飞机复杂蒙皮拉形模具型面设计方法

韩金全 万 敏 袁 胜 许旭东

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191) (成都飞机工业(集团)有限责任公司 制造工程部，成都 610092)

摘 要：针对目前复杂蒙皮拉形工艺中拉形模的设计没有实用、详细设计方法的情况，从改善毛料拉形过程中的应变分布出发，提出了一种基于“截面线等长”的拉形模型面设计方法，即通过工艺补充面的灵活设计，实现模具沿各个拉伸方向上的截面线长度趋于一致，以使毛料在贴模后各个截面的延伸率尽可能的接近，再通过工艺补充面的曲率和切向的调整，使毛料在拉形时应变分布更加均匀，以减少甚至避免与应变分布相关的各种缺陷的出现. 通过某型号飞机复杂蒙皮零件模具型面的设计及拉形过程的有限元模拟分析，验证了这一拉形模具型面设计方法的合理性和有效性.

关 键 词：飞机蒙皮；拉形；模具设计；有限元模拟

中图分类号：V 260；TG 386

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)11-1360-04

Design method for surface of stretching tool for complex aircraft skin

Han Jinquan Wan Min

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Yuan Sheng Xu Xudong

(Department of Manufacturing, Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co. Ltd., Chengdu 610092, China)

Abstract: A design method based on equilong section lines for tool surface in complex aircraft skin stretching was proposed to improve the strain distribution of blank during stretching, against the lack of practical and detailed design methods for tool surface in complex aircraft skin stretching. In this method, section lines of tool surface along stretching direction were designed as equilong as possible by adjustment of process addendum to gain approximate elongations on all section lines of blank after stretching, and then curvature and tangent directions were adjusted to obtain uniform strain distribution on blank after stretching and decrease or avoid appearance of failings relative strain distribution. This design method was verified to be of feasibility and validity by the design of a tool surface for a complex aircraft skin stretching and the strain distribution obtained by finite element method (FEM).

Key words: aircraft skin; stretching; tool surface design; finite element method

在飞机蒙皮类零件生产中，拉形模主要用于在拉形机上成形表面积大、曲度变化缓、外表光滑、质量要求高的单、双曲度蒙皮. 当前设计拉形模，基本上都是工艺人员根据以往经验，参考文献[1]中的指导原则，进行类比设计. 文献[1]中，针对拉形模型面设计，给出了几条按照零件理论外形进行设计的简要指导性原则. 这些设计原则，对于拉形模型面设计来说，显得过于粗略，只对形状、轮廓简单的零件有一定的参考指导作用，但还没有关于复杂蒙皮拉形模型面设计的原则和方法. 这种依靠经验类比方法设计出的复杂蒙皮拉形模具型面，经常会在拉形过程中使板料处于较差的变形状态，有时模具并不适用，需要很大的修改，甚至报废. 因此，拉形模具设计的盲目性非常

收稿日期：2008-03-28

基金项目：国家863计划资助项目(2007AA04Z1A3)

作者简介：韩金全(1980—)，男，天津人，博士生，hanjinquan@me.buaa.edu.cn.

大，模具设计制造的周期长、效率低、成本高、可靠性差.

随着有限元技术的发展及其在金属成形领域发挥日益重要的作用，实现了成形过程的模拟仿真，使得对零件的工艺分析与工艺设计在虚拟环境下就可以完成，大大降低了这一过程的成本，缩短了周期. 有限元方法在冲压模具中的应用已经比较广泛[2−6]，但还很少见到在飞机蒙皮拉形工艺中的应用. 因此，本文将有限元方法引入到拉形模具的设计中，通过对拉形模型面设计方法的研究，提出一种有效的拉形模具型面设计方法.

1　型面设计方法

蒙皮拉形工艺中，一般采用矩形板材毛料，通过设备夹钳对板料边缘的夹持，以及夹钳的运动，使毛料贴靠在模具上，获得模具型面的曲面形状. 在这种成形方式下，材料的流动受到较大的限制，变形能力较差. 材料的应变对成形质量起着决定性的作用，破裂、起皱、滑移线等等可能出现的缺陷都在不同程度上与材料的局部应变量有着联系，这就需要毛料在成形过程中变形尽量均匀，以期避免或减少各种缺陷的产生. 而材料各处应变值的大小分布是由毛料整体的延伸率和模具型面的局部形状决定的. 因此，本文提出基于拉形模“截面线等长”的型面设计原则，使毛料在贴模后的变形尽可能均匀.

