

# 农用柴油机合金抗磨铸铁气缸套的研究

王志明 刘增文 王浩国

(山东工业大学)

**摘 要** 气缸套是发动机的重要摩擦副之一,它的抗磨性能直接影响着发动机的寿命。由于农用柴油机经常处于尘埃较多的场合工作,所以其磨损更快。该文旨在强化气缸套以延长其使用寿命。研究采用在铸铁中加入各种合金元素使其在较软基体上生成高硬度点。这是一种既可保证一定的储油能力减少磨损又因具有硬质点而提高抗磨能力的有效方法。以不同材料配方制造的气缸套进行了热机快磨试验,结果表明该气缸套具有优异的抗磨性能及储油能力,且成本增加不大,是较理想的更新换代产品。

**关键词** 抗磨铸铁 钛合金 合金铸铁 气缸套

气缸套是柴油机的关键零件,其耐久性将直接影响到发动机的寿命、功率、燃油消耗。因此,如何提高其性能一直是研究者们研究的课题。气缸是气体压缩、燃烧膨胀的空间,并对活塞运动起导向作用。燃烧过程中燃气的最高瞬时温度可达2000~2500℃,最高瞬时压力可达10~15 MPa。因此它的内壁直接受到高温、高压燃气的作用;而它的外壁又受到冷却水的冷却。在内外壁温度梯度及爆发压力作用下,气缸套受到相当大的热应力和机械压力,而且活塞在它表面高速往复运动,使气缸内壁受到强烈摩擦。研究结果表明:气缸套的磨损主要有磨粒磨损、沾层磨损、剥层磨损及腐蚀磨损。近年来随着柴油机强化的不断提高而使得活塞运动速度、爆发压力均有了较大提高,所以,气缸套磨损问题也日益严重。因此,研制抗磨型气缸套是非常必要的。

## 1 铸铁抗磨机理的形成

气缸套一般都用耐磨性好、铸造方便、成本低的合金铸铁制造。实验证明,铸铁的金相组织对耐磨性影响很大。而向铸铁中加入不同的合金元素可以使铸铁的金相组织得到改变。对缸套的要求是能在不太致密的机体上析出高硬度碳化物质。不太致密的机体磨损后在其表面形成的微坑具有储油作用,这样可起到减磨作用,可使高速相对运动的表面得到良好的润滑而增强其耐磨性。所析出的高硬度物质更可提高基体的耐磨性,但如析出量太大则会使与之配伍的活塞环磨损较多。目前已使用过的气缸套材料有镍铬铸铁、高磷铸铁、硼铸铁等。镍铬铸铁中的镍可助长石墨化以有利于形成微坑,铬可使碳化物稳定还可使珠光体组织细密并析出高硬度碳化物,但其制造工艺复杂、成本较高、对活塞环的磨损也较大,目前已逐渐被磷、硼铸铁取代。高磷铸铁可形成网状分布三元磷共晶体( $\text{Fe}_3\text{P} + \text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}$ )即斯氏体,它具有较高的耐磨性,并有一定的耐腐蚀性,但当含磷量控制不好时,铸铁变脆,易产生缩松。

硼铸铁可形成在珠光体的基体中析出高硬度的碳化物,称为特殊斯氏体。其耐磨性较高磷

收稿日期: 1998-10-26

王志明, 博士, 副教授, 济南市经十路73号 山东工业大学动力系, 250061

铸铁提高 50 % 并具有良好的加工性。这是目前中小型高速柴油机广泛使用的缸套材料,但用于农用柴油机上时,由于使用环境恶劣,保养水平较差,所以其寿命也不尽如人意。另外,硼铸铁的耐腐蚀性较差,这对于使用含硫量较大的国产柴油而言其磨损会更快。

本研究所研制的气缸套是在灰铸铁中加入钛、磷、硅、锰等合金成分,它可形成钛共晶石墨并析出斯氏体。钛共晶石墨具有良好的储油能力而斯氏体具有较强的抗磨能力,因此它具有良好的综合使用性。另外,钛合金具有良好的抗酸性,这对于我国石油中含硫量较大的状况而言将是非常有利的(限于试验条件,本文未做抗腐蚀性试验)。值得提出的是,钛合金铸铁中如果析出过细的碳化钛则会丧失储油能力并且由于硬质点的增加而导致与其配套活塞环的大量磨损。

