

最大实体要求应用解析与实例研究

徐旭松^{1,2}, 刘加南¹, 吴德辉³

¹江苏理工学院; ²浙江省先进制造技术重点实验室; ³杭州海顾信息技术有限公司

摘要: 针对在被测要素和基准要素上使用最大实体要求(MMR)的问题进行了解析,首先分析了最大实体要求应用于被测要素产生“公差补偿”,使得几何公差带动态增大;其次,分析了最大实体要求应用于基准要素产生“基准偏移”,使得几何公差带相对于基准可平移或旋转。指出公差补偿和基准偏移均放松了零件公差要求,但基准偏移不等于公差补偿,基准偏移带来的“补偿”与基准所能约束几何公差带的自由度有关,当基准要素远离其最大实体状态时,基准偏移才能在其所限制的自由度上作相应的偏移补偿;最后,以铰链组件装配为例进行了实例研究,其结果可为最大实体要求在几何公差设计中应用以及公差控制和分析提供参考。

关键词: 最大实体要求;公差补偿;基准偏移;公差设计

中图分类号: TG801; TH162

文献标志码: A

Study on Application Interpretation of Maximum Material Requirement and Its Case Study

Xu Xusong, Liu Jianan, Wu Dehui

Abstract: Aim at the problem of how to use the Maximum Material Requirement(MMR) on the toleranced feature and datum feature. Firstly, tolerance compensation(bonus tolerance)is incurred when MMR is applied to the toleranced feature. It makes the geometric tolerance zone increase dynamically. Secondly, datum shift is incurred when MMR is applied to the datum feature. It makes the geometric tolerance zone translation or rotation relative to the datum. It is pointed out that bonus tolerance and datum shift all relax the part's tolerance, but the datum shift is not the same as bonus tolerance for tolerance compensation. The "compensation" caused by the datum shift is related to the degree of freedom of the geometric tolerance zone which can be restrained by the datum. When the datum feature is far away from its Maximum Material Condition(MMC), the datum shift can just be used as tolerance compensation in the degree of freedom it constrained. Finally, the case of a hinge assembly is taken as an example to study the application of MMR on toleranced feature and datum feature, the results can provide reference for the MMR application in tolerance design, control and analysis.

Keywords: maximum material requirement; bonus tolerance; datum shift; tolerance design

1 引言

最大实体要求是几何公差中常使用的相关要求。GB/T16671-2009(即ISO 2692)^[1,2]定义了最大实体要求(Maximum Material Requirement, MMR)的概念、术语和应用规则,并在“范围”中指出最大实体要求常常应用于保证零件可装配性,但也适用于其他功能要求。国标在附录A对附加M的公差标注图例进行了公差解释和说明。但对被测要素和基准要素应用MMR未列出详细指导性意见和解析;刘巽尔和潘淑清^[3-5]对相关要求的应用进行了解析,并探讨了相关要求在结构设计中的应用;王玲等^[6]对最大实体要求应用于基准要素进行了解读;法国ENS Cachan-LURPA的Anselmetti B.等^[7]研究

了实效材料条件在复杂装配节点公差设计中的应用,以及复杂曲面的MMR/LMR补充定义、标注和检测方法,补充和扩展了GPS标准应用。

本文就如何正确理解被测要素和基准要素使用最大实体要求,基准要素使用最大实体要求产生基准偏移是否为公差补偿,如何在几何公差设计中应用最大实体要求等问题进行解析和实例研究。

2 最大实体要求应用于被测要素—可增大的公差带

图1所示的几何公差标注SP为被测要素相对于基准C的位置度公差要求,对被测要素附加 \textcircled{M} 。其含义为当且仅当被测要素(被测孔)处于最大实体状态(Maximum Material Condition, MMC)时,被测孔的轴线允许的最大位置度误差为 $\phi 0.2$,而当被测孔远离MMC时,有额外的公差补偿(Bonus Tolerance)产生。

基金项目: 国家自然科学基金(51475219);江苏省研究生科研与实践创新计划(SJCX17_0745)

