

# 钢制轮毂材料选择与热处理工艺研究

汪康 熊东东 王富城

浙江金固股份有限公司 浙江 杭州 311400

**摘要:** 本文聚焦于钢制轮毂的材料选择与热处理工艺研究,旨在探讨不同材质钢制轮毂的性能特点及其在热处理过程中的变化规律。通过对多种钢材成分、微观结构及力学性能的对比分析,结合热处理工艺参数的优化调整,本研究揭示了材料选择与热处理工艺对钢制轮毂强度、硬度、韧性及疲劳寿命的显著影响。研究成果为高性能钢制轮毂的研发提供了理论依据和技术支撑,对提升汽车行驶安全性和耐久性具有重要意义。

**关键词:** 钢制轮毂; 材料选择; 热处理工艺

## 1 钢制轮毂材料概述

钢制轮毂是汽车轮毂的传统材质之一,其材料主要为碳素钢与球墨铸铁。碳素钢是一种含碳量小于1.35%的钢材,除了铁、碳以及限量以内的硅、锰、磷、硫等杂质外,不含其他合金元素。而球墨铸铁则是通过球化和孕育处理得到球状石墨,显著提高了铸铁的机械性能,尤其是塑性和韧性,从而使其强度超过碳钢。钢制轮毂的优点在于其制造工艺简单,成本相对较低,适合大规模生产,因此价格实惠。钢制轮毂具有较高的抗冲击性能和耐用性,能够承受恶劣路况的挑战,维修起来也相对方便,不易开裂,受损后可以通过敲打等方式进行修复。钢制轮毂也存在一些缺点,由于钢材密度较高,使得钢制轮毂较重,这不仅增加了车辆的燃油消耗,还可能影响车辆的操控性能。钢制轮毂的散热能力较差,在长时间行驶或高温环境下容易过热,影响制动性能和轮胎寿命。钢制轮毂的外观较为普通,缺乏铝合金轮毂的时尚感和视觉冲击力。

## 2 钢制轮毂材料的选择

### 2.1 钢制轮毂材料的分类与特点

钢制轮毂作为汽车轮毂的重要类型,其材料的选择至关重要。钢制轮毂的材料主要分为碳素钢和球墨铸铁两大类。碳素钢是钢制轮毂的主要材料之一,它主要由铁、碳以及限量以内的硅、锰、磷、硫等元素组成。碳素钢具有较高的强度和硬度,能够承受较大的负荷,同时具有良好的抗冲击性能。这些特性使得碳素钢成为制造轮毂的理想材料之一。碳素钢也存在一些缺点,如密度较高,导致轮毂重量较大,增加了车辆的燃油消耗<sup>[1]</sup>。碳素钢的耐腐蚀性相对较差,在潮湿或腐蚀性环境中容易生锈。球墨铸铁是另一种重要的钢制轮毂材料,它通过特殊的球化和孕育处理工艺,使得石墨形态由片状变为球状,从而显著提高了铸铁的机械性能。球墨铸铁具有较

高的强度、塑性和韧性,能够承受较大的冲击负荷。与碳素钢相比,球墨铸铁的密度相对较低,因此制造的轮毂重量较轻,有利于降低车辆的燃油消耗。球墨铸铁的耐腐蚀性也较好,能够在恶劣环境中保持较好的性能。钢制轮毂的主要特点包括制造工艺简单、成本相对较低、抗冲击性能强、耐用性好等。这些特点使得钢制轮毂在一些特定应用场景中具有广泛应用,如重载车辆、越野车等。钢制轮毂也存在一些局限性,如重量较大、散热能力较差、外观普通等,这些特点在一定程度上限制了其在一些高端车型和追求轻量化车型中的应用。

### 2.2 材料选择的考虑因素

在选择钢制轮毂材料时,需要考虑多种因素,以确保所选材料能够满足轮毂的性能要求和使用环境。首先,材料的力学性能是选择的关键,轮毂作为汽车的重要部件,需要承受较大的负荷和冲击,因此所选材料必须具有较高的强度和韧性。材料的硬度也是重要的考虑因素,它决定了轮毂的耐磨性和抗划伤能力。其次,材料的密度和重量也是重要的考虑因素,轻量化是当前汽车设计的重要趋势之一,通过降低轮毂的重量,可以减少车辆的燃油消耗,提高燃油经济性。在选择材料时,需要权衡材料的密度和强度,以找到最佳的平衡点。另外,材料的耐腐蚀性也是不可忽视的因素,在一些恶劣环境中,如潮湿、多雨、盐雾等条件下,轮毂容易受到腐蚀和生锈的影响。所选材料必须具有良好的耐腐蚀性,以确保轮毂的长期使用性能。成本效益也是材料选择的重要考虑因素之一,虽然一些高性能材料能够满足轮毂的性能要求,但其成本可能较高,不利于大规模应用。在选择材料时,需要综合考虑材料的性能、成本 and 市场需求,以找到最具竞争力的材料方案。最后,还需要考虑材料的可加工性和制造工艺,一些材料虽然具有优异的性能,但其加工难度较大,制造成本较高。因此

