

水平连铸灰铸铁型材的组织特点及其对强度的贡献

陕西机械学院 甘 雨

西安交通大学 陆文华 李文学

【摘要】 水平连铸灰铸铁棒材中的点状石墨具有接近蠕虫状或珊瑚状石墨的形貌。对拉伸断口的分析,进一步展示了石墨和奥氏体枝晶在材料断裂中的行为,也证明了细小点状石墨和长度长且枝干发达的奥氏体枝晶是使水平连铸灰铸铁型材强度提高的主要原因。

关键词: 水平连铸 灰铸铁 石墨形貌

Contribution of the Structure Feature to the Strength of Horizontal Continuous Cast Grey Iron Bars

Gan Yu

(Shanxi Institute of Mechanical Engineering)

Lu Wenhua, Li Wenxue

(Xian Jiaotong University)

Abstract

The morphology of dot-like graphite in horizontal continuous cast(HCC) gray iron bars is close to vermicular or coral graphite. Fracture analysis of tensile sample was found to have effect of the graphite shape and austenite dendrite on fracture properties of cast iron and confirmed that the fine dot-like graphite and well-developed austenite dendrite with long primary arm are the main contributors to the strengthening of HCC gray iron bars.

铸铁水平连铸新工艺已在我国出现^[1,2]。连铸灰铸铁型材的铸态强度比砂型铸造的提高60~80MPa。这样,连铸型材以其优良的性能良好的致密性和加工性能成为一种被广泛使用的理想材料。本文以 $\phi 46\text{mm}$ 连铸灰铸铁棒材(以下简称连铸灰铁)为例,分析和讨论了石墨和基体特点及其对连铸灰铁机械性能的影响。

一、试验条件

表1和表2是不同铸造条件的灰铸铁试样的化学成分、组织和强度。石墨的定量分析在自动图象分析仪上进行。石墨的形状因数FF按下式计算:

表 1 化学成分(%)

试样代号	C	Si	Mn	P	S	Ti	CE	铸造条件
HC-1	3.14	3.6	0.74	0.048	0.03	—	4.34	连铸棒材
SM-1	3.00	3.32	1.59	—	—	—	4.11	砂 铸
SM-2	3.35	1.70	0.58	0.08	0.033	—	3.85	砂 铸
Ref-1 ^[4]	3.40	1.81	0.83	0.088	0.082	0.21	4.01	砂 铸

表 2 试样的组织和强度

试样代号	试样直径(mm)	显微组织				σ_b (MPa)	备注
		石墨形貌	珠光体(%)	铁素体(%)	枝晶数(%)		
HC-1	46	点状	中心60 表层10	中心40 表层90	28.8	301.5	铸态
SM-1	46	A型	100	0	—	239.5	铸态
SM-2	90	D型	90	10	中心19.33 表层20.58	251.0	铸态
Ref-1	30	D型	87	13	—	233.0	铸态

$$FF = 4\pi A/P^2$$

式中: A—石墨面积, P—石墨周长。形状因数 FF 可用来衡量石墨长与厚度的比例。如球状石墨的 FF 为 1, 蠕墨、片状石墨的 FF 依次递减。

试样经深腐蚀后萃取石墨颗粒并在扫描电镜下观察三维形态。为研究裂纹在断裂过程中的扩展路径, 磨制了断口纵向剖面的金相试样。

二、试验结果及分析

1. 石墨的定量及定性分析

连铸灰铁组织中的石墨除个别在试样中心存在少量 A 型的外, 其余部位均为非常细小的点状石墨。它们分布在初生奥氏体枝晶骨架间, 见图 1。这种点状石墨比砂型铸造试样的 D 型石墨细得多。一般, D 型石墨虽细小, 但在高倍下观察乃呈弯曲片状。为进一步比较, 本试验对石墨大小及其形状因数进行了测定。

