

600吨精锻机齿轮卡盘的焊接维修

温润陞, 吴文俊, 段志勇, 李帅
晋西铁路车辆有限责任公司, 山西 太原 030027
DOI:10.61369/ERA.2025070004

摘 要 : 随着大型设备在制造业中的广泛应用, 其关键部件的损坏和维修逐渐成为影响生产效率和经济效益的重要因素。本文以晋西车轴股份公司600吨精锻机齿轮卡盘的焊接维修为例, 着重介绍了42CrMo 中碳调质钢在 CO₂ 气体保护焊工艺中的应用, 从焊接性能分析、工艺设计到焊后检测与效果评价, 全面阐述了焊接维修过程中应注意的关键技术要点和实施策略。并以实际的论证, 验证所拟定的焊接工艺具有良好的可行性, 为类似高强度中合金钢的焊接维修提供了可靠参考。

关 键 词 : 42CrMo 钢; 焊接性; CO₂ 气体保护焊; 焊接工艺; 设备维修

Welding and Maintenance of 600 Ton Precision Forging Machine Gear Chuck

Wen Runsheng, Wu Wenjun, Duan Zhiyong, Li Shuai
Jinxi Railway Vehicle Co., Ltd. Taiyuan, Shanxi 030027

Abstract : With the widespread application of large equipment in manufacturing, the damage and repair of its key components have gradually become significant factors affecting production efficiency and economic benefits. This paper takes the welding repair of the gear chuck for a 600-ton precision forging machine at Jinxi Axle Co., Ltd. as an example, focusing on the application of 42CrMo medium-carbon quenched and tempered steel in CO₂ gas shielded arc welding. It comprehensively discusses the key technical points and implementation strategies to be mindful of during the welding repair process, from weldability analysis, process design, to post-weld inspection and effectiveness evaluation. The paper also validates the proposed welding process through practical demonstrations, proving its good feasibility and providing a reliable reference for similar high-strength medium-alloy steel welding repairs.

Keywords : 42CrMo steel; weldability; CO₂ gas shielded welding; welding process; equipment maintenance

前言

近些年我公司的各类大型设备越来越多, 随着使用年限的增加, 发生故障的几率也随之增加, 维修技术的重要性也就日益突出, 只有把设备又快又好地维修好, 才能保证设备的平稳运行, 保证生产的顺利进行, 我在多年的生产实践中, 运用自己的焊接专长, 维修了许多设备故障及工具工装。

2023年4月, 晋西车轴股份公司的600吨精锻机齿轮卡盘突然断裂, 造成车轴锻造停产, 这个齿轮卡盘是精锻机的关键部位^[1], 采用了42CrMo 材料制造, 直径为1.2米, 厚度为200mm, 下面是齿轮形状, 上面有四个夹头, 在工作中要承受很大的扭矩, 损坏的就是这四个夹头, 要重新制造会很费时费钱, 所以决定修复利用, 重新制作四个夹头焊接在底座齿轮上, 这种材料属于中碳调质钢, 含C: 0.38-0.45%、Si:0.17-0.37%、Mn:0.5-0.8、Cr:0.9-1.2%、Mo:0.15-0.25%, 另含有微量的Ni、Cu 等合金元素, 它的特点是强度高, 淬透性好, 韧性好, 淬火时变形小, 高温时有高的蠕变强度和持久强度。

一、42CrMo 钢焊接性能分析

根据 $CE=[C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15]\%$ 计算, 该材料的碳当量为0.87%, 可焊性较差。由于母材金属中含碳量高, 而数值较高的材料往往在焊接过程中容易出现裂纹, 这些裂纹主要是冷裂纹和热裂纹等。其原因在于: 在焊接过程中, 42CrMo 钢的母材中含有较高的碳含量, 母材金属的一部分要熔化并进入

到焊缝金属中去, 这将致使焊缝金属含碳量增高, 焊缝凝固结晶时, 结晶温度区间大, 偏析倾向也较大, 加之含硫杂质和气孔的影响, 容易在焊层金属中引起热裂纹。特别是在收尾处, 裂纹更为敏感^[2]。

