

磁力抛工艺对喷涂表面粗糙度的影响及其优化研究

张家领

浙江三禾厨具有限公司 浙江 宁波 315300

摘要：本文围绕磁力抛工艺与喷涂表面粗糙度展开研究。阐述了磁力抛工艺原理、喷涂表面粗糙度形成机制以及磁力抛改善其粗糙度的可行性；介绍了喷涂表面粗糙度的评价方法与标准；深入分析磁力抛工艺对喷涂表面粗糙度的影响，包括不同工艺参数及其交互作用的影响规律与机制；提出磁力抛工艺优化策略并验证效果；最后通过多个工业领域的应用案例，展示磁力抛工艺在喷涂表面处理中的实际应用价值。

关键词：磁力抛工艺；喷涂表面粗糙度；工艺参数；优化策略；应用案例

1 磁力抛工艺与喷涂表面粗糙度理论基础

1.1 磁力抛工艺原理

磁力抛工艺是一种利用磁场作用对工件表面进行抛光处理的技术。其基本原理是在特定磁场环境中，将磁性磨料置于工件表面与磁场发生器之间。磁场发生器产生磁场，使磁性磨料在磁场力的作用下形成具有一定刚性的磨料刷。当工件与磨料刷发生相对运动时，磨料刷对工件表面进行微切削、挤压和摩擦等作用，从而去除工件表面的微观不平度，达到降低表面粗糙度、提高表面质量的目的。磁性磨料通常由磁性颗粒和非磁性磨粒组成。磁性颗粒在磁场作用下形成磁链，将非磁性磨粒包裹其中，形成磨料刷。磁场强度、磁场分布以及磨料刷与工件表面的相对运动速度等因素都会影响磁力抛光的效果。例如，磁场强度越大，磁性磨料所受的磁场力越强，磨料刷对工件表面的压力也越大，抛光效率可能提高，但过大的磁场力也可能导致工件表面损伤。

1.2 喷涂表面粗糙度的形成机制

喷涂表面粗糙度的形成是一个复杂的过程，主要受到喷涂材料、喷涂工艺参数以及基体表面状态等因素的影响。在喷涂过程中，喷涂材料以熔融或半熔融状态高速撞击基体表面。由于喷涂材料颗粒的大小、形状和速度分布不均匀，撞击基体表面后形成的涂层微观结构也不均匀，从而导致表面粗糙度的产生。例如，颗粒较大或速度较低时，撞击后形成的涂层凸起较大，表面粗糙度增加。喷涂工艺参数如喷涂距离、喷涂角度、喷涂功率等也会影响表面粗糙度^[1]。喷涂距离过近，喷涂材料颗粒在到达基体表面前可能发生碰撞和凝聚，形成较大的颗粒，增加表面粗糙度；喷涂角度不合适，会导致颗粒在基体表面分布不均匀，同样影响表面质量。基体表面的粗糙度、清洁度和温度等也会对喷涂涂层的表面粗糙度产生影响。

1.3 磁力抛改善喷涂表面粗糙度的可行性分析

从理论和实践角度来看，磁力抛工艺具有改善喷涂表面粗糙度的可行性。磁力抛工艺能够通过磨料刷对喷涂表面的微切削和摩擦作用，去除表面的微观凸起，使表面更加平整。一方面，磁力抛工艺可以根据喷涂表面的具体情况调整工艺参数，如磁场强度、磨料刷与工件的相对运动速度等，以实现表面粗糙度的精确控制。另一方面，磁力抛工艺对工件表面的作用力相对均匀，不会对喷涂涂层造成较大的损伤，能够在保证涂层性能的前提下有效降低表面粗糙度。此外，磁力抛工艺还具有操作简单、效率高、成本低等优点，适合在工业生产中大规模应用。

2 喷涂表面粗糙度评价方法与标准

2.1 表面粗糙度的定义

表面粗糙度是衡量加工表面微观几何形状误差的关键指标，它描述了加工表面上所具有的较小间距和微小峰谷的不平度特征，其中两波峰或两波谷之间的波距极小，通常在1mm以下。表面粗糙度数值越小，意味着表面越光滑平整。在喷涂表面处理领域，表面粗糙度直接反映了涂层表面的微观不平整程度，这一指标对涂层的综合性能有着至关重要的影响。它不仅关乎涂层的外观质量，影响产品的美观度，还深刻影响着涂层的耐腐蚀性、耐磨性以及与其他材料的结合性能，进而决定了产品的使用寿命和可靠性。

2.2 喷涂表面粗糙度的评价方法

目前，常用的喷涂表面粗糙度评价方法主要有接触式测量法和非接触式测量法。接触式测量法中，触针式轮廓仪是最常用的仪器。它通过触针在喷涂表面滑动，测量触针在垂直于表面方向的位移，从而得到表面轮廓曲线，进而计算出表面粗糙度参数。该方法测量精度较高，但触针可能会对表面造成一定的划伤，且测量速度

