

مقدمه

در تاریخ ۶۰۰۰ ساله‌ی کار با قطعات فنی، کمی عجیب به نظر می‌رسد که عامل پایه و مهمی مانند تolerانس گذاری در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته باشد. ظاهراً مهندسان و تولیدکنندگان به تدریج به این نکته پی برده‌اند که ساخت قطعات با ابعاد و اشکال دقیق ناممکن است. زیرا انحراف از اندازه‌های دقیق همواره وجود داشته و فقط می‌توان میزان انحراف را کاهش داد ولی هیچگاه نمی‌توان آن را به صفر رساند. به همین دلیل، نگرش ساخت قطعات درگیر تغییر یافته و به سمت تعریف محدوده‌های مجاز جهت درگیری قطعات و جفت شدن آن‌ها با شرایط مناسب، سوق پیدا نمود.

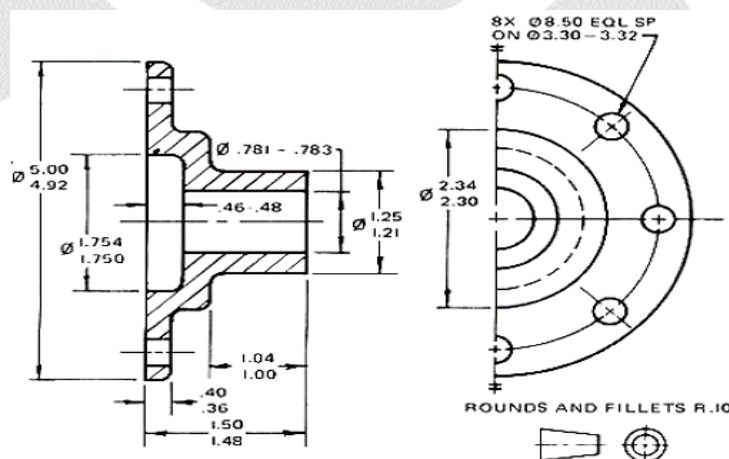
تولرانس عبارت از تغییرات مجاز در شکل، اندازه و یا وضعیت ویژگی‌های منفرد نسبت به آنچه در نقشه ترسیم شده می‌باشد. این مفاهیم توسط محدوده اندازه، اشکال و نمادهای هندسی، درون نقشه تعریف می‌گردند.

برای مثال بعد $1.5 \pm 0.004in$ به این معنی است که در قطعه ساخته شده اندازه‌ی مذکور بین 1.496 و 1.504 اینچ قرار بگیرد و ناحیه تغییرات یا تولرانس مجاز برای این اندازه برابر با $0.008in$ است، حداکثر و حداقل اندازه نیز محدوده‌های مجاز اندازه نامیده می‌شوند.

تولرانس گذاری

محصولات معمولاً بر اساس الزامات عملکردی (قدرت، دوام، قابلیت اطمینان و غیره) طراحی می‌شوند. برای اطمینان از این عملکرد، مقادیر اسمی مشخص می‌شود. همان‌طور که تغییر در تولید اجتناب‌ناپذیر است، محصولات نمی‌توانند به طور دقیق ارزش اسمی طراحی شده را برآورده سازند. از آنجایی که محصولات معمولاً از اجزای کوچک‌تر مونتاژ می‌شوند، تولرانس‌های مونتاژ به اجزای کوچک‌تر اختصاص داده می‌شوند. به طور کلی، اجزای مجزایی که با توجه به تولرانس‌های طراحی تنگ‌تر ساخته می‌شوند، عملکرد بهتری در محصول مونتاژ شده خواهند داشت. با این وجود، اجزای با تولرانس‌های تنگ‌تر باید با دقت بالا ساخته شوند، که در این مورد هزینه‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، باید میانگینی بین کیفیت و هزینه گرفته شود.

