

利用废钢、废机铁生产球墨铸铁管件的试验研究

温朝江¹, 苑少强², 唐小松¹, 孙新雅¹, 杨跃辉²

(1. 唐山京华制管有限公司, 河北 唐山 063020;

2. 唐山学院 河北省智能装备数字化设计及过程仿真重点实验室, 河北 唐山 063000)

摘要:以废钢、废机铁及回炉料为主要原料,配以增碳剂和球化剂,通过中频炉熔炼,同步生产出了铁素体球墨铸铁管件及其Y形单铸试样。单铸试样的力学性能测试及金相组织观察结果表明:所生产的球墨铸铁其抗拉强度平均为455.0 MPa,屈服强度平均为328.2 MPa,布氏硬度平均为171.0 HBW,伸长率平均达到15.3%,优于GB/T 1348—2019中QT450—10的性能指标;基体组织为多边形铁素体,球状石墨分布均匀、圆整度较好、大小相差不大,有点状石墨存在,能够满足此类管件产品的性能要求。

关键词:废机铁;废钢;球墨铸铁管件;力学性能;金相组织

中图分类号:TG255 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2023)03-0051-04

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2023.03.009

Experiment of Nodular Cast Pipeline Making with Machine Scrap Iron and Steel

WEN Chao-jiang¹, YUAN Shao-qiang², TANG Xiao-song¹, SUN Xin-ya¹, YANG Yue-hui²

(1. Tangshan Jinghua Steel Pipe Co., Ltd, Tangshan 063020, China; 2. Hebei Key Laboratory of Intelligent Equipment Digital Design and Process Simulation, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: With scrap steel, machine scrap iron and the return scrap as the main materials, together with carburetor and spheroidizer, the ferrite nodular cast iron pipeline and its Y-type cast samples were produced simultaneously by melting in the medium-frequency furnace. The mechanical property test and metallographic observation of the Y-type cast sample show that, the average tensile strength of the nodular cast iron is 455.0 MPa, the yield strength is 328.2 MPa, the Brinell hardness is 171.0 HBW, and the elongation reaches 15.3%, which is superior to QT450—10 in GB/T 1348—2019. The matrix structure is polygonal ferrite and the spherical graphite is evenly distributed, with satisfying roundness and similar size, and there is also dot graphite in it, which can meet the property requirements for such pipelines.

Key Words: machine scrap iron; scrap steel; nodular cast iron pipeline; mechanical properties; microstructure

基金项目:唐山市科技创新团队培养计划项目(20130209D);河北省钢管表面保护涂层技术创新中心(筹建)项目(SG2021051)

作者简介:温朝江(1970—),男,河北沧州人,工程师,研究方向为钢管制造及质量管理;

苑少强(1967—),男,黑龙江方正人,教授,博士,研究方向为新钢铁材料及粉体制备工艺。

0 引言

球墨铸铁由于具有优异的综合性能,被广泛应用于铸造柴油机、汽车和铁路机车的曲轴、凸轮轴、齿轮以及其他管道和阀门等部件。球墨铸铁中的球状石墨对金属基体的割裂作用和拉伸时引起的应力集中远小于片状石墨和团絮状石墨,这使得基体强度利用率高,可以达到 70%~90%,而普通灰铸铁只有 30%~50%,综合性能明显优于普通灰铸铁^[1-3],而且在应力比较复杂的情况下,球墨铸铁仍具有较高的抗拉强度、韧性和耐磨性,所以在某些场合其可以完全代替中碳钢产品。

传统球墨铸铁生产采用的金属炉料主要为铸造生铁(约 60%),不仅消耗大量资源、造成环境污染,而且成本较高^[4-5]。本试验尝试不使用铸造生铁,而是将废钢、废机铁作为金属炉料来生产球墨铸铁。废钢资源较为丰富,能够降低球墨铸铁的生产成本,但不同批次间废钢的成分稳定性较差,且使用量受到增碳效率的影响,因此大量使用仍存在较大的难度。废机铁主要为从废机器拆下的铸铁,废机铁的利用一直是铸造行业节能增效的重要手段,不仅能够实现废旧资源的循环再利用,而且可以减少环境污染,是传统铸造产业向绿色铸造产业转变的关键技术之一。但废机铁中往往含有较多的杂质和有害元素,会影响石墨的球化过程,这限制了其在球墨铸铁生产中的应用,因此开展这一领域的研究具有重要意义。

