

球墨铸铁显微研究

李炯辉 胡明初 编著

前 言

稀土镁球墨铸铁(简称稀土镁球铁)是一种适合我国资源情况的金属材料。解放后,在伟大领袖毛主席和党中央的英明领导下,我国稀土镁球铁的生产和研究工作,有了很大的发展。

稀土镁球铁铸造简单、成本低廉、性能良好,能代替碳钢和合金钢,制造各种机械零件,如:曲轴、连杆、主轴、齿轮等等。因此,推广稀土镁球铁,对实现我国的社会主义工业化和农业机械化,都具有积极的意义。

本书主要从显微组织角度出发,介绍和论述了相互联系的三个部分:(1)稀土镁球铁的热处理;(2)稀土镁球铁的冲击断裂和疲劳断裂;(3)磷在稀土镁球铁中的作用。

根据我们的了解,目前,不少介绍球铁热处理的书籍和资料,大多沿用了钢的热处理理论。其实,钢和球铁之间,有共性,也有个性。因此,应该按照球铁的特点,建立其自身的热处理理论。球铁的热处理,主要与两个因素有关:(1)球墨参予相变,它象碳的“储备库”一样,能使大量碳溶入基体,或使大量碳沉淀于球墨表面。这样,在热处理过程中,球铁基体中的含碳量,即将在一个较大的范围内变动。(2)球铁的微观偏析,对 A_{c1} 、 A_{c3} 、 M_s 等转变温度有很大影响,并能使这些转变温度出现微观区域性。热处理过程中磷共晶的溶解或熔化,更能助长这种微观区域性。以上两个因素表征了球铁热处理的特性。球铁热处理的其他特点,都是受这两个因素规定或从这两个因素派生出来的。因此,本书按照球铁的特点,对其热处理理论、转变产物的形态规律以及热处理工艺,提出了一些肤浅的看法。

其次,本书初步分析了球铁的断裂规律。发现在应力作用下,球铁的显微组织——包括石墨和基体组织——都将按照一定的规律发生运动,这种微观运动的宏观反映、就是球铁的断裂。目前,

关于球铁的断裂,有两种不同的意见:有人认为,影响断裂的主要因素是石墨形态,即球墨的圆整程度,基体组织的作用是次要的;但也有人认为,基体组织的作用是主要的,石墨的作用是次要的。这两种看法,迄今还未取得一致的认识。我们认为,在球墨铸铁断裂过程中,石墨和基体是一对矛盾,在一定条件下,石墨形态可成为导致断裂的主要矛盾方面;但是,当条件发生变化的时候,基体组织也可成为导致断裂的主要矛盾方面。事物在一定条件下可以相互转化,这也正是球铁断裂运动的丰富而复杂的辩证法。

最后,本书对磷在球铁中的各种存在状态(固溶体、化合物、混合物)及其在热处理中的变化和对断裂的影响,进行了扼要的分析。磷的最大危害是增加球铁的脆性。根据现有的实践经验,采用包外孕育是降低磷有害影响的较好方法。包外孕育可使晶团细化和改善磷共晶的分布情况,从而提高球铁的机械性能。另外,低碳奥氏体化正火、高温回火等热处理工艺,对减弱磷的有害作用,也能收到一定的效果。

我们对于球铁的热处理和断裂研究等,虽然做了一些工作,摸到一些规律,但看法都还肤浅,缺点和错误一定在所难免,我们之所以编著此书,意在抛砖引玉。正如伟大领袖和导师毛主席曾经指出的:“客观现实世界的变化运动永远没有完结,人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结”。由于球铁材料正在不断地发展,因此人们对球铁的认识也应不断地深化。还有许多新的课题,有待我们去探索 and 解决。我们恳切地期待着同志们的批评和指教。

本书所论球墨铸铁,除特别指明者外,都系稀土镁球墨铸铁。

本书在写作过程中,得到第一机械工业部科技局质量处、无锡市重工业局、上海材料研究所、无锡柴油机厂、无锡机床厂、无锡模具厂、无锡汽车发动机厂等单位的领导和同志们的关心与支持;并承桂立丰、赵正达、周尚言、惠永道等同志审阅;特一并致以衷心的感谢。

