

铸态铁素体球墨铸铁的 生产试验研究*

郭振廷 (郑州工学院机械系)

张晓程 陈 西 (河南省冶金研究所)

王法水 郭起福 王金水 郭扶栓 (安阳汽车另配件总厂)

摘 要: 本文叙述了铸态铁素体韧性球铁的机械性能, 分析了主要工艺因素对球铁机械性能的影响。生产中选用 $Mn < 0.4\%$, $P < 0.08\%$, $S < 0.04\%$ 的生铁; 冲天炉熔炼, 用 $FeSiMgBRe7$ 中间合金进行球化处理; 采用 $FeSi75$ 硅铁, 多次强化孕育技术。结果, 底宽 25mm 的基尔试块和铸件的铸态组织, 石墨球化 1—3 级, 石墨球大小 5—7 级, 铁素体比例 80% 以上, 机械性能达到了 ISO400—18 的水平。

关键词: 铸态、铁素体、球铁

中国图书分类号: TG255

安阳汽车零配件总厂是生产汽车底盘另件的专业厂, 国内产品 90% 以上是球铁件, 其中 95% 的是铁素体球铁件。过去一直是采用高温石墨化退火, 存在生产周期长、耗能大、成本高, 材质综合性能偏低, 周期性地出现反白口缺陷等^{〔1〕}。针对厂里存在的实际问题, 决定严格工艺过程, 试制铸态韧性球铁, 借此提高球铁的质量。

1 生产的基本条件

1.1 熔炼设备: 3T/h、5T/h 冲天炉, 均为两排大间距冷风酸性冲天炉, 热电偶测温, 出铁温度 1400—1480℃, 浇注温度大于 1300℃。

1.2 主要原材料选择

1.2.1 生铁选用 $Mn < 0.4\%$ 的林钢 Z14, Z18 号生铁, 成分如表 1。

表 1 生铁化学成分

牌号	成分含量(%)				
	C	Si	Mn	P	S
Z14	4.16	1.4	0.22	—	0.02
Z18	4.23	1.78	0.2	0.068	0.02

1.2.2 铁合金: 采用 $FeSi75$ 孕育剂和包头稀土一厂生产的三峰牌、温县特种合金厂生产的黄河牌球化剂, 成分见表 2。

* 收稿日期: 1991—04—16

表 2 球化剂的成分

产 地	成分含量(%)						
	Mg	Re	Si	Mn	Ca	Ti	Fe
包头 FeSiMg8Re7	8.424	7.114	41.49	—	1.304	—	余
温县 FeSiMg8Re7	8.34	7.16	42.51	—	1.6	—	余

1.2.3 焦炭: 采用的焦炭成分如表 3。

表 3 焦炭成分

类 别	成分(%)				
	固定碳	灰分	水分	挥发分	硫分
王陶焦	81.53	17.28	0.43	0.73	0.79
安泽焦	82.78	13	—	—	0.35

2.3 金相组织、机械性能检验

金相组织按 GB9441—88《球墨铸铁金相检验》和美国球铁委员会制定的《评定球墨铸铁金相组织中单位面积上石墨球的数量》两标准评定。金相试样取自炉前试块、拉伸试样以及附铸金相试块。机械性能按 GB1348—88 的规定, 取底宽尺寸为 25mm 的标准基尔试块和 JISG5502—1989《球状黑铅铸铁品》中的击落试样。

1.4 主要技术措施

1.4.1 强化冲天炉熔炼, 获得高温低氧化的优质铁水;

1.4.2 化学成分: 选择高碳当量, 低锰量, 限制硫、磷和其它合金元素的含量。主要成分为: C3.5—4.0%, Si2.6—3.2%, Mn<0.4%, P<0.08%。