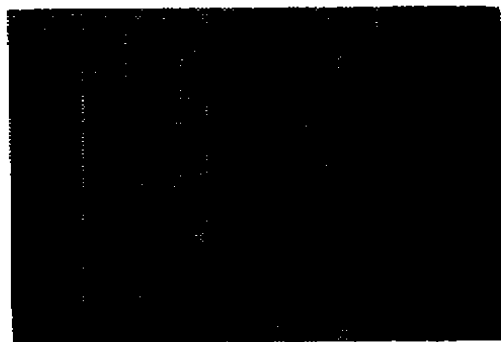
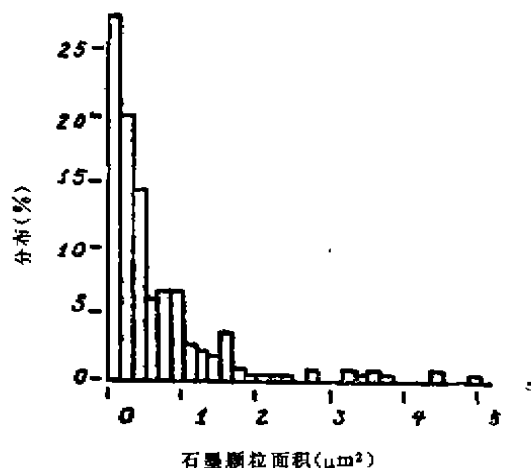


图 1 $\phi 40\text{mm}$ 连铸灰铁铸态组织(末腐值, $100\times$)

(1) 石墨颗粒大小定量分析

图 2 系利用图象分析仪测得的石墨颗粒面积分级统计图。不同铸造条件的试样都进行了同样的测量, 结果列于表 3。从表 3 可见, 砂型铸造 D 型石墨灰铸铁试样中, 颗粒面积 $5 \sim 20\mu\text{m}^2$ 的占 58% 左右, 最大颗粒为 $30\mu\text{m}^2$, 平均颗粒面积是 $6.435\mu\text{m}^2$, 就砂型条件而言是相当细小了。然而连铸灰铁中的石墨颗粒面积要比砂铸的小 1~3 个数量级。连铸灰铁中心石墨较表层稍大, 但超过 $10 \sim 20\mu\text{m}^2$ 的石墨仅占 1%, 连铸灰铁表层石墨颗粒面积小于 $1\mu\text{m}^2$ 的占 80% 左右, 石墨颗粒面积平均值为 0.671

μm^2 。即使在中心, 有近半数的石墨颗粒面积小于 $1\mu\text{m}^2$, 石墨颗粒面积平均值为 $2.429\mu\text{m}^2$ 。总之, 不管中心还是表层, 连铸灰铁中大部分石墨颗粒面积小于 $1\mu\text{m}^2$, 即绝大部分石墨十分细小而呈点状。



石墨颗粒面积(μm^2)
图 2 连铸灰铁表层石墨颗粒面积分布
测定参数: 下限 $0.17125932 \times 10^{-1}$
上限 4.8466558
测量颗粒数 221 平均面积 0.67124587

表 3 石墨颗粒面积的几率分布

试样 代号	分布几率(%)					石墨颗 粒平均 面积 (μm^2)	被测 石墨颗 粒数 (个)	注
	< 1 μm^2	1~3 μm^2	3~5 μm^2	5~10 μm^2	> 10~ 20 μm^2			
SM-2	0	23	17	41	17	6.435	58	
HC-1a	82	12	6	0	0	0.671	221	表层
HC-1b	45	23	11	4.5	1	2.429	405	中心

(2) 石墨颗粒形状因数

连铸灰铁的石墨形状因数分级分布见图 3。砂型铸造试棒中的片状、蠕虫状、球状石墨的形状因数测定结果列于表 4。从表中可见, 片状石墨(A型)、蠕墨、球墨的 \overline{FF} 值分别为 0.404、0.518 和 0.855。细小的 D 型石墨的 \overline{FF} 值为 0.348 仍属片状石墨的范畴。连铸灰铁表层与中心的 \overline{FF} 值分别为 0.782 和 0.697, 显然, 连铸灰铁中绝大部分的 \overline{FF} 值在 0.6~1.0 范围内。

