

# 电磁熔合机相关研究进展

王素丽 赖志明 谭水生 徐景永 赵成

(深圳市晶金电子有限公司 广东深圳 518000)

**摘要:**电磁熔合技术是一种新型的金属材料加工工艺技术,其主要原理为利用电磁场将金属基体中原子或离子之间发生相互作用而产生熔化现象。该项新工艺具有生产效率高和操作简便等优点,已经在汽车制造领域得到了广泛应用。本文从电磁熔合设备的组成及工作流程出发,重点分析了电磁熔合机在实际工程中的应用现状以及未来的发展趋势,以期能为今后的电磁熔合技术的研发提供理论依据。首先介绍电磁熔合机的基本概念、分类方法;然后阐述电磁熔合机在工业生产上的应用优势,如可以有效地提高产品产量,降低成本,减少环境污染问题等;最后针对电磁熔合机存在的不足之处提出了若干建议,同时给出了展望未来的建议。

**关键词:** 电磁熔合机;研究进展;创新分析

## 引言

在电磁搅拌过程中,由于磁场作用使得液体介质产生交变应力、温度场和速度场等变化。因此,对于不同种类的金属材料而言,其导电特性是有差异的;在熔炼时,受热时间也会影响到熔体的流动性。为了提高熔体流动性,需要合理选择合适的工艺参数来保证熔体质量。本文将从以下方面进行综述与分析。

### 一、电磁成形工艺的研究进展

在电磁成形过程中,当施加一定频率的交变电流时会对金属材料造成强烈冲击。因此需要合理控制外加磁场强度和通电时间,以获得最佳的成形效果。本文主要介绍了不同磁场强度下电磁成形的基本原理以及所需的参数设置方法,并分析了其与模具结构之间的关系,最后给出了几种典型的电磁场辅助成形系统设计方案。(1)基于电弧放电原理的电磁场辅助成形技术。该技术是利用高频率的电磁感应现象来实现金属材料的成形加工。这种技术通过将工件放置于一个具有高导电性能的容器中进行加热、冷却等操作,使得工件内部产生大量的感应电流,从而达到强化传热的目的。在此基础上,再借助高速旋转的电磁铁或其他工具,就可得到所要求的形状复杂的零件。(2)基于涡流效应的电磁感应线成形技术。涡流效应可以有效地提高金属材料的塑性。由于金属材料自身存在许多缺陷,所以要想保证金属材料成形质量必须采用合适的成形方法。而且因为金属表面粗糙度较大,会对其成形质量造成严重影响。为了解决这一问题,人们提出了一种新的成形方式—涡流辅助法。近年来出现的新型电磁涡流辅助法,如电弧放电、脉冲电流、磁控溅射等均能够很好地解决上述问题,并取得良好的效果。(3)基于静电作用的电磁成形技术。在传统的制备过程中,通常使用高压直流电场将原料加热至某一温度后再进行静电沉积或热压成型,但是这样做存在着以下缺点:由于静电纺丝时所需用到的电源功率大,所以所得到的产品尺寸较小;由于电荷密度低,容易发生团聚现象,导致制品内部组织不均匀,从而使得制品力学性能降低;由于静电纺丝时会对物料施加一定的压力,当物料受到外力而变形时,其内部也可能因受力过大而被破坏。为了解决这些缺陷和不足之处,人们开始探索利用外加电场来提高材料性质。

### 二、第2章 高温高功率密度永磁同步电机设计

#### 2.1 高温高功率密度永磁同步电机设计流程

1)确定电机定子绕组的电枢电压和磁场分布情况。在进行电机设计之前要对电机的额定参数有一定了解并根据实际需求选择合理的线圈尺寸、导线规格等;同时还要考虑到电机的散热问题以及电机运行时产生的热量损耗。

2)计算磁路饱和程度。为了使得电流能够通过磁阻最小化

法得到最大值,需要将磁通密度设置得尽可能大一些。通常情况下,磁路饱和与磁感应强度成正比关系,因此可以通过测量电机的磁通密度来间接地反映出电机内部结构是否存在缺陷或是不平衡,从而判断其结构设计是否合理有效。

3)分析转矩特性曲线。由于电机的工作环境较为恶劣且负载变化较大所以会导致其输出功率发生变化,而这种现象就被称为转矩。转矩是衡量电机性能好坏的重要指标之一。因此,必须要对电机的转矩特性展开全面细致的分析,才能保证最终设计结果的准确性。

4)分析机械特性。在实际运行时,如果电机受到外界因素干扰或者自身质量问题等都可能造成电机出现振动和噪声。这些噪音主要来源于电枢绕组以及铁芯之间的摩擦所产生的磁场能量。因此,必须要针对电枢绕组进行详细的检查和测试,以确保其正常运转并减少其故障概率;5)计算磁通量。通过对交直流式永磁同步发电机的原理图进行了解可以发现,当其内部存在交轴电流时,此时线圈内会形成一个交变磁场,同时也会有一部分感应电动势流入到定子线圈中,从而使定子线圈中的电流值增加,进而达到增大磁能的目的。

