

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.10.017

工序尺寸换算中虚公差的生产原因及处理方法

Research on cause and treatment methods of virtual tolerances caused by process dimension calculation

冯文慧^{1,2} 马晓三^{1,3}FENG Wen-hui^{1,2} MA Xiao-san^{1,3}

(1. 黄河交通学院机电工程学院, 河南 焦作 454950; 2. 焦作市物料输送设备关键件制造工艺与装备工程技术研究中心, 河南 焦作 454950; 3. 河南理工大学机械与动力工程学院, 河南 焦作 454000)

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Huanghe Jiaotong University, Jiaozuo, Henan 454950, China; 2. Engineering Technology Research Center of Key Parts Manufacturing Process and Equipment in Material Conveying Apparatus of Jiaozuo City, Jiaozuo, Henan 454950, China; 3. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

摘要:目的: 避免工序尺寸换算过程中虚公差现象的产生, 提高机械零件加工工艺规程的可执行性。方法: 以工艺尺寸链计算中封闭环与各组成环之间的公差分配关系和误差补偿关系为基础, 对零件工艺基准和设计基准不重合条件下工序尺寸虚公差产生的原因和工艺尺寸链的改进方法进行了研究。结果: 从封闭环的选择、已知组成环尺寸公差的合理压缩以及根据其他组成环尺寸的实际偏差确定工序尺寸公差 3 方面, 提出了工艺尺寸链处理和改进方法。结论: 从以上 3 方面对工艺尺寸链进行处理和改进, 可有效避免工序尺寸虚公差现象的发生。

关键词: 虚公差; 工序尺寸; 工艺尺寸链; 公差压缩; 实际偏差

Abstract: Objective: To avoid the virtual tolerance phenomenon in the process dimension conversion, and improve the operability of machining process specification by processing and improving of machining process dimension chain. **Methods:** Based on the tolerance distribution relationship and error compensation relationship between the concluding link and each component link in the calculation of process dimension chain, studied the causes of virtual tolerance of process dimension and the improvement method of process dimension chain under the condition that the part process datum and design datum did not coincide. **Results:** The processing and improvement methods of process dimension chain were put

forward from three aspects: the selection of concluding link, the reasonable compression of known component link dimension tolerances and the determination of process dimension tolerance according to the actual deviation of other component ring dimensions. **Conclusion:** By processing and improving the process dimension chain from the above three aspects, the phenomenon of virtual tolerance of process dimension can be effectively avoided. **Keywords:** virtual tolerance; process dimension; process dimension chain; condensation of tolerance; actual deviation

在偏心型食品搅拌机机架、搅拌器^[1]等具有复杂结构的机械零件加工工艺规程编制过程中, 当工艺基准与设计基准不重合时, 在确定工序余量之后, 需通过工艺尺寸链对工序尺寸及其极限偏差进行换算。在工艺尺寸链计算过程中, 有时候会出现换算出的工序尺寸上极限偏差小于下极限偏差的情况, 即工序尺寸公差值为负值, 这种尺寸公差被称为虚公差^[2]。在工程实践中, 工序尺寸虚公差的出现将导致工艺规程无法指导零件的加工和检验。因此, 对工序尺寸虚公差产生的原因进行分析, 并且在工艺尺寸链计算过程中, 对有关尺寸采取有针对性的处理措施, 避免工序尺寸虚公差的生产, 对于保证机械加工工艺规程在生产现场的可执行性是十分必要的。

目前, 有中国学者^[2-6]围绕虚公差的基础理论及其在装配尺寸链中的应用展开了大量研究, 并得到了国际学界的关注和认可。2016 年 9 月, 在第 41 届 ISO/TC213 年会上, 专门就虚公差理论及应用进行了主题为《Chinese input on potential new work on virtual tolerances》的研讨^[3]。而对于机械加工中工序尺寸虚公差现象, 目前尚未有研究成果见诸报道。

基金项目: 河南省智能制造技术与装备工程技术研究中心资助项目(编号: 3118210370)

