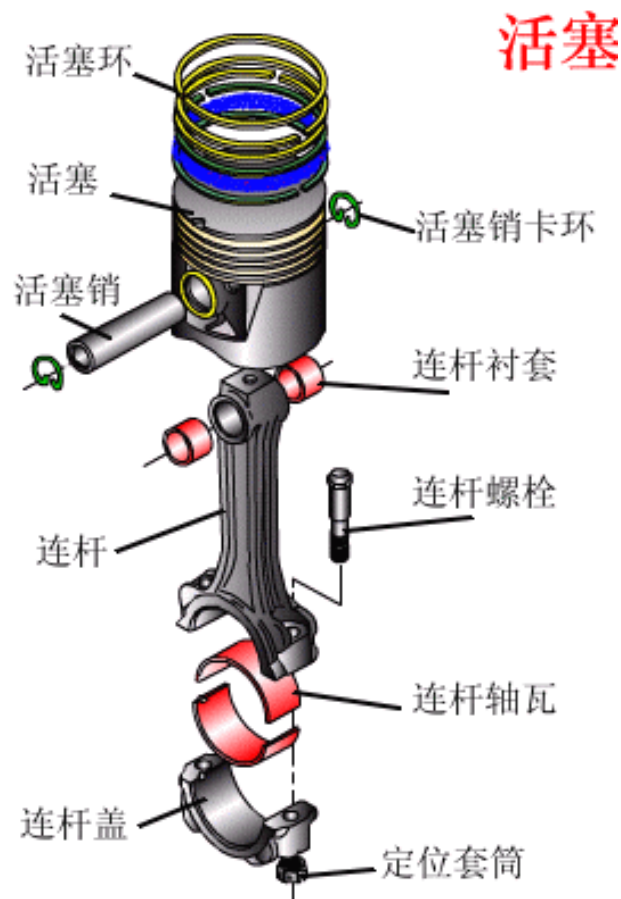


第四节 活塞环制造工艺

Manufacturing technology of piston ring

内容提要

- 一 活塞环的结构特点、材料和加工技术要求
- 二 活塞环的成形方法
- 三 活塞环表面的加工工艺
- 四 活塞环的检验



一 活塞环的结构特点、材料和技术要求

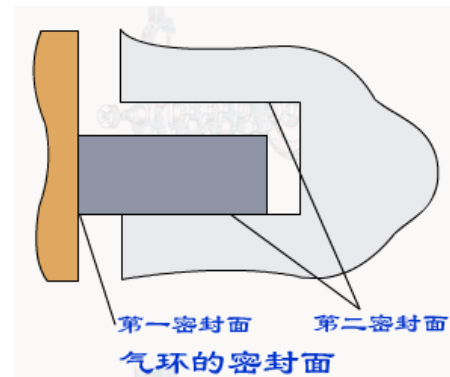
1. 活塞环的结构特点

Structures and properties of piston ring

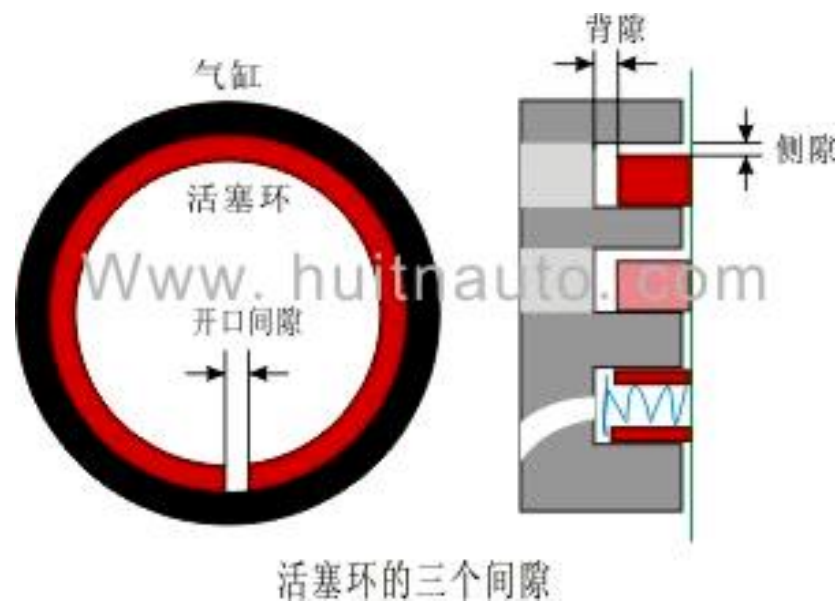
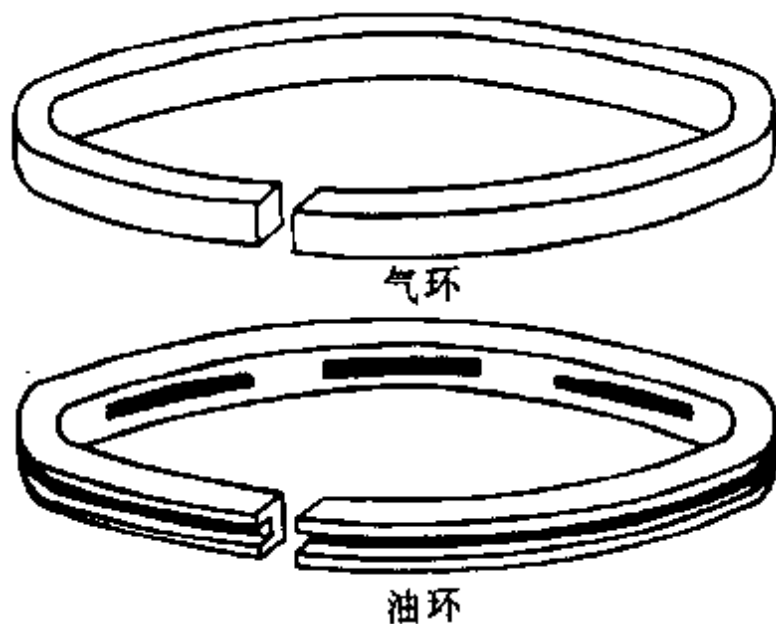
(1) 工作条件:

- 1、温度很高(特别是第一道环温度可高达 300°C),
- 2、活塞环在气缸内随活塞一起作高速运动,
- 3、高温下机油可能变质,使环的润滑条件变坏,磨损严重。
- 4、环受到交变应力而容易折断。

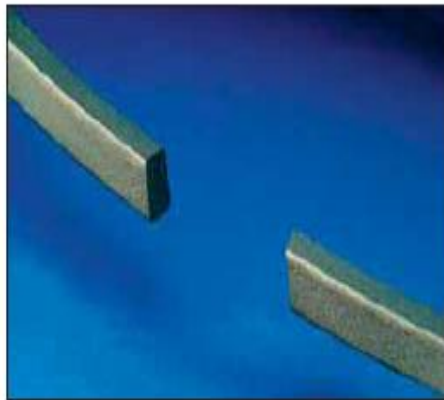
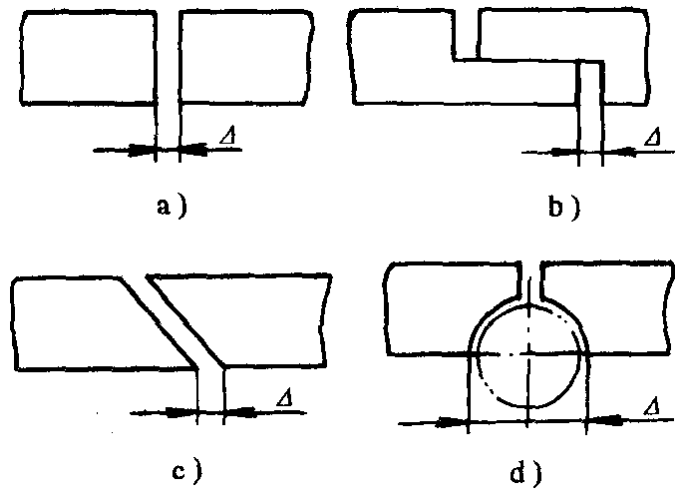
要求活塞环：弹性好，耐高温、强度高、耐磨损。



(2) 活塞环种类



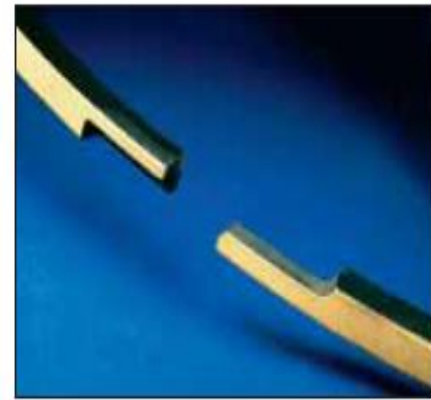
(3) 气环的切口 (搭口) 形状



Oblique cut (left cut 60 degrees)
piston ring



Daroseal type of piston ring



Gas tight type of piston ring

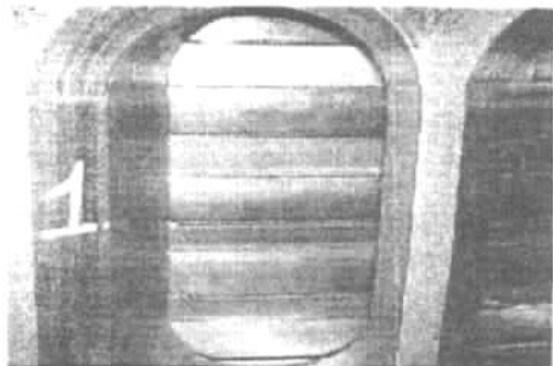
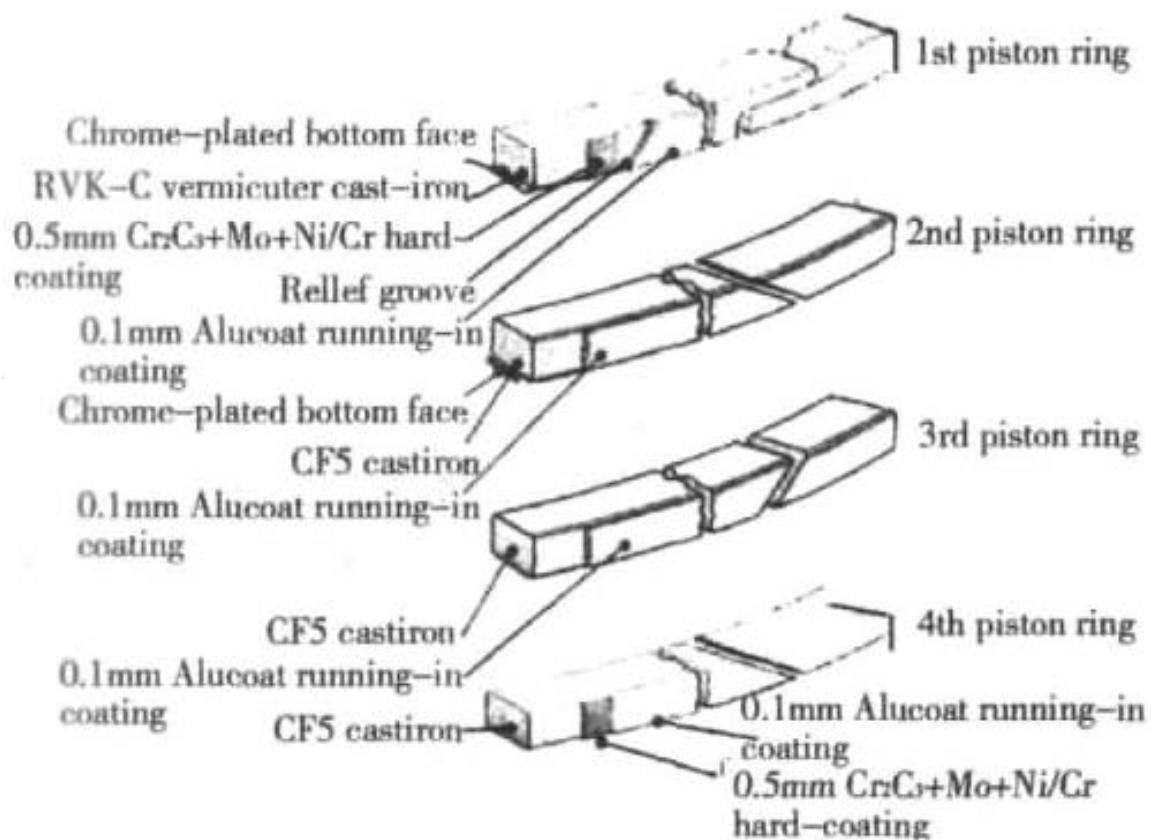



