

低合金灰铸铁活塞环稀土复合孕育剂的研究*

廖刚军 潘庚生 郭少华 夏志刚 许祖祥
(武汉工学院) (湖北仙桃市活塞环厂)

摘 要

本文研究了新型稀土复合孕育剂在灰铸铁筒体活塞环中的孕育效果。试验结果表明:采用稀土复合孕育剂,不仅可以提高活塞环的机械性能,而且可以减少合金元素用量,降低生产成本。

关键词:活塞环;孕育处理;机械性能;金相组织

0 前言

活塞环是发动机的关键零件之一,其质量好坏直接影响到发动机的性能。目前,我国的活塞环生产与国外仍然有较大的差距,活塞环的机械性能及使用性能较低。据报道^[1],国外活塞环的使用寿命为3000~4000h或 $10^5 \sim 2 \times 10^5$ km。而我国的活塞使用寿命大多为1000~2000h或 $4 \times 10^4 \sim 10^5$ km。为此,国内开展了许多研究工作,以提高活塞环的机械性能及使用寿命,取得了一定的成效。但大多数工作只局限于活塞环的合金化上,而忽视了对孕育处理的研究,习惯采用石墨化孕育剂,如CaSi,结晶硅,石墨粉及FeSi75等。这样,合金元素用量大,成本高,且机械性能欠佳,金相组织不均匀,生产中易出现白口、缩松等缺陷,从而导致活塞环的使用性能低。

本研究旨在采用新型孕育剂改善活塞环的金相组织及机械性能,从而提高活塞环的使用性能,并减少合金元素用量以降低生产成本。

1 试验条件

本试验在工厂现场进行。采用Re、Ca、Cr、Mo等为孕育剂组元,采用正交试验 $L_9(3^4)$ 优选其成分,研究成功了灰铸铁活塞环稀土复合孕育剂HY系列,其成分如表1所示。

稿件收到日期:1989年3月15日

* 肖辉、戴天海、王传革、朱龙明参加了部分试验工作。

表1 孕育剂的成分(%)

名 称	Re+Si	Ca	Cr	Mo	Fe
HY-1	30~50	4~10	5~15	10~25	余
HY-2	40~60	0~5	5~15	10~20	余
HY-3	35~55	0~5	5~15	10~25	余
1#Re	65~70	1~5	—	—	余

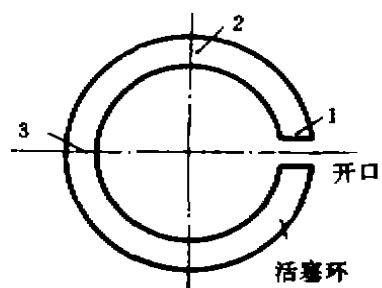


图1 活塞环的硬度测量位置示意图

铁水在1.5t/h的多排小风口热风冲天炉内熔化,其原材料成分如表2所列。原铁水成分为:C 3.1~3.3%,Si 2.1~2.6%,Mn 0.86~1.15%,P 0.4~0.55%,S<0.12%,Cr 0.2~0.3%,Mo 0.3~0.4%。铁水温度于前炉用铂铑-铂热电偶并配以XWF-100中型长图记录仪连续测量,铁水过热温度1450~1470℃,铁水先出在200kg的包子后,再转入12kg左右的包内孕育处理,浇注温度为1360~1380℃,浇注一箱筒体活塞环以及一组抗拉试棒(Φ30mm,Φ20mm及Φ15mm)。径向弹力 Q_2 及硬度

HRB于活塞环本体测定,硬度的测试位置如图1所示,每处打三点HRB。

表2 原材料的化学成分

名 称	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca	Cr	Mo	Fe
生铁	3.9~4.1	1.85	0.25	<0.09	0.04~0.07					余
废钢	0.15~0.2	0.15~0.25	0.4~0.6	<0.05	0.05					余
回炉料	2.9~3.3	1.9~2.4	0.9~1.3	0.35~0.65	<0.12			0.2~0.5	0.3~0.6	余
FeSi75	—	72~78	0.5	0.02	0.04	0.7	0.5			余
FeCr	0.1							80		余
FeMo	0.161	1.5		0.05	0.099				58	0.36 余
FeP				17						余
FeMn			65							余
CaSi		65		<0.04	<0.04	<2.5	32			\