作者简介: 冯文慧, 女, 黄河交通学院讲师, 硕士。

通信作者: 马晓三(1977—), 男, 黄河交通学院讲师, 河南理工大学在读博士研究生。E-mail: mmxiaosan@126.com

收稿日期: 2021-05-07

基于以上情况,文章拟通过分析工序尺寸换算中工艺尺寸链极值计算法的原理和特点,对工序尺寸虚公差产生的原因进行研究,并以工艺尺寸链中各组成环尺寸之间的误差补偿关系为基础,从封闭环的选择、已知组成环尺寸公差的合理压缩以及根据其他组成环尺寸的实际偏差确定工序尺寸公差 3 方面,提出工艺尺寸链处理和改进方法,以期为解决工程实践中的工序尺寸虚公差问题提供理论依据。

1 工序尺寸虚公差产生原因

1.1 虚公差产生原因理论分析

在零件工艺基准与设计基准不重合的情况下,利用工艺尺寸链对加工工序尺寸进行计算的目的是通过合理确定工序尺寸的基本尺寸 H 、上极限偏差 $E_s(H)$ 和下极限偏差 $E_i(H)$,间接保证最终设计尺寸满足设计图要求。工序尺寸在设计图纸中不直接标出,但在工艺尺寸链中作为组成环,需要在加工中直接保证。工艺尺寸链的封闭环通常是在零件设计图纸中直接标出的设计尺寸,但需要在加工过程间接保证^[7-9]。工序尺寸换算过程中需要对工艺尺寸链极值法反计算^[10],求出工序尺寸及其极限偏差。因为在尺寸链的计算中,封闭环尺寸的公差等于所有组成环尺寸的公差之和,所以工艺尺寸链中各尺寸的公差满足以下关系:

$$T(H) = T(M_{\Sigma}) - \sum T(M) \quad (1)$$

式中:

$T(H)$ —— 工序尺寸的公差;

$T(M_{\Sigma})$ —— 封闭环设计尺寸的公差;

$\sum T(M)$ —— 工艺尺寸链中除工序尺寸之外的其他

所有组成环尺寸(即已知组成环尺寸)的公差之和。

从式(1)可以看出,当工艺尺寸链中的封闭环尺寸的公差小于已知组成环尺寸的公差之和时,封闭环的公差不足以向作为其中一个组成环的工序尺寸分配,就会出现工序尺寸的公差为负值,即虚公差的情况。

1.2 虚公差产生原因实例分析

某零件内孔及键槽设计尺寸和工序尺寸如图 1 所示,在该零件实际加工过程中,为了防止在加工键槽时损伤零件 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 内孔表面,需要按照以下工艺步骤加工:

- ① 将 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 内孔半径加工至图 1 所示的尺寸 D ;
- ② 加工键槽,将尺寸 $54.3_{0}^{+0.10}$ 加工至图 1 所示的尺寸 H ;
- ③ 磨削精加工内孔,保证内径尺寸 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$,同时间接保证尺寸 $54.3_{0}^{+0.10}$ 。

从上述加工步骤可以看出,尺寸 D 和 H 是零件加工过程中的工序尺寸,不是零件设计图规定的设计尺寸。其中尺寸 D 是加工余量引起的工序尺寸。对于该工序尺寸,仅需根据最终设计尺寸 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 和加工余量就可以

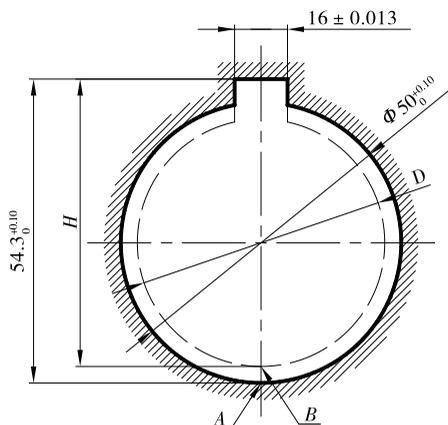


图 1 某零件内孔及键槽设计尺寸和工序尺寸示意图
Figure 1 Schematic diagram of design dimension and process dimension of inner hole and keyway of a part