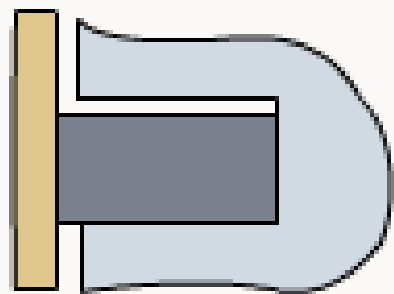
图 4



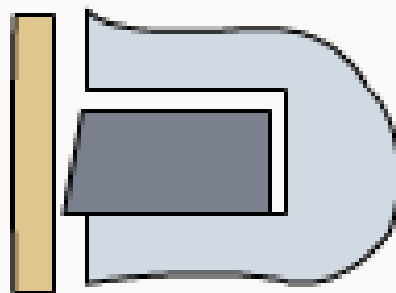
MAN B&W (S90MC-C) 第一道环采用 “” 形设计，大幅降低环搭口所承受的热负荷。

范明康（上海远洋运输有限公司）. 介绍一种新型船用柴油机活塞环. 航海技术. 2009 年第3 期：56-57

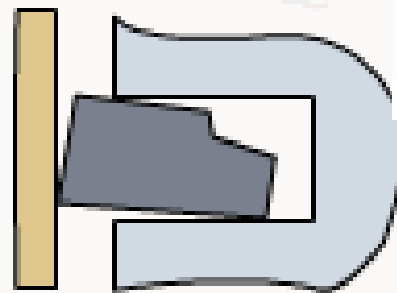
(4) 气环的断面形状



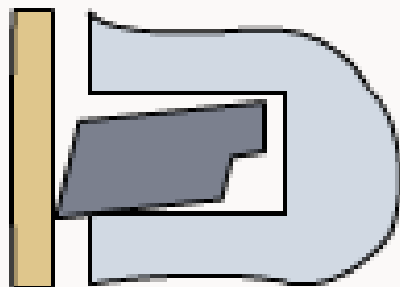
矩形环



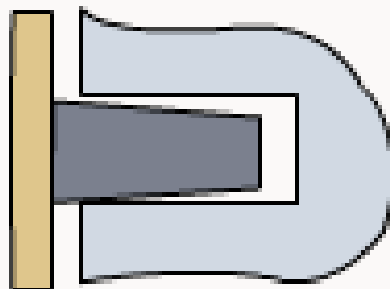
锥面环



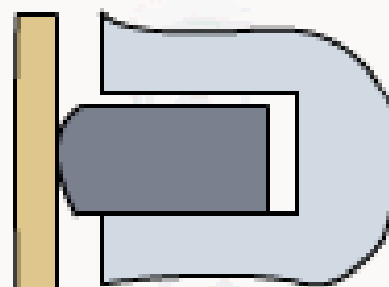
扭曲环



扭曲环



梯形环



桶面环

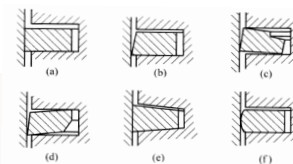


图 2-9 气环的断面形状
(a) 矩形环 (b) 锥面环 (c) 正扭曲内切环
(d) 反扭曲锥面环 (e) 梯形环 (f) 桶面环

(5) 气环的受力

1) 轴向压力分布:

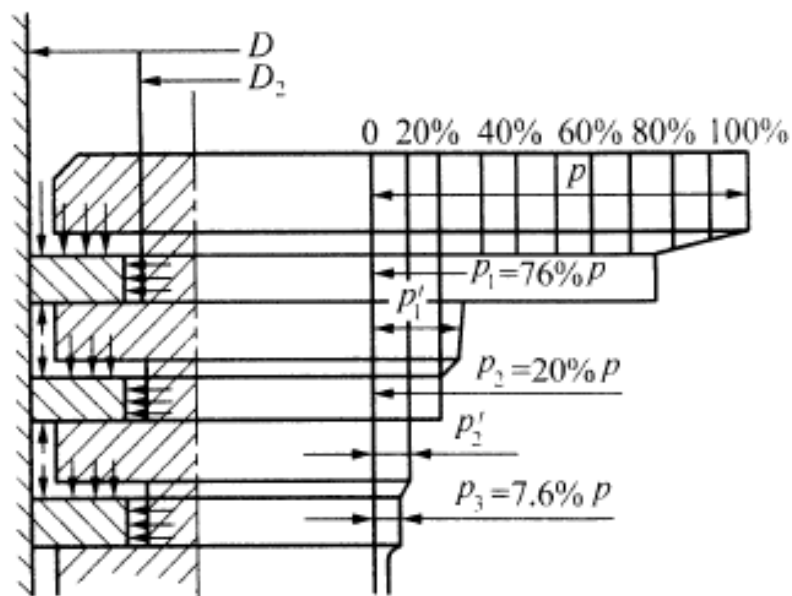
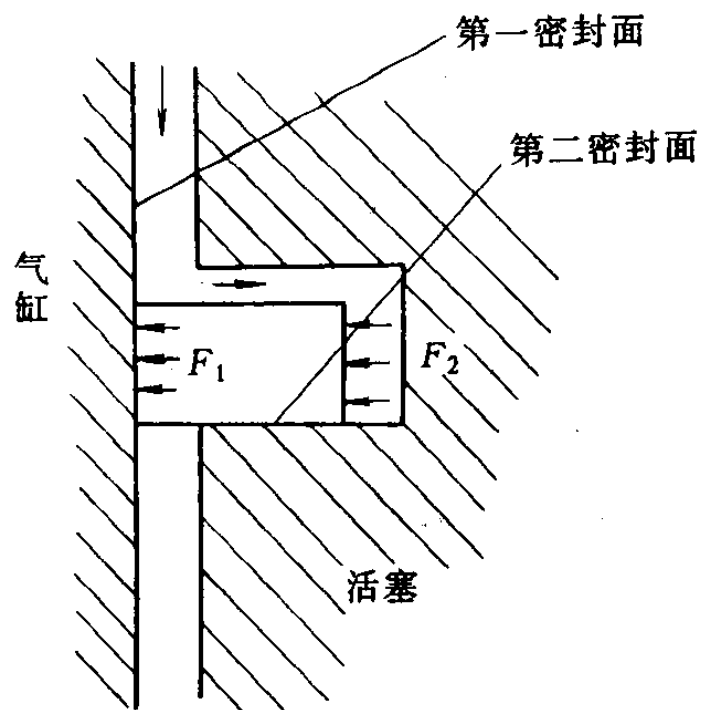


图 2-8 各环间隙处的气体压力递减图

2) 活塞环的运动:

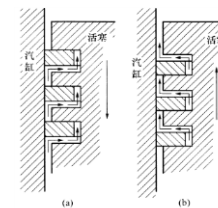
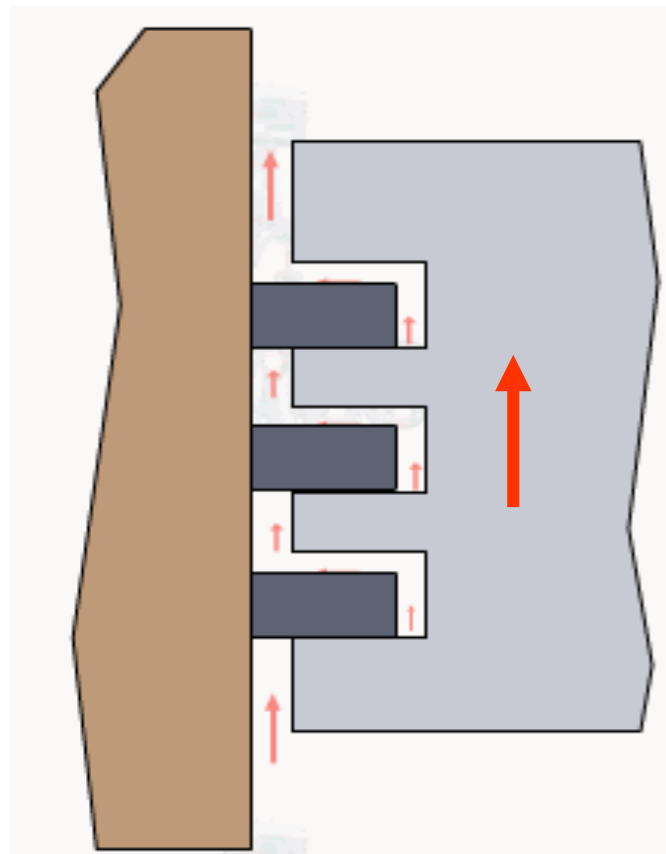
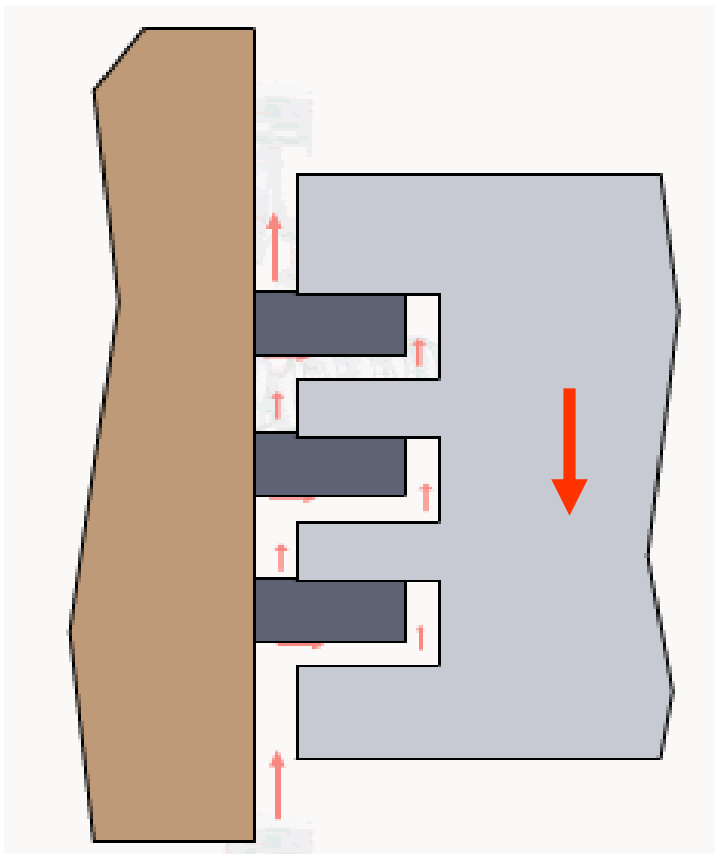
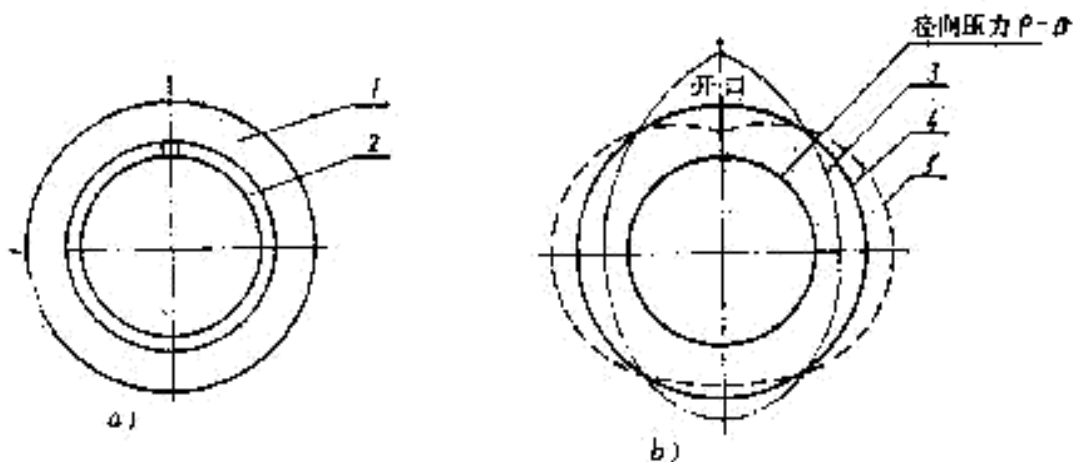


