

HC—84 球墨铸铁的工艺实践

河北宣化工程机械集团股份有限公司铸铁分厂 (075100) 常宏志 王有喜 王庚星 韩明志

【摘要】 HC—84 是适用于中强度、中韧性球墨铸铁件的企业标准，它对材料的力学性能、金相组织及铸件的验收条件等均有严格规定。我公司在生产美国联盟公司转毂等铸件时，对比试验了铸态下直接获得合格 HC—84 球墨铸铁，以及铸态控制开箱时间、正火处理等不同方法。在冲天炉条件下，通过控制化学成分，严格球化及孕育处理，规范熔炼及浇注操作，以及运用均衡凝固理论进行铸件工艺设计等措施，在铸态下直接获得合格铸件且稳定生产多年，满足了国际市场的要求。

一、材质及铸件简介

1994 年以来，我公司开始与美国联盟公司合作，为其生产铸铁件。其中几种球墨铸铁件材质为 HC—84。该牌号为美国企业标准，属中强度、中韧性球墨铸铁。

1. 材质要求

力学性能：抗拉强度 552MPa，伸长率 6%。

石墨形态：按 ASTM 标准中 1 型和 2 型石墨占 80%。

基体组织：铁素体-珠光体混合基体，珠光体含量在 30% ~ 60%。

典型铸件：叉臂、电动机机座、轴承座和转毂等。

2. 验收标准

铸件检验为单件验收，本体取样（指在某一批量供货过程中抽检一件，如果合格则全部验收，如不合格则全部退货）。

3. 铸件简介

转毂为回转体类铸件，单重 69kg。造型时采用树脂

砂造型、芯，在生产实践中我们发现，由于砂粒之间的树脂膜存在及浇注时的树脂燃烧，造成热导率远低于粘土砂，对球墨铸铁件热节补缩造成非常不利的影响，尤其是在轮毂类件的轮盘与轮毂交界处极易形成缩孔，同时也不利于基体中珠光体的形成。

二、非铸态下获得 HC—84 的工艺实践

根据有关资料，生产混合基体球墨铸铁最通常的方法是对铸件进行正火处理。我们在铸件生产过程中首先进行了相关的试验。

1. 配料

生铁 100%，冲天炉熔炼。化学成分为 $w_C = 2.9\% \sim 3.2\%$ ， $w_{Si} = 2.8\% \sim 3.0\%$ ， $w_{Mn} = 0.2\% \sim 0.4\%$ ，P、S 用炉料控制， $w_{RE} = 0.025\% \sim 0.045\%$ ， $w_{Mg} = 0.025\% \sim 0.050\%$ ，不另加其他合金元素（试样为钻屑取样）。

2. 正火工艺

采用部分奥氏体化正火工艺，如图 1 所示。

(3) 促凝剂 就是能加速石膏浆料凝结、硬化过程的添加剂，一般都会使半水石膏在水中的溶解度提高，凝结时能析出大量晶粒。如 NaCl、MgCl₂、NH₄Cl、MgSO₄、AlCl₃、Al₂(SO₄)₃、Na₂SO₄、KCl 及 KNO₃ 等都可用作促凝剂。

(4) 缓凝剂 一般都使半水石膏在水中的溶解度降

低，主要有磷酸盐、硼砂、柠檬酸钠、琥珀酸钠和乙醇等。

表面活性剂（如二元羧酸盐）不仅有缓凝作用，而且还能促进产生网状结构，使石膏型强度提高。此外，在发泡石膏中，表面活性剂的作用尤为重要。

（待续）（20060701）

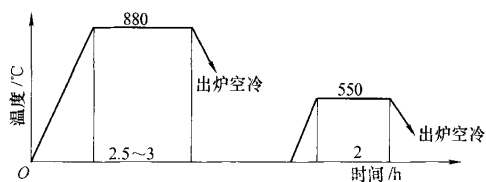


图1 正火工艺

3. 效果

铸件通过正火, 珠光体含量可稳定地控制在 40% ~ 60% 之间, 满足其性能要求。但是由于正火处理生产成本较高, 且美方建议铸件在非热处理状态下获得, 为此我们又试验了浇注后控制开箱时间的方法 (配料和化学成分不变)。试验结果如图 2 所示。