计算得到,无需进行工艺尺寸链的计算^[11-12],也不会产生工序尺寸虚公差现象。

由图 1 可知,该零件键槽深度的设计尺寸为 $54.3_{0}^{+0.10}$,其设计基准为 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 内孔最下方的素线 A。零件实际加工过程中,需要保证的键槽深度尺寸为 H ,因此键槽深度方向的工艺基准为内孔 D 最下方的素线 B。因此尺寸 H 是由于键槽深度方向工艺基准和设计基准不重合引起的工序尺寸。对于工序尺寸 H 的换算,建立工艺尺寸链如图 2 所示。

在建立上述工艺尺寸链过程中,尺寸 $54.3_{0}^{+0.10}$ 尽管是设计尺寸,但由于是加工间接保证,所以只能是封闭环,尺寸 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 和工序尺寸 D 和 H 都是由加工直接保证,为组成环。

根据零件内孔精加工余量需要,将工序尺寸 D 确定为 $\Phi 49.8_{0}^{+0.20}$,其中为了保证尺寸链首尾相连,需将尺寸 $\Phi 50_{0}^{+0.10}$ 和 $\Phi 49.8_{0}^{+0.20}$ 的基本尺寸和极限偏差除以 2,由直径尺寸转化为半径尺寸 $25_{0}^{+0.05}$ 和 $24.9_{0}^{+0.10}$ 。则在该工

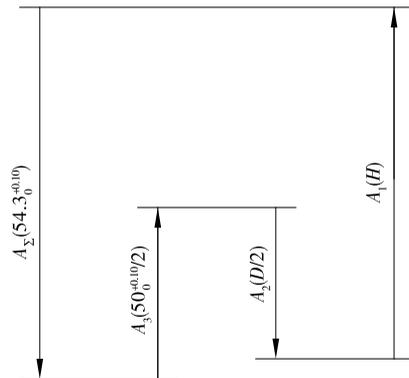


图 2 某零件加工内孔及键槽工艺尺寸链示意图
Figure 2 Process dimension chain diagram of machining inner hole and keyway of a part

艺尺寸链中尺寸 $25_0^{+0.05}$ 和工序尺寸 H 为增环, 尺寸 $24.9_0^{+0.10}$ 为减环。

将以上各尺寸的公差代入式(1), 可得工序尺寸 H 的公差:

$$T(H) = T(54.3_0^{+0.10}) - [T(25_0^{+0.05}) + T(24.9_0^{+0.10})] = 0.10 - (0.05 + 0.10) = -0.05。$$

在此情况下, 所得出的工序尺寸 H 的公差值 $T(H) = -0.05 < 0$ 。如果对该工艺尺寸链采用极值法反计算, 可以换算工序尺寸 H 应为 $54.2_{-0.10}^{+0.05}$ 。可以看出, 该尺寸的上极限偏差 $+0.05$ 小于下极限偏差 $+0.10$, 公差值为 -0.05 , 这种公差即为虚公差。机械加工工艺规程中如果出现这种公差, 将导致零件加工无法进行。

2 避免工序尺寸虚公差的工艺尺寸链处理方法

如前所述, 在尺寸链的计算中, 封闭环尺寸的公差为所有组成环尺寸的公差之和。因此, 避免工序尺寸换算过程中产生虚公差, 就是在建立和计算工艺尺寸链过程中, 避免已知组成环尺寸的公差之和大于封闭环公差。具体而言, 需从以下 3 方面对工艺尺寸链采取处理措施。

2.1 合理选择工艺尺寸链的封闭环

在采用极值法对尺寸链计算过程中, 封闭环的公差是所有组成环的公差之和, 封闭环一定是尺寸链所有尺寸中公差最大的。因此在建立工艺尺寸链时, 封闭环的公差应尽可能大, 必须将加工最后形成的尺寸中公差最大的作为封闭环进行间接保证。否则, 除工序尺寸之外的其他所有组成环的公差之和大于封闭环公差的情况将不可避免, 并出现虚公差。

