

原材料对冷激铸铁凸轮轴组织和性能的影响

Influence of Raw Material on Struture and Property of Chilled Iron Camshaft

李平, 魏伯康, 蔡启舟, 段汉桥

(华中科技大学材料学院, 武汉市 430074)

摘要:详细地研究了主要原材料(生铁、废钢、增碳剂)对冷激灰铸铁神龙凸轮轴组织和性能的影响。试验表明:炉料质量的好坏是生产优质凸轮轴铸件的基础,生铁等炉料的“遗传性”是铸铁冶金学中需要注意的课题,试验确定的神龙凸轮轴生产用主要炉料有Q10生铁、汽车用碳素废钢、增碳剂等;要求生铁和废钢Ti等微量元素含量低,增碳剂固定碳含量高;同时要求生铁、废钢必须经过抛丸处理,清除表面粘砂、锈蚀和油污。炉料比对神龙凸轮轴的材质性能影响很显著,废钢的加入会改善凸轮轴的性能,但加入量大时,铁水的白口倾向增大,需加入大量增碳剂;增碳剂会显著降低铁液的白口化倾向,改善凸轮轴轴颈断口形貌和组织性能,对凸轮桃尖硬度影响很大,因此需控制好废钢和增碳剂的最佳配比,否则会引起较高的材质废品。生产中炉料配比应稳定,试验确定的适宜炉料配比为:生铁:废钢:回炉料=20%:2.5%:77.5%,各种炉料必须按工艺要求进行仔细称量。

关键词:原材料(生铁、废钢、增碳剂);冷激铸铁;神龙凸轮轴;组织和性能;影响

中图分类号:TG143.6;**文献标识码:**A;**文章编号:**1006-9658(2004)05-0007-05

Abstract:Influence of main raw materia (pig iron, scrap, carburetana) on microstructure and performance of Shenlong camshaft of chilled cast iron has been investigated in details. Experiments have shown that production of high quality camshaft castings should based upon excellent charges of which pig iron should be considered because of its “heredity” in cast iron metallurgy. The charges should be pig iron, carbon steel scrap for automobile and carburetanta, meeting requirements as follows: low content of trace elements such as Ti etc in pig iron and steel, high carbon content in carburetanta while surface inclusion, rust and paint have been removed by shot blast cleaning. Charging ratio showed dramatic influence on performance of material; scrap improved camshaft performance, however, over addition would increase white iron hence more carburetanta needed; an optimal ratio of scrap and carburetanta should be controlled properly or more wastrel produced though carburetanta had lot of advantage on improving appearance and structure and hardness of cam. Burden ratio in production should be stable as follows: pig iro (20%): scrap (2.5%): returns (77.5%) and each should be weighed carefully according to technology requirements.

Keyword:Raw material; (pig iron; scrap; carburetanta); Chilled cast iron; Shenlong camshaft

铸铁的组织在一定程度上受到炉料的影响,当由一种炉料换成另一种炉料时,虽然铁液的化学成分(碳,硅,锰,磷,硫等)并未改变,但铸铁的组织,包括石墨化程度,白口倾向以及石墨形态和基体组织等都发生了某种变化,铸铁冶金学上称这种现象为炉料的“遗传性”^[1]。

从70年代至今^[2],铸铁件产量一直占铸件总产量的70%左右,在现代工业中占有重要地位,据近5年统计^[3],我国铸铁件占铸件总产量79%~80%,而采用冷激铸造生产凸轮轴的方法占凸轮轴生产量的60%~70%。80年代以来,铸铁材质性能和生产技术又有了相当大的发展,对铸造用材料也提出了更高

的要求,凸轮轴生产使用的炉料有生铁,废钢,孕育剂,增碳剂,锰铁,磷铁,硫化铁,铬铁,铜等,本文研究了主要炉料(生铁,废钢,增碳剂)对凸轮轴质量的影响。

1 产品技术要求

采用法国PSA集团B51 1110标准中GLA1冷硬铸铁材质标准,化学成分($W_p\%$):C3.2~3.7, Si1.7~2.2, Mn0.6~1.1, P \leq 0.15, S \leq 0.18; 凸轮桃尖 $2\times 20^\circ$ 范围内硬度 $\geq 48\text{HRC}$,其余部位硬度 $\geq 42\text{HRC}$;轴颈金相组织:石墨为A+少量D、E(D、E $\leq 40\%$),基体为P+F、渗碳体 $\leq 5\%$;轴颈硬度为170~255HB。

