

انحراف ها ، تلرانس و انطباقات
(Limits & Tolerance and Fits)

مقدمه : نقشه های مهندسی حاوی اندازه هایی هستند که سازنده به کمک این اندازه ها می تواند قطعه را طبق نقشه با رعایت محدودیت های ابعادی و هندسی اعمال شده آن را تولید کند و همین طور با توجه به محدودیت های ابعادی و هندسی که در نقشه وجود دارد می تواند تصمیم بگیرد که با چه روشی قطعه ساخته شود .

تولانس عددی:

فرض کنید قرار است تعدادی شفت فولادی با قطر 20 میلی متر تولید کنیم. به دلیل خطاهای که هنگام تولید بوجود می آید قطر همه این شفت ها دقیقا به اندازه 20 میلی متر نخواهد بود. ولی یک ناحیه مجاز برای اندازه قطر تعیین می کنیم که اگر قطر شفت در آن ناحیه بود، برای ما پذیرفته است. دستگاه های تولیدی و اپراتورها را به گونه ای تنظیم و توجیه می کنیم که اندازه شفت ها را در همان ناحیه مجاز تنظیم کنند و در صورتی که اندازه قطر یک شفت، خارج محدوده تعیین شده بود، به عنوان یک قطعه معیوب و خراب شناخته می شود.

مثلا برای قطر 20 میلی متر می توانیم به شکل زیر، اندازه قطر را در نقشه مشخص کنیم:

اندازه قطر نامی

حد بالا و پایین ± 0.2

نماد مربوط به قطر

$$\varnothing 20 \pm 0.2$$

یعنی از قطر 20 میلی متر، مجاز هستیم به اندازه 0.2 میلی متر به سمت پایین یا بالا تخطی کنیم. در واقع محدوده مجاز برای اندازه قطر شفت، 19.8 تا 20.2 میلی متر است.

به عدد 20.2 حد بالا یا Upper Limit و به عدد 19.8 حد پایین یا Lower Limit می گوئیم.

اما ممکن است این محدوده، متقارن هم نباشد. مثلا در حالت زیر، قطر می تواند در محدوده 19.9 تا 20.2 باشد.

خطا به صورت نامتقارن $\rightarrow$

$$\varnothing 20 \begin{matrix} +0.2 \\ -0.1 \end{matrix}$$

حتی گاهی ممکن است خود عدد نامی، در محدوده مجاز قرار نداشته باشد. به عنوان مثال:

$$\varnothing 20 \begin{matrix} +0.6 \\ +0.2 \end{matrix}$$

مقدار انحراف مجاز از بالا را با es و مقدار انحراف مجاز از پایین را با ei نشان می دهیم و اندازه تolerانس که همان محدوده مجاز است، از تفاضل این دو عدد به دست می آید. در تصویر زیر، این مفاهیم به صورت کامل مشخص شده است:

حد بالا	Upper Limit	20.2	→	$es = + 0.2$
حد پایین	Lower Limit	19.9	→	$ei = - 0.1$

Tolerance: $T = es - ei = 0.2 - (-0.1) = 0.3$ محاسبه تolerانس

این اعداد از کجا به دست می آید؟ مثلاً چرا به عنوان یک مهندس، انحراف بالا را 0.2 و انحراف پایین را 0.1 تعیین می کنیم؟ دو راه اصلی برای مشخص کردن این اعداد وجود دارد:

راه اول، تجربه قبلی مهندس است و راه دوم استفاده از جداول و استانداردهای موجود است.

فرض کنید می خواهیم یک میله را برای لولای یک پنجره عادی طراحی کنیم. خب این لولا باید داخل سوراخ جا شود پس خطای بالا را صفر می گذاریم. از طرفی می تواند کمی لق باشد پس خطای پایین را مثلاً 0.2 میلی متر می گذاریم.

اما اگر بخواهیم شفتی را که قرار است در یک بلبرینگ جا بخورد طراحی کنیم، دیگر نمی توانیم از خطای پایین 0.2 میلی متر استفاده کنیم. چون شفت در بلبرینگ لق می شود و نمی تواند به خوبی در داخل آن دوران کند. این بار باید مثلاً خطای 0.02 میلی متر در نظر بگیریم. تعیین این اعداد به مرور و با انجام پروژه های صنعتی و کسب تجربه امکان پذیر می شود.