作者 1977年12月

目 录

第一章 石墨球化理论与应力分布

一、石墨形态	1
(一)球状石墨	1
(二)团状石墨	3
(三)团片状石墨	4
(四)厚片状石墨	4
(五)开花状石墨	6
(六)枝晶石墨	8
二、石墨的分布特征	9
(一)以球状及团状为主的分布	9
(二)以团片状为主的分布	9
(三)厚片状石墨的分布	11
三、各种石墨形态的形成机理	16
(一)石墨的结构	16
(二)球状石墨的形成	17
(三)其他形态石墨的形成	23
四、石墨形态与应力分布	28
(一)球状石墨周围的应力分布	28
(二)其他石墨形态周围的应力分布	30

第二章 正火与退火

一、化学成分对临界点的影响	39
二、珠光体-铁素体球墨铸铁加热时组织的转变	41
(一)在 A_{c1}^s 点以下加热	41
(二)在 $A_{c1}^s \sim A_{c1}^f$ 点范围内加热	44

(三)在 $A_{c1}^s \sim A_{c3}$ 点范围内加热	45
(四)在 A_{c1} 点以上加热	49
三、珠光体球墨铸铁和铁素体球墨铸铁加热时组织的转变	51
(一)珠光体球墨铸铁加热时组织的转变	51
(二)铁素体球墨铸铁加热时组织的转变	52
四、球墨铸铁冷却时组织的转变	52
(一)在 A_{r3} 点以上冷却	53
(二)在 $A_{r3} \sim A_{r1}$ 点范围内冷却	53
五、临界点的测定	55
六、铸态、正火、退火后的基体组织	58
(一)珠光体的形态分类	59
(二)铁素体的形态分类	62
(三)渗碳体的形态分类	70
七、退火工艺	77
八、正火工艺	86
(一)加热温度	86
(二)保温时间	87
(三)冷却方式	88
(四)正火后的二次渗碳体	89
(五)正火工艺	91
(六)回火工艺	95
(七)正火时的氧化脱碳	97

第三章 正火、退火球墨铸铁的断裂规律

一、珠光体、铁素体球墨铸铁的冲击断裂	103
(一)冲击试样的型式	103
(二)冲击试验的意义和局限性	104
(三)冲击断裂吸收的总功	106
(四)珠光体、铁素体球墨铸铁在冲击应力下的断裂规律	113
二、珠光体、铁素体数量对机械性能的影响	124
三、铸铁断口的色泽	125
(一)灰口铸铁断口的色泽	125

(二)高磷铸铁断口的色泽·····	125
(三)白口铸铁断口的色泽·····	126
(四)球墨铸铁断口的色泽·····	126
(五)可锻铸铁断口的色泽·····	130
四、珠光体球墨铸铁的疲劳断裂·····	130
(一)交变载荷下塑性形变的特征·····	131
(二)低循环疲劳和高循环疲劳·····	132
(三)疲劳裂纹的特征·····	132
(四)疲劳断口的特征·····	134
(五)曲轴技术条件分析·····	138
五、提高曲轴疲劳强度的方法·····	139
(一)正火曲轴的圆角滚压强化·····	140
(二)正火曲轴的尿素气体软氮化·····	142

第四章 淬火与回火

一、影响马氏体点的因素·····	149
(一)合金元素的影响·····	149
(二)晶粒度的影响·····	150
(三)加热温度的影响·····	150
(四)马氏体点的区域性·····	151
二、马氏体转变的特点和马氏体的本质·····	151
三、马氏体的形态规律·····	157
(一)马氏体形态与含碳量的关系·····	157
(二)马氏体形态与加热温度的关系·····	163
(三)马氏体形态与冷却介质的关系·····	165
(四)马氏体形态与微观偏析的关系·····	166
四、淬火工艺·····	168
五、淬火组织的硬度·····	168
六、淬火裂纹·····	170
(一)产生淬火裂纹的原因·····	170
(二)淬火裂纹的特征·····	175
七、回火组织的形态规律·····	175

