

高强度银铂合金细丝的微观组织及其性能

牟嘉琪

(西安诺博尔稀贵金属材料股份有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要 高强度银铂合金具有密度低、强度高、铸造性能好、耐腐蚀等优点,已广泛应用于航海、军事、航空航天等领域。高强度银铂合金部件的性能很大程度上取决于铸造组织、铸造工艺和热处理。虽然铸造工艺对铸件的组织 and 性能有重要影响,但高强度银铂合金的热处理性能不可忽视。在实际操作中,制造商只能根据零件的具体操作环境和性能要求,进一步优化铸造和热处理工艺。在这种情况下,生产质量难以保证,使高强度银铂合金的优势得不到充分发挥。然而,只有通过优良的铸造工艺和先进的热处理工艺,才能保证高强度银铂合金的综合性能。本文通过分析高强度银铂合金铸造及热处理工艺,旨在为同行从业者提供参考。

关键词 高强度银铂合金; 铸造工艺; 热处理工艺

中图分类号: TG13

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0112-03

高强度银铂合金因其优良的韧性匹配性、较高的强度/刚度、良好的焊接性、低碳含量和耐腐蚀、尺寸稳定、热处理工艺简单和良好的热工性能,成为航空航天等工程的重要材料。飞机起落架零件的传统原料是以银铂为主。随着海洋在国家发展战略中发挥日益重要的作用,船舶被长时间应用在海洋当中,存在应力腐蚀裂纹、氢致延迟断裂等重大安全隐患。但由于合金体系中抗腐蚀元素含量较低,普遍腐蚀失效问题。为了提高银铂合金的耐蚀性,有必要在其表面进行涂层处理,如镀铜工艺。但是,由于对低成本环保材料的需求,采用银铂合金镀膜技术,不但增加了飞机的维修成本,而且对环境也产生了一定的影响。另外,镀层溶液中的氢原子也会渗入基体中,从而导致氢断裂。氢是最轻、最小、数量最多的原子,它的存在会引起材料的严重塑性损伤,使其承受能力降低,从而在使用中发生过早或灾难性失效的问题。通过大量的实验可以发现,在溶液中加入合金元素和第二相颗粒是改善材料性能的一种重要手段。铂的塑性、导热性以及化学稳定性都较为良好,耐磨性也不错。在纯银中添加铂元素再制成银铂合金,可以在不影响其合金塑性的前提下,改善其力学性能及化学稳定性。

1 高强度银铂合金概述

铸造银铂合金是把纯银和其它金属元素经过铸造工艺加工成毛坯或零件的银铂合金材料,在化学组成及工艺上有别于变形银铂合金。高强度银铂合金具有

高强度、高耐久性、耐腐蚀、经济性良好等特点。国内外有关材料研究者在高强度银铂合金中加入多种元素,使其硬度、强度及合金化程度得到提高。同时,采用纯净化冶炼技术,以确保银铂合金中的杂质含量不断降低、纯度不断提高,实现各种元素的最佳配比。但国内对高强度银铂合金的研究起步较晚^[1]。

目前,我国在开发高强度银铂合金方面投入了大量的人力和财力,但与世界先进水平仍旧存在一定的差距。通过多年的实践,我们在专业的铸造和热处理技术方面有了长足的进步。

高强度银铂合金在航空、民用等领域得到了广泛的应用,例如航空发动机外壳等。银铂合金的种类和性质各不相同。银铂合金具有良好的铸造性能,中等强度,除共晶合金外,一般具有中等切削和焊接性能,主要用于中等载荷的结构件和形状复杂的外壳件。银铂合金综合性能好,强度和塑性高,高温性能好,方便加工,但存在较大的凝固间隙、合金偏析、热开裂等缺陷。例如,我国目前最具强度的 ZL205A 铸造银铂合金,其强度可达 500Mpa,甚至超越某些钢材的强度,可适用于大负荷的结构构件。银铂合金具有良好的机械性能,即强度高,延伸率好,不仅耐腐蚀稳定,而且具有良好的切削性能,主要用于制造耐腐蚀零件。银铂合金有 AgPt5、AgPt10 和 AgPt20 等,具有良好的力学性能和韧性,接触电阻小而且稳定,抗黏着和抗熔焊能力比纯银好。但铸造性能和耐蚀性较差,高温性能不好,密度大,应用较少^[2]。