در یک قطعه لازم نیست همه ابعاد با یک دقت ساخته شوند و عموماً نمایه‌های کمی در یک قطعه هستند که دقت خاصی نیاز دارند. در این خصوص شکل (۱) را ببینید.

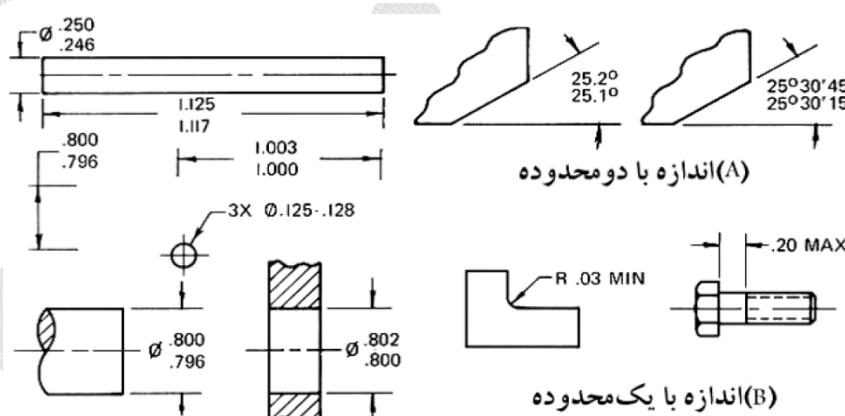


شکل (۱) - نقشه یک فلنج که در آن همه ابعاد دقت یکسان ندارند

برای محاسبه محدوده اندازه‌های مختلف لازم است مفاهیم زیر به خوبی درک شوند.

- اندازه پایه: 1.5 in
- اندازه پایه به همراه تolerانس، نصف تolerانس کلی: $1.5 \pm 0.004\text{ in}$
- محدوده‌های اندازه، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین اندازه‌های مجاز: 1.504 max و 1.469 min اینچ
- تolerانس تفاوت بین حداقل و حداکثر محدوده‌ها 0.008 in

همه‌ی ابعاد برای ساخت یک قطعه یا محصول تolerانس دارند مگر اندازه یا بعد مورد نظر مرجع یا پایه باشد و با تنها حداقل یا حداکثر آن مشخص شده باشد. شکل (۲) بعضی از حالات تعریف تolerانس اندازه را نشان می‌دهد.



شکل (۲) - روش‌های نشان دادن تolerانس‌ها در یک نقشه

یادداشت‌های مربوط به تolerانس‌های عمومی

استفاده از یادداشت مربوط به تolerانس‌های عمومی در یک نقشه، می‌تواند آن را خیلی خلاصه‌تر کند. دو نمونه از این یادداشت‌ها در زیر می‌آیند:

مثال ۱:

EXEPT WHERE STATED OTHERWISED TOLERANCES ON FINISHED DECIMAL: $\pm 0.1\text{ mm}$

یعنی برای کلیه اندازه‌ها تolerانس‌گذاری ± 0.1 مورد نظر است به جز مواردی که خلاف آن ذکر شده باشد.

مثال ۲:

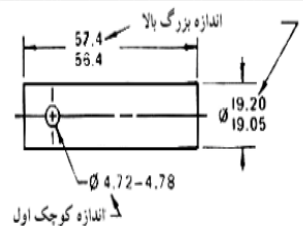
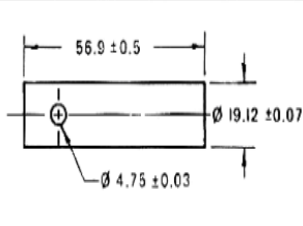
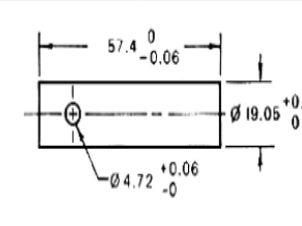
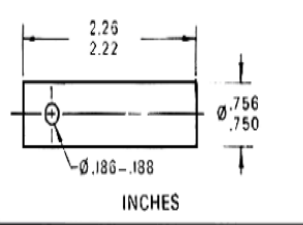
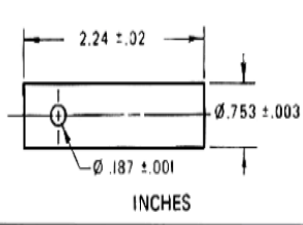
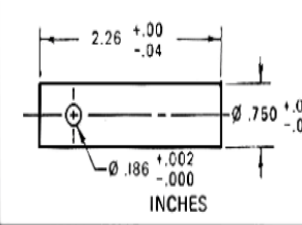
EXEPT WHERE STATED OTHERWISED TOLERANCES ON FINISHED DIMENSIONS TO BE AS FOLLOWS