收稿日期: 2018年5月

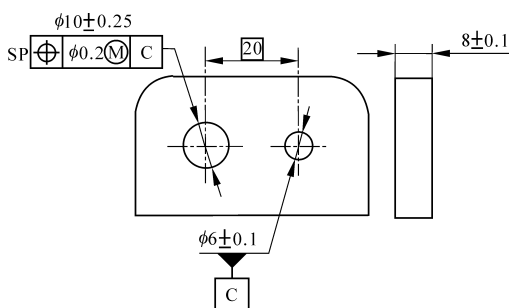


图1 被测要素使用 MMR

被测孔的实际直径须处于最大实体尺寸 MMS ($\phi 9.75$) 和最小实体尺寸 LMS ($\phi 10.25$) 之间,零件合格。公差补偿的公式为

$$t_{\text{bonus}} = D_a - D_{\text{MMC}} \quad (1)$$

式中, D_a 为孔的实际尺寸; D_{MMC} 为孔的最大实体尺寸。

则允许的最大位置度误差为

$$t_{\text{位置度/允许}} = t_{\text{位置度}} + t_{\text{bonus}} \quad (2)$$

式中, $t_{\text{位置度}}$ 为几何公差框格中的位置度公差值。

若按照国标中的两点法测量孔的实际尺寸,孔的实际尺寸并非固定值,在被测孔的任一处测得的实际直径可能均不相同。ASME Y14.5 标准^[8]对“实际尺寸”有明确定义,实际尺寸是指该孔的非关联包容体 (Unrelated Actual Mating Envelope, UAME) 的尺寸,即孔的最大内切圆柱的直径 (对于轴,则是其最小外接圆柱的直径)。对于任一实际被测孔而言,其最大内切圆柱是唯一的。ISO/GPS (国标等同) 标准中虽未明确说明实际尺寸,但在计算公差补偿值时,实际尺寸必须为孔的最大内切圆柱的直径或轴的最小外接圆柱的直径。图 2 为几何规范 SP 的动态公差和公差补偿示图,可见,随着被测孔的实际尺寸 (最大内切圆柱的直径) 变大时,允许的位置度公差也随之变大,从而使零件的合格率提高。

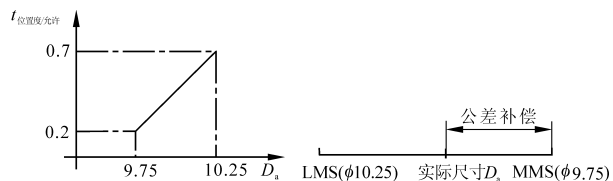


图2 几何规范 SP 的动态公差图和公差补偿示图

几何误差测量中常采用模拟法来体现基准, ASME Y14.5 标准定义了基准模拟体的概念。对于图 1 中 SP 几何规范中的基准要素 C, 将假想的理想“芯棒”塞入到基准要素孔内, 使“芯棒”直径“膨胀”, 与基准要素 C 的孔内壁贴合, 此时的“芯棒”就是基准要素 C 的基准模拟体, 芯棒的轴线就是基准

C。由于基准模拟体和基准要素保持“贴死”状态, 导致基准模拟体和基准要素 C 之间的相对方位关系固定。

(1) 假设 SP 对被测要素未使用最大实体要求, 且被测孔实际尺寸 (最大内切圆柱的直径) 为 $\phi 9.95$ 。由于采用独立原则, SP 公差带的大小是一个固定的值 ($\phi 0.2$), 如图 3 所示, 它与被测孔的孔径大小 (或最大内切圆柱的大小) 无关, 不能从尺寸公差获得补偿。从图 3 中可看出, 实际孔的轴线在公差带之外, 该零件不合格。其公差带有两个特点: ① SP 几何公差带的直径是固定的 $\phi 0.2$; ② 该圆柱形的公差带的中心和基准轴线 C 保持理想平行, 且和基准轴线 C 的距离保持理论正确尺寸 20 。

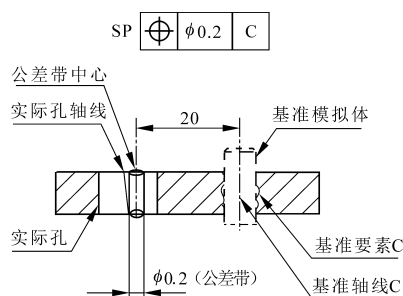


图3 SP 对被测要素未使用最大实体要求

(2) SP 对被测要素采用了最大实体要求, 其公差带的直径不是一个固定的值, 其大小可随被测孔实际尺寸的变化而变化 (按图 2 所示的规律变化)。若被测孔的实际尺寸 (最大内切圆柱直径) 也为 $\phi 9.95$, SP 位置度公差可获得公差补偿 0.2 。如图 4 所示, 此时 SP 公差带具备 2 个特点: ① 公差带的直径为 $\phi 0.4$; ② 公差带和基准轴线 C 保持理想的方向关系, 且与基准轴线 C 的距离保持理论正确尺寸 20 。

