

高端铝型材淬火系统关键控制技术研究

苏振华 邱立朋 胡阳虎 付永涛

中国重型机械研究院股份公司 陕西 西安 710032

摘要: 高端铝型材在航空航天、新能源汽车、轨道交通等领域应用关键。其淬火系统关键控制技术涵盖冷却速度、冷却均匀性及适应不同型材截面控制技术。冷却方式有风冷、水冷、雾冷及风雾混合冷却等,各有特点与应用场景。在航空航天领域,精确控制确保铝型材性能达标;新能源汽车领域,优化微观结构提升性能;轨道交通领域,提高力学性能与耐腐蚀性,延长使用寿命,为各领域发展提供有力支撑。

关键词: 高端铝型材; 淬火系统; 关键控制技术; 应用研究

引言

在当今高端制造业蓬勃发展的时代,高端铝型材凭借其独特的性能优势,在航空航天、新能源汽车、轨道交通等众多关键领域占据着不可或缺的地位。而淬火系统作为影响高端铝型材性能的关键环节,其关键控制技术的先进与否以及冷却方式的合理选择,直接决定了铝型材能否满足各领域对材料性能的严苛要求。深入探究高端铝型材淬火系统的关键控制技术及应用,对于推动高端制造业的高质量发展具有重要意义。

1 高端铝型材淬火系统关键控制技术

1.1 冷却速度控制技术

足够的冷却速度是高端铝型材在线淬火得以有效实施的基础条件。以常见的 Al-Mg-Si 系合金为例,在热处理阶段,需将温度提升至高于 500 摄氏度,在此高温环境下, Mg_2Si 化合物能够完全溶解于固态铝之中。随后,必须进行快速冷却操作,其目的在于防止强化相析出,将过饱和固溶体稳定地固定下来,从而保证型材在淬火时效处理后,其力学性能能够达到最佳水平^[1]。倘若冷却速度无法满足要求,合金元素便会从固溶体中逐渐分解析出,进而导致材料的性能显著降低,无法满足高端应用场景对铝型材性能的严苛要求。实现足够冷却速度的关键在于对冷却源、冷却长度及冷却密度进行合理配置。这一配置过程并非随意为之,而是需要综合多方面因素进行精确计算。具体而言,要根据生产线所生产型材的最大线密度、不同合金的淬火对冷却速度的敏感程度差异,以及挤压出材的速度等关键参数来确定。例如,当所生产的型材线密度较大、合金的淬火对冷却速度敏感性较强,并且挤出速度较快时,就需要配置功率更大的风机和水泵,以提供更强劲的冷却动力。风口和

喷头的长度要相应增长,数量也要适当增加,以此扩大冷却范围,提高冷却效率。若采用水作为冷却介质,水温应尽可能降低,因为低温的水能够更快地吸收热量,提升冷却速度。

1.2 冷却均匀性控制技术

冷却均匀性对于高端铝型材的质量至关重要,它主要包括截面径向冷却均匀性和纵向冷却均匀性两个方面。在截面径向冷却均匀性方面,要确保型材截面径向的冷却速度保持一致,就需要根据型材的截面结构情况以及壁厚的厚薄差异,对截面径向的冷却强度进行灵活调节。具体来说,壁厚较厚的一侧需要更高的冷却强度,以加快热量的散失;而壁厚较薄的一侧则应适当降低冷却强度,避免因冷却过快而导致型材内部产生过大的应力。通过这种差异化的冷却强度调节,能够使型材截面在同一时间内冷却到相同的温度,保证型材截面的性能均匀性。以喷淋冷却为例,可根据型材截面的具体差异,对不同位置喷嘴的水压和流量进行精确调节。对于壁厚薄的位置,将水量和水压调小;而对于壁厚厚的位置,则将水量和水压调大,从而实现截面径向冷却的均匀性。在纵向冷却均匀性方面,保证型材纵向的淬火强度一致,关键在于确保纵向上每部分通过淬火区的有效时间一致。在喷淋冷却过程中,当完成一个挤压周期时,系统在取得挤压机的停机信号后,能够实现分段延时关停喷淋冷却;在取得挤压机的挤压信号后,能够进行分段延时开启喷淋冷却。通过这种智能化的控制方式,可以让同一根型材纵向的不同位置所接受的有效冷却时间基本保持一致,有效减少型材纵向因冷却不均匀而产生的变形,提高型材的直线度和尺寸精度,满足高端制造对型材形状精度的严格要求。

