

航空发动机复杂型面罩子钣金充液成形技术

Hydro Forming Technology of Complex Profile Cover Sheet of Aeroengine

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 杨 踊 孙淑铎 刘慧茹
北京航空航天大学 郎利辉

[摘要] 利用先进的板材冲压计算机仿真技术对零件成形中的关键问题进行了研究,并通过先进的充液成形技术进行了实际零件的成形试验,试验的结果与模拟结果基本一致。最后应用模拟得到的成形参数,利用钣金充液成形工艺成形出了合格的零件。

关键词: 计算机仿真 充液成形 工艺补充面

[ABSTRACT] The key problems in forming are researched by the CAE for sheet forming and experiments. The results of the experiments are accordant with CAE very well. Finally the acceptable part is formed by hydro forming.

Keywords: CAE Hydro forming Aided face

随着航空业的发展,航空发动机上使用的钣金零件的形状越来越复杂,其成形难度和精度要求也越来越高。面对超复杂型面钣金件在冲压成形中经常出现的破裂、起皱和回弹等成形缺陷,传统冲压成形工艺解决这类问题的主要方法就是依赖技术人员的经验进行分析并制定改进措施,需要反复修理模具和反复试验。这不仅延长了零件的研制周期,而且需要消耗大量的人力物力,已经不能适应社会发展的需要。先进的板材冲压计算机仿真技术和钣金充液成形技术以其突出的优点,被



图1 航空发动机复杂型面罩子

Fig.1 Complex profile cover of aeroengine

广泛应用于汽车、航空、航天和管道等行业。航空发动机复杂型面罩子(见图1)为加力筒体上作动筒隔热保护罩,属于超复杂覆盖型成形件,其材料为厚度为0.5mm的1Cr18Ni9Ti板材,在研制生产中一直存在成形破裂及起皱严重的问题,成为制约生产的技术瓶颈。本课题针对以上问题,充分利用先进的钣金充液成形技术和板材冲压计算机仿真技术的组合,在进行了充分的仿真优化的基础上,进一步通过实际零件的充液成形试验加以验证,最终按照最佳的成形参数,采用钣金充液成形工艺成形出了合格的零件。同时,板材冲压计算机仿真技术与充液成形技术的集成技术,填补了一项国内航空发动机钣金零件成形的技术空白。

1 钣金充液成形简介

1.1 钣金充液成形原理

钣金充液成形又称为充液拉深,是充液成形中的一种,属于柔性成形和半模成形,即在液室(凹模)中充满液体,利用凸模带动坯料进入凹模时建立反向液压的成形方法。由于有反向液压的作用,使坯料与凸模保持贴合,产生摩擦保持效果,从而缓和了坯料在凸模圆角处的径向应力,提高了传力区的承载能力,减弱了不平衡应力失稳起皱趋势;同时在坯料与液室表面间形成有利于拉深的液体润滑,有利于坯料拉深时走料。以上2点意味着该工艺可以显著提高零件的成形极限,能够成形出深筒、深盒及非常复杂曲面的零件,而且成形出的零件表面质量更好,零件的精度也更高。

1.2 钣金充液成形的优点

与传统冲压成形工艺相比,钣金充液成形具有如下优点:①摩擦保持效果压力作用下坯料与凸模间形成有益的摩擦保持效果,增强坯料的承载能力,提高成形极限;②液室中液体压力作用使得坯料紧紧贴在凸模上,液体在凹模上表面和坯料下表面之间形成流体润滑,减少零件表面划伤,零件质量好,尺寸精度高;③成形坯料在反向液压作用下,消除了零件在凹模内的悬空区,使坯

料紧贴凸模,减小了半球、锥形等复杂件成形时的“悬空段”,有效控制了零件的失稳起皱;(4)只需精确制造凸模和内口轮廓简单的凹模,无需与之相配的复杂部分,从而减少了模具加工量,降低了模具费用;(5)可以成形室温下一些难成形的材料,如镁合金、铝合金、钛合金、高温合金以及复杂结构拼焊钣等;(6)可以成形传统冲压工艺无法成形出的结构形状非常复杂的零件。

