

铸态混合基体球墨铸铁的 研 制 和 应 用

彭 三 明

(机 械 工 程 系)

摘 要

本文介绍了研制铸态混合基体球墨铸铁的独特先进工艺及这种材质的特性。经生产厂家验证,用此工艺生产出的铸铁各种性能指标已达到和超过国际ISO中的500—7和国家标准GB—1348—78中的QT50—5指标,且生产成本低廉,有明显的经济效益。文章中还简述了对生产普通灰铸铁的小型工厂或车间如何改造成生产铸态混合基体铸铁技术措施,很有推广意义。

近年来,铸态铁素体和珠光体球墨铸铁已得到广泛的应用。但不少的用户反映:使用铸态铁素体球铁时,虽得到了足够的延伸率和良好的加工性能,但嫌强度不足;使用铸态珠光体球铁时,虽得到了高强度,但又嫌延伸率不够。因此,他们希望有关部门能研制成一种既有高的强度,又有一定的延伸率的铸态球铁以供用户使用。

经过两年多的研究和应用,我们已成功的获得了这种性能的球铁,并于最近通过了省级鉴定。因这种球铁不要经过高温石墨化退火,其基体是铁素体加珠光体组成,所以我们称之为铸态混合基体球墨铸铁。它的各种性能已达到和超过了国际ISO中的500—7和国际GB 1348—78中的QT50—5指标。在实践应用中,能充分满足用户的要求。

一 试 验 条 件

铸态球墨铸铁的原铁水,要求温度高,成份均匀,有良好的球化、孕育和抗衰退的性能,基体中不能含有大于3%的碳化物。

要达到这些要求,试验时,除了材料和工艺上的保证外,生产设备能否符合要求是很关键的条件之一。尤其是在生产普通灰铸铁的工厂或车间改成生产铸态混合基体球铁的时候,有关设备要做必要的改造。

1、对冲天炉的改进:

本文于1987年11月15日收到

许多工厂用电炉和中大型冲天炉熔炼铁水时，由于铁水温度高，炉子不要做什么较大的改变，球化和孕育的质量是可以保证的。但是，在县办以下的工厂、企业中，用的差不多都是生产率为 $1.5\text{T}/1\text{小时}$ 左右的冲天炉，熔化的铁水温度在 $1300\sim 1380^{\circ}\text{C}$ 之间，这对于铁水的球化和孕育的质量是不能保证的。为此，在研制这种球铁时，对这样的冲天炉要增加热风胆，使鼓进去的冷空气通过热风胆以后，风温可提高到 200°C 左右的高温风，有助于把铁水的温度提高到 1400°C 以上。

另外，为了提高铁水的温度，对于炉料要“少吃多餐”。这虽然会降低一些铁焦比，但对于提高铁水的温度是极其有用的。

还有，对于金属炉料的块度大小要严格的控制（一般尺寸不大于炉子直径的 $\frac{1}{3}$ ），不能用水份多（严禁在焦炭里加水）、粒度太小或太大、灰粉过高的焦炭，并且用量比生产灰铸铁要适当的增加；鼓风机用罗茨式或离心式都可以，风量和风压要适当，这样就能炼出符合要求的铁水。

2、对球化包的要求：

一般浇注灰铸铁的浇包是口径大高度小，或者两者相当。而球铁的球化处理包则刚刚相反。处理包的容量是根据冲天炉的生产率和前炉大小来确定。一般都控制在 $0.3\text{T}/\text{包}\sim 1\text{T}/\text{包}$ 范围内。桩打处理包时，一定要注意内腔上下尺寸不一的变化，在包内要留有一个安放球化剂的凹坑。这样的包，球化效果好，镁的回收率高，并不容易衰退。

3、孕育处理设备：

视铸件大小和浇包容量不同，使用的孕育设备也不一样。一般使用的有小勺、漏勺、手控、脚控、自动控制等孕育装置。这些装置使用时，孕育剂用量的大小都随铁水流量不同而由孕育设备自行控制着；它既能使球铁不会出现碳化物，又可保证混合基体中珠光体与铁素体按一定比例的存在。

