基于 Deform-3D 的调心球轴承用葵形保持成形工艺研究

撰文／洛阳轴研科技股份有限公司　王俊涛　宗晓明　张少龙　李少亮

针对葵形保持架冲弯过程中遇到的问题，借助 Deform-3D 模拟分析软件对冲弯工艺进行模拟仿真和优化，分析凸模根部圆角、定位板圆角及凹模圆角对工件质量的影响，结果表明当凸模圆角为 2.2mm，定位板圆角为 0.9mm，凹模圆角为 1.8mm 时，葵形保持架的成形性能最好，经实践验证，生产出的样品尺寸精度良好。

一、前言

葵形保持架（图 1）采用全冲压加工，具有生产效率高、刚性好、质量轻和生产成本低等优点，葵形保持架使用普遍，目前广泛应用于宽系列的调心球轴承中。其制造工艺为：下料→弯曲→成形→整形→切底→冲孔（图 2），其中弯曲工艺为生产难点，弯曲工艺的目的主要是为了保证产品的内径（或称为鼻子高度）要求，弯曲深度较浅，成形后产品内径较大，弯曲深度深时，容易发生拉裂缺陷。制造出适用于生产葵形保持架冲弯工艺的模具，是生产制造出合格的葵形保持架的关键。在冲弯过程中，凸模根部圆角、定位板圆角及凹模圆角对成形工艺影响最大。

本文通过 Deform-3D 的仿真模拟，探讨了凸模根部圆角、定位板圆角及凹模圆角对葵形保持架冲弯工艺的影响，得到最优参数，为加工方案的确定提供可靠的试验依据。

图 1 葵形保持架结构图

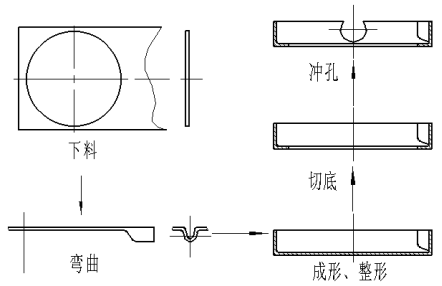


图 2 葵形保持架生产工艺流程

二、试验方案

本文研究了凸模根部圆角、定位板圆角及凹模圆角对葵形保持架成形性能的影响，分别模拟计算了凸模根部圆角、定位板圆角及凹模圆角模角变化时葵形保持架的成形性能，在此基础上，选出最优模具圆角方案，从而得到最优试验方案，以此为基础，进行试生产，具体模拟方案如表所示。

表　葵形保持架冲压弯曲成形模拟方案表

编号	凸模根部圆角	定位板圆角	凹模圆角
方案 1	1.0mm	根据经验选择 0.9mm	根据经验选择 1.5mm
	2.2mm		
	3.0mm		
方案 2	方案 1 最优值	0.5mm	根据经验选择 1.5mm
		0.9mm	
		1.5mm	
方案 3	方案 1 最优值	方案 2 最优值	1.5mm
			1.8mm
			2.5mm

三、建立模型及有限元前处理

1. 模型设立

采用 Pro/ENGINEER5.0 软件对坯料和模具进行三维实体建模，将实体造型以 STL 二进制格式文件输出保存后导入 Deform−3D 中，模型包括凹模、定位板、凸模及坯料四部分，装配结构图如图 3 所示。

