

低成本钣金成形模具技术

Technology of Low-Cost Sheet Metal Forming Mould and Die

西北工业大学陕西省数字化制造工程技术研究中心 刘天骄 王永军
西安飞机国际航空制造股份有限公司 宣娟娟 王顺红



刘天骄

西北工业大学机电学院航空宇航制造工程专业博士研究生。主要研究方向为型材拉弯成形工艺及理论。

钣金成形模具在钣金零件的成形过程中起着重要的作用,其基本要求主要有:制造精度高、使用寿命长、模具成本低和制造周期短4个方面。在设计与制造模具时,应该根据实际情况作全面的考虑,即应在保证产品质量的前提下,选择与产品产量相适应的模具结构和制造方法,使模具成本降低到最低的限度,以提高产品的市场竞争能力^[1]。

模具成本一般包括:设计成本、材料成本、制造成本和管理成本等。

钣金成形模具在钣金零件的成形过程中起着重要的作用,其基本要求主要有:制造精度高、使用寿命长、模具成本低和制造周期短4个方面。在设计与制造模具时,应该根据实际情况作全面的考虑,即应在保证产品质量的前提下,选择与产品产量相适应的模具结构和制造方法,使模具成本降低到最低的限度,以提高产品的市场竞争能力。

根据经验和统计,生产成本中各种成本的比例如表1所示^[2]。

本文主要从表1中的几个方面综述了低成本钣金成形模具技术。

表1 生产成本比例统计

序号	项目费用	所占比例 /%
1	设计	10 ~ 25
2	材料	15 ~ 35
3	制造	35 ~ 65
4	管理	8 ~ 20
5	其他	≥ 5

材料方面

制造模具的材料包括钢、铸铁、硬质合金和有色金属等金属材料,以及陶瓷、石膏、环氧树脂和木材等非金属材料。对于大型薄板件、覆盖件,通常采用钢模来生产,但其制造周期

长、难度大、成本高^[3]。因此可以采用木材、石膏、水泥等材料来制造模具,工艺简单,成本低。例如,用木材制造的型材拉弯模具和用合成树脂制造的拉伸成形模在扶梯、飞机等制造中得到广泛应用。

1 木模具

在通常情况下,按照图样加工和装配的模具还不能完全满足产品生产的要求,因为模具的设计与制造,产品的设计和成形工艺等任何一个环节有缺陷或存在问题都会在模具调试中通过制件反映出来。例如型材拉弯模具调试主要包括零件的成形性(破裂、起皱和截面畸变)调试和模具的型面回弹补偿修正调试。型面回弹补偿修正调试工作一般过程如图1所示。

采用木模具(如图2所示)进行拉弯模具回弹补偿修正调试,依据调

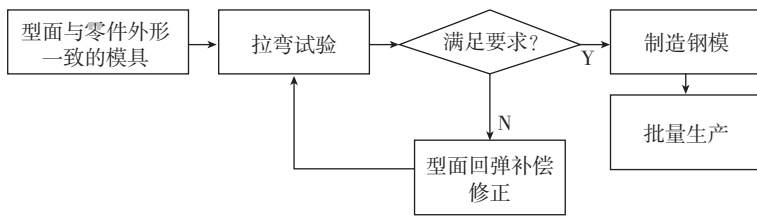


图1 型材拉弯模具回弹补偿修正

试好的木模制造钢模,批量生产,可以降低成本。木模与钢模比较,材料低廉,加工方便,重量轻,对于一些批量不大的型材拉弯零件,可直接用木模进行生产。



图2 型材拉弯木模

2 合成树脂模具

合成树脂模具与金属模具相比,虽然其强度和耐用性较差,但制造周期短、成本低、维护方便。在新产品试制或制作批量较小的情况下,可采用合成树脂制作薄钢板和铝板的弯曲和拉深模具。制造模具用的合成树脂有:聚酯树脂、酚醛树脂、环氧树脂等。例如,为了降低成本,蒙皮拉形模采用环氧树脂制造模面,试制阶段,采用石膏、水泥、木材制造模体;批产阶段则采用金属模框内灌混凝土制造模体,如图3所示。随着飞机机身加大和蒙皮厚度的增加,复合材料制造的混合结构轻型拉形模得到迅速发展和广泛使用^[4]。