这一原则的基本内容是，拉形模具型面沿拉伸方向上的截面线长度应趋于一致. 根据这一型面设计原则，提出蒙皮拉形模具设计的一般过程：

1）确定零件的空间姿态. 模具由零件在绝对坐标系中生成，因此零件在绝对坐标系中的空间姿态决定了模具型面的空间走势. 拉形模型面要求光滑，这就需要型面至少是切向连续的，这使得零件的边缘切向对工艺补充面的走向、形状有着直接的影响，也就决定着模具型面沿拉伸方向截面线的形状和长度. 同时，毛料的装卡要求模具沿夹钳方向（即垂直于拉伸方向）的截面线尽量水平. 这些因素都需要零件有一个恰当的空间姿态，在此基础上形成模具型面.

2）建立内部工艺补充面，修整零件内部及边缘. 复杂蒙皮经常会在内部有“洞”，而且边缘轮廓一般情况下是不规则的，需要对零件进行修补. 对“洞”的修补，要保证曲面的切向连续，避免出现尖角. 对零件边缘的修补，考虑到之后要进行外围工艺补充面的建立，所以边缘修补的曲面有很重要的过渡作用. 一是要将零件曲率大的边缘以及切方向与水平面夹角过大的边缘，修整过渡为曲率较小、切方向较水平的边缘；二是要将边缘轮廓修整为较规则的形状，在模具底面上的投影尽量接近矩形.

3）建立外围工艺补充面. 这一步可按照文献[1]中的指导原则或零件情况，确定外围工艺补充面宽度及切向角度.

建立工艺补充面不仅要尽量保持平坦光滑，也是实现“截面线等长”原则的调整区域. 截面线的长度都是有差异的，为了使毛料在拉形贴模后各个截面的延伸率相近，应该调整工艺补充面，使这些截面线的长度趋于一致.

4）待工艺补充面建立完成后，就可以建立模具侧面、底面以及型面与侧面之间的过渡圆角. 这些曲面的建立可以根据文献[1]中的指导原则.

5）进行拉形仿真，根据仿真结果进一步调整模具型面. 通过以上几步得到的模具，各截面线长度是基本一致的，但这并不能保证零件在成形后的应变分布是均匀的. 应变的分布还与型面局部的曲率、起伏程度等等曲面状况有关. 这就需要对当前模具型面下的拉形过程进行有限元仿真分析，并对分析结果进行评估，根据评估情况再对模具型面做出调整，之后再进行拉形分析. 通过这个循环过程，直到拉形结果满足一定的预设条件. 模具型面的设计过程如图 1 所示.

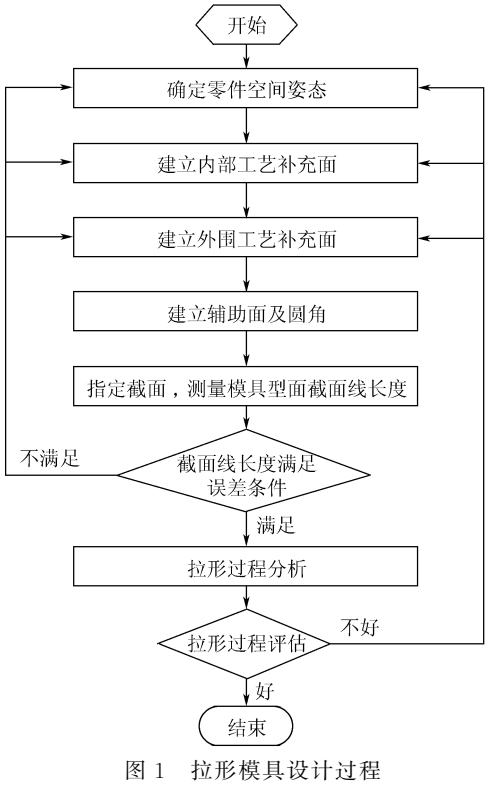


图 1　拉形模具设计过程

2 应用实例

图2为某机型上一对蒙皮零件，形状对称，拟采用拉伸成形方式进行加工. 由于零件是对称件，所以设计一套带上压的S形模具，两个零件合并拉形.

