DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.11.021

铝合金轮毂近净成形技术工艺研究进展

李月樵[1],朱建胜[1],李　凝[2],胡成群[1],伍海龙[3],蔡　勇[1],盛　婷[1]

(1.金华市计量质量科学研究院,浙江 金华 321000;2.浙江师范大学 行知学院,浙江 金华 321000;3.浙江保康轮毂制造有限公司,浙江 武义 321000)

摘　要:随着汽车轻量化及使用工况对汽车零部件性能要求的提高,汽车轮毂生产一直采用的铸造生产技术对轮毂性能的提升存在技术极限,近来出现的近净成形技术成为了铝合金轮毂性能提升的关键技术。半固态成形技术、粉末冶金成形技术、旋压成形技术、挤压成形技术在铝合金轮毂生产成形方面均已获得应用。概述了该类技术在成形轮毂时的基本工艺流程,以期在铝合金的近净成形生产过程中具有一定的参考价值。

关键词:铝合金;近净成形;轮毂;新工艺

中图分类号:TG146.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)11-1095-04

Research Progress on Near Net-shape Forming Technology for Aluminum Alloy Wheel Hub

LI Yueqiao[1], ZHU Jiansheng[1], LI Ning[2], HU Chengqun[1], WU Hailong[3], CAI Yong[1], SHENG Ting[1]

(1. Jinhua Quality Technology Supervision Detection Institute, Jinhua 321000, China; 2. Xingzhi College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321000, China; 3. Zhejiang Baokang Hub Manufacturing Co., Ltd., Wuyi 321000, China)

Abstract: With the improvement of automobile lightweight and service conditions on the performance of automobile parts, the casting production technology always used in automobile wheel hub production has its technical limit to improve the performance of the wheel hub. Recently, the near-net forming technology has become the key technology to improve the performance of aluminum alloy wheel hub. Semi-solid forming technology, powder metallurgy forming technology, spinning forming technology, extrusion forming technology have been applied in the production and forming of aluminum alloy hub. The basic process flow of this kind of technology in the forming of wheel hub is summarized, in order to have a certain reference value in the production process of near-net forming aluminum alloy.

Key words: aluminum alloy; near net-shape forming; wheel hub; new technology

轮毂(图 1)是外安装轮胎内廓、中心装在驱动轴上的用以支撑轮胎的圆形的重要金属部件。它除了承受车辆的整体重量的正压力外,还承受因车辆启动、制动时扭矩的交互作用,以及行驶过程中转向、冲击等来自各个方向的不规则受力[1-5]。现如今大部分汽车轮毂均采用铝合金材质,与钢制汽车轮毂相比,铝合金轮毂能够更好地满足良好的耐磨耐老化和良好的气密性,较小的滚动阻力和行驶噪声,具有精美的外观和装饰性,尺寸精度高,质量轻且不平衡度小,耐疲劳性好,折装方便,互换性好等要求。

随着新材料和车轮轮毂制造技术的不断进步,在车辆安全性、舒适性和轻量化等方面对轮毂的工况使用性能提出更高要求[4]。目前汽车轮毂的铸造生产技术对轮毂性能的提升存在技术极限,近净成形技术成为了铝合金轮毂的性能提升的关键技术。近净成形技术是指零件成形后,改造传统毛坯到零件的成型加工工艺,仅需少量加工或不再加工,就可用作机械构件,使零件成形变为优质、高效、高精度、轻量化、低成本的成形技术[4-6]。马春江[7]等对比铸造和挤压铝合金轮毂的组织和力学性能发现,挤压成形工艺铝合金的力学性能明显优于铸造工艺,且材料的弯曲疲劳强度、耐冲击性能等都能满足重载力工况使用条件。结合有限元分析技术和实验研究,建立轮毂不同位置应力状态与材料组织结构之间的关系,用以改善铝合金轮毂的结构承载力学关系,为实际的轮毂模具设计提供理论依据[8]。变形铝合金的力学性能具有比铸造铝合金更好的综合性能,但由于其成形工艺复杂、工艺参数控制难度大、制造成本

收稿日期:2020-08-12

基金项目:浙江省市场监督管理局 NQI 项目(20190128)

作者简介:李月樵(1973-),女,浙江金华人,高级工程师.主要从事质量计量标准、汽车零部件检测分析方面的工作.