1.4.3 球化元素的残留量, 严格控制在: Mg_残 0.03—0.06%, Re_残 0.02—0.05%。

1.4.4 孕育处理, 采用普通硅铁, 复合孕育方法, 浮硅、随流孕育剂的量分别为 0.2—0.4%和 0.15—0.25%, 总加入量为 0.6—1.5%。

2 试验结果及分析

生产试验的目标是: 超过河南省科技规划中提出的汽车底盘零件用铸态铁素体球铁应达到的指标和 JB528—85 中第 1、2 规定的指标。表 4、表 5 列出了有关标准性能指标。

表 4

项 目	机械性能		备注
	$\sigma_b(N/mm^2)$	$\delta(\%)$	
设计指标	413.28(42)	10	JB528—85 规定 QT42—10
	343(35)	10	JB528—85 规定 KT35—10
科技攻关	400	10	Z9010 及《八五》27 项

表 5 国际标准及国家标准中部分级别

类 别		牌 号	机械性能		
			$\sigma_b(N/mm^2)$	$\delta(\%)$	HB
GB1348 88 国家标准	ISO1038 87 国际标准	QT350-22	350	22	<150
		QT400-18	400	18	130-180
		QT400-15	400	15	130-180
		QT450-10	450	10	160-210
		QT500-7	500	7	170-230

2.1 试制铸态球铁的机械性能

不同取样时间的机械性见表 6, 大批量的数理统计见表 7、表 8。表 7、表 8 中虽有 δ , σ_b 偏低者, 但个别 σ_b 偏低的 δ 较高, 而 δ 偏低时 σ_b 较高, 即综合性能仍很高, 如表 9, 冲击韧性见表 10, 不同取样方法的机械性能见表 11。

表 6 不同取样时间球铁的性能

日 期	编 号	$\sigma_b(N/mm^2)$	$\delta(\%)$	HB
28 / 11-89	1AZ1	520.8	18	163
28 / 11-89	1AZ2	516.3	17.2	162
28 / 11-89	1AZ3	497.5	18.6	154
28 / 11-89	1AZ4	501.5	20.1	144
1 / 12-89	2AZ1	545	16	—
1 / 12-89	2AZ2	550	15.2	—
1 / 12-89	2AZ3	507.3	14	172
1 / 12-89	2AZ4	509.8	19.6	161
平均		518.5	17.34	152.8

说明: 注角 1、2 表示同包铁水开始时浇注, 3、4 表示同包铁水最后浇注的试棒。

表 7 126 组数据抗拉强度分布

$\sigma_b(N/mm^2)$	< 400	400-450	450-500	500-550	550-600	> 600
试棒个数	2	4	52	48	16	4
所占比例(%)	1.6	3.2	41.27	38.1	12.69	3.2

抗拉强度平均值 σ_b 平 507.2N / mm², $\sigma_b > 450N/mm^2$ 的占 95.2%。

表 8 125 组数据延伸率的分布

延伸率(%)	< 8	8-11	11-14	14-17	17-20	20-23	> 23
试棒数	1	6	12	35	24	42	5
所占比例(%)	0.8	4.8	9.6	28	19.2	33.6	4

延伸率平均值 δ_T 17.31%, $\delta > 10\%$ 的占 96.8%。

表 9 单项指标偏高的数据

序号	1	2	3	4	5
$\sigma_b(N/mm^2)$	449	449.7	610.7	622.5	688.8
$\delta(\%)$	19.71	14.46	10	9.71	10.83

