

(شکل-۳)



دو سطح موازیِ هم(به رنگ قرمز)، منطقهٔ (ناحیه) تولرانس هندسی را نشان می‌دهند. سطح قطعهٔ تولید شده زمانی قابل قبول است که اگر مطابق یکی از حالت‌های(شکل-۴)تولید شود ،نهایتاً داخل این دو صفحهٔ موازی محدود شود. با این توصیف تمام حالت‌های a تا d قابل قبول اند، مشروط بر این که سطح واقعی قطعه پس از تولید (یعنی سطح A)در داخل منطقهٔ تولرانس قرار گیرد .

نمایش تولرانس های هندسی بر روی نقشه

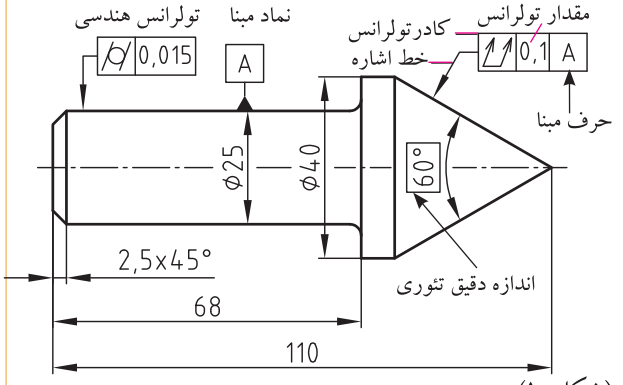
مطابـق آنچه که در مثـال صفحه قبل مطالعـه کردیم، برای نمایش تولرانس های هندسی بر روی نقشه باید با پارامترهایی مثل کادر تولرانس، نماد تولرانس، مبنا و ... (در شـکل -۱) آشنا باشیم، که در ادامه به معرفی هریک از آن ها می‌پردازیم.

کادر تولرانس

تولرانس‌های هندسی درون یک کادر نمایش داده می‌شوند. کادری چهارگوش(مسـتطیل شـکل) و حداقل بـا دو خانه (مطابق شـکل -۲). در اولین خانه از سمت چپ علامت نوع تولرانس قـرار می‌گیرد. در دومین خانهٔ مقـدار تولرانس بر حسـب میلی‌متر قرار می‌گیرد. خانه سوم(یا خانه‌های بعد از آن) شـامل حروف مشخصهٔ لاتین است و از آن‌ها برای ذکر مبنا در تولرانس های هندسی وابسته[1] استفاده می‌شود.

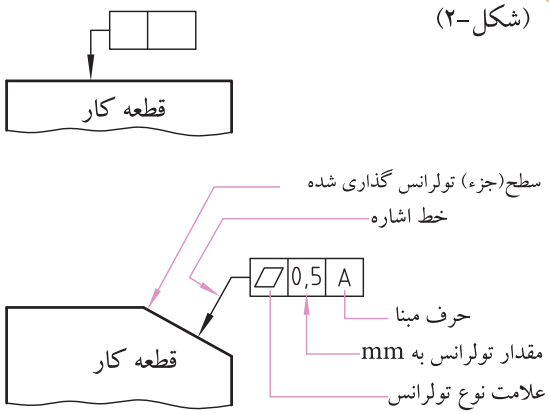
کادر تولرانـس بـا یـک خـط اشـاره بـه یـک فلـش (پیکان اندازهٔ) متصل می شود. انتهای فلش عمود بر جزء (سطح) تولرانس گذاری شده قرار می گیرد.

* در جدول زیر، قسمت های را که با نقطه چین(...) مشخص شده اند ، را نام گذاری کنید.



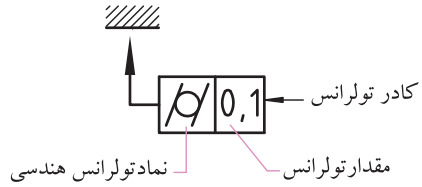
(شکل-۱)

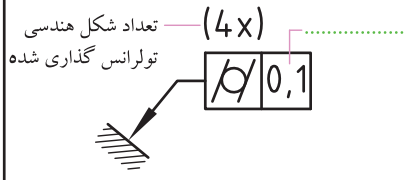
(شکل-۲)



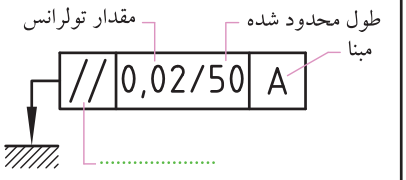
چند مثال از برخی حالت های کادر تولرانس هندسی

* جهت خط اشاره، با توجه به سطح تولرانس گذاری شده متفاوت (متغیر) خواهد بود.

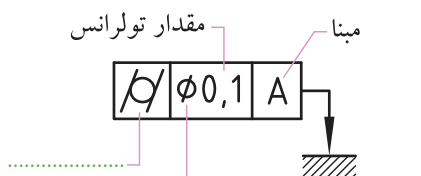


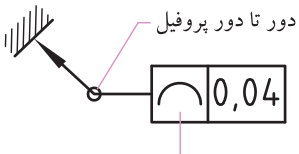


مقدار تولرانس که مربوط به چهار سوراخ است.

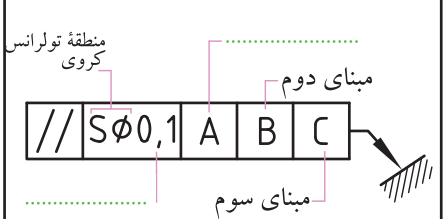


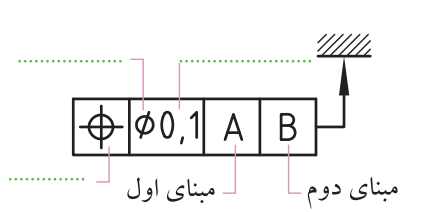
تولرانس 0.02 برای طول مشخص و محدود 50mm است





تولرانس 0.04 فقط به پیرامون سطح مقطع مشخص شده اعمال می شود.



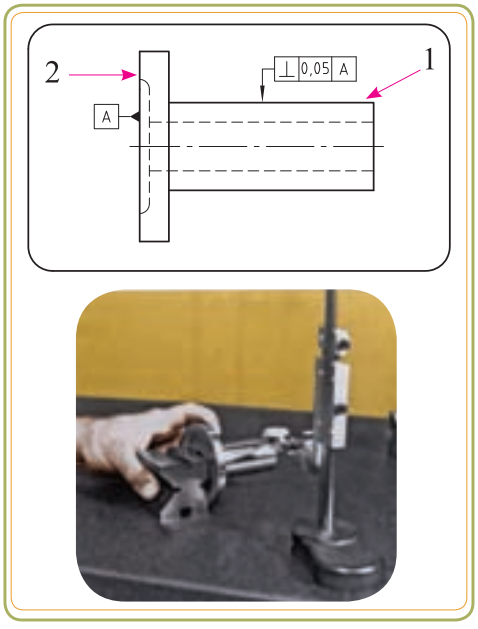


۱ – تولرانس های هندسی وابسته در جدول صفحه ۱۶۷ معرفی شده اند.

نماد تولرانس های هندسی

در نقشه های فنی برای تعیین تولرانس‌های هندسی از نمادهای مطابق جدول استفاده می شود که هر کدام از آن‌ها نشان دهندهٔ وضعیت خاصی است(با ویژگی این نمادها در دو جدول صفحه ۱۶۷ بیشتر آشنا می‌شوید).

نمادهای تولرانس‌های هندسی فرم						نمادهای تولرانس‌های هندسی جهت			نماد تولرانس‌های هندسی موقعیت			نماد تولرانس‌های هندسی لنگی	
راستی (مستقیم بودن)	تختی (صاف بودن)	دایره ای بودن	استوانه ای بودن	شکل هر نوع خط	شکل هر نوع سطح	توازی	عمود بودن	زاویه دار بودن	وضعیت	هم محوری	تقارن	لنگی موضعی	لنگی کلی



فرضاً در قطعهٔ مطابق شکل به کمک نماد تولرانس هندسی می خواهیم عمود بودن سطح ۱ را نسبت به سطح ۲ نشان دهیم.

در تولرانس هندسی نشان دادن دو سطح عمود بر هم توسط نماد ⊥ مشخص می شود.

در نقشهٔ مثال بالا کدام یک از ویژگی های زیر مورد کنترل قرار گرفته است؟

۱)فرم ○ ۲)جهت ○ ۳)موقعیت ○ ۴)لنگی ○

شکل مقابل قطعه‌ای را نشان می‌دهد که توسط دستگاه، تولرانس گردی آن در حال کنترل است.

