

《国外机械工业基本情况》参考资料

87.37312  
SHC

# 汽车活塞环制造技术

上海活塞环厂编  
上海市拖拉机汽车研究所

第一机械工业部科学技术情报研究所

87.37312  
SHC

内容简介 《汽车活塞环制造技术》是《国外汽车制造技术基本情况》的一个分册。主要内容介绍了国外活塞环的发展概况、活塞环材料、活塞环的加工工艺及设备、活塞环的表面处理、活塞环的主要结构形式，活塞环的行业及企业规模，以及科研机构及测试装置等情况。可供汽车制造行业的科研、管理人员以及大专院校的教学工作者参考。

### 汽车活塞环制造技术

---

上海活塞环厂  
上海市拖拉机汽车研究所  
(内部资料)

\*

第一机械工业部科学技术情报研究所编辑出版  
北京印刷二厂印刷  
北京市中国书店 上海市科技书店 重庆市新华书店  
经 售

\*

1980年9月北京

代号：80—14·

定价：0.70元

# 出版说明

以华主席为首的党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。汽车活塞环制造技术为《国外汽车制造技术基本情况》的一个分册。主编单位是一机部第九设计院，编写单位是上海活塞环厂、上海市拖拉机汽车研究所，主要执笔人员有袁起元、韦炳鑫。

第一机械工业部科学技术情报研究所

# 目 录

一、概述	(1)
(一) 汽车发动机的高速、高功率化及柴油机化	(1)
(二) 目前活塞环的性能水平	(1)
(三) 活塞环行业概况和特点	(2)
(四) 加工设备	(4)
(五) 活塞环生产的今后趋势	(5)
二、汽车发动机用活塞环材料	(7)
(一) 铸铁	(7)
(二) 钢	(12)
(三) 粉末冶金	(12)
(四) 塑料	(13)
三、活塞环加工工艺及设备	(14)
(一) 铸造工艺及设备	(14)
(二) 机械加工工艺及设备	(26)
(三) 典型活塞环制造工艺流程	(36)
四、活塞环的表面处理	(37)
(一) 镀铬	(37)
(二) 喷钼	(45)
(三) 覆层发展趋势	(47)
(四) 铬覆层披膜及其他涂覆方法	(47)
五、活塞环的主要结构形式及环组排列	(49)
(一) 气环	(49)
(二) 油环	(51)
(三) “L”型活塞环	(54)
(四) 常用气环的结构形式	(55)
(五) 活塞环开口形状	(55)
(六) 典型环组排列	(55)
六、活塞环行业和企业	(58)
(一) 英国	(58)
(二) 日本	(59)
(三) 美国	(62)
(四) 苏联活塞环企业	(63)
七、科研机构及测试装置	(64)
(一) 活塞环科研机构	(64)
(二) 活塞环测试装置	(65)

# 一、概 述

活塞环是装在发动机内的形状简单的圆环，它的质量的好坏，不仅决定了汽缸活塞组零件的寿命，而且也影响发动机的起动质量、动力指标、添加的机油量、机油变质速度、排气烟度以及发动机的可靠性。因此，活塞环是发动机的关键零件之一，必须是高质量的。

## (一) 汽车发动机的高速、高功率化及柴油机化

近年来，随着公路网的日益完善，高速公路的迅速发展，促进了运输的高效率和合理化，汽车运输也向大型化、高速化和专用化的方向发展。加之劳动费用逐年增高和竞争不断加剧，因此，对发动机要求可靠而寿命长。

美国及西欧一些国家要求大型载重车用的发动机大修里程为48—60万公里。美国高速公路上载重汽车和轿车间的行驶速度差距已日益缩小。12吨以上的载重汽车最高车速已达到70—90公里/小时；35吨的达85—110公里/小时。近年来汽车的最高车速可达265公里/小时。1972年要求载重汽车每吨总重的功率为8.8马力，1974年则为11马力。

英国总重达38吨的载重汽车，1972年要求每吨总重的功率为8马力。

西德1972年规定每吨总重的功率须达8马力。近年来，各国达相继生产300马力级的大型发动机。

多数欧洲国家以及日本，由于石油依赖进口，特别是近几年资本主义世界的能源危机，不仅迫使他们千方百计设法控制石油的消耗，同时，也在积极研究新能源。西德等西欧国家已开始轿车上装用柴油机，在西德2吨以上的载重汽车已有95%以上采用柴油机。1967年日本排量在2升以上的发动机中，柴油机占77%，1970年已达80%以上。向来以用汽油机为主的美国，近年来也在发展中吨位汽车用柴油机。这是因为同级车相比，柴油机的燃料消耗大约是汽油机的三分之二到二分之一，大修里程也可延长50%左右。另外，柴油机与汽油机比较起来，尽管从噪音、机器价格等方面看来是不利的，但由于柴油机本身经济性好，加之柴油机热效率高，柴油价格便宜等原因，使其在使用中占很高的地位。