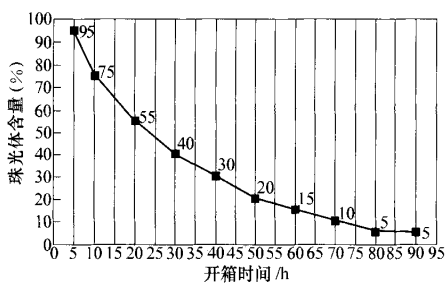


图2 开箱时间与珠光体含量的关系曲线

实践证明: 控制开箱时间, 可以控制铸件基体中珠光体含量。但在生产实践中同时浇注的多箱铸件很难在短时间内完成操作, 造成珠光体含量波动很大, 只能单件或小批生产。

三、铸态下获得 HC—84 的工艺实践

为了能够既经济又稳定地批量生产 HC—84 铸件, 我们开始进行铸态下获得 HC—84 的工艺试验。实践证明, 优质稳定的球墨铸铁件取决于原材料质量、铁液的化学成分、球化和孕育质量, 以及适宜的铸造工艺, 因此是一个系统工程。

1. 生铁的影响及选择

根据多年生产实践数据, 我们比较了不同产地生铁的特性, 见表 1。

(1) 化学成分的差异 本厂抽样复检结果显示, 同批进厂同一牌号的生铁, 地方生铁 C、Si 含量波动值较大 (一般 w_C 达 $\pm 0.15\%$, w_{Si} 达 $\pm 0.2\%$ 左右)。由于我分厂生产球墨铸铁使用 100% 生铁配料, C、Si 量的波动带来炉前原铁液 C、Si 量的波动。而本溪生铁波动较小。

Mn: 地方生铁 Mn 量一般较本溪生铁偏高, Mn 量提高, 会造成伸长率降低。

表 1 不同产地生铁的性能

生铁产地		本溪	A	B	C
生铁牌号		Q10	Q12	Q12	Q12
化学成分 (质量分数, %)	C	4.15 ~ 4.45	4.0 ~ 4.25	4.35 ~ 4.55	3.9 ~ 4.25
	Si	1.0 ~ 1.35	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.4
	Mn	0.10 ~ 0.25	0.15 ~ 0.35	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.5
	P	0.03 ~ 0.06	0.035 ~ 0.055	0.025 ~ 0.075	0.035 ~ 0.075
	S	0.015 ~ 0.045	0.025 ~ 0.055	0.015 ~ 0.045	0.025 ~ 0.050
力学性能	抗拉强度/MPa	480	520	510	530
	伸长率 (%)	20	14	16	12

注: 1. 化学成分为本厂中心化验室检测结果。

2. 金相组织及力学性能是在正常情况下 QT450—10 时统计出的平均值。

S、P 均符合国家标准, 差别不大。

(2) 性能的差异 本溪生铁适合生产铸态下从 QT400—18 至 QT700—2 各种牌号, 适用性较强, 而地方生铁大多数铸态下生产高韧性球墨铸铁有困难。生产高强度球墨铸铁, 本溪生铁伸长率较高, 最高可达 QT680—12 的水平。而地方生铁生产高强度球墨铸铁

