

基于 Triz 理论的航空用圆形垫圈成形工艺创新设计

中航沈飞民用飞机有限责任公司 (辽宁 110034) 王 环 朱国栋

圆形垫圈是置于螺栓、螺钉或螺母的支撑面与联接零件表面之间,起着增大被联接零件接触表面积、降低单位面积压力和保护被联接零件表面不被损坏作用的零件。飞机零部件间存在大量不同规格的钣金垫圈,其常规方法主要通过冲切模具,采用冲切方式加工获得。而在研制生产阶段,为满足飞机零部件各种改型设计,需要大量规格各异的垫圈,若采用常规的冲切工艺加工,需增加大量的垫圈冲切模具加工成本,模具的研制和生产周期也影响了垫圈产品的生产准备周期;同时模具质量的好坏,将直接影响钣金垫圈的质量。垫圈类零件虽然结构简单,但其外形特殊不易装夹,目前除冲切加工外,国内尚无较好替代方法,在生产急需且模具损坏的情况下,有些企业用常规或数控机床加工的方法加工垫圈,但材料利用率和加工效率低,且数控加工成本相对较高。

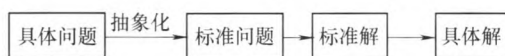
为解决圆形垫圈冲切加工成本、周期和精度问题,本文首先介绍了 Triz 理论及航空用圆形垫圈常规加工工艺,通过分析垫圈制造成本的影响因素,结合 Triz 理论解决问题的流程,建立垫圈制造技术的技术冲突表达,并结合实际生产,总结出一套适合于小批量、高精度生产航空用圆形垫圈的制造方法。

1. Triz 理论概述

Triz 的含义是“发明问题解决理论”,是由前苏联科学家里奇·阿奇舒勒(G. S. Altshuller)通过分析研究 250 万件专利所创立的高效解决复杂技术问题的产生创新方法和解决方案的技术。经过长期发展,Triz 已经形成了一套较为完整的理论体系和工具箱。

Triz 理论体系主要包括以下几方面的内容:创新思维方法与问题分析方法、技术系统进化法则、技术与物理矛盾解决原理、发明问题标准解法和发明问题解决算法 Ariz。

在 Triz 创新理论体系中,提出用于描述冲突的 39 个通用工程参数和用于解决冲突的 40 个发明原理,从而建立了冲突解决矩阵。在实际复杂技术问题的解决中,通过将问题抽象为系统、通过因果分析和资源分析,将其转化为标准问题,并找出问题技术矛盾,在冲突矩阵中找到发明原理解,通过将标准解后处理从而转化为具体解。应用冲突矩阵解决问题的一般过程如附图所示。



Triz 理论解决问题的一般流程图

2. 现有成形工艺矛盾的建立

(1) 常规垫圈的制造工艺。在航空零件研制中,垫圈制造流程主要包括:冲切模具的设计制造、下料和冲切、去毛刺和表面处理。每个垫圈的生产成本低,但模具的设计制造成本较高且周期较长(一般来说 1 个月左右)。

由于冲裁变形的特点,不仅冲出的零件带有毛刺,而且在零件切断面还有 3 个特征区,即圆角带、光亮带与断裂带。圆角带是冲裁过程中由于纤维的弯曲与拉伸而形成的,软材料比硬材料的圆角大。光亮带是塑剪变形时,在毛料一部分相对于另一部分移动过程中,凸、凹模侧压力 F 将毛坯压平而形成的光亮垂直断面。断裂带是由刃口处的微裂纹在拉应力作用下不断扩展而形成的撕裂面,使冲裁件

断面粗糙不光滑，且有斜度。因此，冲切零件的边缘并不规则，在精度要求高的情况下，需要进一步修整边缘确保精度。

冲切垫圈的质量很大程度上取决于模具的精度和间隙，在新材料和厚度较大的垫圈加工中，经常出现边缘质量和精度不合格情况，从而将增加模具返修成本和工期成本，给零组件的按时交付造成压力。

(2) 垫圈制造技术的技术冲突表达。在飞机研制中，飞机构造更改频繁，通常采用非常规垫圈。如果按常规批量生产垫圈的加工方式制造，需针对每个规格垫圈设计制造相应的冲切模具，极大增加了垫圈制造成本。同时由于航空用垫圈的精度要求高，厚板冲切成形的垫圈边缘易起刺。经分析，为

满足小批量、多规格、低成本和高精度垫圈的制造，需从制造垫圈的冲切模具、加工方式等进行改善。

如果要降低垫圈的生产成本，即提高冲切方式的通用性，则需恶化垫圈的生产率；同时如果提升垫圈的制造精度，则需减小对板材的冲切力。将上述涉及参数按标准工程参数进行描述，即可建立改善和恶化的标准工程参数，并将其代入矛盾矩阵中，从而得到表 1 所示的标准原理解。

通过分析圆形垫圈的成形工艺，结合表 1 给出的标准解，可得出可能改进方案如表 2 所示。从表 2 可知，降低垫圈生产成本和提高垫圈制造精度主要可从垫圈的制造工艺、改善垫圈加工工艺和冲切模具优化 3 个方面进行改进。

表 1 矛盾冲突及标准原理解

主要冲突	生产成本	生产效率
冲突的标准工程参数	35 通用性	39 生产率
发明原理标准解	35 物理或化学参数改变原理、28 机械系统替代原理、6 多用性原理、37 热膨胀原理	
主要冲突	垫圈精度	冲切力
冲突的标准工程参数	29 制造精度	10 力
发明原理标准解	28 机械系统替代原理、19 周期性作用原理、34 抛弃或再生原理、16 未达到或过渡的作用原理	