(一)高硅区淬火马氏体的回火·····	175
(二)高磷、高锰区淬火马氏体的回火·····	182
(三)金相试样磨面的色泽·····	185
(四)残余奥氏体的回火·····	185
八、球墨铸铁回火后的机械性能·····	188
九、高频淬火·····	189

第五章 等 温 淬 火

一、等温转变曲线及其转变产物·····	193
(一)奥氏体等温转变曲线的特征·····	193
(二)高温转变·····	195
(三)中温转变·····	195
(四)上、下贝氏体的区别·····	199
二、影响奥氏体等温曲线的因素·····	199
(一)碳的影响·····	200
(二)合金元素的影响·····	200
(三)加热温度的影响·····	201
(四)奥氏体晶粒度的影响·····	202
三、贝氏体的形态规律·····	202
(一)贝氏体形态与含碳量的关系·····	202
(二)贝氏体形态与其他元素的关系·····	202
(三)贝氏体形态与加热温度的关系·····	204
(四)贝氏体形态与等温温度的关系·····	204
四、等温淬火后的马氏体·····	208
五、球墨铸铁等温淬火后的机械性能·····	211
(一)加热温度对机械性能的影响·····	211
(二)等温温度对机械性能的影响·····	211
(三)等温时间对机械性能的影响·····	212
(四)硅对机械性能的影响·····	213
(五)锰对机械性能的影响·····	214
六、等温淬火后的回火·····	215
七、等温淬火工艺·····	218

第六章 淬火、等温淬火球墨铸铁的断裂规律

一、淬火、回火球墨铸铁的断裂规律	222
(一) 淬火马氏体的断裂	222
(二) 厚片状石墨呈聚集分布时淬火马氏体的断裂	224
(三) 250°C 回火马氏体的断裂	224
(四) 450°C 回火组织的断裂	226
(五) 550°C 回火组织的断裂	227
(六) 650°C 回火组织的断裂	227
二、等温淬火球墨铸铁的断裂规律	228
(一) 下贝氏体、残余奥氏体和少量淬火马氏体的断裂	229
(二) 下贝氏体、残余奥氏体和极少量淬火马氏体的断裂	229
(三) 上贝氏体、残余奥氏体和少量淬火马氏体的断裂	233
(四) 上贝氏体、残余奥氏体和极少量淬火马氏体的断裂	233
三、等温淬火后冲击试样的宏观断口	235
四、球墨铸铁测定硬度时形成的显微裂纹	237

第七章 磷 共 晶

一、磷共晶的形成机理	243
(一) 磷在铸铁中的作用	243
(二) $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}-\text{Fe}_3\text{P}$ 三元平衡图	244
二、铸态磷共晶	246
(一) 浇注温度的影响	256
(二) 球化处理的影响	256
(三) 成分偏析的影响	256
(四) 碳、硅当量的影响	256
(五) 孕育处理的影响	256
(六) 截面大小的影响	256
三、正火后的磷共晶	258
四、退火后的磷共晶	267
五、等温淬火和淬火、回火后的磷共晶	272

六、磷的固溶体·····	275
七、合金元素对磷共晶的影响·····	276
八、磷共晶对球墨铸铁断裂的影响·····	277
九、磷共晶对裂纹分布的影响·····	280
十、磷在球墨铸铁中的作用·····	282
参考文献·····	284

