

新型铝活塞

Advanced Al Alloy Pistons

刘达利 齐丕曜 编著

国防工业出版社

447928

新型铝活塞

Advanced Al Alloy Pistons

刘达利 齐丕骧 编著



00447928

3

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

新型铝活塞/刘达利,齐丕骧编著. - 北京:国防工业出版社,1999.8

ISBN 7-118-02021-4

I. 新… II. ①刘… ②齐… III. 铝合金-活塞 IV. TK243.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 31604 号

DU70/07

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13½ 351 千字

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 印刷

印数:1—1000 册 定价:24.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于 1988 年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

前 言

活塞是内燃机上最关键的运动件,它在高温高压下承受反复交变载荷,被称为内燃机的“心脏”,特别是坦克、舰艇和军用车船用内燃机活塞则要求更高,它已成为制约内燃机发展的一个突出问题。

本书为一部有关新型铝活塞的结构设计、材质性能、制作工艺、检测方法、生产实例及新技术发展方面的著作。为追赶世界先进水平,发展我国现代内燃机事业,针对活塞行业急需有关技术资料的实际情况,本书在系统阐述活塞设计制造理论的同时,重点介绍了活塞的实际生产技术;在反映国外先进水平的同时,突出介绍了国内及作者本人的有关研究成果。

本书由中国兵器工业总公司第五二研究所宁波分所刘达利高级工程师和齐丕骧研究员共同编著。本书共十三章,第一至第四章、第六章、第八至第十三章由刘达利编著,第五章、第七章和第十一章中第四节由齐丕骧编著。全书由齐丕骧研究员和高明灯高级工程师审阅。

本书在编著过程中得到第五二研究所及宁波分所各级领导、中国兵器工业总公司科技委副主任兼国防科工委先进材料技术组组长才鸿年研究员、五二所活塞厂顾问张祖贤研究员的关心和支持。张庭桓、李振中、冯绍仁、侯林冲、段丽萍等同志给予了帮助。各兄弟厂所提供了大量的技术资料。在此对他们表示衷心感谢。

活塞的设计制造涉及多学科,虽然在编著过程中注意收集新

技术、新知识和新信息,但由于我们能力有限,书中错误与疏漏在所难免,诚请读者提出批评和指正。

愿本书对读者有所帮助!

作 者

目 录

第一章 内燃机活塞	1
第一节 活塞在气缸中的运动.....	1
第二节 活塞组工作条件及其对活塞的要求.....	6
第三节 活塞的结构与选型	10
第二章 活塞基本设计	15
第一节 活塞的主要尺寸	15
第二节 活塞头部设计	29
第三节 活塞销座设计	35
第四节 活塞裙部设计	42
第五节 配合间隙	49
第六节 热膨胀控制活塞	56
第三章 活塞铝合金材料	61
第一节 活塞材料要求及其发展	61
第二节 共晶 Al-Si 活塞合金(Lo-ex 合金)	65
第三节 过共晶 Al-Si 活塞合金	81
第四节 Al-Cu-Ni-Mg 合金和 Al-Cu-Si 合金	96
第四章 活塞铝合金的熔炼铸造与热处理	99
第一节 活塞铝合金的精炼处理	99
第二节 铝硅活塞合金的变质处理.....	103
第三节 活塞铝合金中铁的控制.....	110
第四节 活塞铝合金的型内过滤处理.....	113
第五节 活塞的金属型铸造.....	117
第六节 活塞的热处理.....	139

第五章 挤压铸造铝活塞和锻造铝活塞	146
第一节 挤压铸造概述.....	146
第二节 挤压铸造活塞用铸型及设备.....	151
第三节 挤压铸造工艺.....	161
第四节 挤压铸造活塞的组织与性能.....	168
第五节 锻造铝活塞.....	175
第六章 镶圈铝活塞	182
第一节 镶圈的必要性及其结构形式.....	182
第二节 镶圈的制备.....	186
第三节 镶圈的预处理.....	193
第四节 镶圈铝活塞的铸造与热处理.....	196
第五节 Al-Fe 结合区的形成与特性	201
第六节 镶圈铝活塞的发展.....	208
第七章 铝基复合材料活塞	212
第一节 概述.....	212
第二节 铝基复合材料活塞的挤压铸造工艺.....	218
第三节 铝基复合材料活塞的其它制备工艺.....	224
第四节 铝基复合材料活塞的组织性能与应用.....	229
第八章 活塞冷却	239
第一节 活塞的冷却方式及其效果.....	239
第二节 冷却道活塞的油道设计与成形.....	245
第三节 盐芯铝活塞.....	249
第四节 电子束焊接铝活塞.....	253
第五节 蛇形管冷却铝活塞.....	260
第六节 组合活塞.....	263
第九章 活塞的机械加工	268
第一节 概述.....	268
第二节 活塞外圆型面的加工.....	272
第三节 活塞销孔加工.....	281
第四节 活塞燃烧室加工.....	286