图 2-10 矩形环的泵油作用
(a) 活塞下行 (b) 活塞上行



3) 径向压力分布:

- ①**等压环**: 主要用于四冲程中速柴油机,
- ②**苹果形压力环**: 只应用与二冲程柴油机, 特别是大型船用柴油机,
- ③**桃形压力环**: 装入气缸后在开口处压力较高, 甚至活塞环磨损后在开口处仍能保持一定的径向压力, 特别适合于高速柴油机。



活塞环的径向压力分布

1-气缸套; 2-活塞环; 3-桃形分布; 4-等压分布; 5-苹果形分布

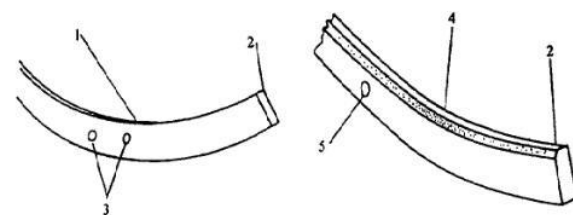
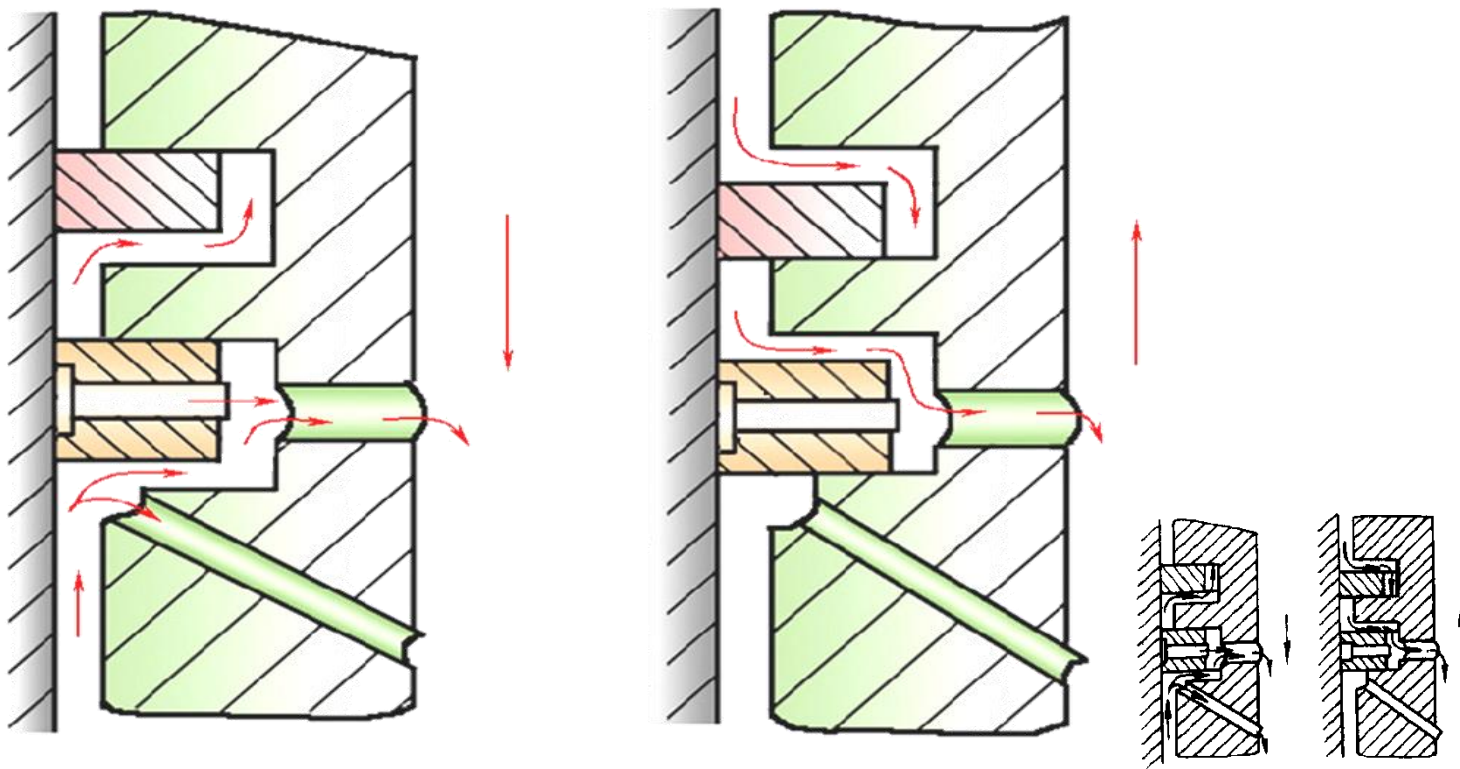


图 2-22 压缩环常见标记

1-第二压缩环 2-倒角 3-第二压缩环标记 4-第一压缩环
5-第一压缩环标记

(6) 油环

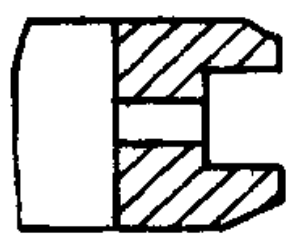
油环 置于最后一道环槽，背隙内气体压力极低，因此，油环置于气缸内时，必须具有较大的初始弹力、接触比压。



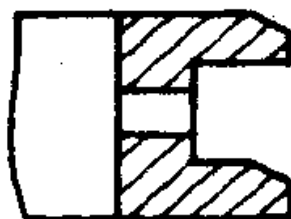
油环的刮油作用

1) 普通槽孔式油环:

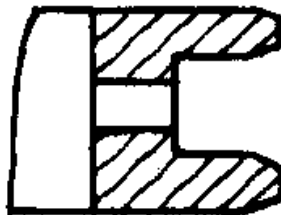
合金铸铁，鼻形倒角



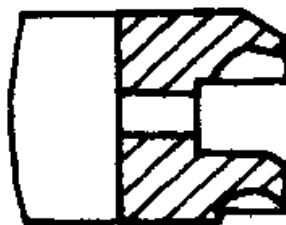
a)



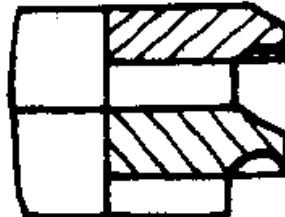
b)



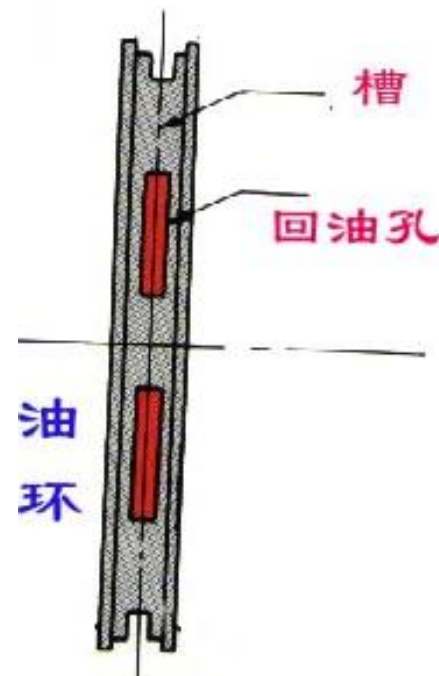
c)



d)



e)



- (a) 异向外倒角油环.. (b) 同向外倒角油环.. (c) 同向内倒角油环..
(d) 鼻式油环.. (e) 双鼻式油环

2) 组合钢片式油环:

由上下刮油片和产生径向、轴向弹力的衬簧组成。接触比压大，刮油能力强，泄油通路大，惯性质量小，但制造成本高。

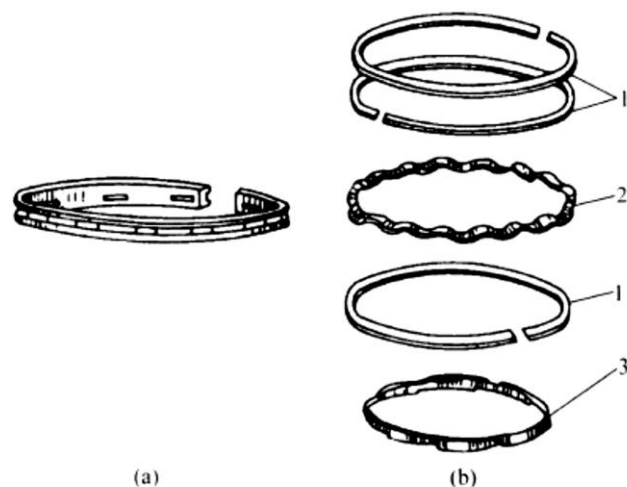
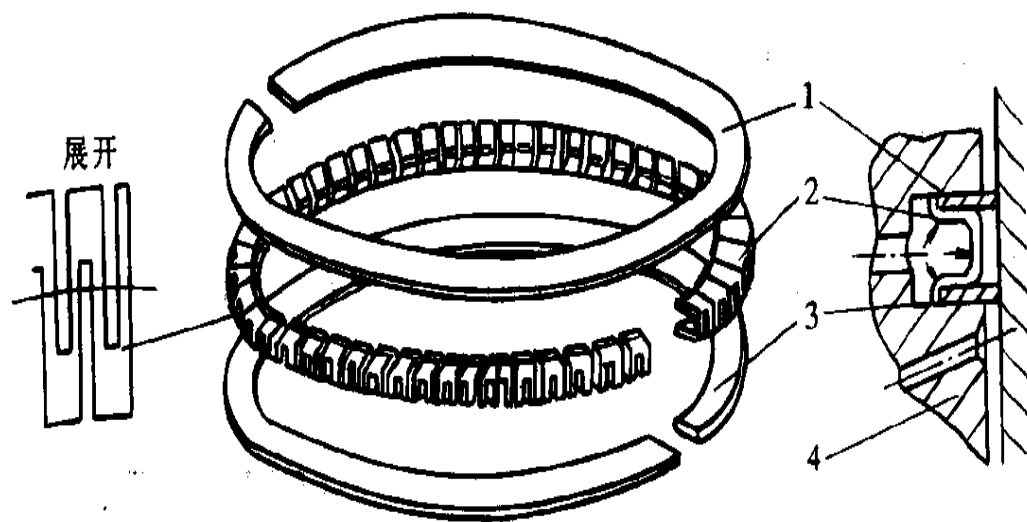