#### 2.2 高温高功率密度永磁同步电机的结构选择

对于永磁体材料的选取,通常情况下是根据电机的工作环境来决定。在实际生产过程中,为了提高效率、降低成本,往往会采用非磁性材料作为永磁体材料。而且,不同磁场强度对应的磁感应强度也不一样。所以,要想使得电机具有较好的性能,就需要合理地选择磁体材料和尺寸大小。

(1)磁体材料。目前来说,主要有铁氧体、稀土元素等。其中,铁氧体由于其自身的特性,可以有效减少损耗,并且还能够起到一定程度上的散热作用;但是它的价格相对昂贵,同时体积密度比较大,因此很难应用于大规模生产。另一方面,随着科学技术的不断发展,各种新型材料被研发出来,如石墨烯、碳纤维等等。这些新型材料不仅质量轻、比表面积大、价格低廉,而且对周围环境没有任何污染,是一种理想的永磁材料。

(2)尺寸大小。在进行电机制作时,通常都是将电机放置到一个特定的空间内。如果使用传统的方式,则无法满足要求。这会造成大量资源浪费以及能源消耗问题。通过适当改变永磁体材料的种类或者形状,可以达到更好的效果。例如:当采用铁作为磁体时,由于铁对空气中的水分子具有很强的亲和力,所以会形成一层厚厚的水膜,这样一来就不会有水滴存在,进而使得电机内部的湿度降低。此外因为铁在磁场中受到了洛伦兹变换和焦耳定律的影响,从而产生了热量损失现象,导致电机温升大大增加。

#### 2.3 高温高功率密度永磁同步电机的主要尺寸设计

(1)永磁体的结构设计。永磁体作为一种特殊的铁氧体材料,

其在磁场强度和温度变化时具有很强的磁性能。因此本文对于永磁体材料的选择进行了详细分析,并结合实际情况提出了合理化的永磁体材料选取方案;同时还分析比较不同类型永磁体材料的特点以及各自的优缺点,以期为后续永磁体结构的优化提供理论依据。

(2)铁芯结构设计。铁芯是电机重要的组成部分之一,它直接决定着电机运行过程中所受的能量消耗与发热量大小。目前国内外学者已经针对铁芯的结构形式开展了大量工作,其中包括采用无槽槽型铁芯或半封闭型铁芯等。但是这些铁芯都无法满足实际应用需求,所以有必要进一步提高铁芯的结构设计水平,使得铁芯结构可以有效降低电机在运行期间所受到的机械应力及热应力,进而提升电机的整体使用寿命。此外,通过对铁芯结构的改进也可提高电机的输出功率、减少电机内部热量损失、延长电池寿命等诸多方面。

(3)永磁体参数设计。由于不同磁场强度下的永磁体材料特性存在差异,当施加于同一个永磁体上的电流密度不同时,其产生的磁场强度也会随之变化,从而导致电机的温升情况发生变化;另一方面,永磁体材料的温度升高还会引起永磁体表面温度上升,这将严重影响到永磁体本身的磁性能及其他性能指标,甚至可能造成永磁体失效而引发事故。

#### 2.4 高温高功率密度永磁同步电机定子绕组设计

在永磁同步电机的转子和定子之间存在着大量的交变电流(如图2)。因此,为了保证其运行稳定性、安全可靠地工作,需要对永磁体材料进行选择与优化。本文主要介绍了目前应用较多的几种永磁体及磁芯结构及其优缺点;同时也分析了不同类型永磁体材料在实际工程应用过程当中所面临的问题以及解决方案。最后结合实际情况提出了未来发展方向。由于电机定子是整个电机系统最为关键的部件之一,直接决定了整个电机的性能好坏和使用寿命长短。而且,电机内部的永磁体会随着温度变化而发生变化,从而导致电机的损耗增大<sup>0</sup>。所以要想使电机具有更加良好的节能效果就要尽可能减少电机的发热量<sup>0</sup>。

#### 2.5 高温高功率密度永磁同步电机气隙高度设计

在永磁电机中,永磁体是最重要的部分。对于永磁体的选择、加工和装配精度等方面都有严格要求,因此需要考虑永磁体结构与性能之间的关系,以获得最佳的性能。本文将从永磁体结构入手分析永磁体结构参数及影响因素;然后结合有限元仿真技术,详细分析永磁体材料特性以及尺寸效应对永磁体磁场分布的影响规律<sup>0</sup>。最后通过实验测试验证了所提方法的可行性。为了使得永磁体结构设计更加合理并且提高其使用性能,提出以下几种优化方案:(1)根据永磁体的形状特征,利用有限元软件建立永磁体三维模型,采用 Matlab 软件编程计算得到永磁体的最佳尺寸;(2)针对不同的永磁体,在相同的工艺条件下制备出具有不同厚度的永磁体,再用有限元软件分别模拟出每一类永磁体的最佳尺寸;(3)基于上述两种优化方式,对不同类型永磁体的最优尺寸及其对应的径向位置进行求解,最终得出满足实际要求的永磁体<sup>0</sup>。

