

大型磁钢件定向结晶的试验研究

熊 晔

(产业处)

摘 要 介绍了在大型磁钢生产中,采用在组合铸型中装入碳粒,并插入电极,直接加热铸型,控温冷却定向结晶以及对大型磁钢铸件低温热磁处理的工艺方法. 铸造出长度为200mm以上柱状晶的大型磁钢件. 产品的合格率达90%以上.

关键词 定向结晶;柱状晶粒;低温热磁处理

分类号 TG132.272

0 引 言

随着我国工业生产和科学事业的不断发展,永久磁铁应用范围的不断扩大,对永磁材料在品种规格和磁能积上都提出了新的要求.

近年来有些用户将一些原用电磁铁的高精度设备改为永久磁铁,这是由于永久磁铁的场强稳定精度高,设备结构简单,体积小,工作方便. 最近我们承担试制 $\Phi 260 \times 190\text{mm}$ 重达80多公斤的大型磁钢件的生产任务,其磁性能要求为: $B_r \geq 13000\text{GS}$, $H_c \geq 700\text{Qe}$, $(BH)_{\max} \geq 6.5\text{MGQe}$,用来代替电磁场(材料为LNG-52). 对于小型的磁钢件生产较为方便,性能也比较容易达到,但对大型磁钢件要达到规定的技术要求就比较困难了.

在国外对大型磁钢件很多是采用组合方法制作,在国内采用铸造方法制作的大型磁钢件的磁性能很多难以达到技术条件要求. 经研究决定对该大型磁钢件采用定向结晶工艺和低温热磁处理的方法制作.

1 铸造工艺方案的选择

用普通的铸造方法浇注出来的铸件其晶粒组织一般由三个区域组成:

- (1) 靠近型壁为非取向的细等轴晶;
- (2) 其次是择优取向柱状晶;
- (3) 中心为非取向的粗大等轴晶.

收稿日期:1995-01-20.

熊晔,男,1938年生,工程师.

我们希望能控制两个等轴晶区,充分发展柱状晶区。众所周知,晶体是沿着与散热方向相反的方向发展。欲获得定向的柱状晶,首先必须使结晶潜热定向导出造成定向散热,使成长晶体的凝固界面沿一个方向推进。晶体成长速度取决于固相和液相的温度梯度。其次必须保证在凝固界面推进的前方金属液中不再形核,以免成长中的柱状晶受到新生晶粒的阻碍;再者,提高合金的浇注温度把铸型温度加热到高于合金的液相线温度,使柱晶推进的前沿一直保持液态。

基于上述指导思想,我们采用了铸型的加热方法。

要想获得高磁性的大型磁钢件(小型件国内外均有报导),具有粗大的柱状晶粒组织是最基本的条件。而获得柱状结晶的方法很多,国内外都做了大量的研究工作,主要有:区域熔炼法(电渣重熔法);低温铸模法;高温铸型法;发热铸型和连续铸造法等(在引定器上从熔炼体上拉伸法)。其中有些方法只能做试棒,不能用于批量生产。目前国内外使用比较普遍的是加热铸型法,该工艺方法较简单且易掌握,但采用这种方法对大型磁钢铸型的加温是个难题。国外普遍采用石英管和铝管作为铸型在高频马弗炉中加热,此法设备复杂操作不便,只适合于小型磁钢件。众所周知,铝镍钴合金的结晶温度在 1400℃左右(见 Fe-Ni-Co 三元平衡图)。该铸件尺寸大,冷却时间长,在 1400℃温度左右的保温时间久,以保证柱状晶很好的生长(当然在表层有细小的不同取向的晶带,此晶带可在热磁处理后磨去)。

2 铸型结构及制作

在 SRTK-20-17 型碳粒电阻炉的启示下,做成铸型和简易碳粒电阻加热炉为一体的称之为组合铸型如图 1 所示。

陶瓷壳型由内外两部分组成,外层要求耐火度高,保温性能好,我们用耐火度为 1800℃以上多孔性铝矾土材料,其组成如下:铝矾土 120 目 80%,高岭土 100 目 10%,木积土 100 目 10%,外加水适量。

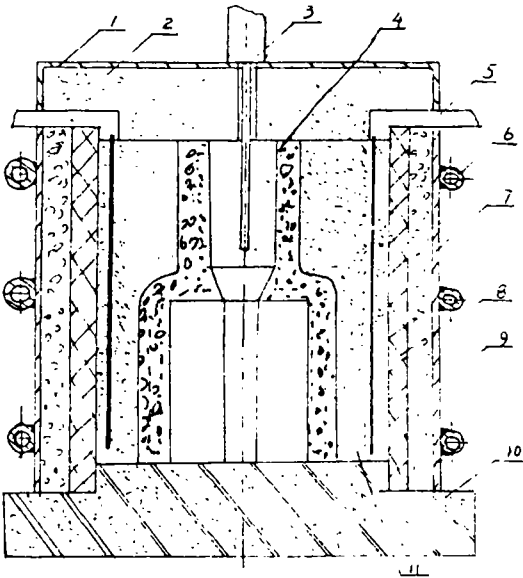


图 1 组合铸型结构装置示意图

- 1—盖(保温帽);2—保温材料;3—测温热电偶;
- 4—陶瓷壳型;5—加热电极;6—冷却用水管;
- 7—组合铸型外壳;8—成型镁砖;9—隔热材料;
- 10—耐火砖底座;11—颗粒状碳粒。