铸铁管件是球墨铸铁的应用领域之一。利用废钢生产球墨铸铁管件已经在国内得到实现,但是利用废机铁作为原料之一生产球墨铸铁管件,相关文献则鲜有报道。因此,本试验以废钢、废机铁及回炉料为主要原料,配以增碳剂和球化剂,采用中频炉熔炼工艺生产球墨铸铁管件,并对产品进行力学性能测试及金相检验。

1 试验材料与方法

先对废机铁进行分拣,剔除其中的高合金钢铁件,以保证其成分满足使用要求,然后将分拣后的废机铁应用于球墨铸铁管件的生产。所

用原材料的配比为:废钢 40%,废机铁 15%,回炉料 40%,增碳剂 1%~2%,硅铁 0.5%~1.0%,球化剂 1%~2%。原料的主要化学成分见表 1。利用高精度电子计量秤称料,严格按照配料单加料,通过试片和碳硅分析仪检测熔炼的铁水,以保证铁水中各项成分合格。由于废机铁的成分复杂,增加了生产难度,因此生产的各个环节包括原料的检测都需严格把关。

表 1 原料的主要化学成分(质量分数,%)

原料种类	C	Si	Mn
废钢	<0.20	<0.30	<0.60
废机铁	3.4~3.5	1.8~2.0	0.60
回炉料	3.8~4.0	2.8~2.9	0.3~0.4

中频炉熔炼工艺流程及要求如下。熔炼过程中,首先往炉中加入废机铁,然后依次加入废钢和回炉料,在废钢加入前后分两次加入增碳剂。孕育处理也分两次进行,炉前孕育加 0.3% 的孕育剂,浇包、倒包时加 0.5% 的孕育剂。球化包压包加料顺序依次是球化剂、孕育剂和矽钢片。在 1 490 ℃ 左右使用碳硅分析仪检测铁水成分,成分合格后,当温度下降到 1 470 ℃ 时将炉渣打净后出炉。熔炼时间为 50 min 左右,浇注温度在 1 350~1 440 ℃ 之间。检测球墨铸铁的化学成分,结果如表 2 所示。

表 2 球墨铸铁的化学成分(质量分数,%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mg	Re	Fe
3.88	2.86	0.32	0.010	0.036	0.028	0.041	0.007	balanced

受产品形状和尺寸的制约,难以直接对管件样品进行金相和力学性能检测,因此与球墨铸铁管件同步生产出 Y 形单铸试块^[6-7],将其加工成拉伸试样、冲击试样以及从中切取金相试样,用于组织分析和性能测试。Y 形单铸试块的尺寸如图 1 所示。

在试块底部通过线切割制作 3 根拉伸试样,拉伸试样的形状与尺寸如图 2 所示^[8],其中的夹持端长度根据所使用的万能试验机型号而定。加工的余量部分作为金相试样。

冲击试样为标准夏比冲击试样,尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm,开 V 型缺口,每组试样选取 3 个。

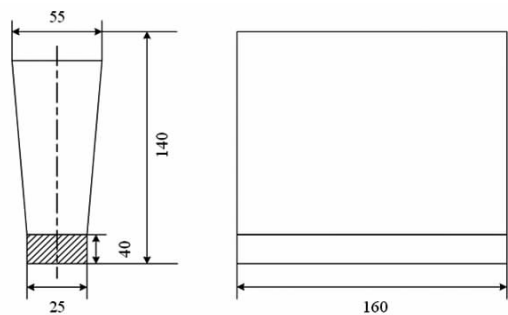


图1 Y形单铸试块的尺寸(mm)