اما روش دوم که استفاده از جداول است.

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 بازتر (دقت کمتر)											mm بسته تر (دقت بیشتر)						
—	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

به جدول بالا دقت کنید. به IT، درجه تolerانس پایه گفته می شود. هر چه عدد IT بزرگتر باشد، تolerانس بازتر است و دقت می تواند کمتر باشد. و هر چه عدد IT کوچکتر شود، تolerانس بسته تر و یا به عبارت دیگر دقیق تر است. همانطور که در تصویر هم مشاهده می کنید، اندازه های سمت چپ که کوچکتر هستند، بر حسب میکرومتر و اندازه های سمت راست بر حسب میلی متر هستند.

به عنوان مثال با توجه به جدول فوق، می خواهیم برای شفتی به قطر 43 میلی متر و کلاس تolerانس IT6 مقدار تolerانس را پیدا کنیم. با توجه به اینکه قطر 43 میلی متر در بازه 30 تا 50 میلی متر قرار دارد، مقدار تolerانس را برابر 16 میکرومتر به دست می آوریم که در تصویر هم مشخص شده است.

حالت عادی برای انتخاب تolerانس، ITهای 6 و 7 و 8 است. برای مقدارهای دقیق تر به سمت پایین و برای مقدارهای باز تر به سمت بالا می رویم. البته باز هم تاکید می شود که در استفاده از این جدول الزامی نیست ممکن است بر اساس تجربه، اعداد دیگری تعیین شود.

حالا برای همین مثال بالا (قطر 43 میلی متر و کلاس تolerانس IT6) که مقدار تolerانس را طبق جدول برابر 16 میکرومتر به دست آوردیم، حالت های مختلفی قابل تصور است. به حالت های زیر توجه کنید:

$$\begin{array}{ccc} \varnothing 43^{+0.006}_{-0.010} & \varnothing 43^{+0.010}_{-0.006} & \varnothing 43^{+0.008}_{-0.008} \end{array}$$

در همه این حالت ها، اندازه تolerانس برابر همان 16 میکرومتر است. سوال اینجاست که کدام حالت را باید انتخاب کنیم؟ پاسخ به این بستگی دارد که شفت و محور مد نظر ما قرار است با چه چیزی منطبق شود. در واقع این شفت را در چه نوع سوراخی می خواهیم قرار دهیم؟ در این قسمت به بحث مهم انطباق میله و سوراخ می رسیم.

تعاریف:

اندازه اسمی یا مبنا (Nominal Dimension / Basic Size): همان اندازه ای است که بر روی نقشه نوشته می شود که انحرافات بالایی و پایینی با آن مقایسه می شود.

خط صفر (Zero Line): انحرافات نسبت به یک مبدا یا مبنا به نام خط صفر سنجیده می شوند. خط صفر خطی است منطبق بر اندازه اسمی و یا مرزی که در آنجا انحراف اندازه ها برابر صفر است.

حدود اندازه (Limit of Size): دو اندازه مجازی را در نظر بگیرید، حدود اندازه باید مابین آن دو و یا برابر با یکی از آنها باشد.

حد بالایی (Maximum Limit of Size / Upper Limit): بیشترین اندازه مجاز در یک قطعه.

حد پایینی (Minimum Limit of Size / Lower Limit): کمترین اندازه مجاز یک قطعه.

اندازه واقعی (Actual Size): اندازه ای که پس از تولید قطعه با اندازه گیری آن بدست می آید.

سوراخ (Hole): تمامی اجزای تو رفتگی موجود در یک قطعه مهندسی حتی اگر غیر گرد باشد.

میله یا شفت (Shaft): تمامی اجزای خارجی در یک قطعه مهندسی حتی اگر غیر گرد باشد.

انحراف (Deviation): اختلاف جبری مابین یک اندازه با اندازه اسمی.

انحراف بالایی (Upper Deviation): اختلاف اندازه حد بالایی یک اندازه با اندازه اسمی آن.