表 1 壳型的内层材料配方

材料 序号	铝矾土(%)			每公斤矾土 加水解液 (ml)	100ml 水解液 加氢氧化钙 (g)	100ml 水解液 加氧化镁 (g)
	240~280 目	70 目	46 目			
1	50		50	28~32	0.3~0.6	0.6~1.2
2	60	40		32~35	0.3~0.6	0.6~1.2

由于壳型温度在 1400℃ 以上,加之壳型壁又薄(20~25mm),且要求在高温下能经受熔融金属液的冲击而不变形和裂纹;铸件的表面粗度及铸件的加工余量要小,故壳型的内层材料采用铝矾土为主要耐火材料。如表 1 所示。

试验证明序号 1 比序号 2 好。

2.1 铸型加热温度对结晶的影响

除合金的化学成份外,还有许多冶金因素对定向结晶都产生影响。大家知道在窄的温度范围内结晶的合金都倾向于穿晶,这是由于温度范围愈窄,在铸件截面上较薄的一层金属能发展晶体,并从冷却表面上以较大的方向进行结晶。

铝镍钴 52 合金在 1410~1375℃ 下结晶,在这个很窄的温度范围内,趋于穿晶。所以合金必须过热高于 1400℃,使难熔的化合物和夹杂物熔化,减少了细小的晶体结晶核心,此外也可减少不熔夹杂物机械阻碍柱晶的生长。合金过热有利于难熔夹杂物的熔解并可缩短结晶前沿的深度,从而促使结晶严格的取向;并有利于液态在结晶层中流动,这样可以减少热裂的危险。过热温度一般在 1580~1600℃,并在 1500℃ 时浇注。铸型的温度在 1450℃~1550℃,这样铸型的最上端到冷却端有一个较合适的温度梯度。铸型的温度既不要太高使合金氧化熔解更多的气体,又能使柱晶生长顺利。为此我们将铸型冷端的温度控制在 1200℃ 左右。

结晶速度具有重要的意义,它一方面取决于金属的散热速度,另一方面又决定于金属的数量及壳型的加热温度,以及它的导热率和结晶热。

目前,国内多采用高温铸型法生产柱状晶的磁钢,对小型零件是适合的。但对大型零件,即 40kg 以上的,获得较完全的柱状晶体是不太可能的。其主要原因是铸型温度低,保温时间不够。对于 80kg 重的铝镍钴系磁钢件,要想获得柱状晶体,铸型的温度应高于 1400℃ 以上,还须根据磁钢零件的长度、重量,来确定保温时间。本铸件采用如下的最佳制度:1580~1600℃ 熔化,浇入(1500±50)℃ 的铸型中,保温 1.5h,可获得柱状晶的长度 200mm,只有在零件表面上留有 0.8~1.5mm 的细小的、不同取向的晶带,这个晶带在热磁处理后用磨削的方法去除。

2.2 加热方法

采用碳粒加温方法(如图 1 所示)。用一台 20kVA 变压器及控制箱,一对高熔点电极。钨钼合金的熔点高电阻率小,但易氧化,在高温长时间的作用下氧化更严重,一对电极只能使用 5~6 次,成本比较高。碳粒是用废石墨电刷粉碎而成,颗粒 2~4mm,颗粒太粗升温速度快但铸型易变形,太细,升温速度太慢。碳粒填充应紧密,每次加入砂箱的碳粒(如图 1 所示)不应太多,并用铁钎搅动、捣实,以免因间隙产生电弧,损坏铸型。装好之后,应以小的电流缓慢升温,将铸型烘烤 3~4h 后,升至 900~950℃,保温 1~1.5h,再增大电流逐渐升温至 1450~1500℃ 保温 2h 后待浇注。

3 合金的熔炼、浇注及磁场热处理

用两台 60kW 的高频炉,每台熔化 45kg,合金的熔炼温度为 1580~1600℃,熔炼时间 40min,当砂箱表面温度(用水控制冷端温度)1200℃ 左右。将合金浇入升温至 1450~1500℃ 的铸型中。以 10 l/min 的通水量冷却铸型 1h(造成一个适合柱晶成长温度梯度),然后断水迅速去除保温帽,加快冷却速度,有利于磁性的提高,防止 α_2 相的析出便于低温固溶处理。