2 试验条件及方法



2.1 试验条件

熔炼设备为 1t 和 0.5t 中频感应炉,试验所用的原材料有不同厂家生铁,汽车切削碳素废钢,增碳剂,回炉料(神龙凸轮轴及冷铁回炉料,厂内其它灰铁回炉料),75SiFe, 锰铁(FeMn65C7),磷铁(FeP18), 硫铁,铬铁,电解铜,稻草灰等;熔化前先加入生铁,废钢和回炉料,然后加入 75SiFe, 锰铁,磷铁,增碳剂,当铁液完全熔化后,在 1450℃左右取样分析化学成分,根据化验结果决定是否调整化学成分,若成分及白口深度合格,升温至 1500±10℃出炉浇注,浇注前用稻草灰集渣,扒渣后加保温包盖浇注。

2.2 组织性能的检测

通过激冷试样,检测炉内铁液的白口深度和包内铁液的白口深度。对浇注的铸件,截取凸轮和轴颈,在洛氏硬度计上观测凸轮硬度,在布氏硬度计上观测轴颈硬度,在光学显微镜下观测石墨形态和基体组织。

3 生铁对凸轮轴组织和性能的影响

国外铸造生铁成分稳定,且纯度较高,生铁材料除碳、硅、锰、硫、磷符合标准外,对微量元素总量也提出严格要求,甚至于某种微量元素的含量也加以明确限制。如德国球铁用生铁微量元素总和 $\Sigma T < 0.0745\%$,日本球铁用生铁微量元素总和 $\Sigma T < 0.089\%$,另外国外生铁 Ti 含量占微量元素总量一般不大于 50%^[2]。理论研究指出所谓生铁的“遗传性”,其实与微量元素的影响有密切关系。

化学成分相同的灰口生铁和白口生铁,灰口铁则难于过冷,石墨核心也多^[3]。500kg 中频炉全部采用信阳 Q10 生铁熔化,在 1470℃测定其梯型试样断口几乎全为灰口,全部采用神龙凸轮轴回炉料(凸轮部位为白口)在 1470℃测定其白口深度为 16~20mm。

试验使用的生铁有云钢 Z14 生铁,林县 Q10 生铁,本溪 Q10 生铁,信阳 Q10 生铁。各类生铁的化学成分如下表 1 所示。

表 1 生铁的化学成分 %

产地	Si	Mn	P	S	C	Ti
云钢 Z14	1.47	0.18	0.06	0.017		
林县 Q10	0.6~1.0	0.07~0.09	0.016~0.039	0.014~0.028	4.33~4.41	0.03~0.05
信阳 Q10	0.66~0.98	0.09~0.2	0.045~0.056	0.022~0.3	4.05~4.2	0.04~0.07
本溪 Q10	0.6~0.9	0.05~0.07	0.03~0.054	0.02	4.22~4.25	0.016~0.032

3.1 各类生铁的试验情况

3.1.1 试验工艺

(1)炉料配比

生铁:废钢:回炉料=60%:10%:30%

(2)炉前化学成分控制见表 2。

表 2 试验用炉前化学成分 %

C	Si	Mn	P	S	Cr
3.55~3.65	1.80~1.90	0.80~0.90	0.10~0.13	≤0.15	0.10~0.20

(3)孕育及白口控制 孕育剂为 FeSi75,粒度 1mm~4mm。加入量 0.05%~0.20%,原白口适宜深度为 10mm~15mm,包内孕育后白口深度为 10±1mm,不允许在浇注包内二次补加孕育剂。

(4)出炉温度 1480±10℃。

3.1.2 试验方案设计

①采用本溪 Q10 生铁,炉前不增 S(试验三包铁液)。②采用云钢生铁,炉前增 S 至 0.1%~0.15%(试验两包铁液)。③采用云钢生铁,炉前增 S 至 0.1%~0.15%,加 Sn 至 0.04%~0.06%(试验两包铁液)。④采用本溪 Q10 生铁,炉前增 S(试验六包铁液)。

