

文章编号:1673-9981(2010)02-0106-04

# 高强度铁基粉末冶金 QDJ2829 起动机内齿圈的研制

符乃科, 蔡一湘, 陆冠华

(广州有色金属研究粉末冶金研究所, 广东 广州 510650)

**摘要:**以 Fe-Ni-Mo 系合金粉作为基础,研究了 Cu,C 含量对内齿圈力学性能和烧结膨胀率等的影响,并研制出密度为 6.95 g/cm<sup>3</sup>,烧结膨胀率为 0.15%,硬度为 HRC33~38,齿根抗弯强度达到 570 MPa 的 QDJ2829 起动机内齿圈,其技术指标达到了产品要求指标。

**关键词:**粉末冶金; QDJ2829 起动机内齿圈; 烧结膨胀率; 抗弯强度

**中图分类号:** TF124

**文献标识码:** A

QDJ2829 内齿圈是汽车起动机中大量使用的粉末冶金结构零件(图 1),工作条件恶劣,特别是其表面工作时要承受较大的冲击力和摩擦力。采用粉末冶金工艺制备该零件时,存在以下难度:一是由于单边壁厚度较薄,在压制、烧结与热处理时极易变形,或材料稍有胀缩就导致产品精度达不到要求;二是产品不仅要有较高的表观硬度,还要有较好的冲击韧性(高的断齿强度),这就要求产品必须具有外硬内韧的性能。因此,要求内齿圈不仅具有较高的物理力学性能,还要有非常小的烧结收缩率,最好是零收缩率。

通过大量试验,成功研制出 QDJ2829 起动机内齿圈,其技术指标完全达到产品要求指标。

## 1 QDJ2829 起动机内齿圈参数及性能要求

QDJ2829 内齿圈的几何尺寸如图 1 所示。内齿圈的齿形参数列于表 1。内齿圈的力学性能及技术指标要求如下:硬度 HRC30~40,密度高于 6.90 g/cm<sup>3</sup>,齿根抗弯强度高于 500 MPa,齿根圆与齿形表面交界处过度圆角 R0.5。

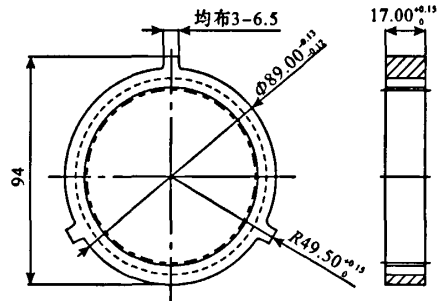


图 1 QDJ2829 起动机内齿圈的几何尺寸

Fig.1 Geometric dimension of QDJ2829 starter ring gear

表 1 QDJ2829 内齿圈参数  
Table 1 Parameters of QDJ2829 ring gear

齿数 z	模数 m	压力角 α/(°)	变位系数 x	分度圆直径 D/mm	齿顶圆直径 D <sub>a</sub> /mm	齿根圆直径 D <sub>f</sub> /mm	公法线长度 W <sub>k</sub> /mm	跨齿数 k
41	1.75	20	1.311	71.75	73.00 <sup>+0.15</sup>	80.80 <sup>+0.15</sup>	30.90 <sup>+0.10</sup>	6

收稿日期:2010-04-13

作者简介:符乃科(1980—),男,海南东方人,学士。

## 2 实验方法

### 2.1 原料

原料为水雾化 Fe-1.83Ni-0.54Mo 合金粉、电解铜粉和高纯鳞片石墨粉。

### 2.2 制备工艺

制备工艺路线如下:混粉→压制→烧结→热处理→去毛刺处理→浸油→包装。

由于内齿圈属于薄壁类零件,为了尽可能避免和减少烧结过程中因舟的不平整而引起变形,故将零件摆放在平整的石墨板舟上。在网带烧结炉中, NH<sub>3</sub> 分解气氛保护下, 1120 °C 烧结 1.5 h。试样在网带式热处理炉中, NH<sub>3</sub> 分解和碳势气氛保护下, 860 °C 保温 1 h 之后在油中直接淬火。最后在 250 °C 回火 2.5 h。

### 2.3 测试方法

用 HR-150A 洛氏硬度计测定烧结零件硬度 (HRB) 和淬火零件硬度 (HRC); 在 TG728B 型单盘光电分析天平上称重, 用排水法测定烧结试样的密度; 用 LEICADMIRM 倒置金相显微镜观察试样烧结、淬火态的显微组织; 用 WE-10T 液压万能试验机测定齿根抗弯强度, 用 MQ564-三坐标测量仪测定试样尺寸。

## 3 结果与分析

### 3.1 铜含量对齿轮硬度和齿根抗弯强度的影响

碳通常以石墨状态加入, 是形成铁基合金的基本元素之一, 它与铁形成间隙固溶体; 铜是铁基结构材料常用的元素, 它能溶入到铁中起到固溶强化的作用, 碳和铜的存在显著地强化了铁基体<sup>[1-2]</sup>。

