

摩擦焊钻杆飞边处理工艺的研究

齐新超^{1,2} 苏辰兆^{1,2} 程 林^{1,2} 王克虎^{1,2}

1. 河北省地矿局国土资源勘查中心 河北 石家庄 050081
2. 河北省石家庄探矿机械制造有限责任公司 河北 石家庄 050081

摘 要：摩擦焊钻杆飞边处理工艺研究聚焦于飞边形成原理及多种处理方法的探讨与优化。飞边主要由焊接过程中的金属流动与挤压形成。现有处理工艺包括机械磨削、热加工、激光切割和化学腐蚀等，各有优劣。为提升处理效率与质量，本研究提出优化策略：精细化调整焊接参数以减少飞边产生，创新处理方法如超声波处理等，以及采用高效刀具与智能化磨削策略。这些优化措施旨在实现飞边的高效、精准去除，提高钻杆的整体性能。

关键词：摩擦焊；钻杆飞边；处理工艺

引言：摩擦焊作为一种高效、环保的金属连接技术，在钻杆制造领域得到了广泛应用。然而，在其制造过程中，飞边的产生一直是一个不容忽视的问题。这些飞边不仅严重影响了钻杆的外观美观度，更重要的是，它们还可能对钻杆的整体性能和使用寿命产生潜在的不利影响。飞边的存在可能导致钻杆在使用过程中出现应力集中、裂纹扩展等问题，从而影响其可靠性和安全性。因此，深入研究摩擦焊钻杆飞边处理工艺，探索出高效、精准的去除方法，对于提升钻杆的整体质量、延长其使用寿命以及提高生产效率都具有极为重要的意义。

1 摩擦焊钻杆飞边形成原理

1.1 摩擦焊原理

摩擦焊是一种利用工件接触面摩擦产生的热量作为热源，使工件在压力作用下产生塑性变形而进行焊接的方法。在摩擦焊过程中，两个待焊接的工件被夹紧在特定的夹具中，其中一个工件（通常称为旋转工件）在电机的驱动下开始高速旋转，而另一个工件（移动工件）则在轴向力的作用下逐渐靠近旋转工件。当两侧工件接触压紧后，摩擦界面上的微小凸体首先被粘接剪切，产生摩擦热。随着实际接触面积的增加，摩擦力矩迅速增大，摩擦界面温度也随之升高，逐渐形成一层高温粘塑性金属覆盖层。在热激活的作用下，这一层粘塑性金属发生动态再结晶，降低了变形阻力，使得焊接过程得以持续进行。摩擦焊原理如图1所示。

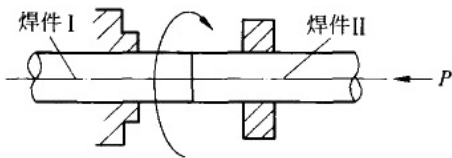


图1 摩擦焊工作原理

1.2 飞边产生机制

在摩擦焊钻杆的生产过程中，飞边的产生是一个常见的现象。飞边主要是由于焊接过程中，高温粘塑性金属在轴向压力和摩擦扭矩的作用下，被挤出焊接界面而形成的。具体来说，当摩擦焊接区的温度分布和变形达到一定程度时，制动开始，轴向力迅速上升到设定的镦粗压力。此时，轴向缩短迅速增加，并且随着界面温度的降低，摩擦压力增加，出现摩擦扭矩的第二峰值，即后峰值扭矩^[1]。在这个阶段，焊区金属在顶锻和顶锻过程中的塑性变形及流动，使得部分金属被挤出焊接界面，形成飞边。飞边的产生不仅影响了钻杆的外观质量，还可能对钻杆的性能造成一定的影响，因此需要通过优化焊接参数和处理工艺来减少飞边的产生。

2 常见飞边处理工艺

2.1 机械磨削处理

2.1.1 磨削工具的选择

在机械磨削处理中，磨削工具的选择至关重要。常用的磨削工具有砂轮、砂带和磨头等。砂轮具有磨削效率高、适应性强等特点，适用于大面积飞边的去除。砂带则更适合于对钻杆表面进行精细磨削，以达到更高的表面质量。磨头则可以根据具体的飞边形状和位置进行定制，以实现更加精准的磨削处理。选择合适的磨削工具不仅可以提高处理效率，还可以减少工具的损耗和钻杆表面的损伤。

2.1.2 磨削参数的优化

磨削参数的优化对于提高机械磨削处理的效果至关重要。磨削参数包括磨削速度、磨削压力和磨削时间等。磨削速度的选择应考虑到材料的硬度和磨削工具的耐磨性，以保证磨削效率和磨削质量。磨削压力则应根据飞边的大小和形状进行调整，以确保磨削过程中能够均匀去除飞边。磨削时间的控制也很重要，过长的磨削

