航空发动机隔热罩橡皮囊液胀技术与模具设计

杨云峰，陈雅，胡加敏，李飞，皮克松，万永超
中国航发南方工业有限公司　湖南株洲　412000

摘要：针对一种航空发动机典型敞口隔热罩进行橡皮囊液胀技术研究与模具设计。根据现有设备条件，采用橡皮囊与充液相结合的思路，设计了一种新型胀形模具，并通过Dynaform仿真软件模拟成型，预设了较佳的工艺参数。在实际生产中加工出无胀形接痕、型面轮廓俱佳的工件，验证了方法的可行性。

关键词：隔热罩；橡皮囊；充液成型；模具；仿真



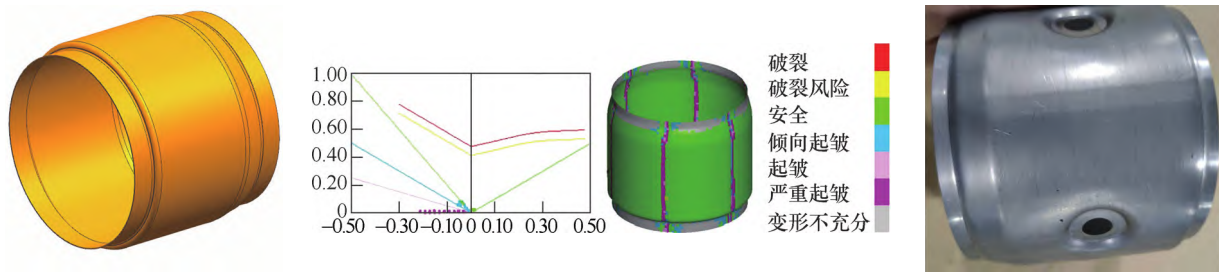
工程师　杨云峰

1　序言

橡皮囊成型对于中小批量的钣金件以及新机研制钣金件来说，是一种经济的现代成型方式。橡皮囊成型采用橡皮胎（包含内胎和外胎）以及一个由廉价材料制成的刚性半模成型。在橡皮囊成型过程中，经加压流体的液压作用使板料通过柔性胎受压，并迫使坯料成为刚性半模的形状。橡皮成型目前主要有两种类型，一种是橡皮垫成型，另一种是橡皮囊成型。橡皮囊成型由于压力大，可调范围大，在航空工业中迅速得到了广泛的应用。本文以某型号发动机隔热罩为对象件，研究橡皮囊成型的工艺方法，通过有限元仿真寻求最佳工艺参数，并设计了结合橡皮囊与充液特点的模具。

2　成型方案分析及有限元模型建立

某型号航空发动机典型隔热罩如图1所示，材料为1Cr18Ni9Ti。工件长99.5mm，两端为开放式等径敞口，直径117mm。中段鼓起直径125.7mm。两端与中段采用斜切面与圆弧过渡，壁厚0.5mm。由于结构原因，所以采用硬模胀形时模具冲头为分瓣结构[1]。成型时周向受力不均匀，回弹较大，且会在分瓣处留下较深的分模痕迹，局部减薄和回弹严重。



a）隔热罩模型　　b）仿真极限云图　　c）隔热罩加工实物

图1　航空发动机典型隔热罩

为使工件在成型过程中受力均匀以消除分模痕迹及提高壁厚均匀性，减小回弹，因而采用内高压胀形。由Tresca屈服准则，可获得使管坯发生初始塑性屈服的充液压力上限P_{max}的表达式

$$P_{max}=1.15\sigma_z\times(2t)/D \quad (1)$$

式中，P_{max}为使管坯发生初始塑性屈服的充液压力上限（MPa）；σ_z为抗拉强度（MPa）；t为管坯壁厚（mm）；D为管坯直径（mm）。

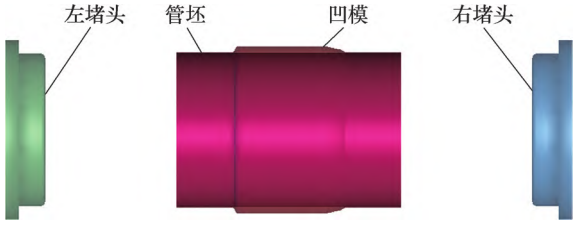
根据管坯尺寸和材料的力学性能，由式（1）可求出使管坯环向发生环向塑性变形的充液压力为5.9MPa。由此通过采用贴近的充液压力进行仿真分析，模拟工件的最终成型结果。