表 10 铸态韧性球铁的冲击韧性

类别	ak(J/cm ²)		
	室温	-20℃	-40℃
范围	63-148	50-133	30-107
平均	102	85.4	71.8

试棒尺寸 10×10×55 (mm), 无缺口光滑试样。

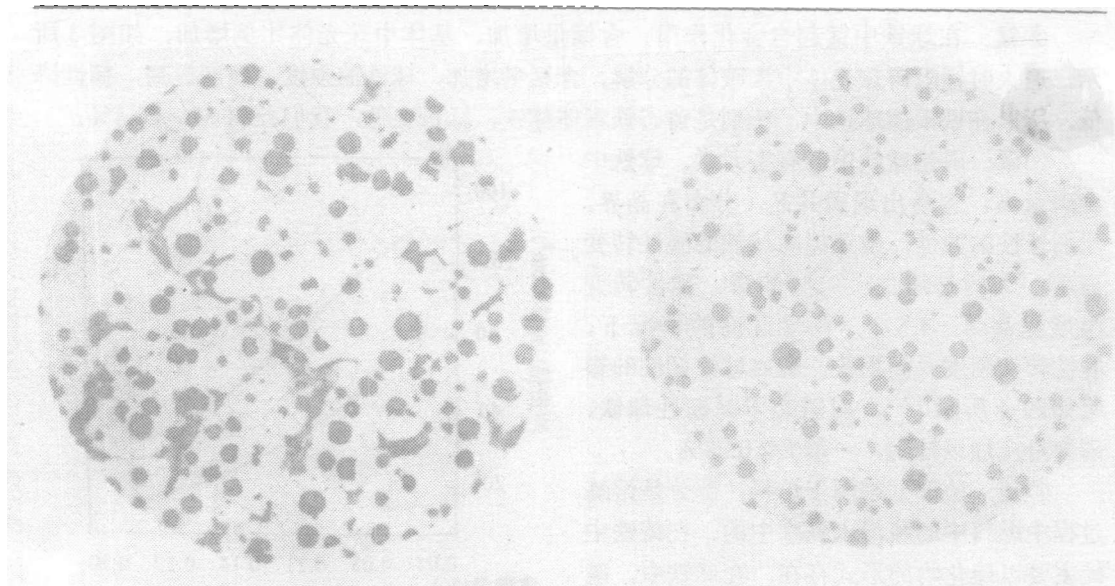
表 11 不同取样方法的机械性能

日期	编号	$\sigma_b(N/mm^2)$	$\sigma_{0.2}(N/mm^2)$	$\delta(\%)$	HB
18/3-90	2AZ1	502.5	—	16	159
18/3-90	2AZ2	570.5	—	18	159
18/3-90	2BZ1	527.3	—	14.6	163
18/3-90	2BZ2	536	—	15.8	170
20/3-90	1AZ1	490	—	13.2	—
20/3-90	1AZ2	502.6	—	16.6	—
20/3-90	1BZ1	562.6	—	12.6	—
20/3-90	1BZ2	551.0	—	16.0	—
21/3-90	2AZ1	509	—	15.2	—
21/3-90	2AZ2	482.8	396.2	15.6	—
21/3-90	2BZ1	547.8	396.6	17	—
21/3-90	2BZ2	563.4	377.9	16	—

说明: 编号中 A 表示采用 GB1348-88 中 Y_{II} 试样, B 表示采用 JISG5502-1989 中击落试样, Z 表示铸态。

从以上数据看出: 试制的铸态韧性球铁综合性能高, $\sigma_{b最大}$ 670N/mm², $\sigma_{b平}$ 507N/mm², δ 最高 25%, $\delta_{平}$ 17% 以上, 平均超过 QT500-15 的水平。与产品设计要求, 与河南省科技攻关项目指标相比, σ_b 、 δ 分别提高 30—80% 以上, 与国家标准、国际标准相比, σ_b 相同时, δ 将高出两个牌号以上, 或 δ 相同时, σ_b 将高出两个牌号以上。

铸态铁素体球铁典型的金相照片如图 1。

a $\sigma_b = 480.7 \text{ N/mm}^2$, $\delta = 23.4\%$ b $\sigma_b = 460.7 \text{ N/mm}^2$, $\delta = 22.46\%$ 图1 铸态铁素体球铁的金相组织 $\times 100$

2.2 主要工艺因素分析

生产工艺的合理制定是获得良好性能的基础。现对铸态韧性球铁生产的主要工艺因素进行分析。

2.2.1 化学成分的选择: 球铁的化学成分影响球铁的金相组织、机械性能以及铸造性能。

①碳和硅: 石墨成球以后, 石墨球数量对机械性能的影响已减少到较小的程度, 因此, 碳量的选择, 主要从改善铸造性能, 消除铸造缺陷出发。

综合考虑碳和硅, 即碳当量选择的原则是: 上限以不出现石墨漂浮, 下限不出现渗碳体, 保证完全球化, 在该范围内, 尽量提高, 以获得好的铸造性能。对原铁水, 取高碳低硅。碳当量、铸件壁厚与石墨漂浮的关系如图2所示。