第一章 石墨球化理论与应力分布

一、石 墨 形 态

稀土镁球墨铸铁(球墨铸铁以下简称球铁)的石墨形态,常见的有六种,包括:球状、团状、团片状、厚片状、开花状和枝晶状等;随着化学成分、工艺条件等的变化而变动。

(一) 球状石墨

这是一种最理想的石墨,如图 1-1 所示。与纯镁处理比较,加入稀土后,除小件、薄壁铸件以及采用包外孕育工艺浇铸的铸件外,一般不易获得全部的球状石墨。

球状石墨的光学性能:低倍时,近似球状;高倍时,是一个边数不多的多边形。典型的球状石墨,在明场下,呈辐射状,结构清

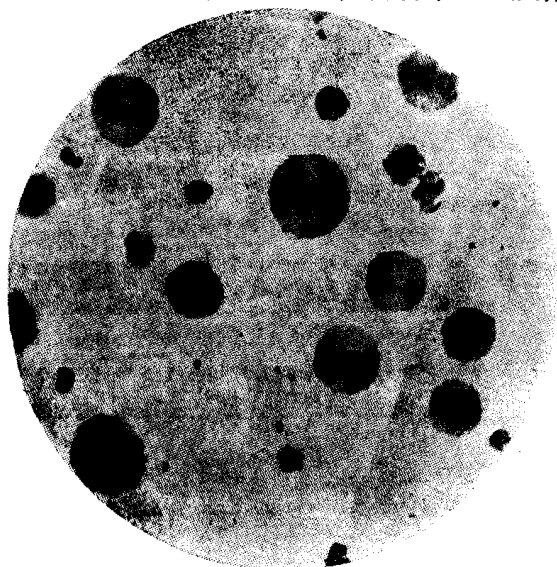


图 1-1 球状石墨 100×

晰,如图 1-2 所示;在暗场下,具有一个亮圈,如图 1-3 所示;在偏振光下,呈各向异性,如图 1-4 所示。

球墨的机械性能: 抗拉强度很低,几乎等于零;显微硬度为 HV3~5。



图 1-2 球状石墨(明场) 1000×

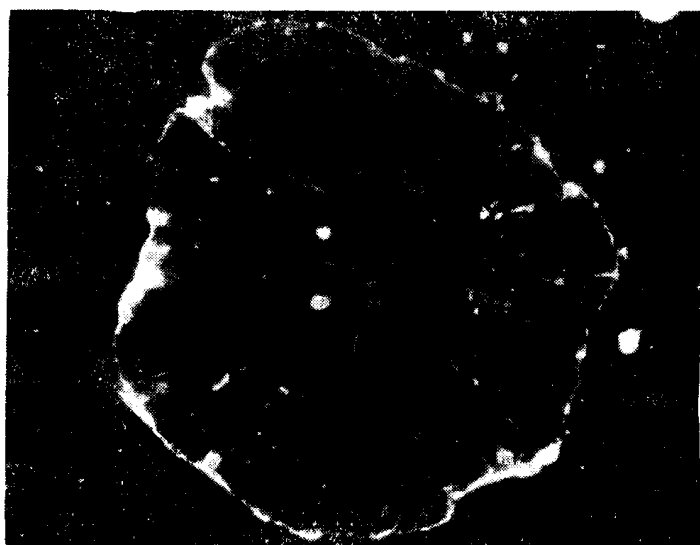


图 1-3 球状石墨(暗场) 1000×



图 1-4 球状石墨(偏振光) 1000×

当铸件愈薄、石墨愈小时,球状石墨的外形就愈圆整。

另外,还有双球状、多球堆积状等形态,都可归于球状石墨的范围。

要获得球状石墨,必须控制孕育处理、球化处理、原铁水的化学成分、浇注温度、停留时间和冷却速度等各种条件。其中,前两项是主要的。一般说来,在正常的孕育强度下,中小型铸件中残余镁量为 $0.03 \sim 0.06\%$ 和残余稀土量为 $0.02 \sim 0.04\%$ 时,形成球状石墨的可能性较大。

(二) 团状石墨

外形与球状相近似,如图 1-5 所示。它与球状的主要区别是:外层长出不大的分枝,周界凹凸,形似棉花团,破坏了球状的完整性。

团状石墨,在稀土镁球铁中是一种常见的形态,较易遇到;而在镁球铁中却很少出现。

团状石墨的出现,在多数情况下,残余球化剂量仍是适当的;