یعنی تolerانس‌ها به صورت جدول (۱) توزیع می‌شوند مگر در صورتی که خلاف آن ذکر شده باشد.

در شکل (۳) نیز چند روش از روش‌های تolerانس‌گذاری ابعادی مقایسه شده‌اند.

اندازه	تولرانس
تا ۴/۰۰ اینچ	± 0.03
از ۴/۱ تا ۱۲/۰۰ اینچ	± 0.04
از ۱۲/۰۱ تا ۲۴ اینچ	± 0.2
بیش از ۲۴ اینچ	± 0.4

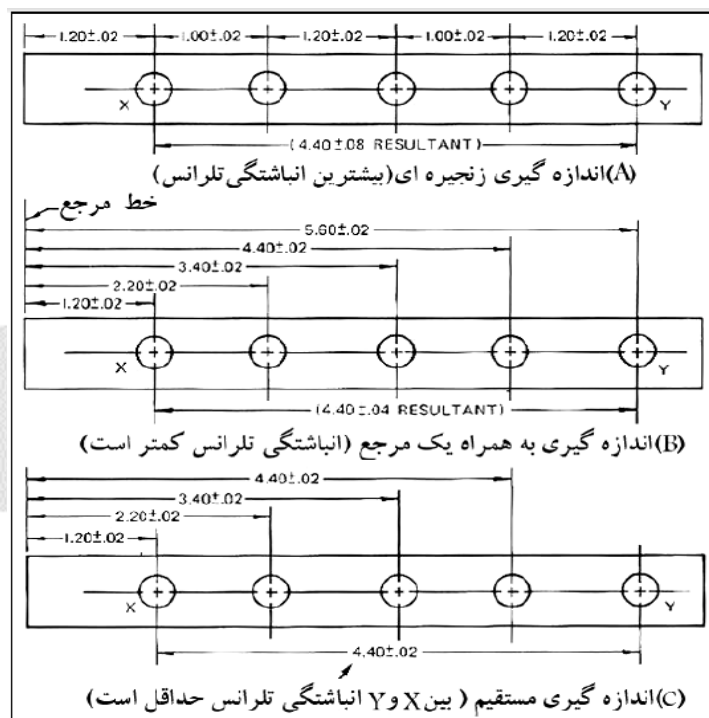
جدول (۱) - توضیح تولرانس های عمومی

اندازه گذاری با دو محدوده	تولرانس گذاری دو طرفه	تولرانس گذاری یک طرفه
 MILLIMETERS	 MILLIMETERS	 MILLIMETERS
 INCHES	 INCHES	 INCHES

شکل (۳) - مقایسه روش های تولرانس گذاری

انباشتگی تولرانس ها

گاهی اوقات باید تاثیر هر تولرانس ها نسبت به سایر تولرانس ها در نظر گرفته شود. به این صورت که نباید به گونه ای تولرانس ها را اعمال کرد که بین سطوح با نقاط کاری حساس که ارتباط دوطرفه آن ها از اهمیت زیادی برخوردار است، چند تولرانس جمع شوند. این حالت در صورتی اتفاق می افتد که موقعیت یک سطح در یک امتداد خاص به وسیله ی بیش از یک تولرانس کنترل شود. شکل (۴) مقایسه سه روش اندازه گذاری و تاثیر آن ها بر انباشتگی تولرانس ها را نشان می دهد.