就前例而言, 加工最后形成的尺寸是 $25_0^{+0.05}$ 和 $54.3_0^{+0.10}$, 在建立尺寸链时, 必须将公差最大的尺寸 $54.3_0^{+0.10}$ 作为封闭环。如果将 $25_0^{+0.05}$ 作为封闭环, 该尺寸的公差 0.05 已经小于其中一个组成环尺寸 $54.3_0^{+0.10}$ 的公差 0.10 , 更加不可能大于所有已知组成环尺寸的公差之和。因此, 合理选择工艺尺寸链的封闭环, 是避免工序尺寸虚公差的首要前提。

2.2 合理压缩工艺尺寸链中已知组成环尺寸公差

通常情况下, 即使在建立工艺尺寸链过程中, 将公差最大的尺寸确定为封闭环, 当已知组成环尺寸公差比较大时, 组成环尺寸公差之和仍有可能大于封闭环公差, 在此情况下换算出的工序尺寸仍将出现虚公差。如前例所示, 即使将加工最后形成的公差最大的尺寸 $54.3_0^{+0.10}$ 作为封闭环, 由于已知组成环尺寸 $25_0^{+0.05}$ 和 $24.9_0^{+0.10}$ 公差比较大, 按照工艺尺寸链计算出的工序尺寸为 $54.2_{-0.10}^{+0.05}$, 也是虚公差。针对这种情况, 可以利用尺寸链中各组成环尺寸之间的误差补偿关系, 合理压缩已知组成环尺寸的公

差, 对工艺尺寸链进行处理。也就相当于在工艺尺寸链中, 将封闭环公差在各组成环尺寸之间再次重新分配, 重新确定已知组成环尺寸的公差。

因此, 在工序尺寸换算过程中, 工艺尺寸链建立后, 必须验证封闭环尺寸是否满足大于已知组成环尺寸公差之和的条件, 如果不满足, 则需通过合理压缩各个组成环尺寸的公差的方法满足该条件。在此过程中, 从以下方面注意公差压缩处理的合理性。

(1) 当已知组成环尺寸的基本尺寸与原公差带的中心值不重合时, 应将其公差向原公差带的中心值附近压缩, 而不能向基本尺寸附近压缩, 避免加工后的零件尺寸相对于设计尺寸出现系统性误差^[13-14]。

(2) 尺寸公差与零件的加工工艺性直接相关, 因此工艺尺寸链中各已知组成环尺寸的公差并非压缩得越小越好。对已知组成环尺寸公差压缩过程中, 应结合形成各尺寸的工序的加工特点和实际情况, 综合考虑零件加工工艺性。

就前例而言, 工艺尺寸链中已知组成环尺寸为 $25_0^{+0.05}$ 和 $24.9_0^{+0.10}$, 因其公差之和大于封闭环公差, 导致了工序尺寸虚公差, 需对这两个尺寸的公差进行压缩处理。这两个尺寸所对应的加工尺寸分别为 $\Phi 50_0^{+0.10}$ 和 $\Phi 49.8_0^{+0.20}$ 。其中 $\Phi 50_0^{+0.10}$ 为最终磨削精加工尺寸, 可将其公差压缩至 0.02 。该尺寸原公差带的中心值为 $+0.05$, 则可将该尺寸压缩公差处理后变为 $\Phi 50_{+0.04}^{+0.05}$, 则变化为半径尺寸即在工艺尺寸链中对应的组成环尺寸为 $25_{+0.02}^{+0.03}$, 公差为 0.01 。 $\Phi 49.8_0^{+0.20}$ 为粗加工尺寸, 可将其公差压缩至 0.10 , 该尺寸公差带的中心值为 $\Phi 49.9$, 则可将该尺寸压缩公差处理后变为 $\Phi 49.8_{+0.05}^{+0.15}$, 则变化为半径尺寸即在工艺尺寸链中对应的组成环尺寸为 $24.9_{+0.025}^{+0.075}$, 公差为 0.05 。变化后的已知组成环公差之和为 0.06 , 在此情况下则工序尺寸公差为 0.04 , 也能够满足键槽加工工艺性要求。用封闭环 $54.3_0^{+0.10}$ 和压缩公差后的增环 $25_{+0.02}^{+0.03}$ 、减环 $24.9_{+0.025}^{+0.075}$ 重新对增环 H 换算, 得出工序尺寸 H 应为 $54.2_{+0.055}^{+0.095}$ 。