تولرانس گردی جزء کدام دسته از تولرانس‌های هندسی است؟

۱)فرم ○ ۲)جهت ○ ۳)موقعیت ○ ۴)لنگی ○

بیشتر بدانیم

تولرانس های عمومی

مقدار تولرانس هندسی بر مبنای کاربرد و عملکرد قطعه و براساس استاندارد مربوطه توسط طراح تعیین می‌شود.
در مواردی که مقادیر انحراف اندازهٔ روی نقشه تعیین نشده باشد، می‌توان برای تعیین انحراف اندازه‌های مُجاز از تولرانس های عمومی کمک گرفت.
طبق استاندارد DIN ISO ۲۷۶۸ در ماشین سازی برای برخی از تولرانس‌های هندسی مطابق جدول زیر سه درجه در نظر گرفته شده است:

H : تولرانس ظریف (تا متوسط)
K : تولرانس های متوسط (تاخشن)
L : تولرانس های خشن (تا خیلی خشن)

(اندازهٔ ها بر حسب mm)

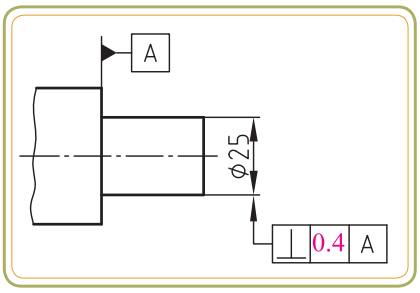
جدول تولرانس های عمومی برای برخی از تولرانس های هندسی

درجهٔ ظریف H	محدودهٔ اندازهٔ اسمی	تا ۱۰mm	از ۱۰ تا ۳۰mm	از ۳۰ تا ۱۰۰mm	از ۱۰۰ تا ۳۰۰mm	از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰mm	از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰mm
	— ▱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۴
	⊥	۰,۲			۰,۳	۰,۴	۰,۵
	⫢	۰,۵					
	↗	۰,۱					

درجهٔ متوسط K	محدودهٔ اندازهٔ اسمی	تا ۱۰mm	از ۱۰ تا ۳۰mm	از ۳۰ تا ۱۰۰mm	از ۱۰۰ تا ۳۰۰mm	از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰mm	از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰mm
	— ▱	۰,۰۵	۰,۱	۰,۲	۰,۴	۰,۶	۰,۸
	⊥	۰,۴			۰,۶	۰,۸	۱,۰
	⫢	۰,۶				۰,۸	۱,۰
	↗	۰,۲					

درجهٔ خشن L	محدودهٔ اندازهٔ اسمی	تا ۱۰mm	از ۱۰ تا ۳۰mm	از ۳۰ تا ۱۰۰mm	از ۱۰۰ تا ۳۰۰mm	از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰mm	از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰mm
	— ▱	۰,۱	۰,۲	۰,۴	۰,۸	۱,۲	۱,۶
	⊥	۰,۶			۱,۰	۱,۵	۲,۰
	⫢	۰,۶			۱.۰	۱,۵	۲,۰
	↗	۰,۵					

مثال : برای قطعه ای به قطر ۲۵mm با درجهٔ تولرانس k ،
مقدار تولرانس تعامد از جدول برابر با ۰,۴ خواهد بود.

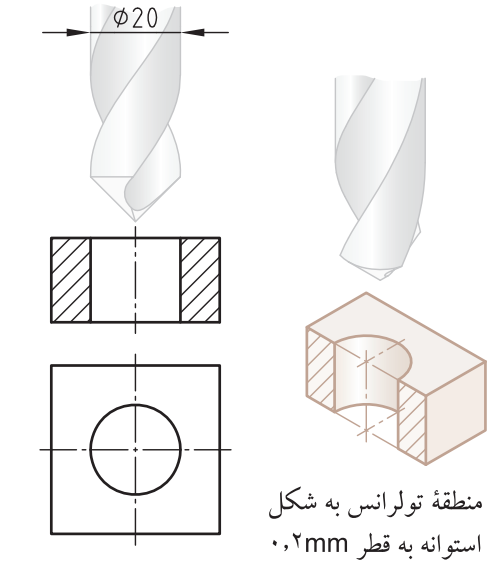


* منطقهٔ تولرانس

فـرض کنیـم می خواهیـم در قطعـه ای، سـوراخی به قطر ۲۰mm ایجاد کنیم. از آن جایی که ساخت قطعه با اندازهٔ اسـمی به ندرت اتفاق می افتد و احتمالاً محور سوراخ دقیقاً درراسـتای حرکت محور مته قرار نمی گیرد ، طراح ناگریز اسـت منطقه ای را برای مقدار انحراف محور سوراخ در نظر بگیرد .

هـرگاه پس از تولید، مقـدار انحراف محـور در داخل این منطقـهٔ قرار گیـرد ، قطعه کار قابل قبول اسـت. این منطقهٔ ، را منطقـهٔ تولرانس می نامندکه بـا عناوینی همچون : ناحیهٔ تولرانس یا گسـترهٔ تولرانس نیز نامیده می شـود . در مثال مورد نظر ما ، منطقهٔ تولرانس (مطابق شـکل –۱) استوانه ای به قطر ۰،۲mm است .

بـه طور کلی مـی توان گفـت منطقـهٔ (ناحیـهٔ) تولرانس محدوده ای است که بخش تولرانس گذاری شدهٔ قطعهٔ پس از تولید ، باید به طور کامل درآن محدوده قرار بگیرد .



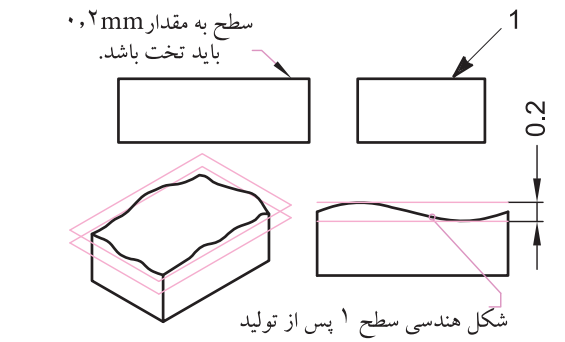
منطقهٔ تولرانس به شکل استوانه به قطر ۰،۲mm

محور قطعهٔ تولید شده ، محدود شده داخل یک استوانه به قطر ۰،۲mm

(شکل–۱)

*شکل منطقهٔ تولرانس

شـکل منطقهٔ تولرانس به شـکل قطعه و قسمت مورد کنترل آن بسـتگی دارد که بر حسـب نوع تولرانس هندسی ممکن است مطابق (شکل –۲) به صورت دو صفحه موازی یا مطابق جدول زیر به شکل دایره ، کره و ... باشد.

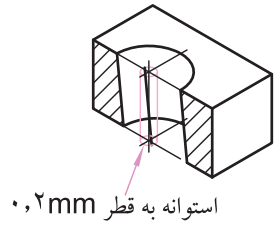


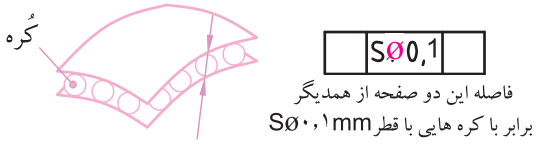
شکل هندسی سطح ۱ پس از تولید این سـطح قابـل قبول اسـت چـون درمحدودهٔ تولرانس تعیین شدهٔ ۰،۲mm قرار گرفته است.

(شکل–۲)

داخل یا مماس بر دایره	بین دودایرهٔ هم مرکز	بین دوخط موازی	مماس بر کره
داخل استوانه	بین دو استوانهٔ هم محور	بین دوصفحه موازی	داخل یک متوازی السطوح

نکته: اگر منطقهٔ تولرانس هندسی به صورت استوانه‌ای باشد در کادر تولرانس قبل از مقدار تولرانس، نماد Ø قرار می گیرد. اگر منطقهٔ تولرانس به صورت کُروی باشد در کادر تولرانس قبل از مقدار تولرانس نماد SØ[1] قرار می گیرد.





در جدول زیر به کمک پنج قطعه با برخی از مناطق تولرانس‌های هندسی آشنا می شوید.

منطقهٔ تولرانس			توضیح		
نما(منطقه تولرانس)	تصویر مجسم (منطقهٔ تولرانس)	ویژگی منطقهٔ تولرانس (باتوجه به نقشه)	مقدار تولرانس	تفسیر	نقشه
شکل محور قطعهٔ پس از تولید Ø0,04	0,04mm	یک استوانه به قطر ۰٫۰۴mm است	۰٫۰۴ این مقدار برابر با قطر استوانهٔ مربوط به منطقهٔ تولرانس است.	انحراف محور قطعهٔ پس از تولید تا حدی قابل قبول است که داخل استوانه ای به قطر ۰٫۰۴mm قرار گیرد.	0,04 Ø مثال ۱
شکل سطح پیرامونی قطعه پس از تولید 0,2	0,2mm	دو استوانهٔ هم محور که فاصلهٔ آن ها از همدیگر ۰٫۲mm است.	۰٫۲ این مقدار برابر با فضای بین دو استوانهٔ هم محور مربوط به منطقهٔ تولرانس است.	انحراف سطح پیرامونی قطعهٔ پس از تولید تا حدی قابل قبول است که در فضای بین دو استوانه هم محور– که فاصلهٔ آن ها از همدیگر ۰٫۲mm است، قرار گیرد.	0,2 Ø مثال ۲
شکل مقطع قطعه پس از تولید 0,08mm	صفحهٔ برش 0,08	دو دایرهٔ هم مرکز که فاصلهٔ آن ها از همدیگر ۰٫۰۸mm است	۰٫۰۸ این مقدار برابر با فضای بین دو دایرهٔ هم مرکز مربوط به منطقهٔ تولرانس است .	مقطع جسم باید پس از تولید بین دو دایرهٔ هم مرکز به فاصلهٔ ۰٫۰۸mm قرار گیرد.	0,08 مثال ۳
سطح واقعی قطعهٔ پس از تولید 0,03mm	0,03	دو سطح تخت و موازی همدیگر که فاصلهٔ آن ها از همدیگر ۰٫۰۳mm است.	۰٫۰۳ این مقدار برابر با فضای بین دو صفحه مربوط به منطقهٔ تولرانس است.	سطح قطعهٔ پس از تولید باید بین دو صفحهٔ موازی که فاصلهٔ آن ها از هم ۰٫۰۳mm است قرار بگیرد.	0,03 مثال ۴
سطح واقعی قطعهٔ پس از تولید SØ0,3mm	SØ0,3	دوسطح که فاصله آن ها از همدیگر برابر با کره هایی به قطر ۰٫۳mm است.	۰٫۳ این مقدار برابر با فضای بین دو صفحه مربوط به منطقهٔ تولرانس است.	سطح قطعهٔ پس از تولید باید بین دو صفحه انحنادار کاملاً موازی که فاصله آن ها ۰٫۳mm (قطر کُره فرضی) است ، قرار گیرد.	0,3 مثال ۵

✷ S مخفف Sphere به مفهوم کُره و SØ۰٫۱ به مفهوم کره‌ای به قطر ۰٫۱mm می باشد.

