

共晶石墨钢金相组织和力学性能研究

范文俊¹, 张红旭², 王俊宁²

(1. 山西通才工贸有限公司, 山西 临汾 041000; 2. 山西建邦集团铸造有限公司, 山西 临汾 041000)

摘要: 在连续铸造的强制冷却条件下, 使其狭窄的伪共晶区获得全断面 100%共晶石墨、100%球化率的球墨铸铁型材, 经等温淬火而制备的超细密 Fe/G 复合材料。利用光学金相分析、扫描电镜观察、力学性能测试的方法研究其金相组织和力学性能。结果表明: 共晶石墨球径小, 在 15~25 μm 之间, 石墨球密度高; 裸露在摩擦面上的石墨可以起到良好的自润滑作用; 石墨球外围的包覆层可净化基体晶界。

关键词: 钢; 共晶石墨; 金相组织; 力学性能

Study on Microstructure and Mechanical Properties of Eutectic Graphite Steel

FAN Wenjun¹, ZHANG Hongxu², WANG Junning²

(1. Shanxi tongcai industry and Trade Co., Ltd., Linfen 041000, Shanxi China; 2. Shanxi Jianbang Group Casting Co., Ltd., Linfen 041000, Shanxi China)

Abstract: Under the forced cooling condition of continuous casting, the narrow pseudo eutectic region is made to obtain 100% eutectic graphite and 100% nodular iron profile with full section. The ultra-fine Fe / g composite, is prepared by isothermal quenching. The metallographic structure and mechanical properties were studied by optical metallographic analysis, SEM observation and mechanical property test. The results show that the ball diameter of eutectic graphite steel is small, ranging from 15 to 25 μm , the density of graphite ball is high; The graphite exposed on the friction surface can play a good self-lubricating role; The coating layer around the graphite ball can purify the matrix grain boundary.

Key words: steel; eutectic graphite; metallographic structure; mechanical property

引言

无论军工装备还是民用装备, 精密传动机构中关键基础零部件所用材料, 均以钢质材料为主。传统钢质材料(碳钢、低合金钢、高合金钢)的设计目标, 以满足机械零件所需的力学性能为主, 亦即是作为结构材料来使用的, 而较少考虑其它性能。为了适应越来越复杂和严酷的使用工况, 有必要在单纯的结构材料之外, 发展出一种“结构赋能材料”, 即以结构材料为本体, 使其具有力学性能之外其它的一种或多种性能的复合材料。

本文在连续铸造的强制冷却条件下, 使其狭窄的伪共晶区获得全断面 100%共晶石墨、100%球化率的球铁型材, 经等温淬火而制备的超细密 Fe/G 复合材料, 即共晶石墨钢。研究其金相组织和力学性能, 为后续产业化打下理论基础。

1 试验方法

本试验选用酸性中频感应炉熔炼连铸板坯, 热电偶测温。孕育剂采用硅钙钡, 加入量为铁液质量的 0.4%, 孕育方式为包内孕育, 铁液出炉温度为 1 470~1 490 $^{\circ}\text{C}$ 。各试样在同一铸型中浇注符合国标 GB/T 228.1-2010 要求的单铸试棒要求的单铸试棒。拉伸试样和金相试样(单位: mm)如图 1 所示, 检测设备如图 2 所示。