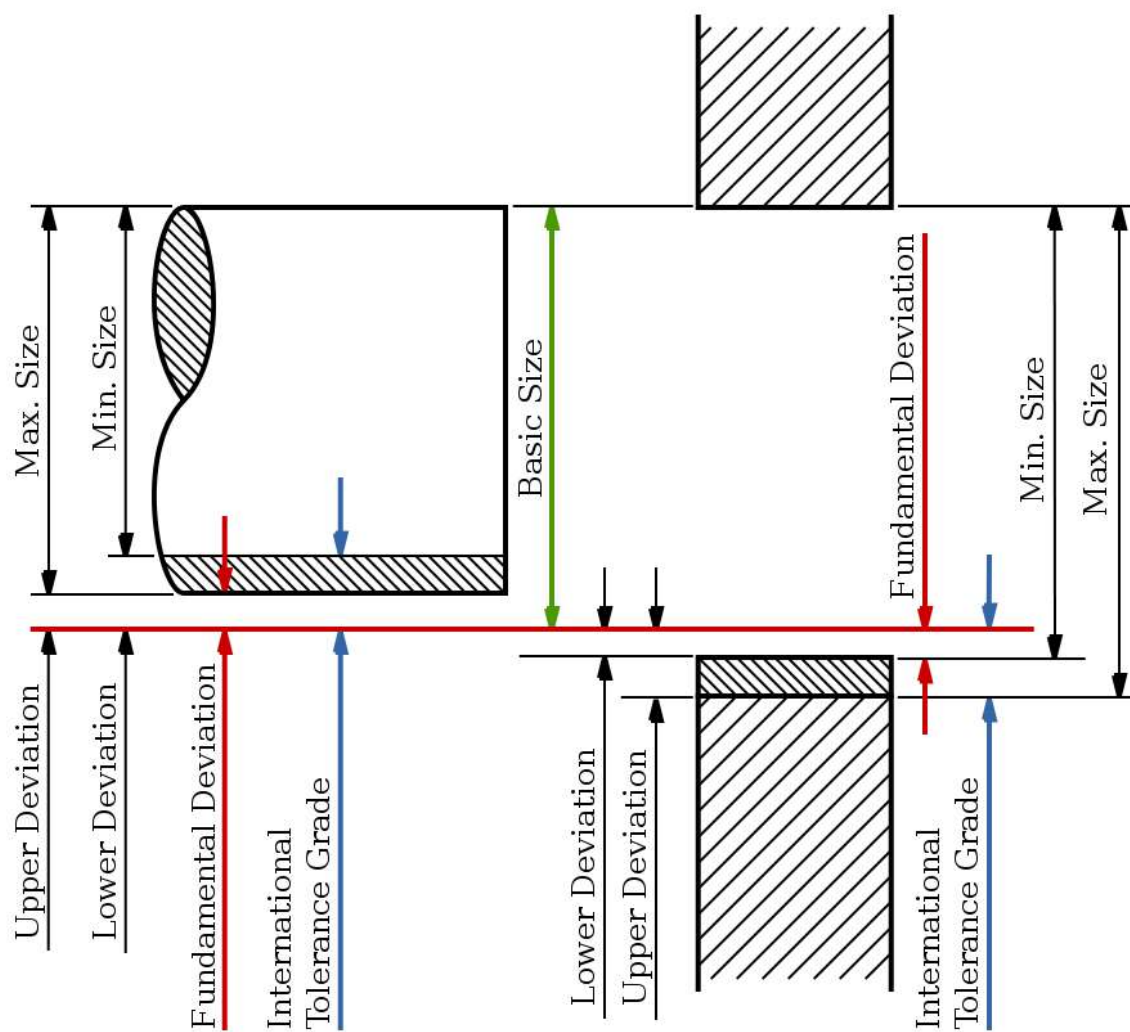
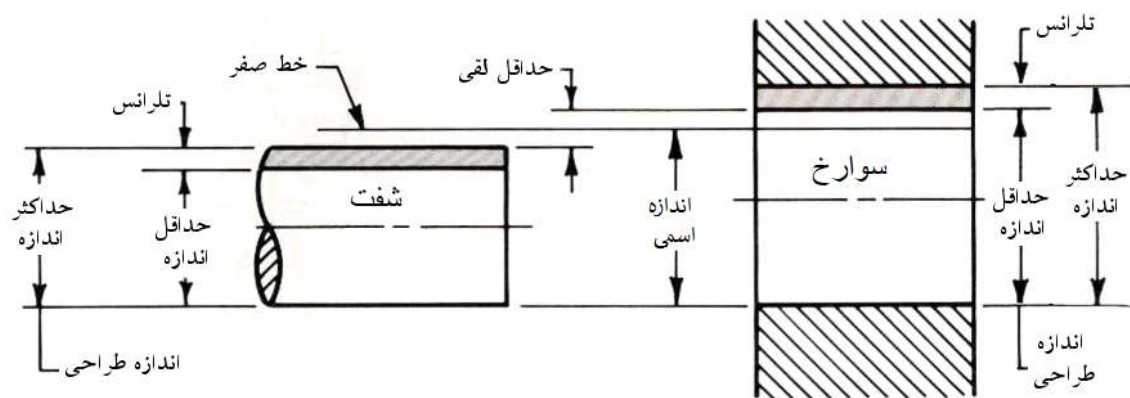
(اندازه نامی) - (بزرگ ترین اندازه) = انحراف بالایی