时间可能会导致钻杆表面过度磨损，而过短的磨削时间则可能无法完全去除飞边。

2.1.3 磨削后的处理

机械磨削处理后，钻杆表面可能会留下一些微小的划痕或毛刺。为了进一步提高钻杆的表面质量，需要进行后续的处理。常见的后续处理方法包括抛光和喷砂等。抛光可以使钻杆表面更加光滑，提高美观度和耐磨性。喷砂则可以去除钻杆表面的残留物和微小凸起，使表面更加平整。这些后续处理步骤可以根据具体的需求进行选择和应用。

2.2 热加工法

热加工法是处理摩擦焊钻杆飞边的常用工艺手段，其核心原理是借助高温改变飞边的物理状态，以实现有效去除或修整。在加热设备选择方面，常用的有火焰加热器和感应加热装置。火焰加热器中的氧乙炔火焰喷枪，火焰温度可高达3200℃左右，能迅速提供高热量，但温度均匀性稍差，局部温差可达±10℃左右。而感应加热装置功率通常在10-30kW之间，它依靠电磁感应原理使飞边区域自身发热，加热效率较高，温度均匀性好，能将整体温差控制在±3℃以内，更利于精准处理飞边。加热温度控制是热加工法的关键要点。对于摩擦焊钻杆常见的中碳合金钢飞边，其开始软化的温度范围大致在850-950℃，为避免影响钻杆本体性能，钻杆本体可承受的最高温度不宜超过1150℃，所以加热过程中需借助高精度的温度传感器实时监测，确保温度精准把控在合适区间。加热区域确定时，利用激光扫描测量技术，可将飞边区域的定位精度提升至±0.5mm，保证仅对飞边部分精准加热，减少对钻杆本体不必要的热影响。飞边软化后，采用硬度为HRC62-68的特制修整刀具，以15°-25°的切削角度进行去除操作，保障去除效果同时避免损伤钻杆。后续处理中，通过风冷方式冷却，冷却速度控制在8-12℃/min，随后进行检验，要求飞边去除处的表面平整度误差控制在±0.05mm以内。钻杆飞边热加工处理关键指标数据如表1所示。

表1 钻杆飞边热加工处理关键指标数据

项目	详细数据
氧乙炔火焰喷枪火焰温度	约3200℃
火焰加热器局部温差	±10℃
感应加热装置功率范围	10-30kW
感应加热温度均匀性温差	±3℃
中碳合金钢飞边软化温度范围	850-950℃
钻杆本体可承受最高温度	1150℃
加热区域定位精度	±0.5mm

续表：

项目	详细数据
修整刀具硬度	HRC62-68
修整刀具切削角度范围	15°-25°
风冷冷却速度范围	8-12℃/min
表面平整度误差要求	±0.05mm

2.3 激光切割技术

激光切割技术是一种高精度、高效率的飞边处理方法，特别适用于摩擦焊钻杆等精密部件的飞边处理。该技术利用高能量密度的激光束，通过聚焦镜将激光束聚焦在飞边处，使其迅速升温并达到熔点或沸点，从而实现飞边的快速去除。激光切割技术具有多个显著优势。其非接触式的加工方式避免了传统机械加工可能对钻杆本体造成的损伤，保证了钻杆的整体性能和精度。激光切割的精度极高，能够实现对飞边边缘的精确控制，确保处理后钻杆的外观质量。激光切割速度快，能够显著提高生产效率，降低生产成本。在应用激光切割技术处理摩擦焊钻杆飞边时，需要根据飞边的材质、厚度和形状等参数，选择合适的激光功率和切割速度，以确保切割效果和效率^[2]。要确保激光束的聚焦精度和稳定性，避免切割过程中出现偏差或抖动。还需要对切割区域进行精确的定位和标记，以确保切割的准确性和一致性。

2.4 车床车削

车床车削在处理金属制品飞边方面展现出了其独特的优势。通过精确控制刀具的运动轨迹和切削参数，车床车削不仅能够高效地去除金属制品上的飞边，还能确保加工面的精度和表面质量，这对于提高产品的整体质量和性能至关重要。然而，车床车削处理飞边也存在一定的局限性。一方面，车床车削需要专业的设备和技术支持，操作相对复杂，对于非专业人员来说可能存在一定的难度。另一方面，车床车削主要适用于金属制品，对于塑料制品等材质较软、易变形的工件，车床车削可能不是最佳选择。因为塑料制品在加工过程中容易产生热变形、裂纹等问题，需要采用更适合的物理或化学处理方法来去除飞边。此外，车床车削处理飞边还需要考虑成本问题。虽然车床车削能够高效地去除飞边，但设备和刀具的磨损、维护以及人工费用等都会增加生产成本。因此，在选择车床车削处理飞边时，需要综合考虑产品的材质、飞边的严重程度以及处理成本等因素，以确保选择最合适的处理方法。

3 优化飞边处理工艺

3.1 焊接参数精细化调整

3.1.1 预热温度与焊接速度的优化

预热温度是影响焊接过程中金属流动性和热塑性变形的重要因素。通过合理设定预热温度,可以使焊接区域的金属在焊接前达到一定的热塑性状态,从而降低飞边的形成。同时,焊接速度的调整也至关重要。过快的焊接速度可能导致焊接区域金属未能充分融合,增加飞边的风险;而过慢的速度则可能使焊接区域过热,导致金属过度氧化和飞溅。因此,在精细化调整中,需要综合考虑预热温度和焊接速度的关系,通过反复试验找到最佳的参数组合。