(3) 石墨形貌观察

为深入考察石墨形态特点, 在光学显微镜和扫描电镜上用高倍观察了连铸灰铁组织中的

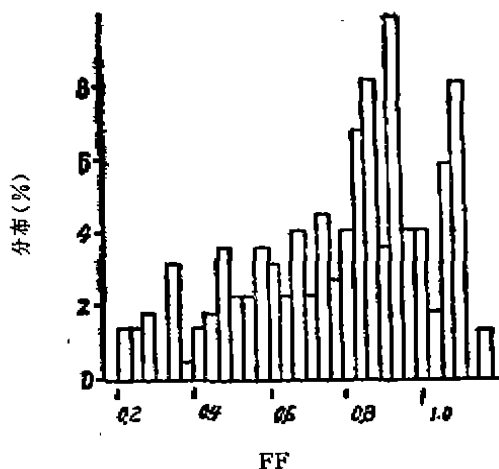


图3 连铸灰铁表层石墨形状因数分布
测定参数: 下限0.202002上限1.14349
测定颗粒数221 平均FF值0.781856

进一步与砂型铸造的试样中D型石墨对比, 将两者的石墨颗粒萃取出, 在SEM上观察, 结果如图5、图6所示。可以看出连铸灰铁的石墨有与蠕虫状或珊瑚状石墨相似的形貌特征, 其生长机制, 可以说, 是与较高的冷却速度分不开的。

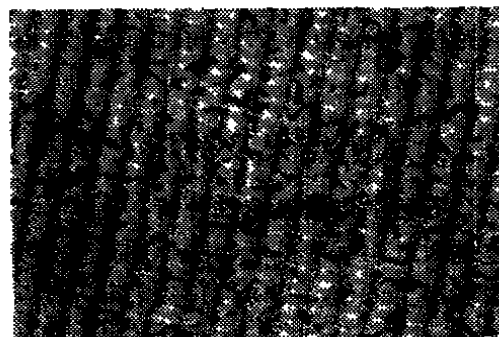


图4 连铸灰铁的表层石墨形貌(棒径 $\phi 46$, 铸态, 2000 \times)

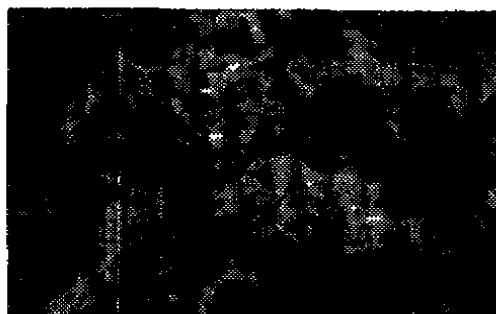
石墨。图4为两千倍下连铸灰铁表层石墨的光学金相照片, 其貌酷似加梯的蠕虫状石墨。为

表4 石墨形状因数分布测定结果

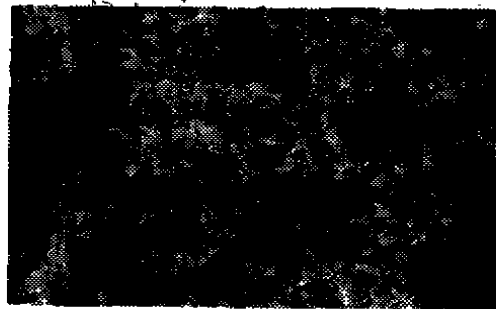
试样代号	石墨类型	FF分布几率(%)					\overline{FF}	被测石墨颗粒数(个)
		<0.2	>0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8~1.0		
Ref-2*	片状	22.5	43.5	21.9	7.4	4.5	0.404	4508
Ref-3	蠕虫状	8.4	36.0	30.5	13.7	11.2	0.518	2668
Ref-4	球状	0	2.8	7	24.4	62.3	0.855	1476
SM-2	D型	20.5	44.9	22.3	11.4	1.9	0.348**	56
HC-1a	点状	0	8.3	13.5	23.4	55.4	0.782	221
HC-1b	点状	4	16.1	16.6	20.5	42.4	0.627	379

