

QT400-18 铸态高韧性球墨铸铁 拉伸断口特征与断裂机理

周惦武¹, 彭 平¹, 赖海萍¹, 胡艳军¹, 赵占伟², 刘金水¹

(1. 湖南大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410082; 2. 世林冶金设备有限公司, 河南漯河 462000)

摘要: 通过对 QT400-18 铸态高韧性拉伸断口特征及断裂机理的分析, 发现伸长率超过 20 % 时, 试样断口具有韧性断裂的微观特征, 在断口上留下较大、较深的韧窝, 甚至有撕裂带。而伸长率为 15 % ~ 16 % 时, 试样断口具有混合型断裂的微观特征, 在尖角处易形成微裂纹源, 受外力作用时, 裂纹源迅速扩展, 造成局部穿晶断裂; 同时由于铁素体含量减少, 珠光体含量增多, 基体塑性变形相对较差, 在试样断口上留下大量较浅的韧窝。

关键词: 铸态; 高韧性球墨铸铁; 断裂机理

中图分类号: TG255 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2004) 06-0443-04

Fracture Character and Fracture Mechanism of the Tensile Sample of QT400-18 As-cast High Toughness Ductile Iron

ZHOU Dianwu¹, PENG Ping¹, LAI Hai-ping¹, HU Yan-jun¹, ZHAO Zhan-wei², LIU Jin-shui¹

(1. Institute of Material Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan, China; 2. Shilin Metallurgy Equipment CO. Ltd., Luohe 462000, Henan, China)

Abstract: A study on fracture character and fracture mechanism of the tensile sample of QT400-18 as-cast high toughness ductile iron was given in the paper. The experiment results showed as the following: when the elongation of tensile sample was over 20 %, the micro-character of the tensile sample was toughness rupture (its fracture mechanism was given), first graphite was divorced from the ferrite matrix, then sufficient plastic distortion occurred in the ferrite matrix, finally the greater and deeper toughness nest with teared surface layer left behind in the fracture of test sample; when the elongation of tensile sample was between 15 % and 16 %, due to many abnormality ductile and white impurity, some tiny cracks were found at their tine corner. These cracks spread rapidly through the crystal if they suffered the outside force; at the same time it was rather difficult that the plastic distortion took place in the matrix thanks to the ferrite content decreasing and the pearlite content raising, at last the flat toughness nest left behind in the fracture of test sample.

Keywords: as-cast; high toughness ductile iron; fracture mechanism

铸态球墨铸铁是指不经热处理直接获得所需性能的球墨铸铁。球墨铸铁采用铸态生产可节约生产成本、简化工艺和缩短生产周期, 为各生产厂家竞相采用。QT400-18 高韧性球墨铸铁在实际生产中得到一定应用, 但用户对该牌号球墨铸铁 (简称球铁) 在铸态下的伸长率要求越来越高, 已超过国家标准要求, 达到 20 % 以上。关于非铸态球铁性能及断裂机理的分析与研究, 人们做过大量工作, 其中奥氏体-贝氏体球铁断裂的微观过程及强韧化机理研究较多^[1,2], 球铁疲劳裂纹扩展的微观机制也有少量报道^[3], 但对高韧性铸态球铁断裂机理, 国内还不曾有人研究。结合某公司实际生产中该牌号铸态球铁伸长率偏低, 一般稳定在 15 % ~ 16 %, 通过设计合理的化学成分和适当改进球化、孕育工艺, 使其伸长率稳定在 20 % 以上, 平均值为 21.3 %, 从而成功地解决了生

产实际难题。为进一步分析该牌号铸态球铁伸长率提高的原因, 对该球铁拉伸断口特征及断裂机理的分析与探讨有很大现实意义。

1 试样制备与分析方法

试验用拉伸试样直径 14mm, 标长为 70mm, 材质为铸态球铁。用冲天炉熔炼, 出铁温度 1400 ~ 1420 °C 以上, 生铁主要成分为 4.2 % ~ 4.4 % C, 1.2 % ~ 1.4 % Si, Mn < 0.20 %, S < 0.03 %, P < 0.06 %。球化剂选用 FeSiMg8RE7 合金, 采用冲入法进行球化处理; 孕育剂选用 75FeSi, 采用转包进行多次孕育处理。浇注温度 1280 ~ 1300 °C, 在水玻璃自硬砂型中浇注 25mm 的 Y 型单铸试块。对浇注出的单铸试块进行加工, 制出拉伸试样。