注：表中的标准工程参数、发明原理标准解均来源于 Triz 矛盾矩阵。

表 2 标准解的可能改进方案

标准解		可能改进方案
序号	名称	
35	参数改变	更改成形加工速率
28	机械系统替换	更改加工方式，目前垫圈的成形方式主要由冲切和机械加工方式
6	多用性	选取一种柔性的冲切模具，或选取一种替代模具的加工方法
34	抛弃原理	将小部分多余材料切除
16	未达到或过渡原理	将原材料多层进行叠加

3. 基于 Triz 的圆形垫圈加工工艺设计

结合表 2 可能改进方案，设计出一套适合于小批量、高精度生产航空用圆形垫圈的制造方法，详细制造工艺步骤如下：

- (1) 根据垫圈尺寸，截取方形的垫片。
- (2) 将数量众多的方形垫片重叠放置，并用焊条将四角焊合。
- (3) 根据垫圈内径尺寸，选用车床车取相应孔径尺寸的内孔。
- (4) 根据内径尺寸车取心棒，保证外径与垫圈

内径配合，精度根据垫圈的尺寸精度进行选择。

(5) 将垫圈穿入心棒并装夹紧，根据垫圈外径尺寸车外圆，从而得到垫圈外径。

(6) 拆除心棒，从而获得垫圈。现已成功申请国家发明专利（专利号：ZL20110204331.3）。

通过与冲切工艺获得垫圈相比，该方法通过焊接较容易获得，相对于冲切模节约了大量的成本和周期。研制批或小批量发生更改时，可以快速响应，制造新零件而不需重新制造工装。而车削获得的零件分离面的表面质量和精度远高于冲切获得的表面质量和精度，尤其是在厚垫圈（厚度 2 mm 以上的材

电火花机床微小孔加工调试

山东鲁南机床有限公司 (滕州 277500) 赵 峰 李 艳 李广冉

电火花喷孔钻床的研制成功,解决了我国 $\phi 0.2\text{ mm}$ 以下高精度微细孔不能加工的难题,打破了国外对这一技术的长期垄断。在电火花微小孔的加工中解决的难题有:电极宏微伺服控制系统、微细电火花间隙放电状态监测技术、微细电极自动进丝及高精度旋转机构、去离子水自动循环制取装置和微小孔加工工艺数据库的建立。

以鲁南机床厂的电火花喷孔钻床为例,抽查其加工的任意50件工件,分别用塞规、三坐标测量仪、高压流量试验台和喷孔落点试验台对试件各项功能指标进行检测。例如使用钻头塞规检验孔径,其范围小于等于 0.01 mm 便完全符合要求。某企业使用塞规检测一批工件,其孔径范围 $0.227\sim 0.233\text{ mm}$,使用高压流量试验台检验喷油嘴流量,要求散差控制 $\leq 6\%$ 。该批工件的流量 $1.48\sim 1.55\text{ L/min}$,其散差为 4.62% ,满足工艺要求。使用喷孔落点试验台检测喷孔轴向角、径向角落点,其合格率 100% 。

机床起动完毕后,可进入加工调试阶段,其步骤有:电极丝安装调试、工件工装安装调试、工件对刀及编程。

(1) 第一步:电极丝安装调试是将电极丝安装到位并调整其跳动公差,使其无跳动。首先,将电极丝放入导丝管,主轴定向,按下松开按钮使上卡

头松开,再按下进丝按钮,在气压的作用下,电极丝进入上卡嘴,关闭进丝按钮,手动将电极丝穿入下卡嘴,关闭松开按钮;然后,使用电火花专用跳动调整仪来保证电极丝无跳动,跳动调整仪有3部分组成:电子放大镜、十字线发生器和电脑显示器。

具体操作是:①将电子放大镜支在工作台上,对准电极丝部位,连接好电源线与信号线。②将面板上电极校正波段开关旋到“ON”一端,主轴速度打到 50 r/min 挡位,按主轴启停键使主轴旋转。③按下十字线发生器开关,显示屏上出现清晰的刻度线。④打开工作台上工作灯,调整主轴位置及电子放大镜位置,直到看见清晰放大的电极丝,将倍率放大到最大。⑤在电极丝跳动最大处,按主轴启停键使主轴停止跳动。⑥拿木柄锤向反方向敲击主轴轴头部位,即安装丝嘴的部位,重复调整直至电极丝无跳动。

(2) 第二步:安装或更换喷油嘴工装,因该机床为两轴加工,需调整工装的C向圆周跳动、W向的一致性和C向角度的一致性。具体步骤为:

先调C向圆周跳动:①为方便下面调整C向角度一致性,安装工装之前保证两工装定位销方向大致一致,略紧螺丝。②先调 Z_1 轴处工装,将百分表底座吸在B轴轴头处,表针尽量压在靠近工装心轴

料)和精度要求高的垫圈的加工中,使用本方案加工比冲切的方案更具优势。本方法可广泛用于机械、航空及汽车等装备制造行业。

4. 结语

(1) 应用Triz理论对小批量、高精度垫圈加工工艺存在的问题进行分析和求解,设计出了一套适

合于小批量、高精度生产航空用圆形垫圈的加工工艺。

(2) 本文仅定性地提出了解决问题的方法,在具体加工过程中,焊接工艺参数及机加工工艺参数的取值,还需由工艺人员根据原材料、加工设备及加工环境等影响因素进一步确定。**MW**

(收稿日期:20140420)