شکل (۴) - مقایسه روش های اندازه گذاری و تاثیر آنها در انباشتگی تolerانس

روش های تolerانس گذاری

برای اندازه گیری چند ویژگی نسبت به هم یا نسبت به یک ویژگی دیگر روش هایی وجود دارد که به طور اجمال به آنها اشاره می شود.

• روش اول: اندازه گذاری زنجیره ای

در این روش حداکثر انحراف موقعیت بین هر دو ویژگی برابر است با مجموع تolerانس های فواصل میانی آنها. این روش بیشترین انباشتگی تolerانس ها را نتیجه می دهد. مطابق شکل (۴-A) انحراف موقعیت نسبی دو سوراخ X و Y برابر ± 0.08 خواهد شد.

• روش دوم: اندازه گذاری با استفاده از یک مبنا

در این روش با توجه به این که همه ی ابعاد نسبت به یک مبنا در نظر گرفته می شوند، حداکثر انحراف موقعیت بین دو ویژگی مورد نظر برابر با مجموع تolerانس های مربوط به اندازه های متناظر با دو ویژگی مورد نظر است. این روش، انباشتگی تolerانس را کاهش می دهد. مطابق شکل (۴-B) انحراف موقعیت نسبی دو ویژگی X و Y برابر با ± 0.04 است. پر واضح است که انحراف نسبی موقعیت دو ویژگی دو برابر تolerانس اندازه های مربوط به دو ویژگی است.

• روش سوم: اندازه گذاری مستقیم بین دو ویژگی

در این روش حداکثر انحراف در موقعیت نسبی دو ویژگی به وسیله تolerانس گذاری مستقیم بین دو ویژگی تعیین می شود. در شکل (۴-C) نیز دیده می شود که فاصله بین ویژگی های X و Y مستقیماً اندازه گذاری شده است که در دو شکل دیگر این گونه نیست. با این کار می توان هر تolerانس دلخواه را روی فاصله، بین دو ویژگی X و Y اعمال نمود.

انطباقات

چگونگی تماس بین دو قطعه درگیر با توجه به مقدار لقی و یا تداخل بین آن‌ها در هنگام مونتاژ انطباق نامیده می‌شود. سه نوع انطباق وجود دارد.

انطباق لقی در صورتی به وجود می‌آید که محدوده‌های اندازه‌ی قطعات درگیر به گونه‌ای تعریف گردند که همواره بین آن‌ها لقی وجود داشته باشد. در انطباق عبوری بسته به اندازه‌ی قطعات درگیر می‌تواند بین آن‌ها لقی یا تداخل به وجود بیاید در انطباق تداخلی نیز همواره قطعات درگیر با یکدیگر تداخل حاصل می‌کنند.

تعاریف

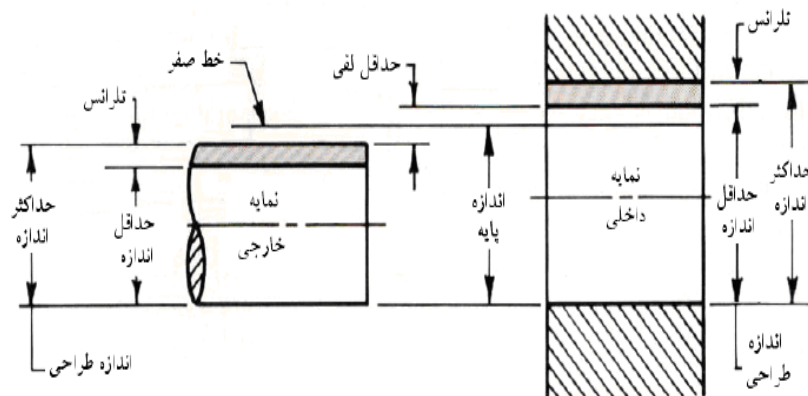
در مباحث تلرانس‌گذاری مفاهیم اساسی وجود دارد که اشraf بر آن‌ها برای فهم بهتر موضوعات مربوط به این بخش کمک می‌کند.