板料通过中心孔定位在定位块上，在冲弯过程中板料弯曲部分与凹模、凸模以及定位孔接触。

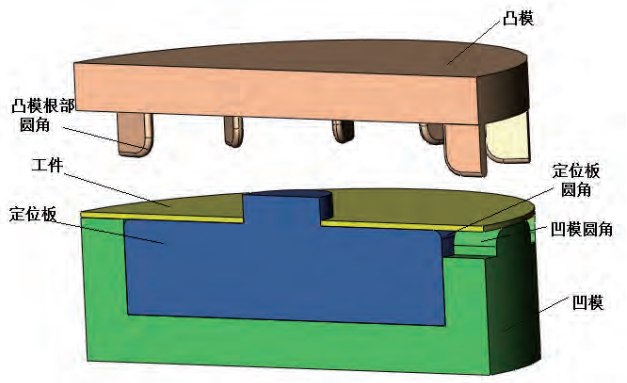


图 3 冲弯工艺模具简图

2. 有限元前处理参数设定

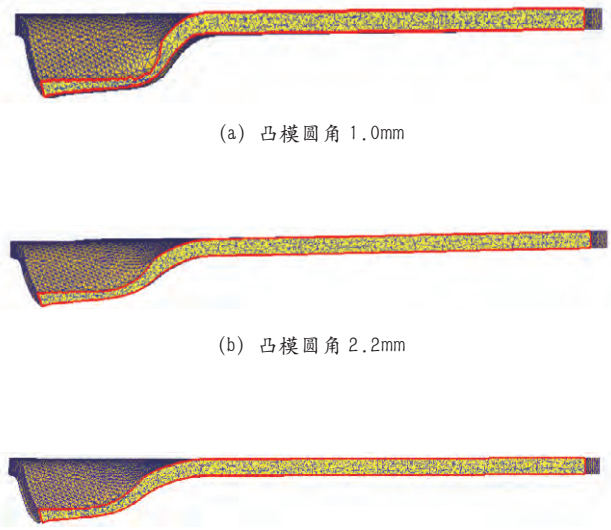
本零件材料为 10 号钢，其主要成分有 C、Si 和 Mn，所点比例为：C 为 0.07% ~ 0.13%，Si 为 0.17% ~ 0.37%，Mn 为 0.35% ~ 0.65%。板料厚度为 0.6mm。模拟分析时，上、下模以及定位板设置为刚体，采用相对尺寸划分网格，数量为 100000，采用剪切摩擦模型，摩擦系数选取 0.12，对模具和坯料间的接触公差，软件自动设置为 0.0193。为了保证模拟的速度，同时也有利于保证坯料的网格划分更精细。提高模拟的效率以及准确度。模拟时选用整个葵形保持架坯料的 1/4 进行模拟。三次模拟中，Deform−3D 的参数设置应保持一致，特别是对坯料的网格数及划分方法的设置。上模下压速度设置为 6mm/s，步长 0.5mm，每 4 步保存一次，总步数 60 步。完成前处理后，生成 DB 格式数据文件，退出前处理模块。

四、数值模拟分析结果及最终成形方案的确定

1. 凸模根部圆角对葵形保持架冲弯的影响

冲弯时，凸模向下运动，与板料接触，冲压形成弯曲部分。在冲弯过程中，凸模尾端圆弧与板料接触形成圆弧过渡，同时左右两侧的材料也要向中间流动，由于越靠近板料圆心，拉延相同的尺寸，板料的收缩量越大，此时板料在运动过程中受到的应力较大，如果圆角选择不当，很容易出现材料拉裂的现象。

试验时，根据原有加工经验，初步设计凹模根部圆角与定位块边缘圆角，然后取凸模根部圆角半径为 1.0mm、2.2mm、3.0mm，通过建立模型，基于 Deform−3D 模拟软件对冲弯过程进行分析。图 4 所示为凸模圆角为 1.0mm、2.2mm、3.0mm 时弯曲工序的板料变形示意图。



(a) 凸模圆角 1.0mm

(b) 凸模圆角 2.2mm

(c) 凸模圆角 3.0mm

图 4 冲弯后样件的成型面剖面图

由图 4 可知，当凸模根部圆角半径是 1.0mm 时，成形的弯曲部分根部材料很薄，并且有一个明显的过渡弧线，这是由于圆角太小，在下冲的过程中，阻断了上端面的材料流动，致使继续冲压时，只能由两侧的材料补充，随着冲压的不断加深，材料的流动量越来越小，工件被越拉越薄。当凸模根部圆角半径取 2.2mm、3.0mm 时，成型弯曲部

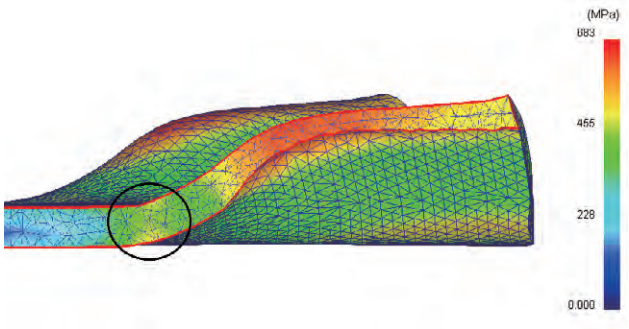
位根部厚度相对均匀。与凸模圆角为 3.0mm 时相比，当凸模圆角为 2.2mm 时，冲压成形的水平面相对较长，即下凹的部分有更长的直面。这有助于保证后续加工中形成的葵形保持架内径的一致性，同时外观更好。通过这三次模拟不难看出，当凹模和定位块圆角确定时，选择凸模根部圆角半径为 2.2mm 时，不仅能够保证保持架内径的一致性，同时能够在保证保持架良好冲压性能的情况下具有更好的外观特征。