图 2-11 油 环
(a) 普通油环 (b) 组合油环
1. 刮油环 2. 轴向衬环 3. 径向衬环

图 组合油环

1-上刮片 2-衬簧 3-下刮片 4-活塞

2. 活塞环的材料

Materials of piston ring

某型船用活塞环——Stellar标准材质表

材质	合金	基体	抗弯强度 N/mm2	布氏硬度 HB	
Stellar-SU	铜铬	珠光索氏体	520	210	
Stellar-S8	钼钒	珠光索氏体	550	210	
Stellar-SK	铜钒钛	珠光索氏体	500	205	
Stellar-S	铜钼	索氏珠光体	550	210	
Stellar-S1	铜钼铬	索氏珠光体	610	215	
Stellar-S2	铜钼镍铬钒	索氏珠光体	700	230	

(1) 活塞环材料

铸铁类：

问题：为什么船用柴油机活塞环的材质多选用铸铁类？

- 灰口铸铁：HT200-400、HT250-470
- 球墨铸铁：
- 可锻铸铁：
- 合金铸铁：CrMoCu、CrMo、CrMoCuB、VTi。

钢类：

问题：和铸铁类活塞环相比，钢类优缺点是什么？

- 主要用于压缩环、刮油环（常见）
- 碳素钢、低合金钢和不锈钢等。
- 表面通常镀铬、镀锡或磷化等表面处理。

(2) 活塞环材料的性能

硬度

- 中小型柴油机活塞环材料为HB190 ~ 230,
- 大型低速柴油机活塞环材料为HB180 ~ 220,
- 合金铸铁环活塞环材料为HB220 ~ 230。

合金组织

细片状珠光体结构或索氏体状珠光体结构



典型铸铁活塞环主要力学性能

材料	弹性模量/GPa	抗弯强度/MPa	典型硬度 HRB)
低合金灰铸铁	95	390~430	102
灰铸铁	85~110	≥392	97~102
可锻铸铁	150	800	105
球墨铸铁	≥150	≥1 300	100~112
合金铸铁	90~110	≥392	97~108
高合金铸铁 F14	130~160	650~700	109~116
多元合金铸铁 K4	100~130	≥500	108~114

活塞环用钢材主要力学性能

材质	弹性模量 E/ GPa	典型抗拉强度 σ_b / Mpa	硬度
碳素钢	210	1235	HV5 500 ~ 600
低合金钢	206 ~ 210	1250	HRC47 ~ 53
马氏体不锈钢	210	1215	HRC40 ~ 44
奥氏体不锈钢	210	1300	HV1 205 ~ 330

3. 活塞环的主要质量要求

The major demands on
piston ring

(1) 尺寸精度

环高度：h6

径向厚度按h8

环压缩状态下的切口间隙

(2) 形状精度：

外圆柱面几何形状精度

(3) 位置精度

活塞环两端面的平行度

$D_{\text{气缸}} \leq 200\text{mm}, \Delta \leq 0.05\text{mm};$

$D_{\text{气缸}} > 200 \sim 500\text{mm}, \Delta \leq 0.08\text{mm};$

$D_{\text{气缸}} > 500\text{mm}, \Delta \leq 0.10\text{mm}。$

(4) 其他要求：

弹力、径向压力分布。

二 活塞环成形方法

Forming methods of piston ring

同心车削法

偏心车削法

锤击

滚压成型法

热定型法

铸造成型法

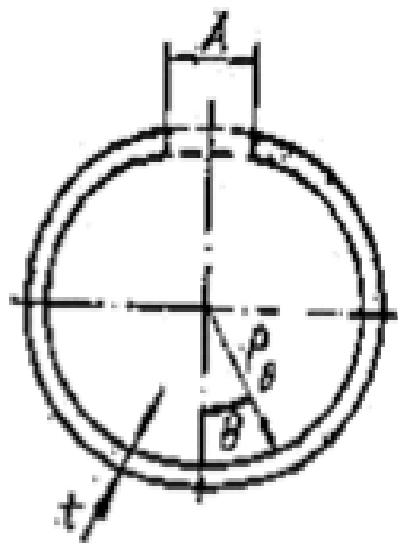
铸造成型法是最基本的
活塞环制造方法

1. 热定形方法

Thermal method

(1) 原理:

热定形是以等压环的特点为基础，用加热消除机械应力的方法获得活塞环自由形状。



理论研究表明，具有等压分布的活塞环，其自由状态的形状是把正圆环在开口处向切线方向拉开的形状相同。利用这一理论：将一个活塞环开口加楔块后的形状做成金属模，用以制造活塞环的毛坯及靠模型线。

(2) 工艺特点

圆形筒状或单体毛坯



机械加工和切开口



金属块插入环开口



装入夹具后放进盐浴槽或电炉



加热至600~650度，保温1800~3600s



空气中冷却

(3) 具体加工过程

- 1) 粗车外圆（留余量1.0mm），粗镗内圆（留余量0.5~0.8mm），切割成单个环；
- 2) 粗磨两端平面；
- 3) 切开口；
- 4) 热定形 加热至 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，保温2400s 以上，在空气中冷却；
- 5) 半精磨两端平面；
- 6) 精车外圆；
- 7) 修整开口；
- 8) 精镗内圆；
- 9) 精磨两端平面；
- 10) 修整开口、倒角、去毛刺；
- 11) 检验；
- 12) 表面热处理：表面镀锡。

2. 靠模机械成形方法

Model forming
technology

椭圆形单体毛坯的加工顺序

粗磨两端平面→

精磨两端平面→

靠模车削外圆→

靠模车削内圆→

切割开口→

车削内圆→

精车外圆→

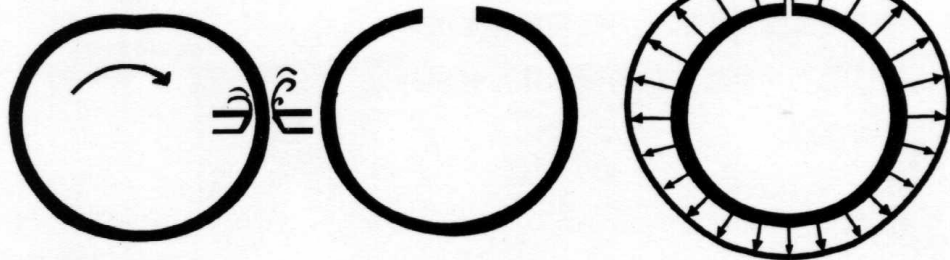
磨外圆→

镀铬→

研磨外圆→

修整开口。

图 2.



1.

椭圆形铸件料用自由状态的活塞环模型进行仿形车削。

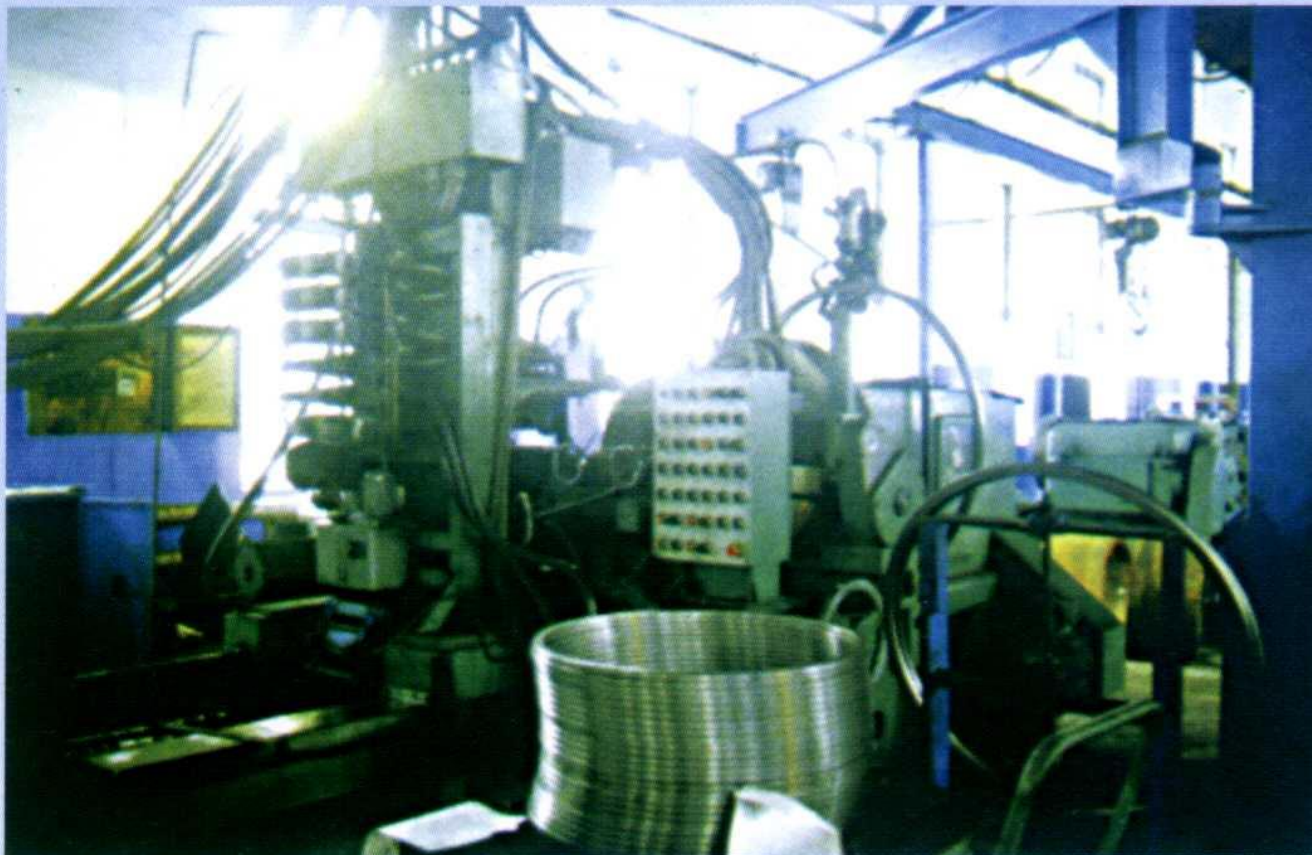
2.

切出自由间隙 S_0 ，通常是直径的 7-13%。

3.

安装在气缸内的活塞环具有正确的侧壁压力分布。以上的例子是一典型的二冲程活塞环。

*靠模机械成形（仿形车削）现场



生产直径500-1100mm活塞环的是集内外缘仿形车削、切割及倒角为一体的欧洲专利数控仿形车床

3. 铸造成形方法（常见方法）

Casting forming
method

(1) 活塞环的铸造工艺

- 单体铸造
- 筒形铸造



All Daros piston ring materials are cast as pots in sand moulds. This casting method ensures a homogeneous and well defined material structure.