图3 拉形模

制造方面

随着模具制造技术的发展,对于

凸、凹模等模具工作零件,除了采用切削加工和特种加工方法外,还可采用冷挤压、超塑性成形和铸造成形等方法进行制造。为了降低制造成本,可采用消失模铸造制模技术、低熔点合金制模技术和快速成形制模技术制造模具。

1 消失模铸造制模技术

用铸造方法代替机械加工方法(特别是对形状复杂的立体曲面加工)制造模具零件,可以缩短模具制造周期,简化模具结构,降低模具成本。这种制模技术对新产品试制、老产品改型、中小批量和多品种的生产具有显著的经济效益^[5]。

消失模铸造(实型铸造)是将与铸件尺寸形状相似的泡沫模型粘结组合成模型簇,刷涂耐火涂料并烘干后,埋在干石英砂中振动造型,在负压下浇注,使模型气化,液体金属占据模型位置,凝固冷却后形成铸件的新型铸造方法。

消失模铸造的特点有:铸件质量好,成本低;材质不限,大小皆宜;尺寸精度高,表面光洁,减少清理,节省机加;内部缺陷大大减少,组织致密;可实现大规模、大批量生产;可以改善作业环境、降低劳动强度、减少能源消耗^[6]。

2 低熔点合金制模技术

低熔点合金模具是采用熔点较低的有色金属合金作为铸模材料,以样件为基准,在熔箱内铸模成形的一种模具。低熔点合金材料,在模具中占有相当比例,可节省大量钢材,同时合金材料可以反复使用,损耗很小,模具失效后,合金材料仍可以继续使用。与钢模相比,模具制造成本

可降低60%~80%,耗用钢材可减少70%~80%。此外,其制模工艺简单、制模周期短,有利于提高产品质量。

低熔点合金模具可用于拉伸成形模、压形模、压弯模、翻边模,也可用于镶钢的落料模和切边模^[7]。例如,铋锡合金材料由于具有熔点低、流动性好、浇铸成形方便、无收缩和材料可以反复使用等优点,被广泛用于制造大型覆盖件成形模^[8]。

3 快速成形制模技术

快速制模(RT)技术,即依据快速成形制作的实体模型。样模(母模)采用拷贝方式(如金属喷涂、电镀、复合材料浇注、精铸等)快速制造模具主要工作零件(凸、凹模或模腔、模芯),其制造周期一般为传统的数控切削方法的1/5~1/10,而成本却仅为其1/3~1/5。RT技术广泛应用于机械、汽车、电器、航天航空等领域^[9]。例如用环氧树脂或其中混入金属、陶瓷、玻璃等增强材料制作的快速软模,可用于上百件汽车覆盖件试制,其主要特点是制造工艺简单、生产周期短、价格便宜。由于金属材料具有优良的综合性能,金属模具低成本快速制造成为金属模具制造技术的发展方向^[10]。

结构形式方面

传统凸凹模的结构形式有整体式、组合式和镶拼式。组合式和镶拼式模具的非工作部分一般采用普通材料制造,工作部分采用模具钢制造,制造成本低、维修方便。随着结构形式的创新,一种称为多点成形模具的新型结构形式逐渐由实验室进入生产应用领域,多点成形模不仅改善了成形工艺,还降低了模具制造成本。