2. 定位板圆角对葵形保持架冲弯的影响

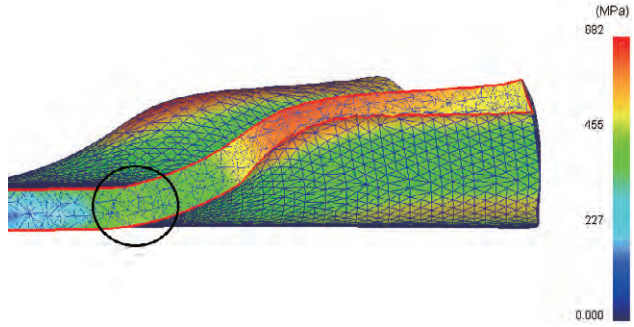
定位板在冲弯时起预定位作用，保证冲弯过程中不会因为受到力的偏移作用而产生滑动，保证冲弯过程的均匀性，实现加工的顺利进行。板料在冲弯过程中，根部弯曲部分与定位板外边缘接触，定位板圆角的大小直接关系到冲弯过程的顺利进行。定位板圆角主要的作用是减小成形过程中的变形阻力，如果定位板圆角选择不当，易造成冲压的工件不合格，不能满足后续加工要求以及产品的尺寸要求。

设计模具时根据加工经验设计选择适当的模具间隙，通过方案 1 选择最优值，即设计凸模根部圆角半径为 2.2mm，根据经验选择凹模圆角。分别选取三种定位板圆角半径为 0.5mm、0.9mm 和 1.5mm。仿真结果如图 5 所示，图中 a、b、c 分别为定位板圆角半径是 0.5mm、0.9mm 和 1.5mm 时冲弯工件的等效应力分布图。图中黑色圆圈部位就是在冲弯过程中工件直接与定位板圆角接触的部分，从中可以明显看出，定位板圆角越小，工件在冲弯过程中受到的应力越大。当应力过大时，后续冲压成形加工中很容易产生裂纹，影响工件的使用。

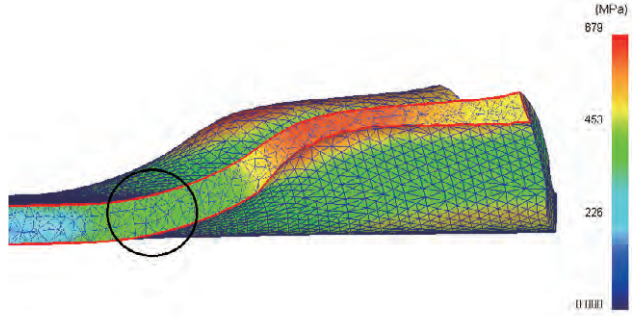
分析比较定位板圆角为 0.9mm 与 1.5mm 时冲压工件的等效应力图可知，当定位板圆角增大时，过渡圆弧的半径越来越大，过渡圆弧半径变大时能够降低拉延过程中的应力，但是也会给后续工序带来麻烦。葵形保持架冲弯后



(a) 定位板圆角半径为 0.5mm



(b) 定位板圆角半径为 0.9mm



(c) 定位板圆角半径为 1.5mm

图 5 不同圆角半径条件下工件等效应力分布图

的工序是成形加工，需要把冲弯后的工件反向翻转 90°，如果定位板圆角过大，成形加工后的工件的外观形状会受到影响，会在保持架底部端面周圆方向上出现凹进去的现象，如图 6 所示。因此，定位板的圆角半径适宜选择 0.9mm。

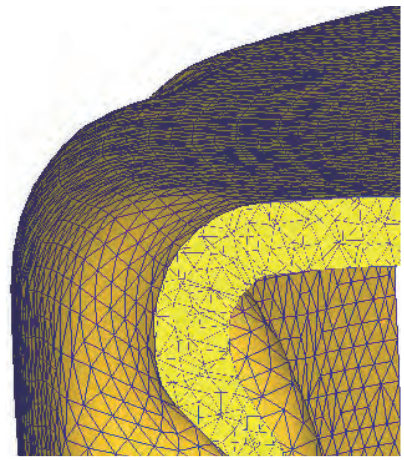
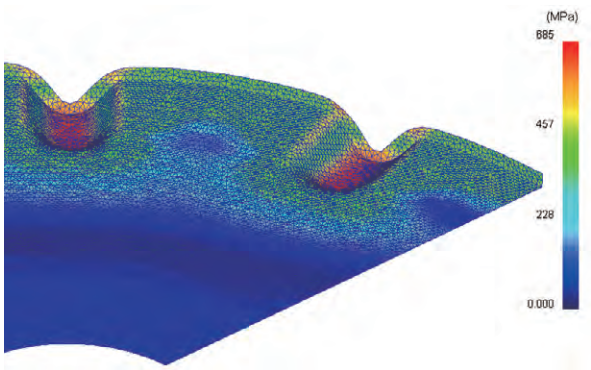