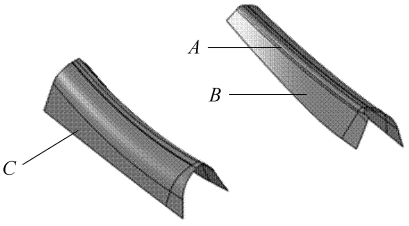


图2 零件在模具型面上的空间姿态

2.1 空间姿态的确定

如图2所示，零件的顶部略呈弓状弯曲，小圆角区域A向内侧弯曲，同时侧壁区域B内凹，只能通过上压模具才能使毛料在这个位置贴模. 因此零件的这一侧做为模具内侧，而略有凸出的一侧C做为外侧. 另外，考虑到S形模具的弦深比不宜过小，为防止上压装置载荷过大，两个零件的位置要有一定的距离. 由于拉形设备上用于夹持毛料的夹钳，在水平情况下拉伸，设备的载荷情况最好，所以零件的顶面要尽量保持水平.

2.2 内部工艺补充面的建立

在这组零件中，内部工艺补充面主要是填补零件内部的不规则边缘，所进行的内部修补如图3中所示区域D.

2.3 外围工艺补充面的建立

建立外围工艺补充面，主要是将模具型面补充完整. 如图3所示，在该实例中外围工艺补充面包括将图3中两侧曲面过渡连接在一起的补充面E，在零件规则边缘处的补充面F，以及两侧将要与圆角连接的过渡面G.

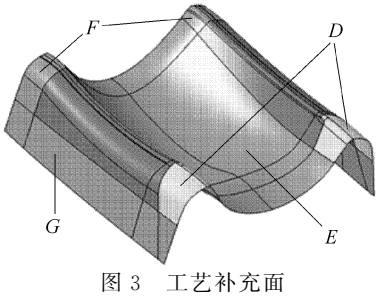
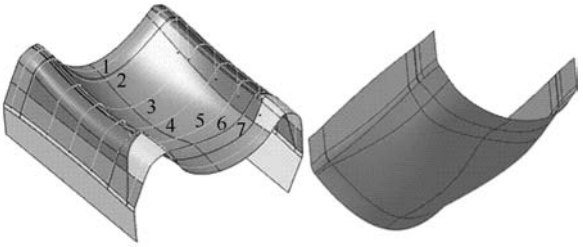


图3 工艺补充面

2.4 模具型面的建立

完成模具的侧面及圆角，如图4a所示. 沿拉伸方向设置了7条截面线，这些截面线的长度见表1中“初始设计长度”. 根据已设计的拉形模型面生成上压模具型面，如图4b所示.



a 下横型面 b 上压型面

图4 模具最终型面

表1 截面线长度 mm

截面线编号	初始设计长度	修改后长度
1	1402	1402
2	1384	1384
3	1358	1358
4	1359	1359
5	1381	1367
6	1382	1378
7	1394	1394

2.5 拉形过程仿真

采用拉形工艺设计软件ASSFCAE[7]，设计工艺参数并生成用于有限元仿真的输入文件，之后基于大型有限元软件ABAQUS进行仿真计算. 图5是采用所设计模具的拉形仿真结果，可见在区域H有较大的塑性应变，出现成形缺陷的可能较大. 为此，对模具型面进行修改，缩短了这个区域的截面线5和6，以期减小这一区域的变形. 修改后的截面线长度见表1中“修改后长度”. 图6是模具修改后进行拉形的面内最大塑性主应变分布，可以看出区域H的应变情况得到了改善.