انحراف پایینی (Lower Deviation): اختلاف اندازه حد پایینی یک اندازه با اندازه اسمی آن.

(اندازه نامی) - (کوچکترین اندازه) = انحراف پایینی

مقدار تolerانس: تolerانس یا خطای کلی مجاز در حقیقت همان اختلاف میان بزرگ ترین اندازه و کوچک ترین اندازه قابل قبول خواهد بود.

(کوچک ترین اندازه مجاز) - (بزرگ ترین اندازه مجاز) = تolerانس



انطباقات (Matching & Fitments): پیش نیاز اولیه ورود به صنعت‌هایی که تولید انبوه دارند اطلاع از مباحث انطباقات است. دستگاه‌ها و سیستم‌های مهندسی شده از مجموعه قطعات متحرکی تشکیل شده‌اند که هرکدام از آن‌ها برای انجام وظایف خود باید روی یکدیگر بلغزند یا ساییده شوند به همین دلیل ما از انطباقات استفاده می‌کنیم تا بتوانیم خواص و ویژگی‌های قطعات را تعیین نماییم.

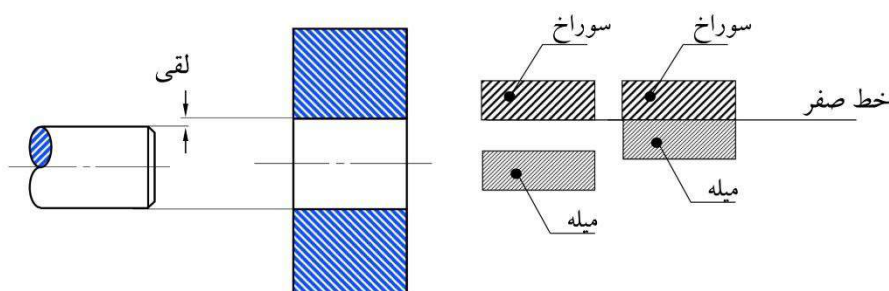
انواع انطباق به سه دسته اصلی زیر تقسیم می‌شوند:

1. انطباق آزاد یا بازی‌دار (Clearance Fit)

برای جاهایی که المان‌ها باید بتوانند بدون انسداد به داخل و خارج بلغزند، و جایی که هم تراز می‌تواند به راحتی هدایت شود، اما نیازی به دقت زیاد ندارد.

کوچکترین اندازه سوراخ (حد پایینی) بزرگتر از بزرگترین اندازه میله (حد بالایی) باشد.

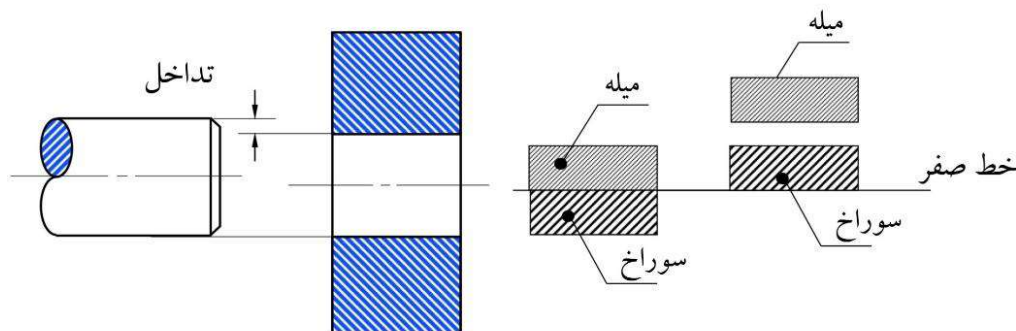
اختلاف مثبت بین اندازه سوراخ و میله. در واقع اندازه سوراخ بزرگتر از اندازه میله باشد.