*** مبنا (مرجع)**

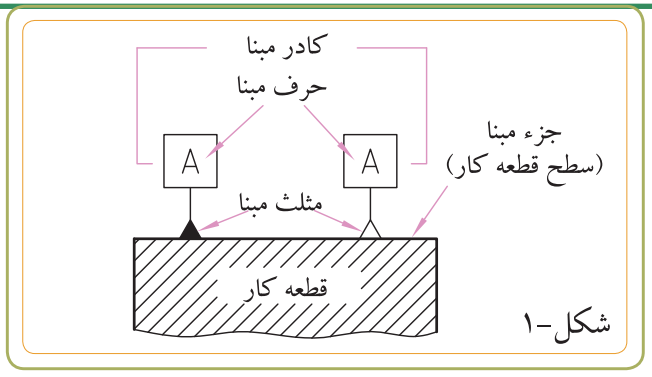
تولرانس های هندسی اغلب نسبت به یک مبنا سنجیده می شوند . معمولاً وقتی که قرار است جزئی نسبت به یک مبنا تولرانس گذاری شود ، مبدأ مورد نظر را توسط حروفی معین می کنند(شکل -۱).

برای مثال ، در (شکل-۲) می خوانیم سطح ۱ با سطح ۲ موازی باشد. در این جاسطح ۲ مبنای مقایسه است ، بنابراین علامت مبنا [A] را روی سطح ۲ می گذاریم و آن را مبنای A فرض کرده و سطح ۱ را با آن می سنجیم.(علامت تولرانس هندسی را روی سطح ۱ می گذاریم.

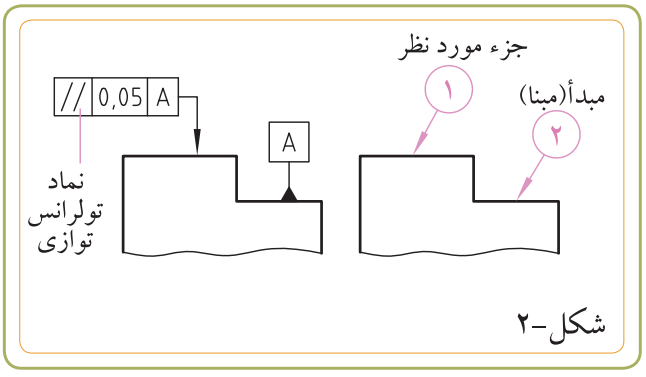
سطح ۱؛ سطح مورد نظر برای تولرانس گذاری است که باید حالت موازی بودن آن سطح نسبت به سطح مبنای ۲ سنجیده شود.

نماد مبنا (مطابق شکل ۱ و ۲) عبارت است از یک حرف لاتین بزرگ که در داخل یک کادر مربعی شکل درج می‌شود (معمولاً از حروف اول الفبای انگلیسی استفاده می‌شود.) نماد مبنا و کادر آن توسط یک خط کوتاه و مثلثی (توپر یا توخالی) به سطح مبنا متصل می شود.

(مثلث توپر سیاه در نقشه بهتر رویت می شود)

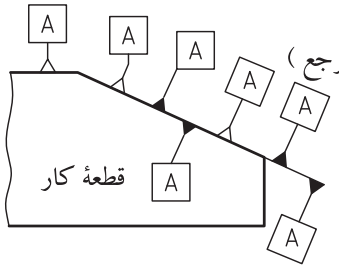


شکل-۱



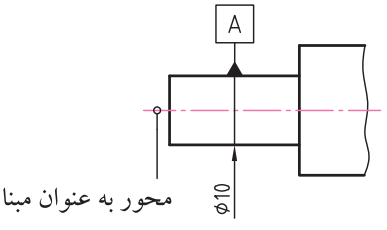
شکل-۲

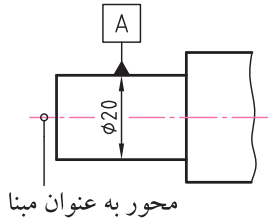
حالت های مشخص کردن سطح مبنا بر روی نقشه



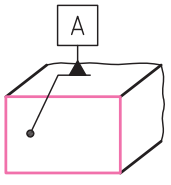
موقعیت های مثلث مبنا (مرجع) با حرف مبنا

۱- محور به عنوان مبنا
(چنانچه مثلث مبنا بر روی امتداد خط اندازه قرار گیرد ، محور به عنوان مبنا مد نظر خواهد بود).





۲- سطح جلویی قطعه
(سطحی که به چشم ناظر نزدیک تر است) به عنوان سطح مبنا



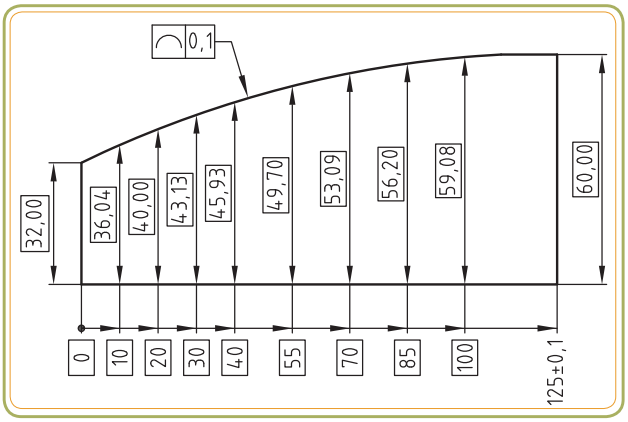
۳- جزء فوقانی (سطح فوقانی قطعه) به عنوان سطح مبنا

* اندازهٔ دقیق تئوری

انـدازهٔ دقیق تئـوری که به آن اندازهٔ ایـده آل نیز می گویند یک اندازهٔ مبناسـت که میدان تولرانس نسـبت به آن تعیین می شـود .اندازهٔ تئوری نشـان دهندهٔ موقعیت ایده‌آل است. .برای آن که این اندازهٔ قابل شناسـایی باشـد ، آن را داخل کادر چهـار ضلعی ثبت می کنند.ابعادی کـه در داخل این کادر چهارضلعی قرار می گیرند مثل 15 ، جایگاه حقیقی یا موقعیت دقیق یک بخش را بر روی یک قطعه (مطابق شکل الف) نشان می دهند .

انـدازه های تئوری بـرای بیـان وضعیت ایده آل هندسـی برخی از تولرانس های هندسـی به کار می روند. سه تصویر مقابـل (شـکل –ب) کاربـرد اندازهٔ دقیق تئـوری را برای تولرانس‌هندسـی: ۱- پروفیل سطح ، ۲- شیب دار بودن و ۳- موقعیت نشان می دهند.

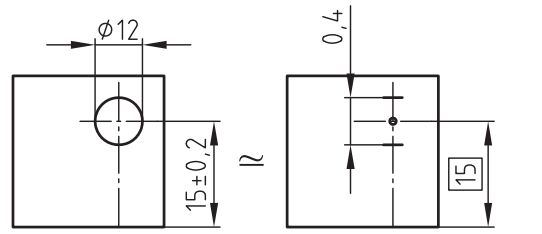
نقشـهٔ زیر شابلون سـهمی شـکل برای کپی تراش را نشان می‌دهد. شـکل دقیق خط لبهٔ شـابلون به وسـیلهٔ اندازه‌های تئوری مشخص شده اند .



تفسیر نقشه شابلون

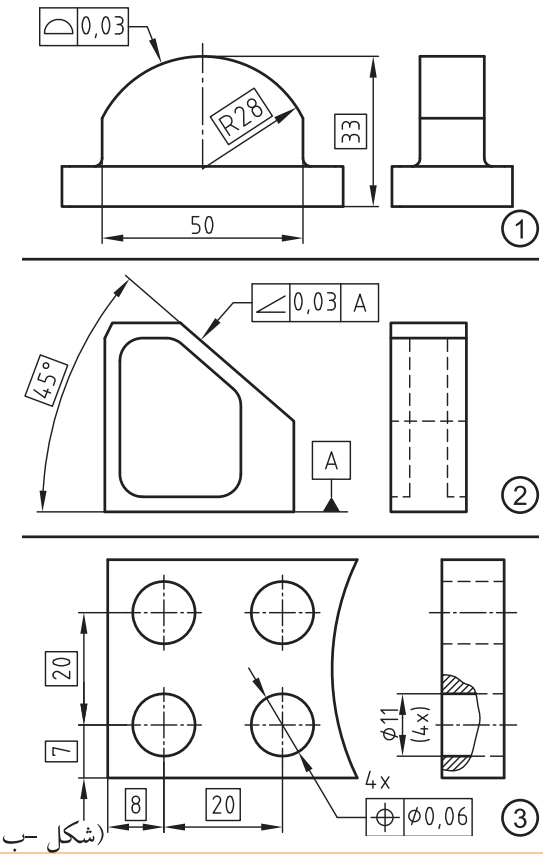
با تولرانس هندسـی پروفیل خط ⌓ به مقدار ۰٫۱mm ، خواسته می شـود که اندازهٔ فعلی لبهٔ شابلون باید بین دوخط (مطابق شکل پ) (که منطقهٔ تولرانس است) قرار گیرد.