1 镶拼式模具

镶拼式凸凹模是指将复杂的凸、凹模按一定原则分成若干块,各拼块加工后再镶拼成一体。镶拼式结构和整体式结构相比,模具工作零件分块加工,简化了毛坯的锻造,加工工

艺性好;可减少模具材料的消耗,降低模具生产成本;把内形加工变成外形加工,加工方便;并且,减轻热处理的困难。

例如凹模采用镶拼式结构,把复杂的内腔变成外形加工,从而减小模具制造的难度。这样既节省了模具钢材料和热处理的费用,又便于机械加工,使模具易于修整与调试,既能保证冲压工艺的要求,又可以提高试模合格率^[11]。

2 多点成形模具

将传统的整体模具离散化,变成形状可变的“柔性模具”,则可用于任意形状的板材成形。多点成形的核心原理^[12]是将传统的整体模具离散成一系列规则排列、高度可调的基本体(冲头)。在整体模具成形中,板材由模具曲面来成形,而在多点成形中则由基本体冲头的包络面(成形曲面)来成形。多点成形技术主要有橡胶垫成形、模具型面可变的蒙皮拉形和液压柔性模成形技术等。

橡胶垫成形^[13]的工作原理是:以橡胶垫代替传统模具中的上模,下模由传统的整体式转变为由离散单元杆组成。而在离散模具中,将下模的整体式改变成为离散式,由一系列离散杆单元组合成下模,下模成型面由单元杆杆头拟合形成。

模具型面可变的蒙皮成形^[14]装置的工作原理是:多点模具以多个高度可调的顶杆代替固定的实体模具基体,以各个顶杆顶端构成的包络面取代实体模具的表面,通过调整顶杆的高度可使杆端表面近似地构成任意曲面,如图4所示。由于传统的拉形工艺对模具的要求较高,并且每个零件

都需要单独制造模具,模具的制造成本极高。多点模具用于拉形工艺,将节省大量的模具制造费用,而且应用数控技术可快速地生成所需的目标曲面,工作效率也将明显提高^[15]。

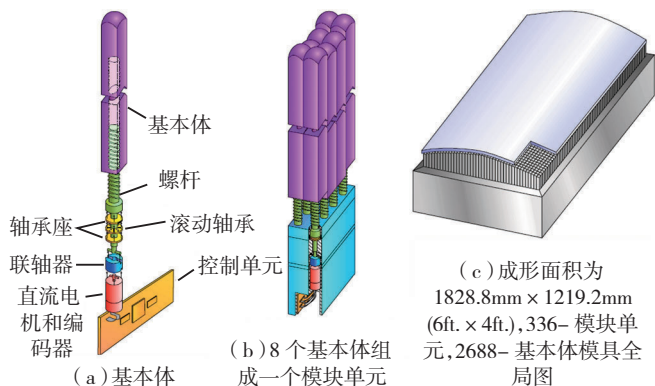


图4 模块化模具结构

采用多点成形技术可以节省大量的模具设计、制造及修模调试的费用,这种成形方法在轮船、舰艇、航空、航天、车辆、化工、压力容器等诸多行业的覆盖件三维曲面成形中具有广阔的应用前景^[16]。

设计方面

采用计算机辅助设计技术,模具设计者可以检索有关技术资料和前人积累的经验,为模具设计和工艺提供科学依据;采用一系列优化设计程序,通过人机交互、反复修改,实现最优设计;通过计算机模拟成形过程,预测成形过程中的变形情况,以及零件中的应力分布和翘曲变形等情况,可以减少甚至避免模具返修报废、提高制品质量和降低成本等^[17]。在钣金成形模具中,回弹一直是成形中面临的主要问题,目前解决的方法主要有:一是通过数值模拟成形过程来优化工艺参数,以减小回弹;二