汽车发动机的高速、高功率化及柴油机化，对活塞环的性能水平提出了更高要求。

## (二) 目前活塞环的性能水平

为满足汽车工业的发展要求，必须提高汽车动力装置的额定性能。

图1-1〔1〕表明经过长期、缓慢然而稳定的发展以后，近十年至十五年以来，柴油机在额定性能方面有了显著的提高。尽管采用短行程结构，活塞平均速度还是比以前的6米/秒提高很多，特别是在汽车发动机上已提高至13米/秒。平均有效制动压力为140.6公斤/厘米<sup>2</sup>，并提高了压力升高比。在这种现代柴油机动力装置中，加于活塞环的热负荷和机械负荷是苛刻而复杂的。为满足使用要求，活塞环在性能上必须有相应的发展和提高。因为在为

数甚多的内燃机零件中，活塞环的作用良好与否，是发动机性能好坏的关键。

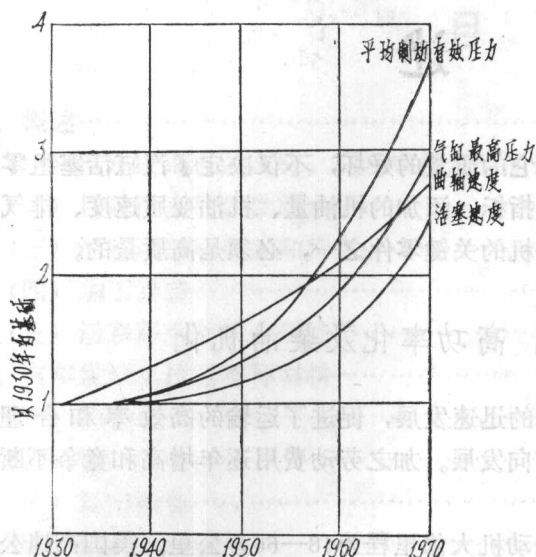


图1-1 汽车动力装置额定性能变化情况

对比过去，今日活塞环在性能方面的提高成绩是显著的。就汽油机来说，活塞环的磨损问题基本上已解决。1940年以前的汽车，不更换活塞环的运行最高纪录只有2万公里，而今天在汽车发动机进行第一次大修前，运行40万公里已成为普遍指标。

根据行驶里程要求，日本活塞环公司(NPR)活塞环使用寿命正向着50万公里的指标迈进。一般磨耗情况，柴油机第一道环7-8微米/万公里，汽油机第一道环5-6微米/万公里。润滑油的消耗量为33-50克/百公里。〔2〕

苏联高尔基汽车厂装有进口环的嘎斯(ГАЗ) -24 发动机，平均润滑油运行消耗量为43克/百公里。当M3MA-408 发动机在试验台上全负荷试验时，装有西德柯埃茨公司活塞环时，其润滑油耗量为150克/小时；而装有瑞士辛姆(SIM)公司油环时，润滑油耗量约为140克/小时。当意大利菲亚特(Fiat) -124型汽车在汽车和汽车发动机科学研究院的环形道上试验时，发动机润滑油的平均耗量为30克/百公里。〔3〕

综上所述，目前国外活塞环性能水平基本相近。

### (三) 活塞环行业概况和特点

汽车零部件工业是汽车工业的重要组成部分，汽车质量的优劣、数量的多少，都取决于它。近年来，各国汽车零部件工业和其他现代化工业一样，得到迅速发展。为适应汽车工业迅速发展的需要，活塞环生产无论在产量、质量和结构形状上都应有相应的发展、提高和改进。

#### 1. 活塞环行业概况

国外主要活塞环行业如表1-1所示。表中所列几个国家汽车年产量均较高，但生产活塞环的厂家并不多。如美国汽车年产量1千万辆以上，居世界首位，但汽车用活塞环却仅由二、三个工厂供应。日本汽车年产量居世界第二位，为800万辆左右，也只有理研、日本、帝国等三个公司供应活塞环。

#### 2. 汽车零部件工业专业化生产的特点

目前汽车工业的组织管理多采取专业化协作形式。一类是零部件厂，如变速器、发动机、活塞、活塞环、油泵油嘴、轴瓦、气门等专业厂；另一类是工艺专业厂，如铸造厂、锻造厂、冲压厂等等。美、英、日、西德等均属此种管理形式。

专业化协作方式便于集中力量提高产品质量，发展品种、降低成本，并有利于新工艺、新设备的采用，以提高劳动生产率。而零部件的发展对汽车工业的发展也起了推动作用。

表1-1 各国活塞环制造公司

公司 国别	主要活塞环制造公司
美国	普费克特·塞克耳(Perfect)Circle)、兰赛(Ransy)、马斯基肯(Muskegon)、锡尔德·泡厄(Sealed Power)
英国	韦尔沃锡(Wellworthy)、海帕沃斯&格兰迪季(Hepworth & Grandage)、布里克(Brico)、标准活塞环&工程有限公司(Standard)
日本	理研、日本、帝国
西德	柯埃茨(Goetzewerke AG)、坦维斯·汤普森(Teves Thompson GmbH)
苏联	敖德萨(Одесса)、米丘林(Мигуринский)、洛佐瓦亚(Лозовая)

专业化厂的建立要有一定的产量基础，因此，活塞环生产厂产量都很高，而生产活塞环的厂家并不多。专业化厂的特点是：

#### 产量高

美国的普费克特·塞克尔活塞环公司产量最高，为1800万片/月。锡尔德·泡厄公司和马斯基肯活塞环公司以及西德的柯埃茨公司等月产均为1000万片。而日本的理研、日本、帝国等三家活塞环公司月产均为700—800万片。英国 AE 集团1976年总年产量为二亿一千万片(铸铁环、钢片组合环和粉末冶金环)。

