

doi: 10.7690/bgzd.2018.06.004

变形零部件 3 维工艺设计方法

周翠香, 李 丹, 郭 施, 吕 武, 沙金龙

(中国兵器工业第二〇八研究所信息中心, 北京 102202)

摘要: 为满足数字化环境下轻武器产品变形件 3 维工艺设计需求, 重点针对变形件成形过程中的冲压、延伸等特殊工艺, 提出一种基于“CAD+DEFORM”的 3 维工艺设计方法, 并对其具体实现方案进行详细阐述。在此基础上, 以轻武器的某一枪弹产品为例, 对其应用方法和应用成效进行描述。结果表明: 该方法能有效提高轻武器产品的研制效率和质量, 满足变形件中特殊工艺的快速设计与应用需求, 为实现全 3 维的轻武器产品设计制造一体化提供有效的技术支撑。

关键词: 3 维工艺; 变形工艺; 工艺设计

中图分类号: TP391.7 **文献标志码:** A

3 Dimensional Process Design Method of Deformed Parts

Zhou Cuixiang, Li Dan, Guo Shi, LYU Wu, Sha Jinlong

(Information Center, No. 208 Research Institute of China Ordnance Industries, Beijing 102202, China)

Abstract: Oriented to the 3 dimensional process design requirement for deformed parts of small arms, and focusing on the special processes, such as stamping, extension and so on, this paper puts forward a “CAD+DEFORM-based” three-dimension process design method, and at the same time, it elaborates the concrete implementation scheme of this method. Based on this, taking a certain cartridge of small arms for an example, it expounds on its application method and efficiency. The result show that, the method can effectively improve the development efficiency and quality of light weapon products, meeting the design and application of special process in the deformation parts, which provides the effective technical support to achieve the integrated design and manufacturing of the full 3 dimensional small arms.

Keywords: 3 dimensional process; deformation process; process design

0 引言

在我国, 工艺作为产品设计与加工的桥梁一直倍受业界重视, 尤其是制造类相关企业, 已经形成了一套完备的工艺设计体系。随着数字化技术的发展, 以 2 维技术为核心的计算机辅助设计(计算机辅助设计, CAD)技术得到了广泛应用, 原有的手工绘制工艺卡片的过程被计算机代替。比较先进的企业引入了计算机辅助工艺规划(计算机辅助工艺规划, CAPP)系统, 实现了工艺设计手工业的电子化绘制和管理, 为企业带来了明显效益。

随着技术的发展, 设计人员不再满足借助于 CAD 系统来达到“甩图板”的目的, 而是希望从本质上减轻繁琐的图形绘制工作量, 将精力更多地投入到富有创新性的高层次设计工作中。3 维技术以其形象直观、符合人们的思维习惯等优势被广泛采用, 设计 3 维化已经成为一种趋势^[1]。与此同时, 针对设计下游的仿真、制造等环节需求, 人们对 3 维技术进行了深化研究, 使其成为打通设计制造信息链路的主要载体, 为提高产品的研制效率和质量

发挥了重要作用。其中, 3 维工艺作为设计制造链路上的关键环节, 受到人们的高度重视, 尤其是在“十二五”期间, 各行各业以各种形式开展了 3 维工艺技术与探索。由于大多数制造类企业均以机加为主, 因此在 3 维工艺探索过程中, 多以切削为主的机加工工艺为对象进行研究, 并形成了多种 3 维工艺设计与方法, 取得了一定的成效。如: 源自于西门子公司 TCM 的“基于 PDM 的 3D-CAPP 系统”, 在工艺编制过程中可以直接参考产品的 3 维模型, 随时进入 UG NX 界面进行工序图的定义和抽取, 并能快速及时地在资源库中查找所需信息。中航沈飞集团研究建立的“可视化 3 维工艺设计与制造执行系统”, 实现了基于轻量化模型的数字化工艺规划、产品结构树与工艺结构树的动态关联等功能, 实现了 3 维环境下的工艺规划和装配工艺设计。

为了顺应时代潮流, 轻武器行业也结合产品的实际需求, 开展了 3 维工艺技术与探索, 构建形成了 3 维工艺系统, 并采用主模型、WAVE 几何

收稿日期: 2018-02-27; 修回日期: 2018-03-14

基金项目: 国防基础科研项目(JCKY2016209B001)