2. انطباق پرسی (Interference Fit)

برای جاهایی که شدت انسداد بیشتر بوده و برای اتصال قطعات یا جداکردن آن‌ها نیاز به نیرو داشته باشیم، مانند فشار دادن یک بوش، یا تاقان، پین رول پلاک یا سایر موارد به اجزای جفت آن‌ها همگی نمونه‌هایی از نحوه استفاده از این انطباق پرسی هستند.

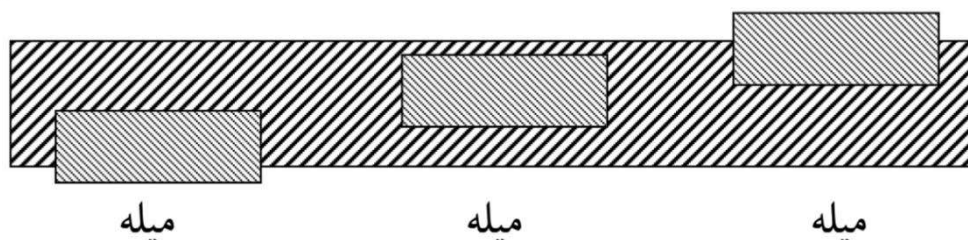
کوچکترین اندازه میله (حد پایینی) بزرگتر از بزرگترین اندازه سوراخ (حد بالایی) باشد.



3. انطباق انتقالی (Transition Fit)

انطباق انتقالی میان حالت آزاد یا پرسی قرار میگیرد و زمانی به کار گرفته می شوند که هم ترازوی دقیق ضروری است و قطعات جفت شونده باید با دقت بیشتری به هم پیوندند. همچنین ممکن است این موارد را به عنوان لغزش یا فشار مناسب ببینید.

سوراخ



تولرانس انطباقی را طراحی موقعی مورد استفاده قرار می دهد که قرار است قطعات با وابستگی و دقت بالا در کنار هم قرار بگیرند و باهم درگیر شوند و در این موارد تولرانس عمومی جوابگوی کار نیست، انطباق دو قطعه زمانی صحیح و مورد نظر طراح است که اولاً اندازه اسمی آن ها با هم برابر باشد و ثانیاً از استاندارد یکسانی برای تولرانس و انطباقات استفاده شده باشد.

به همین دلیل در استاندارد ISO286 برای تولرانس انطباقات پیشنهاد شده است و دو سیستم برای انتخاب انطباقات قطعات مورد استفاده قرار می گیرد:

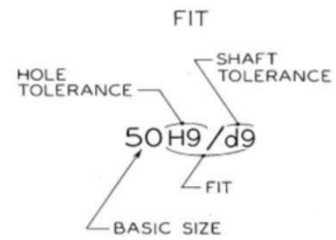
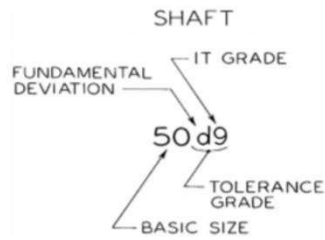
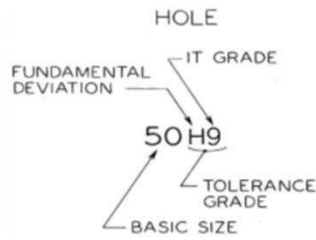
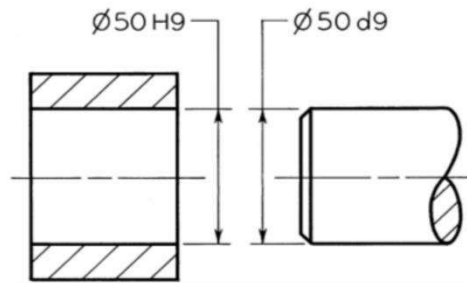
کلاس تولرانس (Tolerance Class): گروهی از تولرانس ها با سطح دقت مساوی باتوجه به اندازه اسمی با یک یا دو حرف و یک عدد مشخص می شود

انحراف پایه (Fundamental Deviation): بیانگر موقعیت منطقه تولرانس به نسبت خط صفر است. انحراف پایه با یک یا دو حرف مشخص می شود (28 انحراف پایه).