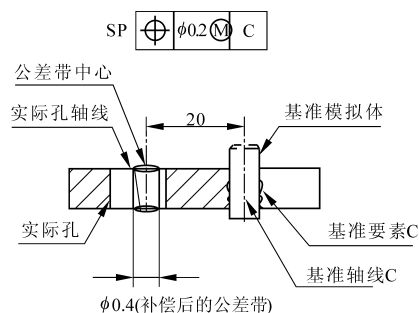


图4 SP 对被测要素使用最大实体要求

图 4 与图 3 比较, SP 公差带的直径变大了, 将原本位于直径为 $\phi 0.2$ 公差带以外的被测孔轴线 (不合格) 给包容进去 (合格), 从而提高了零件的合格率。

3 最大实体要求应用于基准—可偏移的公差带

在图3和图4中,因对基准未采用最大实体要求,基准模拟体和基准要素孔C的内壁呈贴合状态,基准模拟体的直径不定,它取决于基准要素孔C的实际尺寸。孔C直径增大(减小),基准模拟体直径也随之增大(减小)。若对基准C采用了最大实体要求(即基准C附加M圈),其含义是当且仅当基准要素孔C处于最大实体时,被测孔允许的位置度是 $\phi 0.2$;而当基准要素孔C远离MMC时,被测孔的位置度误差允许得到一些“补偿”。

图5为基准要素C使用最大实体要求后的基准偏移情形,这种因基准要素与基准模拟体之间存在间隙,允许被测要素的方向或位置有一定偏差的定义称之为基准偏移(Datum Shift, DS)。基准偏移是零件基准要素与检具模拟基准之间允许的松动(偏移),基准偏移放松了被测要素的公差要求。此时,基准C对应的基准模拟体不再是一个“膨胀”的芯轴,而是一个“固定”直径的芯轴。基准模拟体的直径是一个固定的值,其大小等于基准要素孔C的最大实体尺寸。由图1中孔C的尺寸标注 $\phi 6 \pm 0.1$ 可知,基准模拟体直径为固定的 $\phi 5.9$ (MMC),基准模拟体与孔C的内壁并非贴死。当基准要素孔C的实际尺寸变化,基准模拟体和基准要素C之间呈现若即若离的状态,并不固定,这种漂移的状态称之为“Datum Shift”(基准偏移或基准漂移)。

若图1中的SP几何规范更改为图5中的SP标注,则被测要素的位置度公差带有以下3个特点:①

该圆柱形公差带的大小固定,为 $\phi 0.2$ (未对被测要素采用最大实体要求);②该圆柱形公差带的方向和位置与基准模拟体的轴线(即基准轴线C)保持绝对理想的关系,即公差带中心和基准轴线C平行,且距离是 20 ;③基准模拟体相对于实际的基准要素孔C可以漂移、浮动,即基准模拟体的轴线(基准轴线C)相对于实际零件而言也是漂移、浮动的。综合以上3个特点,图5中SP几何规范的公差带为直径 $\phi 0.2$ 圆柱形公差带,且相对于零件呈漂移、浮动状态。那么,对于零件的几何误差的评定而言,如何判断零件合格与否,或者说几何误差的评定必须是明确。如图5a、图5c所示的被测孔的实际轴线在公差带以外。如图5b所示,使基准模拟体向左移动,直至基准模拟体和实际基准要素孔C左侧贴牢为止,此时公差带也随之自动往左偏移(因公差带中心和基准轴线C的方位关系必须是理想的,且距离是 20),偏移后的公差带若能够将被测实际孔的轴线框入进去,则该被测孔轴线的位置度误差判定为合格。同样,如图5d所示,基准模拟体可旋转,旋转后的公差带若能够将被测实际孔的轴线框入进去,则该被测孔轴线的位置度误差也被判定为合格。

基准偏移导致公差带可以平移、旋转,或者是平移和旋转的合成。但基准偏移造成的公差带飘浮不是任意的,漂移范围要在基准模拟体与实际基准要素孔C之间的间隙 δ 允许的范围之内,公差带最终的位置仍然是确定的,它刚好在使得测量几何误差最小、对测量结果最有利的位置。