به عبارت دیگر، منطقهٔ تولرانس فضای بین دو خط اسـت و فاصلهٔ این دو خط از همدیگر برابر با دایره هایی به قطر ۰٫۱ mm است.

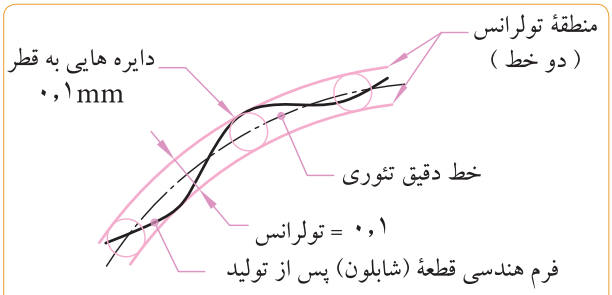


(شکل–الف)

نمایش اندازهٔ دقیق تئوری بر روی تولرانس های هندسی:
۱–پروفیل سطح ۲– شیب داربودن ۳–موقعیت



(شکل –ب)



نمایش منطقهٔ تولرانس شابلون سهمی کپی تراش (شکل– پ)

انواع تولرانس های هندسی به همراه نماد آن ها

نوع تولرانس	ویژگی	نام گذاری	نماد(علامت)
تولرانس های هندسی فرم	تولرانس های فرم ، گروهی از تولرانس های هندسی هستند که برای کنترل ویژگی های شکل ظاهری، نظیر مستقیم بودن ، تخت بودن ، گرد بودن و استوانه ای بودن به کار می روند. تولرانس های فرم ، خطای مُجاز یک قسمت از قطعهٔ کار را به تنهایی (نه نسبت به قسمت های دیگر) نشان می‌دهند. به همین دلیل به این نوع از تولرانس ها ، تولرانس های هندسی مستقل یا غیر وابسته نیز می گویند. چهار نوع تولرانس هندسی فرم(مطابق ستون سمت چپ) وجود دارد. * این تولرانس ها را در صفحات۱۶۸ و۱۶۹ مورد بررسی قرار می دهیم.	راستی (مستقیم بودن) تختی (صاف بودن) گردی (دایره ای بودن) استوانه ای (استوانه ای بودن)	
تولرانس هندسی شکل پروفیل	تولرانس های هندسی شکل پروفیل ، گروهی از تولرانس های هندسی هستند که برای کنترل ویژگی هایی نظیر: شکل هر نوع خط و شکل هر نوع سطح به کار می‌روند . دو نوع تولرانس هندسی شکل پروفیل (مطابق ستون سمت چپ) وجود دارد . * این تولرانس ها را در صفحه ۱۷۰ مورد بررسی قرار می دهیم .	شکل هر نوع خط شکل هر نوع سطح	

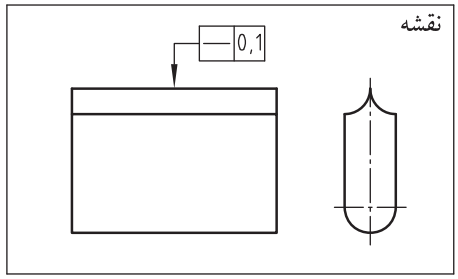
نوع تولرانس	ویژگی	نام گذاری	نماد (علامت)
تولرانس های هندسی جهت	تولرانس های هندسی جهت ، گروهی از تولرانس های هندسی هستند که برای کنترل دقت (توازی ، تعامد و زاویه) یک قسمت از یک قطعهٔ کار نسبت به یک یا چند محل مبنا به کار می روند. به همین دلیل به این نوع از تولرانس ها ، تولرانس های هندسی غیرمستقل یا وابسته نیز می گویند. سه نوع تولرانس هندسی وضعیت (مطابق ستون سمت چپ) وجود دارد. * این نوع تولرانس ها را در صفحات ۱۷۱ و۱۷۲ مورد بررسی قرار می دهیم.	توازی	//
		تعامد (عمود بودن)	⊥
		شیب داشتن (زاویه دار بودن)	∠
تولرانس های هندسی موقعیت	تولرانس های هندسی موقعیت ،گروهی از تولرانس های هندسی هستند که برای بررسی دقت موقعیت یک شکل یا یک قسمت از قطعهٔ کار به کار می روند. سه نوع تولرانس هندسی موقعیت (مطابق ستون سمت چپ) وجوددارد . * این تولرانس ها را در صفحات۱۷۲و۱۷۳ مورد بررسی قرار می دهیم .	وضعیت	⌖
		هم محوری (هم مرکزی)	◎
		تقارن	=
تولرانس های هندسی لنگی (دوبدگی)	تولرانس های هندسی لنگی، گروهی از تولرانس های هندسی هستند که برای کنترل میزان لنگی سطح یک قطعهٔ کار مدوّر نسبت به یک محور مبنا به کار می روند. دو نوع تولرانس لنگی (مطابق ستون سمت چپ) وجود دارد. * این نوع تولرانس ها را، در صفحات۱۷۴ و۱۷۵ مورد بررسی قرار می دهیم .	لنگی مقطعی (دوبدگی مقطعی) شعاعی	↗
		لنگی مقطعی (دوبدگی مقطعی) محوری	
		لنگی کلی (دوبدگی کلی) شعاعی	⌰
		لنگی کلی (دوبدگی کلی) محوری	

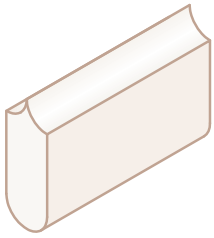
در ادامه ، به کمک ۳۲ مثال و ۱۶ تمرین نقشه خوانی با انواع تولرانس های هندسی بیش تر آشنا می شویم.

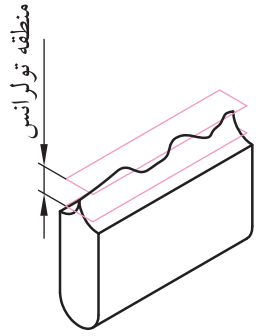
تولرانس مستقیم بودن

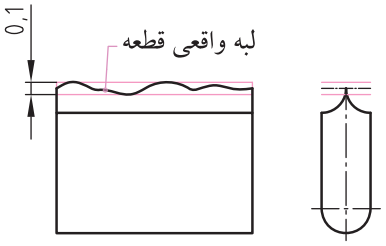
تولرانس مستقیم بودن برای محدود کردن انحرافات قطعه از خط مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد. علامت تولرانس مستقیم بودن به صورت ⏤ است.

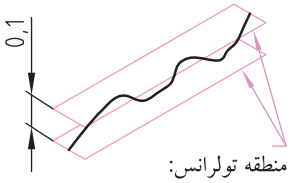
در نقشه شکل مقابل:
نوع تولرانس : مستقیم بودن
مقدار تولرانس: ۰٫۱mm
* تفسیر :لبهٔ واقعی قطعه باید (بین دو صفحهٔ موازی) که به فاصله ۰٫۱mm ازهمدیگرند، قرار گیرند.
منطقهٔ تولرانس: دو صفحهٔ موازی به فاصلهٔ ۰٫۱mm از همدیگر است .







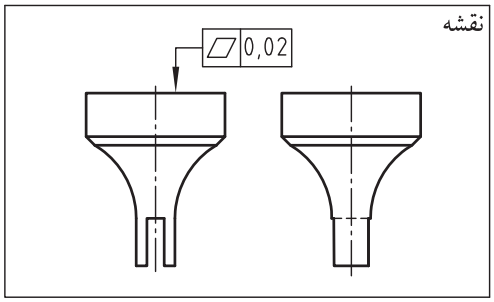


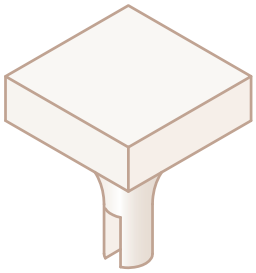


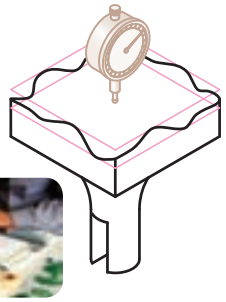
تولرانس تخت بودن

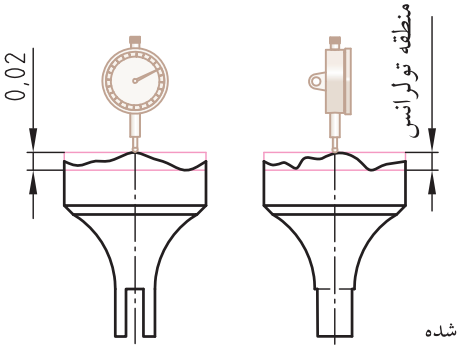
تخت بودن معیاری برای سنجش تغییرات نقاط یک سطح است که عمود برآن سطح ،اندازه گیری می شود .
علامت تولرانس تخت بودن به صورت ▱ است.

