

薄壁缸套生产技术

张云电摇著

国防工业出版社

· 北京 ·

摇图书在版编目 (悦穿)数据

摇薄壁缸套生产技术 轱云电著援-北京 :国防工业
出版社 圆用圆员

摇隋尺晕苑原员越原员圆原员怨原员

摇 I 圆簿...摇 II 圆张...摇 III 圆气缸套 原生产 原技术
IV 圆裁员圆缘缘

摇中国版本图书馆 悦穿数据核字 (圆用圆)第 员圆缘号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 圆缘号)

(邮政编码摇员圆圆圆)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 苑愿伊员圆圆摇员圆圆摇印张 员圆。摇圆圆千字
圆圆圆年 员月第 员版摇圆圆圆年 员月北京第 员次印刷
印数 员圆圆圆册摇摇定价 员圆圆元

(本书如有印装错误 我社负责调换)

前摇摇言

人类已经进入 21 世纪 ,在世纪之交的时刻 ,回顾内燃机气缸套生产的历史过程 ,总结薄壁缸套生产技术 ,展望未来内燃机气缸套的发展及其生产技术 ,有着特殊的意义 ,这是因为自从 18 世纪 70 年代第 1 台实用的内燃机诞生以来 ,它在世界各国汽车、拖拉机、摩托车、机车、船舶、飞机、发电设备等产品中获得了极为广泛的应用。

21 世纪是节约能源、保护环境的新时代。由于汽车、拖拉机、摩托车等交通运输工具的迅速发展 ,一方面促进了人类社会的繁荣和进步 ,另一方面耗费了巨大的能源 ,给环境带来了严重的污染 ,甚至带来了灾难。薄壁缸套作为内燃机气缸套的节能产品和绿色产品 ,已日益被人类接受 ,并极力推广。摇摇摇

21 世纪的中国是社会主义市场经济的中国 ,中国与世界经济联系更为密切 ,更为广泛。中国不仅是一个巨大的汽车、拖拉机、摩托车用户市场 ,而且中国已有许多工厂开发薄壁缸套 ,21 世纪的中国将是一个生产薄壁缸套的大国。中国将为世界内燃机的发展作出贡献。

薄壁缸套加工质量要求高 ,刚度极低 ,生产技术难度大 ,因而引起了国内外众多研究人员和工厂技术人员的重视。多年来 ,许多工厂不惜投入巨资 ,进行研究开发 ,取得了许多成功的经验 ,也不乏有失败的教训。

著者从 20 世纪 80 年代末期开始研究薄壁缸套生产技

术。1985年,研制成功卧式超声珩磨装置。1989年,超声珩磨装置通过部级鉴定。1990年,研制成功了立式超声珩磨装置,由于采用了中心有圆柱孔的夹芯式压电换能器和变幅杆,使得珩磨油石在机床不停机的条件下可以沿径向胀开,从而使得立式超声珩磨装置具备了在工业化批量生产中应用的条件。其后,利用立式超声珩磨装置在立式超声珩磨机上对钢质薄壁缸套基体和镀铬层进行了工业化珩磨试验。1993年以来,对钢质薄壁缸套进行了模态分析,研究开发薄壁缸套新型加工方法和多种夹具以及检测技术。1994年,开始研究超声推挤技术。从1995年以来,研究薄壁缸套内壁微坑加工方法,开始微坑加工设备。

薄壁缸套生产技术涉及机械学、电子学、声学、光学、电镀工艺学等多个学科,因而可把薄壁缸套生产技术视为交叉学科。

本书汇集了国内外最新的薄壁缸套生产技术及试验结果,提供了相当数量在生产中应用的实例。著者在书中提出了研究开发蜂窝状点坑节能气缸套的思想,这对进一步提高耐磨性、节油和保护环境是颇有意义的。

著者认为,在薄壁缸套产品设计、开发和生产过程中,应特别重视技术创新。这里面包含两层含意:一是产品设计创新,例如设计蜂窝状点坑节能气缸套,薄壁缸套内壁形成蜂窝状微坑后,成为高耐磨性环保节能型产品;二是生产工艺的创新,如何高效率地加工出高精度的薄壁缸套已成为薄壁缸套生产中的重大问题,例如内孔镗孔中如何保证尺寸精度、圆度、圆柱度和加工效率一直是人们关注的重大技术难题之一。摇摇摇