3.1.3 试验结果如表 3~4。

表 3 炉后化学成分 %

试验方案	C	Si	Mn	P	S	Cr	Sn	Ti
①	3.49	1.94	0.92	0.166	0.078	0.307	0.008	0.05
②	3.64	1.94	0.90	0.156	0.144	0.310	0.005	0.084
③	3.55	1.96	0.90	0.147	0.167	0.307	0.096	0.084
④	3.58	1.92	1.10	0.093	0.089			0.058

3.2 结果分析

(1)从上述试验结果可以看出,不同厂家的生铁对凸轮轴的材质影响很大,云钢 Z14 生铁含 Ti 量高(>0.1%,炉后化学成分 Ti 含量即高达 0.08%以上),轴径 D 型石墨含量高,材质不理想。

(2)林县 Q10 生铁,Ti 含量虽然低(0.04%左右),但经过 2000 年三月份试生产 48 炉,材质废品率高达 13.19%,同期信阳 Q10 生铁材质废品率 3.83%。

(3)本溪 Q10 生铁和信阳 Q10 生铁生产的凸轮轴,凸轮桃尖硬度均在 50HRC 以上,轴径 D 型石墨数量低,铁素体含量低;本溪 Q10 生铁 Ti 含量在 0.02%~0.04%之间,但货源紧张,交通不便,信阳 Q10 生铁 Ti 含量在 0.04%~0.07%之间,货源充足,交通便利,经过批量生产验证,生产的凸轮轴性能稳定,是凸轮轴大量生产的理想供应厂家,自批量生产

以来,作为神龙凸轮轴的固定生铁生产厂家。

表4 本体金相组织和性能

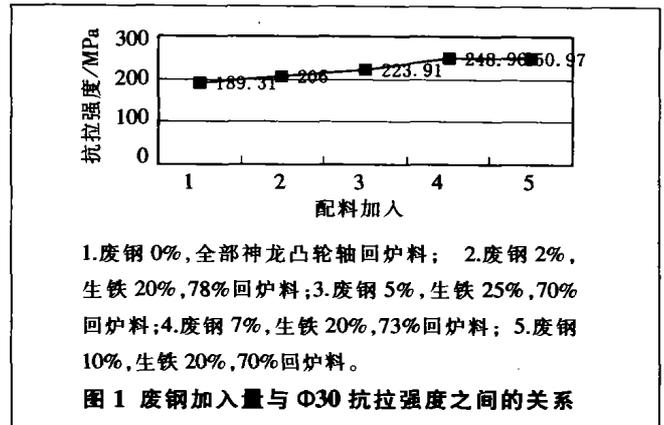
试验方案号	凸轮硬度 HRC					凸轮石墨评级	轴颈 HB	轴颈石墨		轴颈碳化物%
	桃尖 220°		基圆 320°					形状	长度	
① 1	52.5	52.5	52.5	51.5	52.5	B				P95+F
							201	A+少 D	5	无
① 2	50	51	50	52	52	B				P95+F
							192	A+少 D	5	无
① 3	52.5	51.5	51.5	51.5	52.5	B				P95+F
							207	A+少 D	5~6	无
② 1	47	48.5	52	47	52	C				P95+F
							207	D+A	5~6	无
② 2	51.5	52	52	53.5	52	B				P95+F
							207	A+D	5~6	无
③ 3	51	51.5	52	49	49.5	B				P95+F
							207	A+D	5~6	无
③ 4	52.3	52.5	52.3	49.5	53	B				P95+F
							217	A+少 D	5	无
④ 1-1	50.6	50.6	50.5	50.7	51.3	A	192	A+少 D	4	P98+F
							201	A+少 D	4~5	P98+F
④ 1-2	50.7	51.2	50.9	46.5	47.7	B	197	A+少 D	4	P98+F
							207	A+少 D	4~5	P98+F
④ 1-3	50.0	50.2	50.0	52.8	51.8	B	170	A+少 D	4	P98+F
							212	A+少 D	4~5	P98+F
④ 2-1	50.0	50.5	50.0	49.0	50.2	B	201	A+少 D	5	P98+F
							207	A+少 D	4~5	P98+F
④ 2-2	50.4	50.7	50.6	50.8	50.2	B	201	A+少 D		P98+F
							207	A+少 D	5	P98+F
④ 2-3	50.4	50.6	50	51.9	51.4	B	201	A+少 D	4~5	P98+F
							207	A+少 D	5	P98+F