二 试验材料

1、炉料：

① 生铁：铸态混合基体球铁使用的生铁，一般是含硅量小于 2% 、含锰小于 1% 、含磷硫都希望小于 0.07% 。

在试验中，用如下成份的生铁都获得成功（见表一）

表一

名称	C	Si	Mn	P	S		C	Si	Mn	P	S
含量 (%)	4.06	1.4	0.96	0.032	0.032		3.89	1.97	0.7	0.04	
	4.02	1.46	1.03	0.054	0.028		3.80	1.54	0.79	0.049	0.027
	3.05	1.47	0.73	0.053	0.033		4.19	1.63	0.61	0.05	0.032
							4.63	1.94	0.72	0.066	0.03

② 回炉料：包括球铁的浇冒口、废品、碎铁块等。其成份取球铁化验的结果，无法化验时，建议各元素的成份在如下范围内提取（见表二）。

表二

名 称	C	Si	Mn	P	S
含量%	3.4~3.9	2.2~3.3	<0.7	<0.07	<0.03

③ 废钢：只允许用碳素钢。各元素含量建议采用如下数值（见表三）。

表三

名 称	C	Si	Mn	P	S
含量%	0.2	0.35	0.65	0.03	0.03

2、球化剂：采用稀土镁合金。规格、型号按标准YB2502—77选用。建议采用的成份如下（见表四）。

表四

名 称	Re	Mg	Si	Ca	Fe
含量%	6~8	7~9	≤44	<5	余量

3、孕育剂：自制。采用硅铁合金和其他元素相配而成。

4、辅助材料：稻草灰、冰晶粉等。

5、用于调整珠光体和铁素体比例的其他元素。

三 工 艺 试 验

在浇包中（或专用的球化处理包中）放入球化剂和硅铁，用冲入法冲进铁水，当满到浇包的 $\frac{1}{2}$ 左右，让铁水球化。之后，再向包内冲进不足的铁水，并撒放孕育剂进行孕育。用这种方法处理过的铁水，与瞬时孕育相结合，就可以得到铸态混合基体的墨球铸铁。

四 试验结果及其分析

1、试验结果：

试验时，是用生产率为 2^T /小时左右的热风冲天炉炼铁水。在容量为 $0.3\sim 0.7^T$ 包的经过改制的球铁包中进行球化处理。从工艺试验、生产试验，到应用试验，共用了二年多的时间，试制产品达400多吨。用于判断球铁的球化状况和机械性能的金相样柱、三角试片、及楔形试块（有的附在铸件上），各浇了600多个。分别由试验单位和委托单位做了机械性能试验和金相组织分析。详见表五、表六。