1.3 适应不同型材截面控制技术

高端铝型材的截面形状复杂多样, 宽高比变化范围极大。在生产板材时, 宽高比可能达到 100:1 以上; 而在生产管材或棒材时, 宽高比可能仅为 1:1。面对如此巨大的宽高比变化, 要保证淬火效果, 就必须确保型材上下左右各个表面与风口和喷头之间的距离合适。如果距离过远, 冷却效果会受到影响, 无法达到足够的冷却速度; 如果距离过近, 则可能导致能耗增加, 同时也不利于设备的稳定运行^[2]。为了解决这一问题, 可将上部的风口和喷头与左右的侧风口和侧喷头设计成分离且可移动的结构。在实际生产中, 根据型材的具体宽高比, 灵活调节风口或喷头与型材表面之间的距离, 确保各个表面都能获得均匀且有效的冷却。针对型材截面相对较大、不对称以及不同壁厚的情况, 可采用多区段、多冷却强度控制的在线淬火装置。这种先进的装置具备多种冷却功能, 能够实现风冷、风雾混合、雾冷、高压喷水等多种冷却方式的灵活切换。并且, 它还可以分截面段对风雾强弱进行精确控制, 从而提供较大的冷却速度范围, 满足不同型材截面的冷却需求。在实际使用时, 可根据不同的合金类型以及型材的具体截面形状, 选择最为合适的冷却方式。例如, 对于 6063 系合金型材, 由于其淬火敏感性相对较低, 可选择风冷方式; 对于厚壁 6061 系合金型材, 需要更高的冷却速度, 可选择高压喷水方式; 而对于薄壁的 6061 系合金型材, 雾冷方式则更为合适, 既能保证冷却效果, 又能避免因冷却过快而导致的型材变形等问题。

2 高端铝型材淬火系统冷却方式及应用

2.1 风冷方式及应用

风冷是借助风机强制对流换热, 让气流均匀分布来冷却型材。此方式冷却速度相对较弱, 能耗与使用成本偏高, 热风扩散会使车间环境温度升高。不过, 它对型材变形量的影响极小, 不会产生水冷可能形成的水斑。基于这些特性, 风冷通常适用于淬火敏感性较低的合金型材。像 6063、6060 等合金型材, 其内部组织结构在淬火时对冷却速度要求不高, 风冷能满足其冷却需求, 保证型材性能稳定。对于板材和管材, 若属于这些合金类型, 风冷也是合适选择。部分薄壁 (5mm 以内) 的 6061、6005、6082 等合金型材、板材和管材, 因壁厚较薄, 对冷却均匀性要求高, 风冷可避免因冷却过快导致局部变形, 确保产品尺寸精度。为提高风冷效果, 常见风冷型在线淬火多分为上下 2 个风箱组。新一代定制化淬火专用风机设备为风冷系统优化提供了更多可能。双吸入式离心风机具有大风量、低转速、低噪音的特点,

在需要大风量冷却的场景中, 能快速带走型材热量, 同时低转速降低能耗, 低噪音改善工作环境。单吸入式节能中压风机单吸入、流速快、效率高, 对于对冷却流速要求较高的型材, 可快速实现冷却, 提高生产效率。

2.2 水冷方式及应用

水冷包含喷淋冷却、驻波水冷、过水槽冷却等形式。喷淋冷却通过高压泵将水输送到扇形喷嘴, 形成高压扇形水流喷淋型材。它减少型材变形方面有优势, 能根据型材截面差异调节水量水压。厚壁 6063、6060、6061、6005、6082 等合金型材、板材、管材和棒材, 因壁厚较厚, 需要较大冷却强度, 喷淋冷却可精准控制水量水压, 满足冷却需求, 但能耗比传统过水槽高, 可能出现水斑。驻波水冷纵向两侧有固定围板, 两端靠水压形成水墙与滚动水槽, 型材穿过水槽冷却, 冷却强度较高, 适合管材、棒材在线淬火, 但无法进行周向方向性调节, 对异型材冷却时变形量严重, 能耗较高^[3]。过水槽冷却纵向用固定围板、两端用活动围板组成水槽, 用低压水泵注水, 型材穿过水槽冷却, 水与高温型材表面接触瞬间形成水汽膜, 冷却速度不如前两者, 不能进行周向方向性调节, 对异型材冷却变形量严重, 但能耗低, 适合管材、棒材、板材淬火, 选择时牵引机不能到挤压机口牵引。为提高水冷效果, 可对水冷系统改进。在喷水系统中, 下部设水箱收集喷出水, 内装侧喷水管及下喷水管, 上部由油缸驱动可升降罩式水盖, 水罩内装喷水管, 水盖下降与下部结合成封闭水洞, 减少水流失与外界干扰。在挤压型材出口处装涡流风机, 从顶部直吹型材, 防止型材将水带出, 保证冷却效果与生产环境整洁。

