

# 航空可切削塑料拉形模型面开裂分析及其控制

张勇兵<sup>1</sup>, 苏艳红<sup>2</sup>, 郑再阳<sup>1</sup>

(1. 中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610091;

2. 成都航空职业技术学院, 成都 610100)

[摘要] 传统飞机蒙皮拉形模在生产过程中容易出现型面开裂的问题, 分析了飞机蒙皮拉形模可切削塑料型面开裂的原因, 并提出了预防可切削塑料型面开裂的拉形模新结构。

关键词: 飞机蒙皮; 拉形模; 可切削塑料; 燕尾槽

## Analysis and Prevention of Surface Cracking for Machinable Plastic Stretching Tool in Aviation

ZHANG Yongbing<sup>1</sup>, SU Yahong<sup>2</sup>, ZHENG Zaiyang<sup>1</sup>

(1. AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610091, China;

2. Chengdu Aeronautic Polytechnic, Chengdu 610100, China)

[ABSTRACT] Crackle often appears on the surface of the traditional stretching tool during its producing. The paper analyses the causes of cracking on the surface of machinable plastic stretching tool for aircraft skin, a new structure for machinable plastic stretching tool is presented, while crackle could be prevented.

Keywords: Aircraft skin; Stretching tool; Machinable plastic; Dovetail groove

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.22.100

现代民用客机的蒙皮材料正在向金属复合材料方向发展, 但以铝合金材料为主的金属材料仍在大量应用。波音 787 飞机蒙皮以非金属复合材料为主、铝合金材料为辅, 空客 A380 飞机蒙皮以铝合金材料为主、金属复合材料为辅, 其他型号的民用客机蒙皮也在同时运用金属材料和非金属复合材料。因此, 研究金属材料蒙皮的高质量、低成本成形仍具有广泛的现实意义。

复杂曲面的铝合金材料蒙皮主要采用拉形工艺, 每架飞机的蒙皮数量从数十张到数百张不等, 每张复杂曲面的铝合金蒙皮都需要一套对应的拉形模。拉形模质量决定每张蒙皮的几何精度质量和表面质量, 拉形模是确保铝合金蒙皮质量的重要工艺装备。单套拉形模的制造成本从数万元到数十万元不等, 每个机型的拉形模总成本会达数百万甚至上千万元。

因此, 拉形模制造总成本是飞机制造总成本的重要组成部分。基于此, 提升拉形模质量、降低拉形模成本是各航空工艺装备制造制造商研究的重要内容之一<sup>[1]</sup>。

近年来, 大型拉形模需求越来越多, 但在生产过程中发现拉形模可切削塑料型面开裂现象越来越普遍, 成为影响飞机研制、批量生产的重大质量问题。

## 1 拉形模型面开裂的原因分析

### 1.1 传统的拉形模结构

早期的拉形模结构是“木质基体 + 环氧树脂型面”, 由于木质基体容易变形、破损、腐烂, 寿命短、精度差, 而且用于制造大型拉形模(民用客机蒙皮长度一般都超过 3m, 有的达到 10m 有余)时木质基体与可切削塑料层均开裂严重, 如图 1 所示。

为解决大型木质基体拉形模的开裂问题, 近年来采用的拉形模结构为“钢框架 + 铁丝网 + 石英砂 + 可切削塑料”, 如图 2~3 所示。

采用钢框架代替木质基体解决了木质基体存在的缺陷, 但使用一段时间后, 发现此种结构的拉形模表面可切削塑料层仍然极易开裂, 严重影响型面、定位孔、刻线的精度, 如图 4 所示。

### 1.2 型面开裂原因分析

#### 1.2.1 多种材料膨胀系数不一致产生的开裂

可切削塑料固化时会产生大量热量, 封闭区域最高温度达到 90℃ 左右, 这些热量、高温会引起钢框架、石英砂、铁丝网、可切削塑料各自热膨胀、冷收缩。几种



图1 木质基体拉形模基体、型面同时开裂

Fig.1 Crackle appearing in the woody base and the surface of the stretching tool at the same time