图6中的 $\phi 10 \pm 0.25$ 被测孔的几何规范SP对

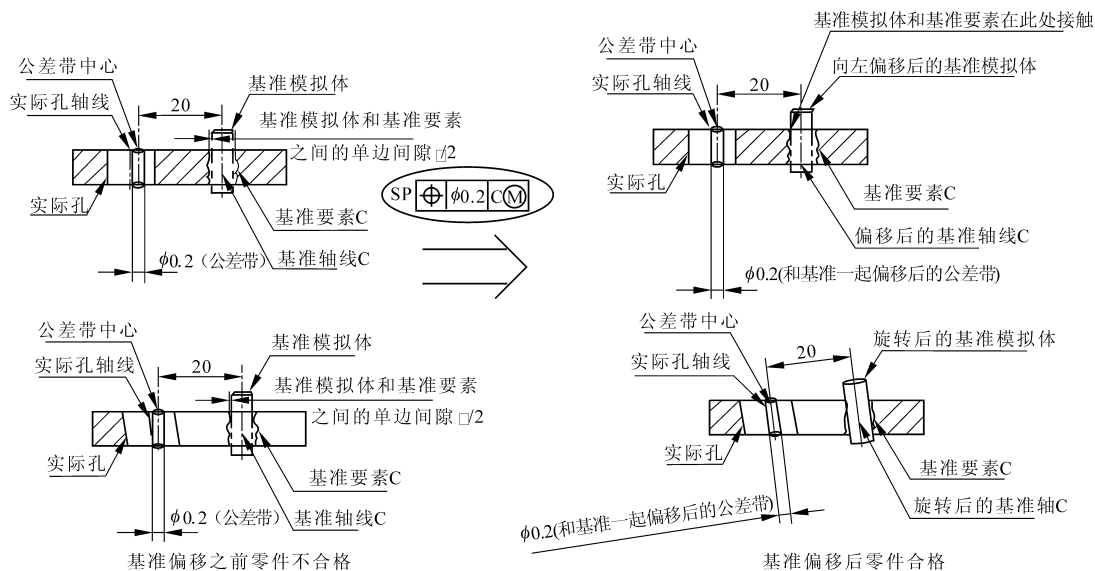


图5 基准偏移

被测要素使用最大实体要求,对其第三基准 C 也使用最大实体要求,其公差带的形状是一个圆柱体,公差带的直径按图 2 所示动态变化。基准的功能为约束公差带的自由度,该圆柱形公差带与基准 A 垂直,与基准 B 的距离保持理想的 $\boxed{20}$,与基准 C 的距离保持理想的 $\boxed{20}$ 。

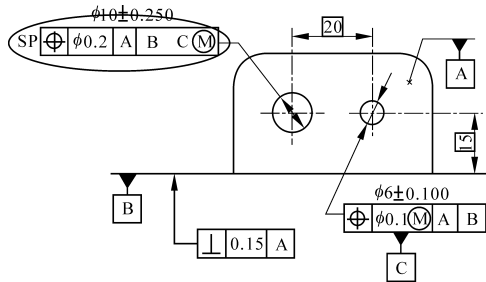


图 6 第三基准要素采用最大实体要求

基准 C 作为第三基准要素,其基准模拟体本身也被第一和第二基准约束,若基准要素 C 的基准模拟体和基准要素本身之间存有间隙,就允许有基准偏移,但只在理论正确尺寸 $\boxed{20}$ 的方向上水平平移,即基准 C 的基准偏移只能使圆柱形公差带沿水平方向左/右平移。

如图 7a 所示,假定被测孔在基准偏移发生之前,被测孔轴线在公差带以外(“疑是”不合格),而基准模拟体和基准要素孔 C 之间有间隙存在,基准模拟体可相对于基准要素孔 C 有偏移。基准 C 的基准偏移使几何公差带也只能随之水平偏移

(因公差带必须与基准轴线 C 保持绝对的 $\boxed{20}$),若移到合适位置能够将被测实际孔的轴线框入公差带,则该被测孔轴线被判定为位置度合格,如图 7b 所示。

