

不锈钢焊接工艺对火炸药机械强度的影响研究

唐远征 仇嘉辰 周婷婷 张江红 李庭政

湖北航鹏化学动力科技有限责任公司 湖北 襄阳 441000

摘要: 在现代工业领域,火炸药作为重要的能源材料,广泛应用于军事、航天、采矿等多个关键行业。其机械强度对于确保相关设备和系统的安全、稳定运行起着决定性作用。然而,不锈钢焊接工艺的选择和实施不当,可能会对火炸药的机械强度产生显著影响。焊接过程中产生的高温、应力以及微观组织结构的变化,都可能改变火炸药的内部结构和性能,进而降低其机械强度。鉴于此,关于不锈钢焊接工艺对火炸药机械强度影响的系统性研究是非常有必要的。

关键词: 不锈钢焊接工艺;火炸药机械强度;影响

引言:不锈钢因其卓越的耐腐蚀性、高强度和良好的加工性能,在与火炸药相关的设备制造中得到了广泛应用。例如,在火炸药的储存容器、运输管道以及一些起爆装置等部件中,不锈钢能够有效抵御火炸药及其分解产物的腐蚀,保障设备的长期可靠性。而焊接作为一种常用的金属连接工艺,在不锈钢部件的制造和组装过程中不可或缺。通过焊接,可以将不同形状和尺寸的不锈钢部件连接成完整的结构,满足实际工程的需求。

1 不锈钢焊接工艺

1.1 手工电弧焊

手工电弧焊是一种历史悠久且应用广泛的焊接方法。其原理是以手工操作的焊条和被焊接的工件作为两个电极,利用焊条与焊件之间产生的电弧热量来熔化金属,从而实现焊接。对于实际操作而言,首先要接通焊接电源,将焊条与焊件接触,瞬间短路后迅速提起,引燃电弧。此时,电弧产生的高温使焊条和焊件局部加热到熔化状态,焊条端部熔化的金属与被熔化的焊件金属相互熔合,形成熔池。随着焊条的移动,熔池中的液态金属逐步冷却结晶,最终形成焊缝,将两焊件牢固地连接在一起。在此过程中,焊条的焊芯熔化后以熔滴的形式向熔池过渡,同时焊条涂层产生一定量的气体和液态熔渣。随后,产生的气体充满在电弧和熔池周围,起到隔绝空气的作用,防止焊接部位被氧化;液态熔渣比液态金属密度小,会浮在熔池上面,进一步保护熔池。当熔池内金属冷却凝固时,熔渣也随之凝固形成焊渣,覆盖在焊缝表面,能防止高温的焊缝金属被氧化的同时,还能降低焊缝的冷却速度,有利于焊缝金属获得合适的化学成分和组织。

1.2 气体保护焊

气体保护焊是利用外加气体作为电弧介质并保护电

弧和焊接区的电弧焊方法,常见的有二氧化碳气体保护焊和熔化极惰性气体保护焊。二氧化碳气体保护焊以二氧化碳气为保护气体,在焊接时,二氧化碳气体从焊枪中喷出,在电弧周围形成一层气幕,将空气隔绝在焊区之外,防止空气中的氧气、氮气等对焊缝金属产生不良影响。焊丝作为电极,在电弧的高温作用下不断熔化,熔滴过渡到母材熔池中,与母材金属熔合形成焊缝^[1]。熔化极惰性气体保护焊则是采用惰性气体(如氩气、氦气等)或活性混合气体(如氩气与少量氧气、二氧化碳的混合气)作为保护气体,同样通过焊丝的熔化和熔滴过渡来实现焊接。这种焊接方法的电弧和熔池可见性好,焊工在焊接过程中能够清晰地观察到熔池的情况,从而方便地调节焊接参数,保证焊接质量。

1.3 激光焊接

激光焊接是一种以聚焦的激光束作为能源轰击焊件,利用激光束的高能量密度使焊件局部迅速加热熔化,从而实现焊接的方法。众所周知,激光具有良好的方向性和高能量密度,利用光学系统可以将激光束聚焦在很小的区域,使该区域的金属迅速吸收激光能量,温度急剧升高,达到熔化状态。在熔化的金属冷却凝固后,就形成了焊缝。激光焊接过程属热传导型,即激光辐射加热工件表面,表面热量通过热传导向内部扩散。在此基础上,精确控制激光脉冲的宽度、能量、峰值功率和重复频率等参数,可以使工件熔化,形成特定的熔池,满足不同的焊接要求。

1.4 等离子弧焊

等离子弧焊是利用等离子弧高能量密度束流作为焊接热源的熔焊方法。等离子弧是通过自由电弧进行压缩而获得的,其产生过程如下:在钨极与喷嘴之间或钨极与工件之间施加较高电压,经高频振荡使气体电离形