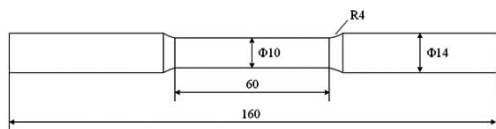


图2 拉伸试样的形状与尺寸(mm)

利用万能试验机测定拉伸试样和冲击试样的抗拉强度、屈服强度和伸长率,在 ZHB-3000ET 型布氏硬度计上测定其硬度。金相试样经过研磨、抛光后,利用 4% 硝酸乙醇溶液进行侵蚀^[9],然后在奥林巴斯 BM41 金相显微镜下观察球状石墨的形态、分布及基体组织形貌。

2 试验结果及讨论

2.1 球状石墨的形态及分布

球墨铸铁中的石墨以球状形态存在于基体中,与片状石墨相比,其对基体的割裂作用很小,拉伸所造成的应力集中也很小,故铁素体球墨铸铁在具有较高强度的同时,兼备良好的塑性和韧性。球墨铸铁的综合性能在某种程度上可以和铸钢相媲美,而铸铁本身的优良性能是铸钢所不具备的^[10-11]。

图3为不同放大倍数下球墨铸铁中球状石墨的形态及分布(未侵蚀状态)。在50倍的放大倍数下,如图3(a)所示,基体上密集分布着球状石墨,分布较为均匀,证明球化剂的粒度选择及其在熔炼过程中加入的时机比较合理,石墨的球化效果较好。在图3(b)中,放大后的球状石墨圆整度良好,大小比较均匀,平均尺寸为 $27.9\ \mu\text{m}$,同时有个别的点状石墨存在,但是占比相对较低,不到2%,另有极少量破碎的石墨团存在。这说明,经过对废机铁严格筛选控制其化学成分,并在生产过程中合理安排孕育和

球化处理时机,能够生产出石墨化良好的球墨铸铁。需要指出的是,由于铁素体基体硬度较低,在金相试样研磨和抛光过程中易产生划痕^[12],因此在金相图片中显示出明显的划痕,影响对试样本身的观察效果,尽管这样,金相图片仍能客观反映出球状石墨的真实形态。

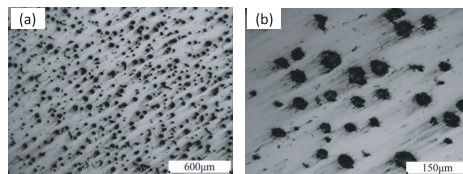


图3 不同放大倍数下球墨铸铁中球状石墨的形态及分布(未侵蚀状态)

2.2 组织特征

经侵蚀后的球墨铸铁组织特征如图4所示。由图4(a)可以看出(放大100倍),球状石墨分布比较均匀,基体组织为铁素体。同图3相比较发现,由于试样经过了硝酸乙醇溶液侵蚀,研磨和抛光的痕迹不见了。由图4(b)可以清晰地观察到球状石墨的形态及基体组织:球状石墨圆整度较好,基体是典型的多边形铁素体平衡组织,晶界平直。

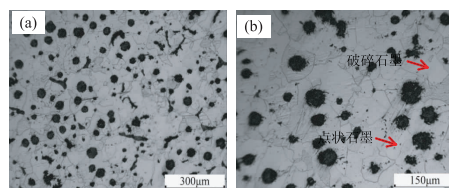


图4 不同放大倍数下球墨铸铁组织特征(侵蚀后状态)

2.3 力学性能

试验用铸铁试块单独浇铸而成,3组试样的拉伸性能、伸长率及硬度如表3所示。

试验结果表明:所得球墨铸铁试样其抗拉强度和屈服强度各自的平均值分别为 $455.0\ \text{MPa}$ 和 $328.2\ \text{MPa}$,伸长率平均值为 15.3% ,布氏硬度平均值为 $171.0\ \text{HBW}$,同时具有良好的冲击韧性,冲击功平均值为 $11\ \text{J}$ 。这是因为石墨球化效果良好,球状石墨不仅大小和分布较为均匀,而且圆整度良好,在载荷作用下不易产生大的应力集中,由此对基体的割裂作用降低,进而改善了试样的力学性能,使得球墨铸铁总体指