2 高强度银铂合金的铸造工艺

高强度银铂合金铸件的制备工艺包括砂型铸造、金属铸造、熔模铸造、石膏铸造、泡沫铸造、低压铸造等。砂型铸造是一种用原砂作为骨料的铸造工艺。砂型铸造生产的银铂合金铸件的最大尺寸在 2000mm 以上。它是目前银铂合金铸件的主要铸造方法。采用该铸造方法生产的铸件尺寸精度为 CT8, 表面粗糙度 $Ra \leq 12.5 \mu m$ ^[3]。但是, 在铸造过程中, 粘结剂的分解会产生大量的气体, 因此对环境有一定的影响。金属模铸造是在重力作用下将液态金属注入金属模中进行凝固的过程。这种方法一般用于生产中小型铸件, 铸件结构相对简单。但由于金属模具导热性好, 液态金属凝固速度快, 铸造晶粒细小, 银铂合金铸件可塑性强。精模铸造可以生产大型复杂结构, 这就可以实现近端成型方式的铸造, 铸件尺寸精度达到生产水平 CT6, 表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$, 可以实现铸造加工或小于等于目的, 特别适应航空航天领域的零部件都是高品质、轻量化、集成化的目的, 受到业界的青睐。石膏铸造是实现大型复杂薄壁银铂合金铸件的另一种铸造方法。用这种方法生产的铸件最小壁厚小于 1mm^[4]。但由于石膏导热性差, 铸造过程控制不当, 容易出现针孔、松脱等缺陷。低压铸造是利用气体压力使金属液体进入模具, 在金属液体的压力作用下, 进行充型凝固的铸造过程, 这种方法特别有利于制备复杂薄壁银铂合金铸件, 且铸件机械性能好, 工艺收率高, 目前在银铂合金铸造生产中也有大量应用。

3 银铂合金热处理工艺

银铂合金因其比强度高、加工性能好、耐腐蚀等优点, 已成为航空航天领域中重要的结构金属材料。为了进一步拓展银铂合金的应用领域, 满足现代工业生产制造对银铂合金材料性能的高要求, 材料工作者主要利用热处理工艺对银铂合金的微观组织进行控制和优化, 使银铂合金的潜在性能得到充分发挥。银铂合金常用的热处理工艺有均匀退火、固溶强化和时效处理。

3.1 均匀退火

在凝固过程中容易发生枝晶偏析, 导致材料的化学成分和组织不均匀, 产生内应力。为了消除银铂合金铸锭在凝固过程中的内应力, 获得均匀的组织, 通常采用均匀退火工艺处理银铂合金铸锭。均匀化退火是指将合金锭加热到合适的温度, 保温一段时间, 然

后冷却到室温, 使合金中的一些相和组织溶解, 达到组织均匀化和消除材料内应力的目的, 进而提高合金材料的冷热变形能力。

银铂合金均匀退火处理效果的主要影响因素有合金元素、退火温度、保温时间、冷却方式等。以 2xxx 系列银铂合金为例, 可以发现在合金元素方面, 2xxx 系列银铂合金铸锭中的 Cu、Mg、Mn 等元素偏析程度较大, 容易富集在合金的晶界上, 对合金铸锭的均匀退火效果有显著影响。在退火温度方面, 一般选择低于共晶温度但高于 Cu 溶解度曲线温度的 2xxx 银铂合金^[5]。在一定的温度范围内, 温度的升高会加快原子扩散速率, 提高均匀化速率和效果。在保温时间上, 退火时间的增加会伴随着组织的转变, 使固溶处理更加充分, 但时间不宜过长, 防止晶粒异常生长。在冷却方式上, 银铂合金均相退火过程中的冷却方式会影响后续固溶处理效果, 目前多采用空气冷却。

银铂合金的均质退火工艺不仅限于单级均质退火, 还包括双级均质退火和强化均质退火。如 7xxx 系列银铂合金单级均质退火工艺温度较低, 避免了银铂合金中低熔点元素的过烧, 但均质退火效果并不理想。7xxx 系列银铂合金在单级均质退火的基础上改进了双级均质退火。采用两种不同的退火温度, 以达到合金中不同共晶相的均匀分散效果。强化均质退火比传统均质退火能更好地改善 7xxx 系列银铂合金的铸态组织, 但生产效率较低^[6]。

3.2 固溶强化

银铂合金的固溶强化主要是将 Cu、Mg、Si 等硬溶质在一定温度下转变为均匀的过饱和固溶体, 同时改变银铂合金的晶粒尺寸和过剩相量。固溶处理后的银铂合金组织可进行后续时效处理。银铂合金的固溶强化过程不仅包括单温度单级固溶处理, 还包括强化固溶处理和高温析出处理。

1. 银铂合金的单级固溶处理是指在单一温度的作用下, 将合金中的 Cu、Mg、Si 等硬溶质尽可能溶入基体中, 形成过饱和固溶体, 充分发挥合金元素的强化作用, 从而提高银铂合金的强度、硬度和耐腐蚀性。但在单级固溶处理时, 要保证合金不过烧, 这样单级固溶处理温度较低, 银铂合金固溶强化作用不能充分发挥。因此, 当对银铂合金的性能要求较高时, 单级固溶强化法并不适用^[7]。