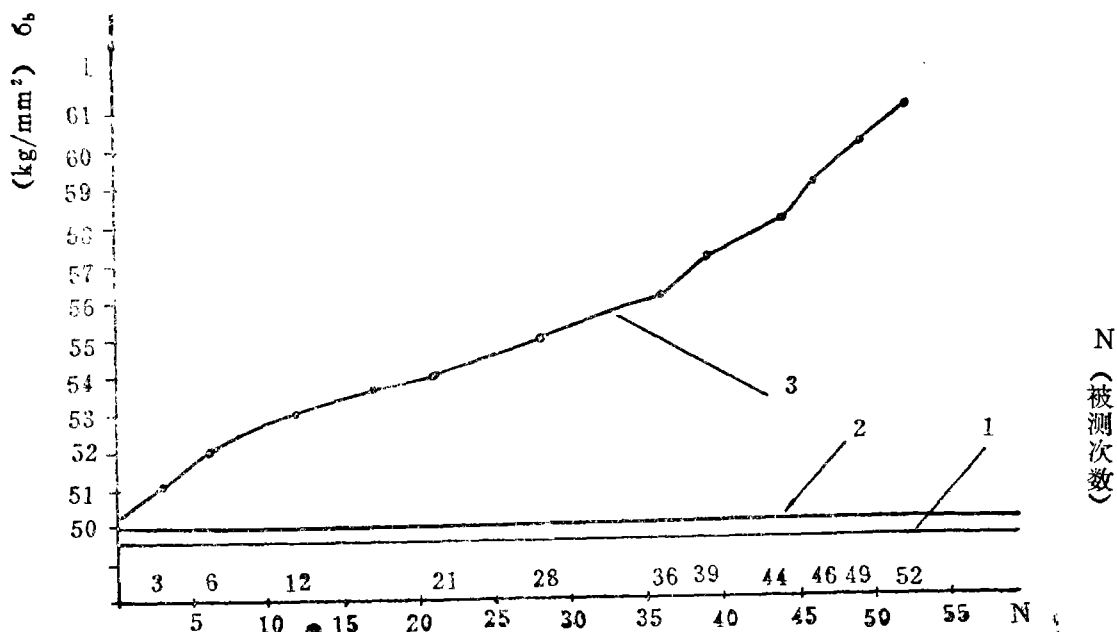
表五 试验单位的试验、生产测试报告

编号	机械性能		金相组织				编号	机械性能		金相组织			
	σ_b kg/mm ²	δ %	球化等级	珠光体 %	铁素体 %	碳化物 %		σ_b kg/mm ²	δ %	球化等级	珠光体 %	铁素体 %	碳化物 %
6211	54.52	14.4	一级	50	余	0	91322	53.57	14.4	二级	50	余	0
7191	54.9	13.66	一级	45	余	0	91742	50.6	8.6	一级	50	余	0
7231	56.18	8.6	一级	45	余	0	92012	54.2	9	一级	50	余	0
7232	50.06	9.4	一级	55	余	0	92022	57.3	7.4	一级	50	余	0
8513	52.27	11.1	一级	50	余	0	92023	57	9	一级	50	余	0
8912	52.87	10.16	一级	50	余	0	10812	55	15.8	一级	50	余	0
81312	54.55	13.5	一级	40	余	0	10822	55.1	9.6	一级	50	余	0
81322	56.56	8.48	一级	50	余	0	101532	53.2	8.8	一级	50	余	0
82012	51.24	7.8	一级	55	余	0	101822	57	12	一级	55	余	0
82712	55.92	7	一级	55	余	0	102512	60.6	9	一级	55	余	0
82722	53.18	8	一级	55	余	0	102522	61.46	8.4	一级	55	余	0
82732	53.50	9.2	一级	55	余	0	102532	58.98	9.68	一级	55	余	0
83022	53.18	10.4	一级	50	余	0	102542	59.36	7.9	一级	55	余	0
83032	53.44	13	一级	50	余	0	102922	54.3	7.2	一级	50	余	0
9312	55.41	8.4	一级	50	余	0	102932	57.96	8.6	一级	50	余	0
9322	52.32	9	一级	50	余	0	11112	55.92	8.8	一级	50	余	0
9332	52.99	8.4	一级	50	余	0	11812	54.46	8.2	一级	50	余	0
9612	53.31	13.6	一级	50	余	0	11121	59.39	8.68	一级	50	余	0
91012	51.9	14.8	一级	45	余	0	111222	56.7	12.36	一级	50	余	0
91122	53.5	13.6	一级	45	余	0	111232	55.39	9	一级	50	余	0
91312	52.6	14.6	一级	45	余	0							