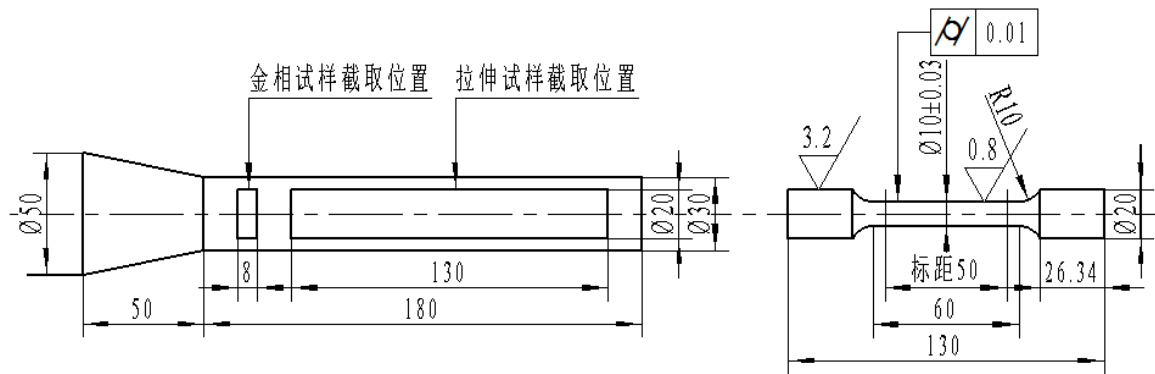


图1 单铸试棒及拉伸和金相试样尺寸

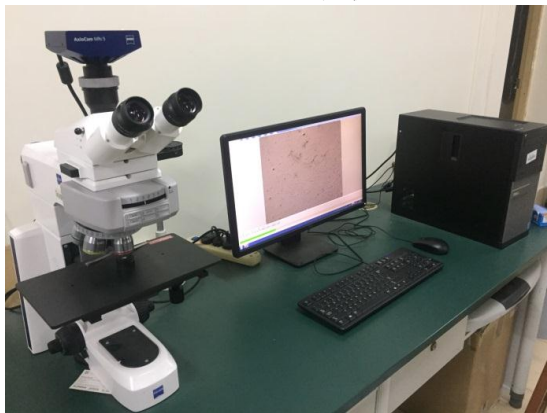
Fig. 1 The single cast bar and tensile and metallographic sample size



WDW3100 试验机



维氏硬度计 AVH-5L



Axio Scope.A1 光学显微镜



Hitachi S-3400N 扫描电子显微镜

图2 测量装置

Fig.2 Measuring equipment

2 试验结果与分析

2.1 共晶石墨钢中石墨形态的特点

图3为共晶石墨钢和普通等温淬火球墨铸铁(Advanced Distance Integration, 简称ADI)的石墨形态。显然,共晶石墨钢的石墨形态与普通ADI有了重大区别,其中共晶石墨钢为100%共晶石墨球,球径15~25 μm ;ADI的石墨形态包含了较大的石墨球或石墨块,同时石墨球数量也较少。定量金相测定表明,共晶石墨钢中的石墨球密度为300~700 个/ mm^2 ,而工业生产的普通ADI的石墨球密度为200 个/ mm^2 以下。

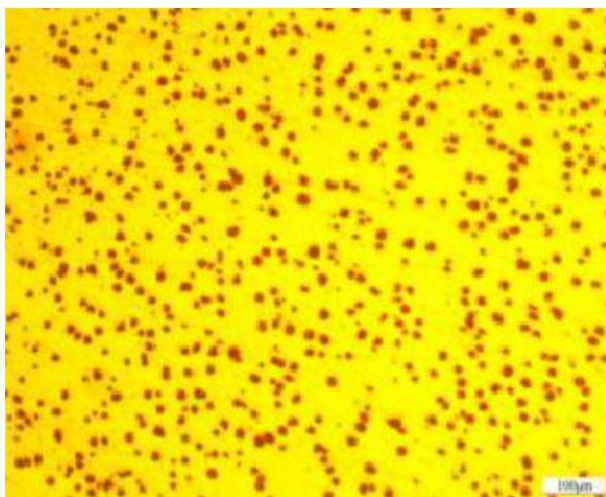
其原因在于:

1) 石墨为100%的共晶石墨球。铁水的碳当量处在狭窄的共晶成分范围内,冷却时不与相图上的液相线相交,故无初生的石墨或奥氏体晶粒产生,只有在温度降到窄小的伪共晶区后才同时结晶出石墨球和奥氏体枝晶。这种材料中的石墨球的直径,在15~25 μm 之间,平均为20 μm 。需要强调,直径<10 μm 的石

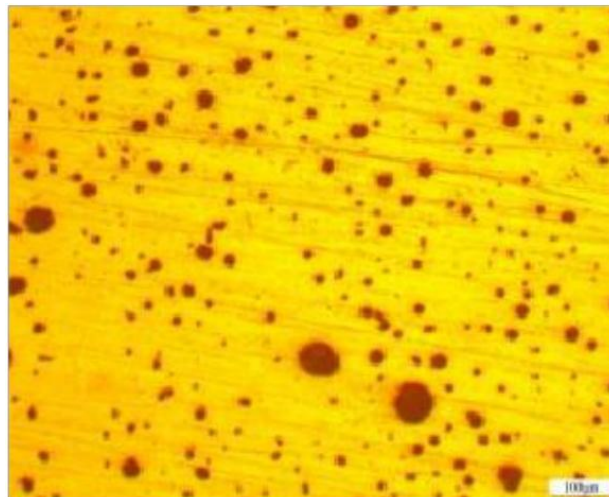
墨球在随后的球化退火和等温淬火过程中,因曲率半径太小,碳原子容易溶入铁素体,失去了石墨的应有作用。所以,平均直径 $20\ \mu\text{m}$ 的石墨球,是最佳尺寸。

2) 石墨球在小尺度范围内弥散分布。与石墨球同时生长的奥氏体枝晶,扰乱了铁水在微区内的流动,从而也阻挡了石墨球的成串漂浮,使之弥散分布。

3) 在随后的球化退火和等温淬火过程中,极个别石墨块棱角处的碳原子最先溶解进奥氏体,使石墨球的圆整度进一步提高,球化率达到 100%。



(a)共晶石墨钢



(b)等温淬火球墨铸铁

图 3 两种石墨形态 (100×)
Fig.3 Two graphite forms (100×)

