

# 灰铸铁中石墨形态及其对性能的影响

重庆柴油机厂 董鹤松

**摘要** 本文通过试验,总结和论述了灰铸铁中各种片状石墨形成原因、分类、评定方法及其对性能的影响,帮助我们从石墨形态及其大小等级来评定铸件质量,掌握铸铁组织及性能变化趋势和生产情况,分析生产中出现的問題所在,用以帮助克服和解决。

## 一、概述

现在,铸铁材料的应用更加广泛,生产量逐年增多,因此,对铸铁材料的研究越来越受到人们的重视。许多部门根据生产和使用需要,对铸铁的五个基本化学元素〔C、Si、Mn、P、S〕进行调整,改变其中某些元素的含量,生产出各种性能普通灰铸铁。除此之外,还可以在普通灰铸铁的基础上,根据零件使用要求和原料情况,加入不同的合金元素或原材料中带入的合金元素,生产出各种合金铸铁。根据不完全统计,目前在生产中经常加入铸铁中的元素有:Cr、Mo、Cu、V、Ti、P、Ni、W、Sb、Sn、B、Al等。这些元素绝大多数用以改变基体组织,硬化相数量及其分布情况,对于石墨的分布当然也引起重要影响,但并未改变片状石墨的基本特征。由于C、Si是影响灰铸铁性能的主要因素,因此在其它条件大体相同的情况下,我们试验和统计了 $\phi 7.5$ 、13、20、30、40、50、60mm各种断面试棒的性能〔 $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$ 、HB〕。随碳当量〔 $C_E = C\% + 1/3(Si\% + P\%)$ 〕和共晶度

$$\left[ S = \frac{C\%}{4.3\% - \frac{1}{3}(Si\% + P\%)} \right] \text{变化的趋势 (图1、2、3)}$$

我们从图1所作铸件壁厚在8~15mm的 $\sigma_b$ 、及 $\sigma_w$ 试验可看出,HT20~40的牌号

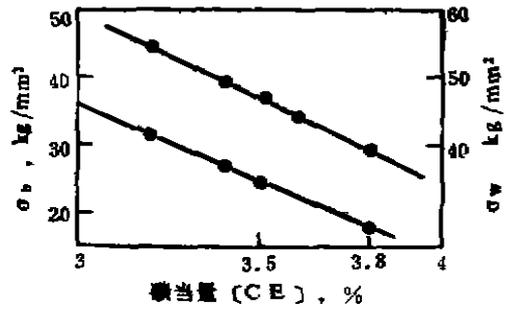


图1  $C_E$ 与 $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$ 的关系( $\phi 40$ mm)

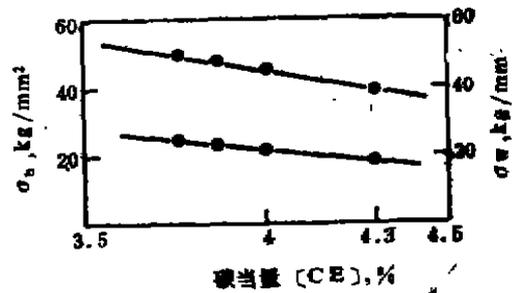


图2  $C_E$ 与 $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$ 的关系( $\phi 40$ )

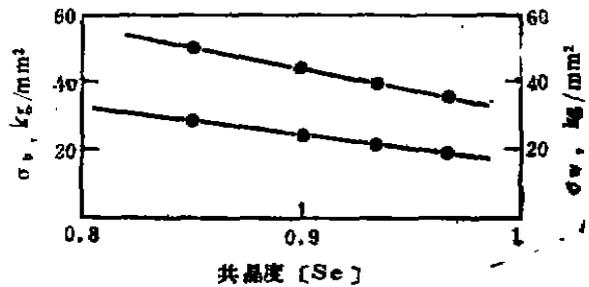


图3 共晶度与 $\sigma_b$ 、 $\sigma_w$ 的关系( $\phi 30$ )