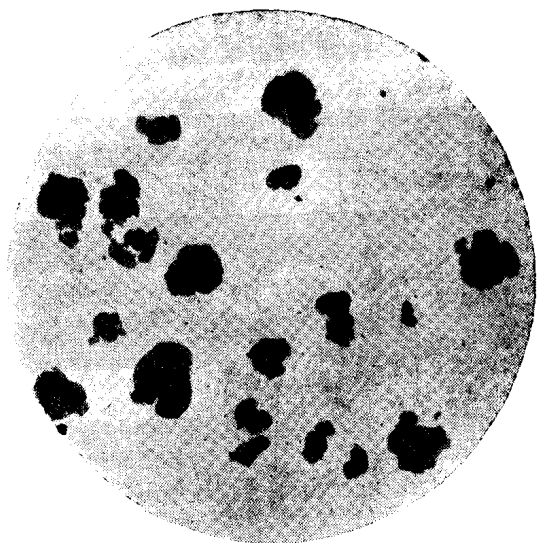


图 1-5 团状石墨 100×

如果是残余稀土量较高或截面较大的铸件，出现这种石墨的机会更多。

（三）团片状石墨

外形较团状更不规则，具有菱角状或球状、团状边缘向外伸长等形态，如图 1-6 所示。它容易出现在大截面铸件心部，而且截面愈大，出现愈多。一般说来，同一铸件中的团片状石墨要比其他石墨粗大而且分布稀疏。

团片状石墨是在孕育不充分、孕育衰退、冷却速度迟缓的条件下得到的。分析其化学成分，残余镁量和残余稀土量都较高（有时仅仅残余稀土量较高）。

（四）厚片状石墨

外形近似于蠕虫。它有两种基本形态：一种是短而粗的棒状；一种是外形不光滑呈弯曲的片状，如图 1-7 所示。与灰口铸铁的片状石墨相比，球铁的厚片状石墨宽度较宽，其主要特征体现为一个“厚”字。

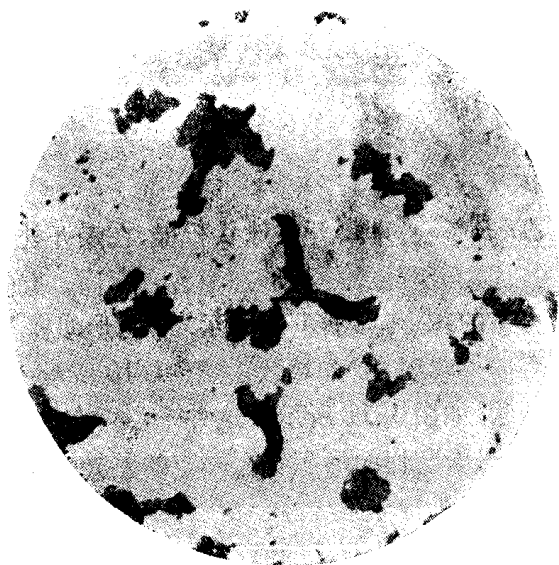


图 1-6 团片状石墨 100×

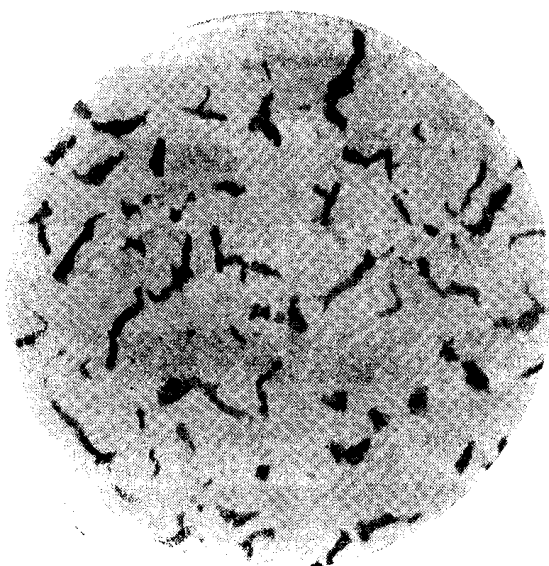


图 1-7 厚片状石墨 100×

厚片状石墨是球化处理不正常的反映。若球化衰退、残余镁量和残余稀土量较低（或仅仅残余镁量较低），都会出现厚片状石墨。

（五）开花状石墨

也称爆花状石墨，意即爆开的球状石墨，在爆开处嵌着金属基体。这类石墨，因爆开程度不同，形态也各有不同。有的开花程度较小，仍保持完整的球形，如图 1-8 所示；有的形似梅花，如图 1-9 所示；有的中心向外辐射，犹如星状，如图 1-10 所示；有的破碎程度较大，呈粉碎状，如图 1-11 所示。这种千姿百态的石墨，都可称为开花状。因为尽管它们的形态存在一定的差异，但仍具有共同的特征，即其外形仍维持球状。