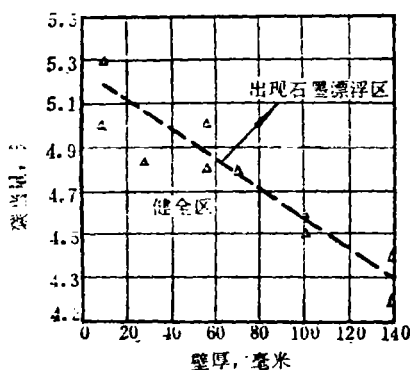


图2 铸件壁厚、碳当量与石墨漂浮的关系[2]

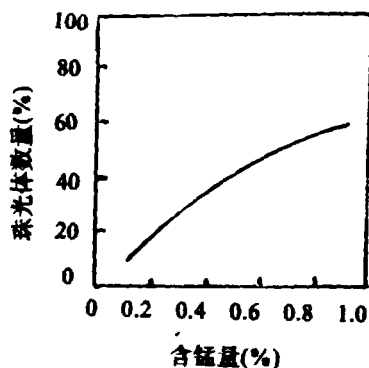


图3 铸态铁素体球铁含锰量与珠光体含量的关系[3]

②锰：在球铁中锰起合金化作用。含锰量增加，基体中珠光体比例增加，如图 3 所示，退火时锰阻碍珠光体中渗碳体的分解。含锰量增加，球铁的强度、硬度提高，韧性降低。所以在铁素体球铁中，特别是铸态铁素体球铁，锰量要低，我们控制 $Mn < 0.4\%$ 。

③磷：磷是球铁中的有害元素。球铁中含磷量高，容易出现磷共晶，分布在晶界，增加球铁的脆性，磷还提高球铁的脆性转变温度，大约是增加 0.01% 的磷，脆性转变温度提高 4—4.5℃，在含硅高的情况下，脆性转变温度升高更快，磷对球铁韧性的影响如图 4 所示^[3]，对铸态下高韧性球铁，磷含量应加以控制，一般 $P < 0.08\%$ 。

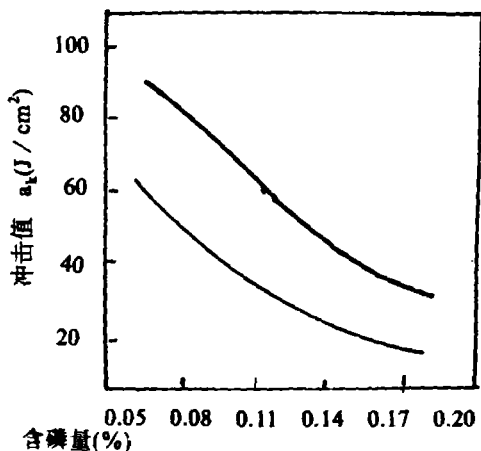


图 4 磷对球铁冲击韧性的影响^[4]

④硫：硫部分来源于炉料，部分是熔炼过程中燃料中的硫渗入铁水中的。在铸铁中硫主要以硫化物的形式存在，在球铁中，硫与球化剂中的镁、稀土化合形成硫化物而消耗一定的球化剂。原铁水含硫越高，硫消耗的球化剂越多。换句话说：当球化剂加入量不变，铁水含硫高是造成球化元素残留量少而导致球化不良或球化衰退的原因。硫高，还容易造成皮下气孔夹渣等缺陷的增加。所以用于处理球铁的原铁水含硫越低越好。