#### 都有自己的企业标准

欧、美、日等国家都较早地订立了国家或团体标准。

美国的 SAE 标准(美国汽车工程师协会标准)是作为一般汽车用发动机的标准(SAE 标准 N·J929 为活塞环和活塞标准)，该标准制订于1916年。1965年7月经发动机委员会修改，1966年7月经编辑修改后沿用至今。

英国活塞环标准(BS3627)于1963年在英国机械工程工业标准委员会的指导下订出。在制订过程中参照了美国 SAE 手册中有关活塞环和活塞的章节、1961年版的 SAE 标准以及美国汽车工程师协会在1954年9月出版的单片金属活塞环一文。

西德于1960年制订了有关活塞环的 DIN 标准，1971年进行了修改。

日本于1974年重新制订了“JASO<sub>60</sub>-E-102-74汽车活塞环”标准，代替1966年6月制订的“JASO-6606汽车活塞环”标准。

苏联于1967年制订了ГОСТ846-67汽车活塞环标准。

由于某些国家是在参照美国 SAE、N、J929 的基础上，结合本国具体情况，制订的汽车用活塞环标准。因此，各国标准均具有不同程度的相似之处。

国外各企业都有自己的技术和材料标准。这些标准系由各公司自行制订的，而国家标准只作为各企业的参考。

#### 重视质量管理和产品检验

面对工业的发展和国际市场的变化，各主要工业国在发展生产、提高生产能力的同时，都把较多的注意力集中于提高产品质量和降低产品成本，研究和采用了一种总体质量管理制，即从产品计划、设计到把质优价廉的产品卖出，使用户满意为止。

由于生产过程本身的机械化和自动化水平的不断提高，用传统的手工式的管理体制和管

理方法之间出现了严重的不协调，需寻求先进的质量管理方法。近年来，随着新兴的电子工业的发展，并被广泛使用于工业生产，使各国都意识到只有采用先进的电子计算机，实行自动化管理，才能适应形势的发展。

在活塞环成品检验中，多数采用抽检。据分析，主要是依靠掌握工艺过程的合理性与严格控制中间工序来保证。

#### 劳动生产率高

一种零部件集中生产，便于企业设备更新、提高自动化程度、提高劳动生产率。如英国 AE 集团的一个生产直径为 50—127 毫米的活塞环车间，不包括表面处理，其生产能力如表 1-2。

表 1-2 英国 AE 集团的活塞环车间

产量 片/小时	厂房面积 (米 <sup>2</sup> )	生产人员	设备总动力 (瓩)
2000—2500	1650	45	630

如按每天 7 小时工作，每月工作 25 天计，其劳动生产率为 9.34—9.44 万片/工人·年。

日本理研活塞环公司，现有活塞环生产工人 750 名，月产活塞环 700 万片，其劳动生产率为 11.2 万片/工人·年。

#### 与主机厂建立平等协作关系

美、英、西德和日本等国，活塞环的设计均由制造厂承担，按照主机厂发动机的性能及技术经济指标等要求，独立设计不同结构的活塞环。而苏联是按发动机制造厂的工作图纸进行制造的。

#### 主要企业设有科研机构

这些科研机构的主要任务是新产品的研制、测试及新工艺新材料的研究，以此加强对国内外同行业的竞争力。

英国 AE 集团为了在世界上保持领先地位，每年用于科学研究和发展的费用达一百多万英镑，拥有高级科研人员 400 多名，为世界上最大的科研机构之一。

英国希普莱特 (Hepolite) 实验室专门为海帕沃思—格兰迪季公司设计试验各种新型活塞环。

#### 建立广泛的国际协作和联系

为适应近代工业的需要，活塞环企业跨国签订技术合作协定，输入或输出先进技术。日本汽车零部件工业会把同国外进行技术交流作为事业发展计划的重要内容之一。

## (四) 加工设备

### 1. 铸造

#### 熔炼

一般采用冲天炉与电弧炉或感应电炉双联熔化。感应电炉使铁水中硫及其他非金属杂质



大为减少，铸件强度增高，化学成分容易控制，这对活塞环来说尤为重要。同时，实行电炉熔化还可减少空气污染，改善劳动条件，便于搞机械化和自动化，以提高劳动生产率。因此，越来越多地采用感应电炉熔炼活塞环材料。

### 造型

震击式造型机已基本淘汰。美国马斯基肯活塞环公司所属斯帕特 (SParta) 铸造厂采用连续无箱射压造型机，生产能力为240~300型/小时。英国东北部桑德兰德 (Sunderland) 活塞环厂采用全自动挤压造型机。日本活塞环公司 (NpR) 采用 GT500型门式造型机，生产能力为212型/小时。

目前，造型机要数日本理研活塞环公司的超高压四工位造型机的生产能力最高，其造型速度为每箱6秒，每小时600箱。

虽然各国采用不同的造型工艺和设备，但均以普通砂型为主，每垛铸型叠置数普遍达20箱，并采用各种不同形式的造型自动线。车间里装有高效率的集尘系统，改变了铸造生产的卫生状况。