4 废钢对凸轮轴材质性能的影响

国内外均有文献介绍^{[4][5][6]},采用大量废钢生产合成铸铁,在铁液中加入废钢可明显提高铸铁的强度和孕育效果,改善铸铁综合性能,降低劣质生铁的不良遗传性,对生产厚大铸件有较大的应变能力,尤为有利,在高碳当量下加废钢对孕育的提高尤为显著,但大量加入废钢,需大量增碳,因此必须有大量优质废钢和增碳剂为前提,同时注意掌握好增碳剂的加入时间和加入量,否则会达不到预期效

果。

神龙凸轮轴 CE 值在 4.1%~4.3%之间,铸件厚大,配料时加入一定量的废钢对提高凸轮轴强度效果明显,图 1 显示出废钢加入量与 $\phi 30$ 试棒抗拉强度之间的关系。



从图中可以看出,随着废钢的加入量的加大, $\phi 30$ 试棒抗拉强度逐渐增大。因此,凸轮轴生产过程中,加入一定量的废钢是非常必要的。

5 增碳剂对凸轮轴组织和性能的影响

神龙凸轮轴生产过程中,加入了废钢,必须加入增碳剂来提高含碳量,国外生产冷激铸铁凸轮轴,均采用大量废钢加增碳剂,由于国外增碳剂含碳量高,废钢质量好且稳定,因此生产的凸轮轴质量高。

5.1 国内增碳剂与国外增碳剂比较

表 5 是我国增碳剂与英国增碳剂的成分对比情况^[7],从表中不难看出,我国增碳剂质量明显低于英国增碳剂,且国内增碳剂吸收率低。正因为如此,国内只能限制使用废钢。

表 5 国内增碳剂与英国增碳剂成分比较

	固定碳(%)	挥发份(%)	灰份(%)
我厂	80~85	5~12	10~13
英国	90 以上 人造石墨 99~100; 石油焦 97~99;冶金焦 88~91		

5.2 增碳剂对凸轮轴材质的影响

5.2.1 增碳剂对炉前白口的影响

炉内加入增碳剂,其作用一方面是补充由于加入废钢导致的含碳量的不足,另一方面,由于加入炉内的增碳剂同时还起孕育剂的作用,结果使炉前白口深度减小,表 6 为不同增碳剂加入量的炉前白口深度,从表 6 中可以看出,随着增碳剂加入量的增加,炉前白口深度不断减小。

增碳剂的加入量大于 3%,熔化好的铁水白口深度比工艺要求的适宜白口深度小,这样即使成分

表 6 增碳剂加入量对炉前白口深度的影响

增碳剂加入量(%)	8	5	3	1.5	1.0	0.5	0
炉前白口深度/mm	4~5	6~8	10~14	15~17	15~18	16~18	16~20

化验合格,仍然不能浇注,实际生产过程中,被迫升温,提高过热温度,延长保温时间,既浪费电能,又影响均衡生产,因此增碳剂的加入量不能太高。

增碳剂的加入量少于 1.5%或者不加,熔化好的铁液白口深度大,铁液白口倾向大,需加入大量孕育剂,孕育剂的加入量不好控制,加入量高时凸轮硬度低,加入量少时,轴颈碳化物超标,凸轮心部出现麻口组织,影响凸轮轴的使用性能。

综上所述,凸轮轴生产的适宜增碳剂加入量为 1.5%~3%。

2001 年 2 月份,北京和郑州两富康轿车用户(凸轮轴为我厂 2000 年 4 月份和 6 月份生产的),轿车在行驶过程中,凸轮轴从两凸轮之间的细轴颈处断裂,经过分析,一个重要原因为凸轮轴断口呈全白,而我厂 2000 年生产凸轮轴时,工艺中没有加增碳剂、铁液白口倾向大是一个直接的原因。