是通过数值模拟回弹过程来计算回弹量,以修改模具型面补偿回弹^[18],下面以型材拉弯成形的回弹补偿模具设计为例说明。

为了降低型材拉弯模具的成本,可以采用数值模拟的方法,进行模具型面回弹补偿设计,如图5所示。首先,通过数值模拟型材拉弯成形过程,预测零件的变形情况,分析拉弯零件的成形性(破裂、起皱和截面畸变),优化成形工艺参数;然后,根据优化的工艺参数进行型材拉弯回弹数值模拟,分析成形后零件的回弹量,在计算机上对模具型面进行回弹补偿修正,再进行修模后零件拉弯成形仿真,直到成形结果满足生产要求,将已修正的模具型面用于模具制造,总结以上过程如图6所示。波音公司通过应用工艺仿真技术,减少了拉弯道次、优化了成形参数、补偿了拉弯模面,使得零件制造成本降低,零件制造精度提高^[19]。

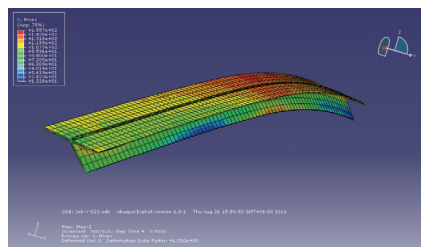


图5 拉弯成形有限元模拟

采用这种设计方法,不仅可以用于型材拉弯模具型面回弹修正,在板料的液压成形中,回弹的补偿修正设计,同样可以减少修模工作量,降低模具制造成本,如图7所示。

波音公司在蒙皮拉形工艺中应用工艺仿真优化、模面回弹补偿等工艺设计技术,优化了拉形轨迹,避免

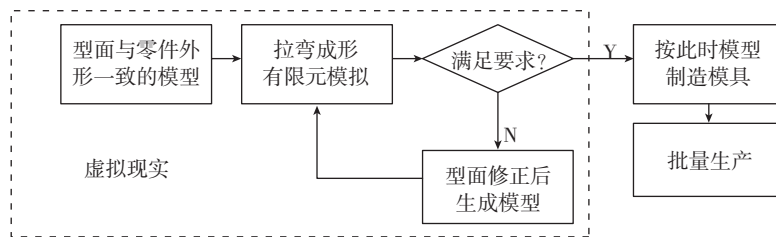


图6 拉弯有限元仿真回弹补偿修模设计

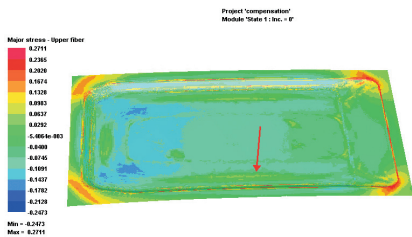


图7 橡皮囊液压成形有限元模拟

了翘曲和破裂,使蒙皮质量明显提高,从而使每件蒙皮零件的制造成本降低了1/3~1/2。最后,仅“737”项目每年就节省成本二百万美元^[20]。

管理方面

制造成本的降低不仅要依靠合理的选材、设计、加工工艺流程和减少试模次数、降低试模成本,而且还要从管理的角度出发,提高标准件利用率、加强零部件的标准化和系列化^[21]。另外,推进模具企业的集群化和数字化也是降低生产成本的重要环节。

1 标准化

模具标准化,就是将模具许多零件的形状和尺寸以及各种典型组合和典型结构按统一结构及尺寸,实行统一标准系列,并组织专业化生产,以满足用户需求。模具标准化是一项综合性技术工作和管理工作,它涉及模具设计、制造、材料、检验和使用的各个环节^[22]。

模具标准件生产和销售供应体系使工时节约率达25%~45%;中等复杂程度的模具制造周期已缩短到1.5~2个月,并使模具制造精度普遍达到精密级^[23]。

2 集群化

集群化是指大量相互关联的企业以及与知识生产、知识传播相关的大学、中介机构等在地缘上的聚集,这些企业与机构之间建立起密切的合作关系,沿着生产价值链进行分工,从而形成知识创造与知识使用的有机整体^[24]。