### 浇注

浇注工序不仅劳动强度大，而且是高温作业。国外都在向机械化和自动化方面发展，并对此进行了大量的科学技术工作。如美国的斯帕特铸造厂和英国的桑德兰德厂都对铸造车间的机械化自动化进行了努力，但在浇注方面尚未得到完满解决。

英国海帕沃思——格兰迪季与韦尔沃锡活塞环制造公司采用将铸型浸入金属液的方法，来生产活塞环铸件。

## 2. 机械加工

目前世界上生产活塞环加工机床的主要企业有4家：

美国的 B&K 公司；

瑞士的辛姆 (SIM) 公司；

德国的 GETS 公司；

日本的片冈机械厂。

美国的 B&K 公司的产品比瑞士和德国的好，日本片冈机械厂是在改进美国产品的基础上发展的。〔4〕

目前，普遍以专用设备代替通用设备加工活塞环，并着重于提高单机自动化水平，减少操作人员，实行一人管多机，以提高劳动生产率。

活塞环加工机床单机自动较多，一机多能所见很少，已知的有瑞士辛姆公司制造的 TFA-150 自动或半自动车槽铣油孔两用机。日本片冈机械厂制造的全自动加工机床，能系统地对活塞环进行多工序加工。最近，片冈机械厂对此机床进行了改进，生产出型号为 R-3M 活塞环多工序加工机床。此机床的特点是三片活塞环可同时进行多工序加工，工效提高2倍。

## (五) 活塞环生产的今后趋势

近年来最明显的趋向是减低环高。早期活塞环的标准高度为3.17毫米，到三十年代，普遍为2.38毫米；现在为1.98毫米，个别甚至达到1.59毫米。减低环高、增大环的径向厚度是高强度发动机的一个既定的发展趋向。

三十年代以来，活塞环被有意设计成断面不对称，使其在环槽内产生扭曲。目前有正反扭曲环两种。

为减少排气中的有害成份，有顶环上移的趋势。

活塞环工作的有效性并非活塞环数目的函数，而是通过恰当的设计和对配套元件的加工和质量控制来达到的。在三十年代，强化柴油机上采用5-6片活塞环；四十年代减少到4片，而五十年代至六十年代则普遍采用3片活塞环。六十年代已出现1片气环的柴油机，并已正式成为商品。

目前，活塞环结构形状繁多，据有关资料介绍超过75种。随着发动机设计制造的进一步发展，在对活塞环性能有进一步了解的今天，有可能大大减少活塞环的结构种类。

材料方面，随着发动机额定功率、爆发压力和压缩比的提高，今后对合金铸铁、可锻铸铁，特别是球墨铸铁的应用将更加广泛。另外，粉末冶金环也将被广泛应用，同时也会象铸铁在活塞环上的应用一样，根据不同的用途采用不同成份组成的粉末冶金。

在表面处理方面，除电镀铬覆层外，六十年代初发展了等离子喷涂技术，为探索任意数量和品种的新材料作为活塞环表面覆层开辟了广阔的前景。在电镀超硬质材料方面，也有了一些新的突破，但目前的技术尚不能廉价地电镀象钼这样的高熔点覆层材料。

活塞环的问题是一个复杂的问题，预言将来的主要趋向是很困难的。然而很可能有下列几种情况：

汽车工业方面，随着输出功率的增加，需要提高活塞环材料与覆层的质量。

从生产成本方面考虑，要求加强材料，产品与工艺的合理化与标准化。

在基本材料方面，特别是对于较大尺寸的环，铸铁将保持领先地位。对较小尺寸的环，更广泛地采用粉末冶金环的可能趋向将取决于高质量铁粉的来源和价格。

由于新材料的采用所涉及的因素十分复杂，可以断言，在相当长的时间内，汽车用发动机活塞环材料主要的发展形式可能是继续改进而不是变革。

对于涂覆方式，等离子喷涂因其在发展新的覆层材料上有很大的潜力，有可能保持领先地位，但也可能同时发展以扩散过程为基础的另一一些方法。

无论是单体或筒体环，其传统的铸造工艺即使比新工艺差些，但铸造技术的不断发展有可能改进这两种环的竞争地位。〔5〕

## 二、汽车发动机用活塞环材料

对内燃机活塞环材料性能的要求是多方面的，主要有：（1）耐磨性；（2）贮油性；（3）硬度；（4）弹性；（5）强度；（6）耐蚀性；（7）耐热性；（8）切削性能等。其中耐磨性能尤为重要。

1945年以前，汽车发动机用活塞环材料主要是灰铸铁和低合金铸铁。由于灰铸铁具有良好的使用性能—耐磨性、弹性、强度以及具有大量生产的工艺性和廉价性，目前汽车发动机用活塞环材料仍以灰铸铁为主。

近年来内燃机性能有了显著的提高，特别是随着发动机向减轻重量、提高转速和负荷的强化方向迅速发展，需要减小活塞环的高度。因此，要求使用高强度铸铁，应运而生的是球墨铸铁，其发展颇为迅速。目前，除用作第一道环外，也有用作第二道环乃至油环的。