收稿日期: 1988年3月28日

1989年第1期

铸铁的碳当量 ( $C_E$ ) 不能超过3.80%。从图2铸件壁厚15~30mm的 $C_E$ 与 $\sigma_b$ 及 $\sigma_s$ 关系曲线可知: HT20~40铸铁的碳当量 ( $C_E$ ) 不能超过4.3%。从上述不同尺寸的图形, 可以看出: 铸铁的碳当量随铸件的壁厚而有所增加, 但对其强度来讲, 随碳当量增加铸铁的机械性能降低。我们对各种断面试棒进行了组织检查, 从中找出了影响灰铸铁性能的主要因素有: (1)化学成分 (特别是碳硅当量)。(2)石墨的形态分布及其大小等级。(3)珠光体与铁素体的含量。(4)碳化物及磷共晶的数量及其形态分布。(5)共晶团粒度的大小。但是由于灰铸铁组织比较复杂, 影响因素较多, 因此不能使组织、成份和性能一一对应。性能也不可能是某一因素的函数, 只能从组织变化及石墨形态的大小等级来判定铸铁性能变化的趋势, 评定铸件质量, 掌握生产情况, 分析生产中出现的的问题所在, 用以帮助克服和解决。

## 二、灰铸铁中片状石墨分布形态的研究

铁水成份、生产工艺 (孕育处理) 及结晶条件是决定铸铁中石墨形态、尺寸、及分布特征的基本因素, 对灰铸铁而言, 上述三个条件也不例外。铁水中各种元素宏观认为是均匀分布的, 但微观是不均匀分布。同类原子间的作用, 不同原子间作用, 在成百个或上千个原子尺寸范围, 有些元素的原子可能集中, 并呈有规则排列。对于这样的排列通称为近程有序排列。近程有序的出现或消失现象, 可认为是浓度的起伏。铸铁中的碳原子在铁水中, 由于能量起伏和浓度起伏作用, 有可能时而产生短程有序, 也有可能时而离散。当温度降低时, 这些短程有序的偏聚区有可能做为结晶核心被保留下来。铁水孕育时可以产生过冷, 降低铁水中石墨的溶解度, 因而促进了核心的形成。再加上由于过冷造成的临界晶核尺寸的减小, 从而改变了片状石墨的分布特征。结晶条件是改变石墨分布的主要因素, 其实质不外是对铁水过

冷度的影响, 改变了结晶时的临界晶核尺寸和长大速度, 因而在铸铁中会出现不同形状的石墨。根据国际石墨建议方案, 结合我国生产实际情况, 《JB2264-78》标准中, 将常见的石墨分布形状 (片状石墨分布特征) 分成A、B、C、D、E、F六种类型 (表1)。

表 1 石墨分布形状

形态		说 明
片状	A	片状石墨均匀分布
菊花状	B	片状与点状石墨聚集成菊花状分布
块状片状	C	部分带尖角块状、很大片状初生石墨及小片状石墨
枝晶点状	D	点、片状枝晶间石墨呈无向分布
枝晶片状	E	短小片状枝晶石墨呈方向性分布
星状	F	星状(或蜘蛛状)与短片状石墨混合均匀分布

## 三、片状石墨的分布特征及其对性能的影响

1、A型石墨。是具有较均匀分布的片状石墨。这种石墨按结晶条件来看纯属在共晶范围内产生的。在共晶温度范围内由铁水同时结晶出石墨和奥氏体。若使铁水在共晶温度范围均匀结晶, 同时生成片状石墨, 其铁水成分应该接近于共晶, 即碳当量  $C_E = 4.3\%$ , 共晶度  $S_c = 1^\circ$ 。保证A型石墨生成的结晶条件是具有不大的过冷度 ( $\Delta T$ )。只有这样才能造成均匀的生核与长大条件, 各处结晶和生长速度相差不大, 最终才有可能出现分布均匀的片状石墨。A型石墨在整体上看是均匀的, 但在微区也并不均匀, 对于每个视场中的石墨均可能划分为许多密集的石墨团。这表明奥氏体和石墨在这个微区共晶, 形成共晶团。壁厚大于15mm, 砂型浇注的铸件容易形成A型石墨。它是亚共晶灰铸铁在过冷度不大的情况下最常见的石墨形态。当A型片状石墨其片长不大于0.30mm