在石墨和硬脂酸锌添加量一定、压坯密度为 6.95 g/cm<sup>3</sup> 的条件下, 改变铜含量进行实验, 实验结果如图 2 所示。由图 2 可知, 随铜含量增加内齿圈的硬度提高; 当铜质量分数超过 3.0% 后, 继续增加铜量, 则硬度下降; 当铜质量分数为 3.0% 时, 内齿圈的硬度达到最大值 HRB98。铜含量对齿根抗弯强度的影响与硬度类似, 当铜质量分数为 3.0% 时, 抗弯强度达到最大值。产生此现象的原因, 主要是铜在基体中的溶解度变化而导致固溶强化效果发生变化。当铜含量低时, 少量铜在烧结过程中产生的固溶强化效果可

是局部的或是整个组织的轻微强化, 无法达到组织整体强化的效果; 随着铜含量的增加, 固溶强化的效果逐渐加强, 硬度不断提高。由于 Ni 和 Mo 是以预合金的形式加入的, 已与铁元素形成固溶体, 这样就降低了铜在铁中的溶解度。当铜质量分数达到 3.0% 时, 材料的硬度和强度都达到了峰值, 显然铜在铁中的溶解度已达到饱和。当含铜量超过 3.0% 后, 组织中游离的铜量不断增多, 未固溶的单质铜软相的不断增多, 导致材料整体硬度和强度下降。

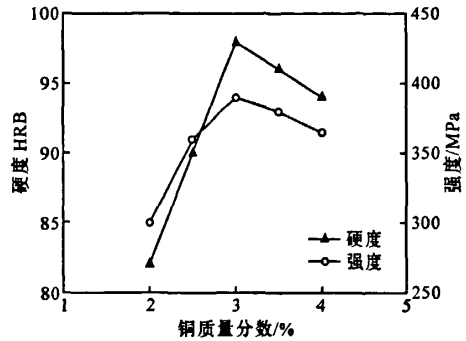


图2 铜含量对内齿圈烧结后物理性能的影响

Fig.2 The effects of copper contents on physical properties of ring gear sintered

### 3.2 石墨含量对齿轮硬度和齿根抗弯强度的影响

石墨的添加对粉末冶金材料的影响是至关重要的<sup>[3]</sup>。在铜质量分数为 3.0%，硬脂酸锌添加量固定, 压制密度为 6.95 g/cm<sup>3</sup> 的条件下, 改变石墨含量进行实验, 实验结果如图 3 所示。由图 3 可知, 石

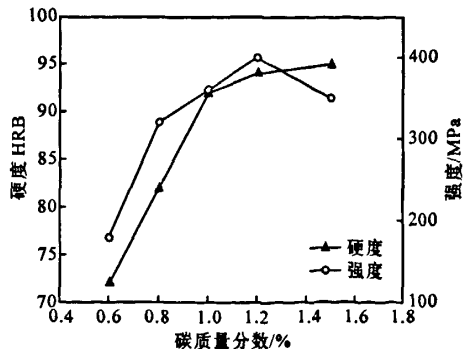


图3 碳含量对内齿圈烧结后物理性能的影响

Fig.3 The effects of graphite contents on physical properties of ring gear sintered

墨添加质量分数低于 1.2% 时,硬度和强度随石墨的增加而提高.当石墨质量分数为 1.2% 时,碳元素扩散达到饱和状态,此时硬度和强度达到峰值.继续增加石墨,硬度变化不大,强度降低.这是由于石墨增加到一定程度时,多余的石墨以游离状态存在或是形成石墨孔隙,减少了材料承载时的实际受力面积,同时也增加了应力集中的机会,导致强度下降.

### 3.3 铜和石墨的含量对烧结内齿圈尺寸的影响

图 4 为铜和石墨含量对内齿圈烧结膨胀率影响的关系曲线.由图 4(a)可知,随 Cu 含量增加,烧结膨胀率增大.这是因为在烧结时 Cu 形成液相,在毛

细管力的作用下,很快渗到 Fe 颗粒中,使 Fe 颗粒体积增大,在随后的烧结致密化过程中,原来 Cu 颗粒存在的地方可能留下微孔,使烧结件出现膨胀.从图 4(b)可知,随着 C 含量增加,烧结件膨胀率下降.这是因为碳的存在降低了 Fe-Cu 系的熔点和溶解度,从而增加了烧结时的液相量,使膨胀减小.这说明石墨的加入可以有效控制烧结零件尺寸的变化.选择合适的石墨和铜的含量,可使烧结零件尺寸变化较小甚至实现零膨胀,达到精确控制产品尺寸的要求<sup>[4]</sup>.实验最后确定内齿圈成分为 Fe-1.83Ni-0.54Mo-3.0Cu-1.2C 时,烧结膨胀率为 0.15%.

