

淬火温度对轧制钢球组织性能的影响

王 力 张盼盼 苗 磊 王 博
滕州中华源金属有限公司 山东 滕州 277500

摘 要: 轧制钢球作为关键耐磨材料,其组织性能深受淬火温度影响。通过调整淬火温度,可显著改变钢球的微观组织结构,进而影响其硬度、韧性和耐磨性。低温淬火形成细密组织,硬度较高但韧性下降;中温淬火平衡硬度与韧性;高温淬火则促进奥氏体均匀化,但过高温度易导致晶粒粗大。优化淬火工艺,如精确控制加热速率、优化保温时间、选用合适冷却介质及结合回火处理,可进一步提升轧制钢球的综合性能。

关键词: 淬火温度;轧制钢球组织性能;影响

引言

轧制钢球作为广泛应用于矿山、水泥、电力等行业的耐磨材料,其性能优劣直接关系到设备的使用寿命和效率。淬火作为提升其性能的关键工艺,其温度的选择对钢球的组织与性能有着至关重要的影响。本文旨在探讨淬火温度如何影响轧制钢球的微观组织特征及其宏观性能,进而提出基于淬火温度的轧制钢球性能优化策略,以期为实际生产提供理论指导。

1 轧制钢球生产与淬火工艺概述

轧制钢球生产与淬火工艺是金属材料加工领域中的重要环节。轧制钢球的生产过程始于圆钢棒料的准备,这些原料经过严格的质量检验后,按照预定的长度被精准地剪切成钢球坯料。钢球坯料被送入连续式加热炉中进行加热,直至达到适宜轧制的温度。加热后的红热态钢坯被送入钢球轧机,在两个带有特殊螺旋形孔型的轧辊之间旋转前进,通过连续的轧制过程逐渐变形为钢球。每台钢球轧机具备高效的生产能力,每分钟可轧制成数十至数百个钢球,轧制完成后,红热态的钢球立即进入特别设计的在线热处理设备进行淬火处理。淬火是一种关键的热处理工艺,它通过快速冷却的方式,使钢球获得高且均匀的硬度。淬火过程中,钢球的组织结构发生转变,形成马氏体或贝氏体,从而大幅提高其刚性、硬度、耐磨性和疲劳强度。淬火之后,钢球还需进行回火处理,以降低脆性并稳定组织。经过这一系列热处理后,钢球不仅具备精确的尺寸和圆整的几何形状,还展现出优异的机械性能和耐磨性能。最终,经过严格的质量检验,合格的钢球被送往成品仓库进行包装,并准备发往客户。整个轧制钢球生产与淬火工艺过程高度机械化、自动化,确保了产品的高质量和稳定性。

2 淬火温度对轧制钢球组织性能的影响

2.1 淬火温度对轧制钢球组织的影响

2.1.1 低温淬火时的组织特征

低温淬火时,轧制钢球内部组织转变不充分。钢球中的铁素体在低温下未能完全溶解,奥氏体化程度较低,保留了较多原始组织形态。钢球组织中存在大量细小且弥散分布的铁素体晶粒,其与未充分转变的珠光体相间分布。这种组织特征使得钢球具备一定强度基础,但由于奥氏体含量有限,无法在后续冷却过程中充分转变为高强度的马氏体,整体强度提升受限。然而,较多铁素体的存在赋予钢球一定的韧性,在一些对韧性要求较高、对硬度和耐磨性要求相对不苛刻的工况下,低温淬火后的钢球能发挥一定优势,不过其在高应力磨损环境中,耐磨性不足的问题较为明显。

2.1.2 中温淬火时的组织变化

中温淬火阶段,钢球组织发生显著变化。随着温度升高,铁素体逐渐向奥氏体转变,奥氏体含量增加且晶粒开始长大。在合适的中温区间,部分珠光体分解,碳元素向奥氏体中扩散,使奥氏体的含碳量更趋均匀。冷却后,钢球组织主要由马氏体和少量残余奥氏体组成。马氏体的形态和分布受奥氏体化程度影响,此时马氏体板条较为细小且分布均匀,这使得钢球在具备较高强度的同时,还保持了较好的韧性。残余奥氏体在一定程度上能缓解应力集中,对提高钢球的综合性能起到积极作用,相较于低温淬火,中温淬火后的钢球在硬度、韧性和耐磨性方面达到了较好的平衡,适用于多种常见的工作场景^[1]。

2.1.3 高温淬火时的组织特性

高温淬火时,钢球几乎完全奥氏体化,奥氏体晶粒迅速长大。过高的温度导致奥氏体晶界粗化,这对钢球性能产生不利影响。冷却后,钢球组织以粗大的马氏体为主,残余奥氏体含量相对较多,粗大的马氏体组织虽然使钢球硬度大幅提高,但也严重降低了其韧性,导