第五节 活塞环槽加工·····	294
第十章 活塞表面处理 ·····	298
第一节 活塞表面处理的作用与发展·····	298
第二节 硬质阳极氧化·····	300
第三节 等离子喷涂陶瓷·····	309
第四节 镀锡与镀铅·····	312
第五节 二硫化钼与石墨化处理·····	315
第十一章 活塞质量控制 ·····	321
第一节 活塞毛坯质量控制·····	321
第二节 镶圈铝活塞 Al-Fe 结合质量控制·····	329
第三节 盐芯铝活塞的质量控制·····	334
第四节 铝基复合材料活塞质量控制·····	339
第五节 活塞的尺寸及形位检测·····	351
第六节 活塞涂层厚度测量·····	363
第十二章 活塞的损坏形式及防止措施 ·····	366
第一节 活塞顶面裂纹·····	366
第二节 活塞销座裂纹·····	372
第三节 活塞环槽过度磨损·····	376
第四节 活塞拉缸·····	382
第五节 其它损坏·····	385
第十三章 新型铝活塞的发展 ·····	388
第一节 薄钢顶隔热铝活塞·····	388
第二节 陶瓷活塞·····	391
第三节 薄壁球铁活塞·····	394
第四节 铰接活塞·····	397
第五节 低污染的高环铝活塞·····	401
附录一 活塞材料的特性值·····	404
附录二 铸造铝活塞表面缺陷的控制·····	411
参考文献·····	414

CONTENTS

1. Internal Combustion Engine Pistons	1
1.1 Movement of the Piston In The Cylinder	1
1.2 Operation Conditions of The Piston Group And Demands For Piston	6
1.3 Piston Structure And types Selection	10
2 Basic Piston Designs	15
2.1 Main Dimensions of Piston	15
2.2 Design of Piston Head	29
2.3 Design of Piston Pin Boss	35
2.4 Design of Piston Skirt	42
2.5 Fitting Clearances	49
2.6 Pistons With Controlled Thermal Expansion	56
3 Piston Al Alloy Materials	61
3.1 Demands And Development for Piston materials	61
3.2 Eutectic Al-Si Piston Alloys	65
3.3 Hypereutectic Al-Si Piston Alloys	81
3.4 Al-Cu-Ni-Mg Alloy And Al-Cu-Si Alloy	96
4 Melting, Casting And Heat Treatment on Piston	
Al Alloy	99
4.1 Refining Treatment on Piston Al Alloy	99
4.2 Inoculating Treatment on Al-Si Piston Alloy	103
4.3 Fe Control In Piston Al Alloy	110
4.4 Filtering Treatment In Cast Mould For Piston Al Alloy	113

4.5	Permanent Mould Casting On Al Alloy Piston	117
4.6	Piston Heat Treatment	139
5	Squeeze Casting Al Piston And Forging Al Piston	146
5.1	Squeeze Casting Introduction	146
5.2	Mould And Equipment For Squeeze Casting Al Piston	151
5.3	Squeeze Casting Technique	161
5.4	Microstructure And Properties of Squeeze Casting Al Piston	168
5.5	Forging Al Piston	175
6	Al Alloy Piston With Ring Groove Insert	182
6.1	Necessity of Ring Groove Insert And It's Structure Form	182
6.2	Manufacture of Ring Insert	186
6.3	Pretreatment of Ring Insert	193
6.4	Casting And Heat Treatment of Al Alloy Piston With Ring Groove Insert	196
6.5	Forming And Characteristic of Al-Fe Bond Area	201
6.6	Development of Al Alloy Piston With Ring Insert	208
7	Al-Based Composit Materials Piston	212
7.1	Introduction	212
7.2	Squeeze Casting of Al-Based Composit Materials Piston	218
7.3	Other Make Technique of Al-Based Composit Materials Piston	224
7.4	Microstructure Properties And Applications of Al-Based Composit Materials Piston	229
8	Piston Cooling	239
8.1	Piston Cooling Systems And It's Result	239
8.2	Cooling Channel Piston Designs And Take Shape	

of oil Channel	245
8.3 Salt Core Al Alloy Piston	249
8.4 Electron-beam Welding Al Alloy Piston	253
8.5 Al Alloy Piston With Coiled Cooling Channel	260
8.6 Composite Piston	263
9 Piston Machining	268
9.1 Introduction	268
9.2 Machining of Outer Round Form On Piston	272
9.3 Piston Pin Bores Machining	281
9.4 Piston Combustion Chamber Machining	286
9.5 Piston Ring Grooves Machining	294
10 Piston Surface Treatment	298
10.1 Function And Development of Piston Surface Treatment	298
10.2 Hard Anodizing	300
10.3 Ionizing Spray Coating	309
10.4 Tin Plating And Lead Plating	312
10.5 Molybdenum Disulphid And Graphitizing Treatment	315
11 Quality Control on Piston	321
11.1 Quality Control on Cast Blanks	321
11.2 Quality Control of Al-Fe Combination on Ring Insert Al Alloy Piston	329
11.3 Quality Control on Salt Core Al Alloy Piston	334
11.4 Quality Control on Composite Material Piston	339
11.5 Inspection on Piston Dimensions, Shape And Position	351
11.6 Coating Thickness Determined	363
12 Piston Damage Forms And Improve Method	366
12.1 Cracks In Piston Crown	366

