

文章编号:1673-9981(2010)02-0132-05

城市轨道交通铝合金车体型材挤压仿真技术研究*

梁奕清¹, 吴锡坤¹, 黄珍媛^{1,2}

(1. 广东兴发铝业有限公司, 广东 佛山 528061; 2. 华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641)

摘 要:城市轨道交通铝合金车体型材具有复杂大截面、薄壁、扁宽等特征,为降低综合成本,本文采用 HyperXtrude 仿真软件对型材生产的核心技术——挤压模具设计及挤压工艺进行仿真分析技术研究。结果表明,挤压仿真软件可预见挤压铝金属流速场、温度场及应力场等多物理场参量,减少试模次数,降低综合成本,向虚拟试模迈出关键的一步,实现了挤压仿真技术在城市轨道交通铝合金车体型材挤压工艺及模具设计中的创新性应用。

关键词:城市轨道交通; 铝合金车体; 型材; 挤压仿真

中图分类号: TG376

文献标识码: A

铝合金车体具有重量轻、耐腐蚀、高可焊性、外观平整度高、易于进行表面处理、金属可循环再利用等优点,符合“安全、可靠、快速、轻量、经济、适用”的要求^[1-4],越来越受到世界各国铁道运输、城市轨道交通部门的欢迎。

用于制造城市轨道交通铝合金车体的型材结构复杂、制造困难,其中车体型材模具设计及挤压成形技术是关键技术^[5-7]。本文将挤压仿真技术引进到大型复杂铝合金车体型材挤压模具设计与挤压工艺中,以突破关键技术,提高技术水平和生产效率,降低能耗和生产成本。

1 试验方法

1.1 模具设计及挤压仿真软件

在对铝合金车体型材产品需求进行研究分析的基础上,采用 AutoCAD 进行铝合金车体型材截面和挤压模具结构设计,采用 SolidWorks 进行挤压模具三维建模。采用 HyperXtrude 进行挤压仿真分析,该仿真软件采用任意拉格朗日-欧拉(Arbitrary Lagrange-Euler, ALE)算法,将材料速度和网格速

度分开定义,空间网格可以设置成运动的,也可以设置成固定的,通过选择网格的运动形式,可任意指定是使用 Lagrange 描述还是 Euler 描述来求解挤压成形问题。仿真分析模型单元多达 194 万个。

1.2 挤压仿真工艺流程

本研究所采用的挤压计算机仿真技术路线如图 1 所示。该路线主要包含如下步骤:2D-CAD 设计→模具 3D 实体建模、仿真 3D 有限元建模→挤压仿真分析(FEA)→模具制造→试模→挤压生产。

传统的铝型材挤压模具开发主要包括:2D-CAD 设计→模具制造→反复试模、修模→挤压生产(图 2),通过反复试模和修模来获得合格的挤压模具。

模具的材质选用 H13 钢。由于铝合金车体型材的订单量比较大,同种型号的型材需开多套模具,而每套模具的成本超过 10 万元,因此,为了降低由于模具设计制造的失误所造成的经济和时间成本,同时在实际工程应用中验证 HyperXtrude 挤压仿真软件,积累软件在工程应用中的经验,提高模具设计的理论水平,本研究在开发第 1 套铝合金车体型材挤压模具期间,实行将图 1 与图 2 两条技术路线并

收稿日期:2009-09-16

* 基金项目:广东省教育部产学研结合专项资金项目(2006D90404013),佛山市禅城区科技开发专项资金项目(2007A1004)

