

# 铝合金锻造生产技术探析

静丰羽

中国电建集团河南电力器材有限公司, 河南 漯河 462000

[摘要] 铝合金作为一种重要的轻金属材料, 在现代制造业中具有广泛的应用, 其中, 铝合金锻造作为一种重要的加工工艺, 在航空航天、汽车制造、机械制造等领域发挥着关键作用。本篇文章将重点探讨铝合金固态模锻工艺, 分析其在材料选择、模具设计、温度控制、热处理、成形工艺等关键技术方面的应用与发展, 同时, 还将对铝合金固态模锻工艺的流程进行详细阐述。

[关键词] 铝合金锻造; 固态模锻; 工艺技术

DOI: 10.33142/hst.v6i12.10954

中图分类号: TH142.2

文献标识码: A

## Analysis of Aluminum Alloy Forging Production Technology

JING Fengyu

PowerChina He'nan Electric Power Equipment Co., Ltd., Luohe, He'nan, 462000, China

**Abstract:** Aluminum alloy, as an important light metal material, has a wide range of applications in modern manufacturing. Among them, aluminum alloy forging, as an important processing technology, plays a key role in aerospace, automotive manufacturing, mechanical manufacturing and other fields. This article will focus on exploring the solid-state forging process of aluminum alloy, analyzing its application and development in key technologies such as material selection, mold design, temperature control, heat treatment, and forming process. At the same time, the process of solid-state forging of aluminum alloy will also be elaborated in detail.

**Keywords:** aluminum alloy forging; solid state forging; process technology

### 引言

铝合金作为一种轻质、高强度、耐腐蚀的材料, 广泛应用于航空航天、汽车制造、机械加工等领域。在这些领域中, 铝合金锻件往往需要具备复杂的形状和优异的性能, 因此铝合金锻造工艺显得尤为重要。固态模锻作为铝合金锻造的一种重要工艺之一, 具有成本低、质量高、生产效率高的特点, 受到了越来越多生产厂家的青睐。下面就是针对铝合金固态模锻生产技术的相关探讨, 希望对相关人士有所启迪。

### 1 铝合金固态锻造的重要性的应用领域

#### 1.1 铝合金固态锻造的重要性

##### 1.1.1 提高材料性能

铝合金固态锻造可以显著改善材料的内部组织结构, 使其具有更好的力学性能。通过锻造过程, 铝合金的晶粒得到细化, 晶界得到清晰化, 从而提高了材料的强度、硬度和耐磨性, 而且固态锻造还可以消除材料的孔洞和缺陷, 提高材料的致密性和耐腐蚀性能。

##### 1.1.2 实现轻量化设计

铝合金具有密度低、比强度和比刚度高的特点, 非常适合用于轻量化设计。通过固态锻造, 可以制造出形状复杂、壁厚薄的铝合金零件, 减轻整体重量, 提高产品的性能和效率, 因此铝合金固态锻造在汽车、航空航天、船舶等领域的轻量化设计中具有重要的应用价值<sup>[1]</sup>。

##### 1.1.3 实现复杂形状的制造

铝合金固态锻造可以实现对复杂形状的制造, 满足不

同行业对零件形状的需求。通过调整锻造工艺参数和采用适当的模具设计, 可以生产出具有复杂几何形状和内部结构的零件, 满足各种工程应用的要求, 这使得铝合金固态锻造在航空航天、能源、交通运输等领域的高端装备制造中得到广泛应用。

##### 1.1.4 提高生产效率

相比于其他金属成形工艺, 铝合金固态锻造具有高效率的优势。锻造过程中, 材料在高温下变形, 形成零件的时间较短, 生产效率较高, 同时固态锻造还可以实现批量生产和自动化生产, 提高生产效率和产品质量。

#### 1.2 铝合金固态锻造的应用领域

##### 1.2.1 汽车工业

铝合金固态锻造被广泛应用于汽车制造中, 用于制造发动机零件、底盘部件、车身结构等, 通过铝合金固态锻造, 可以实现汽车的轻量化设计, 提高燃油经济性和行驶性能。

##### 1.2.2 航空航天工业

铝合金固态锻造在航空航天领域具有重要的应用价值。它被用于制造飞机发动机零件、机身结构、翼梁等关键部件, 铝合金固态锻造可以实现对复杂形状的制造, 提高零件的强度和耐久性。