2 液充液成形的计算机仿真与试验对比

2.1 有限元模型的建立

航空发动机不锈钢复杂型面罩子零件形状复杂,四周带不同锥度侧壁(零件侧面与底面之间的夹角成 90° 、 60° 不等),主法兰面为 $R400\text{mm}$ 弧面,下底面为半径 $R370\text{mm}$ 的弧面,其中下底面中含有一处下陷,还有2个凸起,原始零件模型如图2所示。

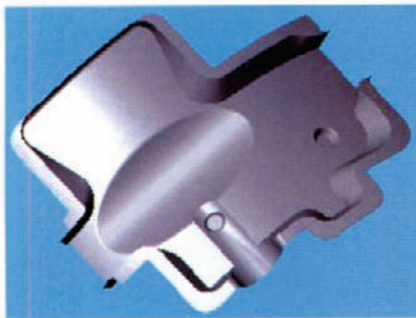


图2 原始零件模型
Fig.2 Original part model

该零件3处开口,为了满足液充液成形工艺要求(液室密封以确保液体不泄露),需要增加工艺补充面。本着尽量减少材料消耗及有利于成形的原则,通过DYNIFORM的DFE(模面工程)模块,在3处开口处增设了3个工艺补充面。从而形成增设工艺补充面后的零件模型,如图3所示。

通过DYNIFORM建立的该零件液充液成形有限元模型如图4所示。零件的液充液成形工艺过程主要分为3步:①压边圈下行,将坯料限制在压边圈和凹模面之间;②在设定压边力及压边间隙下,凸模下行到离坯料一定的距离后,液室充液,按照设置的反胀压力进行初始反胀;③在凸模继续下行的同时液室保持设定的成形压力,使得坯料紧贴凸模表面,成形出零件。

2.2 计算机仿真与液充液成形试验结果对比

计算机仿真可以对多种不同的工艺方案进行预测分析、优化模具和成形参数。采用DYNIFORM软件,分别在不同液室压力、反胀压力和压边间隙的条件下进行

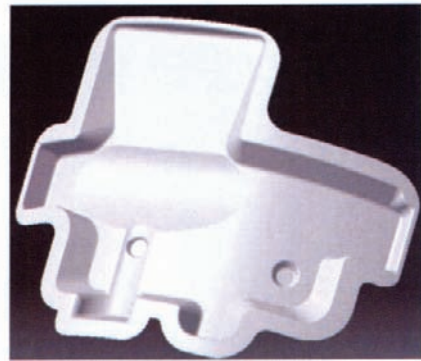


图3 增设工艺补充面后的零件模型
Fig.3 Part model after adding process complementary profile

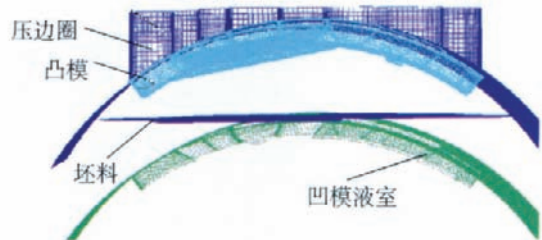


图4 有限元模型
Fig.4 Finite element model

了成形模拟,并通过工艺试验进行验证,获得了零件的最佳成形工艺参数。

2.2.1 液室压力对成形的影响

将反胀压力统一设置为 2MPa 的情况下,对不同液室压力的成形分别进行了计算机仿真和工艺试验,最终得出了该零件的最佳成形液室压力。

①液室压力为 5MPa 时,模拟结果如图5所示,坯料不能很好地贴模,产生内皱。在试验过程中,液室压力为 5MPa 成形出的零件结果如图6所示,与模拟结果基本一致。