作者简介:梁奕清(1978—),男,广东茂名,工程师,学士。

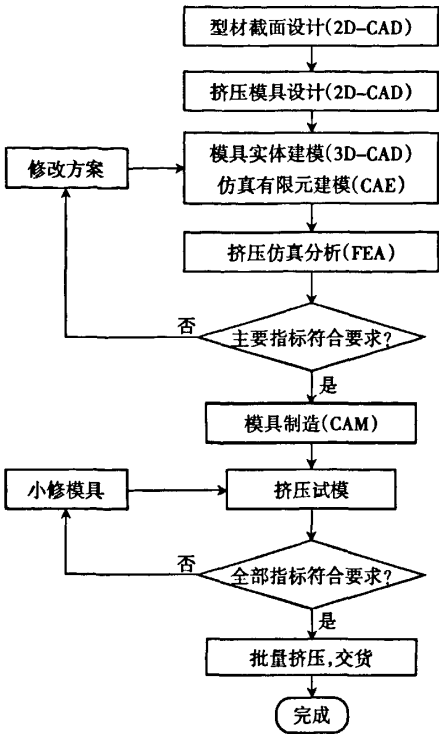


图1 车体铝型材挤压仿真技术路线图

Fig.1 Roadmap of extrusion simulation technology for aluminum car body profile

行的策略,对其进行对比实验研究,成功开发出第1套模具后,再批量制造其余模具,有效地控制了技术风险和成本风险.

1.3 挤压试验

在6500 T卧式挤压机上,用所制造的挤压模具对D385 mm的6005A铝合金铸棒进行挤压试验,挤压时在型材出口处进行在线水冷淬火,最后进行人工时效热处理.

挤压试验的工艺参数为:挤压速度3 mm/s,挤压比17. 铝合金铸棒、挤压模具与挤压筒的预热温度分别为470 ℃,450 ℃与420 ℃,铝合金材料与模具之间的摩擦系数为0.3~0.4.

2 结果与分析

2.1 铝合金车体型材结构分析

图3是某城市轨道交通铝合金车体型材截面图,该型材具有如下特点:(1)型材截面的最大宽度超过500 mm,壁厚差距比较大,扁宽特征明显,型材的线密度超过20 kg/m,交货长度10~30 m,需要大型挤压机才能挤压生产.(2)该型材属于大型中空多腔体薄壁结构,需采用复杂的分流组合模具.(3)由于采用6005A中高强度铝合金进行挤压,使在线水冷变形、强度性能控制的难度较大.

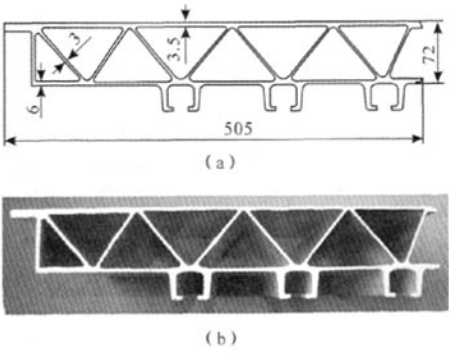


图3 城市轨道交通铝合金车体型材截面图

(a)型材截面图;(b)实物照片

Fig.3 Cross-section of the urban track traffic aluminum alloy car body profile

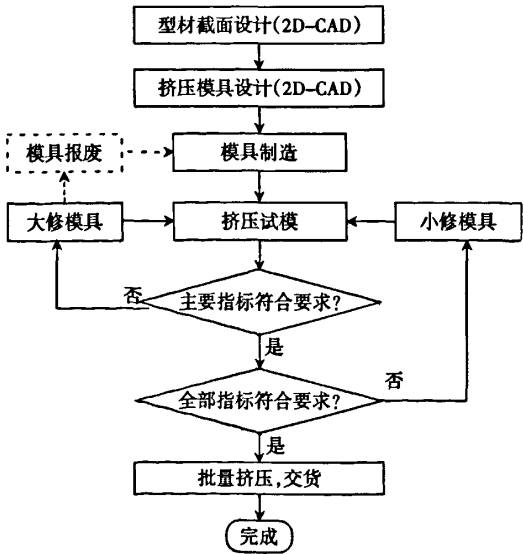


图2 传统铝型材挤压技术路线图

Fig.2 Extrusion technology of traditional aluminum profile

2.2 铝合金车体型材仿真分析

对该铝合金车体型材进行仿真分析,在第一次

仿真分析的基础上,又进行了两次模具结构优化,结构的流速结果统计.表3是第2次结构优化后模具的高温工作状态指标.