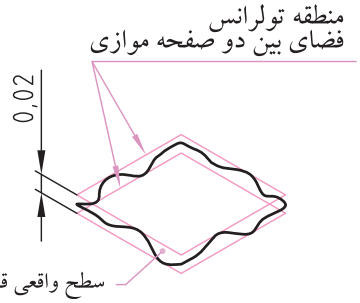
در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : تخت بودن
مقدار تولرانس : ۰٫۰۲
تفسیر : سطح تولرانس گذاری شده (سطح واقعی قطعهٔ پس از تولید) باید بین دو صفحهٔ موازی، که فاصلهٔ آن ها از همدیگر ۰٫۰۲mm است، قرار گیرد .
منطقهٔ تولرانس: دو صفحهٔ موازی به فاصله ۰٫۰۲ mm است.





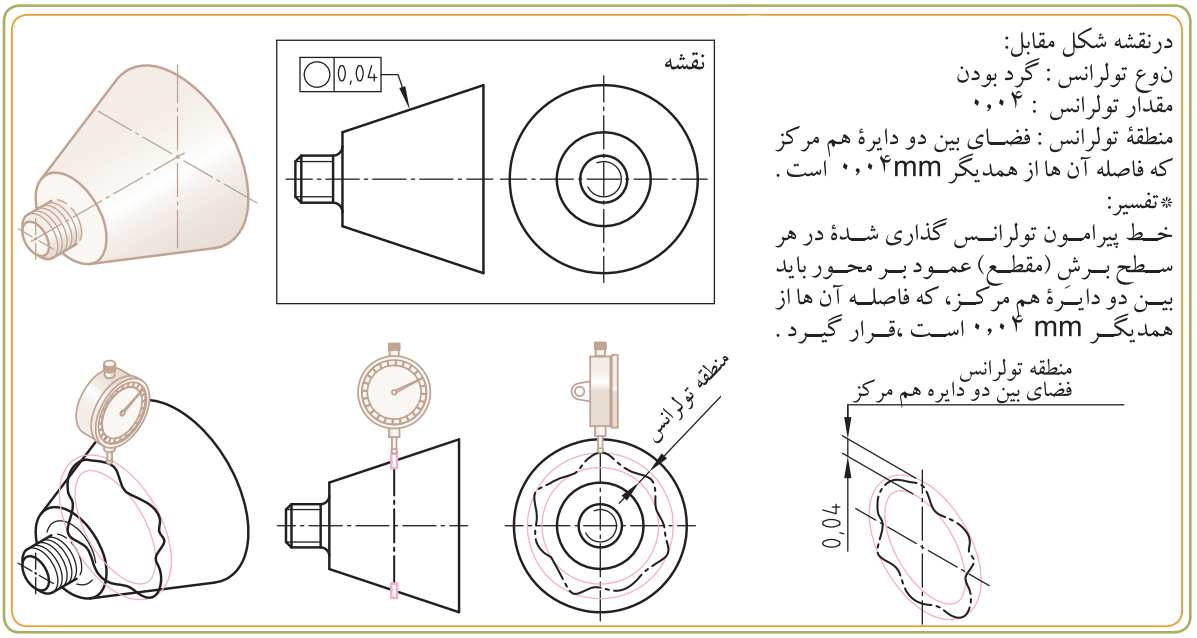






تولرانس گرد بودن

تولرانس گرد بودن در قطعات مدوّر مانند استوانه یا مخروط ، در یک سطح مقطع عمود بر محور دوران سنجیده می شود . تولرانس هندسی گرد بودن یک منطقهٔ تولرانس محدود به دو دایرهٔ هم مرکز را تعریف می کند ، به طوری که سطح محصور بین این دو دایره ، عمود بر محور دوران قطعهٔ کار قرارداشته باشد. علامت تولرانس گرد بودن به صورت ○ است .

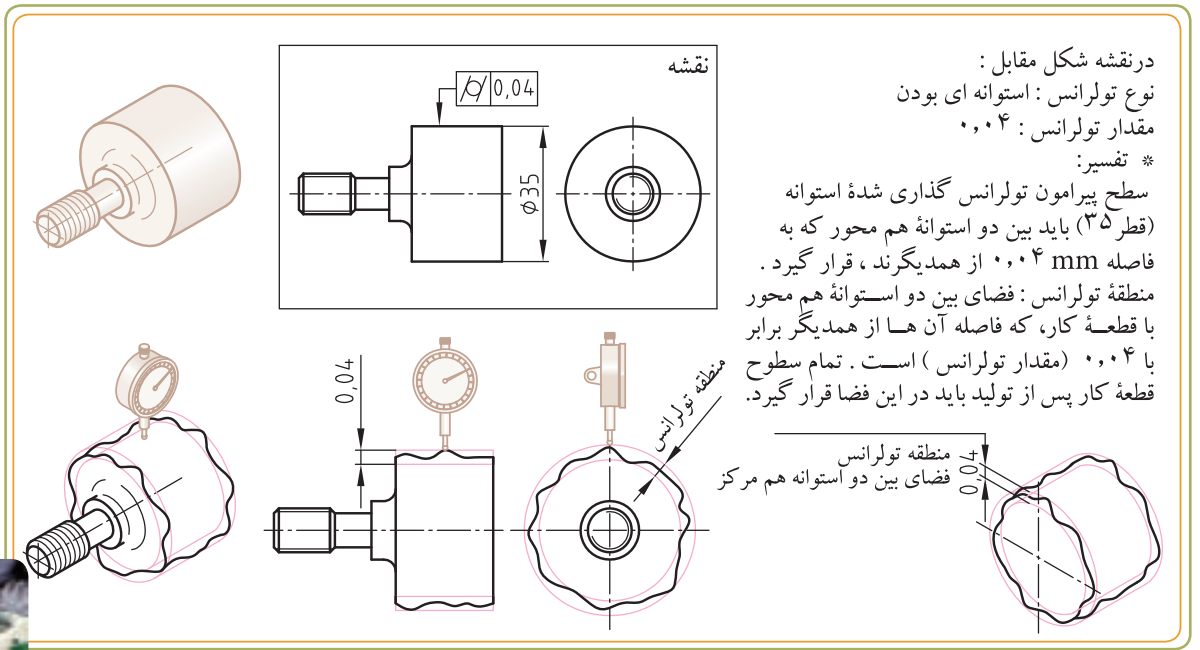


درنقشه شکل مقابل:
نوع تولرانس : گرد بودن
مقدار تولرانس : ۰٫۰۴
منطقهٔ تولرانس : فضای بین دو دایرهٔ هم مرکز که فاصله آن ها از همدیگر ۰٫۰۴mm است .
*تفسیر:
خط پیرامون تولرانس گذاری شدهٔ در هر سطح برش (مقطع) عمود بر محور باید بین دو دایرهٔ هم مرکز، که فاصله آن ها از همدیگر ۰٫۰۴ mm است ،قرار گیرد .

تولرانس استوانه ای بودن

استوانه ای بودن یک سطح به این معناست که به صورت ایده آل تمام نقاط واقع روی آن، در فاصلهٔ مساوی نسبت به یک محور مرکزی قرار داشته باشند.

* علامت تولرانس استوانه ای بودن به صورت ⌭ است.



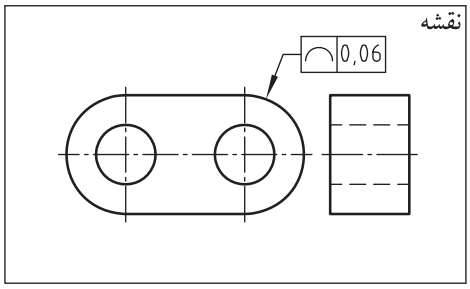
درنقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : استوانه ای بودن
مقدار تولرانس : ۰٫۰۴
* تفسیر:
سطح پیرامون تولرانس گذاری شدهٔ استوانه (قطر۳۵) باید بین دو استوانهٔ هم محور که به فاصله ۰٫۰۴ mm از همدیگرند ، قرار گیرد .
منطقهٔ تولرانس : فضای بین دو استوانهٔ هم محور با قطعهٔ کار، که فاصله آن ها از همدیگر برابر با ۰٫۰۴ (مقدار تولرانس) است . تمام سطوح قطعهٔ کار پس از تولید باید در این فضا قرار گیرد.

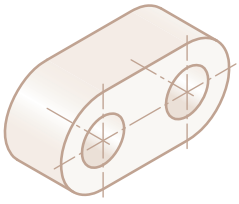
تولرانس هندسی شکل یک خط:

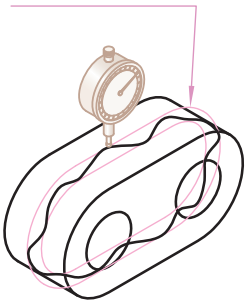
تولرانس هندسی شکل یک خط ، یک منطقهٔ تولرانس دو بعدی را تعریف می کند که در طول قطعهٔ کار قرار می گیرد . به عبارت دیگر منطقهٔ تولرانس درراستای شکل مورد نظر قرار گرفته است .

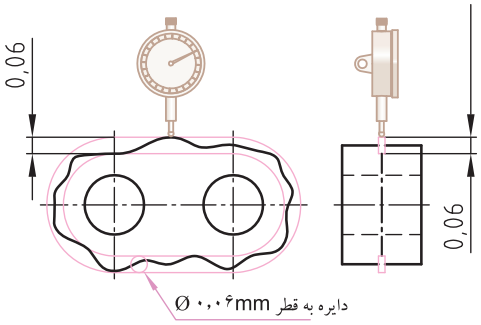
علامت تولرانس هندسی شکل یک خط به صورت ت .