球铁化学成分由拉伸试样检测而得; 力学性能测

收稿日期: 2003-11-20 收到初稿, 2003-12-12 收到修订稿。

作者简介: 周惦武 (1971 -), 男, 湖北浠水县人, 讲师, 博士研究生, 主要从事材料制备与材料加工的研究。E-mail: ZDWe@mail@163.net

试在 WE-30 型 300kN 液压式万能材料试验机上进行;金相试样从拉伸试样内侧面截取,使用 MM-6 型金相显微镜进行金相分析,通过对照图谱中相应的级别图对球铁金相组织中的球化率、石墨大小和铁素体含量进行评定;采用 JSM-5610LV 型扫描电子显微镜对拉伸试样断口进行形貌观察。

2 化学成分、力学性能与金相组织

选取伸长率 15.5 %和 21.3 %的试样,表 1 是试样的化学成分及力学性能。图 1 是试样的金相组织。金相分析结果表明,伸长率 15.5 %时,球铁的球化率 80 %~90 %,石墨 30~60μm,铁素体量 75 %;伸

长率 21.3 %时,球铁的球化率 90 %~95 %,石墨 15~30μm,铁素体量超过 95 %。

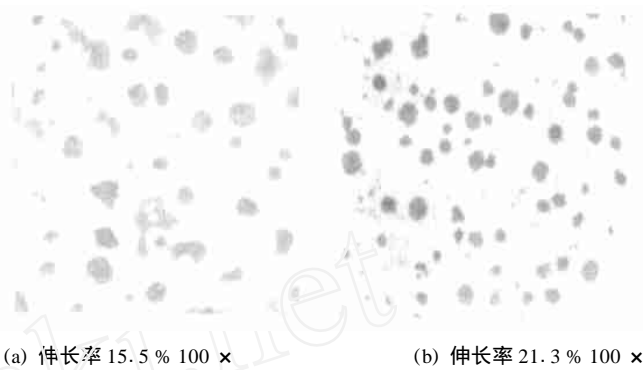


图 1 试样的金相组织
Fig. 1 Microstructure of tension specimen

表 1 试样的化学成分及力学性能

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the tension specimen

| 试样 编号 | 化学成分 (%) | | | | | | | 力学性能 | |
|----------|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| | C | Si | Mn | S | P | RE | Mg | σ_b / MPa | (%) |
| 0 # | 3.42 | 2.48 | 0.15 | 0.035 | 0.054 | 0.022 | 0.049 | 484.0 | 15.5 |
| 1 # | 3.65 | 2.53 | 0.11 | 0.020 | 0.042 | 0.023 | 0.037 | 432.4 | 21.3 |

注:表中测试的力学性能数据为 5 个样的平均值。

3 试样断口形貌

图 2 是伸长率 21.3 %和伸长率 15.5 %试样拉伸断口宏观形貌对比,从中可发现伸长率 21.3 %的试样,断口略倾斜,呈灰色纤维状组织,有明显的缩颈;伸长率 15.5 %的试样,断口比较平齐,约 2/3 部分呈亮色结晶状组织,1/3 部分呈灰色纤维状组织。

图 3 是伸长率为 21.3 %的试样拉伸断口电镜扫描照片。图 3a 中,具有凸凹不平表面的圆球为石墨,有的石墨球因已脱离或保留在相匹配的对应的断口上,而在此留下孔洞。图 3b 为将要脱落的石墨的放大照片。石墨或石墨孔洞四周由密集分布的韧窝组成了撕裂岭,撕裂岭呈封闭状态,见图 3c。韧窝较大、较深,韧窝附近并有明显的撕裂带,见图 3d。