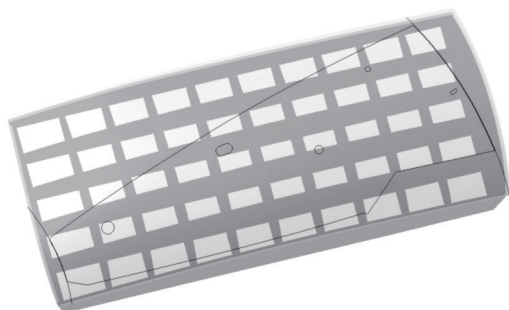


图2 钢框架

Fig.2 Steel frame

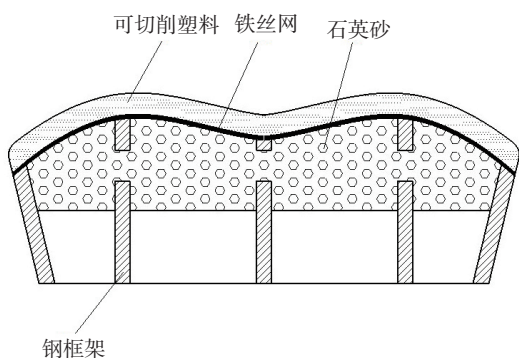


图3 钢框架拉形模结构

Fig.3 Structure of stretching tool with steel frame

材料的热膨胀系数不一致,会导致各自的膨胀量和收缩量不同,再加上可切削塑料本身固化收缩率就达到0.1%~2%,固化过程中内部将产生大量张应力,拉形模越大、收缩量差值越大、内部产生的张应力越大,在可切削塑料本身塑性较差、脆性较大的情况下,可切削塑料在浇注过程中就可能开裂。

### 1.2.2 大尺寸模具使用过程中引起的变形开裂

大型拉形模尺寸达到5m以上,重量达到5t以上,实物在吊运、翻身、加工过程中存在各种冲击力,会引起钢框架产生轻微的弯曲、扭曲弹性变形,在可切削塑料

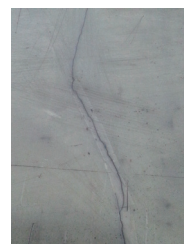
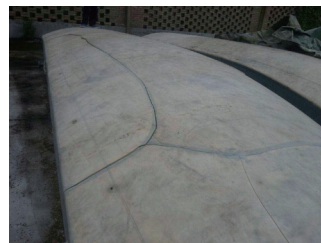


图4 框架式拉形模型面开裂

Fig.4 Crackle appearing on the surface of the stretching tool with steel frame

本身塑性较差、脆性较大的情况下,可切削塑料在拉形模吊运、翻身、加工过程中可能开裂。

### 1.2.3 材料性能引起的开裂

大型客机蒙皮尺寸远远大于小型飞机蒙皮,拉形模尺寸从1m左右增加到10m左右,拉形力从几十t加大到几百t,传统结构拉形模的刚性、强度、抗挠度可能难以满足大型蒙皮拉形的需要,因此可切削塑料在蒙皮拉形过程中可能开裂。

### 1.2.4 保管、存放过程引起的开裂

拉形模存放环境无法达到恒温要求,库房温度与外部温度相近,春夏秋冬、白天夜晚的温差较大,几种材料的热膨胀系数相差较大,随时循环产生大量张应力,由于可切削塑料塑性较差、脆性较大,因此可切削塑料在拉形模存放期间可能开裂。

拉形模开裂后需要进行返修,投入的成本很高、周期很长,急需再次改进拉形模结构。

## 2 基于预防型面开裂的拉形模新结构

再次改进的拉形模新结构采用铸铝作为基体,铸铝型面上开出纵横交错的燕尾槽,表面再浇注可切削塑料如图5~6所示。

### 2.1 新结构的优点

(1) 铸铝基体是带减轻框的整体结构,强度、刚性、抗挠度性能等均优于钢框架,表面的可切削塑料层在拉形模吊运、翻身、加工过程中受到的各种冲击力的影响显著减小,能有效降低可切削塑料在制造过程中的开裂几率。

(2) 铸铝材料导热性好,能快速传导可切削塑料固化产生的热量,降低可切削塑料温度及两种材料的温

差,能有效降低固化过程中因两种材料热膨胀系数不一致引起的开裂。

(3) 铸铝基体间距 100mm 左右的燕尾槽能牢牢箍紧表面的可切削塑料,有效防止可切削塑料脱层,而且能将可切削塑料热膨胀、冷收缩限制在燕尾槽形成的“口”形区域,这样,热膨胀量、冷收缩量很小(约 0.1~0.2mm),相比以前的钢框架结构降低了很多(5m 长度的可切削塑料理论整体收缩量达到 5mm~10mm),能有效消除固化过程、存放期间环境温度差导致的可切削塑料的开裂几率。