42CrMo 钢淬硬倾向性大, 母材金属热影响区容易产生低塑性的淬硬组织, Ms 点又低, 因而在淬火区产生大量脆硬的马氏体, 导致严重脆化, 工件愈厚, 则淬硬倾向愈大。该焊件刚性大, 若

焊条或焊接工艺选用不当,在焊件冷却至300℃以下时,容易沿热影响区的淬硬区产生冷裂纹。42CrMo 钢的焊接冷裂纹一般是在焊后冷却过程中,在 Ms 点附近或 200 ~ 300℃的温度区间产生的。冷裂纹的起源多发生在具有缺口效应焊接热影响区或有物理化学不均匀的氢聚集的局部地带。而且冷裂纹的出现时间具有不确定性,冷裂纹有时焊后立即出现,而有时则需要经过一段时间才会显现。这两种情况中以延迟裂纹的危害性更为严重,因此,在焊接 42CrMo 钢时,除了要关注焊接冷却速度外,还应特别注意氢气含量的控制。根据实践证明,钢种的淬硬倾向、焊接接头的氢含量及其分布,以及焊接接头的拘束应力状态是产生延迟裂纹的三大主要因素。因此为了尽可能的减少延迟裂纹的出现,一定要注意控制这三大因素。同时,焊接接头的淬硬倾向主要取决于钢种的化学成分,其次是结构形式,焊接工艺和冷却条件等。因而在上述因素控制的基础上,可以进一步采取焊后后热和缓冷等办法来调整冷却时间。适当延长临界冷却时间,可降低钢的淬硬倾向^[3]。

由于该齿轮卡盘需要在调质状态下焊接,焊态下使用,由此造成接头综合力学性能降低。因此,如何在保证焊接质量的同时,确保焊接接头的优良力学性能,是 42CrMo 钢焊接中的主要技术难点。为了防止冷裂纹的产生,并保证接头的综合力学性能,建议采用适合的焊接材料,合理调整焊接参数,并配合焊后热处理工艺,使接头能够承受使用过程中所产生的各种应力,保证其可靠性和长期稳定性。

二、焊接方法和焊材的选择

42CrMo 钢由于其独特的化学成分和力学性能,对焊接工艺的选择具有较高的要求。结合实际工况及维修需求,本文选用 CO₂ 气体保护焊法,结合 ER50-6 焊丝开展焊接工艺。CO₂ 气体保护焊是一种以 CO₂ 气体作为保护介质的熔化极电弧焊工艺,具有焊接效率高、工艺稳定性强等特点,非常适合大厚度、高强度钢材的焊接。其优势体现在如下几个方面:

(1) CO₂ 气体保护焊所使用的焊丝含碳量极低,在焊接过程中能够有效减少母材中碳的熔入,从而降低焊缝的碳含量。这种特性显著减少了热裂纹的形成概率,使得焊缝具备更高的稳定性。

(2) CO₂ 气体保护焊的电流密度较大,焊接电弧集中,单位时间内熔化的焊丝量大大提高,熔敷率高。这一特点使其在焊接大厚度工件时能够具有更短的焊接工时。

(3) CO₂ 气体具有氧化性,可有效减少焊接过程中氢气孔的产生,焊缝中扩散氢的含量低至 0.03ml/100g (相比之下,酸性焊条为 21.9ml/100g,碱性焊条为 8.15ml/100g)。此特性大幅降低了焊缝的氢致裂纹风险,提升了焊接接头的可靠性。

(4) CO₂ 气体保护焊由于熔池较小,焊接时的热输入较低,能够减小热影响区的范围。焊接过程中因热应力引起的变形及裂纹也会更小,焊接接头具有优良的综合力学性能,完全能够满足使用要求。