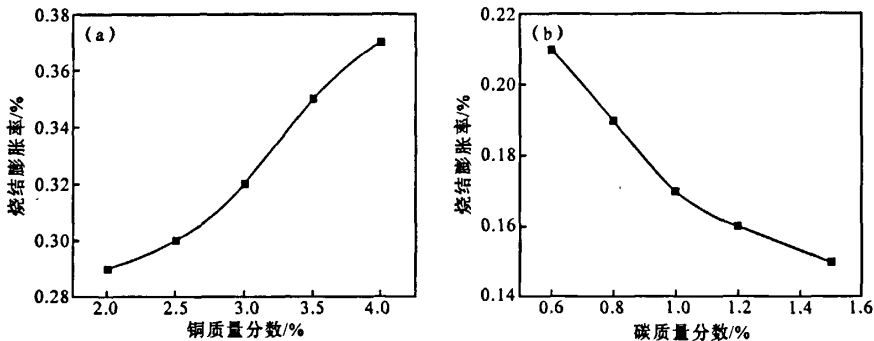


图 4 铜和石墨含量对内齿圈烧结膨胀率的影响

Fig. 4 The influence of copper and graphite content on expansion rate of ring gear

### 3.4 热处理前后内齿圈的物理性能及金相组织

选用 Cu, C 质量分数分别为 3.0%, 1.2%, 压

制密度为  $6.95 \text{ g/cm}^3$  的试样进行热处理,热处理前后齿轮的物理性能列于表 2,金相组织如图 5 所示.

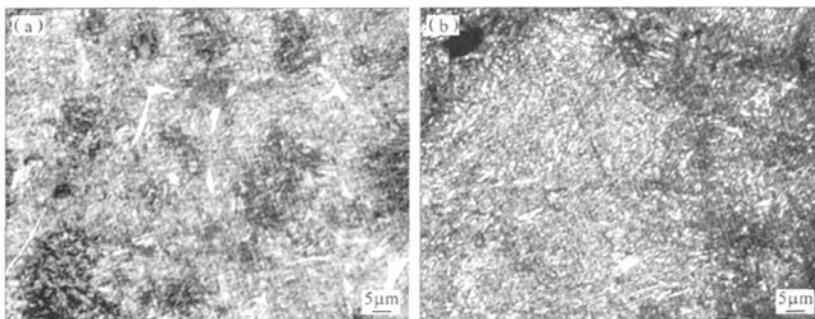


图 5 烧结态和热处理的显微组织

(a) 烧结态; (b) 热处理

Fig. 5 The microscopic structure by sintering and heat treatment

表2 热处理前后的物理性能

Table 2 Physical properties before and after heat treatment

样品号	热处理前		热处理后	
	硬度 (HRB)	抗弯强度 /MPa	硬度 (HRC)	抗弯强度 /MPa
1	98	380	38	575
2	96	400	35	582
3	96	390	34	570
4	98	385	36	580
5	99	392	37	573
6	97	396	33	570

从图5可看出,热处理前烧结态材料的组织主要以珠光体为主且含量达到90%以上;热处理后金相组织主要为针状马氏体。由表2可知,热处理后齿轮的硬度和强度明显提高。这是由于Mo, Ni与铁预合金提高了铁基体的淬透性,同时材料组织发生转变和内应力的消除,使材料热处理后能获得优良的物理力学性能。

## 4 结论

(1) Fe-Ni-Mo-Cu-C系列合金中,随着铜含量的

增加,硬度和强度提高;当铜质量分数超过3.0%时,继续增加铜含量,硬度和强度降低。当碳质量分数低于1.2%时,随着碳含量的增加,硬度和强度都有显著提高,而碳质量分数超过1.2%后硬度略有提高,但强度降低。

(2) 随Cu含量增加,烧结膨胀率增大;随着C含量增加,烧结件膨胀率下降。通过调整C和Cu的含量,可控制烧结体的尺寸变化。成分为Fe-1.83Ni-0.54Mo-3.0Cu-1.2C的内齿圈的烧结膨胀率为0.15%。

(3) 采用本工艺研制的内齿轮圈,其密度为6.95 g/cm<sup>3</sup>,硬度为HRC33~38,齿根弯曲强度为570 MPa,技术指标达到了产品要求指标。

### 参考文献:

- [1] 曾德麟. 粉末冶金材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.
- [2] 韩凤麟. 粉末冶金机械零件[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 丁华堂. 碎纸机用粉末冶金齿轮的研制[J]. 粉末冶金工业, 2008, 18(2): 18-22.
- [4] 于洋. 烧结钢生产过程尺寸变化及其控制(2)[J]. 粉末冶金技术, 2003, 21(2): 111-115.

## Investigation of iron-based powder metallurgy QDJ2829 starter ring gear

FU Nai-ke, CAI Yi-xiang, LU Guan-hua

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** A Fe-Ni-Mo alloy prepared by power metallurgy was investigated including the influences of different content of Cu, C on the mechanical properties and sintering expansion rate. The QDJ2829 starter ring gear with density of 6.95g/cm<sup>3</sup> and sintering expansion rate of 0.15% was made by Fe-Ni-Mo alloy. Its technical indices such as hardness of HRC33-38 and the tooth root bending strength of 570MPa have reached product requirements.

**Key words:** powder metallurgy; QDJ2829 starter ring gear; sintering expansion rate; bending strength