##### 1.2.3 船舶工业

铝合金固态锻造在船舶制造中也有广泛的应用。它被用于制造船体结构、推进器和舵等零件, 通过固态锻造, 可以减轻船体重量, 提高船舶的速度和燃油经济性<sup>[2]</sup>。

### 1.2.4 能源工业

铝合金固态锻造在能源领域的应用也越来越广泛。它被用于制造核电站部件、风力发电设备、石油化工设备等,通过固态锻造,可以提高设备的强度和耐腐蚀性能,延长设备的使用寿命。

### 1.2.5 输电线路设备领域

铝合金固态锻造在输电线路设备领域也有着重要的应用,输电线路设备需要承受高温、高压和大电流等极端工况,因此对材料的性能要求非常高,在输电线路设备中,铝合金固态锻造主要应用于制造导线、电缆连接器和接地装置等关键部件。这些部件需要具备良好的导电性能、机械强度和耐腐蚀性能,以确保电力传输的稳定性和安全性。通过铝合金固态锻造,可以实现导线的轻量化设计,减轻输电线路的重量负荷,降低线路的挠度和振动,提高线路的传输效率,同时还提高导线的导电性能,降低电阻损耗,减少电能损耗。

## 2 铝合金固态模锻工艺的关键技术

### 2.1 材料选择与预处理

在铝合金固态模锻工艺中,材料的选择和预处理对最终产品的质量和性能起着至关重要的作用,可以选择合适的铝合金材料,常见的包括2000系、6000系和7000系铝合金。不同的合金成分将影响材料的塑性变形能力、强度和耐腐蚀性能,因此在选择材料时需要充分考虑最终产品的使用环境和要求。在材料预处理方面,通常包括对铝合金进行均匀化退火和固溶处理,均匀化退火旨在消除材料的组织非均匀性,提高材料的塑性和韧性,固溶处理则是通过加热将合金中的固溶体溶解到固溶体溶液中,为后续的形变加工和强化处理创造条件。

### 2.2 模具设计与制造

模具是固态模锻工艺中的核心部分,模具的设计和制造直接影响到模锻件的质量和精度,在模具设计时,需要考虑零件的形状、尺寸和复杂度等因素,合理确定模具的结构和几何参数,模具的材料选择也十分重要,一般采用高硬度、高耐磨性的工具钢或硬质合金作为模具材料,在制造过程中,需要采用先进的数控加工技术和表面处理技术,确保模具的精度和耐用性。

### 2.3 温度控制与热处理

在铝合金固态模锻工艺中,温度控制是保证成形质量的关键因素,一般来说,锻造加热温度一般设置在450~470℃,对于特殊型材的温度需要另外控温,而模具预热温度设置在180~260℃,适当的加热温度可以提高材料的塑性,促进成形过程中的金属流动,减轻成形时的变形阻力,从而获得更好的成形效果,热处理也是铝合金固态模锻工艺中不可或缺的一环,通过热处理可以有效提高铝合金材料的强度、硬度和耐腐蚀性能,满足不同工程应用的要求。

### 2.4 成形工艺与变形控制

铝合金固态模锻工艺中的成形工艺和变形控制直接影响着产品的成形质量和性能,在成形工艺方面,需要合理选择成形工艺参数,如锻造压力、速度、变形量等,确保产品在成形过程中不产生裂纹、气孔等缺陷。同时,还需要通过模具结构设计和材料流动分析,优化成形工艺,提高产品的成形精度和表面质量。变形控制是指在成形过程中有效控制材料的变形量和变形分布,避免产生过大的残余应力和变形不均匀性。通常可以通过优化模具结构、加工工艺和热处理工艺,综合考虑材料的流变行为和应力状态,实现变形控制的目的<sup>[3]</sup>。

## 3 铝合金锻造的热模锻工艺流程

### 3.1 型材备料

铝合金固态锻造的工艺流程始于型材备料。型材备料的质量直接影响着后续的加热、锻造成型等工序的顺利进行,甚至对最终产品的质量和性能也有着重要的影响。在型材备料阶段,需要对原材料进行严格的质量检查和筛选,以确保其符合工艺要求和产品标准,针对不同的产品要求和工艺特点,还需要进行合理的型材预制和预加工,以便于后续工序的顺利进行和产品质量的保障。