作为汽车发动机用活塞环材料主要有：

### （一）铸 铁

#### 1. 灰铸铁

环用灰铸铁化学成分及机械性能如表2-1所示。

表2-1 灰铸铁环的化学成分及机械性能（举例）

国 别	美 国	日 本	英 国	
化 学 成 分	C	3.80	3.50—3.87	3.4—3.9
	Si	2.90	2.41—2.94	2.1—2.9
	Mn	0.60	0.59—0.64	0.5—0.9
	P	0.40	0.31—0.39	0.4—0.8
	S	≤0.13	0.063—0.086	≤0.1
	Cr		0.16—0.37	≤0.4
	Mo			≤0.4
抗拉强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	21(最低) 42(折断) 35(最大允许应力)	30以上 (抗弯强度公斤/毫米 <sup>2</sup> )	27.9	
弹性模数 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	8400—11200 于28公斤/毫米 <sup>2</sup> 时	8000—11000	9110典型	
弹力衰减率 (300°C×小时)		10%以下(气环)		
硬 度	RG77.5—91	H <sub>RB</sub> 94—107		

由于Cr既能稳定珠光体基体，又能改善活塞环综合机械性能，日本和英国的灰铸铁中均含有Cr。

成分相同的铸铁，由于化铁法、孕育法及毛坯尺寸的不同，其成品的质量也有很大差异。

日本各公司认为，片状石墨组织是在铸造时形成的，且在热处理过程中保持不变，因此，即使用热处理改变了基体组织，材料的弹性模数仍不会改变。

控制石墨大小、数量和分布情况是普通铸铁活塞环提高强度的途径之一。

## 2. 合金铸铁

在保持石墨所具有的润滑的基础上，在铸铁中加入适量的铬、钛、钒、钼、铜、镍等元素，以提高活塞环的强度和热处理效果，即为合金铸铁。合金铸铁的石墨组织也包括片状、粒状和球状。

表2-2、表2-3为美国、日本合金铸铁的化学成分和机械性能。

表2-2 美国合金铸铁类活塞环材料

牌 号		K-6E	K-14	M-55	M-67
简 要 说 明		于湿砂模中单体铸成 基体：珠光体及针状组织	经热处理基体—回火马氏体，用于强载发动机大小断面活塞环	合金铸铁经热处理，于湿砂模中单体铸成 基体—珠光体	离心浇注 基体—珠光体及磷共晶
化 学 成 分	C	3.55—3.90	3.55—3.90	3.60—3.90	2.80—3.15
	Si	1.50—3.10	1.50—3.10	2.60—2.90	1.65—2.15
	Mn	0.60	0.60	0.60—1.00	0.50—0.90
	S	0.12(最大)	0.13(最大)	0.10(最大)	0.10(最大)
	Ni	—	1.10	0.25—0.45	0.35(最大)
	Cr	0.30	0.30	—	0.50—0.90
	Mo	0.45	1.10	0.35—0.65	0.25—0.50
	P	0.30	0.40(最大)	0.20—0.40	0.45(最大)
	V	—	—	—	0.20(最大)
Cu	—	—	0.10—0.20	0.30(最大)	
机 械 性 能	抗拉强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	21—28(最低) 38.5—51.1(断裂) 28—38.5 (最大许用应力)	31.5 59.5 38.5	56	67.2
	弹性模数 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	0.77—1.19×10 <sup>6</sup> (因断面而异)	0.91—1.26×10 <sup>6</sup>	0.91—1.12×10 <sup>6</sup>	1.33—1.61×10 <sup>6</sup>
	硬 度	RG68-93	H <sub>RC</sub> 23-24	H <sub>RB</sub> 95-105	H <sub>RB</sub> 100-108

表2-3 日本合金铸铁类活塞环材料

C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	硬 度 R <sub>B</sub>	弹 性 模 数 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	组 织
3.7	2.80	0.75	0.51	0.32	—	—	—	0.12	0.07	104	9600	片 状 石 墨 珠 光 体
3.6	2.4	0.70	0.45	0.30	0.78	—	0.67	—	—	106	9800	片 状 石 墨 贝 氏 体
3.1	1.8	0.73	0.15	0.79	—	0.45	0.65	—	—	105	15000	片 状 石 墨 贝 氏 体

### 3. 可锻铸铁

可锻铸铁的弹性模数为15000公斤/毫米<sup>2</sup>以上，抗弯强度为95公斤/毫米<sup>2</sup>以上，虽比不上球墨铸铁和钢，但比灰铸铁高得多，这对防止环折断是有利的。过去曾被广泛用于机械强度和冲击强度要求较高的发动机上。

可锻铸铁环因铸造及热处理工艺上的限制，不宜做得过大，一般用于制作 $\phi 200$ 毫米以下的环。

目前，由于球墨铸铁的发展，可锻铸铁逐渐被球墨铸铁所代替。这是因为两者的机械性能虽差不多，但球墨铸铁制造工艺较可锻铸铁简单。如日本活塞环公司目前球墨铸铁和可锻铸铁环占总产量的20%，而可锻铸铁环仅占5%，今后可锻铸铁环还有减少的趋势。