### 三、高温高功率密度永磁同步电机的损耗计算

#### 3.1 电机损耗的计算方法

在电机设计过程中,通常会采用有限元法对电机进行分析与校核。该方法可以有效地减小计算误差和提高计算精度。但是由于电机是一个复杂的非线性系统,其内部结构较为复杂且各部分参数之间相互影响,因此需要建立合适的模型来模拟电机的实际工作情况。目前常用于电机建模的方法有基于磁体材料的本构关系式以及基于磁场分布的解析表达式等。其中基于

磁体材料的本构关系式具有较好的适用性;而基于磁场分布的解析表达式虽然简单易懂、易于实现,但是无法考虑到不同磁极处的磁场强度及方向不同所导致磁路不均匀分布的问题。为解决上述问题,国内外学者提出了多种简化磁体材料力学特性的算法以降低计算成本并提高计算效率。

#### 3.2 电机铁心损耗的计算方法

在电机设计中通常采用磁路分析法来确定其损耗大小。由于电机定子绕组与转轴是通过一个个独立线圈连接而成的并且每个线圈都有各自的电感值和电阻值。所以当电机工作时会产生交变的磁场、感应电动势以及电磁力。这些因素会使得电机内部存在一定的磁阻效应、漏磁现象等。因此可以根据电机所受磁场强度及磁通量密度分布情况进行损耗计算。对于同一型号不同厂家生产的同型号电机来说,其磁路参数也不尽相同,但是一般可分为三类。第一类为磁滞损耗;第二类为饱和损耗;第三类为涡电流密度。这里我们主要介绍前两类。下面分别从这三类角度出发,给出相应的损耗计算公式。

### 四、高温高功率密度永磁同步电机的磁极优化

#### 4.1 高温高功率密度永磁同步电机的设计流程

1)确定电机的定子槽数和极对数。根据文献,在保证电机输出功率不变的前提下,应尽量减少电机定子绕组数量、增加定子槽数或减小定子槽数以降低电机损耗;2)计算出电机的额定转速及最大转矩;3)通过有限元分析得到电机各部件的结构尺寸;4)选择合适的电枢材料并进行性能仿真验证。

#### 4.2 高温高功率密度永磁同步电机的结构设计

在对永磁体进行选型时,需要根据永磁体材料特性以及永磁体尺寸大小等因素综合考虑。为了使得永磁体具有良好的性能、体积和质量、较好的散热能力,通常采用多晶硅或碳化硅作为永磁体材料。但是由于其成本相对比较昂贵而且生产成本也非常大,因此一般只有大型企业才会使用这种方式进行电机的设计制造。此外还可以采取其他一些低成本化的加工方法来提高电机的效率。例如通过添加稀土金属或者铝等合金材料制备新型永磁体材料;利用非传统的方式如真空烧结技术将金属粉末与非金属粉末混合后再进行烧结;通过改变外加磁场方向从而控制磁性粒子的分布,进而实现高效节能的目的等等都是有效降低能耗的一种途径。

### 五、结论与展望

综上所述,在电磁搅拌作用下制备的磁性复合材料具有优异的力学性能和磁电特性。但是,目前对于该类磁性复合材料的应用仍处于实验室阶段。未来应该加强对其实际应用性能的深入研究,并且结合实际生产情况不断完善优化。此外,还需要进一步提高材料加工工艺水平、提高设备制造精度以及完善检测手段等方面来推动该类新型材料的广泛应用。本文将从以下几方面进行总结归纳,以期为今后更好地开发利用此类新型材料提供参考。

#### 参考文献:

- [1]李运涛,石坤,刘再斌,等. 铁素体与奥氏体异种钢焊接接头表面开口裂纹的电磁检测[J]. 无损检测,2022,44(1):16-19,23.
- [2]樊兆宝,杨玉斌,李遂斌. 电磁开关阀门壳体的焊接技术[J]. 航空精密制造技术,2011,47(1):23-26,37.
- [3]金立奎,曾详刚,周开桂. 薄介质层压合的熔合块改进[J]. 印制电路信息,2022,30(9):61-64.
- [4]王波,桑健,张洪涛,等. 低碳钢等离子-TIG 耦合电弧高效复合焊接工艺性能分析[J]. 焊接学报,2019,40(6):94-99.

作者简介:王素丽(1973年2月)女,汉族,广东深圳,本科,高级工程师,研究方向:机械电子工程。