2.3 根据工艺尺寸链其他组成环实际尺寸确定工序尺寸公差

在工程实践中, 对工艺尺寸链中已知组成环尺寸公差的压缩, 往往会提高零件的加工精度和加工难度。因此, 由于零件加工工艺性和经济性限制, 对工艺尺寸链已知组成环尺寸公差的压缩, 并不能满足所有虚公差问题处理的需要。当工艺尺寸链已知组成环尺寸公差压缩至零件加工工艺性允许的极限, 计算出的工序尺寸公差仍为负值时, 可以在工艺尺寸链计算中用先于工序尺寸生成的组成环尺寸的实际偏差代替其上下极限偏差, 从而避免虚公差现象的产生。

工序尺寸为加工过程中生成的尺寸, 加工生成工序

尺寸之前,在工艺尺寸链中属于组成环的部分尺寸可能已经生成,部分尺寸尚未生成。在零件加工过程中,当工序尺寸形成在比较靠后的工序中生成,即有较多工艺尺寸链组成环尺寸先于工序尺寸生成时,可根据先于工序尺寸生成的组成环尺寸加工实际数值,再结合封闭环设计尺寸的公差要求,确定工序尺寸公差。

将工艺尺寸链中所有增环分成在零件加工过程中先于工序尺寸生成的增环 M_{p1} 和在工序尺寸加工之后生成的增环 M_{p2} ,将工艺尺寸链中所有减环分成先于工序尺寸生成的减环 M_{q1} 和在工序尺寸加工之后生成的减环 M_{q2} 。对于 M_{p1} 和 M_{q1} 在工序尺寸加工之前已经生成,在计算工序尺寸公差时就不再考虑这些尺寸的上下极限偏差,而需要考虑尺寸的实际偏差^[15]。在这种情况下,在每个零件的工艺尺寸链计算时,相当于将 M_{p1} 和 M_{q1} 的公差记为零,且根据工艺编制过程中工序安排先粗后精的原则^[16],其设计公差要求比后续生成的尺寸 M_{p2} 和 M_{q2} 大,这样将大大降低计算出的工序尺寸为负值的可能性,从而有效避免工序尺寸虚公差的发生。

如果工序尺寸在工艺尺寸链中为增环,则对工艺尺寸链采用极值法计算得出的工序尺寸及其上下极限偏差计算公式:

$$H = M_{\Sigma} + (\sum M_{q1} - \sum M_{p1}) + (\sum M_{q2} - \sum M_{p2}), \quad (2)$$

$$E_s(H) = E_s(M_{\Sigma}) + (\sum M_{q1}^* - \sum M_{p1}^*) + [\sum E_1(M_{q2}) - \sum E_s(M_{p2})], \quad (3)$$

$$E_1(H) = E_1(M_{\Sigma}) + (\sum M_{q1}^* - \sum M_{p1}^*) + [\sum E_s(M_{q2}) - \sum E_1(M_{p2})], \quad (4)$$

式中:

H ——工序尺寸的基本尺寸;

$E_s(H)$ ——工序尺寸的上极限偏差;

$E_1(H)$ ——工序尺寸的下极限偏差;

M_{Σ} ——封闭环设计尺寸;

M_{q1}^* 、 M_{p1}^* ——先于工序尺寸生成的减环尺寸 M_{q1} 和增环尺寸 M_{p1} 的实际偏差;

$E_s(M_{q2})$ 、 $E_s(M_{p2})$ ——后于工序尺寸生成的减环尺寸 M_{q2} 和增环尺寸 M_{p2} 的上极限偏差;

$E_1(M_{q2})$ 、 $E_1(M_{p2})$ ——后于工序尺寸生成的减环尺寸 M_{q2} 和增环尺寸 M_{p2} 的下极限偏差。

同理可以得出工序尺寸在工艺尺寸链中为减环情况下,得出的工序尺寸及其上下极限偏差计算公式:

$$H = (\sum M_{p1} - \sum M_{q1}) + (\sum M_{p2} - \sum M_{q2}) - M_{\Sigma}, \quad (5)$$

$$E_s(H) = (\sum M_{p1}^* - \sum M_{q1}^*) +$$

$$[\sum E_1(M_{p2}) - \sum E_s(M_{q2})] - E_1(M_{\Sigma}), \quad (6)$$

$$E_1(H) = (\sum M_{p1}^* - \sum M_{q1}^*) + [\sum E_s(M_{p2}) - \sum E_1(M_{q2})] - E_s(M_{\Sigma}). \quad (7)$$