### 4. 球墨铸铁

为适应发动机高速化，需减薄活塞环的轴向厚度，以提高活塞环对气缸壁的压力。片状石墨铸铁在加大活塞环自由开口间隙和径向厚度以提高其张力方面，有一定的限制。必须采用弹性模数高而抗弯强度大的材料。另外，发动机高转速会出现活塞环共振影响，发生疲劳破坏，所以采用高强度铸铁材料的必要性日益增加。高弹性模数材料的活塞环的优点是固有频率高，因此，发生共振的转数就变得很高。

球墨铸铁是四十年代发展起来的新型结构材料，其机械性能正符合上述需要。

球墨铸铁之所以具有良好的机械性能，是因为石墨为球状，其表面积与其体积之比值为最小，铸件的有效截面积被减小的程度也最小，这就大大降低了石墨分布部位附近的应力集中值。当石墨为球状时，铸铁的金属基体强度不仅能够有效利用70—90%（当石墨为片状的时候，铸铁的金属基体的强度能够有效利用的不超过30—50%），而且创造了利用金属基体的塑性的可能性。

表2-4为各种铸铁机械性能比较。由表可知，灰铸铁加合金后铸件的强度提高了，如同时加入Mo、Cu、Ni、Cr、V等元素，抗弯强度可提高50%，弹性模数可提高20~25%。但不管合金添加程度及金属基体如何，铸铁的塑性特别是冲击韧性很低（ $a_k < 0.5$ 公斤·米/厘米<sup>2</sup>）。球铁的最大优点是强度高，承受冲击负荷及突变负荷的性能好（这时材料的塑性起着很重要的作用）。因此，尤其适用于直径与径向厚度之比值较小的高面压活塞环。

表2-4 各种铸铁性能比较

铸铁种类	机械性能	抗弯强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	硬 度 H <sub>RB</sub>	延 伸 率 $\delta$	冲击韧性 $a_k$	弹 性 模 数 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )
非合金铸铁		40—45	98—102	—	极 低	7700—8200
合金 铸 铁	0.29%Mo 0.29%Cr	50—53	100—105	—	极 低	8500—9000
	0.5%Mo、0.8%Cr	60—62	106—110	—	低<0.5	9500—10200
	1%Mo、1%Cu 0.7%Ni、0.5%Cr 0.2%V	68—70	108—114	—	低<0.5	11000—13000
	球 墨 铸 铁	130—160	100—112	> 3	> 2	15500—17500

球墨铸铁类活塞环材料见表2-5、2-6。

表2-5 日本球墨铸铁环材料

项 目 牌 号	适用缸径 (毫米)	弹性模数 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	抗弯强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	硬度 HR <sub>B</sub>	弹力 消失率 %	化 学 成 分 %							用 途
						Tc	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	
RIK-20	< φ100	17000	>100	100	< 7	3.5	2.2	0.5	0.2	0.05	/	/	高速发动机第一道环和高面压油环
	> φ100 < φ200	16000		110		4.2	3.4	1.0	以下	以下			
RIK-20A	< φ100	17000	>100	HR <sub>C</sub> 25	< 7	3.5	2.2	0.5	0.2	0.05	/	/	同上
	> φ100 < φ200	16000		38		4.2	3.4	1.0	以下	以下			
RIK-21A	> φ200 < φ400	16000	>100	100   110	< 7	3.3   4.0	2.0   3.2	0.2   0.8	0.2   以下	0.05   以下	/	/	中速发动机第一道环
RIK-24	< φ200	17000	>100	HR <sub>C</sub> 25   38	< 7	3.5   4.2	2.2   3.4	0.5   1.0	0.2   以下	0.05   以下	0.5   1.0	0.5   1.0	柴油机第一道环
RIK-25	< φ200	17000	>100	HR <sub>C</sub> 35   48	< 5	3.5   4.2	2.2   3.4	0.5   1.0	0.2   以下	0.05   以下	0.5   1.0	0.5   1.0	高速内燃机第一道环

表2-6 美国球墨铸铁类活塞环材料

牌 号		K-16	K-27	K-28	M-89
简 要 说 明		珠光体非合金球铁，用于缸径108~533毫米的四冲程和二冲程柴油机作第一环	马氏体合金球铁，用于强载发动机，一般均镀铬。	高硬度马氏体合金球铁，常与沟状镀铬缸套配偶作中间环或油环。	非合金球铁，于湿砂模中单体铸成。
化 学 成 分 (%)	C	3.00~3.65	3.00~3.65	3.00~3.65	3.00~4.00
	Si	1.70~2.70	1.70~2.70	1.70~2.70	4.00~5.50
	Mn	0.50	0.50	0.50	0.25~0.50
	Mg	0.05	0.05	0.05	0.01~0.06
	S	0.03(最大)	0.03(最大)	0.03(最大)	0.04(最大)
	P	0.10(最大)	0.10(最大)	0.10(最大)	0.20(最大)
	Cu	—	0.50	0.50	—
	Mo	—	0.50	0.50	—
机 械 性 能	抗拉强度(公斤/毫米 <sup>2</sup> )	63	77	84	
	屈服强度(公斤/毫米 <sup>2</sup> )	45.5	56	70	
	断裂强度(公斤/毫米 <sup>2</sup> )	91	116	126	140
	最大允许应力(公斤/毫米 <sup>2</sup> )	49	70	105	
	弹性模数(公斤/厘米 <sup>2</sup> )	1.47~1.75 × 10 <sup>8</sup>	1.47~1.75 × 10 <sup>8</sup>	1.54~1.82 × 10 <sup>8</sup>	1.47~1.75 × 10 <sup>8</sup>
硬 度	HR <sub>C</sub> 22~32	HR <sub>C</sub> 24~30	HR <sub>C</sub> 40~46	HR <sub>B</sub> 98~108	
冲击强度	30	23	8	—	