- اندازه‌ی اصلی یا مبنا: اندازه‌ی اصلی برای یک بعد یعنی اندازه‌ی تئوری آن بعد به گونه‌ای که محدوده‌های مجاز آن با توجه به تلرانس‌های دیگر تعیین شود. به عبارت دیگر اندازه‌ی اصلی یعنی اندازه‌ای که محدوده‌های مجاز یا تغییرات بر روی

آن اعمال می‌شوند. اندازه‌ی اصلی برای هر دو قطعه درگیر برابر است.

- اندازه‌ی مربوط به حداکثر ماده: اندازه‌ای که بر طبق آن قطعه بیشترین مقدار ماده را داشته باشد، اندازه مربوط به حداکثر ماده نام دارد. این اندازه برای یک شافت یا ویژگی خارجی برابر با حداکثر اندازه و برای یک سوراخ یا ویژگی داخلی برابر با حداقل اندازه آن است.

- تلرانس: اختلاف بین حداقل و حداکثر انحراف مجاز از یک اندازه را تلرانس نامند.
- میزان مجاز: میزان مجاز یعنی تفاوت بین ابعاد دو قطعه‌ی درگیر به گونه‌ای که دو قطعه یا دو ویژگی درگیر تحت شرایط حداکثر ماده باشند. این مفهوم در دو قطعه لقی معادل با حداقل لقی یا میزان مجاز مثبت و در دو قطعه متداخل معادل با حداکثر تداخل یا میزان مجاز منفی می‌باشد.



شکل (۵) - مفاهیم درگیری بین قطعات به صورت شماتیک

با توجه به شکل (۵) مفاهیم زیر تعریف می‌شوند:

- انحراف: تفاضل جبری بین یک اندازه با اندازه‌ی اصلی متناظر با آن؛
- انحراف بالایی: تفاضل جبری بین حداکثر اندازه با اندازه‌ی اصلی متناظر؛
- انحراف پایینی: تفاضل جبری بین حداقل اندازه با اندازه‌ی اصلی متناظر؛
- تولرانس: تفاضل بین حداکثر و حداقل اندازه برای یک قطعه؛
- ناحیه تولرانس: ناحیه تولرانس و موقعیت قرارگیری آن نسبت به اندازه‌ی اصلی؛
- انحراف اساسی: انحراف مربوط به نزدیکترین اندازه به اندازه‌ی اصلی؛

انطباقات ترجیحی در سیستم متریک (ISO)

امروزه استفاده از سیستم متریک ISO در جهان گسترده شده و کمتر کشوری وجود دارد که در آن را در طراحی‌ها به کار نبرد. عموماً واژه‌های « شافت » و « سوراخ » در سیستم‌های متریک یا اینچی به دو سطح مجاور درگیر اطلاق می‌گردند. از دیگر واژگان مورد استفاده « شکاف » و « بلوک » و نیز « خار » و « جای خار » را می‌توان نام برد. درجه بین‌المللی تولرانس نیز معرف ناحیه تولرانس و یا مقدار انحراف مجاز برای ابعاد داخلی و خارجی است. برای درک بهتر، جدول (۲) را ببینید. در این جدول ۱۸ درجه تولرانس دیده می‌شود که با پیشوند IT مانند IT۶ و IT۱۰ همراه هستند. هرچه درجه تولرانس کوچک‌تر باشد ناحیه تولرانس کم‌تر خواهد بود.