3　有限元仿真及模具设计

3.1　不同压力下管坯的成型结果

隔热罩结构为在管坯中部隆起，两侧相接处圆角较小，一端为R1mm圆角转接，另一端靠近斜面处采用R1mm与R5.5mm过渡转接形成小台阶。虽然工件较薄，壁厚0.5mm，但是由于该两处相较端口直径变化不大，容易出现贴模不好的情况，因此在理论计算值的基础上分别取4MPa、6MPa和8MPa进行计算模拟，从工件壁厚变化和贴模情况寻求最佳的加工压力参数。

测量工件的母线长度为102.9mm，设定两侧堵头进入坯料长度为10mm，并各留5mm的机械加工余量，由此确定管坯长度为133mm。同时由于工件成型坯件是薄壁卷圆焊件，因此为减小开裂风险，确定坯件外径为116mm。在Dynaform仿真软件中导入已经建立好的凹模、压料块、管坯、左堵头和右堵头，有限元仿真模型如图2所示。

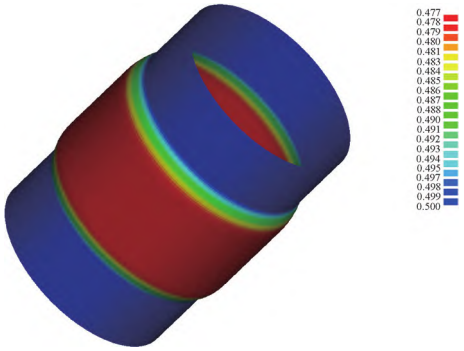


a）左堵头模型　b）管坯与凹模模型　c）右堵头模型

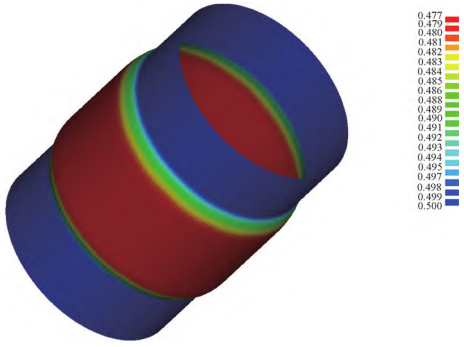
图2　有限元仿真模型

采用3种压力参数的工件壁厚变化如图3所示，可知在工件两端的直段变化不大，但随着充液压力的增加，中部鼓起的胀形区域壁厚减薄显著降低，其中4MPa压力下中部减薄最为严重，约为12%；8MPa压力下减薄不明显，约为4%。这是由于坯料在整个变形过程中，中间区域受双向拉应力，而在靠近直段的圆角处受到周向的压应力[2]。工件应力分布状态如图4所示。当充液压力较小时，圆角处的压应力阻碍坯料向中部流入的作用较大，导致中段壁厚减薄，而随着压力的增加，这种情况得到改善，两端的坯料有效地向中间补充，因而在8MPa的压力下壁厚变化不大[3]。

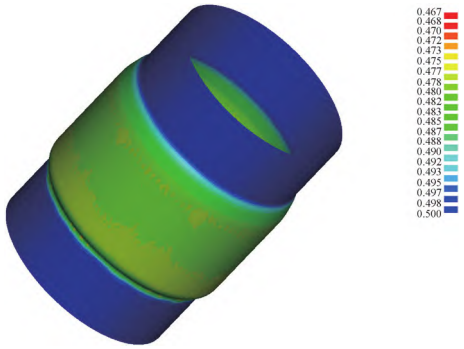
通过模拟计算可以发现，不同压力参数下工件的贴模情况（见图5），主要区别在A处的圆角



a）4MPa压力下壁厚减薄情况



b）6MPa压力下壁厚减薄情况



c）8MPa压力下壁厚减薄情况

图3　不同压力下工件壁厚的仿真结果

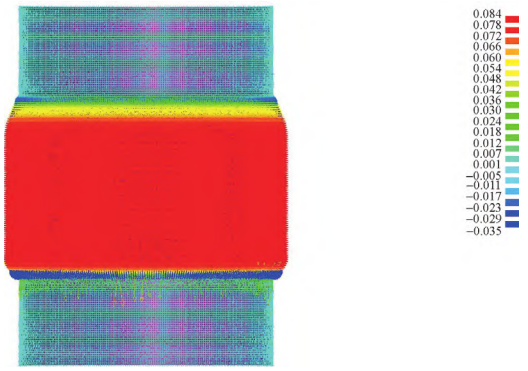
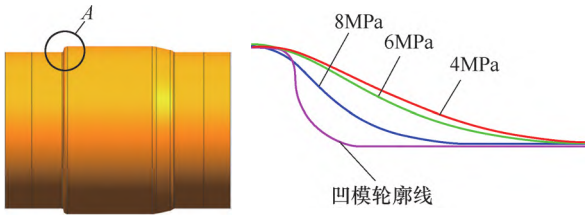


