

基于电力电子散热器的铝合金设计及制造技术研究

王 发

锐新昌科技（常熟）有限公司 天津 300000

摘 要：随着电力电子技术的高速发展，对散热设备的性能要求不断提高。铝合金因其优异的导热性能、轻质及成本效益好等优点，在电力电子散热器领域得到广泛应用。因此，本文旨在系统研究铝合金在电力电子散热领域的设计原则与制造技术，以期提供一套切实可行的解决方案。

关键词：电力电子散热器；铝合金设计；制造技术

电力电子设备在转换和控制电能过程中产生大量的热量，若不及时有效地散发这些热量，将严重影响设备的稳定性和寿命。传统的散热材料和设计已难以满足现代电力电子设备对散热性能的严苛要求。铝合金作为一种轻质且具有良好的热传导特性的材料，成为提升散热效能的理想选择。

一、散热器类型

1. 整体挤压成型散热器

整体挤压散热器特点：翅片与基板为一体成型，热阻小，并且可实现复杂的散热齿片结构，这些复杂的散热齿片可以更大的提高散热表面面积，衡量整体挤压散热器的一个关键指标是散热器的倍数，倍数越高表示同样体积下，散热面积越大（注：倍数=齿高/齿间距）。

2. 镶嵌翅片散热器

镶嵌翅片型散热器产品特点：齿密、齿间距小，外形高度、宽度比较灵活，适用于不同的使用空间，基板可以开模挤压，翅片可以采用导热效率高的1系铝合金，可实现更大的散热器散热倍数，成本低。散热面积大。但是由于翅片与基板不是冶金结合，纵向传导的热阻比整体成型大。

3. 压合散热器

该工艺是通过挤压成型散热器翅片，然后再通过压合的形式，使得每片翅片都结合到一起，该工艺实现的散热器，体积无限制。散热器宽度，长度可以根据客户要求定制，并且可实现翅片的密闭通道，行成风道，上下两个基板均可安装IGBT模块，翅片挤压成型，可实现复杂的散热齿片结构，可以更大的提高散热表面面积，提高散热效率。

4. 铲齿散热器

铲齿散热器，无需开模，专业定制，一体式成型，散热效果稳定。

一套模具可以生产不同长度、高度、齿间距、齿厚、齿高的散热器，前期投入较少，散热片一面较粗糙，增加了散热面积的同时还对流过的空气有扰流作用，但是铲齿工艺加工废料较多，并且由于翅片是一片片加工出来的，如果铲齿过程中有一片有问题，会引起一件产品报废，所以质量成本高。效率低。

5. 液冷散热器

液冷散热器是一种利用液体循环来传输热量的冷却系统，其工作原理是通过液体（通常是水或特殊的冷却液）在密闭的循环系统中流动，将热量从热源（如电脑CPU、显卡等）传输到散热器，然后通过风扇将热量散发到空气中。与传统的风冷散热器相比，液冷散热器具有更高的散热效率和更低的噪音，液冷散热器能够更好地保持设备的工作温度稳定，提高设备的性能和稳定性。

二、影响散热的因素

1. 材料的热传导率

尽可能选用热传导率高的材料制作散热器，例如：如钢，铝，铜，银。热传导率依次递增，但是价值也是成比例的。铝合金散热器一般选用1系铝合金或者6系铝合金，1系合金强度比较低，对螺纹有很大影响，所以1系铝合金用在翅片上比较多。为了增加导热性能可以选用6101材质。

2. 散热器表面积

同等外形尺寸下，尽可能增加散热器的齿数或者在散热翅片上增加突起等结构，增大散热器面积，提高散热效率。

3. 散热器热辐射率

热辐射率指的是散热器表面以热辐射的形式向外界环境传递热量的能力，其数值范围通常在0到1之间，数值越接近1，表明散热器表面的热辐射能力越强，散热效果越好。在散热器设计中，要提高热辐射率，通常需要

对散热器表面进行处理,如喷涂高辐射率涂层、进行阳极氧化处理等。这些处理方式能够增加散热器表面的粗糙度,从而提高其热辐射能力。

4. 散热器上面安装热管

热管是一种具有极高导热性能的传热元件。它通过在全封闭真空管内工质的汽、液相变来传递热量,具有极高的导热性,有“热超导体”之美称。热管散热器是利用热管技术能对许多老式散热器作重大的改进而生产出的新产品。