(4) 铸铝基体有 40mm 左右的型面厚度,能支撑表面可切削塑料层承受蒙皮拉形过程中的巨大压力,有效降低蒙皮拉形过程中可切削塑料的开裂几率。完工后的大型拉形模如图 7 所示。

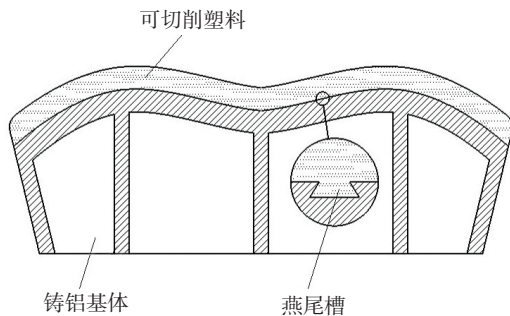


图5 拉形模新结构

Fig.5 New structure of stretching tool



图6 铸铝基体表面燕尾槽

Fig.6 Dovetail groove on the base made of cast aluminium



图7 完工后的大型拉形模

Fig.7 Finished large stretching tool

### 3 结束语

自 2012 年开始采用带燕尾槽的铸铝基体 + 可切削塑料结构以来,已经新制、复制了数百套大型拉形模,未出现 1 例开裂现象,提升了拉形模质量、寿命,节约了大量返工、返修成本,经济效益和社会效益显著。

### 参考文献

- [1] 苏艳红, 张勇兵. 可切削塑料在飞机蒙皮拉形模中的应用[J]. 模具工业, 2012,38(12):12-14.  
SU Yanhong, ZHANG Yongbing. Application of machinable plastic in stretching tool for aircraft skin[J]. Die & Mould Industry, 2012, 38(12):12-14.
- [2] 苏艳红. 数字化环境下的拉型模制造[J]. 工具技术, 2009, 43(10):72-75.  
SU Yanhong. Manufacturing stretch bending die in digital environment[J]. Tool Engineering, 2009, 43(10):72-75.
- [3] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册·飞机钣金工艺[M]. 北京: 航空工业出版社, 1995:353-366.  
*Aeronautical Manufacturing Technology Manual* Chief Editorial Committee. Aeronautical manufacturing engineering handbook·aircraft sheet metal process[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1995:353-366.
- [4] 《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, 1995:525-542.  
*Aeronautical Manufacturing Technology Manual* Chief Editorial Committee. Aeronautical manufacturing engineering handbook·aircraft tooling[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1995:525-542.
- [5] 杨乃宾. 新一代大型客机复合材料结构[J]. 航空学报, 2008, 29(3):596-604.  
YANG Naibin. Composite structures for new generation large commercial jet[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3):596-604.
- [6] 张彦敏, 周贤宾. 飞机蒙皮拉伸成形工艺参数优化[J]. 航空学报, 2006, 27(6):1203-1208.  
ZHANG Yanmin, ZHOU Xianbin. Parameter optimization in aircraft skin stretch forming process[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2006, 27(6):1203-1208.
- [7] 韩金全, 万敏, 袁胜, 等. 飞机复杂蒙皮拉形模具型面设计方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(11):1360-1363.  
HAN Jinqun, WAN Min, YUAN Sheng, et al. Design method for surface of stretching tool for complex aircraft skin[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(11):1360-1363.
- [8] 李东升, 于成龙, 李小强, 等. 飞机蒙皮多点模具拉形制造应用体系研究[J]. 航空制造技术, 2012(7):42-44.  
LI Dongsheng, YU Chenglong, LI Xiaoqiang, et al. Research on multi-point mould stretch forming process application system for aircraft skin[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(7):42-44.
- [9] 韩金全, 万敏, 李卫东. 基于回弹的飞机蒙皮拉形模型面修模技术研究[J]. 机械工程学报, 2009, 45(11):184-188.  
HAN Jinqun, WAN Min, LI Weidong. Surface improvement based on springback compensation for aircraft skin stretching tool[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(11):184-188.

(责编 古京)