

合成球墨铸铁金相组织缺陷产生原因及解决办法

曹琨^{1, 2}, 胡克潮², 赵子文^{1, 2}, 苏义祥³

1. 兰州兰石能源装备工程研究院有限公司 甘肃兰州 730314

2. 甘肃省高端铸锻件工程技术研究中心 甘肃兰州 730314

3. 兰州理工大学材料科学与工程学院 甘肃兰州 730050

摘要: 采用光学显微镜、扫描电镜分析了合成球墨铸铁生产过程中常见金相组织缺陷, 包括石墨漂浮、球化不良、球化失败、碳化物超标、缩松和缩孔等问题, 并提出工艺控制要点及解决措施, 为生产同类铸件提供了可借鉴经验。

关键词: 合成铸铁; 金相组织; 球墨铸铁; 工艺控制

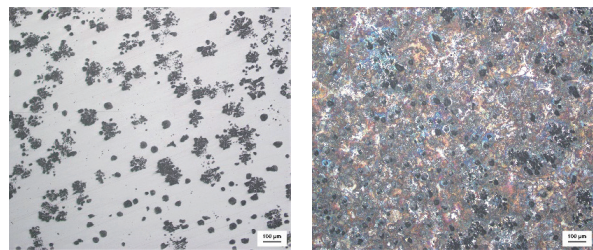
1 序言

球墨铸铁件具备中高强度和韧性、优异的耐磨性和减振性以及良好的铸造工艺性能等特点, 是目前最具发展潜力的“以铁代钢”的铸造材料^[1, 2]。目前, 许多铸造企业开始采用废钢增碳技术(即合成铸铁)替代铸造生铁生产球墨铸铁件的方法来降低成本。用该方法熔炼的球墨铸铁力学性能十分优异, 铸态下力学性能可达到QT700-2级别材料要求, 无需进行正火处理(只进行去应力退火), 能够减少一火次能源消耗, 符合国家倡导的绿色可持续发展理念^[3]。与传统生铁熔炼方式不同, 合成球墨铸铁熔炼过程中原铁液化学成分发生改变, 生产过程中如果控制不当容易出现较多铸造缺陷。目前, 应用合成球墨铸铁技术的报道较多^[4-12], 但是对于合成球墨铸铁在生产过程中的自身特性、容易出现的质量问题及关键控制要点的报道甚少。本研究主要从金相组织角度出发, 针对生产过程中常见的金相组织缺陷进行分析并提出解决方案。

2 石墨漂浮

合成球墨铸铁的核心是将废钢中的碳含量(w_C 为0.2%左右)增至工艺要求范围(w_C 为3.6%~3.9%), 如果碳含量超标($w_C \geq 4.0\%$), 则会出现石墨漂浮现象, 如图1所示。从图中可

以看出石墨呈开花状、爆裂状, 这种组织降低了球墨铸铁力学性能和表面质量。腐蚀态金相照片显示, 石墨周围铁素体组织呈破碎状, 使珠光体含量达到95%, 抗拉强度453~532MPa, 屈服强度431~477MPa, 伸长率1.5%~3%, 硬度208~214HBW, 表明开花、爆裂状石墨对基体组织产生明显割裂作用, 降低了产品力学性能。



a) 抛光态

b) 腐蚀态

图1 石墨漂浮时石墨大小与形貌

合成球墨铸铁容易出现石墨漂浮的原因有:

1) 配料计算时石墨增碳剂吸收率小于实际值, 导致碳含量超标, 我厂目前使用的增碳剂吸收率为80%左右。

2) 未准确按照配料称量, 炉料中如有废钢、生铁、回炉料时必须准确称量, 生铁和回炉料加入过多会导致碳当量超标, 只有采用全废钢冶炼时可不准确称量, 通过观察炉内铁液高度的方法根据经

基金项目: 甘肃省科技计划资助项目(2015GS05896)。

验预估铁液量。如果发现碳当量超标应及时采取有效措施,如倾倒部分铁液、加入废钢等方法降碳。

3 球化不良

合成球墨铸铁熔炼时,出现球化不良现象的金相照片如图2所示。由图可以看出,石墨呈团块、枝晶状、蠕虫状等不规则形状,球化级别为4~5级,石墨球数量较少,石墨大小为5级。从腐蚀后金相照片可以看出,珠光体含量为90%以上,铁素体包围在石墨周围,无碳化物、磷共晶。抗拉强度600~750MPa,屈服强度466~541MPa,伸长率3%~5%,硬度239~257HBW,此时产品力学性能只能达到QT600-3牌号性能要求。