成自由电弧。该自由电弧受到机械压缩效应、热压缩效应和电磁收缩效应的作用，弧柱被强烈压缩，能量高度集中，从而形成等离子弧。机械压缩效应是指电弧经过有一定孔径的水冷喷嘴通道时，电弧截面受到拘束，不能自由扩展；热压缩效应是当通入一定压力和流量的氩气或氮气时，冷气流均匀地包围着电弧，使电弧外围受到强烈冷却，迫使带电粒子流往弧柱中心集中，弧柱进一步被压缩；电磁收缩效应是定向运动的电子、离子流在弧柱电流本身产生的磁场作用下，产生的电磁力使弧柱进一步收缩。焊接时，等离子弧作为热源使焊件金属熔化，形成焊缝。根据焊接工艺的不同，等离子弧焊有点焊、缝焊、对焊等多种形式。

1.5 电阻焊接

电阻焊是将焊件压紧于两电极之间，并通以电流，利用电流流经工件接触面及邻近区域产生的电阻热将其加热到熔化或塑性状态，使之形成金属结合的一种方法。点焊是电阻焊中最常见的形式之一，在点焊时，工件只在有限的接触面上即所谓“点”上被焊接起来，并形成扁球形的熔核。点焊又可细分为单点焊和多点焊，多点焊时，使用两对以上的电极，在同一工序内形成多个熔核。缝焊类似点焊，不同之处在于工件在两个旋转的盘状电极（滚盘）间通过后，形成条焊点前后搭接的连续焊缝。凸焊是点焊的一种变型，在一个工件上有预制的凸点，凸焊时，一次可在接头处形成一个或多个熔核。对焊时，两工件端面相接触，经过电阻加热和加压后沿整个接触面被焊接起来。

1.6 电渣焊

电渣焊是利用电流通过熔渣所产生的电阻热作为热源，将填充金属和母材熔化，凝固后形成金属原子间牢固连接的焊接方法。在焊接开始时，先使焊丝与起焊槽短路起弧，不断加入少量固体焊剂，利用电弧的热量使之熔化，形成液态熔渣。待熔渣达到一定深度时，增加焊丝的送进速度，并降低电压，使焊丝插入渣池，此时电弧熄灭，转入电渣焊焊接过程。在电渣焊过程中，电流通过液态熔渣产生电阻热，使渣池温度可达1600至2000℃，这个高温将填充金属和母材熔化，随着焊接的进行，熔池不断扩大，冷却凝固后形成焊缝。根据使用的电极形状，电渣焊可分为丝极电渣焊、板极电渣焊、熔嘴电渣焊等多种类型。

2 火炸药机械强度概述

火炸药的机械强度涉及多个关键指标，其中抗拉强度是指材料在拉伸载荷作用下抵抗断裂的能力。对于火炸药而言，足够的抗拉强度能确保其在受到拉伸力时，

如在某些特殊的运输或使用场景中，不会轻易发生破裂或损坏，从而维持其性能的稳定性。抗剪强度则是构件抵抗剪切能力的指标，火炸药在实际应用中可能会受到剪切力的作用，例如在一些机械装置的运作过程中，较高的抗剪强度能保证火炸药不被剪断，保证其完整性和安全性。抗压强度同样重要，它衡量的是火炸药在承受压力时的性能，在储存和运输过程中，火炸药可能会受到来自周围环境的压力，具备良好的抗压强度可以防止其因受压而变形、失效甚至引发危险。

在火炸药的生产过程中，机械强度直接关系到生产的安全性和产品质量。生产过程中，火炸药可能会受到搅拌、输送等机械作用，如果其机械强度不足，就容易在这些操作中发生意外，如局部过热、提前爆炸等，严重威胁生产人员的生命安全和生产设备的正常运行。只有机械强度符合标准的火炸药，才能保证在生产过程中的稳定性，确保生产出的产品质量可靠。在储存环节，火炸药可能会受到各种外力的影响，如堆放时的压力、温度变化引起的热应力等。具有足够机械强度的火炸药能够在这些因素的作用下，以保持自身的物理和化学性质稳定，避免因强度问题导致的变质、分解等情况，从而延长储存期限，保证储存的安全性。

3 不锈钢焊接工艺对火炸药机械强度的影响分析

3.1 温度影响

焊接过程中产生的高温可能导致火炸药组分发生变化，进而影响其机械强度。高温可能使火炸药中的某些成分分解、挥发或发生化学反应，导致炸药性能下降。另一方面，高温还可能引起炸药内部的热应力，导致裂纹或变形。

实验分析时，可选取两种常用的不锈钢材料（304和316L）进行TIG焊和MIG焊实验，观察焊接温度对火炸药机械强度的影响。实验结果表明，随着焊接温度的升高，火炸药的抗拉强度和屈服强度均有所下降。特别是在MIG焊中，由于焊接温度较高且冷却速度较慢，火炸药的机械强度下降更为显著。