在选择材料时,需要评估材料的可加工性和制造工艺的可行性,以确保所选材料能够满足生产要求。

### 2.3 材料选择的经济性与可行性分析

在选择钢制轮毂材料时,经济性和可行性分析是不可或缺的环节。从成本角度来看,碳素钢和球墨铸铁是两种常见的钢制轮毂材料。碳素钢的成本相对较低,制造工艺简单,适合大规模生产。由于其密度较高,导致轮毂重量较大,增加了车辆的燃油消耗。相比之下,球墨铸铁虽然成本稍高,但其密度较低,制造的轮毂重量较轻,有利于降低车辆的燃油消耗。在选择材料时,需要权衡材料的成本和性能,以找到最佳的平衡点。从性能角度来看,球墨铸铁具有更高的强度、塑性和韧性,能够承受较大的冲击负荷。其耐腐蚀性也较好,能够在恶劣环境中保持较好的性能。这些特点使得球墨铸铁在某些特定应用场景中具有明显优势。需要注意的是,球墨铸铁的加工难度相对较大,制造成本较高<sup>[2]</sup>。在选择材料时,需要综合考虑材料的性能、成本 and 市场需求,以找到最具竞争力的材料方案。还需要考虑材料的生产工艺和制造周期,一些材料虽然具有优异的性能,但其生产工艺复杂,制造周期长,不利于快速响应市场需求。在选择材料时,需要评估材料的生产工艺和制造周期,以确保所选材料能够满足生产要求和市场需求。

## 3 钢制轮毂的热处理工艺

### 3.1 热处理工艺的基本原理

热处理工艺是一种通过加热、保温和冷却的方式,改变金属材料的内部组织结构,从而改善其物理性能和机械性能的技术。当金属被加热到一定温度时,其内部的原子排列和相结构会发生显著变化,如奥氏体化的过程,此时金属内部的部分或全部组织转变为奥氏体,这种组织具有较高的塑性和较低的强度。保温阶段则是为了确保金属内部的相变能够充分进行,达到预期的微观组织结构。而冷却阶段则是通过控制冷却速率,使得金属内部的组织结构得以固定,形成所需的力学性能和物理性能。热处理工艺之所以能够有效改善金属材料的性能,是因为它能够调整金属内部的晶体结构,如晶粒大小、晶界形态以及相组成等。这些微观结构的变化会直接影响金属的硬度、强度、韧性、耐磨性、耐腐蚀性以及抗疲劳性能等。

### 3.2 钢制轮毂常用的热处理工艺

钢制轮毂作为汽车的重要部件,其性能要求严格,因此热处理工艺在钢制轮毂的生产过程中起着至关重要的作用。常用的钢制轮毂热处理工艺主要包括淬火、回火、表面淬火和等温淬火等。淬火是将钢制轮毂加热到

奥氏体化温度以上,保温一段时间后迅速冷却的过程。这一过程能够使得轮毂内部的组织结构转变为马氏体,从而显著提高轮毂的硬度和强度。淬火后的轮毂脆性较大,容易产生裂纹,因此需要进行回火处理。回火是将淬火后的钢制轮毂加热到一定温度,保温一段时间后冷却的过程。回火的主要目的是消除淬火过程中产生的内应力和脆性,提高轮毂的韧性和塑性。回火还能够调整轮毂的硬度和强度,使其满足特定的使用要求。表面淬火是一种仅对钢制轮毂表面进行淬火的工艺,这一过程能够使得轮毂表面获得较高的硬度和耐磨性,而内部则保持较高的韧性和塑性。表面淬火的方法主要有感应加热淬火、火焰加热淬火和激光加热淬火等。等温淬火是将钢制轮毂加热到奥氏体化温度以上,保温后迅速冷却到某一等温温度,并在此温度下保温一段时间,然后冷却到室温的过程。这一过程能够使得轮毂获得下贝氏体或索氏体等细小、均匀的组织结构,从而提高其硬度和强度,同时保持良好的韧性和塑性。

### 3.3 热处理工艺参数的优化

热处理工艺参数的优化是提高钢制轮毂性能的关键。加热温度的选择对钢制轮毂的组织结构和性能有着重要影响。加热温度过高或过低都会导致组织结构的均匀性和性能的下降。因此需要根据轮毂的材质和使用要求,选择合适的加热温度。保温时间的长短决定了金属内部相变的充分程度,保温时间过短,相变不完全,组织结构不均匀;保温时间过长,则会导致晶粒长大,降低材料的性能,需要严格控制保温时间,以确保相变的充分进行和晶粒的细小均匀。冷却速率是影响钢制轮毂组织结构和性能的关键因素之一,冷却速率过快,容易产生裂纹和变形;冷却速率过慢,则无法得到所需的组织结构,需要根据轮毂的材质、尺寸和使用要求,选择合适的冷却速率和冷却方式<sup>[3]</sup>。回火温度的选择对钢制轮毂的韧性和塑性有着重要影响,回火温度过高,会导致硬度和强度的显著下降;回火温度过低,则无法充分消除淬火过程中产生的内应力和脆性。要根据轮毂的使用要求和性能要求,选择合适的回火温度。还需要考虑热处理过程中的其他因素,如加热炉的温度均匀性、冷却介质的温度和流量、回火炉的保温性能等。