按既定的材质配方浇铸高合金铸铁的活塞环毛坯

铸造工艺1：单体铸造

加工余量小、断面均匀、结晶散热条件好, 能够获得致密基体组织和细小石墨, 有良好的弹性和耐磨性, 效率高、质量亦好。

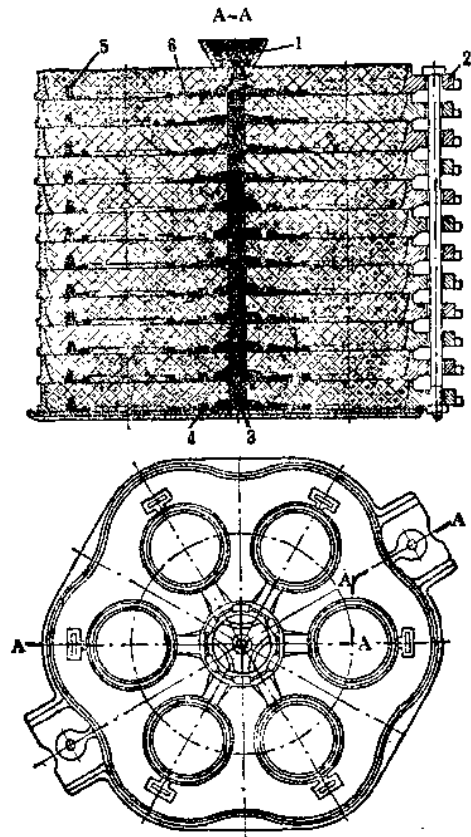


图 活塞环叠箱式造型示意图

1—浇口杯；2—砂箱；3—直浇口；4—集渣槽；5—暗冒口；6—内浇口

铸造工艺2：筒形铸造

1. 砂型铸造
2. 金属模敷砂
3. 离心铸造

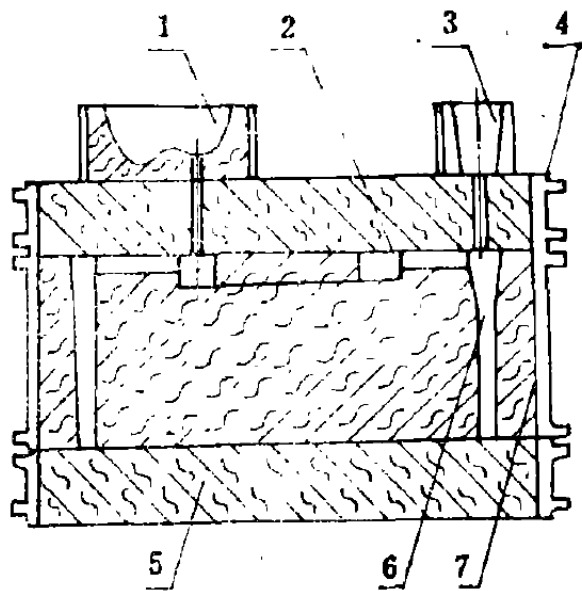
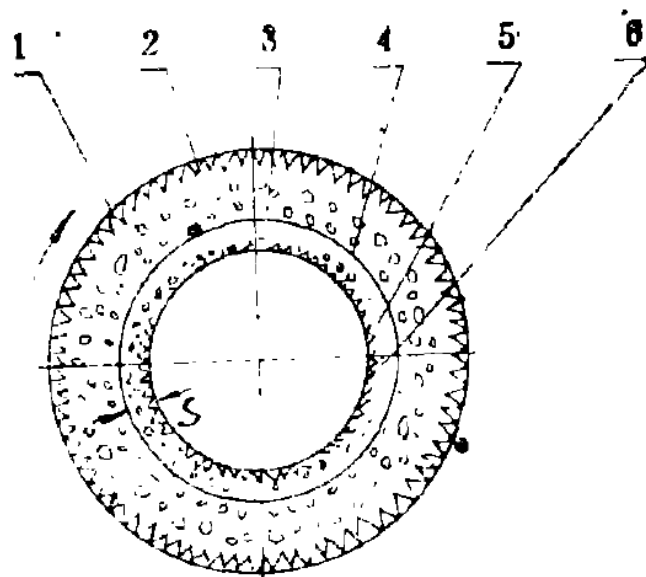


图1砂型铸造工艺图

1. 浇口杯
2. 横浇口
3. 出气冒口
4. 盖箱
5. 底箱
6. 铸件
7. 箱圈



离心浇注结晶示意图

1. 外壁结晶
2. 液态金属
3. 疏松层
4. 夹渣区
5. 内孔结晶
6. 非金属内层

(2) 椭圆形单体毛坯的加工顺序

- ①椭圆形的单体或筒状毛坯
- ②加工活塞环的两端面
- ③靠模车外圆
- ④切开口
- ⑤压缩至工作开口间隙，在车床上加工内外圆

(3) 工艺特点

- ①弹力从铸态下获得，无需复杂热处理。
- ②加工余量小而均匀。
- ③此法常用于大批生产的企业中。



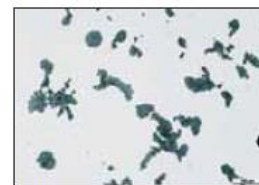
RS, lamellar graphite



RM5, blunt edged lamellar graphite



RM5, perlitic matrix with the blunt edged graphite visible



DARCAST, compacted graphite

注：还有其他工艺如“滚压成形”工艺 (Rolling method)