3.2 应力影响

焊接过程中产生的残余应力对火炸药的机械强度也有重要影响^[2]。残余应力可能导致炸药内部产生裂纹或分层，从而降低其整体强度。此外，需要注意的是，残余应力还可能影响炸药的爆炸性能，使其在实际应用中无法达到预期的爆炸效果。

数值模拟中利用ANSYS/LS-DYNA显式动力学软件对不锈钢/火炸药的爆炸焊接过程进行数值模拟，研究不同间距和起爆方式对焊接质量和应力分布的影响。模拟

结果表明,当爆炸焊接工艺和材料保持不变时,复合板在上限间距处的复合质量最好,且中心起爆下炸药能量利用率较高。通过延长复板长度并将复板边缘引出复合区域,可以有效地消除边界效应并降低残余应力。

3.3 焊接缺陷影响

焊接过程中可能出现的缺陷(如气孔、裂纹、夹渣等)对火炸药的机械强度具有直接影响。这些缺陷可能导致炸药在受到外力作用时提前破坏,从而降低其整体强度。此外,缺陷还可能成为炸药内部应力集中的源头,加速炸药的失效过程。

案例分析时,对某型火炸药组件进行焊接质量检查,发现焊接接头处存在多处气孔和微小裂纹。经过力学性能测试发现,该组件的抗拉强度和屈服强度均明显低于标准要求。分析认为,焊接缺陷是导致机械强度下降的主要原因。

3.4 焊接材料选择

不锈钢焊接材料的选择对火炸药机械强度也有一定影响。不同牌号的不锈钢材料具有不同的化学成分和力学性能,因此选择合适的焊接材料对于保证火炸药的机械强度至关重要。例如,奥氏体不锈钢具有较高的塑性和韧性,但热导率较低;铁素体不锈钢则具有较高的热导率和强度,但塑性较差。在选择焊接材料时,需要综合考虑火炸药的使用环境和性能要求。

对比实验可选取304奥氏体不锈钢和430铁素体不锈钢进行焊接实验,观察焊接材料对火炸药机械强度的影响。实验结果表明,使用304不锈钢焊接的火炸药组件具有较高的塑性和韧性,但在高温环境下易发生热变形;而使用430不锈钢焊接的火炸药组件则具有较高的强度和热稳定性。

4 优化不锈钢焊接工艺以提高火炸药机械强度的策略

4.1 合理选择焊接方法

在火炸药相关组件的焊接工艺抉择中,精准匹配必不可少。当面对薄板或精密零件时,TIG焊凭借其电弧稳定、热输入精准可控的特性,能最大程度避免对精细部件造成热损伤,保障零件的精度与完整性;激光焊更是以高能量密度、极小的热影响区的优势在微米级层面实现完美焊接,契合精密制造需求。而对于中厚板或大面积焊接场景,MIG焊高效的熔敷速率能大幅提升焊接进

度,满足大规模作业诉求;爆炸焊则利用炸药爆炸瞬间的冲击力,促使金属界面实现高强度结合,特别适用于对结合强度要求苛刻的大面积拼接。但无论何种选择,焊接效率、成本把控以及安全性考量都不容忽视,需全方位权衡,确保万无一失。

4.2 严格控制焊接参数

焊接参数的选择对焊接质量和火炸药机械强度具有重要影响。所以,在焊接过程中需要严格控制焊接电流、电压、焊接速度、气体流量等参数^[3]。利用优化焊接参数,可以降低焊接温度、减少残余应力和焊接缺陷的产生,从而提高火炸药的机械强度。

4.3 加强焊接质量检查

对焊接接头进行严格的质量检查是确保火炸药机械强度的重要措施。质量检查包括但不限于外观检查、无损检测和力学性能测试等方面。质量检查可以及时发现焊接缺陷并采取措施进行修复或更换,从而保证火炸药的可靠性和安全性。

4.4 采用先进的焊接技术

现代科技的不断发展,促使多的先进焊接技术被应用于不锈钢焊接领域。例如,激光-电弧复合焊、搅拌摩擦焊等技术具有高效、高质量、低能耗等优点,可显著提高不锈钢焊接的质量和效率。在涉及火炸药等敏感材料时,采用先进的焊接技术可以进一步降低焊接过程中的风险和不确定性。

结语:综上所述,不锈钢焊接工艺对火炸药机械强度的影响不容忽视。通过深入研究和优化焊接工艺,可以显著提升火炸药的机械强度,为其在国防、航空航天等领域的应用提供有力保障。未来,随着焊接技术的不断进步,我们有理由相信,火炸药的机械强度将得到进一步提升,为国家的安全和发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]周燕阳,周丕勇.焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响及对策分析[J].科技创新与应用,2020(23):115-116.
- [2]王德军.不锈钢焊接操作方法及变形控制要点[J].南方农机,2020,51(12):177.
- [3]刘冬梅.焊接工艺对不锈钢焊接变形的影响研究[J].内燃机与配件,2019(02):83-84.