*Ref-2, 3, 4由参考文献[3]提供的数据计算。

**SM-2的 \overline{FF} <Ref-2的 \overline{FF} , 只因SM-2的测定在国内进行, Ref-2是引用文献[3]数据, 二者计算公式和程序相同, 作者认为, 二者数值上的差属正常现象, 应视为一个级别, 仍可代表片状石墨的特征。



a) 5000 \times



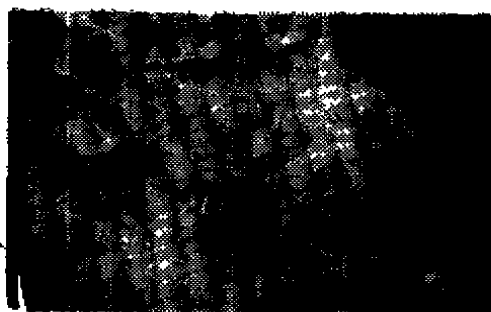
b) 1500 \times

图5 连铸灰铁中石墨颗粒的SEM照片(试样HC-1)

2. 断裂行为

灰铸铁中石墨对基体的切割作用是由片状石墨尖端的锐利边缘造成的, 从而使灰铸铁的强度处在较低水平。若降低石墨对基体的切割

作用就会提高灰铸铁的强度, 这已在连铸灰铁上得到验证。连铸灰铁的强度有较大幅度的提高是因为它的石墨呈点状, 具有较圆钝的端部。对连铸灰铁拉伸试样断口纵剖面进行金相



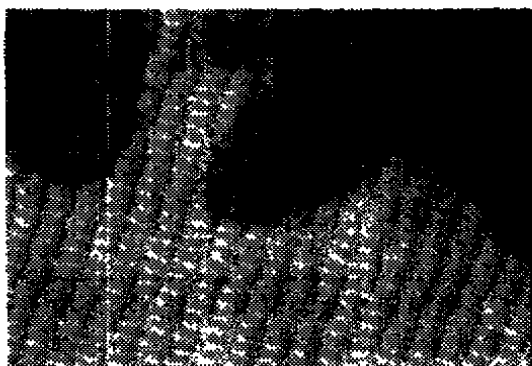
a) 2000 ×



b) 750 ×

图6 砂铸灰铁中D型石墨颗粒的SEM照片(试样SM-2)

分析时,多处发现,一次裂纹或二次裂纹并不沿着共晶组织中的石墨片扩展,而是沿着奥氏体(或其转变产物)表面扩展,如图7所示。实际上是沿共晶组织与奥氏体枝晶的界面扩展。可见,当连铸灰铁组织中的石墨极大细化以后,裂纹的扩展方式也发生了变化。

图7 主裂纹沿枝晶和共晶组织界面扩展($\times 125 \times 3$ 放大)

3. 奥氏体枝晶

(1) 定量分析

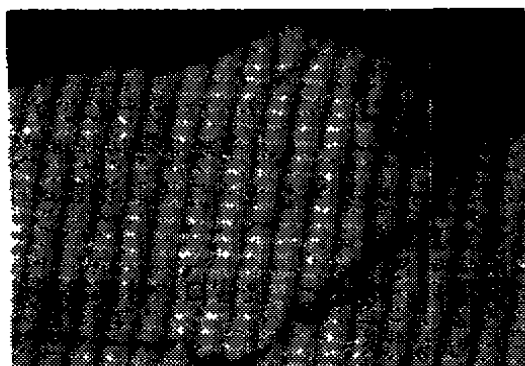
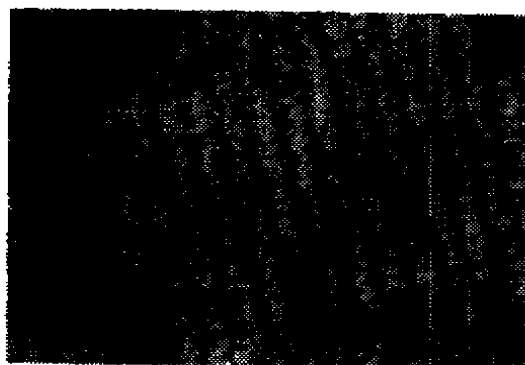
由于不平衡凝固的结果,连铸灰铁组织中有大量的发达的奥氏体树枝状晶。试验中,对 $CE = 4.34\%$, $Si/C = 1.15$, 棒经为 $\phi 46\text{mm}$ 的连铸灰铁中的奥氏体枝晶进行了定量分析,测得其中心区的枝晶占 28.83% (面积百分比), $1/2$ 半径处为 28.8% 。若按相图推算仅为 2% 左右,对砂型铸造的 $\phi 30\text{mm}$ D型石墨铸铁试样(SM-2)测量的结果是: 19.33% (中心)、 20.58% ($1/2$ 半径处)。显然是连铸灰铁中大量的奥氏体枝晶有利于铸铁强度的提高。