## 2 试验结果及分析

钛合金铸铁气缸套的金相组织为珠光体,其硬度为 HB 180~220。

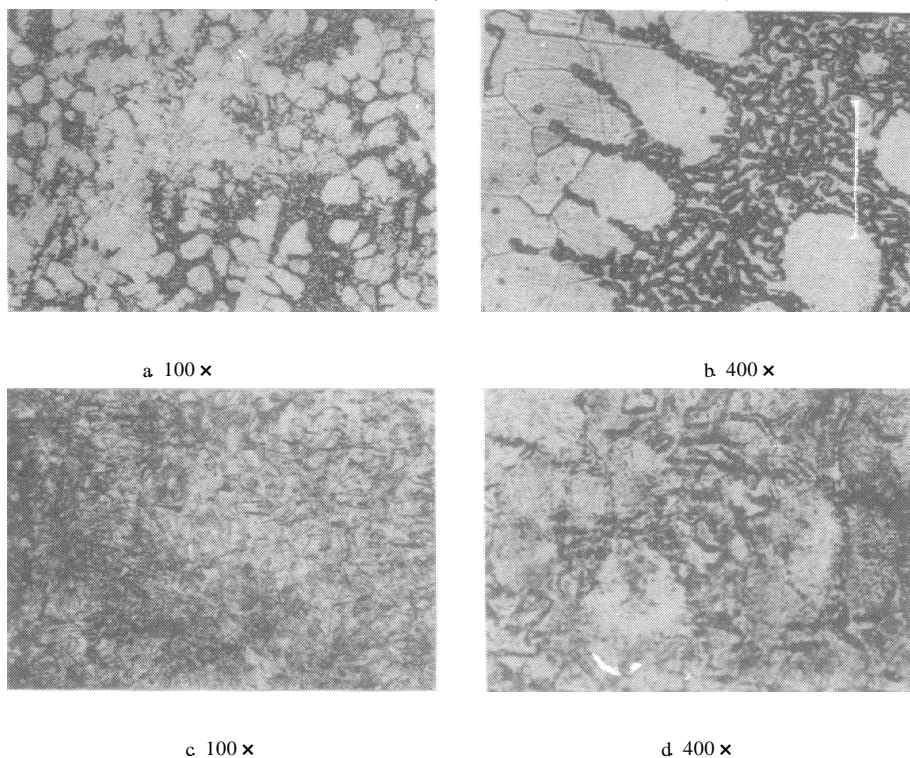


图 1 钛合金铸铁金相组织图

Fig 1 Ti-alloy cast iron composition

图 1 为所研制的不同配方及工艺铸造的气缸套金相组织图。图中 a、b 为某一配方采用缓冷措施后金相组织的不同放大倍数结构图。c、d 为正常冷却组织图。由金相组织图可知 a、b 为铁素体基体,含有卵球状初生奥氏体,铁碳分布不太均匀,在大面积的铁素体基体上难以形成储油能力,加之铁素体基体较软,故其抗磨性不太好。而 c、d 为珠光体基体,铁碳分布较均匀,片状石墨的形成非常有利于储油,珠光体的高硬度会使其抗磨性大大提高。

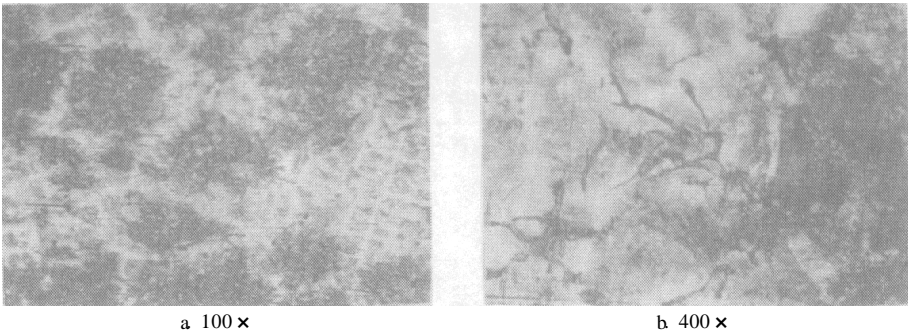


图 2 硼铸铁金相组织图

Fig 2 Boron cast iron composition

表 1 列出了试验用缸套的理化指标。

图 2 为某柴油机厂配用硼铸铁气缸套的表面金相组织图。由金相组织图可知其基体为珠光体 + 石墨 + 少量磷共晶组织(图中特白部分)。由于析出的磷共晶组织具有极高的硬度,所以在工艺