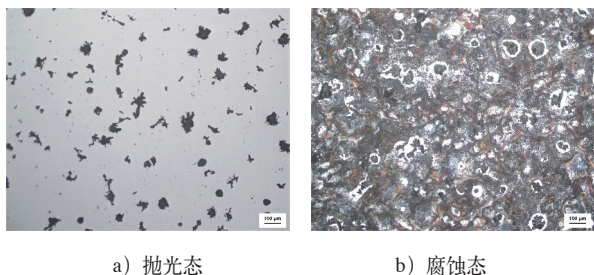


图2 球化不良时石墨大小与形貌

球化不良的产生原因很多,与球化剂中稀土元素种类、球化剂加入量、孕育剂、球化孕育操作方法、浇注温度及浇注时间等因素密切相关。此外必须选择合适增碳剂,高温石墨化增碳剂晶体组织呈有方向层片状,石墨溶解于铁液中围绕形核质点规则生长为球形,而非石墨化增碳剂虽然含量能够满足内控要求,但球化效果较差,球化级别低,也影响产品综合力学性能。

4 球化失败

球化失败的金相组织如图3所示,可见大部分石墨呈条、线、蠕虫状,只有少量石墨呈圆形,近似于蠕墨铸铁金相组织,蠕虫状石墨周围析出少量铁素体,呈菊花状,虽然珠光体含量为85%,但是球化效果极差,抗拉强度只有382~447MPa,屈服强度345~412MPa,伸长率2.5%~3%,硬度209~210HBW,力学性能大幅降低。

由于废钢中硅含量低($w_{Si}=0.35\%\sim 0.5\%$),所以原铁液必须进行增硅。如果增硅量不足,原铁液硅含量过低($w_{Si}\leq 0.8\%$, $w_{终硅量}\leq 1.7\%$)会造成球化失败。因此铁液化清后应根据检测结果,加入

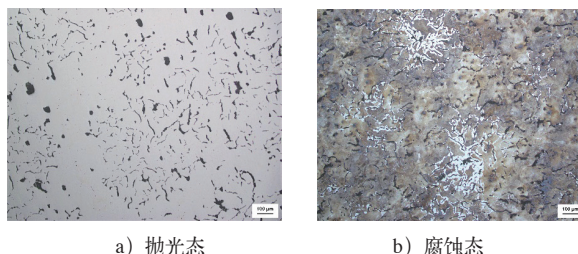


图3 球化失败时石墨大小与形貌

大块硅铁、SiC粉等调整铁液Si含量。最好使用SiC粉,既能起到增碳作用,也能起到增硅作用。

5 碳化物超标

铁液冷却速度过快时容易出现碳化物,金相照片如图4所示。从图中可以看出球化级别为4级,石墨大小为5级,石墨数量很少。腐蚀后发现块状、鱼骨状碳化物含量为10%,珠光体含量为90%,铁素体呈游离状。抗拉强度443~530MPa,无屈服强度,伸长率1%~1.5%,硬度275~345HBW,脆性大,硬度高,机械加工性能差,必须使用线切割才能加工试样。

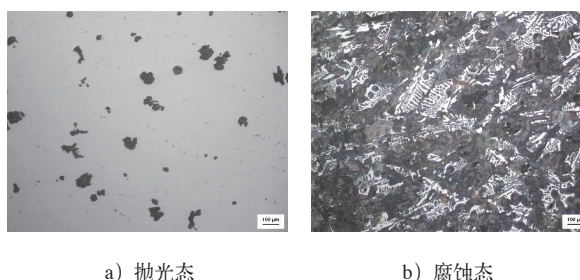


图4 碳化物超标时石墨大小与形貌

合成球墨铸铁熔炼时由于原铁液Si含量低,因此如果为尽快出铁,将增硅和孕育过程合二为一,铁液包内加入大量硅铁和孕育剂,采用铁液冲入方法熔化,会导致铁液冷却速度过快,无法起到消除白口、细化石墨的作用,反而出现大量碳化物。采用高温石墨化退火后,部分碳化物消除,铸件硬度显著降低,但是仍然有部分硬而脆的共晶碳化物无法消除,对基体组织产生明显的负面作用,力学性能仍然很低,因此在生产过程中应尽量避免产生此类问题。