2.2.2 球化处理及球化剂的加入量

①球化处理方法：球化处理采用包底冲入法。

②球化剂加入量的确定

球化剂加入量的多少与其本身的化学成分、比重，球化处理工艺，铁水化学成分（主要是含硫量）、铁水温度、浇注时间的长短等许多因素有关。任一因素的变化都影响球化剂加入量的大小。换句话说：球化剂加入量不变，上述因素的变化，都可能导致球化剂加入量过大或不足。球化剂加入量过大容易产生夹渣、皮下气孔，白口倾向大等多种缺陷；球化剂加入量不足，容易造成球化不良或球化衰退。根据我们的生产条件，球化剂加入量控制在 1.2—1.4% 的范围内。

2.2.3 复合强化孕育处理

①影响孕育效果的因素：以下因素影响孕育效果

孕育剂加入的时间及孕育后的停留时间：铁水孕育以后，孕育效果随停留时间的延长而降低，表现为石墨球数减少，白口倾向增加，如图 5 所示，图 6 表示了不同孕育剂的加入时间与孕育效果的关系。

孕育剂的种类：目前使用较多的仍然是普通硅铁。硅铁中含有一定的铝钙可以提高其孕育效果，含钡 2—10% 的硅铁属高效、长效孕育剂，即用含钡硅铁对铁水进行孕育，球化率高，石墨细小，孕育衰退慢，含铈 0.5—2.0% 的专用硅铁属高效孕育剂，对薄壁球铁体，防止产生白口极为有效，含有一定稀土元素钇或铈的硅铁孕育效果好，球化衰退慢。

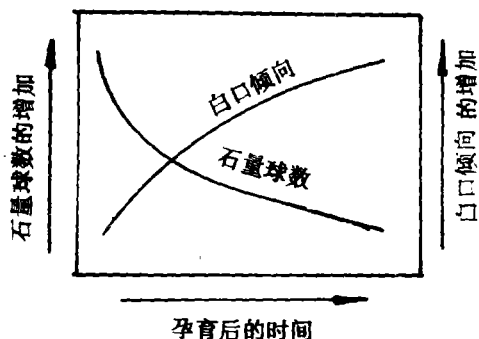
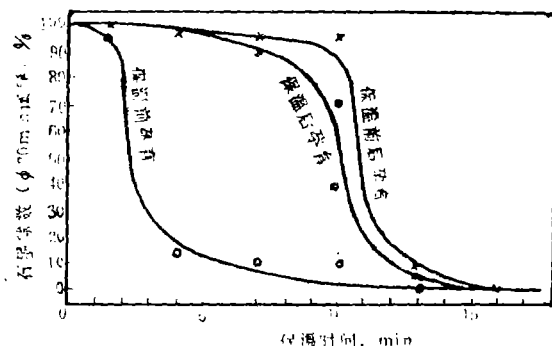


图5 孕育效果与孕育后停留时间的关系

图6 孕育效果与孕育剂加入时间的关系⁽⁴⁾

孕育剂的块度: 相同成分的铁水, 相同质量的孕育剂, 孕育剂块度大, 有效的孕育持续时间, 如图7所示。

铁水的含硅量以及孕育剂的加入量: 孕育效果随铁水含硅量的提高而提高, 即铁水含硅量越高, 石墨球越多, 越圆整。铁水含硅量相同, 孕育剂加入量越大, 孕育效果越好, 如图8所示。

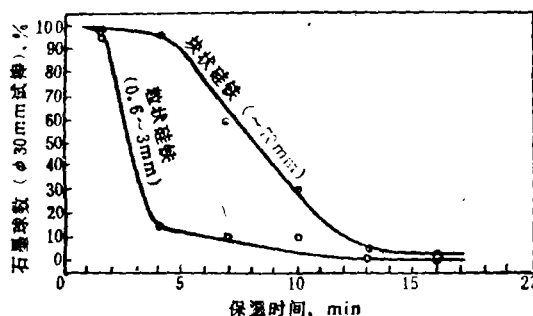
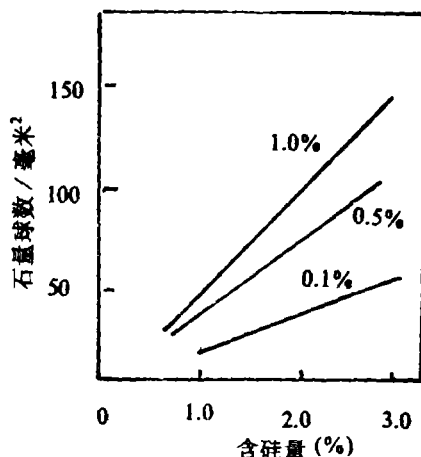
图7 孕育剂的颗粒度与球铁衰退的关系⁽⁴⁾