طبق آنچه در این جدول آمده درجات ۱ تا ۴ درجات بسیار دقیق هستند که برای ساخت سنج‌ها و قطعات دقیق مشابه به کار می‌روند. هر چند درجه ۴ را نیز می‌توان برای کارهای بسیار دقیق مانند ساعت‌سازی به کار برد.

درجات ۵ تا ۱۶ به ترتیب برای کارهای دقیق تا کارهای با لقی زیاد به کار برده می‌شوند. مطابق شکل (۶) درجه ۴ دقیق‌ترین درجه در کارهای عمومی است که می‌توان به وسیله سنگ‌زنی دقیق و لپینگ^۱ به دست یافت. درجات ۱۲ تا ۱۶ در عملیات شکل‌دهی مانند کوبش، نورد و... مورد استفاده هستند.

باید دقت کرد که شکل (۶) برای فلزات کاربرد دارد و برای مواد دیگر از جمله پلاستیک‌ها بایستی درجات بالاتری را برای یک روش تولید خاص در نظر گرفت. زیرا کار با پلاستیک خود به خود دقت را پایین می‌آورد.

اصطلاح انحراف اساسی معرف موقعیت ناحیه تولرانس نسبت به اندازه‌ی پایه است. انحراف اساسی را با حروف انگلیسی نشان می‌دهند. مطابق قرارداد حروف بزرگ برای ابعاد داخلی (سوراخ و...) و حروف کوچک برای ابعاد خارجی (شافت) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

¹ lapping

Basic size mm		Standard tolerance grades																	
		IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³⁾	IT15 ³⁾	IT16 ³⁾	IT17 ³⁾	IT18 ³⁾
Above	Up to and including	Tolerances																	
		μm												mm					
—	3 ³⁾	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 ²⁾	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 ²⁾	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ²⁾	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 ²⁾	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 ²⁾	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 ²⁾	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ²⁾	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ²⁾	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

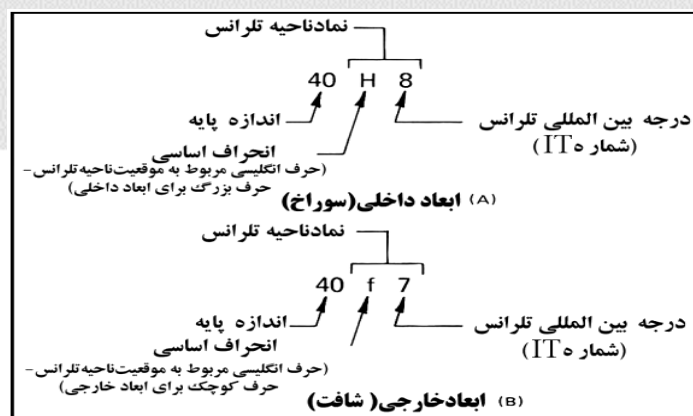
جدول (۲) - درجات بین‌المللی تolerانس

روشهای ماشینکاری	درجات تolerانس									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LAPPING & HONING	■	■								
CYLINDRICAL GRINDING	■	■	■	■						
SURFACE GRINDING	■	■	■	■	■					
DIAMOND TURNING	■	■	■	■	■					
DIAMOND BORING	■	■	■	■	■					
BROACHING	■	■	■	■	■					
REAMING	■	■	■	■	■	■				
TURNING	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
BORING	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MILLING	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PLANING & SHAPING	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
DRILLING	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