图 6 葵形保持架成形工艺模拟仿真出现的凹进去的现象

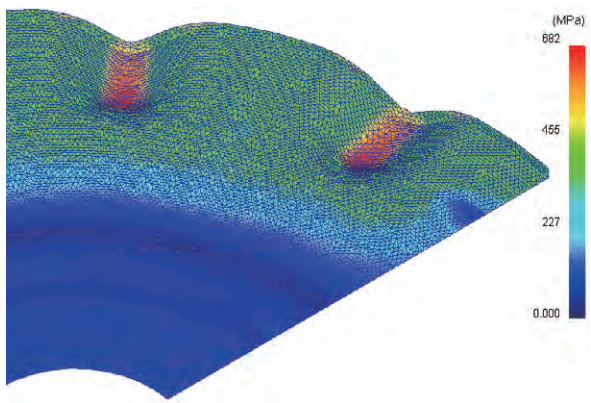
3. 凹模圆角对葵形保持架冲弯的影响

板料成形过程中，根部弯曲部位的尺寸由定位板与凸模根部圆角控制，而外部宽度尺寸由凸模与凹模控制，外部宽度尺寸对后续工序中兜孔的位置尺寸有直接影响。因此，对弯曲部位的外部宽度有较为严格的尺寸要求。当外

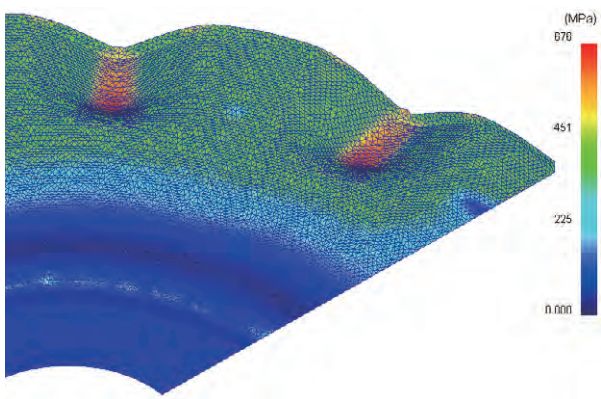
部宽度尺寸过大时，后续冲孔过程中，冲孔的端面就会过窄或者不平整，因而影响兜孔的尺寸；当外部宽度过小时，则弯曲部分的内部宽度则会过窄，翻边时，内部宽度尺寸会进一步收缩，造成内宽尺寸过小，在后续光饰加工过程中，颗粒状的串料会卡入弯曲部分很难去除，对保持架的使用造成隐患。因此，控制凹模圆角的大小，保证弯曲部分外部的宽度尺寸的准确性十分重要。图 7 所示为不同凹模具圆角半径条件下，工件内等效应力分布示意图。



(a) 凹模圆角为 1.5mm



(b) 凹模圆角为 1.8mm



(c) 凹模圆角为 2.5mm

图 7　不同凹模圆角条件下工件等效应力分布

由图 7 可知，当凹模圆角半径为 1.5mm 时，工件板料与凹模圆角接触部位应力较大，当加大圆角半径后，应力逐渐减小。比较凹模圆角半径分别为 1.5mm、1.8mm 以及 2.5mm 时的工件图形，还能够直观地看出，圆角越小，弯曲部分之间的面越平整，随圆角半径增大，当增加到 2.5mm 时，弯曲之间的部分呈现明显的弓形，这对于后续冲兜孔的加工是十分不利的。通过综合分析，当凹模圆角半径取 1.8mm 时，成形性能最好。

4. 最终成形方案确定及试验验证

根据以上模拟分析结果，当凸模圆角为 2.2mm，定位板圆角为 0.9mm 凹模圆角为 1.8mm 时，成形性能最好。采用以上工艺参数，进行试生产，加工出的产品如图 8 所示，产品尺寸满足要求，冲弯的高度（鼻子）外观较好，厚薄均匀，周边毛刺较小，产品整体性能十分优越。可进行批量生产。

图 8　试制葵形保持架成品

五、结语

（1）基于 Deform-3D 模拟研究了凸模根部圆角对葵形保持架冲弯的影响，结果表明当凸模根部圆角为 2.2mm 时，产品根部应力集中较小，冲弯部分平整，外观较好。

（2）基于 Deform-3D 模拟研究了定位板圆角对葵形保持架冲弯的影响，结果表明当定位板圆角为 0.9mm 时，冲弯根部应力集中较小，加工面过渡平稳。

（3）基于 Deform-3D 模拟研究了研究了凹模圆角对葵形保持架冲弯的影响，结果表明当凹模圆角为 1.8mm 时，冲弯之间的面相对平整，易于冲兜孔工艺，冲弯部分开口范围较好，能够避免后续工作中因开口过小出现夹杂赃物的现象。

（4）模拟结果显示当凸模圆角为 2.2mm，定位板圆角为 0.9mm，凹模圆角为 1.8mm 时，葵形保持架的的冲弯成形性能最好，经实践验证，生产出的样品尺寸精度良好，适用于批量生产。