时 ( $\leq 4$ 级内), 其机械性能较好。

2、B型石墨。它具有菊花状分布特征, 在菊花的中心有少量点状石墨, 被涡卷片状石墨包围。这类石墨具有过冷和共晶石墨的特点。在菊花的中心可以认为是过冷状态, 因此, 有点状晶间石墨存在。这种石墨是在有较大过冷并有孕育的条件下产生的。在过冷度较大时, 起初细小的共晶石墨生长较快, 呈辐射状, 随后因结晶潜热放出而变慢, 出现A型石墨, 结合混和成为菊花状石墨。当孕育剂加入铁水时, 造成很多微区过冷, 形成很多细小的奥氏体结晶和晶间石墨, 但因不是在强烈过冷条件结晶, 过冷区域随结晶而被消除。在初晶产物放出结晶潜热的条件下, 减慢了包围着初晶产物外层铁水的结晶速度。因此, 外层石墨呈片状石墨生长和长大, 直到遇有邻近的共晶团为止。所以认为这层石墨是继过冷石墨之后的共晶石墨。B型石墨生成的条件也与铁水成分有关, 在碳-硅含量较高的过共晶的高碱铸铁当中常见。如果铁水碳量较低, 即使是孕育也不会出现B型石墨。铸件壁厚太大或太小均不可能产生B型石墨。一般铸件壁厚在10~15mm范围容易产生, 离心浇铸的汽缸套最容易产生B型石墨。具有B型石墨的铸铁件, 其硬度不均, 耐磨性能稍差, 其综合机械性能仅次于A型均匀片状石墨铸铁件。

3、C型石墨。它是由初生的大块石墨和围绕大块石墨生长的大片初晶石墨及共晶石墨所组成。高碳、过共晶成分的铁水、厚壁铸件是生成C型石墨的充分必要条件。过共晶铁水中存在着大量过饱和析出碳或未溶的石墨碳。这些在结晶时可做为领先相优先析出, 或成为其它石墨的核心。铸件如果不太厚大, 结晶时间很短, 初生石墨来不及生长, 则可能形成另一种形式的石墨。

重叠分布的粗块片状C型石墨非金属夹杂, 它强烈地割裂了铸件基体组织的连系,

使铸件的机械性能恶化。在通常使用的铸件中, 是不允许有C型石墨存在的。

4、D型石墨。分布特征是在有方向性或无方向性的初晶奥氏体的晶间, 分布着短片状和点状石墨。这种石墨又称为过冷共晶石墨, 它是在过冷条件下生成的共晶石墨。因为生核很快, 石墨长大受到阻碍, 所以成点状和短片状石墨分布在奥氏体晶间。除了强烈过冷(铁模浇注及特别薄的小件)之外, 低碳和过热均是D型石墨生成条件。因为低碳造成奥氏体领先析出, 残留铁水在低温结晶。过热会使石墨生成核心减少, 石墨结晶困难, 需要在强烈过冷条件下才能结晶。此种D型石墨对铸件使用性能影响最坏。因它具有方向性聚集、串联在一起, 破坏了铸件基体的结合强度, 严重地降低了机械性能, 以及随它伴生的大量铁素体加剧了铸件的磨损, 极大地降低了铸件的硬度、弹性和耐磨性能。存在D型石墨的铸件, 在使用中极易发生早期疲劳破断。

5、E型石墨。即为枝晶片状石墨, 呈树枝状偏析分布。E型石墨是在初生奥氏体的晶间分布着有方向性的短片石墨。E型石墨的形成特征也和D型石墨相同, 只是过冷度稍比D型石墨小。在我们所检查铸件试样表面层或多或少分布着D型石墨及E型石墨, D型石墨在最外层, E型石墨在A型石墨和D型石墨的中间区域。这种E型石墨是在结晶和长大都有可能, 但又不顺利的条件下生成的。