三 活塞环的加工工艺

Machining processes
of piston ring

定位基准：端面、外圆表面。内圆表面一般只在粗加工时才采用。

1. 两端面的加工

Machining technology of two end-planes

①成批生产，粗加工

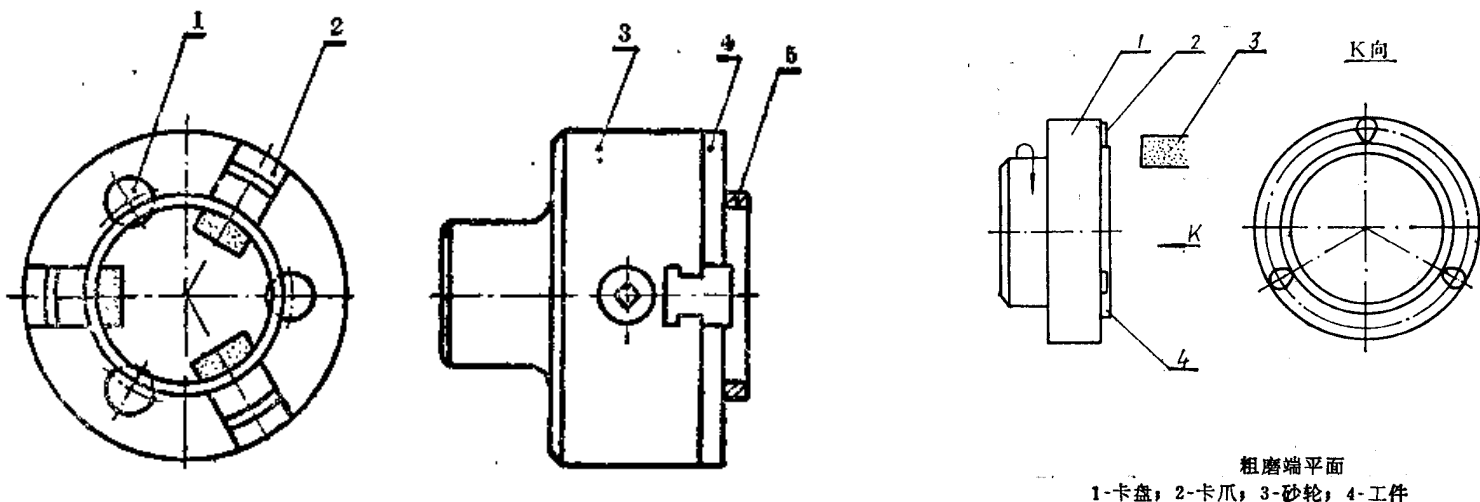


图 在普通车床上粗车活塞环两端面用的夹具
1—垫板固定螺钉；2—三爪；3—卡盘；4—附加垫板；5—工件

②大量生产，粗加工：专用磨床。

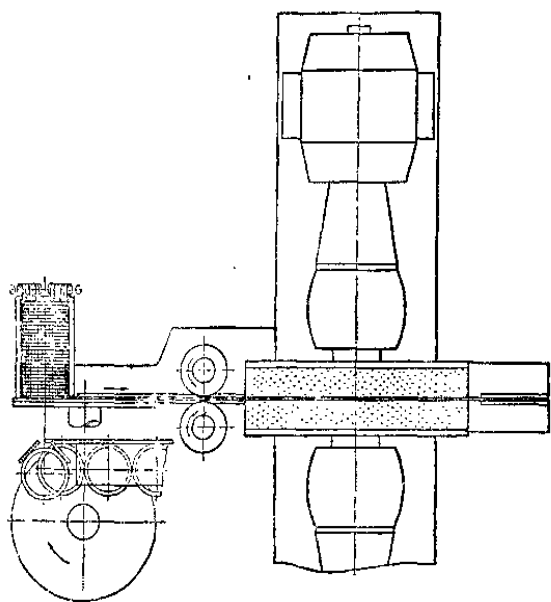


图 在卧式双边自动磨床上初磨活塞环的端面

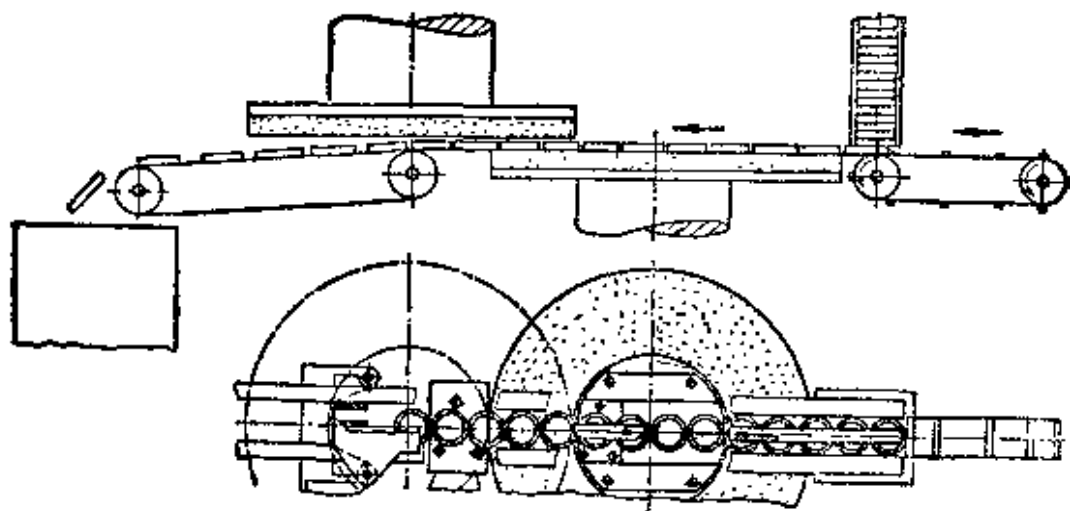


图 在立式双轴自动磨床上精磨活塞环两端面

③生产批量不大，粗、精磨端面：带有磁力工作台的平面磨床加工

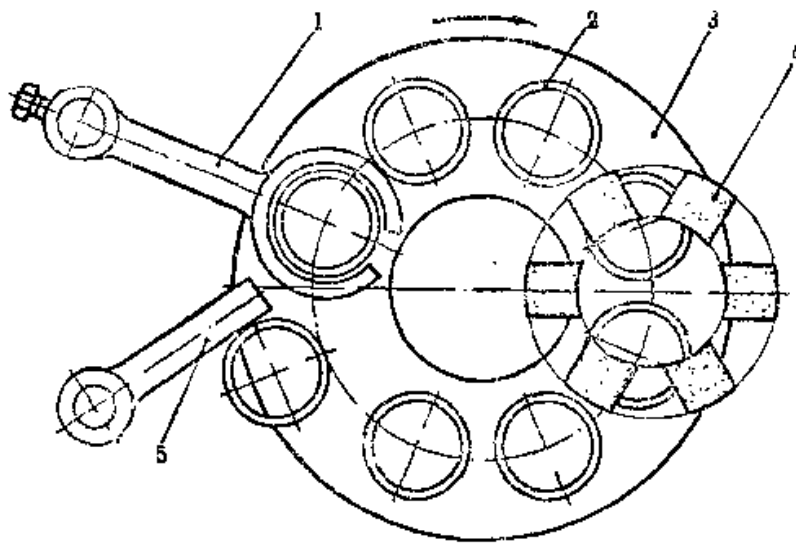


图 在电磁夹盘上自动磨削

1—料斗；2—活塞环；3—电磁夹盘；4—砂轮；5—挡板

2. 内外圆表面的加工

Machining technology of
inner surface

①圆筒型活塞环毛坯的内外圆加工：

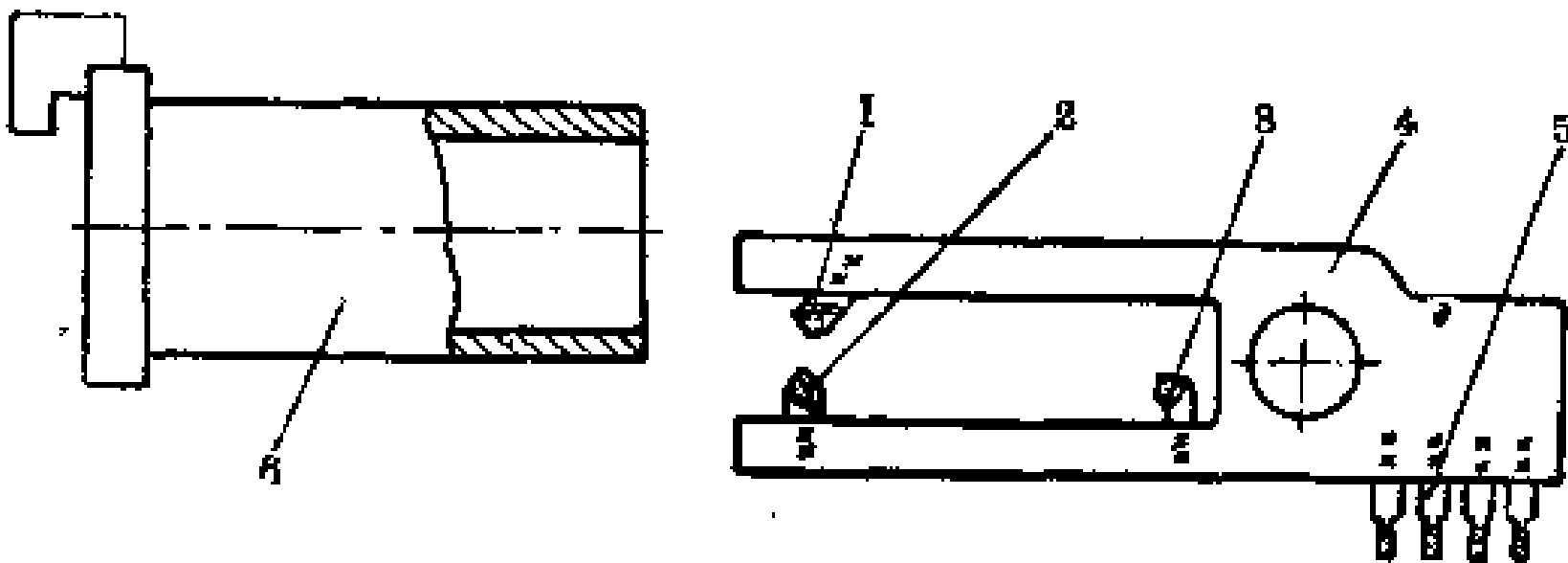
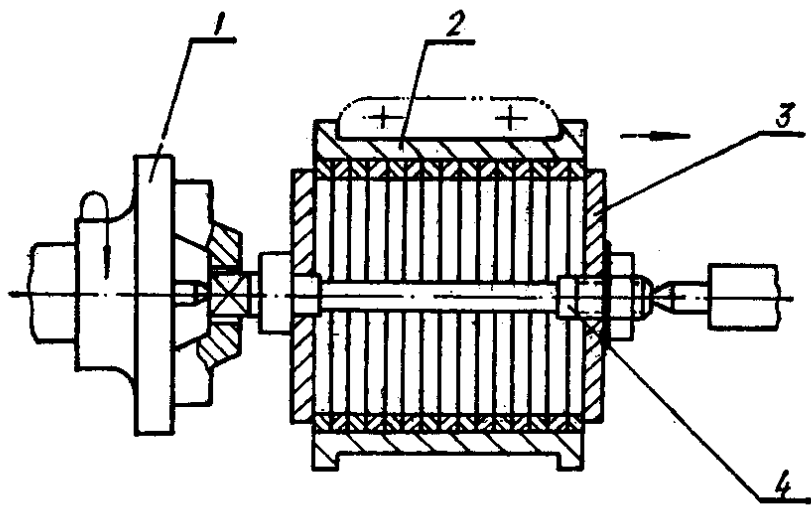