表1 铝合金车体型材挤压仿真验证对比
Table 1 Extrusion simulation verify comparison of aluminum car body profile

仿真次序	工作内容	目的	实际试模结果	一致性判断
第1次	(1)型材结构分析及挤压模具方案讨论	(1)确定分流组合模初步结构	型材两端流速差距大,型材扭曲严重,型材严重变薄,变形很大	试模与仿真结果一致
	(2)挤压模具 3D-CAD 造型	(2)Solidworks 三维建模		
	(3)挤压模具 3D-CAE 前处理及仿真计算	(3)HyperXtrude 建模及计算		
第2次	(1)修改导流模入料角	(1)提高型材中部供料能力	型材整体流速平衡,中间供料仍不足,挤压速度提高	试模与仿真结果一致
	(2)删除导流模中间桥位	(2)提高型材中部流速		
	(3)缩短工作带	(3)降低摩擦力		
第3次	修改分流孔及入料角 平滑过渡修改	调节平衡型材宽度方向金属流速与供料	型材全部指标符合图纸要求	试模与仿真结果一致

由表1可见,HyperXtrude 挤压仿真分析结果与实际试模结果一致,仿真分析结果可以采信,将其应用于设计大型复杂铝合金型材挤压模具中可以大大减少试模的次数.

表2 铝合金车体型材仿真分析流速结果统计
Table 2 Extrusion simulation fluid field statistical analysis of aluminum car body profile

分流孔中心流速 /(mm·s ⁻¹)	焊合室中心流速 /(mm·s ⁻¹)	焊合室出口流速 /(mm·s ⁻¹)	型材出口流速 /(mm·s ⁻¹)
43.458~25.017	65.069~45.306	221.21~183.779	340.527~262.789

由表2可见,经过模具结构及挤压工艺的优化之后,挤压时模具中的铝合金流速分布比较均匀,型材料头的整体变形及严重偏差已经消除,说明优化方案是有效的.

表3 铝合金车体型材挤压模具高温工作状态指标
Table 3 High temperature work status indices of extrusion die of aluminum car body profile

	变形量/mm			温度分布 /℃	应力分布 /MPa
	x 方向	y 方向	z 方向(挤压方向)		
凸模	0.3737~-0.4452	—	0.9127~0	584.1~599.9	581.6~607.8
凹模	—	0.1104~-0.1239	0.3646~0	459.4~1.009	502.0~0.05766

由表3可见,模具的最高温度为584.1℃,最高应力为607.8MPa,H13模具钢在600℃时的抗拉强度和屈服强度分别为946MPa和834MPa^[8],由此可判断该模具结构受力安全(图4).

2.3 挤压仿真工艺的技术经济分析

将挤压仿真方法与传统方法进行了技术经济指标的分析对比,结果列于表4.

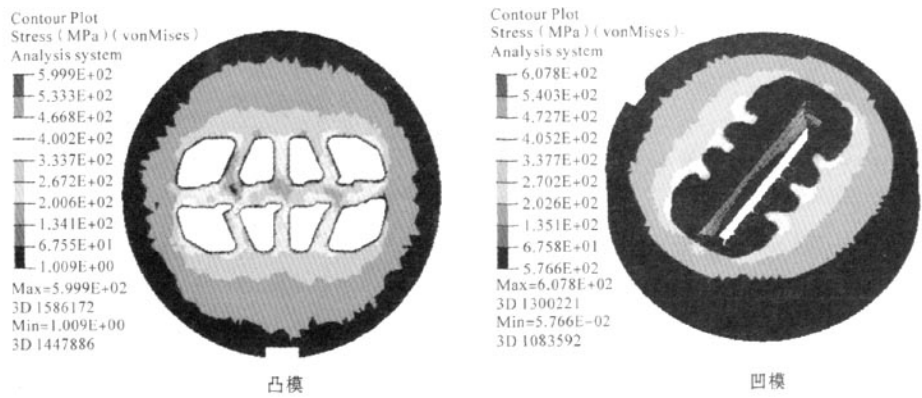


图4 铝合金车体型材挤压模具强度校核
Fig. 4 Strength calibration of extrusion die of aluminum car body profile