集群化可使机器设备得到最有效的利用,降低管理成本及原料采购和产品销售的费用。在模具产业集

群化过程中,模具业在一个区域拥有生产多种产品的成本优势^[25]。

3 数字化

以CAD/CAE/CAM/CAPP/PLM等为核心的数字化制造体系,缩短了模具的加工周期,提高了模具的精度,减少了模具加工过程中人为失误造成的损失,也方便了企业的体系管理,使企业制造生产向集约型发展,更有利于企业适应高速多变的制造业发展要求^[26]。

美国率先将计算机技术应用于模具工业,实现模具CAD/CAE/CAM一体化系统,达到提高模具设计效果与加工质量和缩短生产周期的目的。据文献统计,国外采用模具CAD/CAE/CAM技术可使设计时间缩短50%,制造时间缩短30%,成本下降10%,原料节省7%,一次试模成功率提高45%~50%^[27]。

总结

本文主要从以下几个方面综述了低成本钣金成形模具技术:材料方面,低成本木模具技术和合成树脂模具技术;制造方面,低成本消失模铸造制模技术、低熔点合金制模技术和快速制模技术;结构形式方面,低成本镶拼式模具技术和多点模技术;设计方面,CAD降低模具制造成本技术;管理方面,模具企业的标准化、集群化和数字化。在产品市场多样化的环境条件下,随着模具制造理念的创新,产品改型速度的加快,模具年需求量的增加,低成本模具技术将获得越来越广泛的应用。

参考文献

[1] 王宏霞,吴燕华. 模具制造技术基础. 北京:北京理工大学出版社,2011.4-4.
 [2] 张琳. 模具制造过程中成本控制及统计分析. 武汉:华中科技大学,2007.
 [3] 刘林强,田福祥. 低熔点合金模具在板料冲压工艺中的应用. 电加工与模具,2004(增刊):75-78.
 [4] 许家云. 国外蒙皮拉形模的结构及

制造工艺. 教练机,1981(1).

[5] 王宏霞,吴燕华. 模具制造技术基础. 北京:北京理工大学出版社,2011.233-233.
 [6] 王忠祥. 消失模技术的应用及其展望. 科技信息,2007(7):39-91.
 [7] 黄延平. 低熔点合金模具的优越性. 冶金设备,2008(4):78-80.
 [8] 曾健华,张耀业,付宪丕,等. 铋锡合金自铸成形模具设计及应用. 模具设计与制造,49-51.
 [9] 彭广威. 快速成形技术在快速模具制造中的应用. 锻压技术,2007(6):26-30.
 [10] 张海鸥. 快速模具制造技术的现状及其发展趋势. 模具技术,2000(6):84-89.
 [11] 曹甜冬,唐燕华. 镶拼式模具结构在生产中的应用. 荆门职业技术学院学报,2004(3):23-26.
 [12] Li M Z, Liu Y H. Multipoint forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 87: 277-280.
 [13] Boers S H A, Schreurs P J G, Geers M G D. Optimum path and discrete 3D forming [EB/OL]. 2004[2012-03-20]. Http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/4821.pdf.
 [14] Papazian J M, Anagnostou E L, Jr Christ R, et al. Tooling for rapid sheet metal Parts Production. 6th joint FAA/DoD/NASA Conference on Aging Aircraft, San Francisco, CA, USA. 2002.
 [15] 周朝晖,蔡中义,李明哲. 多点模具的拉形工艺及其数值模拟. 吉林大学学报,2005,35(3):288-291.
 [16] 李东平,隋振,蔡中义,等. 板材多点成形技术研究综述. 塑性工程学报,2001,8(2):46-48.
 [17] 马忠臣,李强,杨秀琳. 现代模具工业发展述评. 模具技术,2006,3:23-24.
 [18] 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. 机械工程学报,2009(11):184-188.
 [19] Wade D A. Accurate FEA prediction of extrusion forming to improve aircraft design and manufacturing // Manufacturing Research and Development. Toulouse: MSC Software Corporation, 2002.1-6.
 [20] Corporation M S. MSC virtual manufacturing. USA: MSC Software Corporation, 2001: 22-24.
 本文共有参考文献27篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 亦非)