在同一铸件中，开花状石墨的直径通常要比球状石墨大。

开花状石墨的形成原因：大致是碳当量较高、化学成分偏析、浇注温度较高、冷却速度不均等因素所造成。若局部范围内碳当量超过共晶成分，即有可能出现开花状石墨。

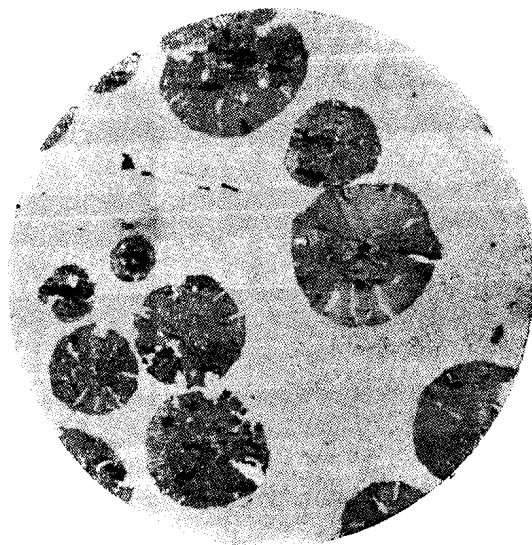


图 1-8 开花状石墨 100X



图 1-9 梅花状石墨

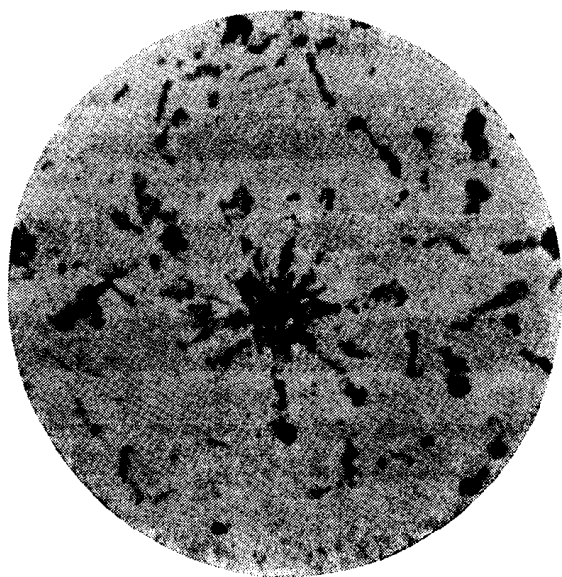


图 1-10 星形石墨 400x

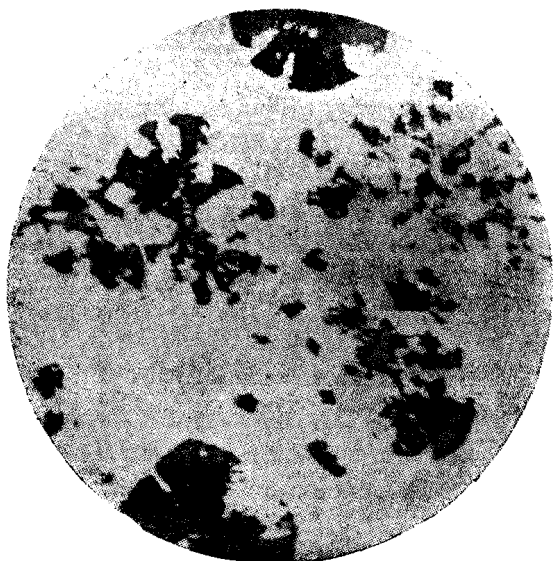


图 1-11 破碎程度很大的开花状石墨

(六) 枝晶石墨

也称过冷石墨,集聚颇多的短片及点状石墨呈枝晶分布,如图 1-12 所示。这类石墨的外形,与灰口铸铁的枝晶石墨相当,但通



图 1-12 枝晶石墨 100×