2 试验结果及其分析

2.1 稀土复合孕育剂HY的孕育效果

稀土复合孕育剂HY系列与FeSi75、1#Re孕育剂的对比试验结果如表3所示。采用Fe-Si75孕育剂处理时,合金化对活塞环与试棒性能的影响如表4所示。不同孕育剂处理时,同

一筒体活塞环的硬度及弹力分布如图2所示。

表3 典型的对比试验结果

编 号	孕育剂		试棒抗拉强度(MPa)			活塞环性能			原铁水成分%			活塞环 的型号	备注
	种类	加入量 (%)	Φ30mm	Φ20mm	Φ15mm	HRB	ΔHRB max	Q ₂ (N)	C	E	Cr	Mo	
8527-0	FeSi75	0.4	280	287	291	100.9	2	36.5	4.06	0.28	0.30	75	
8527-12	1#Re	0.33	290	329	—	101.3	4.5	44.8	4.06	0.28	0.30	75	
8527-3	HY-1	0.64	322	292	336	103.7	2	46.0	4.06	0.28	0.30	75	
8527-7	HY-2	0.63	300	293	335	101.8	0.5	45.3	4.06	0.28	0.30	75	
8527-11	HY-3	0.66	—	—	—	103.3	1.0	49.0	4.06	0.28	0.30	75	
8531-10	FeSi75	0.63	258	262	289	98.7	3	45.3	4.10	0.25	0.33	75	
8531-5	HY-2	0.69	281	313	—	101.2	2	52.8	4.10	0.25	0.33	75	
8531-7	HY-3	0.41	288	303	—	99.5	2.6	52.0	4.10	0.25	0.33	75	
865-0	FeSi75	0.3~0.5	249	276	269	98.3	3	45.0	4.29	0.24	0.34	95	正常 生产
865-2	HY-1	0.63	272	244△	246△	98.8	3	43.8	4.29	0.08	0.12	95	炉后未加 FeCr与 FeMo
865-5	HY-2	0.63	265	253	272	99.4	2.5	43.0	4.29	0.08	0.12	95	同上
865-10*	HY-3	0.84	—	—	—	97.7	3	44.8	4.29	0.08	0.12	95	同上

注：* 孕育后铸铁 Cr=0.14%，Mo=0.22%，其他编号的孕育后铸件成分未化验。

△有缺陷。

表4 合金化对活塞环及试棒性能的影响

编号	铸铁主要成分%		95 活塞环硬度		σ _b (Φ30mm) (MPa)
	Cr	Mo	HRB	ΔHRB (max)	
8529-0	0.22	0.19	101.6	3	—
863-0	0.18	0.24	101.8	2	—
8529-1	0.32	0.47	105.3	2.5	311
8529-2	0.36	0.43	104.5	3.5	280
8529-5	0.29	0.40	103.6	4	297
863-1	0.31	0.46	104.3	5.5	283
863-2	0.32	0.48	105.8	4.5	263
863-3	0.32	0.43	102.3	2.5	269
863-5	0.34	0.48	103.3	1	284
863-6	0.35	0.43	104.4	4	269

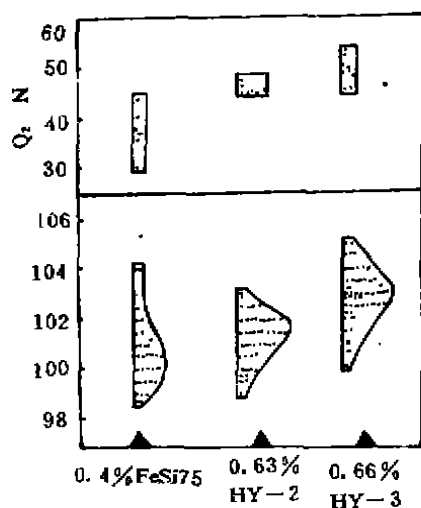


图2 不同孕育剂处理时,
同一筒活塞环的
HRB及 Q_2 的分布

从上述图表,足以看到稀土复合孕育剂 HY 比 FeSi75 具有更好的孕育效果:

a 当原铁水的铬、钼含量相同时,与 FeSi75 相比,稀土复合孕育剂可以大大提高铸铁的强度以及活塞环的机械性能:

试棒抗拉强度由 249~280MPa 提高到 280~320MPa,平均提高 20~40MPa,也就是提高了 12~14%。

活塞环的弹力及硬度增加,且同一环的硬度分布均匀性增加,(见表3)。同一筒的硬度分布均匀性亦增加,且服从正态分布(如图2)。HY 比 FeSi75 孕育的活塞环的 HRB 分布的峰值提高了。从统计结果来看,75 活塞环的径向弹力 Q_2 由 FeSi75 处理的 28~48N 提高到 45~58N;硬度 HRB 由 FeSi75 处理的 98~102RB 提高到 100~104RB,提高 2~3RB;同一环的硬度(RB)差由 FeSi75 处理的 1.5~3RB 减少到 0.5~3HRB(表3中所列为典型数据)。

此外,HY 的孕育效果比 1#Re 也强(如表3)。1#Re 尽管也能一定程度地提高铸铁的强度及活塞环硬度与弹力,但是硬度分布均匀性不好,并且 1#Re 孕育效果的稳定性较差^[4],主要是由于高稀土量易于引起铸件中出现 D、E 型石墨。

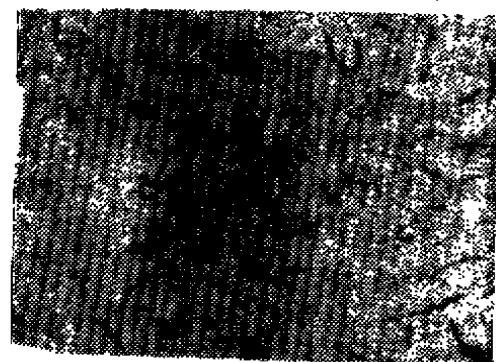
b 如表3所列,当稀土复合孕育活塞环铸件中的铬钼含量比 FeSi 孕育处理的分别减少大约 0.1%时(即回炉料配加入 35%左右、炉后不加铬铁与钼铁时的原铁水成分如表3,而采用 HY-3 孕育后,合金含量为:Cr≈0.14%,Mo≈0.22%),活塞环的硬度及弹力与 Cr、Mo 含量高、并用 FeSi75 孕育的相差不大(仍能满足性能要求),但硬度分布均匀性好($\Delta RB < 3$),且试棒的抗拉强度高。由此可见,减少 Cr、Mo 含量并用稀土复合孕育剂 HY 孕育,活塞环的机械性能及试棒的抗拉强度都较高,完全可以满足生产的需要。这样,在保持甚至提高活塞环性能的同时,稀土复合孕育剂 HY 可以降低生产成本。例如,扣除加入 0.6% HY 孕育剂成本,当铸件 Cr、Mo 各减少 0.1%时,每吨铸件可节约 60 元。此外,还可以减少白口出现,减少铸件废品,提高铸件性能,因而可产生较大的经济效益与社会效益。

c 对比表3与表4可见,当采用 FeSi 孕育时增加 Cr、Mo 含量,尽管使活塞环的硬度增加,但是硬度分布均匀性相当差(ΔRB 大多大于 3),而且试棒的抗拉强度比 HY 孕育的低。且合金化时,筒环的下部出现白口。因此,只靠增加 Cr、Mo 含量是不能够使活塞环的性能满足要求的。对照 HY 孕育与合金化的试验结果(如表3和表4),不难发现,合金元素作为孕育剂加比在炉内作为合金化加的效果要好。

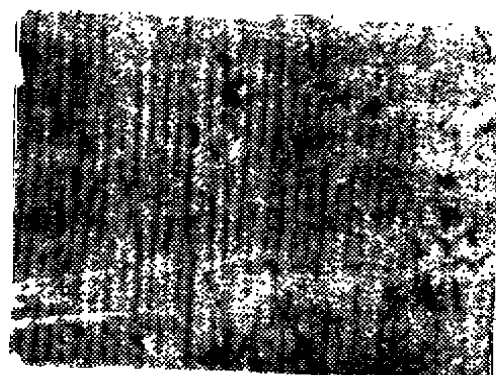
d HY 孕育剂可消除生产中 FeSi75 孕育剂所消除不了的白口现象。

2.2 HY 孕育剂对活塞环金相组织的影响

HY 孕育剂之所以能提高活塞环的机械性能,是因为 HY 孕育剂改善了活塞环的金相组织,获得均匀分布的细小的 A 型石墨加少量 B 型石墨,消除了 D、E 型石墨,使磷共晶网孔细化,磷共晶块度变小,金相组织如图 3 所示。