活塞环用球墨铸铁理想的金相组织是球墨特别细小且数量多，分布均匀。由于球状石墨的面积与体积之比值最小，与片状石墨相比，润滑条件是不利的。但只要球状石墨的尺寸、粒度和分布达到一定的要求，仍有良好的润滑性能。日本球墨铸铁环的石墨分布率为600—1000颗/毫米<sup>2</sup>，美国的为930—1100颗/毫米<sup>2</sup>。

日本理研活塞环公司的资料进一步表明,当球墨铸铁经淬火、回火处理,使基体呈针状组织(贝氏体),其性能更好,如表2-7。

表2-7 日本球铁机械性能(针状组织)

性能	材料	一般铸铁	球墨铸铁	球墨铸铁(针状组织)
弹性模数(公斤/毫米 <sup>2</sup> )		9500	15000	16000
抗弯强度(公斤/毫米 <sup>2</sup> )		>35	>100	>100
硬度 HR <sub>B</sub>		95—107	100—107	HR <sub>C</sub> 35—45

美国斯帕特(Sparta)铸造公司研制了一种高硅铁素体球铁(表2-6中的M-89)。该材料与珠光体、马氏体球铁不同,可以直接浇出薄截面的活塞环而不会产生白口,也不需另行热处理就可以获得所需的高强度与耐磨性。在美国常用的是马氏体球墨铸铁。

### 5. 硼铸铁

合金铸铁需加入多种不同含量的合金,成本较高,加之日本合金资源缺乏,因此,日本研制出一种资源易得且具有良好耐磨性的“加硼铸铁”。目前被广泛地应用于活塞环和缸套的生产。日本活塞环公司加硼铸铁环占活塞环总产量的50%,而缸套则全部用加硼铸铁材料。加硼铸铁即在活塞环铸铁中加入0.02—0.08%的硼,可析出特殊的磷共晶,其硬度达Hv1000~1200,这种高强度的硼碳化合物固溶于碳化铁中,形成复合碳化物,使抗磨性大为提高。由于控制石墨使其分布均匀,不致降低铸铁强度;同时,加硼形成的碳化物能均匀地分布于基体中,故铸铁仍具有良好的切削性能。

硼及其他元素的用量对铸铁机械性能的影响如下:

磷:铸铁中磷的增加,磷共晶也增加;硼的增加,则碳化物量增加。但对活塞环用材料,含磷量不能超过0.6%;含硼量不能超过0.08%,否则会引起材料变脆,强度下降。

硅:硅是一种石墨化元素,而硼的最大特点是加入微量,即可促使碳化物析出,且效果显著。因此,即使铸铁中含硅量高达2.8%时,而硼加入量仅为0.04%也有碳化物析出,故在实际生产中,硅对硼的影响不大。

铬、钒:是阻碍石墨化元素,少量存在对硼的加入量影响不大。

硼对石墨的影响:加入量在0.08%以下对石墨影响不大,超过0.08%,则石墨大小一致,分布均匀。当硼增加到1%时,铸铁组织为珠光体和碳化物,石墨消失。

硼对铸铁硬度和强度的影响:硼量增加,硬度上升,当含硼量增至2%时,由于硼碳化物的增加,碳化物硬度可达Hv1300。但硼量增加,强度和抗折断性能有下降的趋势,不过较缓慢。如要达到JIS标准规定的强度,则含硼量应在0.1%以下。

### 6. 铈铸铁

日本活塞环公司认为,活塞环新铸铁材料的研究方向应集中在两点,在强度方面,改变石墨形状;在耐磨性方面,主要是利用碳化物等硬析出物来改善。前者如上述球墨铸铁即是一例。后者如硼铸铁,但它与获得活塞环材料专利权的日本帝国活塞环公司称之为“朋泰伊托”W-41的材料比较起来还有不足之处。

W-41(图2-1)即含铈铸铁,它是在熔炼过程中加入铈铁,使其含铈量达到0.38—

0.42%，促使铸铁中析出每平方毫米 100 个以上的铈的碳氮化合物。当这种化合物呈球形均匀分布于珠光体中，尺寸为 3—7 微米时，试验证明此时耐磨性最好。其硬度比磷共晶约高 2 倍，为 Hv2000~2500。

铈铸铁的耐磨机理如图 2-2 所示。凸出的是非常硬而细小的铈的碳氮化合物，构成第一滑动面而起到耐磨作用，和基体构成的二次滑动面间形成油槽并保护了基体的氧化膜。因此，即使在边界润滑条件下，也能保证一定程度的润滑。这样，既提高了本身的耐磨性，也减少了匹配材料的磨损。