## 4 热处理工艺对钢制轮毂性能的影响

### 4.1 对强度与硬度的影响

热处理工艺对钢制轮毂的强度与硬度有着显著的影响。钢制轮毂作为汽车的关键部件,其强度与硬度直接关系到车辆的安全性和行驶稳定性。淬火是热处理工艺中提高钢制轮毂强度与硬度的关键步骤,通过将轮毂加

热至奥氏体化温度以上,使其内部组织转变为奥氏体,然后在淬火介质中迅速冷却,可以形成高硬度的马氏体组织。这一过程显著提高了轮毂的硬度和强度,使其能够承受更大的负荷和冲击。淬火后的轮毂往往具有较高的脆性,因此需要通过回火处理来平衡硬度和韧性。回火处理是在淬火后进行的,其主要目的是降低轮毂的脆性,同时保持一定的硬度和强度。通过选择合适的回火温度和时间,可以使轮毂内部的残余应力得到释放,组织结构得到优化,从而在保证硬度的同时提高韧性,回火还可以细化晶粒,提高材料的综合力学性能。除了淬火和回火,表面淬火等热处理工艺也可以对钢制轮毂的强度与硬度产生影响。表面淬火是通过快速加热和冷却轮毂表面,使其形成高硬度的硬化层,从而提高表面的耐磨性和抗划伤能力。这种工艺特别适用于需要承受高负荷和摩擦的轮毂部位,如轮缘和轮辋。

#### 4.2 对韧性的影响

热处理工艺对钢制轮毂的韧性同样具有重要影响。韧性是衡量材料在受到冲击载荷时抵抗断裂的能力,是钢制轮毂安全性能的重要指标之一。淬火处理虽然可以显著提高钢制轮毂的硬度和强度,但往往会导致韧性的下降。这是因为淬火过程中形成的马氏体组织具有较高的脆性,容易受到冲击载荷的影响而发生断裂。因此在淬火后需要进行回火处理,以降低脆性,提高韧性。回火处理通过加热淬火后的轮毂至一定温度,并保温一段时间,使轮毂内部的残余应力得到释放,组织结构得到优化,从而提高韧性。回火还可以细化晶粒,减少缺陷,进一步提高材料的韧性。合理的回火温度和时间选择,可以使轮毂在保持一定硬度和强度的同时,获得良好的韧性。除了淬火和回火,其他热处理工艺如等温淬火和形变热处理等也可以对钢制轮毂的韧性产生影响。等温淬火通过在淬火过程中保持一定的温度,使轮毂内部形成下贝氏体等韧性较好的组织,从而提高韧性。形变热处理则是在加热和冷却过程中施加外力,使轮毂发生塑性变形,从而细化晶粒,提高韧性。

#### 4.3 对疲劳寿命的影响

热处理工艺对钢制轮毂的疲劳寿命同样具有显著影响。疲劳寿命是衡量材料在反复应力作用下抵抗断裂的能力,是钢制轮毂耐久性能的重要指标之一。淬火处理虽然可以显著提高钢制轮毂的硬度和强度,但过高的硬度和脆性往往会导致疲劳寿命的下降。这是因为硬度过高的材料在受到反复应力作用时容易发生脆性断裂<sup>[4]</sup>。因此在淬火后需要进行适当的回火处理,以降低脆性,提高韧性,从而延长疲劳寿命。回火处理通过优化轮毂的内部组织结构,减少缺陷和应力集中,提高材料的抗疲劳性能。合理的回火温度和时间选择,可以使轮毂在保持一定硬度和强度的同时,获得良好的韧性和抗疲劳性能。表面强化处理如喷丸、渗碳淬火等也可以显著提高钢制轮毂的疲劳寿命。喷丸处理通过向轮毂表面喷射高速丸粒,使其表面产生压应力层,从而提高表面的抗疲劳性能。渗碳淬火则是通过向轮毂表面渗入碳元素并进行淬火处理,形成高硬度的碳化物层,从而提高表面的耐磨性和抗疲劳性能。

#### 结束语

综上所述,钢制轮毂的材料选择与热处理工艺研究是提升轮毂综合性能的关键。通过深入分析不同材质与热处理工艺对轮毂性能的影响机制,本研究不仅为高性能钢制轮毂的设计提供了科学依据,也为实际生产中的材料选用和工艺优化提供了有效指导。未来,随着材料科学与热处理技术的不断进步,钢制轮毂的性能将进一步提升,为汽车工业的持续发展贡献力量。

#### 参考文献

- [1]陈奎,袁明涛,顾韬.金属材料热处理工艺与技术分析[J].信息记录材料,2021,20(08):38-39.
- [2]姚洪利.浅谈金属材料热处理工艺与技术发展趋势探索[J].中国金属通报,2020(07):1-2.
- [3]刘莹.浅析机械设计过程中机械材料的选择和应用[J].信息记录材料,2020,21(10):13-14.DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2020.10.006.
- [4]王力.机械设计中金属材料的选择及应用[J].南方农机,2020,51(13):128+131-132.