致钢球脆性增加。在受到冲击载荷时,容易发生脆性断裂,由于晶界粗化,晶界处成为薄弱环节,在磨损过程中,晶界处的原子更容易脱落,降低了钢球的耐磨性。尽管高温淬火能提高钢球表面硬度,但其综合性能劣化,在实际应用中需谨慎选择高温淬火工艺,仅适用于对硬度要求极高且冲击载荷较小的特定工况。

2.2 淬火温度对轧制钢球性能的影响

2.2.1 对硬度的影响

淬火温度与轧制钢球硬度密切相关。低温淬火时,由于奥氏体化不充分,转变形成的马氏体量少,钢球硬度相对较低。随着淬火温度升高至中温范围,奥氏体化程度提高,冷却后形成大量细小且均匀分布的马氏体,钢球硬度显著提升。继续升高温度到高温淬火阶段,奥氏体晶粒粗化,虽形成的马氏体量多,但粗大的马氏体组织以及晶界弱化,使得钢球在硬度进一步提高的同时,脆性也大幅增加,硬度的提升是以牺牲韧性为代价。过高的硬度还可能导致钢球在加工过程中出现裂纹等缺陷。要获得理想硬度且综合性能良好的轧制钢球,需精准控制淬火温度,平衡硬度与其他性能之间的关系。

2.2.2 对韧性的影响

轧制钢球的韧性受淬火温度影响明显。低温淬火时,较多铁素体存在赋予钢球一定韧性,但因强度不足,在承受较大应力时易发生塑性变形。中温淬火后,钢球组织中马氏体板条细小且分布均匀,残余奥氏体能有效缓解应力集中,此时钢球韧性处于较好水平,能在保证一定强度的基础上,较好地抵抗冲击载荷。高温淬火时,粗大的马氏体组织以及晶界粗化,使得钢球内部缺陷增多,裂纹萌生和扩展的几率增大,韧性急剧下降。在实际使用中,韧性不足的钢球易发生脆性断裂,降低使用寿命,所以合理控制淬火温度以确保钢球具有良好韧性至关重要。

2.2.3 对耐磨性的影响

淬火温度对轧制钢球耐磨性影响复杂。低温淬火钢球因硬度低、组织中未充分转变的铁素体和珠光体在磨损过程中易脱落,耐磨性较差。中温淬火使钢球获得合适的硬度和良好的组织状态,马氏体和残余奥氏体协同作用,提高了钢球表面抵抗磨损的能力,耐磨性显著增强。高温淬火虽大幅提高硬度,但粗大组织和晶界缺陷使钢球在磨损过程中更容易因脆性剥落而丧失耐磨性,且过高硬度导致钢球与接触材料之间的摩擦力增大,进一步加剧磨损。综合考虑硬度、韧性和组织状态,通过优化淬火温度来提升轧制钢球的耐磨性,是提高其使用寿命的关键因素之一^[2]。

3 基于淬火温度的轧制钢球性能优化策略

3.1 精准控制淬火加热速率

(1) 加热速率对轧制钢球的微观组织演变起着关键作用。快速加热能够使钢球内部的原子迅速获得足够能量进行扩散,促进奥氏体的均匀化形成,但过快的加热速率可能导致钢球表面与心部温差过大,产生较大的热应力,甚至引发裂纹。需根据钢球的材质、尺寸精确调控加热速率。对于小型钢球,可适当提高加热速率,以提高生产效率,同时确保组织转变充分,而对于大型钢球,要采用相对较慢的加热速率,让热量有足够时间均匀传递至心部,减小热应力。(2) 通过精确控制加热设备的功率输出和升温曲线,实现对加热速率的精准把控。例如,采用先进的智能温控系统,依据预设的加热速率程序,实时调整加热元件的电流或电压。在加热初期,缓慢提升温度,避免因起始温度过低而产生过大热冲击。随着温度升高,逐渐加快加热速率,满足奥氏体化过程对原子扩散的需求。这样既能保证钢球组织的均匀性,又能有效降低热应力带来的质量隐患。(3) 加热速率还会影响钢球的硬度和韧性平衡。合适的加热速率能促使碳化物充分溶解进入奥氏体,在后续冷却过程中形成理想的马氏体组织,使钢球获得良好的综合力学性能。若加热速率不当,可能导致碳化物溶解不充分,影响马氏体的含碳量和形态,进而降低钢球的硬度和耐磨性,或者使钢球韧性不足,易发生破碎。

3.2 优化淬火保温时间

(1) 淬火保温时间是确保钢球内部组织充分转变的重要参数。在保温阶段,钢球内部的奥氏体得以进一步均匀化,碳及合金元素在奥氏体中充分扩散。足够的保温时间能保证钢球整体组织一致性,避免出现局部组织转变不完全的情况。对于不同成分的轧制钢球,其奥氏体化所需的保温时间各异。含合金元素较多的钢球,由于合金元素的扩散速度较慢,需要更长的保温时间来促进合金元素均匀分布,从而影响钢球的最终性能。(2) 精确确定保温时间需综合考虑钢球的化学成分、加热设备特性以及加热炉内的温度均匀性等因素。可通过实验结合模拟分析的方法,建立不同条件下的保温时间模型。在实际生产中,根据模型设定初始保温时间,并通过定期抽样检测钢球的组织状态进行微调。例如,利用金相显微镜观察钢球不同部位的组织,若发现部分区域奥氏体化不充分,则适当延长保温时间;若组织已完全均匀化,可在保证质量的前提下缩短保温时间,提高生产效率。(3) 保温时间过长也会带来负面影响。过长的保温会导致奥氏体晶粒长大,使钢球的韧性下降,同时