图 在普通车床上车内外圆、端面 and 割下活塞环

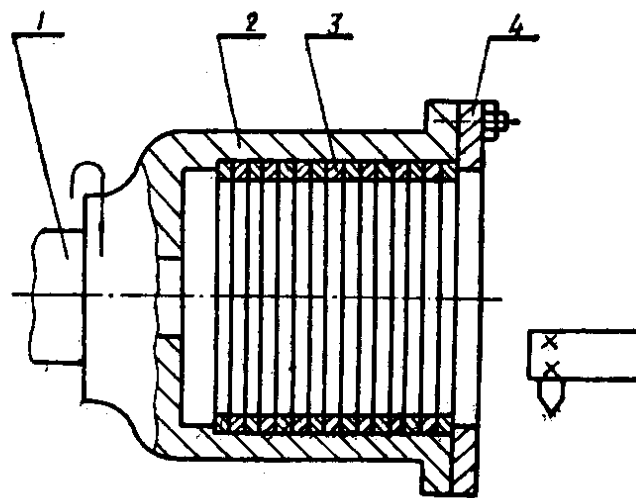
1—镗刀；2—外圆车刀；3—端面车刀；4—刀架；5—切断刀；
6—工件

②单体圆柱形毛坯按正圆加工



精车外圆

1-卡盘；2-套筒夹具；3-压板；4-心轴



精镗内圆

1-车床主轴；2-套筒夹具；3-工件；4-压紧环

③大量生产，活塞环内外表面粗在专用的无心磨床上加工

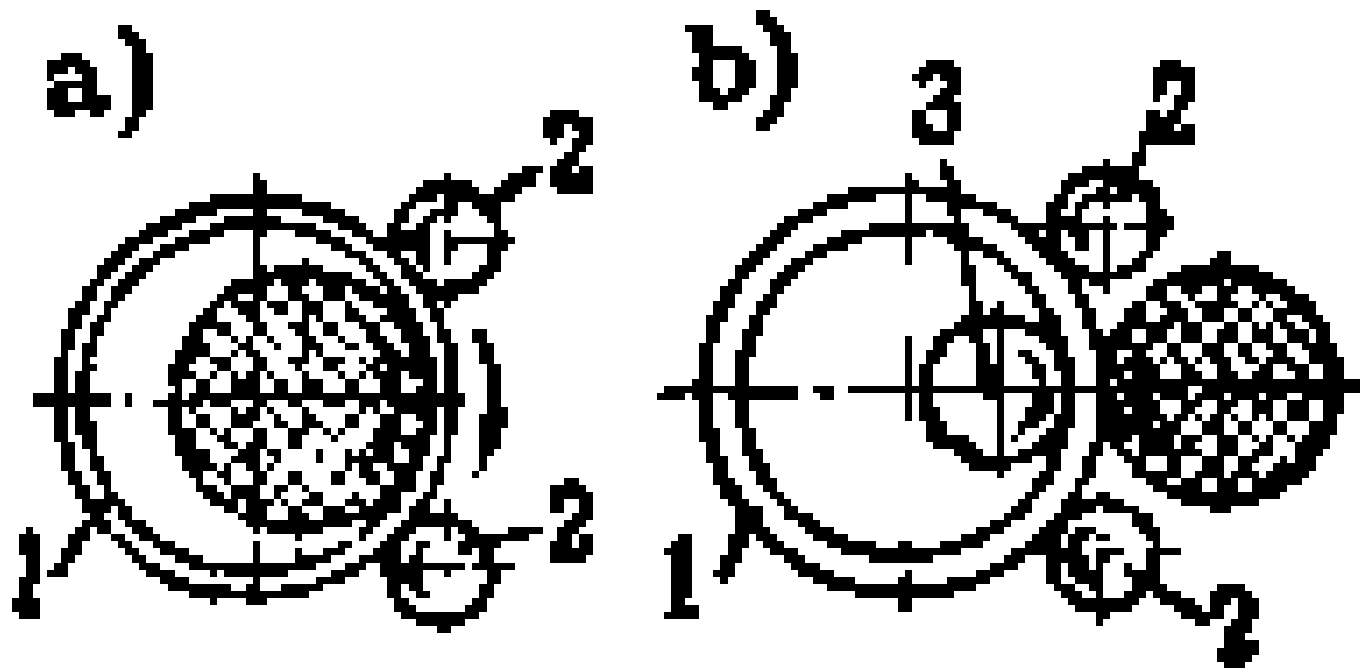


图 在用无心磨床上粗磨活塞环毛坯的内外圆

(a)磨内圆；(b)磨外圆

1—活塞环；2—导轮；3—圆轮

④靠模车削

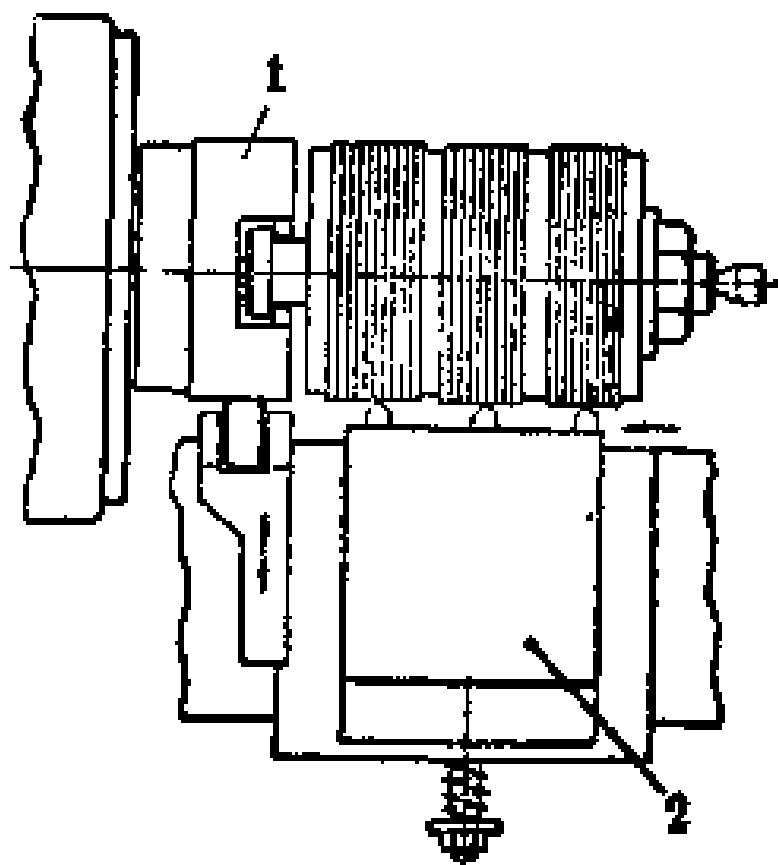


图 在多刀靠模车床上加工活塞环
1—靠模；2—刀架

3. 切口的加工

Cutting method

①圆形活塞环毛坯（热定形）的切口是在小型卧式铣床上切出的。

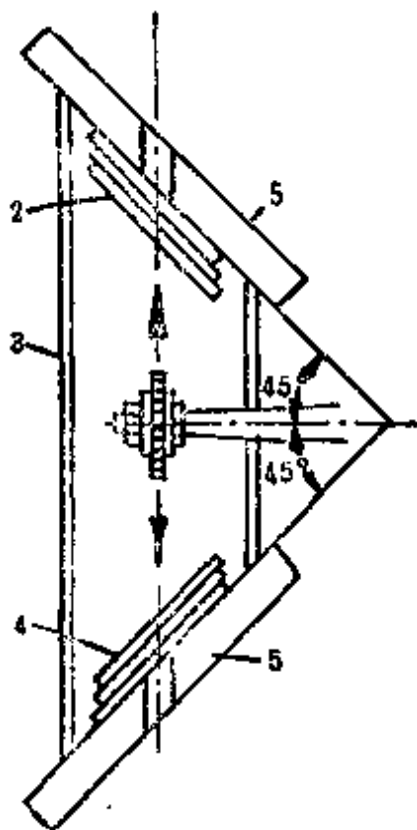


图 在卧式铣床上铣斜切口示意图
1—铣刀；2—左端三个活塞环；3—活塞环V形槽；4—右端三个活塞环；5—支承板

②椭圆形毛坯在靠模车外圆后，不必取下，就可铣直切口。

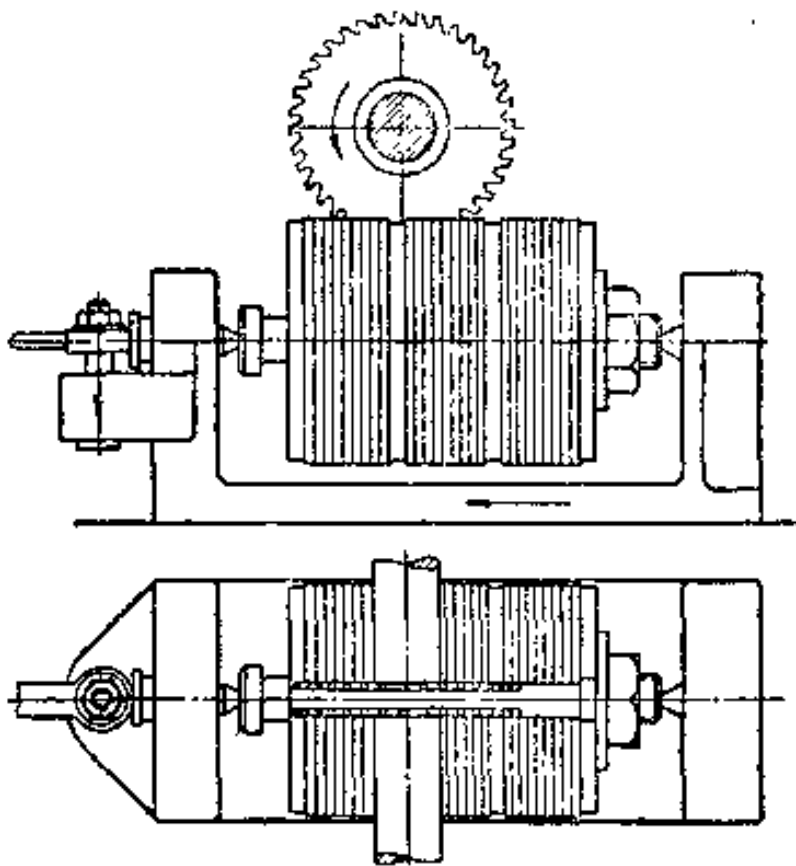


图 活塞环直切口的加工简图

4. 切口的热定形处理(时效)

The thermal forming of cutting notch

- ①活塞环铣断后，在切口处嵌入T型垫片
- ②将它们套在一专用夹具上夹牢
- ③将夹具加热，然后投入硝酸钠盐浴炉内或电炉内加热到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。
- ④保温1小时左右取出，在空气中冷却即可。
- ⑤有时，再装入气缸筒中加热至 400°C ，保温2~4 h，使弹性达到稳定。

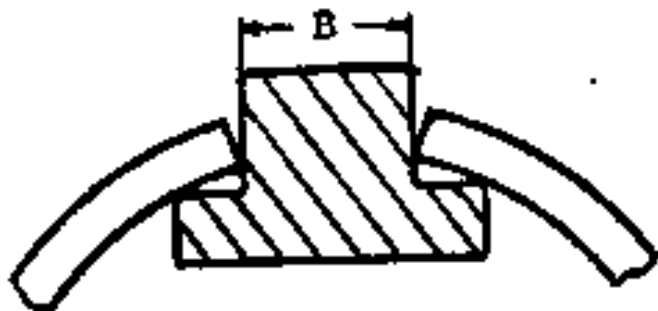


图 活塞环安置在T型垫片上的情况

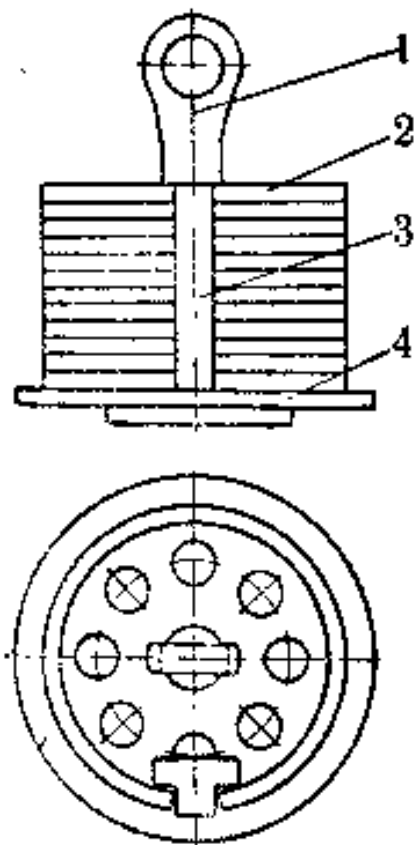


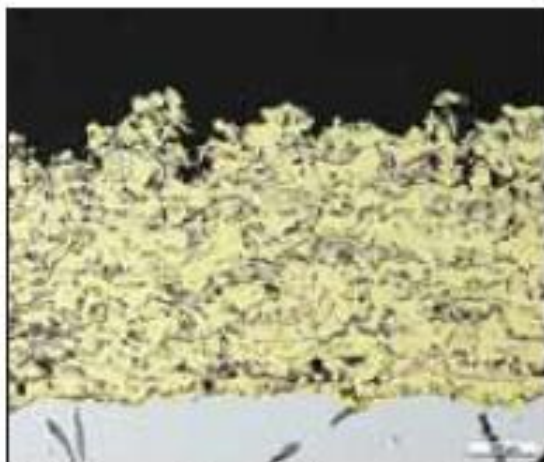
图 活塞环热定形时的卡夹具
1—吊杆；2—工件；3—T型垫片；
4—铁板

5. 活塞环的表面处理

Surface treatment

磷化、镀铬、喷钼、喷镀陶瓷、渗硫处理、镶嵌处理、激光处理、热喷涂、电火花加工等

铸铁的压缩环镀铬层：总厚度0.10~0.25 mm，其中0.05 mm是多孔铬层。



AluCoat – Suitable for new MAN-B&W engines and for retrofit.



RIAS – Running In Anti Scuffing. Developed for deep honed liners

表面镀Cr:

- 硬度可达700 ~ 1000HV;
- 第1 道环寿命比铸铁环延长3 ~ 5倍;
- 工艺过程毒性大, 污染环境 (正趋淘汰) 。

氮化处理:

- 用于钢质活塞环;
- 工艺便宜可靠, 不污染环境;
- 氮化物硬质表层
- 硬度达HV1000 ~ 1400 , 比镀铬环高HV200 ~ 600
- 耐磨性远远高于镀铬环
- 抑制脆性白色层 (脆、剥落) 生成是工艺中重点。

表面喷钼：

- 用火焰喷涂或等离子喷涂的方式；
- 涂层厚度为0.1 ~ 0.2mm，
- 空隙率10 ~ 15 %，有不易拉伤气缸套的特性；
- 硬度约1070HV，较好的耐磨粒磨损的性能；
- 磨损量比镀Cr 大，高温容易氧化剥落。

激光表面处理：

- 激光表面纹理化处理可以降低摩擦副的摩擦；
- 研究发现，在配副过程中，经过部分激光表面纹理化处理的活塞环比没有处理的活塞环摩擦力降低5%。

*活塞环的表面处理实例：镀铬喷钼



常用活塞环表面喷涂材料：

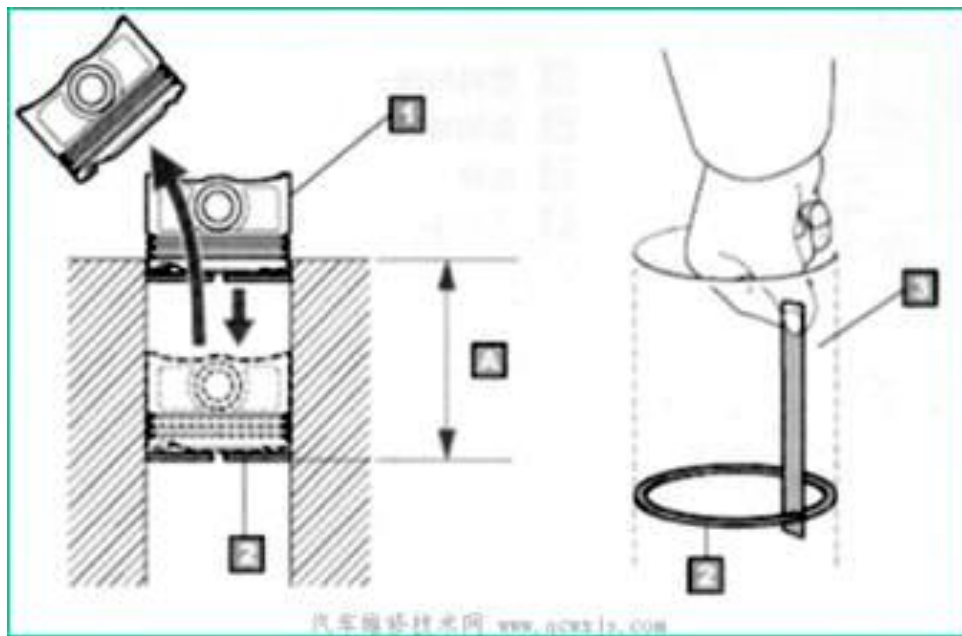
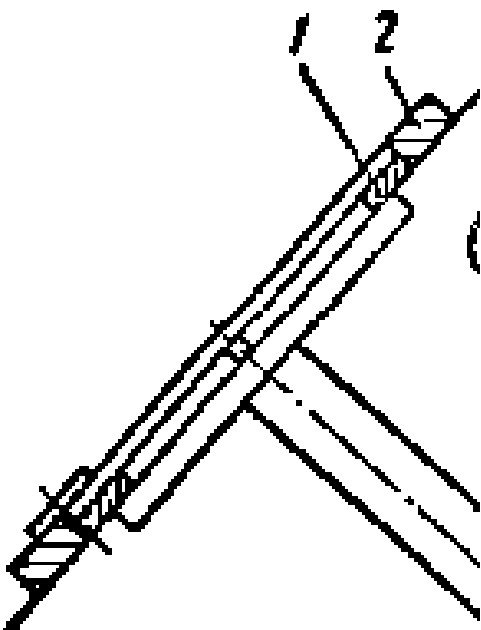
- ✓ 含自熔性镍基硬质合金的钼粉
- ✓ 含Ni-Cr合金和碳化物（如碳化铬、碳化钼、碳化钨）的钼粉