3.1.2 焊接压力与顶锻压力的调整

焊接压力和顶锻压力是影响焊接质量和飞边形成的另一对关键参数。焊接压力的大小直接影响到焊接区域的金属挤压程度和塑性变形程度,进而影响飞边的产生。而顶锻压力则是在焊接完成后对焊接区域进行进一步压实和塑性的关键步骤。通过精细化调整焊接压力和顶锻压力,可以确保焊接区域的金属在焊接过程中得到充分的挤压和融合,从而减少飞边的产生。同时,合理的顶锻压力还可以提高焊接接头的强度和韧性。

3.1.3 摩擦时间与制动时机的精确控制

摩擦时间和制动时机的选择对焊接过程中金属流动性和凝固状态具有重要影响。通过精确控制摩擦时间,可以确保焊接区域的金属在摩擦过程中得到充分的加热和塑性变形,从而降低飞边的风险。而制动时机的选择则决定了焊接区域金属在何时开始冷却和凝固。过早的制动可能导致焊接区域金属未能充分融合,而过晚的制动则可能使焊接区域过热,增加飞边的产生。因此,在精细化调整中,需要对摩擦时间和制动时机进行精确控制,以实现最佳的焊接效果。

3.2 创新处理方法

为了优化飞边处理工艺,对焊接参数进行精细化调整显得尤为重要。(1) 预热温度的精准控制是关键。预热温度不仅影响焊接接头的热塑性变形,还直接关系到飞边的形成。通过精确调整预热温度,使焊接区域在焊接前达到理想的热状态,可以有效降低飞边的产生。

(2) 焊接速度的调整也至关重要。焊接速度过快可能导致焊接区域金属未能充分融合,而过慢则可能使焊接区域过热,增加飞边的风险。因此,需要根据焊接材料的特性和焊接要求,合理设定焊接速度,确保焊接质量和飞边控制的平衡。(3) 焊接压力与顶锻压力的优化同样不可忽视。通过调整焊接压力和顶锻压力,可以实现对焊接区域金属的充分挤压和融合,从而减少飞边的产生。同时,合理的顶锻压力还可以提高焊接接头的强度和韧性。(4) 摩擦时间的精确控制也是优化飞边处理工

艺的重要一环。摩擦时间的长短直接影响焊接区域金属的加热程度和塑性变形程度,进而影响飞边的形成。因此,需要根据焊接材料的热物理性能和焊接要求,精确设定摩擦时间。(5) 制动时机的选择也至关重要。制动时机过早可能导致焊接区域金属未能充分融合,而过晚则可能使焊接区域过热,增加飞边的风险。因此,需要合理设定制动时机,确保焊接质量和飞边控制的平衡。

3.3 高效刀具与磨削策略创新

在摩擦焊钻杆飞边处理领域,高效刀具与先进磨削策略的创新成为提升生产效率与产品质量的重要途径。针对飞边处理的复杂性,我们致力于研发具有特殊几何形状与高性能涂层的刀具。这些刀具不仅具备出色的耐磨性和抗冲击性,还能在高速切削过程中保持稳定的切削性能,从而有效减少刀具磨损,延长使用寿命^[3]。同时,特殊设计的切削刃口能够更精准地切入飞边,减少切削阻力,提高切削效率。在磨削策略方面,我们引入了自动化与智能化技术。通过集成传感器与控制系统,实现了对磨削过程的实时监控与精确调整。这不仅可以确保磨削参数的稳定性,还能根据飞边的实际情况进行灵活调整,以达到最佳的磨削效果。此外,我们还采用了先进的磨削液与冷却系统,以降低磨削过程中的热量积聚,减少工件变形,提高表面质量。高效刀具与先进磨削策略的创新为摩擦焊钻杆飞边处理工艺带来了显著的优化效果,通过不断提升刀具性能与磨削效率,我们致力于为客户提供更高效、更可靠、更环保的飞边处理解决方案。

结语

未来,随着科技的日新月异和持续进步,我们满怀期待地憧憬着能够研发出更加高效、环保的摩擦焊钻杆飞边处理工艺。这些创新工艺不仅将显著提升飞边去除的效率与精确度,还将大幅度降低处理过程中的能耗与废弃物排放,实现绿色、可持续的生产目标。这将进一步推动摩擦焊钻杆制造技术的革新与发展,使其在满足更高质量标准和更严格环保要求的同时,不断提升生产效率和降低成本。

参考文献

- [1]蒋开勇.摩擦焊型定向钻杆加工工艺研究[J].煤矿机械,2020,41(7):93-95.
- [2]金峰,熊江涛,石俊秒,郭德伦,李京龙.GH4169旋转摩擦焊飞边成形机理研究[J].材料导报,2020,34(10):10144-10149.
- [3]谭春超,张富军.基于TRIZ理论的铝合金搅拌摩擦焊焊缝飞边清理问题的解决[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(8):94-95.