E型石墨对铸件性能的影响及危害性与上D型石墨相同。

6、F型石墨。形态为星状或呈薄片状石墨, 其特点是在大块石墨上生长着许多小的片状石墨。F型石墨是高碳铁水, 在较大过冷条件下生成的。大块石墨可认为是相当于C型中的初生石墨, 片状石墨在其上生长。这就表明, 大块石墨成为中心, 小片石墨在其生长。生产活塞环时, 为了防止白口, 必

须采用高碳铁水( $C > 3.8\%$ ), 由于零件壁厚, 须采用大孕育量, 因此促进了F型石墨的生长。

具有F型石墨的铸铁件对其性能的影响不大。

C型、D型及E型石墨对铸件性能的不利影响最大, 一般铸件是不允许有C型、D型及E型石墨存在的。石墨数量的过多或过少, 都会对铸件造成不利的影晌。总而言之: 石墨分布形态划分的原则, 基本是根据铁水成分和结晶条件。

#### 四、石墨片大小的评定及对铸件性能的影响

对于石墨片长度的评级对铸件质量的控制有重要的实际意义。非金属石墨夹杂在铸铁组织中, 相当于裂纹。石墨片越长大(即裂纹越长), 破断应力就越小, 铸件的强度性能就越低。为了更准确地掌握石墨长度, 对性能的影响, 我们做了许多抗拉、抗弯性能试验, 将其试验结果绘成如下各种断面试棒的石墨长度对性能影响的关系曲线图(图4、5)。

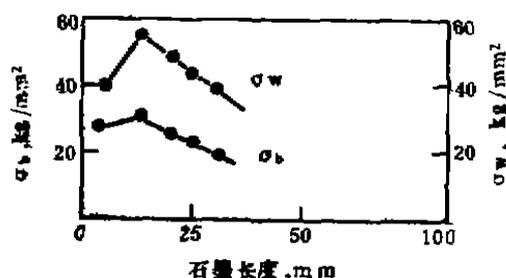


图4 石墨长度与 $\sigma_L$ 、 $\sigma_W$ 的关系( $\phi 20$ )  
(石墨长度放大100倍)

图4为铸铁壁厚在8~15mm做成的抗弯、抗拉试棒( $\phi 20$ )机械性能试验结果, 石墨片最大长度0.25mm断裂时的强度都较高:  $\sigma_L = 22$  (kg/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_W = 42$  (kg/mm<sup>2</sup>)

图5是铸件壁厚在15~30mm, 做成的( $\phi 30$ mm)的抗弯及抗拉性能试验。石墨片最大长度0.40mm断裂, 断裂时的强度都较低: [ $\sigma_L = 15$ ;  $\sigma_W = 34$ ]。由试验结果可认

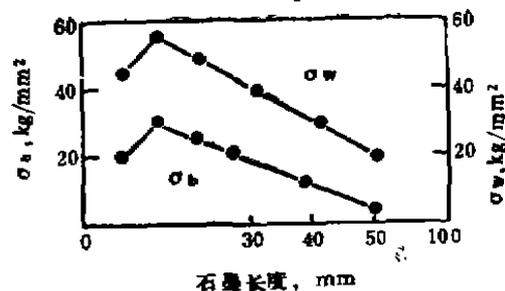


图5 石墨长度与 $\sigma_L$ 、 $\sigma_W$ 的关系( $\phi 30$ )  
(石墨长度放大100倍)

定: 对常用的HT20~40牌号铸铁来讲, 其允许石墨长度在0.25~0.30mm内(标准的 $\leq 4$ 级), 都可达到其性能要求。但当其铸铁中的石墨片长 $> 0.30$ mm以上时, 其机械强度性能便开始下降, 随着石墨长度越长, 铸件的机械强度性能下降越严重。由上述图表曲线还可以看出: 当铸件中的石墨越细小, 如铸铁中的过冷的(D型及E型)石墨, 其强度性能也要降低。所以, 在一般较重要的铸铁件中, 是不允许有粗大的块片状的(C型)石墨和过冷细小的点、片状枝晶(D、E型石墨)存在。因为, 这些非金属石墨夹杂的存在, 都将严重降低其机械强度性能, 使铸件性能恶化, 而发生疲劳破断。为了找出石墨定级的理论依据, 我们统计了各种断面试棒的石墨长度范围(表2):