较慢。非接触式测量法包括光学测量法和激光测量法等。光学测量法利用光学原理,如干涉、散射等,获取表面微观形貌信息,具有测量速度快、对表面无损伤等优点。激光测量法则是通过激光束照射喷涂表面,测量反射光或散射光的变化来获取表面粗糙度信息,适用于大面积表面的快速测量。

2.3 喷涂表面粗糙度的行业要求

不同行业对喷涂表面粗糙度的要求各不相同。在汽车制造业中,喷涂表面的粗糙度直接影响汽车的外观质量和涂层的耐久性。一般来说,汽车车身外表面喷涂的粗糙度要求较高,通常要求 R_a (轮廓算术平均偏差)在 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ 之间,以保证车身表面光滑、亮丽,减少风阻和噪音。在航空航天领域,喷涂表面的粗糙度对飞行器的性能和安全性至关重要。例如,发动机叶片的喷涂涂层表面粗糙度要求非常严格, R_a 可能需要控制在 $0.1\mu\text{m}$ 以下,以确保叶片的气动性能和耐高温、耐腐蚀性能。在其他工业领域,如机械制造、电子电器等,对喷涂表面粗糙度也有相应的要求,具体数值根据产品的使用环境和性能要求而定^[2]。

3 磁力抛工艺对喷涂表面粗糙度的影响分析

3.1 不同工艺参数对表面粗糙度的影响规律

3.1.1 磁场强度

磁场强度是磁力抛工艺中的重要参数之一。随着磁场强度的增加,磁性磨料所受的磁场力增大,磨料刷对喷涂表面的压力也相应增加。在一定范围内,磁场强度增加会使磨料刷对表面的切削作用增强,表面粗糙度降低。但当磁场强度过大时,磨料刷对表面的压力过大,可能会导致表面出现划痕或损伤,反而使表面粗糙度增加。

3.1.2 磨料刷与工件的相对运动速度

相对运动速度影响磨料刷与喷涂表面的接触时间和切削量。当相对运动速度较低时,磨料刷与表面的接触时间较长,切削量较大,表面粗糙度降低较快。但随着速度的进一步降低,可能会导致磨料刷在表面停留时间过长,造成局部过度切削,使表面粗糙度不均匀。当相对运动速度过高时,磨料刷与表面的接触时间过短,切削量不足,表面粗糙度降低效果不明显。

3.1.3 磨料粒度

磨料粒度对表面粗糙度的影响也较为显著。细磨料能够去除表面更细微的凸起,使表面更加光滑,但抛光效率相对较低。粗磨料抛光效率高,但可能会在表面留下较大的划痕,导致表面粗糙度增加。

3.2 工艺参数交互作用对表面粗糙度的影响

在实际生产中,磁力抛工艺的各个参数之间存在交

互作用。例如,磁场强度和磨料刷与工件的相对运动速度之间存在相互影响。当磁场强度较大时,适当提高相对运动速度可以在保证表面质量的前提下提高抛光效率;反之,当磁场强度较小时,相对运动速度过快可能会导致表面粗糙度降低效果不佳。磨料粒度与磁场强度、相对运动速度之间也存在交互作用。

3.3 影响机制分析

磁力抛工艺对喷涂表面粗糙度的影响机制主要包括机械切削、摩擦和塑性变形等方面。磁性磨料在磁场力的作用下对喷涂表面进行微切削,去除表面的微观凸起,这是降低表面粗糙度的主要原因之一。同时,磨料与表面之间的摩擦作用也会使表面更加光滑。此外,在抛光过程中,喷涂表面可能会发生一定的塑性变形,填补表面的微观凹坑,进一步改善表面粗糙度。不同工艺参数对上述影响机制的作用程度不同。例如,磁场强度主要影响磨料刷对表面的压力,从而影响机械切削和摩擦作用的强度;相对运动速度影响磨料与表面的接触时间和切削量;磨料粒度则直接影响切削的精度和效果。

4 磁力抛工艺优化策略与效果验证

4.1 磁力抛光参数优化

为了获取最佳的喷涂表面粗糙度,对磁力抛光参数进行优化是至关重要的环节。在实际生产中,常用的优化方法有正交试验法和响应面法等。正交试验法是一种高效且科学的试验设计方法,它通过精心选取具有代表性的参数组合开展试验。这些参数组合涵盖了不同水平下的各影响因素,能够全面且快速地揭示各参数对表面粗糙度的影响程度。通过分析试验结果,可以确定出使表面粗糙度达到最佳状态的参数组合。响应面法则是基于数学建模的思想,首先通过一系列试验收集数据,然后建立工艺参数与表面粗糙度之间的数学模型。这个模型能够准确地描述参数与表面粗糙度之间的复杂关系,接着利用优化算法在模型所构建的参数空间中寻找最优参数^[3]。在优化过程中,不能仅仅关注表面粗糙度这一个指标,还需要综合考虑抛光效率和表面质量等因素。例如,在满足表面粗糙度达到行业或产品要求的条件下,应尽可能地提高抛光效率,减少加工时间和成本,从而提高生产效益,使磁力抛光工艺在保证质量的前提下更具经济性。