图 4 是伸长率为 15.5 %的试样断口电镜扫描照片。断口 2/3 部分白色区域,出现了与断面成一定角度的裂纹,该裂纹类似于解理断口的二次裂纹,在基体中传播方向是随机的,部分与石墨相连,见图 4a。在白色与灰色区域交界处,出现“白色异形相”和“河流花样”,见图 4b。在 1/3 部分灰色区域,石墨或石墨孔洞无明显撕裂岭,脱落石墨留下孔洞较浅,但孔洞较多,有较多解理台阶,但并未形成“河流花样”,见图 4c。图 4d 为未脱离石墨的放大照片。

4 分析与讨论

由图 2 可知,伸长率 21.3 %试样在宏观断口上表现为较明显的缩颈,由图 3 知,试样断口在铁素体

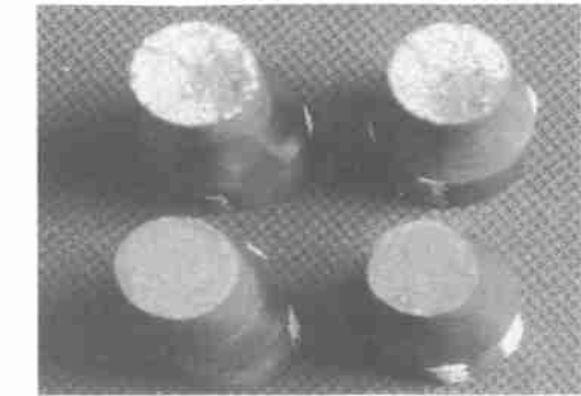


图 2 伸长率 15.5 % (上) 和 21.3 % (下) 拉伸试样断口宏观形貌对比
Fig. 2 The comparison of fracture morphology of tension specimen
elongation 15.5 % (up) with 21.3 % (down)

基体上出现了少量较大且又很深的韧窝,因此可认为此种断裂为韧性断裂。试样在拉伸应力的作用下,由于存在缩颈而在最小截面处造成三维应力,其值在轴线方向最大,这些三向应力使晶界、某些缺陷等形成显微孔洞,致使石墨球脱离基体而留下孔洞。随着应力的提高,孔洞不断长大相互连接,同时还产生新的孔洞,使裂纹缓慢长大,并在断口上留下灰色纤维状的区域。一般情况下,石墨球在不受力的情况下,与周围基体有较好的连接,没有裂纹与基体形变存在;受力后,由于石墨球类似于孔洞的薄弱环节,石墨球所在孔洞被拉长,因此成为重要的微裂纹萌生源。当石墨或石墨孔洞被撕裂岭完全封闭时,裂纹较难扩展到邻近的石墨中去,同时石墨被铁素体基体所包围,而伸长率 21.3 %试样的金相组织中铁素体含量在 95 %以

上，铁素体含量大，因此在试样断裂前表现出充分的塑性变形；另外伸长率 21.3 % 试样的金相组织中石墨球化率为 90 % ~ 95 %，畸形石墨相对较少，而畸形石墨的尖

端是裂纹首先形成并迅速割裂基体的断裂源^[4]，因此脱离铁素体基体的石墨较少，从而在试样断口上留下少量较大、较深的韧窝，甚至有撕裂带。



图 3 伸长率 21.3 % 试样断口电镜扫描照片
Fig. 3 SEM Morphologies of tension specimen with the elongation of 21.3 %