图4　工件应力分布状态



a）不同压力下贴模差异位置　　b）不同压力下工件的贴模情况

图5　工件贴模状态

转接处。在仿真软件中测量与凹模的最大距离，在4MPa的充液压力下为1.3mm，在6MPa的充液压力下为1.1mm，区别不大，而在8MPa的充液压力下为0.5mm，满足图样要求。结合壁厚的变化情况，8MPa的压力是较合适的工艺参数。

3.2　模具设计

目前因公司没有橡皮囊液压设备，故只能使用现有充液成型设备进行加工。若采用通用结构，则由于工件为两端敞开结构而无法密封，因此通过研究橡皮囊成型模具设计原理并对模具结构进行改进，采用橡皮囊包裹充液介质，并取消了冲头和密封环，利用橡皮囊代替冲头和密封。模具设计图样如图6所示，模具模型如图7所示。

该模具的特点在于将橡皮囊倒扣在下模上，并使用安装环将其固定，同时在下模上设计连通橡皮囊内部的充液口与排气口。橡皮囊外包裹分块阴模，当充液完成后锁紧充液螺栓，随着上模板下

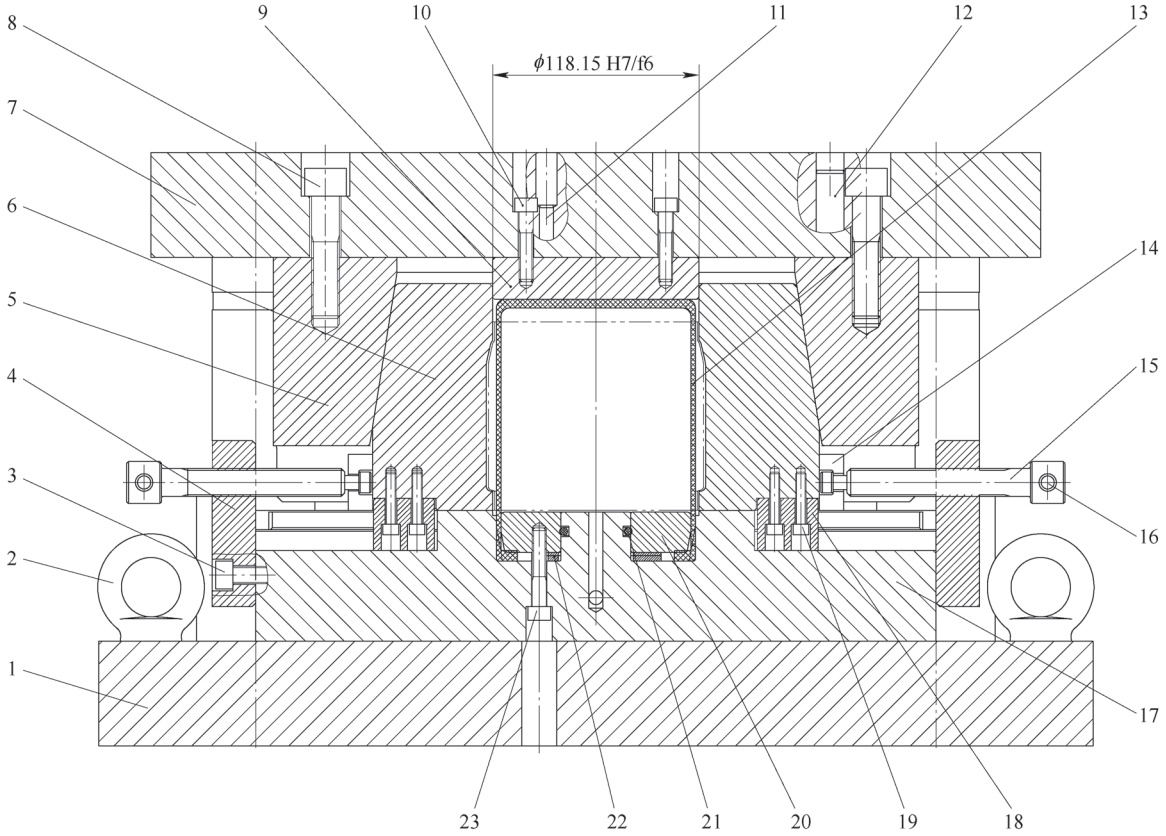


图6　模具设计图样

1—下模板　2—吊环螺钉　3、8、10、19、23—内六角圆柱头螺钉　4—板　5—上模　6—分块阴模　7—上模板　9—上压块　11、16—圆柱销　12—内螺纹圆柱销　13—橡皮囊　14—固定块　15—螺杆　17—下模　18—滑块　20—橡皮囊压环　21—密封圈　22—调整垫片