若假设实际孔的轴线相对于基准 A 垂直度超差,如图 7c 所示,被测孔的实际轴线与基准 A 的垂直度偏差太大以至于 $\phi 0.2$ 的公差带容纳不下,基准偏移之前,零件判定为不合格。即便基准可发生偏移,无论直径为 $\phi 0.2$ 的公差带如何水平移动均不能将倾斜的被测实际孔轴线容纳进去,则零件仍然被判定为不合格。图 7 所示说明基准偏移的补偿是有条件的,这取决于附加 M 圈的基准所能约束的自由度,当基准偏移发生时,它只能在该基准所能约束的自由度上偏移公差带,以“迁就”被测要素。与图 5 相比,图 7 的基准 C 的基准偏移发生时,只允许公差带水平平移,不能旋转(因为图 7 中公差带的旋转自动度被第一基准 A 所约束)。

若图 6 中的 SP 几何规范更改为图 8 所示,对被测要素和基准要素 C 均使用最大实体要求,那么该被测孔的轴线位置度公差带既可获得公差补偿(Bonus Tolerance),又有基准偏移补偿(Datum Shift)。此时, $\phi 0.2$ 的圆柱形公差可先放大公差带,再将有条件的偏移放入已经放大的公差带,将实际被测孔轴线尽量框入进公差带,从而提高零件合格率,降低成本。

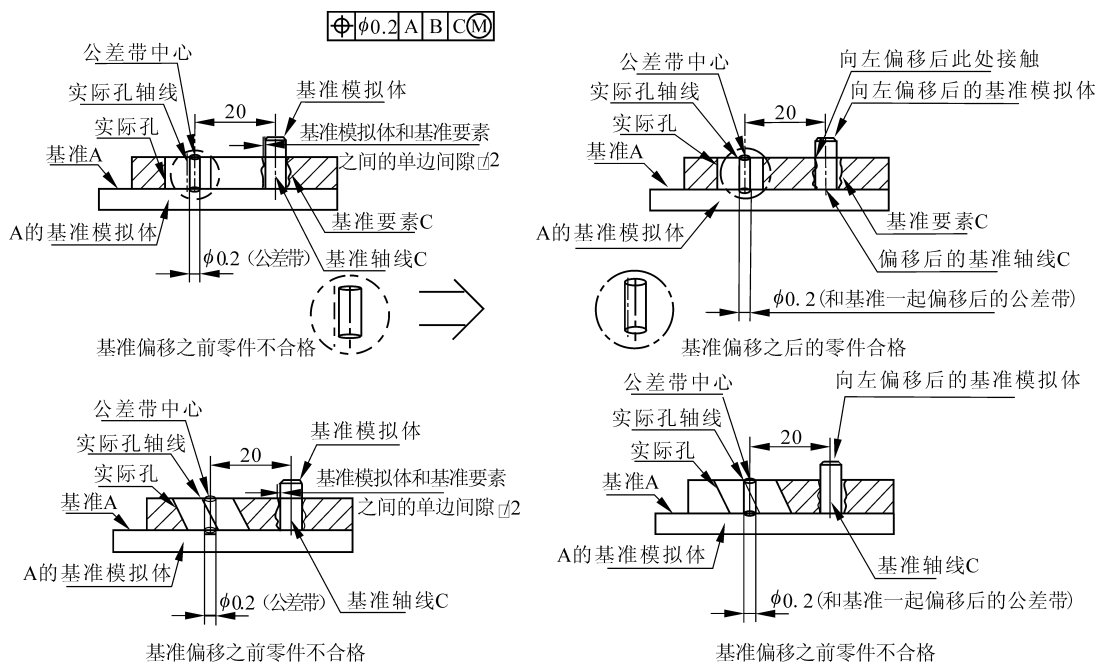


图 7 基准偏移前/后的基准模拟体和公差带

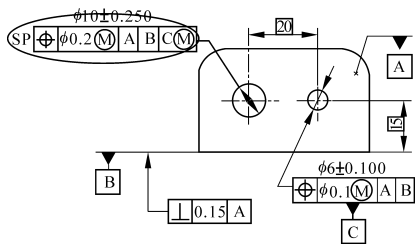
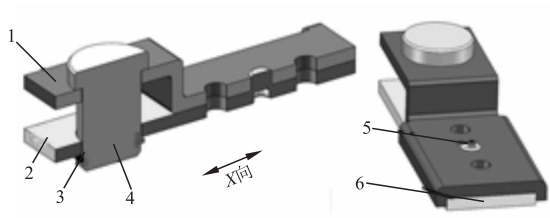