作者简介: 周翠香(1963—), 女, 河北人, 学士, 研高工, 从事计算机应用、国防基础科研、军工数字化研究。

链接和时间戳记等技术，建立了机加工工艺的 3 维设计方法，使设计模型与工序模型，以及工序与工序模型之间的相关联，实现了设计模型结构尺寸发生更改，相关工序模型自动更改。这种 3 维工艺设计方法的优势是模型主导，信息与模型关联，既能保持模型之间的关联度，实现设计信息的关联更改，又能满足工艺人员的工作习惯^[2]。

所有这些工作，为机加件的 3 维工艺设计与生产管理提供了有效的技术途径，增加了产品的可读性和一致性，减少了图纸理解时间，以及纸质文档输出和数据人为流转的时间和错误，提高了工作效率。

但是，在轻武器产品中，还有一类通过冲压、延伸等工艺成形的零件，如枪弹中的大部分零件，称之为变形件，它集机械加工(车、铣、刨、磨、线切割等去除材料方式)、剪切、冲压、挤压、引伸、热处理和表面处理等工艺方式于一体，交织、穿插和渗透于各个加工工序中，从而实现产品大批量、连续生产的工艺特点。其中，在整个枪弹产品的加工过程中，冲压、引伸等工艺占据了相当大的比例，达到了 80% 以上。

目前，这类零件的工艺设计方法主要是工艺人员根据经验编制工艺卡片，现场操作者依据工艺卡片的相关技术参数和要求，进行刀具的准备，通过试件的反复加工，多次修改工艺执行代码后，最终确定工艺及装夹方式，其过程复杂试验频次多，更改频繁，主辅材和刀具浪费严重。且由于操作过程人为因素较多，尤其是在工艺参数更改时，往往会出现漏改、错改现象，严重影响了产品的设计质量和效率^[3]。

由于这类变形零件在成形方式上与去除材料的切削加工方式有很大区别，在 3 维工序模型的创建

方法上完全不同；因此，机加工工艺的 3 维设计方法完全无法适用。目前，针对这类变形件的 3 维工艺设计方法还鲜有涉足。为了满足轻武器全产品的 3 维研制需求，重点以枪弹产品的研制需求，对这类变形件的 3 维工艺设计方法进行了研究与探索，突破了一系列的技术瓶颈，形成了完整的技术实现方案，并在轻武器的某产品研制过程中进行了应用，取得了较好的成效。

1 变形件 3 维工艺设计方案

在枪弹产品中，成形过程应用较为广泛的工艺是冲压。众所周知，冲压工艺一般具备生产率高、省材料、可利用冲压加工硬化提高产品强度等特点，但由于冲压过程属于复杂的弹塑性大变形过程，在模具边角处很容易产生应力集中，影响成形件质量；因此，研究冲压成形弹塑性问题主要有 2 个方向：基于塑性力学进行理论推导和对冲压过程进行有限元仿真。由于金属材料性能、毛坯形状、模具结构、温度、摩擦与润滑条件及工艺参数等因素对其有重要影响，仅仅依靠理论在某些复杂的工程问题难以得出精确解，且推导理论模型时，在应力与应变分析过程中做了适当的简化分析，该方法难以精确描述具体的冲压成形过程应力变换。而有限元方法通过将简单问题代替复杂问题的原理，可以解决很复杂的工程问题，特别是非线性问题，随着计算机技术的发展，方法逐渐普及^[4-5]。

基于此，在对冲压、延伸等工艺特点进行分析研究的基础上，采用 3 维 CAD 与仿真技术相结合的方式，研究建立了这类特殊工艺的 3 维设计方法，并突破了仿真模型在 3 维环境中的标注技术，满足了产品应用需求。总体技术方案如图 1 所示。