图8 镁球铁中石墨球数和铁水含硅量, 孕育剂加入量的关系

铁水质量: 铁水质量包括铁水成分、温度和冶金质量等方面。温度过高, 加入孕育剂后铁水中所形成的“浓度起伏”、“温度起伏”消失的快, 孕育衰退快; 温度低, 孕育剂不易溶化浮在铁水表面与渣一起被扒除, 相当于有效孕育剂量少。另外温度低, 后期孕育剂熔化不好, 容易形成弥散分布的硬质点, 严重氧化的铁水, 孕育效果差, 铁水含气量多, 容易造成球化衰退。

②孕育方法, 浮硅孕育, 随流孕育以及型内孕育属于高效孕育方法。其实质是缩短孕育剂加入后的停留时间。

综合以上分析, 结合现场的条件, 使用普通硅铁孕育剂, 采用包内大剂量、浮硅和随铁水流相结合的复合孕育方法。这样不仅孕育效果好, 而且操作简单, 工人容易掌握。

3 结 论

- 3.1 生产铸态铁素体球铁具有: 节约能源、减少环境污染、节约人力、物力、简化生产工艺等优点。
- 3.2 通过成分的优化设计, 严格控制生产工艺过程, 所获得球铁的综合性能高。
- 3.3 强化冲天炉熔炼, 提高铁水冶金质量是获得优质球铁的基础。
- 3.4 采用普通硅铁, 包内大剂量、大块硅铁浮硅和随铁水流孕育的复合孕育方法不仅能获得优质铸件, 而且操作简单, 工人容易掌握, 有利于推广。

参 考 文 献

- (1) 郑州工学院, 林县汽车附件厂. 铸态铁素体球铁鉴定会资料之一. 1990.10
- (2) 陆文华. 铸铁及其熔炼. 机械工业出版社. 1981
- (3) 河南省机械局球墨铸铁编写组. 稀土镁球墨铸铁生产技术与应用. 1976.12
- (4) 杨国杰, 陈国桢, 庞凤荣. 铸铁件质量手册. 机械工业出版社. 1989.9

Experimental Study and production of As-cast Ferrite Nodular Iron

Guo Zhonting (Zhongzhou Institute of Technology)

Zhang Xiaocheng Chen Xi (Henan Provincial Metallurgical Institute)

Wang Fashui Guo Qifu Wang Jinshui Guo Fushuan

(Anyang Automobile Accessory Chief Factory)

Abstract: This paper deals with the mechanical properties of the as-cast ferrite toughness nodular iron and analyses the effect of main factors of casting process on the mechanical properties of the as-cast ferrite nodular iron. The following some effective measures are taken in production of the as-cast ferrite toughness nodular iron: The iron is melted in capola furnace, using the pig iron containing $Mn < 0.4\%$, $P < 0.08\%$, $S < 0.04\%$; The iron being spheroidized by using FeSiMg8Re7 master alloy Intensified several times inoculation by using inoculation with FeSi75. As a result, the graphite spheroidization of the as-cast structure has reached 1-3 grade, the graphite size has reached 5-7 grade and ferrite content amounts to 80% in keel block of bottom broadness of 25mm. The mechanical properties of the as-cast ferrite nodular iron have reached ISO400-18 nodular iron standard.

Keywords: AS-Cast, ferrite, nodular iron