### 3.2 加热

在型材备料完成后,铝合金材料需要进行加热处理,以使其达到所需的温度,加热温度的选择取决于具体的合金成分和产品要求。一般来说,铝合金固态模锻的加热温度一般在450~470℃之间,加热过程中需要控制温度和时间,避免铝合金材料过度加热而导致变形或烧损,加热过程中还需要注意材料的均匀加热,避免出现温度梯度过大的情况。

### 3.3 锻造成型

在加热完成后,铝合金材料进入锻造成型阶段,铝合金的热模锻工艺采用模具作为变形工具,通过施加一定的压力和控制变形温度,将加热后的铝合金材料塑性变形成为所需的形状。

#### 3.3.1 模具设计与制造

模具是热模锻工艺中至关重要的一环,模具的设计和制造直接影响到锻件的质量和形状。模具的设计应考虑到锻件的几何形状、尺寸精度和表面质量要求,同时还需考虑到铝合金材料的流动性和变形特点,模具的制造应保证其精度和耐热性,以满足锻造工艺的要求<sup>[4]</sup>。

#### 3.3.2 锻造参数的控制

在锻造成型过程中,需要对锻造参数进行严格控制,包括锻造温度、压力、速度等。锻造温度的选择应根据具体的合金成分和产品要求,一般来说,铝合金的锻造温度应在450~470℃之间。锻造压力和速度的选择应根据锻件的几何形状、尺寸和材料的流动性来确定,以保证锻件的形状和质量。

### 3.3.3 锻造工艺的优化

为了提高铝合金锻造的效率和质量,可以采取一些优化措施。例如,可以通过合理的预形和多道次锻造来改善锻件的均匀性和密实性,采用适当的冷却方式来控制锻件的冷却速度,以改善其机械性能和组织结构,选择合适的润滑剂和润滑方式,减少摩擦阻力和热应力,提高锻造效率和质量。

### 3.3.4 模锻工艺的监控与调整

在锻造过程中,需要对锻造工艺进行实时监控和调整,以保证锻件的尺寸和形状的精度,可以通过温度传感器、压力传感器和位移传感器等监测设备来实时监测锻造过程中的温度、压力和变形情况,根据监测结果进行调整和控制。

### 3.3.5 锻后处理

锻造成型后,铝合金锻件还需要进行后续的热处理和机械加工等工艺,以进一步改善其性能和质量。热处理工艺通常包括固溶处理和时效处理等,可以通过调整热处理参数来控制锻件的组织结构和性能,机械加工工艺主要包括切割、修整、打磨等,以获得锻件的最终尺寸和表面质量。在实际生产中,需要根据具体的合金材料、产品要求和工艺特点来选择合适的工艺流程和参数,以达到最佳的锻造效果。

## 3.4 落边或冲孔

完成以上的半成品落边和冲孔工艺,其目的是为了提 高锻件的表面质量和精度,使其符合产品的设计要求和可用性要求,在实际操作中,可以采用机械加工或冲压等方式进行落边和冲孔,对于较大尺寸和复杂形状的锻件,通常采用机械加工的方式进行落边和冲孔,而对于小尺寸和简单形状的锻件,则可以采用冲压的方式进行处理。而在进行落边和冲孔工艺时,需要考虑锻件的材料性质、几何形状和尺寸要求,选择合适的刀具和冲头,并控制加工参数,以确保加工质量和效率,还需要注意锻件的固定和稳定,以避免加工过程中的振动和变形。

## 3.5 数控打磨

数控打磨是铝合金锻造工艺中的一项重要工序,其目的是进一步提高锻件的表面质量和精度,使其达到设计要求和应用要求。数控打磨是利用数控设备进行自动化控制的打磨工艺,通过合理的刀具选择和加工参数设置,对锻件进行精细的表面处理,以消除表面缺陷、提高光洁度和精度。

数控打磨的主要步骤包括:锻件夹紧和定位、数控编程和参数设置、刀具选择和装夹、加工过程监控和调整、加工后的表面质量检验等。在进行数控打磨时,需要根据锻件的形状、尺寸和表面要求,选择合适的刀具和加工路径,设置合适的加工参数,如切削速度、进给速度和切削深度等。同时,还需要对加工过程进行实时监控,通过传