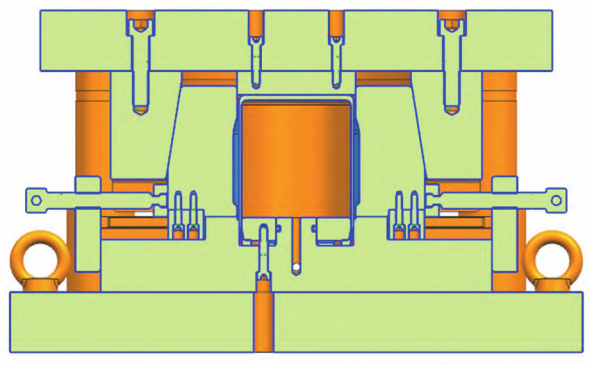


图7　模具模型

行，上模完成对分块阴模的锁定，而上压块接触橡皮囊后下行使其变形。合模后实现双重自锁，随后增加液体压力，使橡皮囊贴合分块阴模，完成工件成型。该模具采用双自锁结构，有效结合了充液与橡皮囊成型的特点，实现了在没有橡皮囊成型机的情况下，使用充液成型机胀形管坯件。

4　加工过程与结果

模具实物如图8所示，包括下模板和分半上凹模。加工设备为天锻YT28-550/800数控充液成型机。加工流程：橡皮囊注满水→打开分半上凹模→合拢上凹模和上模板下行压紧→充液加压至8MPa并保压→减压→上模板上行完成零件的加工。

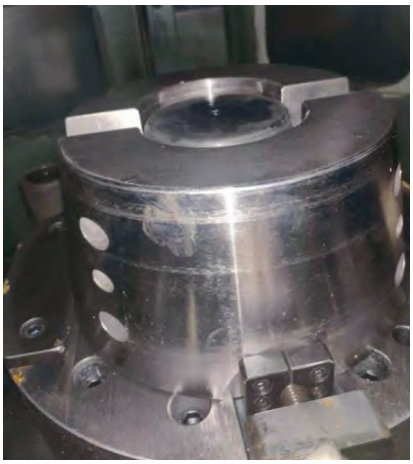


图8　模具实物

采用橡皮囊充液成型加工后的工件实物如图9所示，外观光整无分模痕。经检测两端直径满足图样要求，壁厚减薄＜5%。通过蓝光扫描工件型面，检测结果如图10所示，最大偏差0.42mm位于工件直段胀形面转接圆角处，其余位置均＜0.2mm，与仿真效果一致，达到预期目标。



图9　橡皮囊充液成型加工后的工件实物

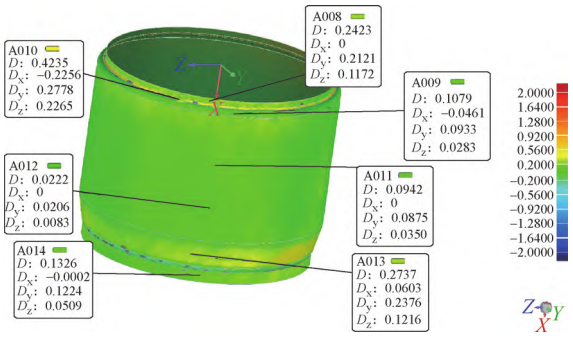


图10　蓝光扫描检测结果

5　结束语

本文针对航空发动机隔热罩橡皮囊进行液胀技术研究，通过橡皮囊与充液相结合的思路，设计制作胀形模具，加工出合格的产品，并得出以下结论。

1）通过采用橡皮囊液压成型技术，可以极大地改善胀形零件的外观质量。

2）通过实际加工验证，橡皮囊液压仿真可以采用充液仿真代替，且仿真数据与实际加工情况比较吻合，具有一定的实用性。

3）通过实际加工验证，该自锁模具结构具有很好的实用效果和推广应用价值。

参考文献：

[1] 章国斌，李又春，黄艳松，等. 宽弦、空心叶片的成型工艺：CN111673397B[P]. 2022-01-04.

[2] 张鑫龙，贺久强，韩聪，等. 椭圆截面管件充液压制变形与应力分析[J]. 机械工程学报，2017（18）：35-41.

[3] 徐看，吕彦明，黄艳玲. 基于Dynaform 的空心叶片冲压回弹影响因素分析[J]. 热加工工艺，2014（7）：138-141.

MW 20240815