就前例而言,工序尺寸 H 在工艺尺寸链中为增环,尺寸 $24.9_0^{+0.10}$ 为先于工序尺寸 H 生成的减环尺寸,在每个零件的工艺尺寸链计算时,不再考虑其极限偏差,而考虑其加工的实际偏差。在尺寸 $24.9_0^{+0.10}$ 实际加工值为 24.97,其实际偏差为 0.07 的情况下,采用式(2)~式(4),计算出工序尺寸 H 及其上下极限偏差:

$$H = 54.3 + 24.9 - 25 = 54.2 \text{ mm};$$

$$E_s(H) = 0.10 + 0.07 - 0.05 = 0.12 \text{ mm};$$

$$E_1(H) = 0 + 0.07 - 0 = 0.07 \text{ mm}.$$

从而得出,在减环尺寸 $24.9_0^{+0.10}$ 实际加工值为 24.97 的情况下,按上述方法算出的工序尺寸应为 $H = 54.2_{+0.07}^{+0.12}$,避免了虚公差的发生。

2.4 工序尺寸虚公差处理流程

综合以上所述,当工艺尺寸链虚公差现象发生后,可在工艺尺寸链建立和计算过程中,采取的改进和处理措施流程如图 3 所示。

3 结论

工序尺寸虚公差是零件工艺基准和设计基准情况

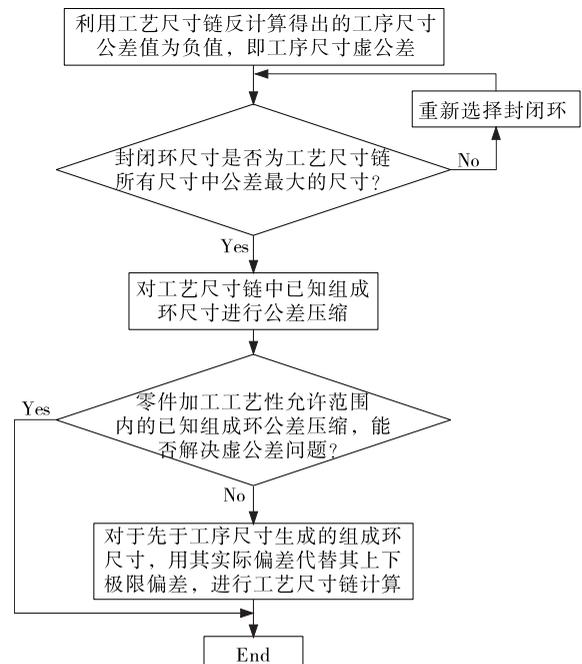


图 3 针对工序尺寸虚公差现象的工艺尺寸链处理和改进流程

Figure 3 Process dimension chain processing and improvement flow chart for virtual tolerance of process dimension

下,工艺尺寸链计算中的一种常见现象,而目前关于虚公差理论的研究,都是围绕装配尺寸链进行,对于零件机械加工工艺尺寸链计算中的工序尺寸虚公差问题的研究尚未开展。根据工艺尺寸链极值法计算的原理和特点,对工序尺寸虚公差产生的原因进行了分析,并从封闭环的选择、已知组成环尺寸公差的合理压缩以及根据先于工序尺寸形成的组成环尺寸的实际偏差确定工序尺寸公差3方面,提出了工艺尺寸链处理方法,避免工序尺寸虚公差现象的发生,并结合实例证明了上述原因分析的正确性和工艺尺寸链处理方法的可行性。相关研究方法和成果,为机械加工工艺编制过程中工序尺寸虚公差问题的处理提供了理论依据,同时为工序尺寸零公差或公差过小、工艺尺寸链中多个工序尺寸公差的分配等类似技术问题的处理提供了参考。