通讯作者:李　凝(1981-),山东菏泽人,博士(后),副教授.研究方向:铝合金材料研究.电话:18757903889



1- 轮辋；2- 轮辐；3- 气门孔；4- 槽底；5- 轮缘；6- 胎圈座；7- 偏距

图 1 轮毂结构图

Fig.1 The structure of wheel hub

高等原因，目前仍处于起步发展阶段。本文针对在铝合金轮毂生产成形方面现已应用的半固态成形技术、粉末冶金成形技术、旋压成形技术、挤压成形技术的基本工艺流程进行总结与分析研究。

1 轮毂成形的几种近净成形技术

1.1 半固态成形

铝合金的半固态成形简单来说是将室温下完全结晶状态的合金加热到材料的“混沌”状态，即“液-固”混合态，在外力作用下，将重结晶后的枝晶打碎、压入预先设计好的模具型腔，以实现零件的固态化成形过程[9-11]。与传统的锻造相比，其材料所处的温度区间不同；与铸造成形零部件材料相比，具有孔隙度小、组织结构细化的特点。其成形基本工艺流程如图 2。

固相流变成形是目前已用于企业生产的半固态成形的主要方法，其成形原理如图 3。其一是在加热过程中利用坩埚壁对液态合金的冷却形核和旋转作用，为熔体冷却提供成分场和温度场，从而得到较高固相率的半固态浆料；其二是将与金属液成分相同的金属固体制作成搅拌棒，控制熔体焓熵的同时搅拌剪切熔体，或通过石磨棒及其设计的通气孔向熔体中通入惰性气体，净化熔体的同时对熔体产生强烈搅拌作用，得到高固相率的半固态浆料。

1.2 粉末冶金成形

粉末冶金成形技术是将粉体材料通过强力压缩成固态状，在通过烧结工艺将两接触的粉体材料熔覆焊接，组成实体材料或带有孔洞结构的复合材料的成形技术[12]。粉末冶金成形工艺的基本流程图如图 4。