本书如果能对设计、研究、开发、生产和使用薄壁缸套的

读者有所帮助,将是著者最大的欣慰。限于著者学术水平及实践经验,书中难免有不当之处,恳请读者不吝指正为盼。

著者向本书中所引用的著作及论文的所有作者,表示衷心的感谢。

张云电

杭州电子工业学院

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 气缸套在内燃机中的作用.....	1
1.2 薄壁缸套的分类.....	2
1.3 气缸套的工况及磨损、损坏形式.....	3
1.4 薄壁缸套生产技术发展概况及前景	4
第 2 章 薄壁缸套的模态分析	5
2.1 薄壁缸套模态分析的意义	5
2.2 模态分析原理	6
2.3 钢质薄壁镀铬气缸套在自由状态下的试验 模态分析	7
2.4 薄壁缸套的有限元分析	8
2.5 薄壁缸套在夹紧状态下的试验模态分析	9
第 3 章 机械加工工艺规程的制定	10
3.1 薄壁缸套的工艺分析	10
3.2 工艺规程的制定	11
3.3 缸套自动生产线	12
第 4 章 毛坯制造方法	13
4.1 缸套离心铸造法	13
4.2 钢质缸套毛坯拉伸法	14
4.3 无缝钢管	15
4.4 翻边	16
4.5 毛坯检验	17

第 缘章 摇 热处理	怨愿
摇 异缘原员 摇 退火	怨愿
摇 异缘原圆 摇 淬火	怨愿
第 远章 摇 切削与磨削加工	员圆
摇 异远原员 摇 外圆车削	员圆
摇 异远原圆 摇 镗孔	员缘
摇 异远原猿 摇 外圆磨削	员圆
第 苑章 摇 超声推挤	员圆
摇 异苑原员 摇 超声推挤原理	员猿
摇 异苑原圆 摇 声振系统	员缘
摇 异苑原猿 摇 工艺试验	员圆
摇 异苑原源 摇 机理分析	员怨
第 愿章 摇 薄壁缸套工作表面的储油结构和加工 方法	员远
摇 异愿原员 摇 松孔镀铬	员远
摇 异愿原圆 摇 复合镀层	员圆
摇 异愿原猿 摇 平顶珩磨	员苑
摇 异愿原源 摇 喷射加工	圆缘
摇 异愿原缘 摇 激光珩磨	圆源
摇 异愿原远 摇 用自激振动形成波纹形孔面的方法	圆缘
摇 异愿原苑 摇 滚花	圆猿
摇 异愿原愿 摇 冲击加工微坑	圆苑
摇 异愿原怨 摇 蜂窝状点坑节能气缸套	圆圆
第 怨章 摇 超声珩磨	圆源
摇 异怨原员 摇 超声珩磨装置的工作原理	圆源
摇 异怨原圆 摇 纵向振动立式超声珩磨装置	圆愿

摇 异怨原瑶珩磨负载对超声振动系统谐振频率的影响.....	圆缘
摇 异怨原瑶钢质薄壁缸套超声珩磨.....	圆园
摇 异怨原瑶松孔镀铬层超声珩磨.....	圆愿
摇 异怨原瑶韧性材料超声珩磨机理.....	圆员
摇 异怨原瑶铸铁缸套超声珩磨.....	圆源
第 圆章 瑶 检验	圆元
摇 异怨原瑶主动测量	圆元
摇 异怨原瑶镀铬层质量	圆园
第 圆章 瑶 清洗	圆苑
摇 异怨原瑶产品清洁度	圆苑
摇 异怨原瑶清洗液	圆怨
摇 异怨原瑶气相清洗	猿园
摇 异怨原瑶超声清洗	猿源
摇 异怨原瑶电解清洗	猿愿
参考文献.....	猿怨

第 1 章 绪论

1.1 气缸套在内燃机中的作用

内燃机是指燃料在气缸内部进行燃烧,放出热能,并直接利用燃气的膨胀压力,推动活塞对外作功的发动机。因此,人们认为内燃机是一种热力发动机,其特点是将燃料在气缸内燃烧产生的热能转变为机械能。内燃机包括汽油机、柴油机、煤气机和燃气轮机等。但通常所说的内燃机,指的是往复式活塞式汽油机、柴油机。