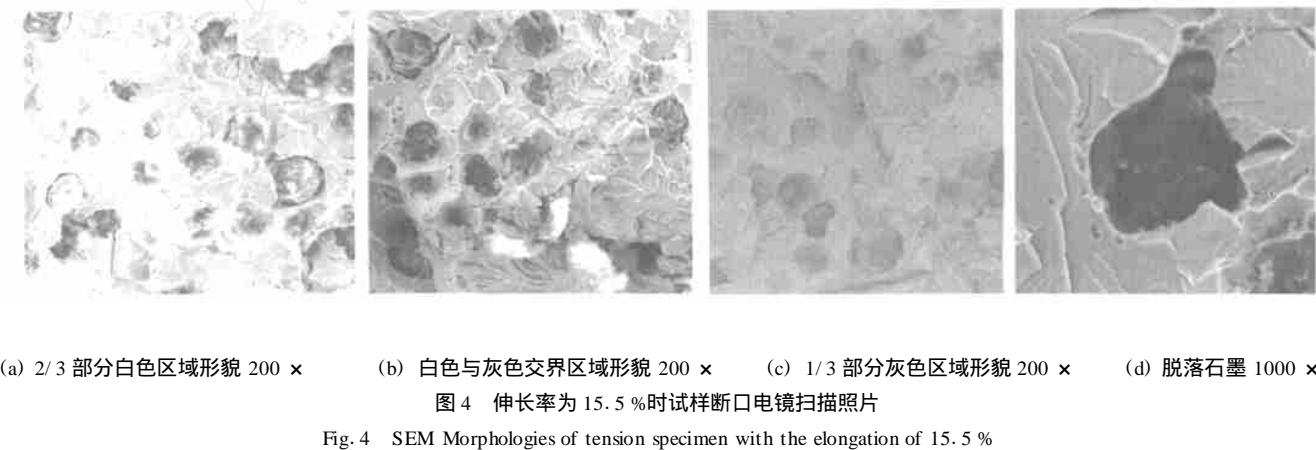


图 4 伸长率为 15.5 % 时试样断口电镜扫描照片
Fig. 4 SEM Morphologies of tension specimen with the elongation of 15.5 %

从图 4 可知，伸长率 15.5 % 试样的断裂方式为混合型断裂。试样金相组织中，石墨球化率 80 % ~ 90 %，石墨除大部分呈团块状、球状外，还有小部分呈团絮状、蠕虫状，与伸长率 21.3 % 的试样相比，畸形石墨相对较多，因此可认为该裂纹主要是由于畸变石墨尖端处的应力集中造成的。在白色与灰色区域的交界处，有少量准解理面、解理面和“白色异形相”，对该微区取样进行电子探针分析，发现含有 S、Mg、RE 等元素。由于伸长率 15.5 % 试样的化学成分中硫含量偏高，可认为“白色异形相”是硫化物杂质。而准解理面的形成是由于在准解理的中间部位存在某种杂质，在杂质的尖角处形成微裂纹源，微裂纹尖端的应力集中使该裂纹源迅速扩展，从而造成局部穿晶断裂^[5]。在灰色区域及白色区域，由于化学成分中 C、Si 含量相对偏低，而 C、Si 都是增加铁素体含量的元素^[6]，与伸长率 21.3 % 的试样相比，金相组织中铁素体含量相对较少，珠光体含量相对增多，而塑性变形主要来自铁素体，因此基体塑性变形相对较差，从而留下大量较浅的韧窝。

5 结论

- (1) 伸长率超过 20 % 时，试样断口具有韧性断裂的微观特征，断裂机理为石墨与铁素体基体脱离，铁素体基体发生充分的塑性变形，在试样断口上留下较大、较深的韧窝，甚至有撕裂带；
- (2) 伸长率为 15 % ~ 16 % 时，试样断口具有混合型断裂的微观特征，断裂机理是由于存在较多的畸形石墨和“白色异形相”杂质，因此在尖角处易形成微裂纹源，受外力作用时，裂纹源迅速扩展，造成局部穿晶断裂；
- (3) 由于铁素体含量减少，珠光体含量增多，因此基体塑性变形相对较差，在试样断口上留下大量较浅的韧窝。

参考文献：

- [1] 魏庚庆，等. 连续冷却淬火奥氏体球墨铸铁的断裂韧性 [J]. 清华大学学报（自然科学版），1999，（2）：46 ~ 48
- [2] 戴品强，等. 奥氏体-贝氏体球墨铸铁断裂的微观过程及强化机理 [J]. 钢铁研究学报，2001，（6）：47 ~ 51
- [3] 于功利，等. 球墨铸铁疲劳裂纹扩展的微观机制 [J]. 机械工程

- 学报, 1994, (5): 35~39
- [4] 刘祥. 铸造合金力学及物理性能 [M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1982
- [5] 蒋建清. 石墨形态和基体组织对铸铁断裂过程的影响 [J]. 金属学报, 1994, (8): 374~379

- [6] Walton C F, Opar T J. Iron Castings Handbook [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1981

(编辑: 李世成, lsc @foundryworld.com)