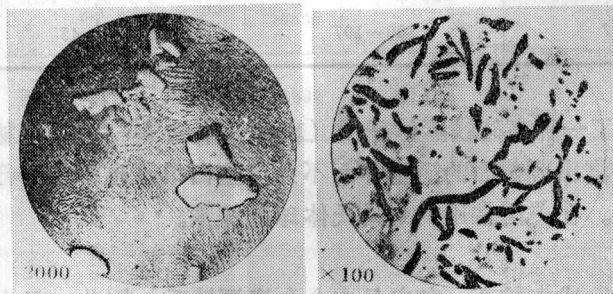


图2-1 铈铸铁金相

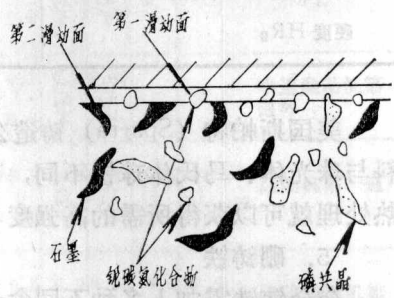


图2-2 铈铸铁的耐磨机理

试验证明，铈铸铁具有优良的耐磨性能，其磨损量为硼铸铁的75%。

硼铸铁虽然也构成第一滑动面和第二滑动面，但是构成第一滑动面的特殊磷共晶沿晶界析出分布，而且块度较大，这种稀疏的磷共晶所构成的第一滑动面和第二滑动面间的存油能力不如铈铸铁好。同时，硼铸铁第二滑动面氧化膜易于过早断裂引起拉缸，有时磷共晶易脱落而造成磨粒磨损。而铈铸铁则不仅耐磨性好，而且引起烧伤、拉缸的危险性较小。

铈的碳氮化合物虽很硬，但很细小，对石墨和基体组织影响不大，对铸铁硬度影响也不大，除提高铸铁耐磨性外，不会降低切削性能。

氮在一般铸铁中呈游离杂质存在于晶界上，这些杂质在一定程度上降低了晶粒间的结合力。加铈后，由于形成了铈的碳氮化合物，从而净化了晶界，提高了晶粒间的结合力，故普通铸铁加铈后，不进行孕育处理就可提高强度约20%。

另外，由于铈的碳氮化合物是在初晶渗碳体中析出的，并在凝固初期几乎都形成了铈的碳氮化合物，因此，高温性能稳定，提高了耐热性<sup>[6]</sup>。

## (二) 钢

钢虽具有很高的机械强度，但由于耐熔着磨损的性能很差，作为压缩环材料，除了在中型柴油机上曾有使用实例外，其他发动机很少使用。

随着发动机高速化，为提高活塞环的壁压，降低油耗，提高功率，大量采用钢带加工制成的钢带组合油环。

## (三) 粉末冶金

粉末冶金是一门比较古老的技术。由于电火花腐蚀技术的发展，使生产粉末冶金件最重



要的工具——模具制造成本降低，并使金属粉末制件的精度误差缩小一半，因而促进了这门技术的发展。

用粉末冶金制造活塞环的主要特点：

1. 粉末冶金的挤压和烧结处理便于生产，且材料特性尤其是保持润滑油性能，是任何其他生产方法所难以实现的。
2. 可获得金属学理论上无法组成的合金。
3. 这种处理方法可有较高度度的自动化。
4. 整个加工过程中，由于不存在熔炼过程，故比较容易获得稳定的质量。

英国布里克 (Brico) 公司的资料介绍，该公司的重型发动机粉末冶金环是用作为专利的合金制成，实际应用证明，在耐磨、抗拉缸和强度等方面都比一般的材料要好。在降低油耗以及耐磨性方面，优于镀铬环和喷钼环。粉末冶金环还可根据使用者的要求，制造出直径从17—152毫米、环高可低到0.6毫米的各种尺寸的环。英国布里克公司的粉末冶金环材料307的金相见图2-3〔7〕。



图2-3 307粉末冶金材料金相

美国用粉末冶金材料制成的活塞环在汽车行驶101400公里后，端面的磨损与镀铬环相同，而外圆面的磨损只有标准铸铁环的十分之一。马斯基肯活塞环制造公司制成了一种由C1.25%、Si0.2%、Mn0.5%、Mo0.9%、Cu3.0%等成分组成的粉末冶金环，经实际试车，效果与铬环相仿。

在粉末冶金的研究和实际使用方面，捷克斯洛伐克从1956年开始，就已成批生产装有粉末冶金环的发动机。日本使用粉末冶金环不普遍。

粉末冶金环的耐磨性好，其磨合期可延长20000—25000公里，但原始材料成本和最初加工成本相对比较高，因此，在汽车工业中大量采用粉末冶金环之前，必须消除这些不足之处。

#### (四) 塑料

随着化学工业的发展，塑料的生产与消耗量迅速增长。目前塑料已不是单纯地代替其他材料，而是形成了一个独立的材料体系。

塑料可减轻零件重量，设计自由度大，成本低。但从目前看来，塑料环正式用于内燃机还不能满足产品要求，但试验研究工作仍在不断进行中，试验数据表明，在内燃机上应用塑料环具有增大发动机的功率，减少燃料消耗，改善起动性能和减小活塞环的磨损等优点〔8〕。