外燃机是指燃料在发动机外部的专用设备(如锅炉)内燃烧的机器。外燃机包括蒸汽机、蒸汽轮机等。

作为动力装置的原动机——内燃机与蒸汽机相比,具有热效率高、体积小、质量轻、启动迅速、机动性好、功率大、转速范围广、配套方便、适应性好、造价低、使用经济性好以及维修方便等优点。因此,内燃机已广泛用于工业、农业、交通运输、国防建设和中、小型发电站。

按照我国《内燃机产品名称和型号编制规则》(GB 1907-83)规定,内燃机型号由阿拉伯数字和汉语拼音字母组成,其排序顺序和所代表的意义见表 1-1。

例如:

4105—表示单缸、二冲程汽油机,缸径 $\phi 105$ mm,风冷通用型。

源圆云——表示四缸、四冲程汽油机,缸径 ϕ 怨圆皂,水冷,车用型。

员缘云——表示单缸、四冲程柴油机,缸径 ϕ 苑缘皂,风冷,通用型。

源员缘粤——表示四缸、四冲程柴油机,缸径 ϕ 员缘皂,水冷,拖拉机用,粤表示改进序号。

员圆员缘部——表示 员圆缸、灾型气缸排列、四冲程柴油机,缸径 ϕ 员缘皂,水冷,增压,工程机械用。

内燃机按整机气缸数目的不同,分为单缸机和多缸机。多缸机又分为双缸机、四缸机、六缸机等。

气缸套是镶在内燃机缸体内的筒形零件。气缸套与气缸盖、活塞、活塞环组成了内燃机的核心——燃烧室。在气缸套里通过进气、压缩、燃烧、膨胀等过程,将热能转换为机械能。摇摇摇

气缸套结构包括整体式缸套、干式缸套和湿式缸套,见图 员原员

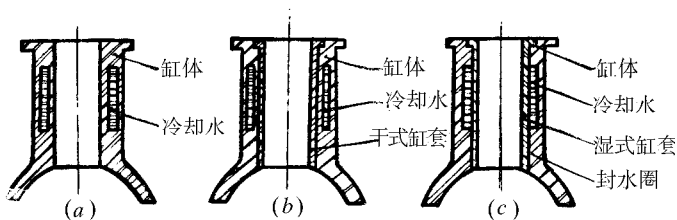


图 员原员 气缸套结构型式示意图

(葬)整体式缸套;(遭)干式缸套;(糟)湿式缸套。

早期的内燃机上没有气缸套,而只有与机体铸成一体的气缸(见图 员原员(葬)),壁厚一般为 远~ 苑皂,主要依铸造工艺

和大修(镗、磨孔)次数而定。随着科学技术和生产技术的发展,对气缸的可靠性、耐磨性的要求也逐步提高。起初,人们采取的办法是在铸造机体时添加些合金,如镍、铬、铜、钼等,虽然能够起到一定的作用,却难以满足内燃机技术性能不断提高的要求。另外,加入大量合金元素,不仅使缸体加工困难,同时成本也随之提高。通过长期实践,人们认识到气缸内表面工件条件恶劣(高温、高压、重负荷),应有严格的技术要求和优良的机械性能,而缸体其它部位工作条件较好,不应该提出苛刻的技术要求和机械性能。因此,缸体整体合金化,浪费巨大。

为解决上述矛盾,大约 20 多年前(1940~1945 年),英国最早设计制造了气缸与缸体分开的柴油机,即从独立的气缸逐步演变成缸体内镶入用耐磨材料制成的、可更换的圆筒零件——气缸套。从此,人类经历了许多艰苦的努力和大量试验研究,在设计、制造、材质、表面处理和检测等各方面有了许多改进提高,才有了形式多样、性能良好的气缸套。

气缸中镶入缸套的优点可以归纳为以下几点:

(1)形成了单独的耐蚀、耐磨工作面。

(2)延长了缸体使用寿命。

(3)改善了缸体加工工艺。

(4)节约了贵重的合金元素,降低了成本。

(5)缸套更换方便,有利于内燃机的维护保养。

目前,除少数负荷轻、缸径较小的汽油机外,大多数柴油机和汽油机,无论是民用还是军用,无论是陆地车辆还是航运船舶,都广泛使用着气缸套。

气缸套在内燃机中的作用可归纳如下。

1. 密封

气缸套与气缸盖、活塞、活塞环构成内燃机的密封工作空间,保证对高温、高压燃气的密封,以完成发动机的压缩、燃烧、膨胀等工作过程,提高内燃机的热效率。

圆导向

气缸套内表面是活塞、活塞环往复运动的导向表面,亦称支承表面,它对活塞起导向作用。

猿散热

气缸套通过缸壁向周围冷却介质(空气或水)传递大部分热量,以保证适宜的工作温度。

异员原因薄壁缸套的分类

随着汽车工业向轻体、重载、高速、节油和耐磨的高技术发展,新型换代新产品——薄壁缸套的研制、开发和生产势在必行。

薄壁缸套是指壁厚小于缘皂的气缸套。由于壁薄,可以减小缸孔中心距,增大气缸直径,增加发动机马力圆四倍以上,减轻发动机重量,缩小发动机体积,降低发动机耗油量,节约发动机制造成本和发动机运行费用。因此,薄壁缸套是当代发动机的发展趋势。

薄壁缸套的类型多样,下面根据冷却方式和材质分别进行分类。

一、按冷却方式分

根据冷却方式,薄壁缸套可分为干式缸套、湿式缸套(根据缸套外表面是否与冷却水直接接触分)和风冷缸套。

员新式气缸套

远

外壁不直接与冷却水接触的薄壁缸套为干式气缸套。缸径小于 100mm 的许多内燃机使用干式气缸套。干式气缸套的壁厚较薄，一般为 $1\sim 2\text{mm}$ 。

使用干式气缸套的优点：

(一) 发动机缸体的刚度高。

(二) 无冷却水密封问题。

(三) 缸孔中心距可缩短。

使用干式气缸套的缺点：

(一) 加工复杂。

(二) 加工废品率高。

(三) 成本较高。

(四) 装拆不便。

(五) 散热性能较差。

图 1-11(乙) 为干式气缸套，图 1-11(丙) 为 100mm 型柴油机干

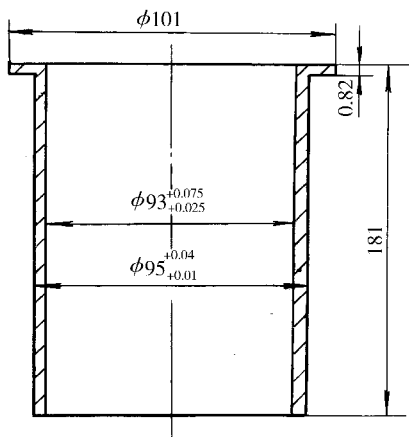


图 1-11(乙) 100mm 型柴油机干式气缸套示意图

式气缸套实例。

圆湿式气缸套

外壁直接接触冷却水的薄壁缸套为湿式气缸套 (见图 1-1-1)。湿式气缸套壁较厚,刚性高,变形小,制造与装卸较容易,散热性能较好。但是,对外壁密封要求很严格,缸体重量较大。更为突出的是缸径较大的缸套经常发生穴蚀。这种缸套在柴油机中应用极广。