感器和控制系统对加工质量和加工状态进行检测和调整,以确保打磨效果和一致性。

## 3.6 孔精加工

孔精加工一般采用数控机床进行自动化控制,通过合理的刀具选择和加工参数设置,对锻件进行精确的孔加工。孔精加工的主要步骤包括:孔位定位和夹紧、数控编程和参数设置、刀具选择和装夹、加工过程监控和调整、加工后的孔质量检验等。在进行孔精加工时,需要根据锻件的设计要求和孔洞的尺寸、形状要求,选择合适的刀具和加工路径,设置合适的加工参数,如切削速度、进给速度和切削深度等。同时还需要对加工过程进行实时监控,通过合理的刀具选择和加工参数设置以及严格的加工过程控制和质量检验,确保锻件孔洞的精度和质量满足产品的装配和使用要求<sup>[5]</sup>。

## 3.7 热处理

热处理的目的是调整锻件的组织结构,消除内部应力,提高硬度、强度和耐腐蚀性能,使锻件达到设计要求和 使用要求,在进行热处理时,需要控制加热和冷却速度,以避免锻件的变形和裂纹。一般来说,可以采用快速加热和快速冷却的方法,如水淬或油淬,保证锻件的均匀性和一致性,还需要进行热处理前后的质量检验,如金相组织观察、硬度测试、拉伸试验等,从而验证热处理效果和锻件的性能。

## 3.8 抛丸钝化

在进行抛丸钝化时,首先需要 对锻件进行清洗和除油处理,去除表面的污垢和油脂,保证后续处理的效果。清洗和除油可以采用溶剂洗涤、碱洗或酸洗等方法,清洗完成后,锻件进入抛丸处理阶段。抛丸是指利用高速旋转的抛丸轮将磨料或钢球等抛射到锻件表面,去除表面的氧化皮、氧化铁和杂质等。抛丸处理可以采用机械抛丸或气动抛丸的方式,根据锻件的尺寸和形状选择合适的抛丸设备和磨料。抛丸处理的时间和强度需要根据锻件的材料和表面要求进行调整,以达到理想的清洁度和粗糙度,抛丸处理完成后,需要对锻件进行表面清洁和钝化处理。表面清洁是指去除抛丸后残留的磨料和杂质等,可以采用水冲洗、气吹或机械刷洗等方式进行。钝化处理是指在锻件表面形成一层致密的氧化膜,提高锻件的耐腐蚀性能。钝化处理可以采用化学钝化或电化学钝化的方法,根据锻件的材料和要求选择合适的钝化剂和钝化工艺。

## 3.9 配套

最后一个环节是零部件的配套工艺,包括表面涂装、组装、质量检测等环节。表面涂装能够提高零部件的表面硬度和耐蚀性,增加其外观质量,组装是将零部件与其他部件进行组合,形成完整的产品,质量检测是整个工艺流程中至关重要的一环,它能够确保零部件的质量和性能达到设计要求。

在每个环节中,需要严格控制和优化工艺参数,选择合适的设备和工具,确保锻件的质量和性能达到设计要求。同时对每个环节进行实时监控和调整,以确保工艺的稳定性 and 一致性。铝合金固态锻造工艺是一项复杂而关键的工艺,只有在严格控制和优化的前提下,才能生产出高质量的铝合金固态锻件。

#### 4 结束语

铝合金锻造作为一种重要的金属加工工艺,在现代工业生产中具有广阔的应用前景。固态模锻作为铝合金锻造的重要工艺之一,其关键技术和工艺流程对于提高锻件的性能和质量具有重要意义。未来,随着技术的不断进步和市场需求的不变化,铝合金锻造技术将迎来更加广阔的发展空间,为推动工业制造的高质量发展做出更大的贡献。

#### [参考文献]

- [1] 白鹭,李思奇,梁培新,等. 铝合金转向节自动化锻造生产线控制系统设计[J]. 锻压技术,2023,48(10):200-206.
  - [2] 林波,刘祥. 汽车用铝合金深孔件精密锻造成形工艺研究[J]. 锻压技术,2023,48(8):48-56.
  - [3] 李健东. 轻量化金属铝合金在压力加工中的工艺润滑研究[J]. 中国金属通报,2023(4):103-105.
  - [4] 董奇. 基于铸锻耦合铝合金塑性成形工艺研究[D]. 合肥:合肥学院,2023.
  - [5] 李岩,赵业青,陈修梵,等. 铝合金锻造生产技术的发展[J]. 轻合金加工技术,2015,43(8):20-27.
- 作者简介: 静丰羽(1986.7—),男,毕业于郑州大学,材料工程专业硕士,目前就职于中国电建集团河南电力器材有限公司,任技术中心主任,目前职称:中级工程师。