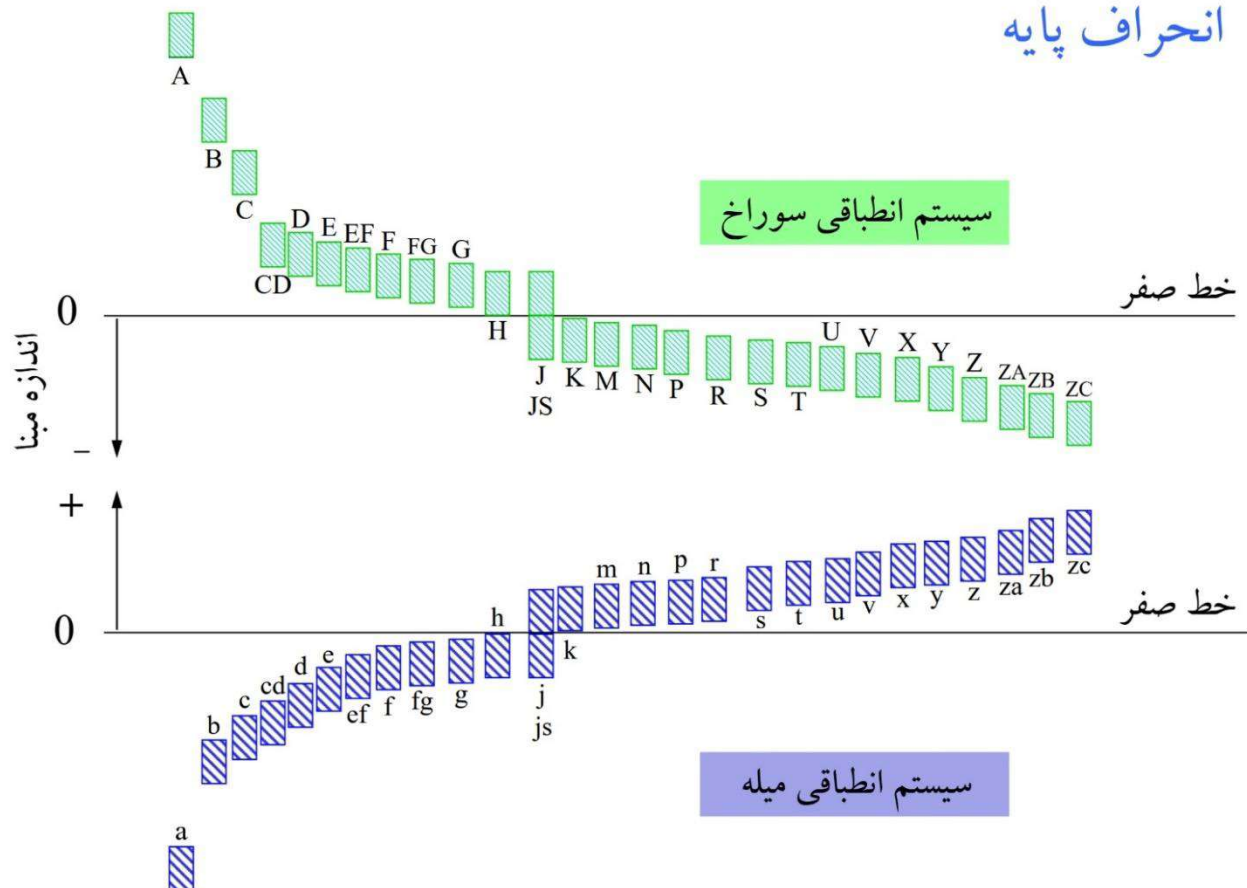
درجه تولرانس بین المللی (International Tolerance Grade): محدوده تغییرات را بر اساس اندازه اسمی مشخص می کند درجه IT با یک عدد مشخص می شود (18 درجه)

نکته ۱: حروف بزرگ برای سوراخ و شیار و حروف کوچک برای میله و بلوک است.