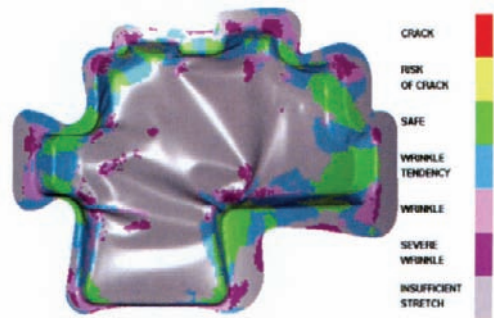


图5 液室压力为 5MPa 的模拟结果
Fig.5 Simulation result at hydro pressure 5MPa

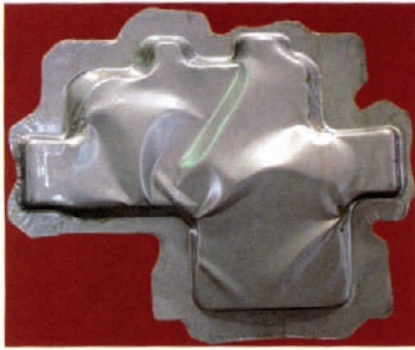


图6 液室压力为5MPa时成形的零件
Fig.6 Part formed at hydro pressure 5MPa

② 液室压力为10MPa时,模拟结果如图7所示,成形效果较好。液室压力为10MPa的充液成形效果如图8所示,与模拟结果基本一致。



图7 液室压力为10MPa时的模拟结果
Fig.7 Simulation result at hydro pressure 10MPa

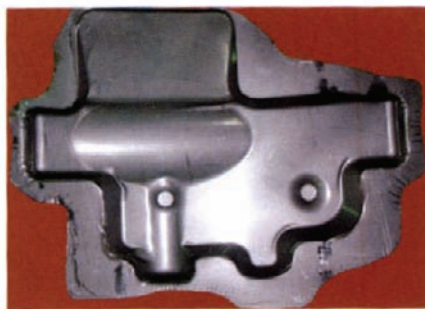


图8 液室压力为10MPa成形的零件
Fig.8 Part formed at hydro pressure 10MPa

③ 液室压力为15MPa时,模拟结果如图9所示,液室压力过大,在凹模圆角和侧壁出现了严重的拉裂现象。液室压力为15MPa的充液成形结果如图10所示,与模拟结果一致。

2.2.2 反胀压力对成形的影响

适当的初始反胀可以有效地提高坯料的成形性能和成形质量,为了确定该零件适宜的反胀压力,在液室

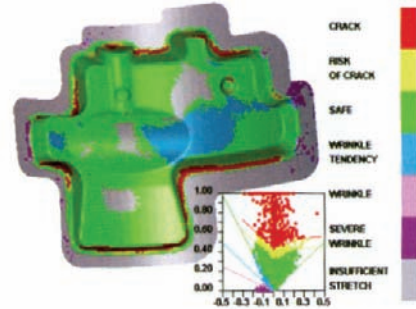


图9 液室压力为15MPa的模拟结果
Fig.9 Simulation result at hydro pressure 15MPa

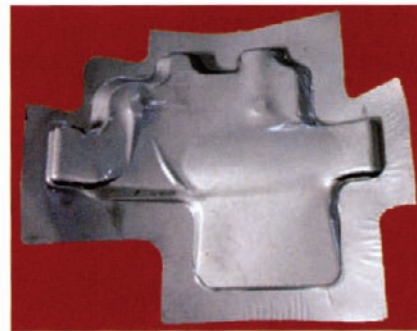


图10 压力为15MPa时成形的零件
Fig.10 Simulation result at hydro pressure 15MPa

压力均设置为10MPa的条件下,分别对不同的反胀压力进行了计算机仿真和试验,结果如下:

① 反胀压力为1MPa的模拟结果如图11所示,在凸凹模圆角处都发生了破裂。反胀压力为1MPa的成形试验结果如图12所示,与模拟结果相似,在其中的2个凹模圆角处出现了破裂。