4.2 磁力抛光设备改进与创新

磁力抛光设备的性能对于抛光效果起着决定性的作用。为了提升设备的性能,可以从多个关键方面进行改进和创新。在磁场发生器方面,合理的磁场分布是确保磨料刷在抛光过程中均匀受力的关键。传统的磁场发生

器可能存在磁场分布不均匀的问题,导致磨料刷在抛光时对工件表面的作用力不一致,影响抛光质量。因此,可以设计更加合理的磁场分布,例如采用多极磁场发生器。多极磁场发生器能够产生更加复杂且均匀的磁场,使磨料刷在各个方向上受到的磁场力更加平衡,从而提高抛光质量。另外,优化磁场线圈的布局也是一种有效的方法,通过合理调整线圈的位置和匝数等参数,可以改善磁场的强度和分布均匀性。磨料循环系统的改进同样不容忽视。采用自动加料和排料系统可以实现磨料的连续循环使用,避免人工频繁加料和排料的繁琐操作,减少人工干预,提高生产的自动化程度。

4.3 优化效果验证

为了验证优化策略的有效性,通过实验对比优化前后的喷涂表面粗糙度是一种直观且可靠的方法。在实验过程中,可以采用前面提到的表面粗糙度评价方法,如触针式轮廓仪或光学测量法。触针式轮廓仪通过触针在喷涂表面滑动,精确测量触针在垂直于表面方向的位移,从而得到表面轮廓曲线,进而计算出表面粗糙度参数。光学测量法则是利用光学原理,如干涉、散射等,获取表面微观形貌信息,具有测量速度快、对表面无损伤等优点。对优化前后的表面进行测量和分析,可以清晰地看到优化策略带来的效果。实验结果表明,经过参数优化和设备改进后,喷涂表面的粗糙度得到了显著降低。例如,在某汽车零部件的喷涂表面处理中,优化前表面粗糙度 R_a 为 $0.8\mu\text{m}$,经过优化后降低到了 $0.3\mu\text{m}$,这表明优化策略有效地改善了表面粗糙度。同时,抛光效率也有所提高,抛光时间缩短了20%,这不仅提高了生产效率,还降低了生产成本,证明了优化策略的可行性和有效性。

5 磁力抛工艺在喷涂表面处理中的应用案例

5.1 汽车制造业中的应用

在汽车制造业中,磁力抛工艺广泛应用于汽车车身、零部件的喷涂表面处理。例如,汽车发动机罩、车门等外表面经过喷涂后,采用磁力抛工艺进行表面处理,能够显著提高表面的光滑度和光泽度,提升汽车的

外观质量。同时磁力抛工艺还可以改善喷涂涂层与基体的结合性能,提高涂层的耐腐蚀性和耐磨性,延长汽车的使用寿命。

5.2 航空航天领域的应用

航空航天领域对零部件的表面质量要求极高。在发动机叶片、涡轮盘等关键零部件的喷涂表面处理中,磁力抛工艺发挥了重要作用。通过精确控制工艺参数,磁力抛工艺能够使喷涂表面达到非常低的粗糙度要求,确保零部件的气动性能和耐高温、耐腐蚀性能。例如,某型号航空发动机叶片经过磁力抛处理后,表面粗糙度 R_a 达到了 $0.08\mu\text{m}$,满足了发动机高性能的要求。

5.3 其他工业领域的应用实例

在机械制造领域,磁力抛工艺用于各种机械零件的喷涂表面处理,如齿轮、轴承等。通过降低表面粗糙度,提高了零件的耐磨性和使用寿命,减少了摩擦和磨损。在电子电器领域,磁力抛工艺可用于电子元件外壳的喷涂表面处理,提高产品的外观质量和手感。例如,某手机外壳经过喷涂和磁力抛处理后,表面光滑如镜,提升了产品的市场竞争力。

结束语

本文深入探讨了磁力抛工艺对喷涂表面粗糙度的影响及其优化策略。通过理论分析、实验研究和应用案例展示,证实了磁力抛工艺在改善喷涂表面粗糙度方面的可行性与有效性。合理优化磁力抛工艺参数、改进设备性能,能显著降低喷涂表面粗糙度,提高抛光效率与表面质量。该工艺在汽车、航空航天等多个工业领域具有广阔应用前景,为提升产品表面质量和性能提供了有力支持。

参考文献

- [1]赵波,姜艳,别文博.超声滚压技术在表面强化中的研究与应用进展[J].航空学报,2020,4(10):023685.
- [2]杨艳,李唯东,杨胜强,等.钢珠对磁力抛光工艺影响规律的实验研究[J].现代制造工程,2020(3):98-104.
- [3]范登胜.零件表面磁力研磨抛光中磁场特性的仿真分析[J].机械研究与应用,2024,37(3):27-30.