标优于 GB/T 1348—2019 中 QT450—10 的性能指标。

表 3 球墨铸铁的力学性能

试样号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	布氏硬度/HBW	伸长率/%	冲击韧性/J
国标($t \leq 30$ mm)	450	310	160~210	10	未作要求
1	466.0	328.7	186.3	14.3	10.0
2	454.0	332.0	170.2	12.6	12.0
3	445.0	324.0	156.4	18.9	11.0

由上述结果可以看出,以废钢、废机铁及回炉料为主要原料生产球墨铸铁管件,通过严格控制原料成分及熔炼工艺流程,能够保证产品的各项性能指标优于国家标准,而且可以实现废钢、废机铁的循环再利用,有效降低生产成本。但应该注意的是,由于废机铁成分复杂,分类尚无标准可循,况且各地区发展不均衡,严重限制了废机铁的再回收和高效利用。另外,由于铸造的遗传性,废机铁中含有铸造生铁中的粗大石墨,使得中频炉熔炼过程中仍然存在着铁水质量不稳定及控制技术瓶颈等问题,对此需要开展进一步的研究工作。

3 结论

(1)以废钢、少量废机铁以及回炉料为主要原料生产的铁素体球墨铸铁具有优良的综合性能,其平均抗拉强度和屈服强度分别达到 455.0 MPa 和 328.2 MPa,平均伸长率达到 15.3%,平均布氏硬度为 171.0 HBW,总体指标优于 GB/T 1348—2019 中 QT450—10 的性能指标。

(2)所得球墨铸铁的基体组织为多边形铁素体,球状石墨分布均匀、圆整度较好、大小相差较小,有少量点状石墨存在,产品具有优良的综合性能。

参考文献:

- [1] 李继强,张坤,高文理,等.厚断面球墨铸铁组织与性能分析[J].铸造,2015,64(9):869-873.
- [2] 周继杨.球墨铸铁诞生与发展的历史真相[J].现代铸铁,2011,31(4):15-23.
- [3] ZHOU W T, NORTHWOOD D O, LIU C. A steel-like unalloyed multiphase duc-

tile iron [J]. Journal of Materials and Technology, 2021, 15: 3836-3849.

- [4] 张守全,徐国强,林艳茹.灰铸铁感应电炉熔炼与冲天炉熔炼的差异[J].铸造设备与工艺,2013(5):1-3.
- [5] 金永锡.高端球墨铸铁生产技术的新进展[C]//第十四届中国铸造协会年会论文集.北京:中国铸造协会,2018:144-151.
- [6] 喻光远,肖恭林,陈琳,等.高强高韧超低温球墨铸铁的研究与开发[J].铸造,2019,68(3):258-263.
- [7] SCKUDLAREK W, KRMASHA M N, AL-RUBAIE K S, et al. Effect of austempering temperature on microstructure and mechanical properties of ductile cast iron modified by Niobium[J]. Journal of Materials and Technology, 2021, 12: 2414-2425.
- [8] GB/T 228—2010 金属材料拉伸试验室温试验方法[S].北京:中国标准出版社,2010:34-36.
- [9] 黄积荣.铸造合金金相图谱[M].北京:机械工业出版社,1980:124.
- [10] 崔忠圻,覃耀春.金属学与热处理[M].北京:机械工业出版社,2012:76-77.
- [11] WANG B L, MORRIS D S, FARSHID S, et al. Rolling contact fatigue study of chilled and quenched/tempered ductile iron compared with AISI 1080 steel[J]. Wear, 2021, 478-479: 1-9.
- [12] 郭林秀.球墨铸铁金相制备方法与技巧[J].山西冶金,2020,43(5):39-41.

(责任编辑:李秀荣)