将颗粒状粉体基体材料、增强物、粘结剂等按照一定比例，采用适当的混合搅拌方式搅拌均匀，放入

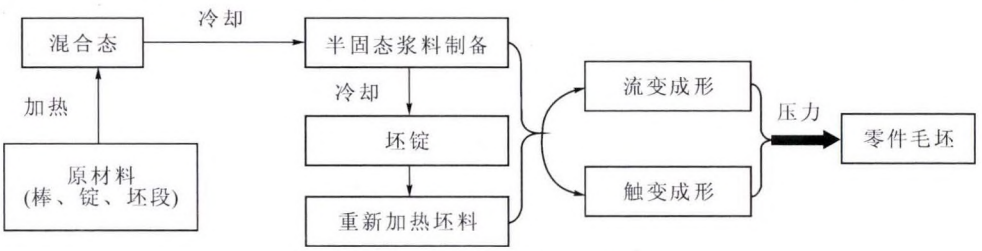


图 2 半固态成形基本工艺流程

Fig.2 The semi-solid forming process



图 3 半固态成形原理结构图

Fig.3 The principle of semi-solid forming

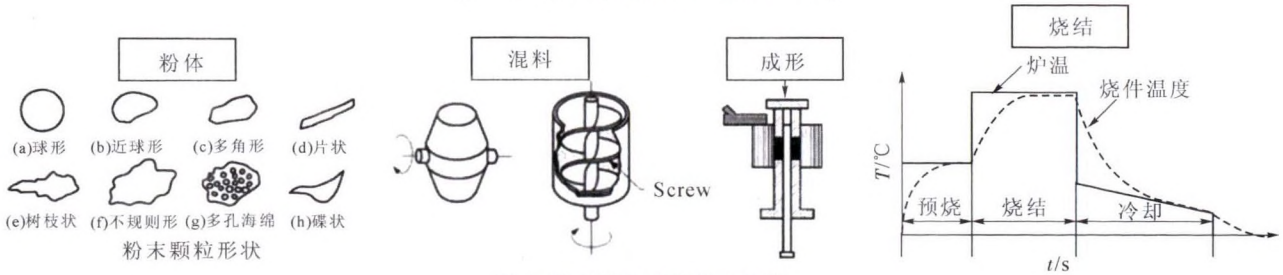


图 4 粉末冶金成形基本流程

Fig.4 Powder metallurgy process

预制成形模具内，利用高压或真空工艺实现粉体块状材料（预设零件）成形，而后将块状物放入烧结炉高温烧结，让粉体材料在相对较高的温度下熔态衔接，去除粘结剂等附加成分，成形后的固化物零件具有较高的致密性与强度等性能，采用适当的热处理工艺在此对成形后的零件进行去应力等性能改进，以提高粉末成形零件的工况使用性能。具体成形过程见图 5 所示。

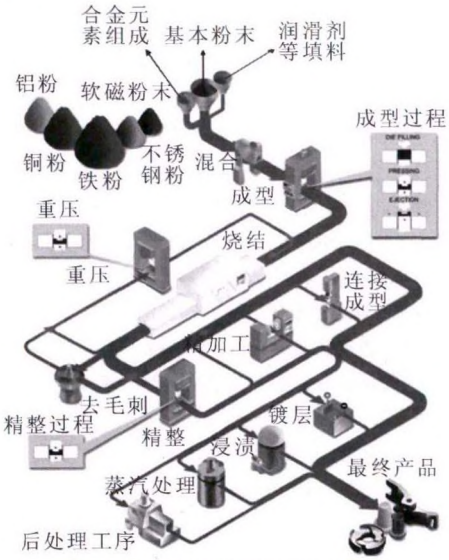


图 5 粉末冶金成形工艺及流程

Fig.5 Powder metallurgy forming technology and procedure

1.3 旋压成形

旋压工艺严格意义上说属于“铸造”分支，生产过程中，首先，以“铸造”方式将轮毂的盘面造型与轮辋粗胚生产出来，进而采用旋轮压力作用，通过数道次的旋压，压力成形与设计零件尺寸相近或相同的结构形状的零件[8-10]。铝合金轮毂的旋压成形工艺路线如下：铸造 / 锻造毛坯—加热—旋压道次（n 道次）—机加工余料—热处理及表面处理，见图 6。

铸造 / 锻造毛坯是将轮毂的两个端面 / 盘面采用造型或模具设计出来，利用液态成形或压力加工将轮辋粗胚生产出来，毛坯看起来是一宽度较短、内部轮辋较厚的轮毂，在加热后仍在固态的条件下，提高材料的流动成形性能，采用高压滚轮对侧面施以压力，对轮辋粗胚的侧面加压延伸，将坯料拉长变薄，重新塑型，同时压实撵展材料内部组织结构，提高材料强度等物理机械性能。结合相关的实验参数，通过弧度数据的优化，改进轮毂的承载力作用点和美学的纵向结构，以减少轮毂在行驶滚动过程中的变形量，提高金属材料的疲劳强度，提高轮毂的力学性能和使用寿命。

1.4 挤压成形

挤压成形是采用强力将可塑性材料挤压成预设模型的一种成形方法[12-15]，主要有常温挤压和高温挤压。常温挤压下的材料塑性相对高温来说较差，需要极大的挤压力，模具需要具有极强的抗变形能力。整个挤压过程，受到三向应力的材料的组织和机械性能得到明显改善，该成形工艺操作简单，材料利用率高，生产效率高。