在组合铸型中装入碳粒直接加热铸型的方法,比在硅碳棒炉中加热温度高,而且方便。该法对于大型磁钢件获得长度达 200mm 以上的柱状晶具有独特的优点,我们用同样方法对 LNG-72 也取得满意的结果。

采用加热铸型定向结晶生产大型磁钢件具有以下优点:

(1) 铸型温度高取向效果好,对柱状晶生长有利,铸件受几何尺寸的限制少,特别有利于大型磁钢件的生产;

(2) 铸型直接加热避免了从高温炉中取出铸型,放于冷却器上待浇时的降温,减轻工人劳动强度,又确保安全生产;

(3) 碳粒加热铸型比炉内加热铸型成本可降低 3~4 倍,且保温帽可连续使用,经济效益好;

(4) 造型较复杂,对铸型材料耐火度要求高。

众所周知,磁场热处理的目的是提高铸件的磁性能使之达到设计图纸规定的要求,具体办法是将磁钢加热到淬火温度后在强磁场中以 20 C/min 的速度冷至 600 C,出磁场空冷。

对于 LNG-52 大型磁钢件,由于其热导率低(实心零件),因此必须采取措施,降低金属处在低塑性状态的温度区中的加热速度。为此对淬火前的加热分两个阶段进行,400 C 入炉保持 30min 后,然后升至淬火温度 870 ± 10 C,在此温度下保持 5~6h 后,在 ≥ 2500 奥斯特的场中以 20 C/min 的速度冷却,冷至 600 C 从磁场中取出空冷。如若使用高温淬火加热 1280~1300 C 保持 4h,将使铸件氧化特别严重,甚至会使零件报废。回火是 (580 ± 10) C 保温 10~12h,然后控温冷至 530 C 以下出炉空冷。

其磁性能: $B_r = 13300$ GS, $H_C = 710$ QC, $(BH)_{\max} = 6.9$ MGQe 符合设计要求也符合 HB5018-77 标准。

采用低温淬火具有以下优点:

(1) 低温淬火加热,减少了铸件氧化,减少了磨削过程中的掉渣;

(2) 铸件在冷却过程中开裂倾向小,并能满足电泳涂漆工艺要求;

(3) 降低了淬火温度,减少了高温加热后的预冷工序,降低了产品成本,提高了合格率。

只要在淬火前零件中没有一定数量的 α_r 相存在,就可以采用低温淬火。Kcoh 等人的工作也指出有两个最佳的加热区,即高于 1200 C 和 900~850 C 之间,因为这个区域中合金处于单相状态,加热到 900~1200 C 时(以后加磁场)磁性最低。又如日本的白川勇记等也研究过 LNG-5 的低温淬火。前苏联的多夫格列夫斯基在试验中也曾提到过铸造铝镍钴小型磁铁由于凝后快速冷却,固熔体来不及分解,因此合金加热到略高于居里点进行热磁处理是有成效的。本试验在合金过热后,控制冷却速度,使柱状晶在稍高于 1200 C 形成,同时也控制了 α_r 相的析出,因此采用了低温淬火热磁处理。

参 考 文 献

- 1 熔模精密铸造编写组编. 熔模精密铸造(上、下册). 北京:国防工业出版社,1984
- 2 [苏]H. M. 多夫格列夫斯基. 永磁合金的合金化和热处理. 北京:北京冶金研究所,1974
- 3 [苏]B. H. 莫洛季娃娃主编. 精密合金手册. 北京:北京科学技术出版社,1989

(下转第 37 页)

Microcomputerized Realization of the Generalized Mechanism Synthesis Method

Xiao Wenlin Xu Younan

Abstract What is introduced in this paper is focused upon the microcomputerized realization of a newly-designed algorithm and a creatively-compiled program. With which the planar four-bar linkage synthesis can be accomplished by the generalized mechanism transfer method. With the application of both the generalized mechanism transfer method and the presented algorithm, the three basic problems pertaining to the kinematic synthesis of the planar linkage can be unified methodically. Among such problems are the precise and the approximate synthesis, the weighted and the non-weighted average in a sense of the least square deviation. Several examples are given and the results indicate that it is not only convenient and exact, but also practical to make solutions by combining the generalized mechanism transfer method with the method derived by the author.

Key words The planar four-bar linkage; Mechanism synthesis; Kinematic synthesis of the mechanism; The generalized planar four-bar linkage; Kinematic synthesis of the generalized planar four-bar linkage.

(上接第25页)

The Experimental Investigation on Directional Crystals of Heavy Magnetic Steel Parts

Xiong Chao

Abstract Through the 200mm columnar crystal is formed after cooling by putting the combined moulds into a carbon sand box in which two-electrodes are inserted, and then carefully controlling the temperature, an investigation of this new process is discussed. And the low-temperature thermomagnetic treatment to heavy magnetic steel parts is also discussed. Using this process, the qualified products are raised up to above 90%.

Key words Directional crystals; Columnar crystal; Low-temperature thermomagnetic treatment