5. 通过对流散热

热量通过流动介质(气体或液体)将热量从空间中的一处传到另一处。其中液体对流,导热效果比较好,因为液体比金属有更大的热容能力,提高同样的温度吸收热量大,导热快。

三、基于电力电子散热器的铝合金设计及制造技术研究

1. 产品设计

产品设计的过程充分考虑了散热效率、耐久性以及成本效益等因素,确保所设计的铝合金散热器能够满足日益增长的性能要求。目前ICEPAK软件被广泛应用于热学仿真分析与设计环节,该软件用于模拟和分析电子设备中的热传导、对流和辐射等热管理问题。通过使用ICEPAK,工程师能够在计算机上构建虚拟的散热环境,进而优化散热器的设计参数,比如翅片的排列、大小、形状以及材料的选择等,以达到最佳的散热效果。为了满足客户多样化的需求,利用ICEPAK软件进行定制化设计,针对客户具体的应用环境和散热需求,提供个性化的设计方案。例如,对于大功率电子设备,我们可能会设计更复杂的翅片结构以增大散热面积;而对于便携式设备,则可能考虑重量和体积因素,采用轻质且紧凑的散热结构。

2. 挤压能力

能够为客户提供高精度、高性能铝合金型材。这一进步得益于对整个生产流程的创新和优化。首先,采用工频感应炉对棒坯实施梯度加热,基本上确保了出口温度的一致性。这种精确的温度控制对于材料性能至关重要,因为它直接影响到挤压过程中材料的流动性和最终产品的质量。通过精细调控温度,可以确保铝合金在挤压时保持均匀的物理状态,从而获得更好的机械性能和表面质量。其次,引入急速平衡冷却系统,保证合金元素SiMg2分布均匀。这种系统设计用于在挤压后迅速降低材料温度,减小因冷却速度慢而导致的微观结构不均一性。通过这样的系统,可以有效地避免由于冷却不均造成的内应力和性能上的各向异性,从而确保了产品

的高稳定性和可靠性。再者,通过专门的热处理工艺来提高硬度的一致性。特别是针对不同铝合金采用优化的“等温-长时间”时效工艺,配合专业的时效炉,这样高度精确的控制使得材料力学品质的一致性得到了保障。经过时效处理后,铝合金的强度和硬度得到显著提升,同时保持了良好的韧性和加工性能。

3. 品控能力

散热性能测试已成为产品质量控制的重要环节,涵盖了水冷与风冷散热器的性能评估,以保证它们在不同应用环境下的散热效率和稳定性。这些测试通常包括尺寸,性能,成分,热阻、流量和温度分布等参数的测定,通过精确测量和数据分析,能够对散热设计进行优化,提高系统的整体散热性能。此外,超声探伤测试被用于铝棒、模具钢和焊接产品的质量检测中。这种非破坏性检测技术能够发现材料内部的裂纹、气泡、夹杂物等缺陷,确保了原材料和成品的完整性和可靠性。

4. 机加工能力

基于电力电子散热器的铝合金设计及制造技术研究在机加工能力方面取得了显著成就,通过数控加工中心,使得整个生产过程更为高效、精准和自动化。此外,全自动切割机的运用大幅提升了材料切割的效率和精度,同时降低了人力成本和操作失误的风险。搅拌摩擦焊和机器人焊机则代表了焊接工艺的先进性,它们确保了焊接质量和连接强度的同时,也提高了生产效率,减少了人工操作的不确定性。CNC自动生产线进一步体现了生产自动化和流程优化的成果,这些生产线能够连续不断地完成从原材料上料到成品下线的全部加工过程,不仅提升了产能,也保持了产品质量的一致性和稳定性。

结语

综上所述,铝合金的设计及制造技术对于提高电力电子散热器的性能至关重要。未来的工作将继续探索铝合金散热材料的附加功能,如耐腐蚀性和机械强度的进一步提高,以及制造工艺的绿色化和自动化,以应对电力电子行业不断变化的散热需求。

参考文献

- [1]丁杰.机车变流装置中电力电子器件散热器的热设计.变流技术与电力牵引,2007(3):26-31.
- [2]王起,黄鸿猷,胡长德.汽车用高强度铝合金型材设计与应用研究.材料科学,2023,13(2):68-75.
- [3]陈定贤.高导热铝合金设计中亚共晶Al-Si合金与共晶Al-Si合金的分析研究.资源再生,2019(1):55-57.