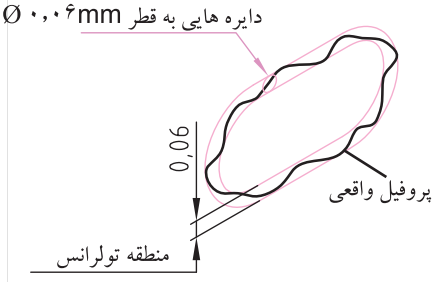
در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : شکل یک خط
مقدار تولرانس :۰٫۰۶
*تفسیر:
پروفیل تولرانس گذاری شده باید بین دو خط – که فاصله این دو خط توسط دایره هایی به قطر ۰٫۰۶mm از همدیگر محدود شده است – قرار گیرد. مرکز این دایره ها روی پروفیل ایده آل قرار دارد.
منطقهٔ تولرانس :دو خط موازی، کـه فاصلهٔ بین آن ها توسـط دایره هایی به قطر ۰٫۰۶mm محدود شده است.




پروفیـل واقعی بیـن دو خط بـه فاصله ۰٫۰۶mm قرار گرفته است.





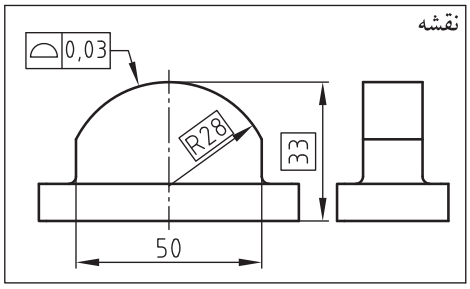


تولرانس هندسی شکل یک سطح (هر نوع سطح)

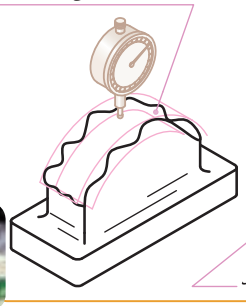
تولرانس هندسی شکل یک سطح (هر نوع سطح) یک منطقهٔ تولرانس سه بعدی را تعریف می کند که بر روی تمام سطح قطعه قرار می گیرد. به عبارت دیگر منطقهٔ تولرانس تمام طول وعرض قطعهٔ کار را پوشش می دهد.

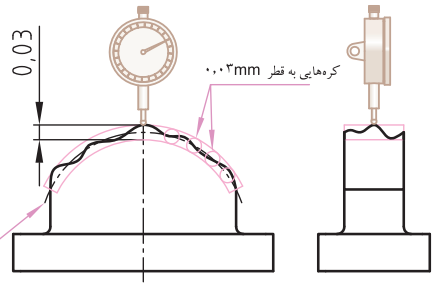
علامت تولرانس شکل یک سطح به صورت است .

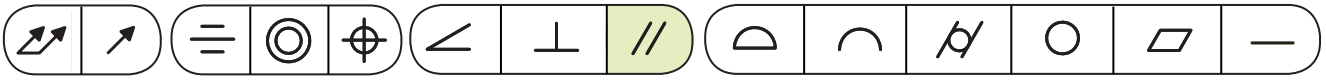
در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : شکل یک سطح
مقدار تولرانس : ۰٫۰۳
تفسیر: سـطح تولرانس گـذاری شـده بایـد بین دو سـطح،که فاصلهٔ آن ها از یکدیگر توسط کره هایی به قطر ۰٫۰۳mm اسـت ، قرار گیـرد . مرکز کره ها بر روی سطح ایده آل هندسی قرار دارد .
منطقـهٔ تولرانس : دو صفحهٔ مـوازی که فاصلهٔ آن ها از همدیگر به اندازهٔ کُره هایی به قطر ۰٫۰۳mm است .



سطح واقعی قطعه بین دوصفحه قرار می گیرد.



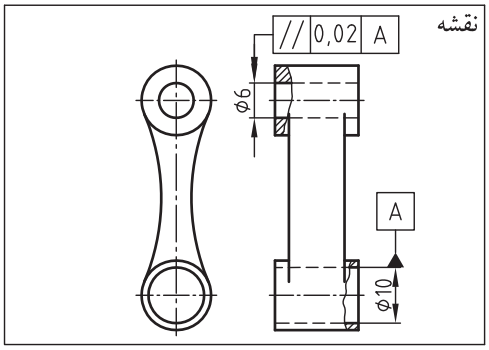


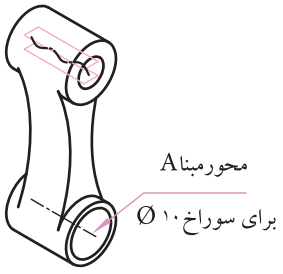


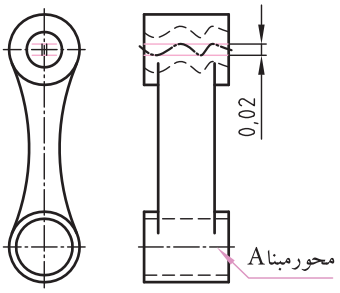
تولرانس هندسی توازی

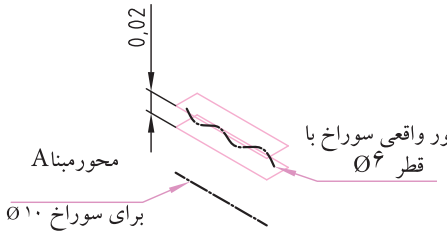
تولرانس هندسی توازی ، مشخص می کند که یک جزء از یک خط یایک سطح تا چه حد با یک محور یایک صفحهٔ مبنا موازی است.
علامت تولرانس هندسی توازی به صورت // است .

در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : توازی
مقدار تولرانس : ۰٫۰۲
تفسیر:
محـور سـوراخ تولرانس گذاری شـده(Ø ۶) باید بین دو صفحهٔ موازی به فاصلهٔ ۰٫۰۲ از همدیگر و موازی با محور مبنای A (محور سوراخ قطر ۱۰) قرار گیرد .
منطقهٔ تولرانس : دو صفحهٔ موازی به فاصلهٔ ۰٫۰۲mm





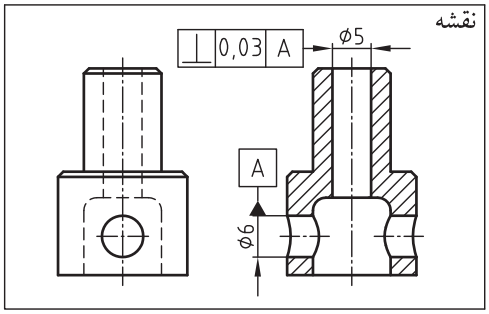


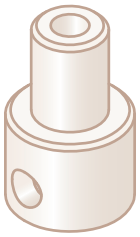


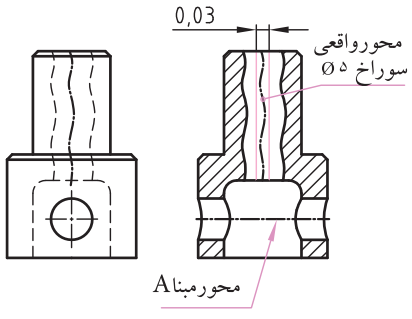
تولرانس هندسی تعامد

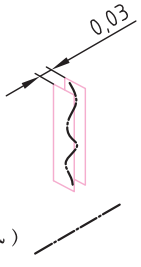
تولرانس هندسی تعامد،یک منطقهٔ تولرانسی را تعریف می کند که عمود بر یک محل مبنا یا یک محور مبنا قرار می گیرد.
علامت این نوع تولرانس هندسی به صورت ⊥ است .

در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : تعامد
مقدار تولرانس : ۰٫۰۳
تفسیر :
محورتولرانس گذاری (سوراخ Ø ۵) باید بین دو صفحه – که فاصلهٔ آن هـا از همدیگر ۰٫۰۳ وعمود بر محور مبنای A (محور سوراخ قطر۶)است– قرار گیرد .
منطقهٔ تولرانس:
دو صفحهٔ موازی به فاصلهٔ ۰٫۰۳mm





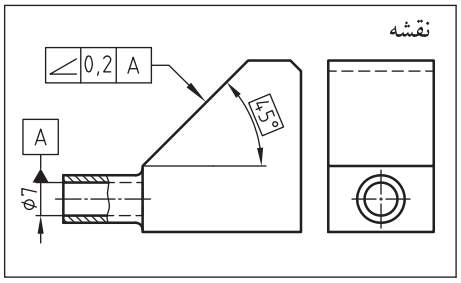


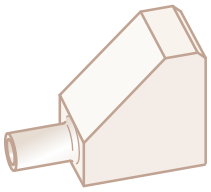


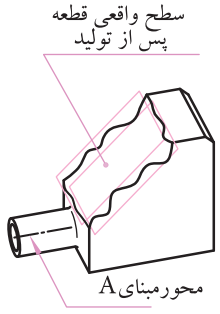
تولرانس هندسی زاویه دار بودن

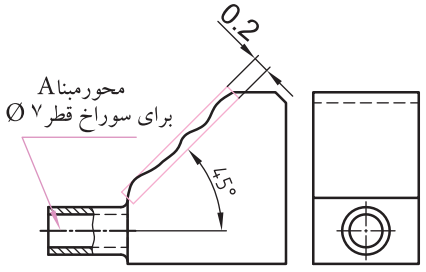
تولرانس هندسی زاویه دار بودن برای بررسی وضعیت یک سطح یا محور از قطعهٔ کار که با زاویهٔ خاص (به جزء ۹۰°) نسبت به یک محل مبنا قرار گرفته است ، به کار می رود .
علامت این نوع تولرانس هندسی به صورت ∠ است .