表六 委托单位的试验报告

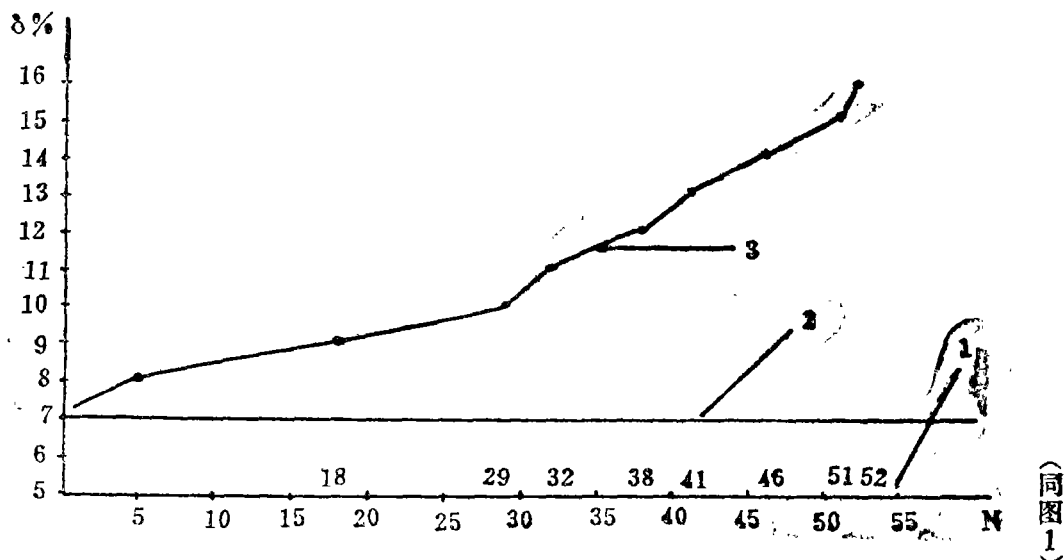
编号	机械性能			金相组织				委托单位及备注
	σ_b kg/mm ²	δ %	HB	球化等级	珠光体 %	铁素体 %	碳化物 %	
1° (10.31)	62.4	9	170	二级	≈55	≈45	<1 %	江西机械科研所 华东交通大学 9—19B ₂ : 却速度太快, 所以 σ_b 偏高, δ 较低
2° (11.12)	57.2	9.2	164	二级	≈55	≈45	≤3 %	
9—19A ₁	59.0	11.6		一级	50	余	0	
9—19A ₂	55.2	8.40		二级	45	余	0	
9—19B ₁	58.3	11.20		一级	50	余	0	
9—19B ₂	63	5.2		二级	≈70	余	0	
9—30A ₂	52	14.2		一级	50	余	0	
9—30B ₁	55.3	11.0		一级	50	余	0	
9—30B ₂	50	11.4		一级	35	余	0	
1°	63.2	23		二级	60	余	0	浙江大学 1°: 因换两次载荷数据有误 4°: 断口有铸造缺陷
2°	51.12	12		二级	50	余	0	
3°	54.74	10		一级	45	余	0	
4°	56.04	4		二级	65	余	0	
5°	53.04	11		一级	65	余	0	

用数十个试样做机械性能试验所测得的抗拉强度、延伸率，与国家标准ISO和国标GB 1348—78比较见图1和图2。



- 1: 表示国际标准ISO中500—7牌号的 $\sigma_b = 500\text{N/mm}^2$ (49kg/mm^2)
 2: 表示国标GB1348—78中的QT50—5牌号 $\sigma_b = 50\text{kg/mm}^2$
 3: 表示铸态混合基体球铁被测的 $\sigma_b(\text{kg/mm}^2)$ 曲线

图1 铸态混合基体球铁与国家标准ISO和国标GB1348—78中的同类牌号球铁的抗拉强度(σ_b)比较图



- 1: 表示国标GB1348—78中的QT50—5牌号的 $\delta = 5\%$

2: 表示国际标准ISO中500—7牌号的 $\delta = 7\%$

3: 铸态混合基体球铁被测的 δ 曲线

图2 铸态混合基体球铁与国际标准ISO和国标GB1348—78中的同类牌号球铁的延伸率($\delta\%$)比较图

从图1、图2中可以看出:在抗拉强度(σ_b)和延伸率($\delta\%$)方面,铸态混合基体球铁都达到和超过了国际ISO和国标GB1348—78所标的同类牌号的球铁。