表 1 试验用气缸套的理化指标

Tab 1 Physical-chemical property of the tested cylinder			
钛合金缸套		硼铸铁缸套	
编 号	1#	2#	3#、4#
硬度(HB)	158	215	260
基体组织	铁素体+ 石墨 珠光体+ 石墨 珠光体+ 石墨+ 磷共晶		

控制不好时会大量析出而导致配套活塞环的较大磨损,且该组织中团状珠光体及片状石墨分布不均匀也会导致活塞环偏磨从而使其综合抗磨性变差。为了检验其抗磨性,按鲁Q 816-84《95 型气缸套、活塞环快速磨损试验规范》(国内尚无有关气缸套磨损试验的统一规范)进行了试验。该试验规范规定:发动机以 90 % 负荷连续运转 10 h,同时以 0.20 g/(缸·h)的速率由进气管向气缸内加入 W 10 白刚玉磨料,然后对各运动件进行测量。试验中使用 495G 型柴油机,其中两缸为钛合金试验缸套,两缸为对比用硼铸铁缸套。表 2、3 为试验后的磨损测量值。

表 2 气缸套磨损测量值

Tab 2 Measured value of cylinder wear								mm
钛合金试验气缸套								
1# 气缸套				2# 气缸套				
位 置	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
X - X	0.055	0.060	0.050	0.010	0.048	0.052	0.040	0.005
Y - Y	0.090	0.080	0.045	0.015	0.040	0.045	0.027	0.008
S - S	0.060	0.050	0.045	0.010	0.055	0.050	0.032	0.007
P - P	0.085	0.072	0.059	0.008	0.060	0.050	0.045	0.008
最大值	0.090	0.080	0.059	0.015	0.060	0.052	0.045	0.008
平均值	0.072	0.065	0.050	0.011	0.051	0.050	0.036	0.007
硼铸铁对比试验气缸套								
3# 气缸套				4# 气缸套				
位置	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
X - X	0.11	0.085	0.075	0.020	0.075	0.053	0.050	0.025
Y - Y	0.11	0.070	0.095	0.022	0.108	0.058	0.025	0.010
S - S	0.13	0.082	0.080	0.020	0.070	0.058	0.053	0.018
P - P	0.11	0.10	0.080	0.015	0.110	0.075	0.045	0.008
最大值	0.13	0.10	0.095	0.022	0.110	0.075	0.053	0.025
平均值	0.115	0.085	0.083	0.019	0.091	0.060	0.043	0.015

表 3 配套活塞环磨损测量值

Tab. 3 Measured value of the wear capacity of the piston ring

	1# 气缸套配套活塞环		2# 气缸套配套活塞环		3# 气缸套配套活塞环		4# 气缸套配套活塞环	
	磨损后 开口间隙/mm	弹力下降 /N	磨损后 开口间隙/mm	弹力下降 /N	磨损后 开口间隙/mm	弹力下降 /N	磨损后 开口间隙/mm	弹力下降 /N
第一道气环	3.65	6	3.44	3	3.47	5	3.15	3
第二道气环	1.89	2	1.96	2	2.10	2	1.75	3
第三道气环	1.85	1	1.97	1	2.00	2	1.45	3
第四道气环	2.57	25	3.12	26	3.44	26	3.70	24
平均值	2.49	8.5	2.62	8	2.75	8.75	2.51	8.25
二套平均值	2.555 mm		8.25 N		2.63 mm		8.5 N	