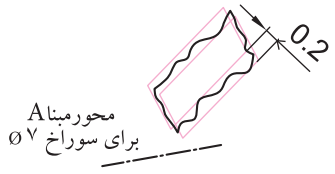
در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : زاویه دار بودن
مقدار تولرانس : ۰٫۲
تفسیر :
سطح شیب دار تولرانس گذاری شده باید بین دو سطح موازی –که نسبت به محور مبنا A شیب دار بوده و فاصله آن ها از یکدیگر ۰٫۲mm است، قرار گیرد. زاویهٔ ایده ال هندسی ۴۵° است.







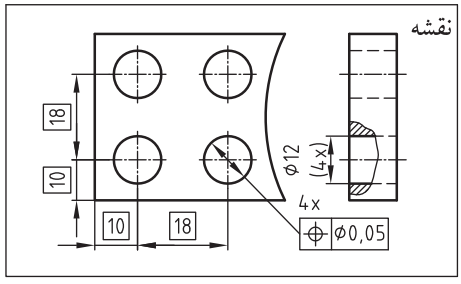


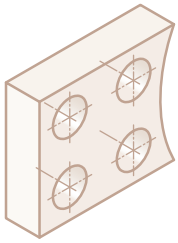


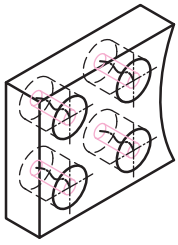
تولرانس هندسی وضعیت

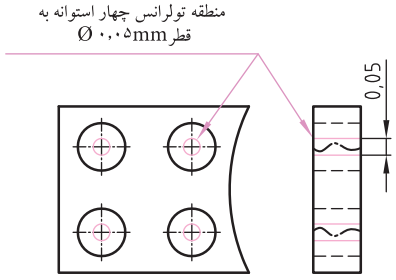
در اندازهٔ گذاری یک نقشه ، اندازهٔ اصلی ، موقعیت حقیقی یک شکل را نسبت به یک یا چند سطح مبنا بیان می کند. تولرانس هندسی وضعیت تعیین می کند که تا چه اندازهٔ یک شکل یا یک محور می تواند نسبت به موقعیت حقیقی خود منحرف شود. بنا بر تعریف، وضعیت یعنی چگونگی قرار گرفتن یک جزء از یک قطعه. مثلاً در شکل زیر محور هر چهار سوراخ به قطر ۱۲ را نسبت به لبه های قطعهٔ کار ، وضعیت محور آن سوراخ ها می گویند. علامت تولرانس هندسیِ وضعیت به صورت ⌖ است.

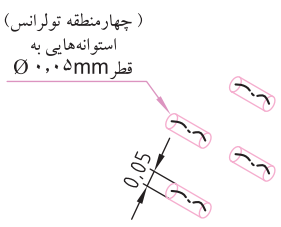
در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : وضعیت
مقدار تولرانس : ۰٫۰۵
تفسیر:نقطهٔ مرکز واقعی هر چهار سوراخ Ø ۱۲ باید در داخل استوانه ای به قطر ۰٫۰۵mm قرار گیرد . مرکز این استوانه منطبق بر اندازهٔ دقیق تئوری مرکز سوراخ به قطر ۱۲ است .
منطقهٔ تولرانس : استوانه ای به قطر ۰٫۰۵mm







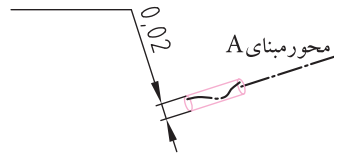


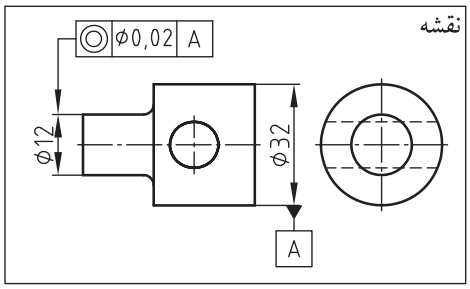


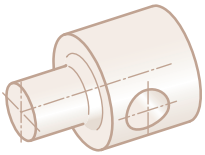
تولرانس هندسی هم محوری (هم مرکزی)

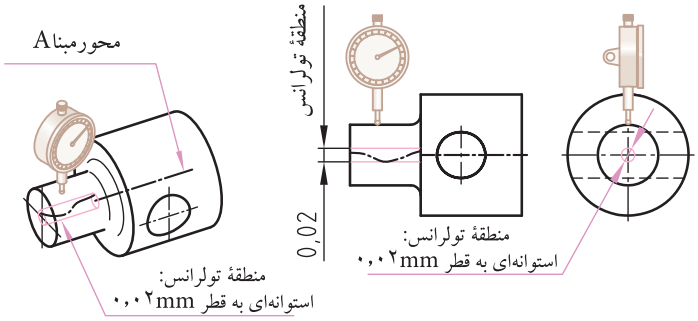
تولرانس هندسی هم محوری (هم مرکزی) ، ارتباط بین محورهای دوران دو یا چند شکل استوانه ای را تعریف می کند .
تولرانس هم محوری شامل : راست بودن ، استوانه ای بودن و دایره ای بودن است .
علامت تولرانس هندسی هم محوری به صورت ◎ است.

درنقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : هم محوری (هم مرکزی)
مقدار تولرانس :۰٫۰۲
منطقهٔ تولرانس : استوانه ای به قطر ۰٫۰۲mm محور مرکزی این استوانه منطبق بر محور مبنای A است.
تفسیر:محور استوانهٔ تولرانس گذاری شده (استوانه Ø۱۲) باید در داخل استوانه ای به قطر ۰٫۰۲mm (که این استوانه ۰٫۰۲mm باید هم محور نسبت به محور مبنا A باشد) قرار گیرد .





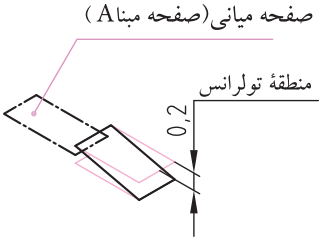


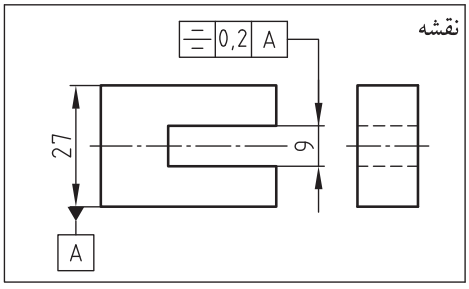


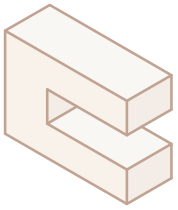
تولرانس هندسی تقارن

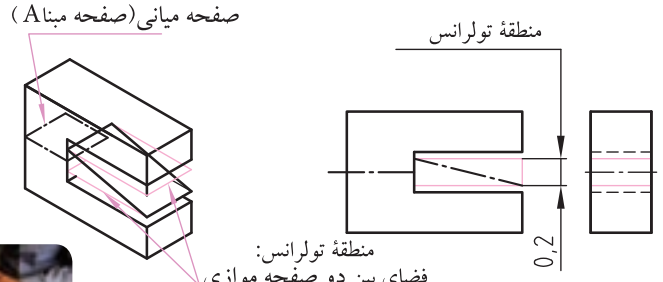
در مواقعی که بخواهیم حالت قرینه بودن یک شکل را نسبت به محور خود آن شکل یا شکل دیگری تعریف کنیم، می توانیم از تولرانس هندسی تقارن استفاده کنیم .
علامت تولرانس هندسی تقارن به صورت ⌯ است .

در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : تقارن
مقدار تولرانس : ۰٫۲
مساحت بین دو صفحهٔ موازی (یا دو خط موازی) که به صورت متقارن در اطراف صفحهٔ مبنا قرارگرفته اند.
تفسیر :
صفحهٔ میانی تولرانس گذاری شدهٔ شیار با پهنای ۹mm، باید بین دو سطح موازی و با فاصلهٔ ۰٫۲mm از همدیگر (که نسبت به صفحهٔ میانی مبنا A متقارن باشد) قرار گیرد.





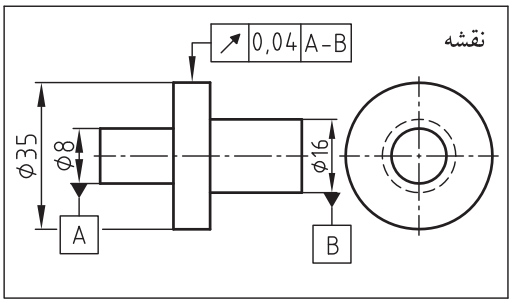


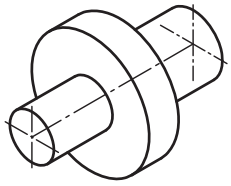


تولرانس هندسی لنگی مقطعی (شعاعی)

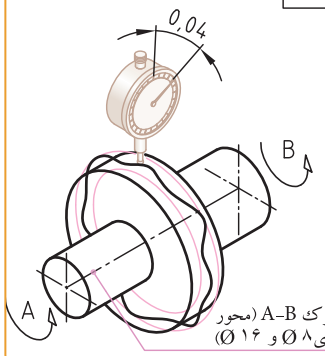
تولرانس هندسی لنگی مقطعی (شعاعی) میزان گرد بودن یک سطح مقطع از قطعهٔ کار و میزان لنگی آن را نسبت به یک محور مبنا اندازهٔ می گیرد. علامت تولرانس هندسیِ لنگیِ مقطعی (شعاعی) به صورت ↗ است.