增加能源消耗和生产成本。在保证组织充分转变的基础上,要尽可能缩短保温时间。可通过优化加热炉的结构和加热方式,提高炉内温度均匀性,减少钢球不同部位达到充分奥氏体化所需时间的差异,从而精准控制保温时间,实现钢球性能和生产效益的平衡^[3]。

3.3 采用合适的淬火冷却介质

(1) 淬火冷却介质的选择直接关系到轧制钢球能否获得理想的组织和性能。不同冷却介质具有不同的冷却能力,冷却能力过强,钢球在淬火过程中会产生较大的热应力和组织应力,易导致变形甚至开裂;冷却能力过弱,则无法使奥氏体充分转变为马氏体,影响钢球的硬度和耐磨性。对于碳钢材质的轧制钢球,常用的淬火冷却介质有水、盐水和油等。水的冷却能力较强,适用于形状简单、尺寸较小的钢球,能快速冷却使钢球获得较高硬度。(2) 盐水的冷却速度比水更快,可用于对硬度要求极高且形状不太复杂的钢球淬火。盐水对设备有较强腐蚀性,使用后需及时对设备进行维护保养。油的冷却速度相对较慢,能有效减少钢球淬火时的变形和开裂倾向,适用于形状复杂、对变形要求严格的合金钢球。在实际应用中,还可通过调整冷却介质的温度、浓度和循环速度等参数来进一步优化冷却效果。例如,适当提高淬火油的温度,可降低其黏度,改善冷却均匀性。

(3) 新型淬火冷却介质如聚合物水溶液也逐渐得到应用。聚合物水溶液的冷却特性可通过调整聚合物浓度进行调控,在保证一定冷却速度的同时,能有效降低钢球的淬火应力,提高钢球的综合性能。选择合适的淬火冷却介质,并结合钢球的材质、形状和尺寸等因素进行合理匹配,是优化轧制钢球性能的关键环节之一。

3.4 引入回火处理协同优化

(1) 回火处理是改善轧制钢球性能不可或缺的环节,与淬火过程协同作用。淬火后的钢球内部存在较大的残余应力,且马氏体组织处于亚稳定状态。回火能有效消除残余应力,使马氏体组织发生分解和转变,提高钢球的韧性,同时保持一定的硬度。根据回火温度的不同,可分为低温回火、中温回火和高温回火。低温回

火主要用于消除淬火应力,稳定马氏体组织,适用于对硬度要求高且需保持一定韧性的钢球,如矿山用轧制钢球。(2) 中温回火可使钢球获得良好的弹性和屈服强度,常用于承受交变载荷的钢球。高温回火则能显著改善钢球的综合力学性能,消除大部分残余应力,使组织更加均匀细化。在进行回火处理时,需精确控制回火温度和时间。回火温度过低,残余应力消除不充分,钢球韧性提升不明显;回火温度过高,会导致钢球硬度大幅下降。通过实验和生产经验积累,针对不同材质和用途的钢球制定相应的回火工艺参数。(3) 回火处理还能与淬火温度、冷却介质等因素相互配合,进一步优化钢球性能。例如,对于采用快速淬火冷却的钢球,适当提高回火温度或延长回火时间,可更好地消除应力;而对于淬火后硬度较高但韧性不足的钢球,调整回火工艺可在保证硬度的前提下提高韧性。合理引入回火处理,实现与淬火工艺的协同优化,能使轧制钢球满足不同工况下的性能要求,提高其使用寿命和可靠性^[4]。

结语

综上所述,淬火温度是影响轧制钢球组织性能的关键因素。通过精准调控淬火工艺参数,特别是淬火温度,结合加热速率、保温时间、冷却介质及回火处理的综合优化,可显著提升轧制钢球的硬度、韧性和耐磨性,满足不同工况下的使用需求。未来,随着材料科学与热处理技术的不断进步,轧制钢球的性能优化将更加高效、精准,为工业领域的发展贡献力量。

参考文献

- [1]张坤,骆文锋,郭小童,等.淬火温度对45钢淬火开裂的影响[J].机械工程材料,2022,46(3):63-67.
- [2]史姗,张均飞,曹晨,等.淬火温度对铬钼钢性能的影响[J].特钢技术,2024,30(3):39-42.
- [3]张来潮,金云学,诸旭伟,等.大型球磨机用高性能轧制钢球的热处理[J].金属热处理,2023,48(7):84-90.
- [4]王学镇,王东清.基于大数据分析的钢球轧制生产自动称重设备设计[J].集成电路应用,2022,39(12):58-60.