在试验中,还对铸态混合基体球铁浇铸的印刷机械上的横臂、连杆、加热块、机床床身、破碎机箱架、高压电瓷附件等球铁件和铸件上附带的试验附块进行了球化级别、金相组织和硬度的观察、分析和测试见表七。测得的硬度频率曲线见图3。

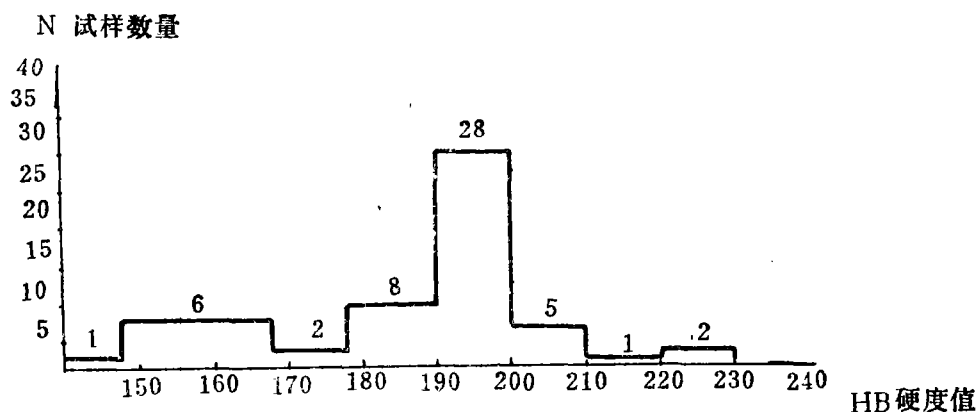


图3 硬度频率曲线

从表七中可以看出:符合我们研制的铸态混合基体球墨铸铁的石墨球形和基体组织,不仅表现在金相样柱和楔形试样上,就是在铸件上也同样反映出来了。

图3上的硬度值表明:由于化学成份、冷却速度对球铁组织的影响,铸态混合基体球铁的硬度比退火状态硬度稍高些,但都符合QT50—5牌号球铁的硬度范围($HB = 147 - 271$)。绝大多数硬度值在 $HB = 150 - 210$ 范围内。

从上述试验的结果可以看出:我们研制的铸态混合基体球铁与碳素铸钢、可锻铸铁比较(见表八):抗拉强度比可锻铸铁大,与ZG35铸钢相同;屈服强度比可锻铸铁、ZG35、ZG45都大;延伸率虽比ZG35铸钢略小,但与可锻铸铁、ZG45铸钢几乎相当;因硬度适当,故有良好的加工性能。另外,据有关部门检测,耐磨性、抗腐蚀性、抗疲劳性也都比碳素铸钢好。这种种性能表明:铸态混合基体球铁是一种既具有铸态珠光体球铁的优点,又有铸态铁素球铁长处的理想而实用的材质。

铸态混合基体球铁的这些良好性能与球化处理、各元素的含量、孕育处理等因素有着密切的关系。

表七 球铁件及附件截面测试表

球铁件名称 及截面位置	截面形状 及尺寸	球化 等级	珠光 体%	铁素 体%	渗碳 体%	硬度值 (HB)
		一级	50	余	0	200 200 194 194 198
		一级	45	余	0	164 167 170 165 175 163
		二级	55	余	0	183 198 195 198 185 241 195 198 185 194 229 192 193 199 194 189 183
		二级	50	余	0	191 191 180 186 202 191
		一级	30	余	0	191 191 215 180 233 207 180 169 180 169
		一级	50	余	0	191 195 207 147 189 199 197 229
1* 球铁件附件	110×50×δ	二级	55	余	<3	
2* 球铁件附件	100×50×δ	二级	65	余	0	

注: δ 的尺寸比附件所附的铸件最薄尺寸小 1~2 mm

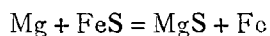
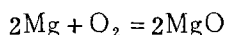
表八 铸态混合基体球铁与碳素钢可锻铸铁部分性能比较表