2.2 石墨形态对自润滑性的影响

裸露在摩擦面上的石墨坑的深度平均为 $10\ \mu\text{m}$,石墨坑的面积约占总摩擦面积的 15%左右,正好形成了减少摩擦力的最佳表面结构形态,产生了减摩效果,即自润滑性。

优良的自润滑性能可以免用润滑油脂,使得设备在严寒环境下使用,灵活性不受影响。因为使用润滑脂的传动机构,在低温下受润滑脂粘稠度增加的影响,转速和加速度转矩会显著降低。

2.3 石墨球外围的包覆层对基体晶界的影响

与普通球铁和 ADI 不同,共晶石墨钢中的石墨球外围,有一个较厚的壳,称作“包覆层”,其断口如图 4 的电镜扫描照片所示。包覆层原子成分的电探针谱图如图 5 所示。

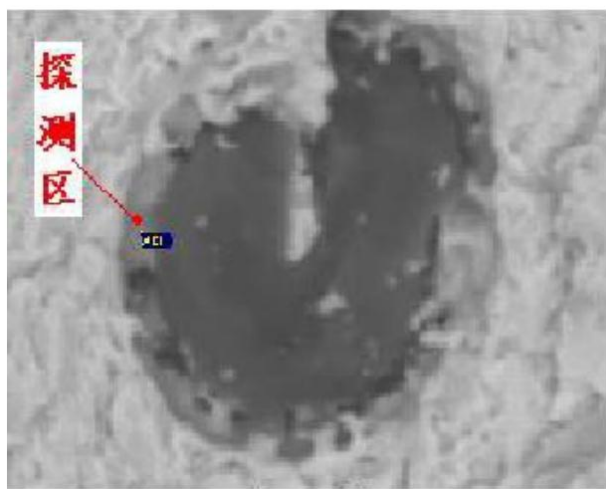


图 4 石墨球及其包覆层

Fig. 4 Graphite ball and its coating

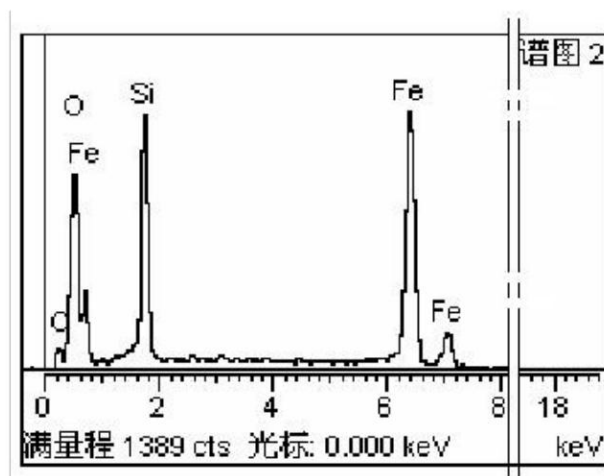


图 5 包覆层的电子探针谱图

Fig. 5 Electron probe spectrogram of coating

组织观察和理论分析表明,包覆层是共晶凝固末期集聚了所有高熔点元素和难熔微颗粒的高温铁水层急剧冷却的产物。包覆层的厚度与石墨长大速度的平方成正比,在普通球铁和 ADI 中,石墨长大速度慢,包覆层很薄,可忽略不计,只有在石墨球短时间内快速长大的共晶石墨钢中才显著存在。

在凝固过程中,随着石墨球和奥氏体晶粒的长大,其外围的高温层越来越厚,并且“过滤”了整个铁水,集纳了铁水中的高熔点元素和杂质,使之富集到球壳状的包覆层中,避免沉淀在铁素体与奥氏体的晶界上,成为疲劳裂纹的启裂源。

3 结论

本文对在连续铸造的强制冷却条件下铸造的共晶石墨钢的显微组织和力学性能进行了研究,得出具体结论如下:

(1) 共晶石墨钢为 100% 共晶石墨球,球径 15~25 μm ,石墨球密度为 300~700 个/ mm^2 ,石墨球在小尺度范围内弥散分布,且球化率达到 100%。

(2) 裸露在摩擦面上的石墨可以起到良好的自润滑性能。

(3) 在凝固过程中,包覆层“过滤”了整个铁水,集纳了铁水中的高熔点元素和杂质,使之富集到球壳状的包覆层中,可净化基体晶界。

参考文献

- [1] 张凤丽,赵学清,吴大春,等. 优化发动机缸体缸盖熔炼工艺措施[J]. 铸造,2014,63(8):856-860.
- [2] 吴照权,张晓华. 珠光体片层间距测量方法的研究[J]. 钢铁钒钛,1991(2):64-68.
- [3] 赵岩. 原料对比对球墨铸铁珠光体片层间距及硬度的影响[J]. 铸造,2011,60(4):397-400.