所以,采用 CO₂ 气体保护焊焊接 42CrMo 钢较适合,另外,根据材料强度和产品使用要求,选用 ER50-6 焊丝进行焊接也更加合适,ER50-6 焊丝的化学成分设计合理,能够与 42CrMo 钢母材相匹配。同时其低碳含量和合适的硅锰比例进一步确保了熔敷金属具有较高的抗裂性能和韧性^[4]。加之熔敷金属经过多层多道焊接后,能够形成致密的焊缝组织,焊接接头综合力学性能优异,完全满足高强度工件的使用要求。

三、工艺措施

(一) 焊接坡口选择

由于 42CrMo 钢焊件厚度大,为保证焊透性和减少填充金属的使用,采用 U 形坡口设计,内角平滑过渡,减小应力集中区域,坡口深度设定为 50mm。

(二) 焊前预热

42CrMo 钢的焊接过程容易受到冷裂纹的影响,为此,根据焊件情况,采用局部范围的预热处理,以焊接区域为中心,向两侧延伸 100-150mm,温度为 400℃左右,同时选用电阻加热器进行精准预热,配合移动式加热设备对复杂部件进行补充加热;用表面测温仪实时测量温度,确保焊件表面和内部的温度均匀性。

(三) 层间温度

合适的层间温度是防止焊接冷裂纹和获得优良焊接接头的必要条件之一,为了保证这一条件的达成,应将其控制在 350℃左右,同时在每道焊缝焊接完成后,立即测量温度;如果层间温度过低,需采用二次加热补温措施;在焊接过程中,严格监控焊接间隔时间,防止温度下降过快。

(四) 焊接工艺参数

为了确保焊透的同时减少焊缝残余应力,提高焊接接头的抗裂能力。焊接时采用多层多道焊接方法来降低焊接热输入,优化焊接热循环^[5]。该工艺所采用的焊接工艺参数见表 1 所示:

表 1 多层多道焊接工艺参数表

焊接层次	第一层(打底层)	中间层	盖面层
焊接电流(A)	280-300	260-280	240-260
电弧电压(V)	32-36	30-34	26-30

(五) 焊后热处理

焊后热处理在 42CrMo 钢焊接修复中可以用于消除焊接残余应力并改善焊接接头的力学性能。对此,焊后工件要及时进行去应力退火,温度为 600-650℃,保温时间根据工件厚度和结构复杂性确定,通常为 1-2 小时;其冷却方式采用炉冷至 200℃以下后自然冷却。

四、焊接过程中应注意的事项

1. 工件表面残留的油污和锈迹会在一定程度上降低焊缝的强度,甚至可能在高温下生成气孔或夹渣,影响焊接接头的可靠性。因此,焊前需认真清除工件表面的油污、铁锈、水渍等杂质,在清理时,可以针对坡口内部和周边区域采用如机械打磨、

化学清洗等方式进行反复处理，在潮湿等环境条件复杂的情况下，还需要进一步对工件表面进行干燥处理，防止湿气引发焊接缺陷。

2. 焊接过程中，温度控制不能局限于预热和层间温度，还要对整个焊接区域的热分布进行动态管理。在多层多道焊接中，每一层焊缝的热输入都会对母材产生新的影响，因此需要特别注意焊接热循环的均衡性。需要采用合适的焊接节奏，使每道焊缝之间有足够的时间，同时避免过度冷却，此过程非常需要经验和技术支持。而且焊接路径的规划应尽可能减少应力集中，可以考虑采用对称焊接或跳焊方式，此类方法有助于分散应力，还能提升焊缝的成形质量。

3. 在操作细节上，要注意对焊接起弧和收弧的处理，针对于大厚度材料的焊接，其焊接起弧点的选择需远离关键应力部位，以此减少热集中对母材的影响。而收弧则应注意填满弧坑，避免产生弧坑裂纹。焊接中还需关注焊道的搭接效果，注意其熔合良好，同时注意焊缝表面的平整性，避免形成应力集中点。