图 1-1-1 是东风 4 型 190 型柴油机湿式缸套实例。

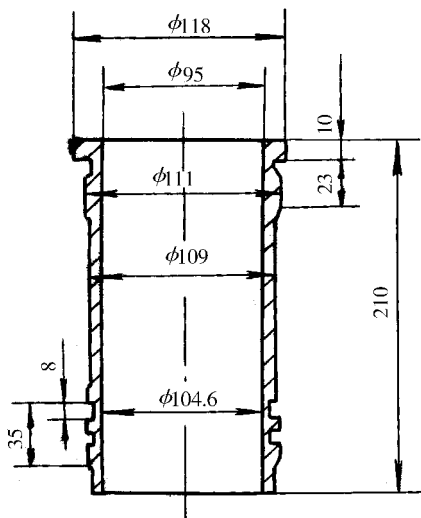


图 1-1-1 东风 4 型 190 型柴油机湿式缸套示意图

风冷缸套

靠缸套外表散热片散热的缸套为风冷缸套。

图 1-1-2 图 1-1-3 所示的缸套均为风冷缸套。

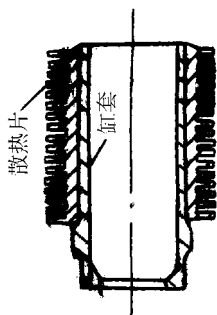


图 员原愿 双金属熔接浇注气缸

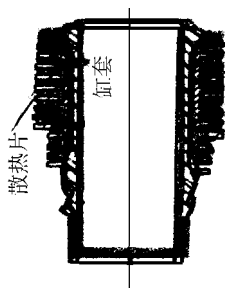


图 员原缘 热装散热片气缸

摇

二、按材质分

摇摇根据材质,薄壁缸套可分为合金铸铁气缸套、钢质薄壁镀铬气缸套、铝合金气缸套、双金属气缸套和陶瓷气缸套。

员 合金铸铁气缸套

合金铸铁是最常用的缸套材料,一般均系在灰铸铁中加入一种或多种合金元素制得。其主要特点是耐磨、润滑性能好、成本低、加工简便,有一定的强度和硬度。然而缸套壁较

厚,重量大,铸铁材料尤其是合金元素消耗较多。

合金铸铁主要是高磷铸铁、含硼铸铁和钒钛合金铸铁等。高磷铸铁缸套的含磷量一般为 $0.05\% \sim 0.15\%$,含硼铸铁缸套的含硼量一般为 $0.005\% \sim 0.015\%$,钒钛铸铁缸套的含钒量一般为 $0.05\% \sim 0.15\%$ 。

钢质薄壁镀铬气缸套

钢质薄壁镀铬气缸套基体采用 45 号钢,内表面镀铬。基体采用无缝钢管和钢板拉深成型管作为毛坯。

钢质薄壁镀铬气缸套的主要优点:

(1) 材质优良,其强度可比铸铁强度增大 2 倍。

(2) 缸套壁薄,仅 1~1.5mm,可获得较大缸径,有利于改装气缸,增大内燃机排量,提高发动机功率约 15%。

(3) 气密性高。

(4) 节省燃料。

(5) 内表面经特殊处理后,寿命延长,耐磨性极佳。

(6) 方便维修和更改,缸套成品为标准件,在装配时不需配磨,维修时不必使用镗床和珩磨机床,具有良好的互换性。摇摇摇

目前,我国钢质薄壁镀铬气缸套产量很低,国外则逐年增多。世界上最著名的“悦隆”牌缸套(英国莱斯特公司、泼金斯公司生产)即属此类。

铝合金气缸套

采用铝合金的优点是重量轻,刚度高,导热性好。缸径小于 100mm 的风冷柴油机多用铝合金气缸套,但内表面要镀铬。尽管如此,其耐磨性仍较差,膨胀系数也大,铸造工艺复杂,成本高,强度不够稳定。近年来,这些缺陷已有所克服。摇摇摇

缘双金属气缸套

双金属气缸套就是在铝合金气缸内镶入钢质薄壁镀铬气缸套或铸铁缸套,如图 1-15 所示。也可以采用双金属熔接浇注的方式制成气缸。由于双金属气缸具有良好的散热性和耐磨性,而且成本较低,所以在风冷柴油机中获得了广泛的应用,其结构示意图见图 1-16。

双金属气缸套可以克服铝合金气缸套的缺点。

缘陶瓷气缸套

早在 19 世纪 60 年代,就有人设想用陶瓷代替金属来制造发动机气缸套、缸盖和活塞等受热零件。由于陶瓷具有高硬度、耐磨、高温强度高、传热系数低、耐腐蚀等许多优点,可以很好地适应发动机高温工况,减少热损失,提高热效率。但因当时工艺技术条件尚不成熟,故未能成功。

1964 年,日本五十铃汽车公司采用氮化硅陶瓷等代替高温区域和摩擦剧烈的金属件,制成 1000℃ 级陶瓷发动机,这种新型发动机的工作温度可达 1000℃~1200℃,不用循环水冷却(金属缸套工作温度只有 500℃ 左右,要用循环水冷却),再加上这种新型陶瓷的密度还不及钢的一半(钢为 7.85,氮化硅为 3.2),所以,汽车的质量也随之减轻。另外,陶瓷发动机不仅可节省 1/3 的热能,油耗大大下降,而且工作效率可以提高 1/3~1/2。

1980 年,据美国《先进材料与工艺》报道,日本对结构陶瓷发动机取得了长足进展,即将进入整机试验阶段。

陶瓷发动机试验分为四个阶段:1983 年 10 月以前完成基本发动机设计;1983~1985 年,发动机在 1000℃ 高温条件下进行试验;1985~1987 年,在 1200℃ 高温条件下进行试验;1987~1989 年,在 1400℃ 高温条件下进行试验,同时对