山东理工大学机械工程学院 技术信息

● **利用铁屑直接生产铸铁件技术** 该技术是指用铁屑为原料生产铸铁件的方法。该项目研制了一种压块配方, 按此配方在铁屑中加入某些添加剂, 压制成块, 压块具有足够的强度, 改善了熔炼条件, 降低了白口倾向, 具有较强的增碳和脱硫效果。铁屑熔炼炉的换热器采用密肋换热和管式换热复合结构, 顺流换热和逆流换热串联, 可充分利用炉中的物理热和化学热, 具有强烈的还原气氛, 减少了铁、碳、硅等元素的烧损。该炉可以熔炼铸铁切屑 (焦铁比 1:5~6), 也可以熔炼常规金属炉料 (焦铁比 1:9~10)。在炉中主要使用或全部使用铁屑压块进行熔炼, 可直接浇注灰铸铁件, 铸件成本下降。该项目获 1996 年国家技术发明奖。

● **化学镀镍技术** 化学镀镍是在不通电的条件下, 直接将金属或非金属浸于相应的化学沉积液中, 通过催化反应, 在工件表面获得镍磷非晶态镀层, 为非晶态结构。该工艺具有如下特点: 镀层均匀、光亮, 类似不锈钢色泽, 具有优异的耐蚀性, 而且均镀能力强, 没有电镀那样的尖角效应; 不用使用氰化钾, 无污染; 镀层与基体的结合强度高; 较高的硬度和较好的耐磨性; 仿形性好, 能镀复杂工件, 镀层厚度可准确控制, 省去抛磨工序; 优良的化学稳定性, 可代替不锈钢。可以新建化学镀镍生产线, 也可在电镀铬生产线上进行改造。

● **耐热钢生产技术** 该技术所生产的耐热钢具有单一奥氏体组织, 适用工作温度达 1100℃ 以上, 具有良好的抗氧化性能和高热力学性能, 可用于制造发电厂炉帽等高温条件下工作的零件, 使用寿命长, 性能稳定。该工艺投资少、上马快, 是一项经济实用的生产技术。

联系人: 山东理工大学机械工程学院 杨思一教授
地址: 山东省淄博市张店区共青团西路 88 号
邮编: 255012
电话: 0533-2760349 13506439305 13521377620



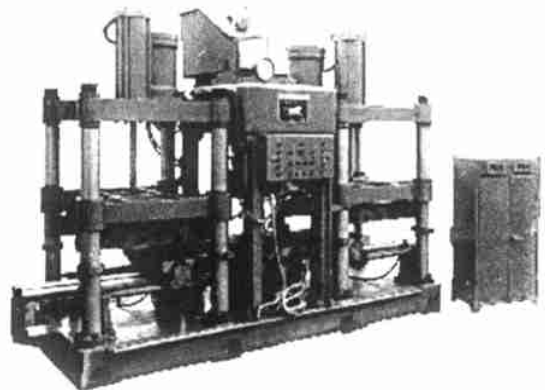
铁型覆砂铸造技术及设备

铸型覆砂铸造技术是国家重点新技术推广项目, 适用于生产品质要求较高, 并有一定生产批量的铸件。目前, 已在各类球铁曲轴、凸轮轴、缸套、阀体和壳体、齿盘和齿轮等铸件上获得了成功应用, 经济效益显著。

浙江省机电设计研究院被国家科技部指定为该项技术的唯一技术依托单位, 机械部铁型覆砂铸造技术推广中心及所属设计部、制造部均设在我院。浙江省机电设计研究院从事铁型覆砂铸造技术的研究开发、推广应用及成套设备和工装的制造已有 30 年, 积累了大量铁型覆砂铸造技术基础研究和应用开发经验, 已为 80 余家企业提供该项技术的成套设备、工装或交钥匙工程。

我院可提供:

- 铁型覆砂铸造可行性分析、工艺设计、车间设计、设备制造及交钥匙工程;
- 生产线设备: 多种型号覆砂造型机、生产线各种辅机、射芯机;
- 铁型覆砂铸造工装、模具的设计与制造;
- 铸造非标设备的设计及制造。



浙江省机电设计研究院

地址: 杭州市大学路高官弄 9 号 (310009)
联系人: 黄列群 潘东杰

电话: (0571) 87041668/87239540/13906537968
传真: (0571) 87239548