4. 为了减小焊接应力，每次环节完毕后，要用圆角锤头逐层锤击焊道表面，锤击的方向和力度需要根据焊缝的具体形状和热影响区的特性调整，相邻两焊层间的锤击方向要相反，减少焊接变形的可能。对于复杂结构或厚度较大的焊接件，除了机械锤击，还可以考虑在焊接完成后对焊件施加振动时效处理，以高频的振动进一步释放残余应力。

5. 焊件在焊接完成后立即进行加热处理，将其缓慢加热至600–650℃的退火温度。为了避免加热过快引起的热应力，建议升温速度为50–100℃/小时，具体速率根据焊件的厚度和结构复杂性确定。当焊件温度达到退火区间时，需根据工件厚度和焊缝复杂程度进行保温。厚度为50mm的工件保温时间为1–2小时，对于更大厚度的焊件，可适当延长保温时间。

五、效果

焊接完成后，工件经过48小时的静置后进行了超声波探伤，检测结果显示焊缝内部无裂纹、气孔、夹渣等常见缺陷，焊缝质量完全符合设计要求。同时，焊接接头的表面质量良好，成形均

匀，无明显的焊接变形现象。此次修复工艺恢复了齿轮卡盘的使用性能，但更为关键的是在生产时间和成本上取得了明显的优势。相比重新制造新的齿轮卡盘，修复方案节省了至少70%的生产时间，同时降低了约50%的成本开支。

另外根据焊缝力学性能的检测结果可以了解到，焊接接头的拉伸强度、冲击韧性以及硬度分布均达到或超过42CrMo钢的原设计标准，焊接区域的综合性能能够满足高强度工作条件下的实际需求。其是在高载荷条件下，焊缝区域表现出良好的稳定性和抗疲劳性能。

六、结论

1. 结合42CrMo钢的高强度和低可焊性特点，选择CO₂气体保护焊能够有效降低焊接过程中的裂纹风险，同时显著提高焊接效率。而选用ER50–6焊丝作为焊材，其优异的工艺性能和熔敷金属力学性能也完全满足修复需求。本次修复工作表明，合理选择焊材是保障焊接质量的基础，可显著减少焊缝缺陷，提升工件的综合性能。

2. 42CrMo钢在焊接过程中淬硬倾向明显，冷裂纹风险高。而基于将焊前预热温度控制在400℃左右，层间温度维持在350℃，以及焊后采用600–650℃的去应力退火处理，将有效防止焊接区域淬硬组织的生成，还进一步优化焊接接头的力学性能。本研究的结果表明，严格控制焊接热输入和冷却条件可以实现高质量的焊接。

3. 本次修复采用的多层多道焊接工艺，结合科学的坡口设计和焊接参数控制，焊缝成形良好，内部无裂纹、气孔等缺陷。焊接接头的拉伸强度、冲击韧性及硬度分布均达到42CrMo钢的原设计标准，完全满足高载荷工作条件的使用要求。这一成果也充分说明，针对不同工件特点设计合适的焊接工艺能够显著提高焊接质量，并为后续类似工件的焊接提供了重要参考。

综上所述，CO₂气体保护焊结合科学的工艺设计是实现42CrMo钢高质量焊接的有效途径。未来，可以进一步探索更高效、更智能化的焊接技术，以满足更复杂工况下对高强度材料焊接的要求，从而推动关键设备维修技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 王晋生, 王玉梅. 45钢与42CrMo合金钢焊接工艺[J]. 大型铸锻件, 2008(4): 1–2, 5.
- [2] 张金库, 张伟强, 王大伟, 等. 42CrMo钢与16Mn钢焊接工艺研究[J]. 煤矿机械, 2010, 31(02): 102–104.
- [3] 宁志敏. 异种钢焊缝中熔合区裂纹的防止[J]. 焊接技术, 2000, (04): 14–16.
- [4] 吴智, 王梗蕊, 黄上甫, 等. 30CrMnSiA钢中厚板焊接工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2023, (10): 45–49.
- [5] 刘海, 徐兵, 张松, 等. 12Cr2Mo1VR与20MnMoNb异种钢焊接工艺研究[J]. 锅炉制造, 2021, (02): 42–43+58.