2001 年 4~5 月份,我厂凸轮轴停产整改,工艺上采取了炉内增碳,效果非常明显,得到了神龙公司和法国专家的认可。

5.2.2 增碳剂加入量对凸轮硬度的影响

增碳剂的加入量太大,铁液的白口倾向小,铸件凸轮桃尖硬度难以达到验收技术标准,增碳剂的加入量太少,铁液的白口倾向太大,铸件非激冷区白口倾向大,以下是两轮不同增碳剂加入量的材质对比情况(化学成分,温度等控制相同)。

(1)增碳剂加入量为 8% 试验数据见表 7~9。

表 7 炉前化学成份 %

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
工艺目标值	3.55~3.70	1.85~2.00	0.75~0.90	0.06~0.10	—	0.50~0.65	≤0.15
实测值	3.76	1.92	0.94	0.105	0.043	0.66	0.157

表 8 试验时炉料配比

	炉料	生铁	回炉料	废钢	增碳剂	硅铁	锰铁	磷铁	硫铁	铜
要求值	1t 炉加料/kg	200	700	100	7	6	4	—	—	4.5
实加值		200	700	115	8	6.5	4			4.5

试验结果:解剖 10 件,仅 2 件凸轮硬度合格,8 件硬度低于技术要求(80%材质废品)。

(2) 增碳剂加入量为 3% 试验数据如表 10~12。

表 9 材质情况

炉号-包号-箱号	凸轮硬度 HRC					凸轮石墨评级	轴颈 HB	轴颈石墨		轴颈碳化物%
	桃尖 2×20°		基圆 320°					形状	长度	
1-1-1	43.5	40	47.5	50.5	50	NG	183	A80+D	5~6	无
1-1-6	49.5	49	48.5	47.1	51	OK	192	A85+D	5~6	无
1-2-1	33	51	26	50	51.5	NG	179	A70+D	5~6	无
1-2-8	51.5	50.5	48	50.5	51.5	OK	183	A85+D	6	无
1-3-1	49.5	40	52	41	49	NG	187	A65+D	5	无
1-3-8	47.5	37.5	37	47	50.5	NG	183	A90+D	4~6	无
2-1-1	25.2	33.3	29.5	27	51.5	NG	186	A85+D	4~6	无
2-1-6	46.5	50.5	52.1	46	51.9	NG	179	A85+D	4~6	无
2-2-1	40.9	47.5	47.2	47.9	47.6	NG	183	A85+D	4~6	无
2-2-8	44.6	49.1	46.3	51.3	43.7	NG	187	A85+D	4~6	无

表 10 炉前化学成份 %

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
要求值	3.55~3.70	1.85~2.00	0.75~0.90	0.06~0.10	—	0.50~0.65	≤0.15
实测值	3.57	1.86	0.88	0.093	0.040	0.160	0.61

表 11 试验时炉料配比

炉料	生铁	回炉料	废钢	增碳剂	硅铁	锰铁	磷铁	硫铁
1t 炉加料(kg)	200	730	70	3	5	3	—	—

表 12 材质情况

炉号-包号-箱号	凸轮硬度 HRC					凸轮石墨评级	轴颈 HB	轴颈石墨		轴颈碳化物%
	桃尖 2×20°		基圆 320°					形状	长度	
3-1-1	50.5	50	50	48	49	OK	197	A80+D	4~6	无
3-1-6	51.5	51	51.5	52.5	50.5	OK	187	A80+D	4~6	无
3-2-1	51	50	48.5	52	50	OK	187	A85+D	4~6	无
3-2-8	51.5	51	52	52	52	OK	192	A85+D	4~6	无
3-3-1	49	51	50	41	51	NG	197	A85+D	4~5	<1
3-3-8	51	51	50	51	50	OK	197	A80+D	4~5	1
4-1-1	47	48.5	48	40	49	NG	201	A75+D	4~6	<1
4-1-6	48.5	49.5	51.5	49.5	42.5	OK	197	A70+D	4~6	<1
4-2-1	48	49.5	50	51	49.5	OK	201	A75+D	4~6	<1
4-2-8	49.5	49.5	49.5	48.5	43	OK	201	A70+D	4~6	<1
4-3-1	51.5	53	53	51.5	52.5	OK	197	A75+D	4~5	1
4-3-8	50.5	50.5	51	53	52	OK	197	A75+D	4~5	1