نکته ۲: پنج حرف i, l, o, q, w در حروف انطباقی وجود ندارد



انحراف پایه



انطباق دو قطعه زمانی امکان پذیر است که اندازه اسمی مشترکی داشته باشند. برای هماهنگ کردن اندازه های مورد لزوم قطعات به منظور رسیدن به انطباق مورد نظر، موسسه استاندارد بین المللی ISO انطباقات را زیر پوشش استاندارد خود قرار داده که به نام انطباقات ISO معروف است. رعایت انطباقات ایزو در صنعت باعث دقت و صحت در مونتاژ قطعات میگردد. قطعات انطباقی بر حسب انتظاری که از آنها می رود، می توانند تolerانسهای متفاوت و نسبت به هم دارای لقی یا سفتی متفاوت باشند.

انطباق لقی که به آن انطباق روان یا آزاد هم گفته می شود، انطباقی است که همواره بین سوراخ و میله لقی ایجاد می کند. در واقع این انطباق زمانی شکل می گیرد که بزرگترین اندازه میله از اندازه سوراخ کوچکتر و یا حداکثر با برابر با کوچکترین اندازه سوراخ باشد. لقی ممکن است زیاد باشد. طوریکه برای جا زدن نیاز به نیروی نباشد. ممکن است لقی متوسط یا کم باشد، طوریکه برای جا زدن فشار کم دست کافی باشد.

انطباق جذب که به آن انطباق عبوری یا روان نیز گفته می شود، انطباقی است که ممکن است بین سوراخ و میله لقی یا سفتی ایجاد کند که نوع آن بستگی به اندازه واقعی سوراخ و میله دارد. ممکن است لقی بسیار کمی وجود داشته باشد که جازدن با تنظیم دقیق میله در امتداد محور سوراخ انجام گیرد. و نیز ممکن است هیچ گونه لقی وجود نداشته باشد طوریکه جا زدن با ضریبات ملایم چکش سبک میسر باشد.

انطباق پرسی انطباقی است که همواره بین سوراخ و میله سفتی ایجاد می کند. این انطباق زمانی رخ می دهد که کوچکترین اندازه قطر میله از اندازه قطر سوراخ بزرگتر و یا حداکثر برابر با بزرگترین اندازه سوراخ باشد.

سیستم انطباق ثبوت میله (میله مبنا)

در سیستم انطباق ثبوت میله، اندازه قطر میله ها ثابت نگه داشته می شود و با انتخاب انحراف اندازه های لازم، قطر سوراخها را بر حسب مورد نیاز به نحوی تغییر می دهند که انطباق مورد نظر حاصل شود. در سیستم ثبوت میله، انحراف بالایی اندازه قطر میله برابر صفر است.

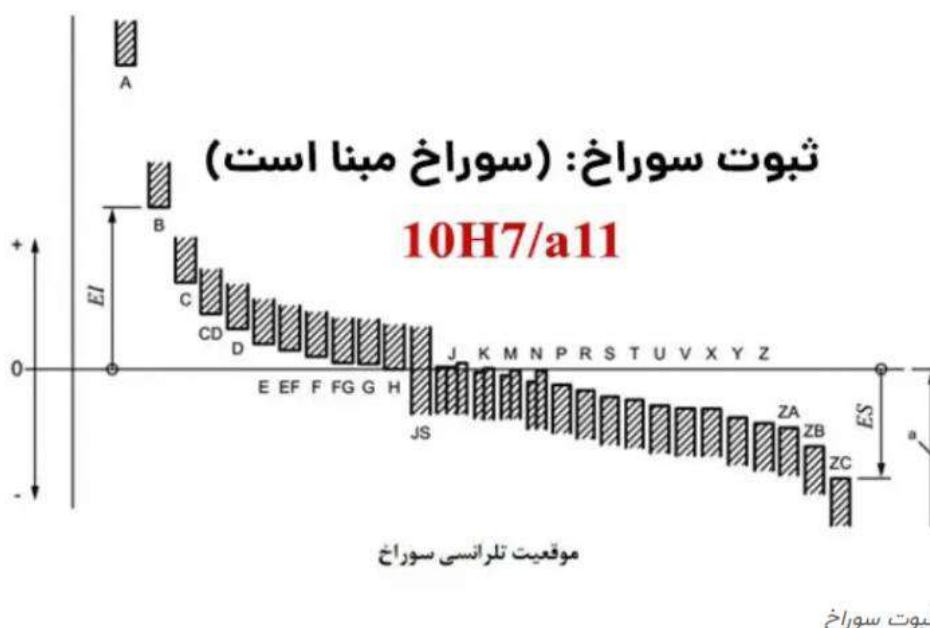
از سیستم ثبوت میله در صنعت ماشین آلات نساجی که در ساختن آنها تعداد زیادی میله به کار رفته است، استفاده می گردد. زیرا هنگام تعمیرات، تعویض یا تاقانها نسبت به تعویض میله ها هزینه کمتری خواهد داشت.