表中  $D_1 \sim D_4$  分别为图 3 所示气缸套轴向高度上的测量位置, X- X, Y- Y, S- S, P- P 分别为图 4 所示测量方向。表中各值均为试验前后测量值之差, 因篇幅所限未能将试验前后各测量值一一列出。

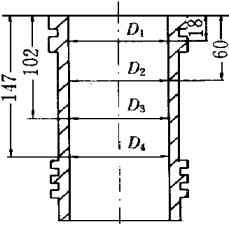


图 3 测量高度位置图

Fig. 3 Measuring height

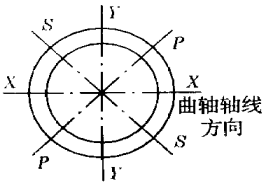


图 4 测量方向位置

Fig. 4 Measuring direction

3 讨论

就气缸套组织而言, 当以铁碳分布均匀的珠光体为佳, 其硬度也应适中, 硬度太低则抗磨性较差, 而单纯依靠提高缸套的硬度增加其抗磨性是不可取的。因为如果忽视了其储油能力则不可能获得好的抗磨性。由表 1、2 可知钛合金铸铁气缸套具有优异的抗磨性, 其中尤以 2# 为佳。这与前面的金相分析是吻合的, 其抗磨性较之硼铸铁气缸套(对比样品 3#、4#)可提高 45 %~ 109 %, 并且其中配套活塞环(为考查其性能, 试验中均采用同厂同批次的标准产品)磨损及弹力下降值均稍低于对比样品。这说明钛合金铸铁气缸套试制品中没有过细的碳化钛析出, 而当无过细碳化钛析出时就可保证相当的储油能力。所以配套活塞环的磨损也不大。由表 3 中配套活塞环开口处测量的磨损间隙可知其磨损量还稍小于对比缸套活塞环的磨损量。

4 结论

- 1) 钛合金铸铁缸气套具有优异的抗磨性能, 与硼铸铁气缸套相比其抗磨性最大可提高 109 %。
- 2) 严格控制铸造工艺可防止过细氧化钛析出, 从而保证气缸套具有良好的储油能力以减轻配套活塞环的磨损。
- 3) 单纯追求气缸套的高硬度而忽视其储油能力, 不能从根本上提高其抗磨性。
- 4) 钛铸铁气缸套较之硼铸铁气缸套成本约提高 10 %~ 15 %, 但与之性能相比仍有很大的收益。
- 5) 由于钛铸铁还具有良好的抗酸蚀能力, 所以长期使用其效益将更大。

## 参 考 文 献

- 1 柴油机设计手册编写组 柴油机设计手册 北京: 中国农业出版社, 1980
- 2 张 清 金属磨损和金色耐磨材料手册 北京: 冶金出版社, 1991
- 3 李传拭 铸造工程师手册 北京: 机械工业出版社, 1997
- 4 机械工程手册编委会 机械工程手册 北京: 机械工业出版社, 1982
- 5 邵荷生 金属磨料磨损与耐磨材料 北京: 机械工业出版社, 1988
- 6 铸铁手册编写组 铸铁手册 北京: 机械工业出版社, 1979
- 7 磨料磨损与耐磨合金编写组 磨料磨损与耐磨合金 北京: 电力工业出版社, 1980
- 8 中国农业机械化科学研究院工艺材料研究所编译 磨粒磨损与抗磨技术译文集 北京: 中国农业机械出版社, 1980

## Development of Anti-wear Cylinder With Titanium-Alloy Cast Iron

Wang Zhiming    Liu Zengwen    Wang Haoguo

(Shandong University of Technology, Jinan, 250061)

**Abstract** Cylinder is an important part of the diesel engine. Its antiwear property will influence the life of the engine. Agricultural-diesel engine often works under dusted condition, its wear is much faster than that of usual condition. The long-life cylinder by adding some alloys in cast iron was developed. The antiwear mechanism is to form and distribute harder point in soft body. Experimental results show that it is of better antiwear and oil storage property. On the other hand, its cost is only a little bit higher than that of the usual condition. Its benefit is obviously good when considering its life and it is an ideal renewing product.

**Key words** antiwear cast iron, titanium alloy, alloy cast iron, cylinder