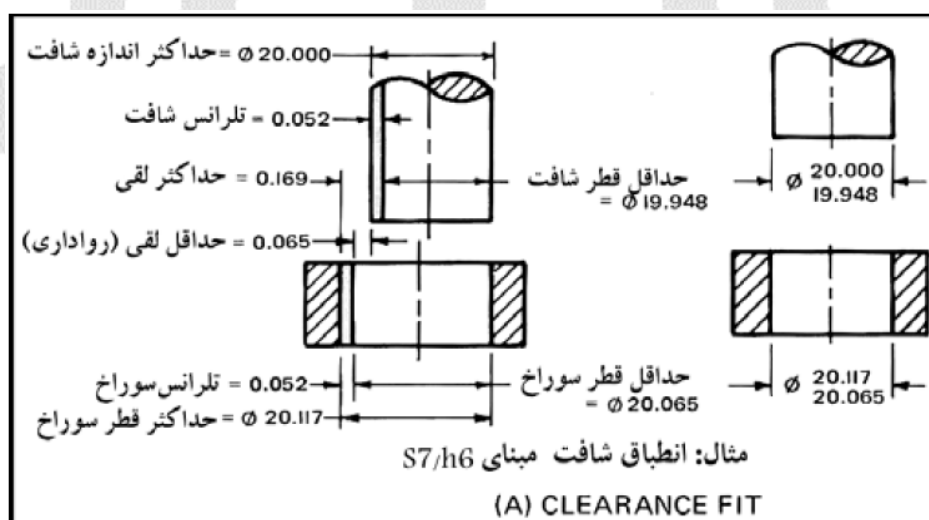
شکل (۶) - درجات تolerانس برای فرآیندهای ماشینکاری مختلف

نماد تolerانس

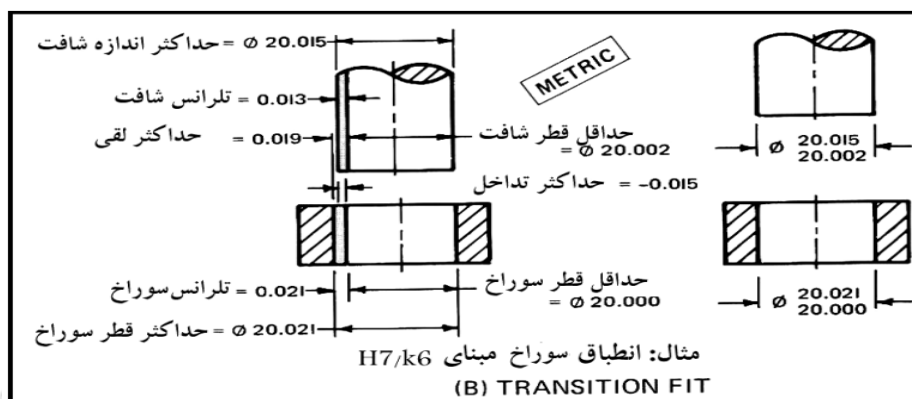
در سیستم متریک می توان از اندازه های اصلی و ویژگی تolerانس استفاده کرد. در این روش ویژگی تolerانس عبارت از حرف معرف انحراف اساسی و درجه تolerانس است. ویژگی تolerانس مقدار واقعی حدود بالایی و پایینی اندازه را نشان می دهد. شکل (۷) به همراه شکل های (۸) و (۹) و (۱۰) این مطلب را به خوبی نشان می دهند.