时, 获得较高的伸长率较困难。

在铸造性能方面, 地方生铁表现出较大的收缩特性, 铸件易产生缩孔缺陷。

经综合分析且试验对比, 最终我们选择了本溪生铁进行生产, 以获得稳定的化学成分、优良的力学性能及铸造性能。

2. 化学成分的确

化学成分决定球墨铸铁的组织 和性能。选择化学成

分既要保证材质的性能要求，又要保证其良好的铸造性能。试验取样的化学成分如表 2 所示。

表 2 取样的化学成分（质量分数）

项目 序号	化学成分（质量分数，%）							抗拉强度 /MPa	伸长率 （%）
	C	Si	Mn	P	S	Mg	RE		
1	2.55	2.67	0.33	0.042	0.025	0.028	0.057	685	7
2	2.62	2.60	0.17	0.058	0.025	0.030	0.065	700	8
3	2.97	2.53	0.24	0.070	0.024	0.041	0.049	710	4
4	3.05	2.69	0.17	0.049	0.045	0.042	0.034	620	9
5	3.18	2.43	0.50	0.063	0.028	0.046	0.030	655	7
6	3.23	2.46	0.22	0.058	0.026	0.030	0.030	645	6.5
7	3.13	2.37	0.21	0.065	0.040	0.056	0.036	660	7.5
8	3.19	2.17	0.49	0.056	0.028	0.053	0.039	690	4.5
9	3.39	2.20	0.15	0.035	0.047	0.063	0.024	695	4
10	3.29	2.04	0.16	0.041	0.050	0.032	0.046	685	4

注：以上取样均为试块钻屑取样，合金加入量 $w_{Cu} = 0.55\% \sim 0.7\%$ ，球化等级均为二级以作比较。

综合以上数据分析：

(1) C 量的高低虽能引起强度的降低和提高，但影响不明显。C 量和 CE 值的增加有利于铸件补缩，但 CE 值太高时铸件上表面易产生石墨漂浮。

(2) Si 量的增加会提高韧性并有利于补缩，但会显著降低基体中的珠光体含量。铜的加入量相同时， w_{Si} 每增加 0.1%，珠光体含量会下降 5%~10%。

(3) Mn 量越低，韧性越好。

(4) RE、Mg 的残余量可适当提高，以保证本体石墨形态。

(5) Cu 的加入量不宜太大，在铁液的出炉温度较高时，可适当增加 Cu 的加入量。但当铁液的出炉温度较低时，铜的加入会带来铁液流动性变差，铸件上表面

渣孔严重。

结合铸造性能并综合各种因素，最终确定化学成分为： $w_C = 2.9\% \sim 3.1\%$ （钻屑取样，原铁液 $w_C = 3.7\% \sim 3.9\%$ ）， $w_{Si} = 2.2\% \sim 2.4\%$ ， $w_{Mn} < 0.3\%$ ，P、S 含量由炉料保证，尽量取低值， $w_{RE} = 0.035\% \sim 0.06\%$ ， $w_{Mg} = 0.03\% \sim 0.06\%$ ，合金加入量 $w_{Cu} = 0.55\% \sim 0.7\%$ 。

3. 孕育工艺及浇注顺序对化学成分和组织的影响

(1) 孕育工艺和浇注顺序对化学成分的影响 我公司生产球墨铸铁时球化处理采用冲入法，孕育处理采用 75SiFe 浮硅孕育工艺。浮硅孕育本身具有较好的瞬时孕育效果，但随浇注顺序的不同带来了硅量的波动（如表 3 所示）。

表 3 浇注顺序对硅量的影响

孕育剂粒度 /mm	硅量(质量分数，%) 取样时间 序 号	浇注 160kg 后取样	浇注 330kg 后取样	浇注 490kg 后取样	浇注 820kg 后取样	最大差值
3~10	1	3.15	2.83	2.50	2.39	0.76
	2	3.17	2.95	2.63	2.28	0.89
	3	3.20	2.79	2.56	2.41	0.79
20~30	1	3.11	2.95	2.78	2.65	0.46
	2	3.05	2.79	2.73	2.62	0.43
	3	3.01	2.87	2.80	2.57	0.44