图8 被测要素和第三基准要素采用最大实体要求

4 实例研究

图9为一铰链结构组件,由上板、下板、铰链销和挡圈组成。装配过程:先将上板和下板用螺钉连接,然后插入铰链销子,最后安装挡圈。上板和下板之间的定位采用定位面、定位槽和定位孔(销)。图10和图11为上板和下板的尺寸与公差标注初步方案。



1. 上板 2. 下板 3. 挡圈 4. 铰链销 5. 定位孔/销
6. 定位槽/板(大平面+小平面)

图9 铰链组装配

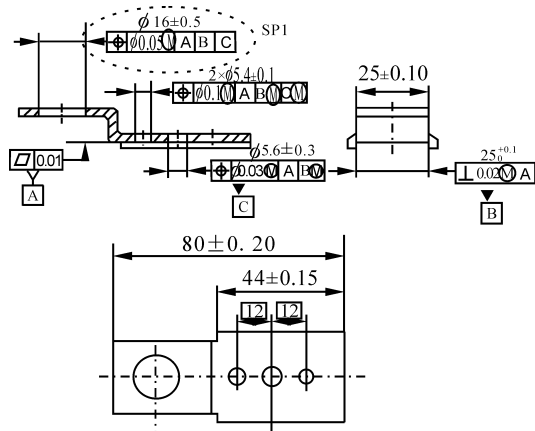


图10 上板零件尺寸与公差标注

上板和下板铰链孔的公差标注 SP1/SP2 均采用位置度公差控制,公差值相同,因与铰链销装配为间隙装配,为保证间隙装配,对被测要素采用最大实体要求。SP1/SP2 几何规范要求不论实际铰链孔的尺寸和位置如何变动,应始终确保一个空间不得被侵犯,该空间即是孔的最大实体实效边界,具有两个特点:①该边界以内没有任何材料,边界尺寸为 $\phi 15.90$;②该边界与基准的方向和位置关系理想

(见图12)。

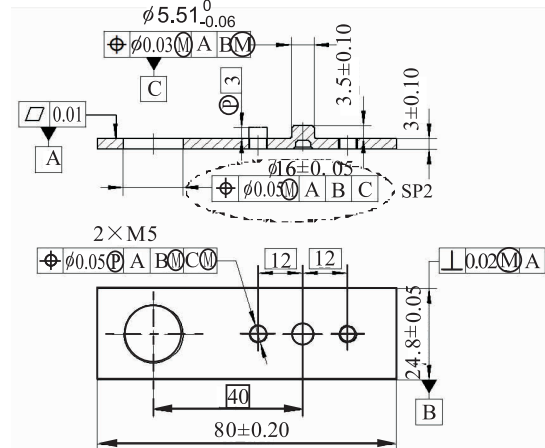


图11 下板零件尺寸与公差标注

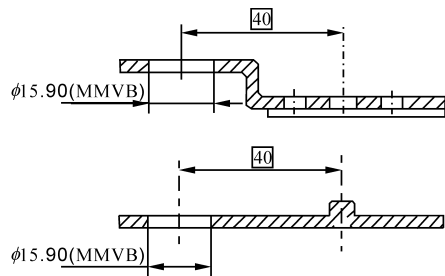


图12 上/下板铰链孔的最大实体实效边界

设计铰链销的尺寸时,要求铰链销的体外作用尺寸 $\leq \phi 15.90$ 才能保证其 100% 顺利穿过上/下板的铰链孔。因此,铰链销的直径可标注成图13所示,并采用包容要求。

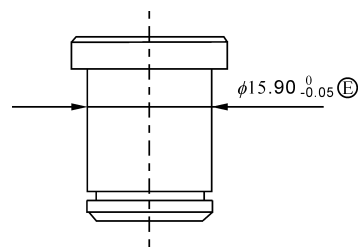


图13 铰链销的尺寸与公差标注

上/下板铰链孔的最大实体实效边界以内可认为是相对基准系的理想位置而存在的一个空间,要使得铰链销能同时顺利地装入上/下板铰链孔中,须要求上/下板铰链孔的最大实体实效边界同轴。此时,理应要求上/下板的定位槽/板或定位孔/销之间采用“紧配合”来保证上/下板 MMVB 同轴。但是,为了提高在流水线上的装配成功率,一般在定位槽/板之间或定位孔/销之间留有装配间隙,可允许由此间隙来调整上/下板之间相对位置来保证铰链孔最大实体实效边界对齐。在考虑“允许利用定位特征