6 缩松及缩孔

大量废钢的加入增大了铸造收缩率,易出现缩松、缩孔、裂纹等铸造缺陷。为分析其出现缺陷的机理,采用扫描电镜和能谱仪对缩松、缩孔位

置的微观形貌进行分析（见图5），可以看到明显的树枝状组织和基体组织。对图5中两个位置进行能谱分析，其中图谱1处结果： w_C 为84.51%， w_{Fe} 为15.49%，总量100%；图谱2处结果： w_C 为18.24%， w_{Fe} 为80.38%， w_{Si} 为1.38%，总量100%。结果表明，黑色树枝状物相为石墨，周围大块银灰色区域主要元素为Fe、Si、C，应该为铁液凝固后形成的铁基体组织。枝晶间可明显看到存在大量空隙，应该为典型的缩松缺陷，这是由于在二次收缩过程中，析出的球状石墨体积膨胀无法完全补偿铁液收缩而导致的。

一般认为当碳当量越高时铸件越致密，此外，较低的浇注温度可以减少液态收缩量，因此浇注过程必须严格控制浇注温度，尽量采用低温浇注，浇注时间不宜超过15min，以免产生球化衰退。为此，必须设计合理的铸造工艺，凝固过程中要不断补充铁液，保证金属液顺序凝固，必要时可采用冷铁来改变铸件温度分布。

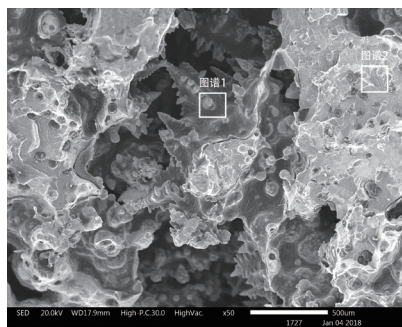


图5 铸件缩松部位SEM图像（50×）

7 结束语

与传统生铁熔炼方式不同，合成球墨铸铁熔炼过程原铁液化学成分发生改变，生产过程中如果控制不当容易出现石墨漂浮、球化不良甚至球化失败、碳化物超标、缩松、缩孔等质量问题，因此必

须严格按照工艺进行控制。此外，废钢的大量加入增大了铁液收缩率，在浇注过程中必须严格控制浇注温度，设计合理的铸造工艺，避免出现缩松、缩孔、裂纹等铸造缺陷。

参考文献：

- [1] 苏义祥，马历民，胡克潮.QT700-2的质量控制[J].机械研究与应用，2000（3）：24-25.
- [2] 赵子文.铸高强度球墨铸铁生产实践[J].铸造，1994（10）：34-36.
- [3] 胡克潮，曹琨，赵子文，等.废钢增碳法熔炼QT700-2工艺控制[J].铸造技术，2019，40（11）：1187-1190.
- [4] 郑兴睿，苑振涛，王永振.合成球墨铸铁生产工艺研究及应用[J].热加工工艺，2015，44（9）：72-74.
- [5] 吴元立，洪良林，阚正军.采用废钢通过增碳生产球铁活塞环[J].内燃机与配件，2014（2）：39-42.
- [6] 周亚军，韩贵恩，刘志虎.废钢化球墨铸铁熔炼工艺[J].金属加工（热加工），2013（7）：72-73.
- [7] 崔炜，何春华，黄和江.废钢增碳工艺的特点和控制方法[J].中国铸造装备与技术，2012（6）：40-42.
- [8] 周亚军，韩贵恩，刘志虎.废钢用于球铁熔炼工艺[J].铸造技术，2012，33（10）：1240-1241.
- [9] 陈忠士，邹泽昌，温丽娜，等.合成铸铁的增碳工艺技术及组织的研究[J].热加工工艺，2012，41（19）：67-69.
- [10] 俞卫全.高韧性合成球墨铸铁的生产[J].现代铸铁，2005（4）：34-36.
- [11] 杨群收，田永富.合成铸铁的熔炼及增碳剂的使用[J].金属加工（热加工），2017（11）：46-49.
- [12] 谢来旺，蔡坤山，范晓明，等.铸态高强度高伸长率合成球铁的试验研究[J].铸造技术，2019，40（4）：380-383.

MW 20200921

《金属加工（热加工）》2021年第2期广告目次

单位名称	查询编号	位置
易孚迪感应设备（上海）有限公司	1492	封面A
北京金威焊材有限公司	1161	封二B
伊达新技术电源（昆山）有限公司	1925	封三
十堰天舒机电科技有限公司	1947	封底
天津天高感应加热有限公司	1943	前彩1
应达工业（上海）有限公司	1127	前彩2
中国锻压协会	5699	前彩3

单位名称	查询编号	位置
第二十一届中国西部国际热处理与工业炉展览会	6349	前彩4
第十九届中国国际工业炉及热工技术展览会	6347	前彩5
公益广告	8000	前彩6
2021慕尼黑光博会	8039	III
德州思科工业介质有限公司	5397	IV
第25届北京埃森焊接与切割展览会	1380	V