(2) 奥氏体枝晶在断裂过程中的作用

目前认为,奥氏体枝晶如同钢筋混凝土中的钢筋,在材料中起骨架作用^[6]。不难想象,

《铸造》1990;9

若混凝土中用短小或松散的钢筋是不会有好的强化作用的。同理,灰铸铁中短小的枝晶或枝干不发达的枝晶都不能形成良好的骨架而使铸铁强化。可喜的是由于连铸工艺的冷速很高,组织中的树枝状晶非常发达,低倍观察可见到奥氏体枝晶长得很长而且相互连成骨架(图1)。断裂过程中,裂纹的扩展受到奥氏体枝晶的阻挡而停滞在枝晶主干之前(图8),这样,裂纹若要继续扩展就必须冲断枝晶。图9是拉伸试样断口的扫描电镜照片。可以看到奥氏体枝晶

图8 二次裂纹受阻于奥氏体枝晶主干($\times 125 \times 3$ 放大)图9 拉伸试样断口的SEM照片($\times 800 \times 2$ 放大)

的断口多处,而且也可以看到个别的枝晶端部被完整无损地拔出,留下二次臂的端头。这种情况下,枝晶便没有很好地发挥作用。由此推论,不论是砂型铸造还是用别的工艺生产的灰铸铁件,仅以组织中的枝晶数量来衡量其对强度的贡献是不够的。短而粗的枝晶就不及长度长、枝干发达的枝晶对强度的贡献大。连铸灰铁组织中的枝晶数量多、长度长、枝干发达,因而最大限度地发挥了枝晶本身的作用。

三、结 论

1. 连铸灰铁的组织由极发达的初生奥氏体枝晶及枝晶间呈点状分布的细小石墨构成

的。点状石墨具有类似于蠕虫状或珊瑚状的形貌特征。

2. 连铸灰铁中的点状石墨缓和了对基体的切割作用,强化了基体。断裂裂纹常沿奥氏体枝晶与共晶区的界面扩展。

3. 连铸灰铁中枝晶数量多、长度长、枝干发达,从而充分发挥了枝晶的强化作用。

参 考 文 献

- 1 球铁, 1988(1):8~16
- 2 铸造, 1988(4):16~20
- 3 AFS Trans., 1983, 91:721~728
- 4 AFS Trans., 1977, 85:179~201
- 5 球铁, 1985(2):5~14

(编辑: 田世江)

球铁件浇冒口计算机辅助设计系统的综合研制及其实用化

清华大学 刘冲林 白天申 李德华 裴清祥 杜克波

【提要】 根据浇冒口设计理论和生产经验,开发了适用于球铁浇冒口系统设计的FTCAD软件。该软件可进行铸件模数和重量计算、厚大断面铸件的无冒口设计、中小件冒口设计及绘制模板布置图和浇冒口系统图。在生产应用中能提高工艺出品率,具有明显的经济效益。

关键词: 球铁件 浇冒口 计算机辅助设计

Studies and Application on the CAD System of Gating and Riser Design for Ductile Iron Castings

Liu Chonglin, Bai Tianshen, Li Dehua, Pei Qingxiang, Du Kebo
(Qinghua University)

Abstract

Based on design theories of gating and risering system and practical experience, was developed a software FTCAD suitable to design of gating and risering system for ductile iron castings which can calculate the modulus and weight of castings, design the riserless castings with heavy section and