② 在反胀压力为2MPa的条件下,模拟与试验均获得了较为理想的成形效果。

为了更好地研究反胀压力对零件成形的影响规律,对多个反胀压力值下的成形进行了模拟,结果如表1所



图11 反胀压力为1MPa的模拟结果
Fig.11 Simulation result at inverse bulging pressure 1MPa

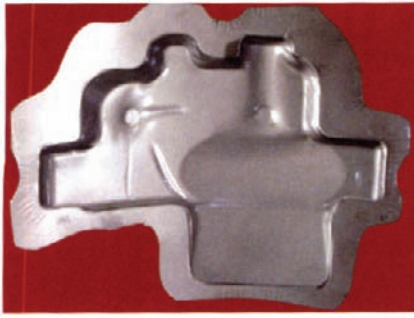


图 12 反胀压力为 1MPa 的成形零件

Fig.12 Part formed at inverse bulging pressure 1MPa

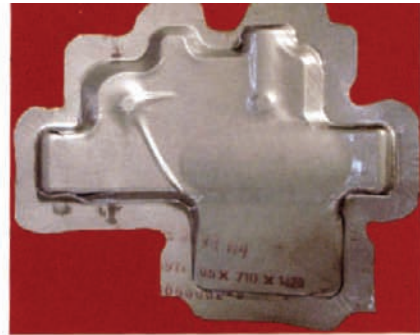


图 14 压边间隙为 0.53mm 成形的零件

Fig.14 Part formed at pressure interval 0.53mm

表 1 不同反胀压力下的模拟结果

反胀压力 /MPa	1	1.5	2	2.5	3	3.5
模拟结果	破裂	破裂	成功	成功	成功	起皱

示。当反胀压力过小时,不利于坯料的成形,很容易发生破裂,当反胀压力过大时,会出现起皱。该零件的合适反胀压力为 2~3MPa。

2.2.3 压边间隙对成形结果的影响

在液室压力设为 10MPa,反胀压力设为 2MPa 的情况下,分别对不同的压边间隙值进行了计算机仿真和工艺试验,研究了压边间隙对坯料充液成形的影响,并得到了该零件的合理压边间隙范围。

① 压边间隙为 0.53mm 时,零件模拟结果如图 13 所示,压边间隙过小,零件圆角处出现了破裂。压边间隙为 0.53mm 的成形试验结果如图 14 所示,与模拟结果基本一致。

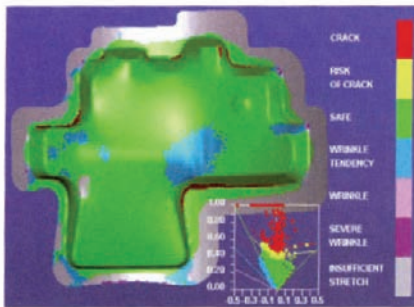


图 13 压边间隙为 0.53mm 的模拟结果

Fig.13 Simulation result at pressure interval 0.53mm

② 压边间隙为 0.61mm 时,零件模拟结果如图 15 所示,法兰边和零件底部发生了严重起皱,压边间隙为 0.61mm 的成形试验结果如图 16,与模拟结果基本吻合。



图 15 压边间隙为 0.61mm 的模拟结果

Fig.15 Simulation result at pressure interval 0.61mm

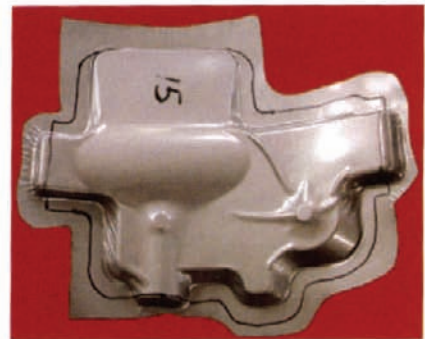


图 16 压边间隙为 0.61mm 成形的零件

Fig.16 Part formed at pressure interval 0.61mm

表 2 不同压边间隙的模拟结果

压边间隙 /mm	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61
模拟结果	破裂	破裂	成功	成功	起皱

通过各不同压边间隙值成形的计算机仿真,得到不同情况下的零件模拟结果如表 2 所示。从表中可以看出,当压边间隙过小时,零件很容易发生破裂,而当压边间隙过大时,则会发生起皱。该零件的合理压边间隙应为 0.57~0.59mm。(下转第 99 页)