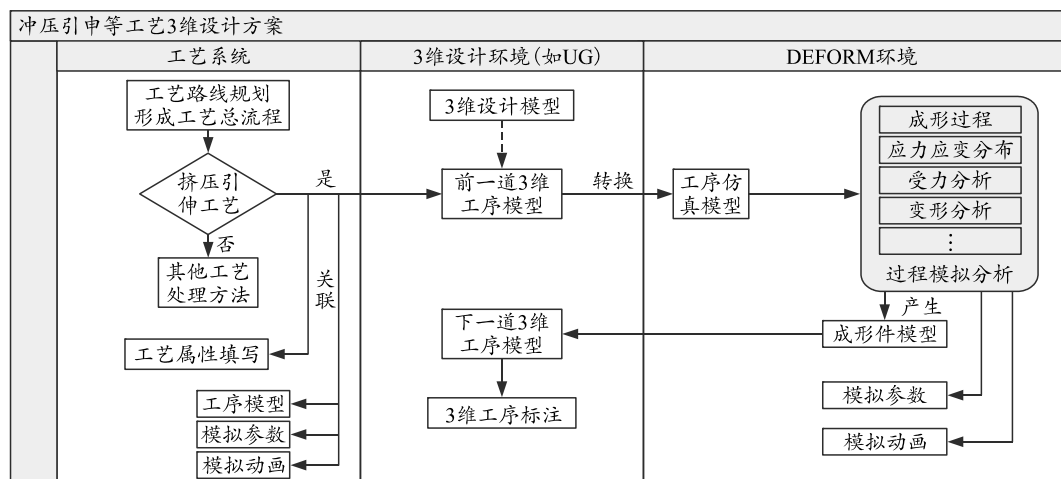


图 1 冲压延伸等工艺 3 维设计方案

该方案中，以 3 维工序模型作为工艺编制的主体，完成整个零件的 3 维工艺设计。针对不同的工艺类型，采用相应的 3 维工艺设计方法。其中：机加工工艺应用 3 维设计软件(如 UG NX 等)进行工序模型创建；冲压、引伸等工艺采用 3 维设计软件(如 UG NX)与仿真软件(如 DEFORM)相结合的方式进行工序模型创建；所有工艺数据均在 3 维工艺系统中进行管理，实现工艺信息与工艺模型、参数、NC 等数据的关联管理，方便下游快速准确的应用。

由于一个变形零部件的成形过程是经过多种工艺共同完成，如弹壳成形过程包括落料、冲盂、引长、打凹、平底、冲传火孔和收口 7 道工序。为了实现零件全过程的 3 维工艺设计，以弹壳为例，对其工艺设计过程进行描述。

1) 工艺设计人员基于 3 维设计模型直接进行工艺设计。

2) 应用 3 维工艺系统，生成整个零件的工艺总流程。

3) 毛坯→制件的工艺规划：毛坯和制件用 3 维模型表示，中间的工序用框图表示，之后将 DEFORM 仿真结果关联到该工序 3 维模型。

4) 针对机加工工艺，应用 3 维设计软件(如 UG NX 等)，进行工序模型创建，完成 3 维标注，并直接提交到 3 维工艺系统中进行管理。

5) 针对冲压、引伸等类型的工艺，应用 3 维设计软件(如 UG NX)+DEFORM 相结合的方式进行工序模型创建，具体执行过程为：

① 以冲压、延伸等不同类型工艺为工序单位，应用中间格式将工序模型从 3 维设计软件(如 UG NX)中读取到 DEFORM 中，将 3 维工序模型转换为仿真模型。

② 在 DEFORM 中，对该道工序的成形工艺过程进行仿真分析(包括成形过程、应力应变分布、受力分析、变形分析，成形件模型等)。通过工艺过程的数值模拟，得到各道工序的 3 维工序模型和各道工序中毛坯变形的应力应变云图，为弹壳工艺设计、模具设计等提供参考；通过对各工序毛坯中最大应力进行点击追踪，得到各工序毛坯制件的应力-时间曲线，通过分析该曲线得到了各工序仿真中毛坯运动情况，根据运动情况，工艺人员可提前预估生产中出现的各种情况。

③ 对工艺过程进行多次有限元仿真，优化模具设计方案和成形工艺参数(包括冲头速度、接触摩

擦)等。经过多轮优化与校正后，得到最优的仿真结果，包括成形后的仿真模型和工艺参数。

④ 通过中间格式将仿真模型转换到 3 维设计软件(如 UG NX)中，作为该道工序的 3 维工序模型。

⑤ 3 维工序标注。由于通过仿真分析生成的 3 维工序模型是 STL 格式，在 3 维设计软件(如 UG NX)无法采用 PMI 功能进行 3 维标注。为此，采用 STL 模型特征点重构技术，解决了小平面几何体在 PMI 标注时无法选用的技术难题，自研形成了 STL 模型 3 维标注工具，结合工艺需求，实现了 STL 工序模型的 3 维标注。