试验结果:解剖 12 件,10 件合格,两件硬度低于技术要求(约 20%的材质废品)。

(3)试验结果分析

从上述试验结果可以看出:增碳剂的加入量对凸轮硬度的影响非常显著,增碳剂加入量过大,铁水石墨化能力强,会导致凸轮桃尖硬度低,达不到技术要求。试验确定的适宜增碳剂加入量为 1.5%~3%之间。

5.2.3 增碳剂加入量对凸轮宏观断口形貌的影响

增碳剂加入量为 8%和 3%浇注的凸轮轴的宏观断口如图 2~3 所示。当增碳剂加入量为 8%时,铁液石墨化能力强,凸轮桃尖出现石墨带,硬度达不到技术要求。



(a) 第一包首末箱凸轮形貌



(b) 最后一包首末箱凸轮形貌

图 2 增碳剂加入量为 8%的凸轮形貌



(a)第一包首末箱凸轮形貌



(b)最后一包首末箱凸轮形貌

图 3 增碳剂加入量为 3%的凸轮形貌

6 主要炉料对比对凸轮轴材质废品率的影响

炉料配比主要是考虑生铁、废钢、回炉料的比例。试验时,如果炉料配比不相同,即使铁液的化学成分相同,凸轮的白口深度也有可能不同。如果炉料配比中生铁的比例大,那么铁液石墨化核心就

多,铁液凝固时石墨的形核率就大,碳就容易按石墨的方式凝固,从而使铁液的白口倾向变小;相反,如果废钢的比例大,那么铁液石墨化核心少,白口倾向大,增加了激冷效果。

因此,炉料配比要求稳定,波动范围要小,否则将引起材质控制的不稳定。例如某月份神龙凸轮轴材质废品率高达 45.66%,其中凸轮桃尖硬度低占 68%,轴颈碳化物超标占 32%。经过认真分析,发现其中一个很重要的原因就是由于炉料配比不稳定引起的。此月生产炉料配比经常变化,波动范围也很大,为生铁:废钢:回炉料=(20%~30%):(2%~30%):(40%~78%)。改进后将炉料配比稳定为:生铁:废钢:回炉料=20%:2.5%:77.5%,并要求仔细称量,同时要求生铁、废钢必须经过抛丸处理,清除表面粘砂、锈蚀和油污。炉料配比稳定后神龙凸轮轴材质废品率一直稳定在 3%以下,效果非常显著。

7 结论

(1) 炉料质量的好坏是生产优质凸轮轴铸件的基础,生铁等炉料的“遗传性”是铸铁冶金学中需要特别注意的课题,试验确定的神龙凸轮轴生产用主要炉料有 Q10 生铁、汽车用碳素废钢、增碳剂等,要求生铁和废钢 Ti 等微量元素含量低,增碳剂固定碳含量高等,同时要求生铁、废钢必须经过抛丸处理,清除表面粘砂、锈蚀和油污。

(2) 炉料对比对神龙凸轮轴的材质性能影响很显著,废钢的加入会改善凸轮轴的性能,但加入量大铁液的白口倾向增大,需加入大量增碳剂;增碳剂会显著降低铁液的白口化倾向,改善凸轮轴轴颈断口形貌和组织性能,对凸轮桃尖硬度影响很大,因此需控制好废钢和增碳剂的最佳配比,否则会引起较高的材质废品。生产中炉料对比应稳定,试验确定的适宜炉料配比为生铁:废钢:回炉料=20%:2.5%:77.5%,各种炉料必须按工艺要求进行仔细称量。

参 考 文 献

- 1 李隆盛.铸造合金及熔炼.北京:机械工业出版社,1989.
- 2 黄乃瑜,魏伯康,罗吉荣.铸造原辅材料的发展趋势及若干建议[J].铸造,1999(增刊)
- 3 A modern casting staff Report.Modern Casting,1998,10.
- 4 鹿取一男,等.铸造工学.1978.
- 5 上官宝,等.铁液中加废钢对灰铸铁组织和强度的影响[J].铸造技术,1997(3)
- 6 柯 绿,吴家立.在感应电炉中合成铸铁的制得及应用[J].铸造,1986(8)
- 7 BCIRA 活页资料[M].第四分册.