材 料	$\sigma_b/\text{kg/mm}^2$	$\sigma_{0.2}/\text{kg/mm}^2$	$\delta/\%$
铸态混合基体球铁	50	35	>8
ZG35铸钢	50	28	16
ZG45铸钢	58	32	12
可 锻 铸 铁	35	29	10

2、球化处理的影响:

球化处理就是把含有镁(Mg)、硅(Si)、稀土(Re), 以及少量的 锰(Mn)、钙(Ca)等元素的合金, 加入到铁水中去, 通过熔化、扩散和移动, 向整个铁水散布, 并与铁水中的有关元素进行化学和物理反应。

稀土镁合金中的Mg是一个化学性质很活泼的元素。在铁水中脱氧、去硫的能力很强。当它与氧、硫化铁结合时, 其化学反应是:



MgO、MgS熔点很高, 约在2000~2800℃, 比重又轻 (3.7~3.2), 所以会浮在铁水表面上形成渣子, 把它除去, 铁水就得到了净化。

由于球化处理, 使铁水含硫量降低到0.02%以下, 含氧不到0.001%。这时, 留在铁水中的残余镁量起着石墨球化的作用。以Mg和其他元素为核心与铁水中的碳结合形成球状石墨, 含有此球状石墨的铁水在较快的冷却速度下凝固成球墨铸铁。

球化处理使铁水中的含氧和含硫量大大的减少, 这对于改善球铁的性能和内在质量有极大的作用; 另外, 球铁处理后的石墨在铁水中不是片状, 而是以球形存在, 这就不会象片状石墨那样, 在外力作用下, 切断铸铁基体, 使基体产生滑移、变形、迭加, 而引起铸铁的破裂; 也不会有在石墨片尖角处产生应力集中的现象存在。这样, 球铁的缺口效应就减小了。所以球铁的性能比普通铸铁的性能要高得多, 单抗拉强度这一项就是普通铸铁的2~3倍。

但是, 如果残余镁 ($\text{Mg}_{\text{残}}$) 量及残余稀土 ($\text{Re}_{\text{残}}$) 量过多, 则在球铁件中会产生夹渣、缩松、皮下气孔、白口及偏析等缺陷; 然而含量过少, 又不得球化。故此我们一般控制球铁中的 $\text{Mg}_{\text{残}}$ 、 $\text{Re}_{\text{残}}$ 在0.02~0.05%范围内。

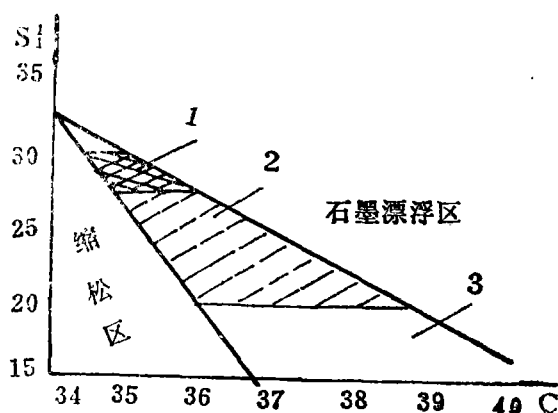
3、主要化学成份的影响:

① 碳和硅

由于球铁的石墨形状呈球形, 对机械性能的影响已减少到最小的程度。所以, 碳硅含量的选择, 着眼考虑到改善铸造性能。铸造性能与铁水的碳当量有直接的关系。碳当量应该选择在共晶点的附近。球铁的共晶点由于有球化元素的存在, 已由4.32%移至4.6~4.7%之间。所以, 在确定碳当量之后, 采用高碳低硅的原则, 先拟定最终含硅量, 再控制碳含量, 最终硅量为2.2~3%, 碳为3.6%左右。

如果碳当量过高，球铁件的壁又厚，则有“石墨漂浮”的现象出现。这一毛病产生，球铁的机械性能、延伸率、冲击韧性、耐磨性和耐压性都会显著下降。但是，碳当量过低的话，在球铁中就容易产生渗碳体 (Fe_3C)，使得球铁发脆过硬，其他性能也会变坏。