注：试样为 1t 铁液浇注过程中取样，配料终硅量为 $w_{Si} = 2.8\% \sim 3.0\%$ 。

由表 3 可见，孕育剂粒度不同，带来硅量的波动不同。粒度为 3~10mm 时，1t 铁液包前期浇注与后期浇注终硅量相差 0.7%~0.9%；孕育剂粒度为 20~30mm 时，1t 铁液包前期浇注与后期浇注终硅量相差 0.3%~0.5%；同样，相同粒度的孕育剂，不同的铁液温度、不同大小的浇包和浇注一包所用的时间不同时，硅量的波动亦不同。

(2) 孕育工艺和浇注顺序对组织的影响 浇注顺序不同，会带来硅量的波动，最终影响组织性能。同时随孕育的衰退，铸件基体珠光体含量逐渐减少，如转毂铸件每件 80kg，1t 包可浇注 10 件，首件与尾件珠光体含量相差达 40%（每件大约降低 5%）。这是由于硅量的降低带来珠光体增加，以及孕育衰退带来珠光体减少而相互作用的结果（使用本溪生铁和某种地方生铁生产时，有此规律，但当使用本溪本钢生铁时，珠光体含量无明显变化）。

(3) 最终确定的孕育工艺 75 硅铁浮硅孕育，粒度 20~30mm；冲入法球化处理，每包处理 500kg 铁液，浇注铸件 5 件。由于铸件上表面出现夹渣缺陷，要求出炉温度 > 1490℃，浇注温度不低于 1440℃。

4. 造型工艺

根据均衡凝固原则设计铸造工艺（见图 3），从铸件较薄的圆盘处引入铁液，在铸件最上面设两个顶缩颈冒

口，并在热节位置安放成形冷铁，以保证铸件内部的致密度。

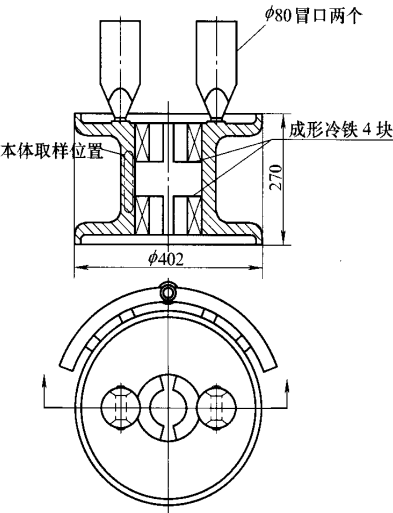


图 3 铸造工艺简图

5. 铸件检验与质量控制

由于铸件为单件验收，故铸件必须 100% 检验。经过反复试验，我们在不破坏铸件的情况下，根据球墨铸铁金相、性能之间的良好对应关系，建立附铸试块、内浇口（与铸件连接一侧）、铸件本体金相及性能的对

应关系（见表 4）。

表 4 本体金相及性能的对应关系

项目 序号	内浇口	本体取样	本体性能		试块珠光体	试块性能		炉前试块金相
	珠光体量（%）	珠光体量（%）	σ_b /MPa	δ （%）	量（%）	σ_b /MPa	δ （%）	珠光体量（%）
1	55	35	585	8.5	80	670	7	95
2	50	35	590	7	80	660	6.5	95
3	70	55	615	6.5	90	730	5	95
4	60	40	580	7.5	85	690	4.5	95
5	70	50	610	6.5	90	700	6	95

由表 4 可知，附铸试块性能满足 QT600—3，珠光体含量 80% 以上，内浇口珠光体含量 50%~75% 之间，则铸件本体珠光体含量在 30%~60% 之间，性能符合 HC—84 的要求。

四、结语

通过选定优质稳定的原材料、合适的化学成分及球

化孕育工艺，严格各种工艺参数，配合正确的浇注顺序，可在铸态下将球墨铸铁基体中珠光体与铁素体的含量稳定地控制在一定范围内，这样在铸态下就可以生产出中强度、中韧性的球墨铸铁（如 HC—84），从而获得良好的经济效益。

(20060707)