سیستم انطباق ثبوت سوراخ (سوراخ مبنا)

در سیستم انطباق سوراخ مبنا، اندازه قطر سوراخها ثابت نگه داشته می شود و با انتخاب انحراف اندازه لازم، قطر میله ها را بر حسب نیاز به نحوی تغییر می دهند که انطباق مورد نظر حاصل شود. در سیستم ثبوت سوراخ، انحراف پایینی سوراخ برابر صفر است.

از سیستم ثبوت سوراخ زمانی استفاده میشود که ساخت و کنترل اندازه میله ها با اندازه های دقیق و با کیفیت سطح مطلوب به کمک تراشکاری و سنگ زنی از تهیه سوراخ های دقیق آسان تر باشد.



موقعیت میدان تلرانس برای میله ها

در سیستم ایزو برای میله ها ۲۸ موقعیت میدان تلرانس نسبت به خط صفر از a تا zc در نظر گرفته شده است. در مورد میله از حروف لاتین کوچک استفاده می شود. با توجه به نمودار بالا از حروف a تا g قطر میله ها کوچکتر از اندازه اسمی هستند و پایینتر از خط صفر قرار دارند.

نکته : در مرحله h بزرگترین اندازه میله با اندازه اسمی برابر و منطبق بر خط صفر می باشد.

از حرف h به بعد اندازه میله ها بزرگتر شده و بالای اندازه اسمی یا خط صفر قرار می گیرند. بنابراین برای ایجاد انطباق آزاد می توان از حروف a تا g استفاده کرد به صورتی که بیشترین لقی در حرف a و کمترین لقی در حرف g وجود دارد. برای ایجاد انطباق عبوری از حروف js تا p استفاده می شود و برای ایجاد انطباف پرپی از حروف r تا zc استفاده می شود که کمترین سفتی در حرف r و بیشترین سفتی در حرف zc به وجود می آید.

در سیستم ثبوت سوراخ حرف H مشخص کننده موقعیت میدان تلرانس سوراخ است و همواره سیستم ثبوت سوراخ را تداعی می کند. میله ها با توجه به موقعیت میدانهای تلرانس مربوطه) از a تا ZC می توانند انطباق های متفاوتی را با سوراخ مبنا H به وجود آورند.

موقعیت میدان تلرانس برای سوراخ ها

در سیستم ایزو برای میله ها ۲۸ موقعیت میدان تلرانس نسبت به خط صفر از A تا ZC در نظر گرفته شده است. در مورد سوراخ از حروف لاتین بزرگ استفاده می شود. با توجه به نمودار روبرو از حرف A تا G قطر سوراخ ها کوچکتر از اندازه اسمی است. پایین تر از خط صفر قرار دارند.

نکته : در مرحله H کوچکترین اندازه سوراخ با اندازه اسمی برابر و منطبق بر خط صفر است.

از حرف H به بعد اندازه های سوراخ کوچکتر می شوند و در پایین اندازه اسمی یا خط صفر قرار می گیرند. لذا برای ایجاد انطباق آزاد می توان از حروف A تا G استفاده کرد که بیشترین لقی در A و کمترین لقی در G قرار دارد. برای ایجاد انطباق عبوری از حروف JS تا P استفاده می شود و برای ایجاد انطباق پرسی از حروف R تا ZC استفاده می شود که کمترین سفتی در حرف R و بیشترین سفتی در ZC به وجود می آید.