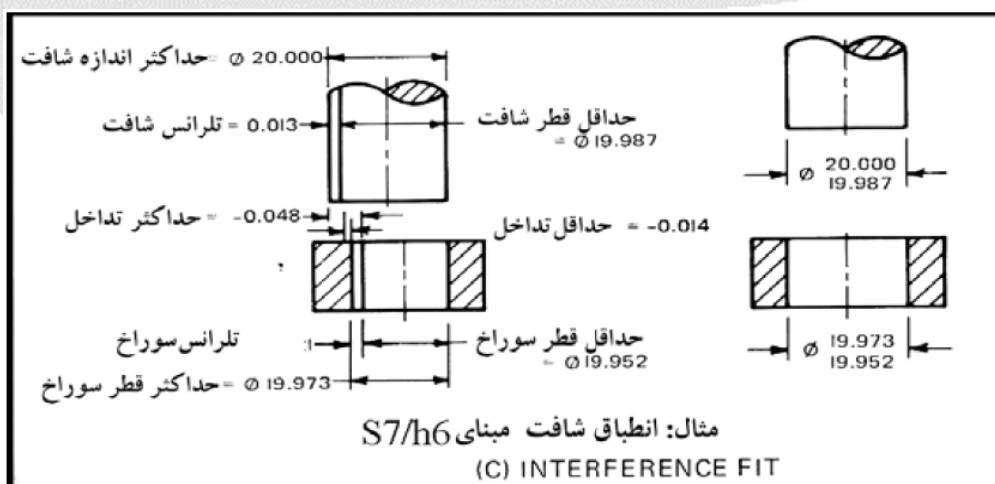
شکل (۷) - ویژگی تolerانس در سیستم متریک



شکل (۸) - انطباق لقی در سیستم متریک (شافت مبنا)



شکل (۹) - انطباق عبوری در سیستم متریک (سوراخ مینا)



شکل (۱۰) - انطباق تداخلی در سیستم متریک (شافت مینا)

تولرانس هندسی در سیستم CAD

برای طراحی تولرانس هندسی در سیستم CAD، مدل مربوطه باید دو نیاز اساسی را تامین کند: سازگاری با عملیات هندسی (استاندارد Y14.5M) و قابل شمارش بودن در واقع به این معنی مدنظر است که باید ماشین قابل فهم باشد و اجازه محاسبات هندسی را بدهد.

کاربرد نقشه کلی در تولرانس گذاری

هدف نهایی کار این است که یک نمای کلی مفهومی از تمام قوانینی که در استانداردها بیان شده است، ایجاد گردد. از آنجایی که قوانین کاملاً پیچیده هستند، نمایشگر گرافیکی به راحتی می‌تواند به طراح نشان دهد که چگونه از زبان GD&T (بعدگذاری هندسی و تولرانس) استفاده کند و به ویژه می‌تواند او را از اشتباه در نحوه استفاده از چنین زبان بازدارد. مشکل استفاده از GD&T این است که بسیاری از نمادهای موجود وجود دارد و هر نماد می‌تواند از طریق روش‌های مختلف به یکدیگر متصل شود و مجموعه‌ای از محدودیت‌ها به هندسه مولفه و با بسیاری از اصلاح‌کننده‌های احتمالی بستگی دارد. فرضیه پشت این کار این است

که اگر طراح یک ابزار گرافیکی داشته باشد که می‌تواند به عنوان یک راهنما برای قرار دادن نمادهای مناسب و اصلاح کننده به شکل هندسی مناسب استفاده شود، مشاغل قرار دادن تحمل در نقاشی، ساده تر و کم‌تر مستعد اشتباه هستند.

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی بر این شده است که موضوع مهم و کاربردی تolerانس گذاری در ساخت قطعات مورد بررسی قرار گیرد، به این صورت که در ابتدا تعریفی از تolerانس و الزام وجود تolerانس بیان شد و بعد از آن مفاهیمی از قبیل نماد و روش‌های تolerانس گذاری مطرح گردید.

مراجع

[1] Viganò.A, Crescenzo.A.D, Pozzi.C, Milano.P.D, "GEOMETRIC TOLERANCING EXPLAINED BY THE MEANS OF CONCEPT MAPS", Proc. of the Second Int. Conference on Concept Mapping San José, Costa Rica, 2006

[2] SHAH.J, YAN.Y, ZHANG.B.C, "Dimension and tolerance modeling and transformations in feature based design and manufacturing", Journal of Intelligent Manufacturing 9, 475-488, 1998

[3] Jensen, Cecil Howard, Helsel, Jay D. Short, Dennis R. "Engineering drawing & design", Boston , McGraw-Hill Higher Education,. 2008.1v, Edition , 7th ed

گردآورنده: حامد عباسی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان