DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.03.007

高硬度环保耐蚀柴油机气缸套的研制

孟　超
(焦作大学,河南 焦作 454003)

摘　要:在缸套表面进行镍磷复合镀强化处理,可以提高湿式内燃机缸套耐腐蚀性能,但会增加产品的成本。研究了在普通贝氏体气缸套材料基础上去掉贵重金属镍,调整其他成分比例,在确保材料性能不变的前提下,降低产品的成本。结果表明,配合表面强化处理,缸套硬度高、耐腐蚀强、生产成本低,并可以延长发动机寿命。

关键词:气缸套;镍磷复合镀;耐蚀;成本

中图分类号: TG174　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)03-0228-03

Development of High Hardness, Environmental Protection and Corrosion Resistant Diesel Engine Cylinder Liner

MENG Chao
(Jiaozuo University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Ni-P composite plating on the surface of the cylinder liner can improve the corrosion resistance of the cylinder liner, but it increased the cost of the product. The precious metal nickel was removed from the common bainitic cylinder liner materials, and the proportion of other components was adjusted to reduce the cost of the product on the premise of keeping the materials properties unchanged. The results show that with the surface strengthening treatment, the cylinder liner has high hardness, strong corrosion resistance, low production cost, and can prolong the engine life.

Key words: cylinder liner; Ni-P composite plating; anti-corrosion; cost

内燃机在工作过程中,湿式缸套与冷却水接触的表面上常出现穴蚀现象,穴坑深度严重的可达十几毫米还会将气缸击穿[1,2],造成气缸漏水等严重事故。为了提高湿式缸套的抗穴蚀能力,采用镍磷复合镀在缸套上进行表面强化处理,硬度和耐蚀性达到要求,但产品整体成本却提高了。为了平衡性能与成本,实验组对缸体材料进行优化,去除贵金属镍,调整其他金属的含量比例,在满足产品性能的条件下,能使产品成本下降12%以上。目前,该产品已经通过康明斯的台架试验,抗穴蚀效果明显,产品性能达标,已决定在其新型发动机上进行推广[3-6]。

1　表面强化处理

1.1　技术原理

镍磷复合镀是利用镍盐溶液在强还原剂次亚磷酸钠的作用下,使镍离子还原成金属镍,同时次亚磷酸盐分解析出磷,因而在具有催化表面的镀件上,获得Ni-P合金镀层[7-9]。

次亚磷酸盐还原镍离子的总反应可以写成:

$$NaH_2PO_2 + 3H_2O + NiSO_4 — 3NaH_2PO_3 + H_2SO_4 + 2H_2 + Ni$$

同样的反应可以写成如下离子式:

$$2H_2PO_2^- + Ni_2^{++} + 2H_2O — 2H_2PO_3^- + H_2 + 2H^{+} + Ni$$

所有这些反应都发生在催化活性表面上,需要外界提供能量,即在较高的温度(60 ℃≤T≤95 ℃)下,除了金属镍之外,还形成分子氢。此外,形成的氢离子使镀液变得更加酸性,同时还生成亚磷酸离子$H_2PO_3^-$。

G.Gutzeit的理论,提出了如下的分步反应:

$H_2PO_2^- + H_2O$ —$H_2PO_3^- + H^{+} + 2H$ 吸附

$Ni_2^{++} + 2H$ 吸附—$Ni + 2H^{+}$

2H 吸附—H2

$H_2PO_2^- + H — H_2PO_3^- + H_2$

$H_2PO_2^- + H$ 吸附—$H_2O + OH^- + P$

$3H_2PO_2^- — H_2PO_3^- + H_2O + 2OH^- + 2P$

1.2　性能指标

镍磷复合镀镀层厚度为0.015~0.020 mm;镀层硬度大于800 HV。

收稿日期:2020-02-06
基金项目:河南省高等学校重点科研项目(20B430012);河南省重大科技专项基金(161100210400)
作者简介:孟　超(1979-),河南焦作人,副教授.研究方向:新型金属材料方面的研究和教学工作.
电话:13839135599, E-mail:13839135599@126.com

2　缸体材料研制

2.1　成分与铸造工艺设计

对于高性价比合金铸铁,在铸造实验室先后进行了3批次试验,每批次试验件的成分见表1。各批次铸造工艺设计见表2。

经检验,前两次试验内壁缩松及石墨形态不好,通过调整成分及铸造工艺后,第3次试验缸套成品磨损面处硬度大于260 HB,石墨100%A型,如图1。铸态基体组织由贝氏体+少量残余奥氏体组成,如图2[10,11]。

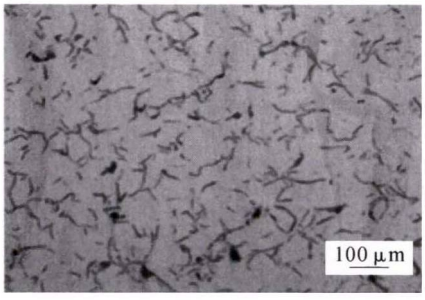

图1 石墨形态
Fig.1 Graphite morphology

2.2　热处理工艺

经过试验,最终确定该材质缸套的热处理工艺为500 ℃保温2 h,热处理后硬度达320 HB,基体组织由贝氏体+少量均匀分布的碳化物组成,如图3。

2.3　力学性能

抗拉试棒及弹性模量试棒即KS-07试棒尺寸见图4。

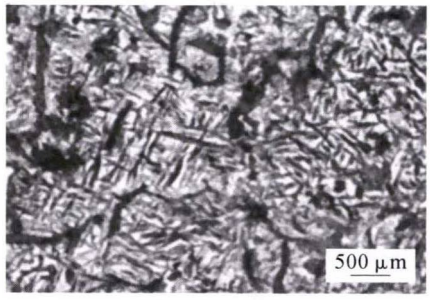

图2 基体组织
Fig.2 Matrix structure

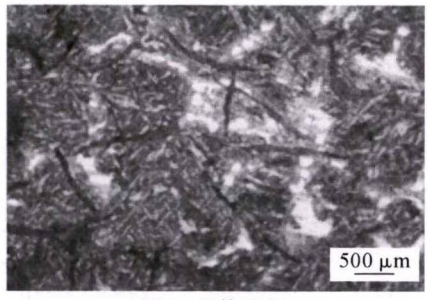

图3 基体组织
Fig.3 Matrix structure

每次试验缸套的抗拉强度及弹性模量检测结果如表3。

由检验结果得:第3组合金铸铁的抗拉强度达430 MPa以上,弹性模量达150 GPa以上,明显高于技术指标要求。

2.4　成本对比

试验缸体材料与普通贝氏体成分对比见表4。

通过对比高性价比合金铸铁与康明斯成分要求

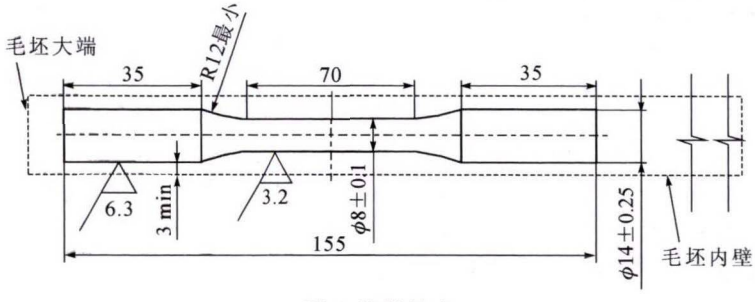

图4 棒料尺寸
Fig.4 Test bar size

表1 高性价比合金铸铁成分设计表 w(%)
Tab.1 Design table of alloy cast iron composition with high cost performance

试验编号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V	Ti
1	2.0~3.0	1.2~2.0	0.5~1.0	0.2~0.6	≤0.12	0.8~1.5	0.5~1.2	0.04~0.10	0.04~0.10
2	2.5~3.0	1.4~2.0	0.5~0.9	0.2~0.5	≤0.08	1.0~1.5	0.5~1.1	0.04~0.10	0.04~0.10
3	2.5~3.0	1.5~2.0	0.5~0.9	0.2~0.5	≤0.08	1.0~1.5	0.5~1.1	0.04~0.10	0.04~0.10

表2 高性价比合金铸造工艺设计表
Tab.2 High cost-performance alloy casting process design table

试验编号	来水/s	激水/s	还原/s	转速/(r/min)	涂料厚度/mm	模温/℃	出缸温度/℃	一次孕育(%)	二次孕育(%)	毛坯内孔/mm
1	10~15	10~35	100±10	1 350~1 450	0.7~1.0	400~450	≤850	0.5~0.8	0.10	106~107
2	10~15	10~35	100±10	1 350~1 450	0.7~1.0	400~450	≤850	0.5~0.8	0.10	106~107
3	10~15	10~35	100±10	1 350~1 450	0.7~1.0	400~450	≤850	0.60	0.10	106~107

表 3 力学性能对比表
Tab.3 Comparison of mechanical properties

试验编号	抗拉强度 /MPa 标准	结果	平均	弹性模量 /GPa 标准	结果	平均	Y/N	试棒硬度(HB)
1	≥379	415.47 405.48 425.47	415.47	(130~160)	155.43 152.10 128.42	145.32	Y	309
2	≥379	422.28 435.47 425.07	427.61	(130~160)	154.24 159.00 155.19	156.14	Y	320
3	≥379	436.88 430.07 456.23	441.06	(130~160)	156.01 153.50 155.83	155.12	Y	332

及实际生产成分可得：①C、Si、Mn、S、实际控制成分几乎相同，计算成本时可以不考虑；②P、Cu、Ni、Mo、V、Ti 实际控制成分存在差异；康明斯缸套配料使用林州生铁，高性价比合金铸铁缸套使用的为钒钛生铁。

原材料成本对比：

原材料价格（不含税）：磷铁 1 920 元 /t（含量 25%）；钒钛生铁 3 290 元 /t；林州生铁 2 670 元 /t；电解铜 44 900 元 /t(含量 99.9%)；电解镍 99 490 元 /t（含量 99.9%）。

成本计算时不考虑人工、水、电等成本即假设人工、水、电等成本相同的条件下，只计算存在差异的原材料成本，以吨成本计算。

磷铁成本：

P 平均增加 0.5%

增加费用 =0.5%/25%×1 920=38.4(元 /t)

表4 合金元素含量对比表 w(%)
Tab.4 Comparison table of alloying element content

金属元素	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V	Ti	Ni
试验材料	2.5~3.0	1.5~2.0	0.5~0.9	0.2~0.5	≤0.08	1.0~1.5	0.5~1.1	0.04~0.10	0.04~0.10	0
普通贝氏体	2.5~3.0	1.5~2.0	0.5~0.9	<0.1	≤0.08	0.2~0.5	0.5~1.1	0	0	1.2~1.5

电解铜成本：

Cu 平均增加 0.55%

增加费用 =0.55%/99.9%×44 900=247(元 /t)

钒钛生铁成本：

增加费用 =3 290-2 670=620(元 /t)

电解镍成本：

减少成本 =1.25%/99.9%×99 490=1 244(元 /t)

节约成本 =1 244-38.4-247-620=338.6(元)

成本对比结论：通过计算可得高性价比合金铸铁缸套相对于康明斯缸套原材料成本降低了约 338.6 元 /t，即原材料成本降低了约 12.11%。

3 结论

产品进行镍磷复合镀表面处理后，为了保证柴油机环保耐蚀气缸套产品最终的成本不增加，试验人员对产品的材料进行了研究开发，对贝氏体材料成分进行了改进，通过去掉原有成分中的镍，加入钒钛，调整成分比例，研究了高性价比合金铸铁新材料，该材料相比普通贝氏体材料来说，力学性能优于普通贝氏体材料，耐蚀性满足要求，材料成本降低了 12%左右，目前已推广使用。

参考文献：

[1] 王剑. 45ct 涂层高温性能及其机理研究 [D]. 沈阳：沈阳工业大学，2009.
[2] 舒正伟. 石蜡的耐热性能及其机理研究 [D]. 成都：成都理工大学，2011.
[3] 魏立队，段树林，邢辉，等. 船舶柴油机主轴承热弹性流体动力混合润滑分析[J]. 内燃机学报，2013 (2):183-191.
[4] 杜慧勇，周文瑾，李民，等. 发动机冷却水套穴蚀机理分析与试验[J]. 农业工程学报，2017 (8):76-81.
[5] 范春燕. 柴油机气缸套冷却水空化流数值仿真研究[D]. 北京：北京理工大学，2016.
[6] 姜玉领，郭进京，贺亚飞. 镍磷复合镀缸套穴蚀原因分析[J]. 内燃机与配件，2018 (21):87-89.
[7] 石曾伟，辛建民. 简述 NiTi 合金涂层的几种制备工艺[J]. 热加工工艺，2013，42(16):149-151.
[8] 李世鹏，张卫平，陈文元. 抗磁悬浮的原理、特点和应用[J]. 磁性材料及器件，2011 (1):44-46.
[9] 王倩. 化学镀镍的特点、原理及应用 [J]. 科教导刊，2013(17):147-148.
[10] A. Г. НИКИТИН，兰金亮，要发. 贝氏体钢轨化学组成和热处理工艺研究[J]. 现代冶金：2013 (4):61-66.
[11] 傅燕，王薇. 工艺条件对复合膜性能影响研究 [J]. 化工新型材料，2011(3):67-69.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2020 年《铸造技术》杂志
国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25 元/本　海外定价：25 美元/本