之间的间隙来调整相装配零件之间的方向或位置”的情形下,图 10 和图 11 的几何公差规范方案需进行调整。

若上板定位孔与下板定位销远离其最大实体实效状态时,它们之间装配存有间隙,即上板可在下板上左右移动、晃动,为了放松铰链孔的公差要求,应允许“当上/下板铰链孔的最大实体实效边界和定位孔 C 之间的距离偏离理论正确尺寸^[40]时,利用定位孔/销之间存有的配合间隙,沿 X 向调整上/下板的相对位置来使得铰链销装配成功”,即应对 SP1/SP2 的基准 C 采用最大实体要求。基准偏移同样适用于 SP1/SP2 几何规范中的基准 B(定位槽/板)。因此,图 10 和图 11 中的 SP1/SP2 几何规范更改为图 14 所示。

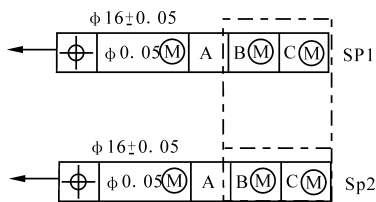


图 14 最大实体要求应用于基准要素

5 结语

(1)若被测要素为尺寸要素,且采用独立原则,被测要素几何公差与其实际尺寸无关,此时几何公差带的大小是一个固定值。而当被测要素采用了最大实体要求后,其几何公差带的大小不再是一个固定的值,几何公差值可从尺寸公差获得补偿,称之为公差补偿(Bonus Tolerance)。公差补偿与基准无关,当被测要素的轴线和基准的距离或者方向超差,只要补偿量(Bonus)足够大,变大的公差带则可能将实际被测要素的轴线包容进公差带,使得零件合格。

(2)基准偏移(Datum Shift)是利用基准模拟体和基准要素本身之间的间隙来“调整”基准模拟体方位,从而间接的让公差带相对于基准“偏移”(Shift),只要在允许偏移的范围内,偏移后的公差带就可能将实际被测要素容纳进去,使得被测要素合

格。可见对基准要素附加 M 圈,使零件的合格率提高。但基准附加了 M 圈,公差带本身并不会动态增大,而是通过调整公差带本身相对于基准模拟体的相对位置使得公差带能够容纳被测要素。

(3)在 ISO 和 ASME 公差标准中,基准偏移带来的“补偿”和基准所限制的公差带自由度有关。当对基准要素附加了最大实体要求时,要分析该基准所约束公差带的自由度,基准偏移只能在其所能约束的自由度上作偏移补偿。基准偏移不能简单处理成公差补偿,基准偏移不等于公差补偿。

参考文献

- [1]全国产品尺寸与几何技术规范标准化委员会. GB/T 16671-2009,产品几何技术规范(GPS)几何公差最大实体要求、最小实体要求和可逆要求[S].北京:中国标准出版社,2009:1-6.
- [2]ISO/TC213. ISO 2692:2014, Geometrical products specifications (GPS)-Geometrical tolerancing-Maximum material requirement (MMR), least material requirement (LMR) and reciprocity requirement (RPR) [S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2014.
- [3]刘巽尔. 公差原则和相关要求问答[M].北京:中国标准出版社,2012.
- [4]潘淑清. 相关要求在结构设计中应用的研究[J]. 兵工学报,2001,22(3):372-376.
- [5]潘淑清,刘巽尔. 相关要求与边界设计[J]. 工程设计学报,2000,7(4):17-20.
- [6]王玲,李伯奎. 最大实体要求应用于基准要素的解读[J]. 工具技术,2013,47(7):67-68.
- [7]Anselmetti B, Pierre L. Complementary writing of maximum and least material requirements, with an extension to complex surfaces[J]. Procedia Cirp, 2016, 43:220-225.
- [8]ASME Standard Y14.5-2009. Dimensioning and tolerancing principles[M]. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2009.

第一作者:徐旭松,博士,副教授,江苏理工学院机械工程学院,213001 江苏省常州市

First Author: Xu Xusong, Doctor, Associate Professor, School of Mechanical Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou, Jiangsu213001, China