如何选择碳当量？怎样防止“石墨漂浮”和渗碳体出现？我们推荐图4作为球铁的碳硅配比依据，从图中选择碳硅最适宜的范围，从而避免球铁的“石墨漂浮”和缩松、白口产生。



1、铁素体区

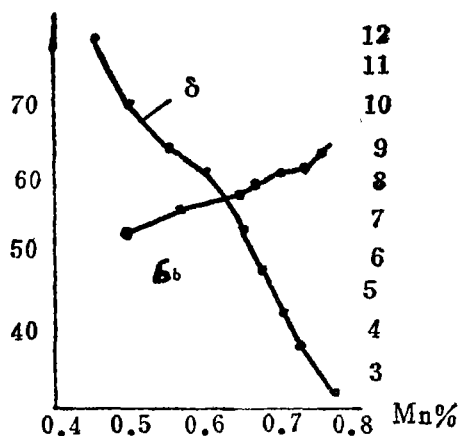
2、混合基体选择的范围

3、白口倾向区

图4 球铁碳硅分布范围图

② 锰：

是一个反石墨化的元素，它阻碍共析转变过程中的石墨化，容易在晶界上富集，起着稳定和细化珠光体的作用，使球铁的强度和硬度提高。严重时还会出现碳化物 $(\text{FeMn})_3\text{C}$ ，造成球铁的韧性和延伸率下降（见图5）。



锰虽然还有去硫的作用，但球铁中的硫由于球化处理降得很低，所以，这一作用不大。但锰是一个受控制的元素，我们一般控制在0.3~0.7%范围内。

图5 6_b 、 δ 与Mn含量的关系图

③ 磷：

是一个有害的元素，我们希望控制在0.07%以下。它虽不阻碍石墨化和球化的进行，但超出使用范围时，在球铁中会出现磷共晶（见图6）。这种共晶体分布在晶界上，本身很硬，其显微硬度为：二元磷共晶HV400，三元磷共晶HV600，有加工不动的现象。另外，还会使铸铁的韧性降低，脆性增加，抗拉强度、延伸率、冲击值都会恶化。含磷过高的球铁件还会产生缩孔、缩松和裂纹。所以，在选用材料时，必须对磷元素严加控制。



图6 球铁中的磷共晶×400

④ 硫:

也是一种有害元素,对石墨化有强烈的干扰。它与镁和钙的亲合力很强,在用稀土镁做球化剂进行球化反应时,镁与硫生成 MgS ,它漂在铁水面上,被我们当成渣子扒掉。如果含硫越高,则消耗球化剂越多,对球化妨害越大。另外,硫高,铁水中的硫化物、夹杂物、皮下气孔也多,对铸件的内在质量影响很大。所以,我们在使用的金属材料中,含硫一般控制在0.07%以下。球化处理后的最终铁水含硫量要小于0.04%。

4、孕育处理:

由于受到一些元素(如 Mn 、 Re 残、 Mg 残等)的影响,加之铁水冷却速度过快的缘故,在球铁中形成了碳化物(见图7)。这些碳化物一旦超出一定数量时,球铁就会变硬变脆、加工困难,延伸率和冲击值都达不到要求。

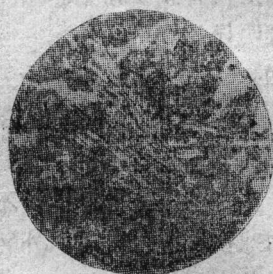


图7 球铁中碳化物×100

要解决这个问题,以前大多数工厂都是采用高温石墨化退火的办法来得到无渗碳体的球墨铸铁,这当然要消耗很多能源;要增加繁重的体力劳动;要引起球铁件的变形。另外,还会使二次石墨成长,降低球铁的机械性能。

在试验时,我们是采用在包外、包内进行孕育和与瞬时孕育相结合的办法来得到无自由渗碳体的铸态球铁。工艺程序前面已叙述了。孕育后得到的石墨形状和金相组织(见图8、图9),机械性能参看表五、表六。