铝合金轮毂的挤压成形工艺路线可以简单制定如图 7 所示：下料—正挤压—复合挤压—胀形—机加工连皮及余料—热处理及表面处理。

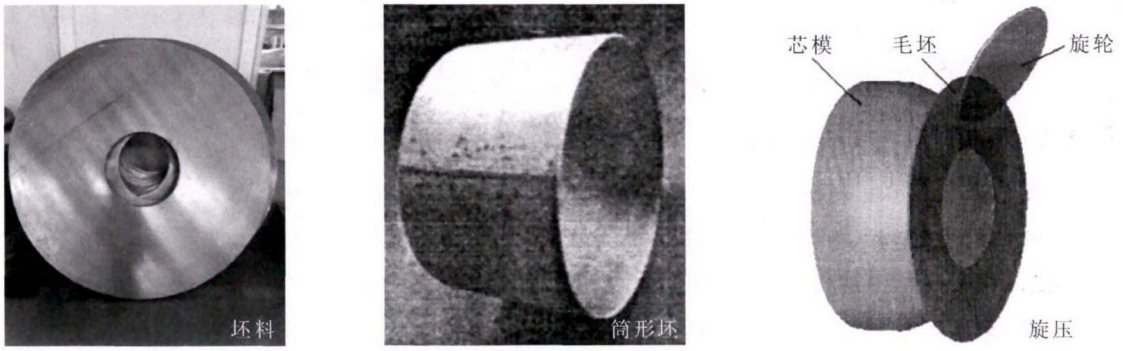


图 6 旋压成形工艺基本流程

Fig.6 Spinning forming process

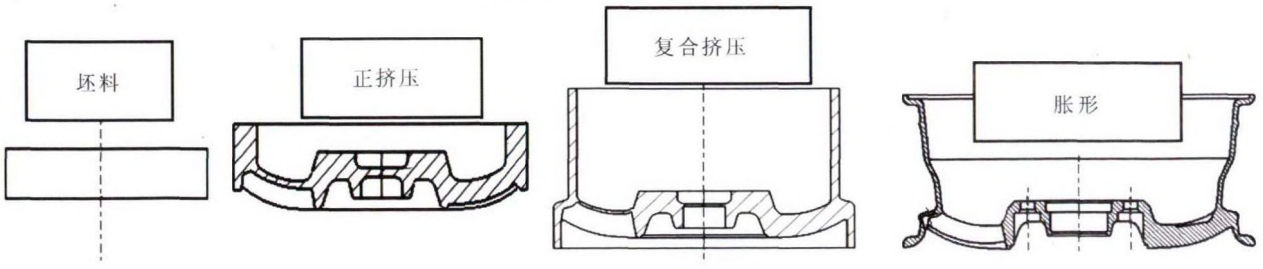


图 7 轮毂挤压成形工序

Fig.7 Hub extrusion process

铝合金的挤压塑性变形温度范围比较窄，动变形相对静变形温度区间更窄，因此在加热过程中需要精确的温度控制区间。铝合金质地相对较软，流动性较差，对坯料进行充分的均匀化处理，以提高塑性和降低变形抗力。与模具的外摩擦系数较大，挤压时难于成形。在挤压成形时，需要降低铝合金材料与模具之间的摩擦系数，降低抗形阻力，在合适的流变速率下挤压成形。对成形后的轮毂坯料进行后续热处理以提高材料的工况使用性能。

2　小结

近净成形是以成形零件的少或无加工余量为基础的成形过程，是以优化的材料成形工艺参数为前提，材料的利用率高，成形的零部件缺陷少而质量高。随着智能制造技术的发展，近净成形的在线监测和控制系统成为提高近净成形技术的核心技术，其辅件机构：专机智能手、智慧分料系统等也是目前近净成形技术的关键技术。对于轮毂的近净成形来说，提高在线自动化技术和质量一致性是目前轮毂制造的关键所在，希望能够通过在线监测技术和自动化机器人技术实现轮毂的质量提升。

参考文献：

[1] Dariusz KUC, Eugeniusz HADASIK, Andrzej GONTARZ. Forging technology of magnesium alloys [J]. Hutnik, wiadomosci hutnicze.2012, 79(8): 610-613.

[2] 李元东，刘兴海，张心龙，等. 变形铝合金半固态近净成形研究进展，特种铸造及有色合金[J]. 2013(专辑):16-24.