如表2所示, 随着试样断面由 $< \phi 7$ 、 $\phi 7.5$ 、 $\phi 13$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 30$ 、 $\phi 40$ 、 $\phi 50$ 、 $\phi 60$ mm的变化, 石墨最大长度相应的变化为 $< 5$ 、10、15、25、35、45、55、 $> 60$ mm。因此, 我们认为将片状石墨长度定为表2所列8级较为合理, 这样如实反映了铸件壁厚变化和石墨长度变化的关系。

生产实践证明, 灰铸铁中的石墨的形态和大小对铸件性能有重要的影响。根据铸件实际使用效果, 对石墨的评定有两个方面: 一是控制石墨的长度, 根据铸件壁厚程度, 尺寸大小的不同, 合理的对待之。在一般情况下细小片状石墨较之粗大片状石墨的铸件

表 2 试样断面尺寸及石墨长度关系

试样断面 尺寸, mm	φ7.0	φ7.5	φ13	φ20	φ30	φ40	φ50	φ60
石墨长度 mm	<5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	>60
级 别	1	2	3	4	5	6	7	8

1) 石墨长度放大100倍

具有更高的硬度、弹性系数和机械性能,这是因为小片状石墨对金属基体的切口或裂纹作用比粗大石墨片来得小,容易减轻应力集中现象,另外细小片状石墨的基体组织也较致密,从耐磨性来看,中等片状石墨比小片状石墨会更有利些,因为石墨的自身润滑作用和吸附润滑油的能力比小片状石墨来得优异,并可改变石墨的氧化条件,因此它表现出较好的耐磨性,所以在评定中要按铸件的使用要求,不同情况区别对待。另外是对树枝状过冷石墨的控制。这类石墨是在薄壁小

型铸件中才容易产生,但对不是点状聚集和不是以明显的方向性枝晶偏析分布,对铸件性能的影响还不很大;但是铸件中是不允许有过冷的D型及E型枝晶石墨存在,它的存在将导致铸件发生早期疲劳破断。

石墨数量的过多或过少都会对铸件造成不利的影响,只要我们严格执行正确的铸造(熔炼),浇制工艺,注意控制好化学成分和冷却速度,就能够生产出高质量高强度的铸件来。

(上接35页)

准刻度值;

(2) 由于示波器显示的是感应电压的峰峰值即 $e_{pp}$ ,而最大值 $e_m$ 是峰峰值 $e_{pp}$ 的一半,所以(5)式变为:

$$B_m = \frac{1}{20} e_{pp} \text{ (高斯毫或高斯)}$$

例如:测量 $e_{pp} = 200$ 毫伏,则得 $B_m = 10$ 毫高斯。

(3) 由于测量线圈至示波器插头之间有较长的引线,为了减少或避免从连线中引入干扰,连线必须采用双芯屏蔽线,屏蔽层

接地。

(4) 测量时将线圈置于欲测地点,不要用手触摸线圈,也不要让线圈与其他导体接触,以防感应干扰。

(5) 旋转线圈的角度和方向,可以判断干扰源的大致方位及最大场强的方向。

(6) 由于测量公式的近似性,加上线圈的制作尺寸及示波器测量 $e_m$ 的误差,根据实验,本方法测量误差在10%左右。为了减少误差,必须精确测量线圈半径,并避免干扰。

## 参 考 文 献

1. 姜道等:电子显微镜机房设计的技术要求,实验技术与管理,1986年第二期。
2. [苏]П.Н.沙皮罗著,电磁屏蔽的理论基础,甘得午等译,国防工业出版社,1981年版。
3. 曹振烈编:电子设备的防干扰设计,天津科学技术出版社,1985年版。