⑥ 在 3 维工艺系统中，完成该工序的属性填写，并将 3 维工序模型关联到工艺规划的相应位置，与工艺参数、工艺仿真动画等一起，在系统中进行关联管理。

⑦ 这道工序完成后，按照相同的方法进行后续的工序设计，直到该零件的所有工序全部设计完成。

6) 在 3 维工艺系统中，对整个零件的所有工序信息进行全方位管理，包括所有工序数据的规范化管理，以及工艺审签、更改管理等，并进行分析汇总，传递到下游加工环节，指导加工人员的实际操作。

2 应用实例

目前，该变形件的 3 维工艺设计方法已经在某枪弹产品的研制过程中进行了应用。图 2 是应用该方法形成的弹壳所有工序的 3 维模型。

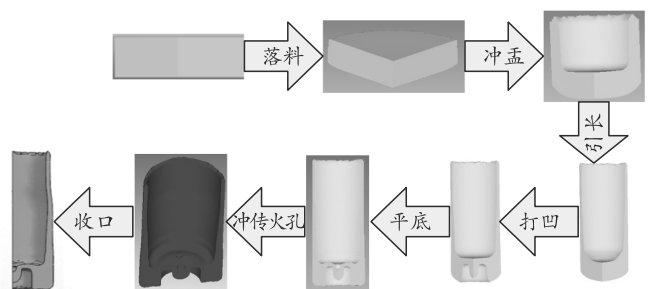
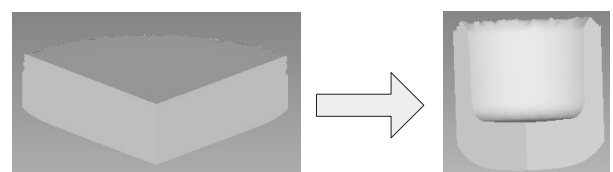