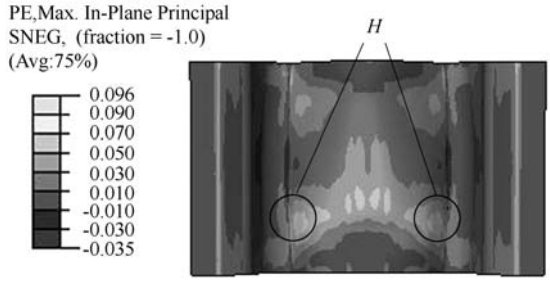


图5 初始模具成形时的面内最大塑性主应变分布

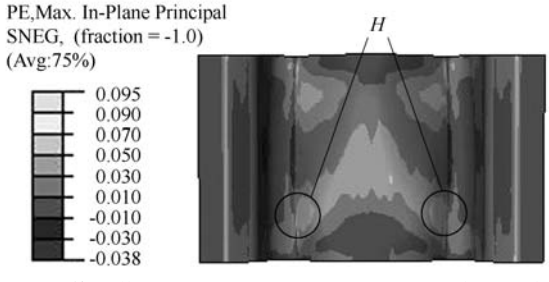


图6 修改模具后成形时的面内最大塑性主应变分布

3　结 束 语

在蒙皮的拉伸成形中，模具型面的设计显得尤为重要，这就迫切需要详细而有效的模具型面设计方法来指导型面设计. 在拉形过程中使板料各个位置的变形均匀，是本文提出的“截面线等长”模具型面设计方法的一个出发点和所要达到的目标. 有限元仿真是模具设计过程中的重要辅助手段，用来验证模具型面设计的是否合理，对寻求型面改进方案也有着重要的帮助. “截面线等长”设计方法结合有限元仿真技术，在复杂蒙皮拉形模具型面设计中发挥了很大的作用.

参考文献（References）

[1] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册：飞机工艺装备[M]. 北京：航空工业出版社，1994：525－542
Aeronautics Manufacture Engineering Manual Compilation Group. Aeronautics manufacture engineering manual: aircraft processing tools[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1994: 525－542 (in Chinese)

[2] 李奇涵，王科飞，王立威. 基于数值模拟技术的板料冲压成形模具开发[J]. 新技术新工艺，2005(8)：6－8
Li Qihan, Wang Kefei, Wang Liwei. Exploitation of sheet metal forming die based on numerical simulation[J]. New Technology & New Process, 2005(8): 6－8(in Chinese)

[3] Gan W, Wagoner R H. Die design method for sheet springback[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2004, 46(7): 1097－1113

[4] Schenk O, Hillmann M. Optimal design of metal forming die surfaces with evolution strategies[J]. Computers & Structures, 2004, 82(20/21): 1695－1705

[5] Firat M. Computer aided analysis and design of sheet metal forming processes: part III: stamping die-face design[J]. Materials & Design, 2007, 28(4): 1311－1320

[6] Liu W, Yang Y. Multi-objective optimization of an auto panel drawing die face design by mesh morphing[J]. Computer-Aided Design, 2007, 39(10): 863－869

[7] 李卫东，万敏，韩金全. 飞机蒙皮数字化拉形系统 ASSF-CAE[J]. 航空制造技术，2007，291(增刊)：498－503
Li Weidong, Wan Min, Han Jinquan. Numerical stretch forming system for aircraft skin[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2007, 291 (Supplement): 498－503 (in Chinese)

(责任编辑：文丽芳)

(上接第 1355 页)

参考文献（References）

[1] 李海燕，赵俭. 温度传感器动态校准研究[J]. 计测技术，2008(1)：1－3，6
Li Haiyan, Zhao Jian. The research of dynamic calibration for temperature probes[J]. Metrology & Measurement Technology, 2008 (1): 1－3, 6(in Chinese)

[2] 钟华贵，吉洪湖，李继保. 燃气分析测量高温燃气温度的方法[J]. 航空动力学报，2005，20(3)：460－466
Zhong Huagui, Ji Honghu, Li Jibao. Methods for gas temperature measurement by gas analysis[J]. Journal of Aerospace Power, 2005, 20(3): 460－466(in Chinese)

[3] 雷雨冰，赵坚行，周峰轮. 环形燃烧室性能计算[J]. 工程热物理学报，2002 (5)：53－57
Lei Yubing, Zhao Jianxing, Zhou Fenglun. Three-dimensional gas turbine combustor performance modeling[J]. 2002 (5): 53－57(in Chinese)

[4] 樊尚春，吕俊芳，张庆荣，等. 航空测试系统[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2005
Fan Shangchun, Lü Junfang, Zhang Qingrong, et al. Aviation measurement system[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005(in Chinese)

[5] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004
Mechanical Design Manul Complie Committee. Mechanical design manul[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2004(in Chinese)

(责任编辑：文丽芳)