12.2	Cracks In Piston Pin Boss	372
12.3	Excessively Wear of Piston Ring Groove	376
12.4	Piston Jamming In Cylinder	382
12.5	Other Damage	385
13	New Piston Development	388
13.1	Heat Insulation Al Piston With Thin Steel Crown	388
13.2	Ceramic-metal Piston	391
13.3	Piston of Thin Wall Nodular Graphite Cast Iron ...	394
13.4	Articulated Piston	397
13.5	High Ring Piston of Low Pollution	401
Appendix 1	Characteristic Value of Piston Materials	404
Appendix 2	Quality of Surface Defect For Cast Al Piston	411
	Bibliography	414

第一章 内燃机活塞

第一节 活塞在气缸中的运动

一、内燃机

将某种能量转变为机械能而驱动其它机械做功的机器,称为发动机。按照能量的不同形式,发动机可分为:热力、水力、风力、太阳能及原子能等。热力发动机是将燃料燃烧热能转变为机械能的机器。燃料在发动机气缸外部燃烧的热力机称为外燃机,如蒸气机、汽轮机等;燃料在发动机气缸内燃烧,将燃料燃烧热能直接转换成机械能的热力机称为内燃机。内燃机按使用的燃料不同可分为柴油机、汽油机、煤气机等;按循环数分为四冲程和二冲程发动机;按冷却方式分为风冷和水冷发动机;按转速或活塞平均速度分为高速、中速和低速发动机;按用途分为坦克用、汽车用、机车用、工程机械用、农用、船用等发动机。

二、活塞运动学

(一) 活塞的位移

活塞上止点(即活塞距离曲轴中心线最远的极限位置)对应的曲柄位置作为曲轴转角 α 的起点(令 $\alpha = 0^\circ$),此时活塞的位移等于零(图 1-1)。曲柄 OB 以 O 点为圆点作等速旋转运动,活塞(A 点)沿气缸中心线作往复直线运动,其速度与加速度呈周期性变化。活塞从上止点 A_1 到下止点 A_2 的距离,称为活塞行程 S , λ 为曲轴半径 R 与连杆长度 L 的比值。

从图 1-1 可看出,活塞位移 x 为:

$$x = \overline{A_1 A} = \overline{A_1 O} - \overline{AO} = \overline{A_1 O} - (\overline{CO} + \overline{AC}) = (R + L) - (R \cos \alpha + L \cos \beta)$$

经一系列推算化简

$$x = R(1 - \cos \alpha + \frac{1}{2} \lambda \sin^2 \alpha) \quad (1-1)$$

也就是说, 活塞位移是随曲轴转角 α 值和 λ 值的改变而变化的。当 $\alpha = 0^\circ$ 时, $x = 0$; $\alpha = 90^\circ$ 时, $x = R(1 + \frac{\lambda}{2})$; 当 $\alpha = 180^\circ$ 时, $x = 2R = S_0$ 。

(二) 活塞的速度

1. 活塞平均速度

活塞平均速度 C_m 是表示单位时间内, 活塞来回运动所经过的路程。

$$C_m = \frac{2S}{t} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ (m/s)}$$

式中 S ——活塞行程(m);

t ——活塞运行一周所需时间(s);

n ——内燃机转速(r/min)。

$C_m = 4 \sim 6 \text{ m/s}$ 为低速, $C_m = 6 \sim 9 \text{ m/s}$ 为中速, $C_m > 9 \text{ m/s}$ 为高速。坦克、舰艇和轿车用内燃机活塞 C_m 最高, 可达 $14 \sim 15 \text{ m/s}$ 。 C_m 越大, 摩擦损失越大, 内燃机效率越低。表 1-1 为各种用途内燃机活塞的平均速度。

2. 活塞瞬时速度

活塞速度是指活塞瞬时速度, 所以将式(1-1)对时间 t 微分, 便可求得活塞速度 V :

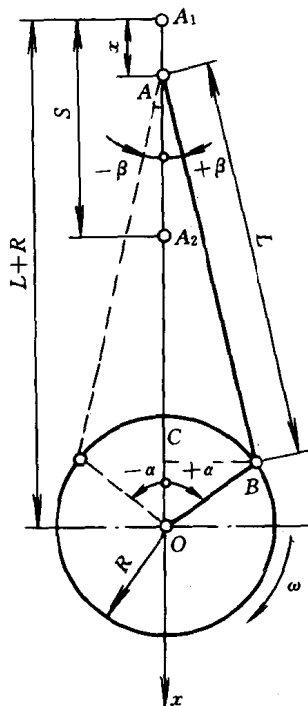


图 1-1 中心曲柄连杆机构的运动分析简图