高压涡轮转子,工作压力和时间一定要符合工艺要求。

(11) 在转子轴径沿圆周方向镀铬,以保证转子轴颈与轴承配合紧度。

(12) 控制涡轮叶片叶冠的总间隙。为了减小叶片的切向活动量,对一、二级涡轮叶片的叶冠采用喷涂耐磨涂层的方法缩小叶冠的总间隙,以达到降低发动机振动值的目的。

(13) 严格控制轴承的装配间隙。通过更换新品轴承或更换合格的旧品轴承,确保轴承游隙,将主支承轴承游隙控制在中、下限值;采用精密加工的方法排除轴承的内外钢套的椭圆度。

(14) 将压气机机匣和涡轮机匣的振动值进行内控。

(15) 停车后检查转子的转动惯性和杂音,以便判断发动机零部件是否损坏,是否有多余物。

(16) 搞好滑油系统的维护,控制滑油喷嘴流量,保证轴承润滑散热。

(17) 保持滑油系统清洁,防止发动机主机轴承磨损或损坏。

(18) 防止杂物进入发动机,防止发动机工作时超温、超转。

4 振动故障的检查排除方法

发动机试车过程中,若出现明显的振动故障应立即停车,查找原因。主要检查转子的平衡情况、装配情况、涂层磨损情况、各轴承的支承情况、主要机件的连接情况、发动机转动时是否有杂音、压气机和涡轮叶片有无打伤、折断情况、滑油是否变色,有无金属屑存在。根据上述情况,查看发动机履历本,了解发动机的自然状况及所做的工作,参照发动机的性能参数,确定振动原因,并按图 3 方法进行排振^[4]。

5 结束语

发动机采取以上修理技术措施后,取得了明显的效果,经厂内台架试车考核验证,发动机振动值大的故障得到有效控制。通过对发动机振动故障的研究可知,转子的动不平衡量大和发动机内部间隙小是引起发动机振动的主要原因。不平衡量大的原因主要是加工、装配和平衡的质量不高,平衡机床的精度低,误差较大。发动机寿命大、刚度小,易变形,工作环境恶劣则是引起发动机工作间隙小的原因。

参 考 文 献

[1] 洪杰. 燃气轮机结构分析. 北京:北京航空航天大学出

版社,2002.

[2] 宋兆泓. 发动机可靠性工程研究. 北京:北京航空航天大学出版社,1989.

[3] 晏砾堂. 航空燃气轮机振动和减振. 北京:国防工业出版社,1991.

[4] 李文明. 新机研制中整机振动及其限制值——实践与思考. 航空发动机,2002(2): 22-26. (责编 岩石)

~~~~~  
(上接第 94 页)

### 3 结果讨论与分析

采用 DYNIFORM 建立了该零件充液成形的有限元模型,分别在不同液室压力、反胀压力和压边间隙的条件下进行了计算机仿真,并通过工艺试验进行验证,主要结论如下:

① 建立了正确的有限元模型,对该零件的钣金充液成形进行了计算机仿真,成形试验验证了模拟的正确性,计算机仿真对实际生产具有重要的指导意义。

② 通过计算机仿真分别研究了液室压力、反胀压力和压边间隙对该零件充液成形结果的影响,并通过试验进行了验证,得到了该零件成形的最佳液室压力为 10MPa,最适宜反胀压力为 2~3MPa,最合理压边间隙为 0.57~0.59mm。



图 17 最佳参数成形出的合格零件

Fig.17 Qualified part formed with optimum parameters

③ 采用模拟得到的最佳参数组合,利用钣金充液成形工艺,能够成形出了合格的航空发动机复杂型面罩子零件,如图 17 所示。

#### 参 考 文 献

[1] 李涛,郎利辉,周贤宾. 先进板材液压成形技术及其进展. 塑性工程学报,2006,13(3): 30-34.

[2] Zhang Shihong. Developments in Hydroforming. J of Materials Processing Technology, 1999, 91: 236-244.

[3] 王仲仁. 特种塑性成形. 北京:国防工业出版社,1997.

[4] 李硕本. 冲压工艺学. 北京:机械工业出版社,1984.

[5] 王孝培. 冲压设计资料. 北京:机械工业出版社,1982.

(责编 依然)