2.3 雾冷及风雾混合冷却方式及应用

雾冷时, 雾与高温型材接触瞬间汽化变成水蒸气, 水蒸气隔开雾与型材表面, 导致接触困难, 冷却效果较差, 通常不适合单独使用。风雾混合冷却结合风冷和雾冷特点, 冷却速度比两者都大, 能耗比风冷低, 热量扩散到车间少, 型材变形量比水冷小, 不会产生水冷可能出现的水斑。因此, 风雾混合冷却大量用于淬火敏感性较低的合金型材。6063、6060 等合金型材、板材、管材, 采用风雾混合冷却可在保证冷却速度的降低能耗与型材变形量。部分中薄壁 (10mm 以内) 的 6061、6005、6082 等合金型材、板材和管材, 风雾混合冷却能平衡冷却效果与型材质量, 满足生产要求。

3 高端铝型材淬火系统应用领域及效果

3.1 航空航天领域

航空航天领域对材料的性能要求近乎苛刻,铝型材作为重要结构材料,需具备高强度、高硬度、良好耐腐蚀性与抗疲劳性等特性。高端铝型材淬火系统的关键控制技术成为满足这些要求的核心手段。在淬火过程中,精确控制冷却速度和冷却均匀性至关重要。航空航天用铝型材结构复杂,不同部位对冷却条件的需求存在差异。若冷却速度过快或过慢,或者冷却不均匀,都可能导致铝型材内部微观组织不均匀,进而影响其力学性能。通过先进的在线淬火系统,能够根据铝型材的具体形状和尺寸,实时调整冷却参数,确保每一处都能获得适宜的冷却效果^[4]。这种精确控制有效防止了铝型材在淬火过程中产生变形、开裂等缺陷。在实际生产中,经过该淬火系统处理的航空航天用铝型材,强度和硬度能够精准达到设计要求。

3.2 新能源汽车领域

新能源汽车的发展对铝型材提出了轻量化、高强度和良好成型性的要求。轻量化可降低车辆自重,提高续航里程;高强度能保障车辆在碰撞等极端情况下的安全性;良好成型性则便于制造各种复杂形状的零部件。高端铝型材淬火系统的关键控制技术通过优化铝型材的微观结构,实现了这些性能的协同提升。以赛福智能装备的在线淬火系统为例,其采用的精准控温与高效冷却技术为汽车零部件材料性能提升提供了有力保障。在生产汽车保险杠材料时,该系统最大冷却速度可达 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$,快速冷却使铝型材内部形成细小均匀的晶粒组织,从而显著提高材料的强度和硬度。精准控温确保了冷却过程的稳定性,避免因温度波动导致材料性能不均。

3.3 轨道交通领域

轨道交通用铝型材承担着保障列车运行安全和可靠性的重要使命,因此需要具备良好的强度、耐腐蚀性和耐磨性。高端铝型材淬火系统的关键控制技术通过提高铝型材的力学性能和耐腐蚀性,延长了其使用寿命,降低了维护成本。在轨道交通领域,合理选择冷却方式和

精确控制冷却参数是关键。风雾混合冷却或喷淋冷却方式结合先进的控制技术,能够保证铝型材在淬火过程中获得均匀的冷却。不同类型的轨道交通用铝型材,如车体结构件、轨道连接件等,对冷却条件的要求各有不同。通过调整冷却介质的流量、压力和温度等参数,可使铝型材在冷却过程中内部应力分布均匀,减少变形和残余应力^[5]。经过这样处理的铝型材,能够更好地满足轨道交通产品的设计要求,在长期运行过程中保持稳定的性能,有效提升了轨道交通系统的运行可靠性和耐久性,为人们的出行安全提供了坚实保障。

结语

高端铝型材淬火系统的关键控制技术及应用研究,为提升铝型材性能、满足各高端领域需求提供了坚实保障。通过精确控制冷却速度与均匀性,以及灵活运用多种冷却方式,有效解决了铝型材在淬火过程中的诸多难题。未来,随着高端制造业的持续发展,对高端铝型材性能的要求将不断提高,进一步优化淬火系统关键控制技术,探索更高效的冷却方式,将成为推动行业进步的重要方向。

参考文献

- [1] 付永涛,张君,柴星,等.复杂截面铝型材在线淬火技术[J].中国重型装备,2021(3):21-22,51.
- [2] 苏振华,刘胜涛,郑建能,等.铝型材挤压生产线在线智能淬火关键技术研究[J].中国重型装备,2022(4):68-71.
- [3] 代英男,张大维,郑守东,等.铝型材风冷淬火系统结构优化[J].重型机械,2020(1):65-68.
- [4] 刘志文,李落星,胡理中,等.铝型材挤压在线淬火系统喷嘴流速的仿真优化[J].哈尔滨工业大学学报,2019,51(1):191-200.
- [5] 王晓宇,王俊,王永付,等.淬火温度对挤压6005A大型轨道车辆铝型材性能的影响[J].铝加工,2022(5):7-9,13.