a-1 石墨形态 ×100



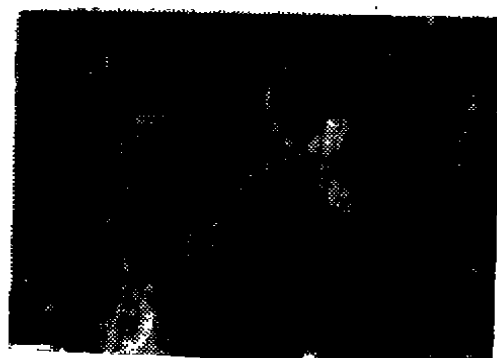
b-1 石墨形态 ×100



a-2 共晶团 ×100



b-2 共晶团 ×100



a-3 磷共晶 ×500



b-3 磷共晶 ×500

图 3 不同孕育处理的 75 活塞环的金相组织

a 0.4% FeSi75 孕育

b 0.63% HY 孕育

同样, HY 孕育剂比合金化的活塞环亦具有良好的组织, 因而其活塞环亦具有良好的性能。此外, 合金化时, 合金元素 Cr、Mo 含量增加时, 易出现 D、E 型石墨, 甚至出现 Fe_3C 因而不利于提高活塞环的性能。

综上所述, HY 孕育剂能够提高活塞环的机械性能, 改善活塞环的金相组织, 其作用机理在于 HY 孕育剂是由 Re、Ca 强形核元素与 Cr、Mo 稳定化元素所组成。稀土形成的化合物可以作为石墨的结晶核心^[2], 因而在薄壁件上极有效地促进石墨化, 消除白口, 细化晶粒, 但其含量不能过高, 否则稀土又呈现反石墨化作用, 恶化石墨组织。同时, Ca 的存在有助于稀土孕育剂的作用发挥^[3], 促进石墨化。Cr、Mo 反石墨化元素促进基体细化, 充分发挥其稳定珠光体之作用。此外 HY 孕育剂中的各元素具有固溶强化作用。所以, HY 孕育剂兼有孕育与强化双重作用, 因而比 FeSi 的孕育效果更好, 亦比低合金化的作用效果好。

3 结论

a 稀土复合孕育剂 HY 是一种新型的灰铸铁活塞环孕育剂, 比 FeSi75 孕育剂能提高铸铁的强度, 提高活塞环的弹力、硬度及硬度分布均匀性, 而且还消除了 FeSi75 所不能消除的白口现象。

b 采用稀土复合孕育剂 HY 可以在保持甚至提高活塞环的机械性能的同时, 减少合金元素 Cr、Mo 用量, 满足生产需要。因而 HY 系列稀土复合孕育剂能降低活塞环生产的成本, 每吨铸件可节约 60 元(扣除孕育剂成本), 可以取得良好的经济效益与社会效益。

c HY 孕育剂处理的筒体活塞环的金相组织为均匀分布的 A 型石墨及细小均匀分布的磷共晶网孔与块度, 这必将有利于提高活塞环的使用性能。

d 采用 HY 孕育剂处理铁水, 工艺简单, 操作方便, 便于生产使用, 亦可推广应用到单体铸造活塞环中。

参 考 文 献

- 1 周裕康. 国外活塞环和缸套近况. 国外内燃机, 1977(6), 1-7.
- 2 Xiong Guoqing et al. Solidification and Structures of Rare Earth Inoculated Gray Cast Iron. AFS Trans, 1982, 90, 943
- 3 廖刚军. 稀土复合孕育灰铸铁的凝固、组织与性能. 华中工学院硕士论文, 1986
- 4 熊国庆等. 几种灰铸铁稀土孕育剂的研究. 华中工学院学报. 1985, 13(1): 65~70.

Investigation into Rare-Earth Containing
Complex Inoculants for the Piston Ring of
Low—Alloy Gray Cast Iron

Liao Gangjun Pan Gengsheng Guo Shaohua Xia Zhigang Xu Zuxiang
(Wuhan Institute of Technology) (Xiantao Piston Ring Factory, Hubei)

ABSTRACT

The inoculating effectiveness of rare-earth containing complex inoculants in the cylindrical cast piston ring of low-alloy gray cast iron is discussed in this paper. Experimental results show that mechanical properties of piston ring can be increased, and alloy consumption can be decreased. Therefore, the production cost will be reduced by using the rare-earth containing complex inoculants.

Key words: piston ring; inoculation; mechanical properties; metallographic structure

(本文责任编辑:刘美玲)