表4 铝合金车体型材挤压仿真工艺技术经济指标对比
Table 4 Techno-economic indices analysis of extrusion simulation

	试模次数	耗时/天	降低模具成本
传统方法	6~10次	40~45	—
挤压仿真	2~3次	16~20	2~3万元/套

由表4可见,与传统方法相比,挤压仿真方法可避免模具设计与制造过程中的盲目性,显著提高效率,降低成本,但软硬件条件的建设及人员的培训等方面需要超过百万元的前期投入。

目前,挤压仿真方法虽然还不能完全取消试模,但可在模具制造之前预测、分析模具设计方案存在的问题,并及时对其进行修正、优化,向虚拟制造靠近,避免模具大修或者报废的风险,显著减少试模次数、缩短工期,降低能耗,避免模具设计开发的盲目性,这在设计开发大型复杂模具中显得非常重要。

3 结 语

利用挤压仿真技术,提高了城市轨道交通铝合金车体型材挤压模具的设计与挤压工艺的效率,大

大减少了试模次数,缩短了工期,降低了能耗,实现了仿真技术的创新性应用。

对挤压仿真技术进行深入开发和工艺性研究,最终实现“零试模”是设计制造大型复杂模具所追求的目标。

参考文献:

[1] 王炎金,丁国华,王俊玖. 铝合金车体制造技术在中国的发展现状和展望[J]. 焊接,2004(10):5-7.
[2] 叶朋飞,王煜,吕庆玉,等. 高速列车车体用铝合金型材的生产工艺[J]. 轻合金加工技术,2009,37(3):40-43.
[3] 何永强,刘丰芹,何清和,等. 机车车体常用金属材料分析[J]. 电力机车与城轨车辆,2006,29(1):27-29.
[4] 员华,邹鹏. 不锈钢车体与铝合金车体的现状及发展[J]. 都市快轨交通,2008,21(3):89-91.
[5] 张志华. 动车组铝合金车体结构强度分析[D]. 北京:北京交通大学,2007.
[6] 周建乐,王军. 地铁车辆铝合金车体的设计[J]. 城市轨道交通研究,2000(2):53-56.
[7] 王慧玲. 高速铁路客车铝合金车体的研究[D]. 大连:大连铁道学院,2003.
[8] 许发铤. 实用模具设计与制造手册[M]. 北京:机械工业出版社,2001:1331.

Research of extrusion simulation technology for urban track traffic aluminum alloy car body profile

LIANG Yi-qing¹, WU Xi-kun¹, HUANG Zhen-yuan^{1,2}

(1. *Guangdong Xingfa Aluminium Co., Ltd., Guangdong Foshan 528061, China*; 2. *South China University of Technology, School of Mechanical & Automotive Engineering, Guangdong Guangzhou 510641, China*)

Abstract: The urban track traffic aluminum alloy car body profile is characteristic of super-long complicated large section, thin wall, flat and wide and strict requirement of comprehensive performance, therefore the die design and profile extrusion process are key technology. In order to realize breakthrough of the technology and lower the composite cost, the HyperXtrude simulation software is used to investigate the process of aluminum extrusion. The results indicate that extrusion simulation technology could predict the field of aluminum fluid, temperature and stress, etc., which will help the transforming of extrusion die visual manufacture, realizing its innovative application in extrusion process and complicated die design of the urban track traffic body profile.

Key words: urban track traffic; aluminum alloy car body; profile; extrusion simulation