参考文献

- [1] 吴胜, 吴玉国, 许正华, 等. 运动分离偏心型食品搅拌机轨迹优化及运动仿真[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 102-105.
WU Sheng, WU Yu-guo, XU Zheng-hua. Trajectory optimization and motion simulation for motion separation spiral type food blender[J]. Food & Machinery, 2013, 29(6): 102-105.
- [2] 王晓慧, 郭士意, 车冬冬, 等. 基于集合概念的虚公差理论与应用[J]. 机械工程学报, 2019, 55(7): 172-177.
WANG Xiao-hui, GUO Shi-yi, CHE Dong-dong, et al. Theory and application of virtual tolerance based on set concept[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(7): 172-177.
- [3] HAO Jian-jun, WANG You-li, WANG Xiao-hui. Generalized definition and application of tolerance[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2019(233): 19-20.
- [4] WANG Xiao-hui, REN Shou-hua. Research on theory and application of virtual tolerance[J]. Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 2012, 36(3): 233-240.
- [5] WANG Xiao-hui, SUN Chao, YAO Yuan-wei, et al. Extension of the definition of tolerance and an application thereof in the calculation of dimension chains[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 71: 1 069-1 076.
- [6] 程彬彬, 黄美发, 王志越, 等. 基于实际工况的装配体公差建模方法研究[J]. 机床与液压, 2016, 44(7): 116-119.
CHENG Bin-bin, HUANG Mei-fa, WANG Zhi-yuan, et al. Research of assembly tolerance modeling method based on actual working condition[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2016, 44(7): 116-119.
- [7] 郝鸿雁, 计青山. 工艺过程中全相关尺寸模型的建立[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(12): 135-137.
HAO Hong-yan, JI Qing-shan. Establishing of the full correlation dimension model in machining process[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2014(12): 135-137.
- [8] 王庆文, 唐勇. 工艺尺寸全相关模型研究[J]. 中国机械工程, 2003, 14(19): 1 654-1 657.
WANG Qing-wen, TANG Yong. Study on process-dimension complete-relativity model[J]. China Mechanical Engineering, 2003, 14(19): 1 654-1 657.
- [9] 张琳. 基准不重合形成的直线工艺尺寸链的计算[J]. 机床与液压, 2004(12): 197-198.
ZHANG Lin. The calculation of straight workmanship measurement chain caused by basic point non-overlapping[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2004(12): 197-198.
- [10] 瞿芳. 三种工艺尺寸链的分析和计算[J]. 机械设计与制造, 2004(5): 69-70.
QU Fang. The analysis and account three type of technic dimension chain[J]. Machinery Design & Manufacture, 2004(5): 69-70.
- [11] 刘龙田. 机械加工工艺尺寸换算中的假废品研究[J]. 制造技术与机床, 2015(8): 78-81.
LIU Long-tian. Product research-tolerance machining process in terms of the size[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2015(8): 78-81.
- [12] 王跃华. 球接头的数控加工[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 106-110.
WANG Yue-hua. NC machining of process of ball joint[J]. Food & Machinery, 2015, 31(4): 106-110.
- [13] 于涛, 钱泽鹏, 徐鲁辉, 等. 矩阵法求解尺寸及公差[J]. 机械设计与制造, 2011(10): 42-44.
YU Tao, QIAN Ze-peng, XU Lu-hui, et al. Matrix method for solving dimension and tolerance [J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(10): 42-44.
- [14] 刘梦, 徐旭松, 刘建, 等. 基于区间分析的平面尺寸链求解实例研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(1): 25-28.
LIU Meng, XU Xu-song, LIU Jian, et al. Case study of plane dimensional chain calculation based on interval analysis[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2020(1): 25-28.
- [15] 胡小东, 张萌. 一种新型判别工件假废品方法的研究[J]. 机床与液压, 2012, 40(22): 98-100.
HU Xiao-dong, ZHANG Meng. Research of a new method of distinguishing false junks of workpieces[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(22): 98-100.
- [16] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2011: 104-106.
WANG Xian-kui. Mechanical manufacturing technology[M]. 2nd ed. Beijing: Mechanical Industry Press, 2011: 104-106.