2. 与单级固溶处理方法相比, 强化固溶处理方法

能更大程度地将硬溶质转化为固溶体,从而充分激发银铂合金的强化潜力。增强型固溶处理过程主要分为三步:第一步,将银铂合金加热到一定温度,并在该温度保持一段时间;第二步,将银铂合金以一定的加热速率加热到更高的温度并保持一段时间;第三步,将银铂合金取出并在室温下冷却。强化固溶处理不仅提高了银铂合金的屈服强度和抗拉强度,而且降低了合金的时效敏感性。

3. 银铂合金高温沉淀工艺是在常用固溶强化工艺基础上的一种热处理方法,加工时间短,处理后银铂合金综合性能较好。

3.3 时效处理

银铂合金固溶处理形成的过饱和固溶体在自然状态下或加热到一定温度时容易分解,称为溶解现象。银铂合金的时效处理机理源于溶解现象,即溶解现象发生在银铂合金内部,第二相析出,或产生硬溶质原子偏析区,从而改变了银铂合金的微观组织和材料性能。

1. 银铂合金单段时效工艺是指在单温度下进行热处理。通过控制温度、时间等参数对合金材料的微观组织进行优化,从而提高银铂合金材料的综合性能^[8]。

2. 银铂合金两阶段时效处理需要两个处理阶段:一是低温处理,主要获得细小的析出相;二是高温处理阶段,促使粗硬颗粒的形成。

3. 与其他两种时效处理相比,回归时效处理对银铂合金的强化效果显著增强。主要有三个处理阶段:一是低温预陈化阶段;二是短时高温回归处理阶段;三是低温时效处理阶段。经过这三个阶段的处理,将消除合金晶界的富Cu或富mg现象,降低材料中的位错密度^[9]。

4 结语

随着工业现代化的发展,工业生产和应用的要求不断提高,提高合金材料的综合性能成为一项重要的研究内容。热处理工艺是提高合金材料性能的重要工艺手段,一直受到材料科学研究者的重视。在此基础上,对银铂合金、钛合金、镁合金等典型合金材料的热处理工艺进行了分析。研究发现,热处理工艺对合金材料的性能有显著影响,主要影响因素有温度、时间、冷却方式等。同时也发现了合金材料热处理工艺研究的不足之处。要想提高高强度银铂合金铸件的铸造工艺,就必须运用好热处理技术自身的优势,为延长铸件的使用寿命提供可靠的技术保障。因此,在未来的

高强度银铂合金生产中,必须加强对其铸造与热处理技术的控制,加强工作人员的责任心,有效地控制生产过程,推动高强度银铂合金加工的持续改善,推动行业平稳发展。通过熟练的操作技术和专业的理论指导,铸件能够达到产品自身的规范要求。

从上述情况来看,将先进的工艺和理论结合起来对生产、铸造工艺具有十分重要的意义。

为了满足未来工业发展中材料性能的应用需求,本文结合目前的研究现状和工业生产需求,提出了未来合金材料热处理工艺的研究方向如下:

1. 通过对现有热处理工艺的分析和结合,探索一种新型合金材料热处理工艺,丰富合金材料热处理工艺方法,提高合金材料的综合力学性能。

2. 引入计算机仿真技术,对合金材料的热处理工艺进行模拟,深入分析材料的具体特性和不同热处理工艺之间的相关性,从而合理选择热处理工艺参数。

3. 深入分析合金材料热处理过程中各强化元素的组织变化及特性,优化合金材料热处理工艺体系,以充分发挥热处理强化效果。

参考文献:

- [1] 贺晓军,何智勇,刘洋,等.铸造铝合金ZL114A的热处理工艺[J].宇航材料工艺,2019(03):92-94.
- [2] 张宁.铸造铝合金缺陷分析与热处理工艺研究[J].华章,2018(30):333.
- [3] 李锋,陈巧,车欣,等.热处理对Al-Si-Cu-Mg铸造铝合金低周疲劳行为的影响[J].铸造,2018(03):300-303.
- [4] 邱书文.关于高强铝合金的热处理技术的研究分析[J].科协论坛(下半月),2019(08):34-36.
- [5] 周正海,郑朋飞,赵磊.高强度铝合金铸造及热处理工艺[J].中国高新区,2019(15):151.
- [6] 沈国柱.高强度铝合金的研究现状及发展趋势[J].科技经济市场,2018(03):30.
- [7] 冉春玲,黄继宏.高强度铝合金框架类铸件差压铸造工艺[J].热加工工艺,2019(15):44.
- [8] 郭君.铸造铝合金热处理工艺发展趋势[J].科技创业家,2019(17):89.
- [9] 贾志华,郑晶,王轶,等.高温强化铂合金研究进展[J].贵金属,2017(S1):22.