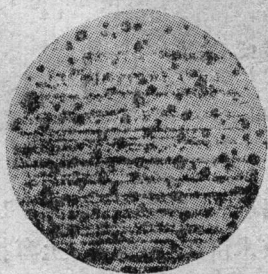


图8 石墨形状图×100

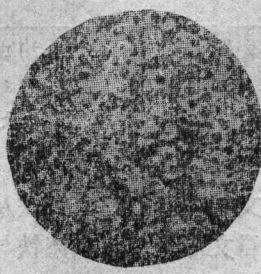


图9 铸态混合基体球铁的金相组织×100

我们采用的孕育剂,除硅铁外,外加一些其他元素。硅主要用来补充原铁水中不够的需要量和促进石墨化作用。其他元素是用来调节基体当中的铁素体和珠光体的比例。

硅在石墨化过程中,能增加铁水中的石墨球数量,能细化球状石墨,提高球的圆整度,改善球铁的球化率。还能使铁水共晶团数增加,减少晶间的偏析程度,从而对改善机械性能起着重要的作用。

孕育处理,特别是瞬时孕育之所以能有效的清除碳化物,得到铸态球铁,这是因为从孕育到共晶凝固的时间极短。在这么短的时期内,增加了这么多的“外来核心”,减少了铁水的过冷,促进了石墨化,从而消除了铁水凝固时产生的一次碳化物。也因为时间短,孕育剂的质点来不及在铁水中溶解和扩散铁水就凝固了。因而就得到了无碳化物的和圆整度高、细小而多球的铸态球铁。

铸态球铁中的基体组织结构是决定其性能的关键,经我们多次试验证实:只有含铁素体(F)和珠光体(P)各占50~70%、碳化物小于3%的混合基体的球铁,其性能才能达到和超过GB1348—78中的QT50—5和国际标准ISO中的500—7牌号球铁指标。

要使铸态混合体球铁达到这样的组织结构,必须做到:a)严格控制球铁化学成份的配比;b)进行充分的球化;c)进行多次的孕育,特别是瞬时孕育。否则,就不能达到我们的目的和要求。

五 应用和效果

具有国内先进水平的铸态混合基体球墨铸铁的研制成功,不只是填补了省内一项空白,而且在实践中也得到了广泛的应用和推广。二年来,用该材质生产的几百吨铸件已用于各种机床、印刷机械、电瓷、汽车、农用机械、矿山机械等等上面。有的是代替碳素铸钢。做出的产品,除了以质量可靠,形式多种多样而赢得用户欢迎外,还有着明显的经济效益。

据统计,生产140吨这样的铸态球铁比生产同样数量的要求退火的球铁可节约电能十万多度,降低生产成本三到五万元。如与铸钢相比:生产同样数量的铸态混合基体球铁和铸钢件时,铸钢的用电量相当于铸态球铁的用电二十多倍。

另外,这种铸态混合基体球铁,工艺简单,容易掌握,在有生产普通铸铁的基础上,不要增加投资和设备,不要新建厂房,就可以生产这种铸态混合基体的球铁。所以,省内外铸造行家都认为:铸态混合基体球铁是一项具有突破性的“短、手、快”的科技成果,应该大力推广使用。

本文照片及金相分析均由机械工程系赵聚思拍摄特此致谢。

参 考 文 献

- | | | | | |
|-----|-----------------|-------------|------------|----------|
| [1] | 陆文华编 | 铸铁及其熔炼 | 机械工业出版社 | 1983. 11 |
| [2] | 徐君文等译 | 铸铁与铸钢 | 新版钢铁技术讲座 5 | 上海技术出版社 |
| [3] | 灰铸铁与球墨铸铁现代孕育的实践 | 沈阳铸造研究所编译 | | 1983 |
| [4] | 技术论文集 | 第二汽车制造厂铸造二厂 | | 1984. 5 |
| [5] | 二汽科技 | 1984. 2 | № 3 | P1—8 |