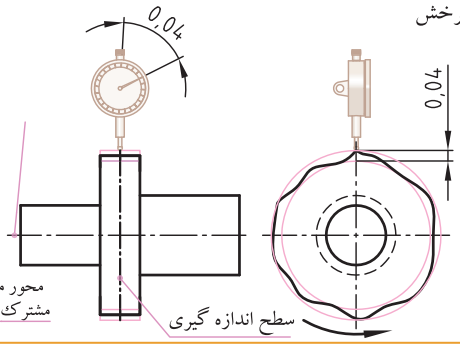
در نقشه شکل مقابل برای کنترل قطعه، شاخص اندازهٔ گیر،عمود برمحور مبنا قرار می گیرد .
نوع تولرانس : لنگی مقطعی(شعاعی)
مقدار تولرانس : ۰٫۰۴
مقدار تولرانس لنگی که در کادر تولرانس مشخص می شود ، حداکثر مقدارِ مُجاز حرکت ساعت اندازهٔ گیر در روی قطعهٔ را در حالی کـه قطعه کاردر حول محور مبنا ۳۶۰° بچرخد (و ساعت بدون حرکت باشد) معین می کند .
تفسیر:شاخص ساعت انـدازهٔ گیر عمـود بر محـور مبنای مشترک A–B قرار مـی گیرد . به هنـگام دوران قطعهٔ کار، حول محور مبنای مشترک A–B ، انحراف لنگی طولی در هر سطح اندازهٔ گیری عمود بر محور مبنا (طی یک دور چرخش کامل ۳۶۰°)نباید بیشتراز ۰٫۰۴mm شود .
منطقهٔ تولرانس :
منطقه تولرانس ، دو دایره هم مرکز است که مرکز آن ها روی محور مبنا قرار گرفته است.

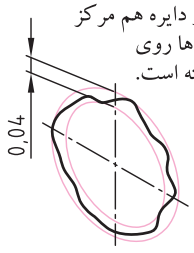




ساعت اندازه گیر یک حلقه دایره‌ای از المان تولرانس گذاری شده را کنترل می‌کند. علامت ↗ نمایانگر یک ساعت اندازه‌گیر است.



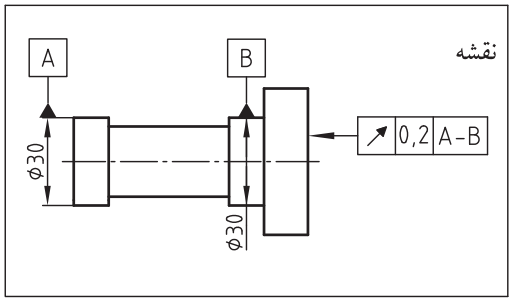


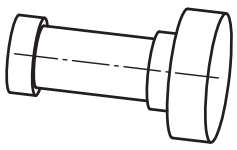


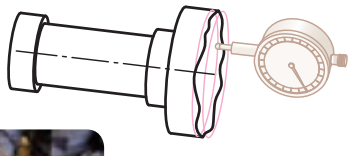
تولرانس هندسی لنگی موضعی (محوری)

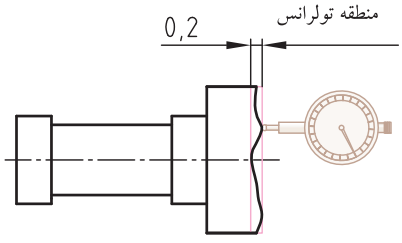
تولرانس هندسی لنگی موضعی (محوری) میزان لنگ بودن (اعوجاج) یک سطح از قطعهٔ کار را نسبت به محور مبنا اندازهٔ می گیرد .
علامت تولرانس لنگی موضعی (محوری) همانند تولرانس لنگی مقطعی (شعاعی) به صورت ↗ است .

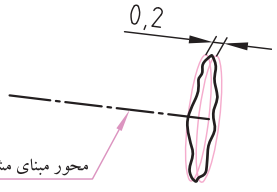
در نقشه شکل مقابل برای کنترل قطعه، شاخص ساعت اندازه گیر ، به موازات محور مبنا قرار می گیرد .
نوع تولرانس : لنگی موضعی (محوری)
مقدار تولرانس : ۰٫۲
مقـدار تولرانـس لنگـی کـه در کادر تولرانس مشـخص می شـود، حداکثر مقدار مُجاز حرکت ساعت اندازهٔ گیر در روی قطعهٔ کار رادر حالی که حول محور مبنا ۳۶۰° بچرخد، معین می کند .
تفسـیر: شاخص سـاعت اندازهٔ گیر موازی با محور مبنا قرار مـی گیرد . بـه هنـگام دَوَران قطعهٔ کار حـول محور مبنای مشـترک A–B ، انحراف لنگی موضعـی (محوری) در هر نقطهٔ اندازه گیری (طی یک دور چرخش کامل ۳۶۰°) نباید بیش تراز ۰٫۲ شود.







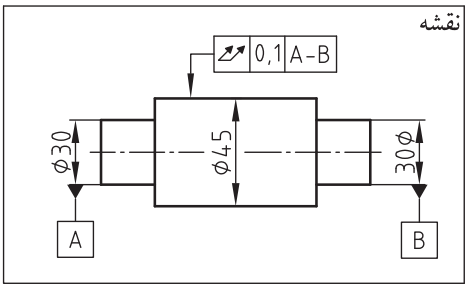


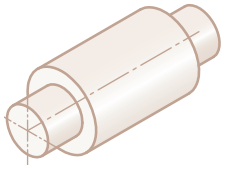


تولرانس هندسی لنگی کلی (شعاعی)

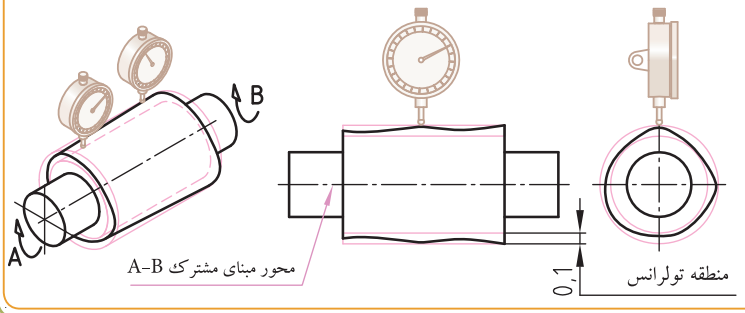
تولرانس هندسی لنگی کلی (شعاعی) علاوه بر لنگی کلی شعاعی ، میزان گرد بودن ، مستقیم بودن و استوانه ای بودن یک قطعهٔ کار را در حالی که حول یک محور در حال گردش است ، تعیین می کند. علامت تولرانس لنگی کلی (شعاعی) به صورت ↗↗ است.

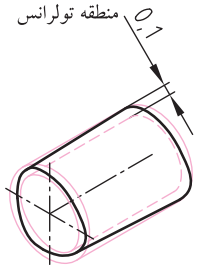
درنقشه شکل مقابل
نوع تولرانس : لنگی کلی (شعاعی)
مقدار تولرانس : ۰٫۱
تفسیر :شاخص ساعت عمود بر محور مبنا مشترک A-B قرار می گیرد . به هنگام دَوَران قطعهٔ کار حول محور مرجع مشترک A-B و جابه جایی محوری در طی یک دور چرخش کامل ۳۶۰°، تمام نقاط سطوح قطعه باید در فضای بین دو دیوارهٔ استوانهٔ توخالی به پهنای ۰٫۱mm قرار گیرند .
منطقهٔ تولرانس : دو استوانهٔ هم محور است که مرکز استوانه ها روی محور مبنا قرار گرفته است. فاصلهٔ شعاعی بین استوانه ها برابر با مقدار تولرانس لنگی کلی (شعاعی) و به اندازهٔ ۰٫۱mm است .





ساعت اندازه‌گیر در حین دوران قطعه کار موازی محور مبنا جا به جا می‌شود.علامت ↗↗ به مفهوم جابجایی وسیله اندازه گیر ی است.

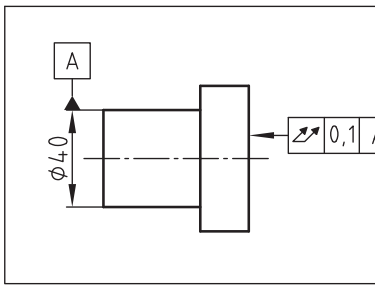




تولرانس هندسی لنگی کلی (محوری)

تولرانس هندسی لنگی کلی (محوری) علاوه بر لنگی کلی محوری ، تعامد سطح قطعهٔ کار را در حالی که حول یک محور در حال گردش است ، تعیین می کند. علامت تولرانس لنگی محوری همانند لنگی کلی شعاعی به صورت ↗↗ است .

در نقشه شکل مقابل :
نوع تولرانس : لنگی کلی (محوری)
مقدار تولرانس : ۰٫۱
تفسیر :به هنگام دَوَران حول محور مبنا A و با جابه جایی در همهٔ شعاع ها، تمام نقاط سطوح قطعهٔ کار باید در بین (دوصفحهٔ موازی) به پهنای۰٫۱mm قرار گیرد.
منطقهٔ تولرانس: دو صفحهٔ موازی و عمود بر محور مبنا است.
فاصلهٔ بین این دو صفحه موازی با مقدار تولرانس لنگی کلی (محوری) برابر است .



برای کنترل قطعه، شاخص ساعت اندازهٔ گیر ، عمود بر محور مبنا روی تمام سطح پیشانی قطعه حرکت می کند.