图 2 弹壳成型过程的 3 维工序模型

其中冲盂(冲压)工序变形前后如图 3 所示。



(a) 变形前

(b) 变形后

图 3 冲盂工序变形前后

冲压工序组合模具应力分析如图 4 所示。

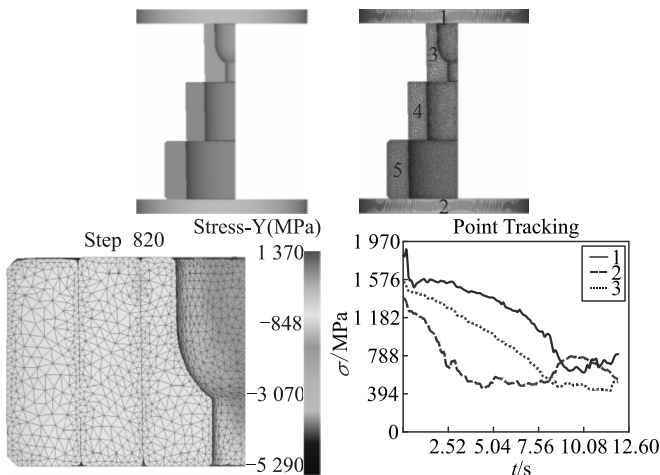


图 4 冲压工序组合模具应力分析情况

经过加工过程模拟，得到相关参考参数，基于参数进行分析与调整，之后再分析，直至达到合理的结果，最后将参数和模型进行固化。

变形后的仿真模型通过 STL 格式，导入到 3 维设计工具(如 UG NX)中，应用 STL 工具进行 3 维标注^[6]，如图 5 所示。

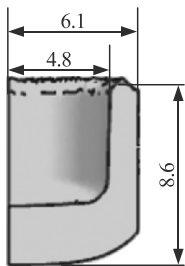


图 5 某弹壳零件 STL 模型 3 维标注示例

之后在工艺系统中完成工艺信息的填写与 3 维工艺设计数据的管理，如图 6、图 7 所示。

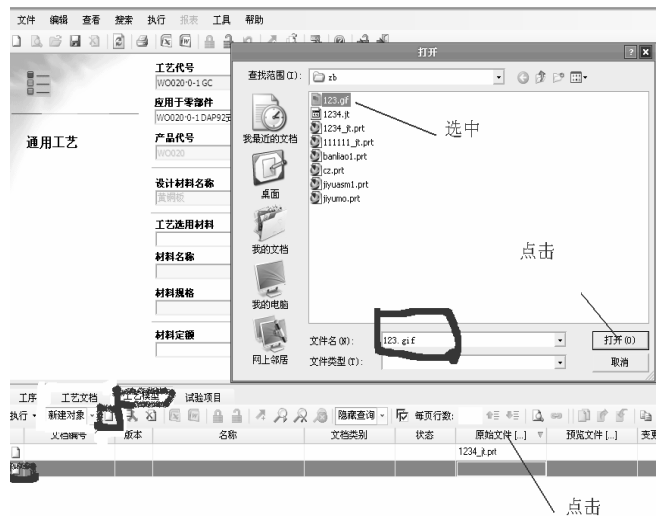


图 6 弹壳某工序模型仿真动画在工艺系统中的管理

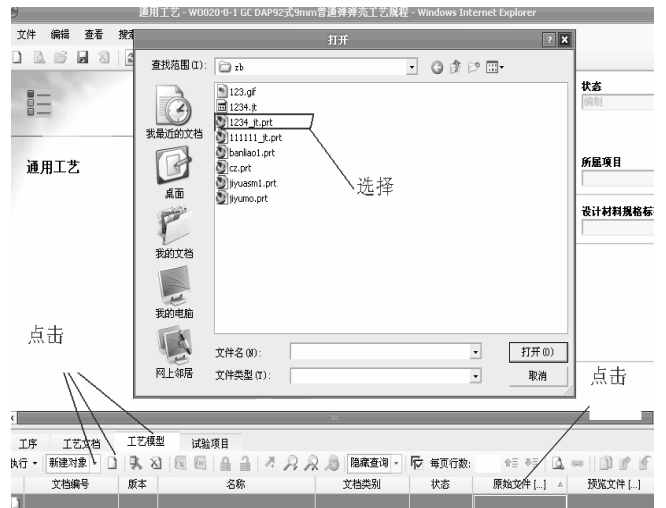


图 7 弹壳工序模型在 3 维工艺系统中的管理

3 结束语

笔者采用 3 维设计工具(如 UG NX)+DEFORM 相结合的方式，进行枪弹产品的 3 维工艺设计，解决了 3 维环境下冲压、引伸等特殊工艺的快速设计问题^[7]。其优点：产品零部件的冲压、引伸等成形过程中的模型自动形成，且参数可以动态调整与优化，极大地减少了人工试件的试验次数和主辅材、刀具的浪费，使工艺设计过程快速、高效。同时，加工人员能够利用 3 维标注的工序模型和加工动画，简洁明了地掌握实际操作过程，有效提高加工效率和质量。这种新型的工艺设计方法，满足了变形件中特殊工艺的快速设计与应用需求，尤其是在 3 维下厂的大背景下，将具有广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 胡治昌, 魏志芳, 李晓, 等. 基于 NX 高级仿真的弹壳冲孟工序数字化模型研究[J]. 塑性工程学报, 2017, 24(2): 122-127.
- [2] 周翠香, 赵婷婷, 阚玉红. 枪械产品 3 维工艺设计方法探索[C]//2015 数字军工技术论坛论文集. 北京: 数字军工杂志社, 2015(7): 463-467.
- [3] 白洁. 设计 3 维化带来的工艺模式变革浅析[J]. 国防制造技术, 2014(4): 45-48.
- [4] 侯桂叶. 基于 DEFORM 的冲压模具设计的仿真与分析[D]. 成都: 电子科技大学, 2015: 39-44.
- [5] 田甜, 段诗昌. Deform 在锻造中的应用[J]. 冶金设备, 2009, 10(5): 67-70.
- [6] 都业宏, 孙琬后, 张军, 等. 枪械瞄准角变化量 3 维坐标测试方法与仿真[J]. 兵工自动化, 2016, 35(6): 52-56.
- [7] 付高财, 盛步云, 余绅达. 面向概念设计的 3 维模型多条件组合检索研究[J]. 机电工程, 2016, 33(6): 648-654.