[3] 王剑锋. 基于 BP 神经网络的镁合金轮毂旋转挤压工艺[J]. 锻压技术，2020, 45(6): 111-115.

[4] Wei Pang, Weiping Wang, Wenhao Zhang, et al. Modeling and Optimization for Lightweight Design of Aluminum Alloy Wheel Hub [J]. Key Engineering Materials, 2017, 723: 322-328.

[5] 王瑞，朱慧，张恒华，等. 低压半固态铸造 A356 铝合金轮毂成形工艺的模拟与缺陷分析[J]. 上海金属，2014(4): 47-51.

[6] Song W., Woods J.L., Davis R.T., et al. Failure Analysis and Simulation Evaluation of an Al 6061 Alloy Wheel Hub [J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2015,15(4): 521-533.

[7] 马春江，陈玖新，葛素静，等. 挤压铸造重载汽车用铝合金车轮的组织及性能[J]. 特种铸造及有色合金，2014(10): 1063-1065.

[8] 龙伟，周迪生，张恒华，等. 6061 铝合金轮毂的力学性能与锻造工艺的计算机模拟[J]. 上海金属，2012(3): 29-32.

[9] 张万宁，丁伟祥. 6061 铝合金半固态成形过程数值分析 [J]. 铸造，2013,62(4): 301-304.

[10] 宁轩. 7A04 高强铝合金轮毂半固态锻造工艺在汽车制造中的应用[J]. 世界有色金属，2016(17): 97(99).

[11] 谭兆强，Ulf Engstr?m，苏鹏飞，等. 高性能粉末冶金材料发展及其解决方案[J]. 粉末冶金工业，2020, 30(3): 1-8.

[12] 李道忠，丁武学，孙宇，等. AlSi7Mg 轮毂半固态流变挤压铸造成形数值模拟[J]. 铸造技术，2020, 41(5): 474-479.

[13] 张帆，徐骏，张志峰，等. A356 铝合金轮毂半固态挤压铸造成形数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金，2012(5): 422-425.

[14] 裴暖暖，杨永顺，尹甜甜，等. 镁合金汽车轮毂挤压成形工艺研究[J]. 热加工工艺，2011,40(17): 89-91.

[15] 陈锴，颜银标，徐跃. 镁合金汽车轮毂挤压成形工艺分析及其数值模拟[J]. 机械制造与自动化，2018, 47(3): 103-105.

均衡凝固技术资料邮购

国家科技成果重点推广计划项目　编号：I-1-5-3
西安理工大学均衡凝固技术科研成果汇编

铸件充填与补缩工艺定量设计理论与实例

《铸件充填与补缩工艺定量设计理论与实例》是西安理工大学均衡凝固技术科研成果的汇编，被列为国家科技成果重点推广计划项目，编号 I-1-5-3。汇编共分 6 章：第一章 铸铁件均衡凝固与有限补缩。第二章 铸铁件冒口补缩设计。第三章 浇注系统当冒口补缩设计方法。第四章 浇注系统大孔出流理论与设计。第五章 铸钢 白口铸铁 铝钢合金铸件的均衡凝固工艺。第六章 铸件充填与补缩工艺定量设计实例。可用于铸件浇注系统，冒口补缩系统的定量设计，包括浇口、冒口的位置、大小、个数，冷铁的放置。也可用于对已有铸件浇口、冒口设计的定量评估，及对已产生的铸造缺陷的分析与防治。浇口、冒口的开设要防止几何热节、接触热节、流动热节的重合；在冒口颈处放冷铁消除冒口根缩孔、缩松缺陷；控制浇口截面比实现垂直分型等压等流量设计等技术，通过生产实例给予展现，可供生产应用参考。汇编邮购价 160 元。

联系地址：710048 西安市金花南路 5 号 西安理工大学 608 信箱

联 系 人：李巧凤 13991824906　QQ：53985132　E-mail:53985132@qq.com
李亚敏：15829361158　QQ：412008096　E-mail:412008096@qq.com
技术咨询：魏 兵 13609155628