四 活塞环的检验

Inspection of piston ring

1. 检验工作状态中切口的间隙量

活塞环在压够状态小放到一套圈的标准座孔里，然后用厚度规量度切口的间隙量。



1—活塞环；2—量规环

*活塞环切口的间隙量检验现场



2. 检验活塞环在压缩状态下外圆形状

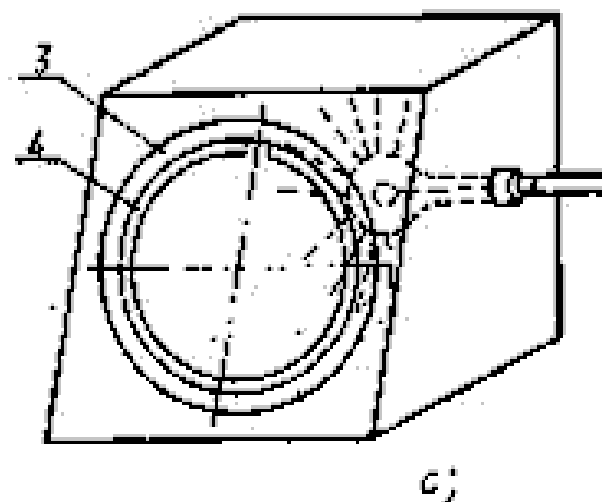
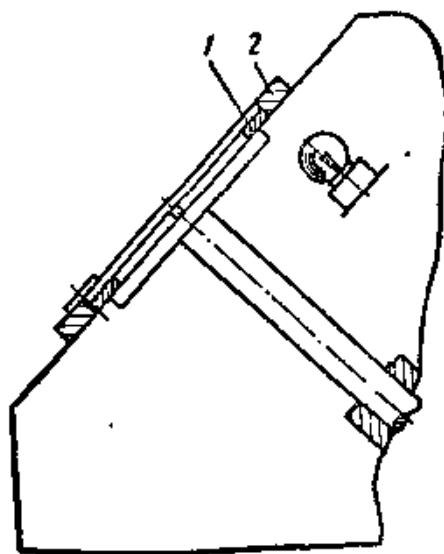
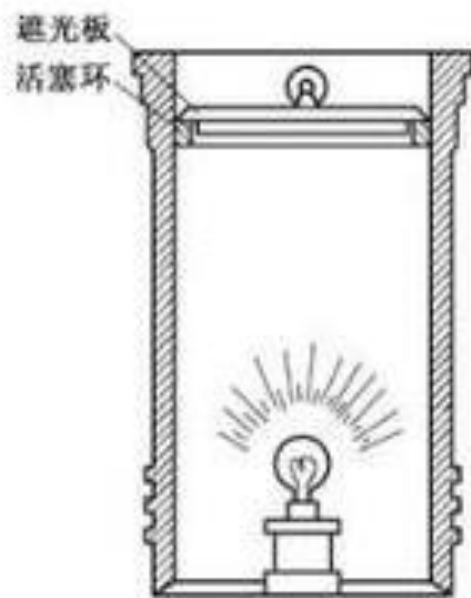
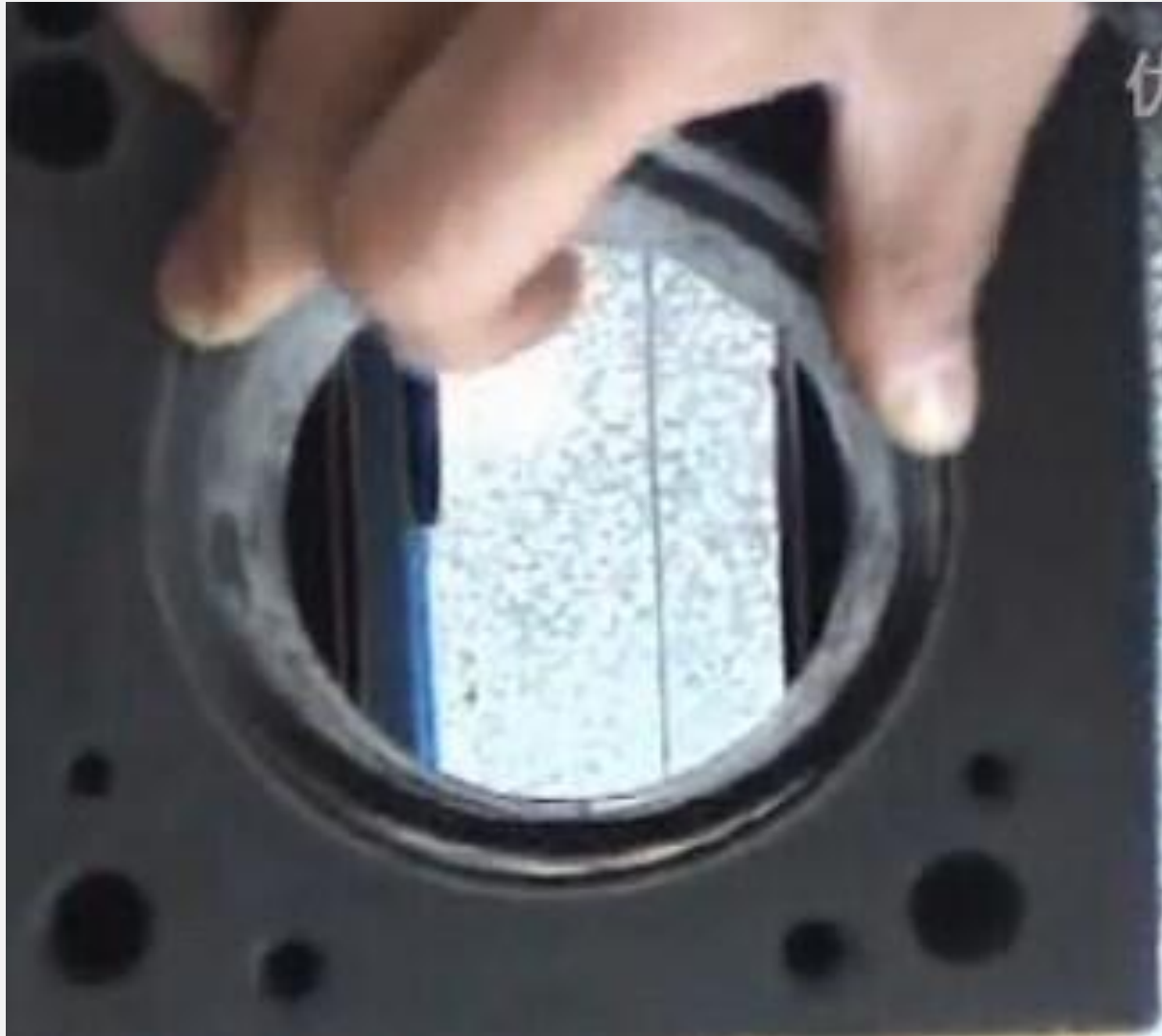


图 5-12 活塞环漏光度的检验

图 视觉漏光检验器
1—活塞环；2—量规环

*活塞环视觉漏光检验现场



3. 检验活塞环的径向厚度

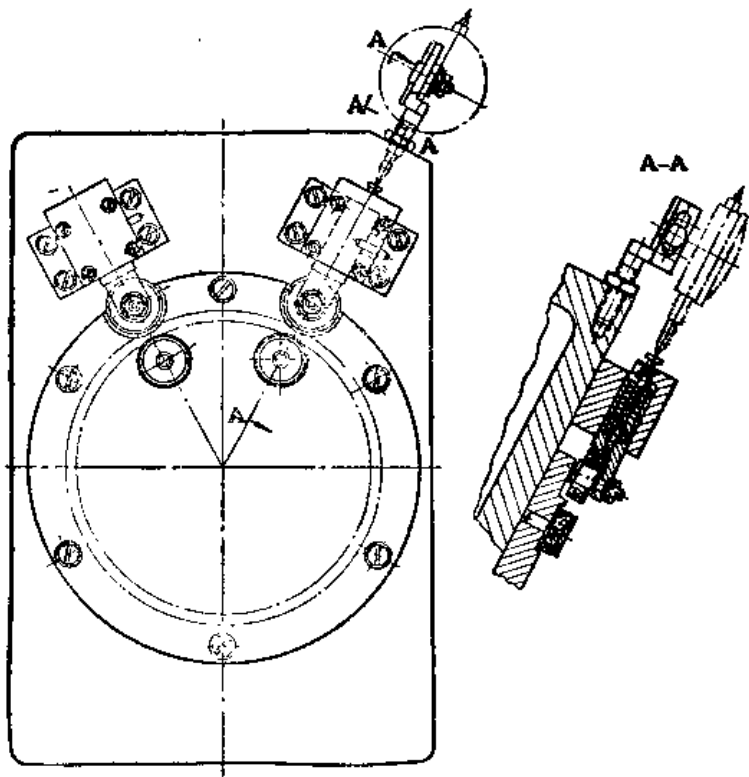


图 检验活塞环径向厚度用的夹具

4. 检验活塞环的高度

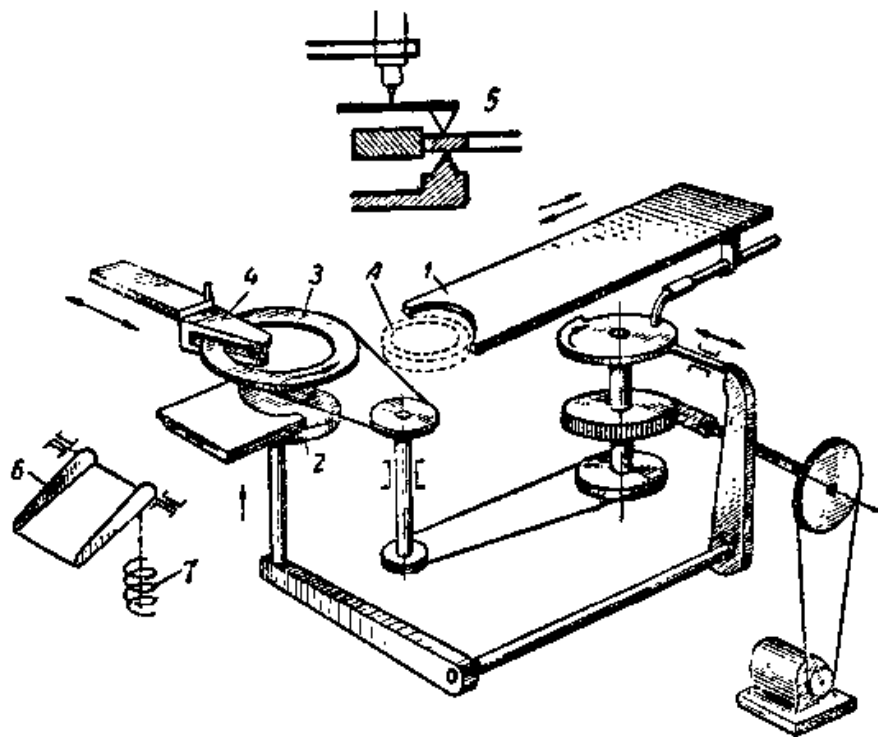


图 检验活塞环高度用的自动检验机的工作原理图
1—滑块；2—圆盘工作台；3—环形量规；4—度量头；5—传感器；
6—托盘；7—电磁铁

5. 检验活塞环的端面翘曲度

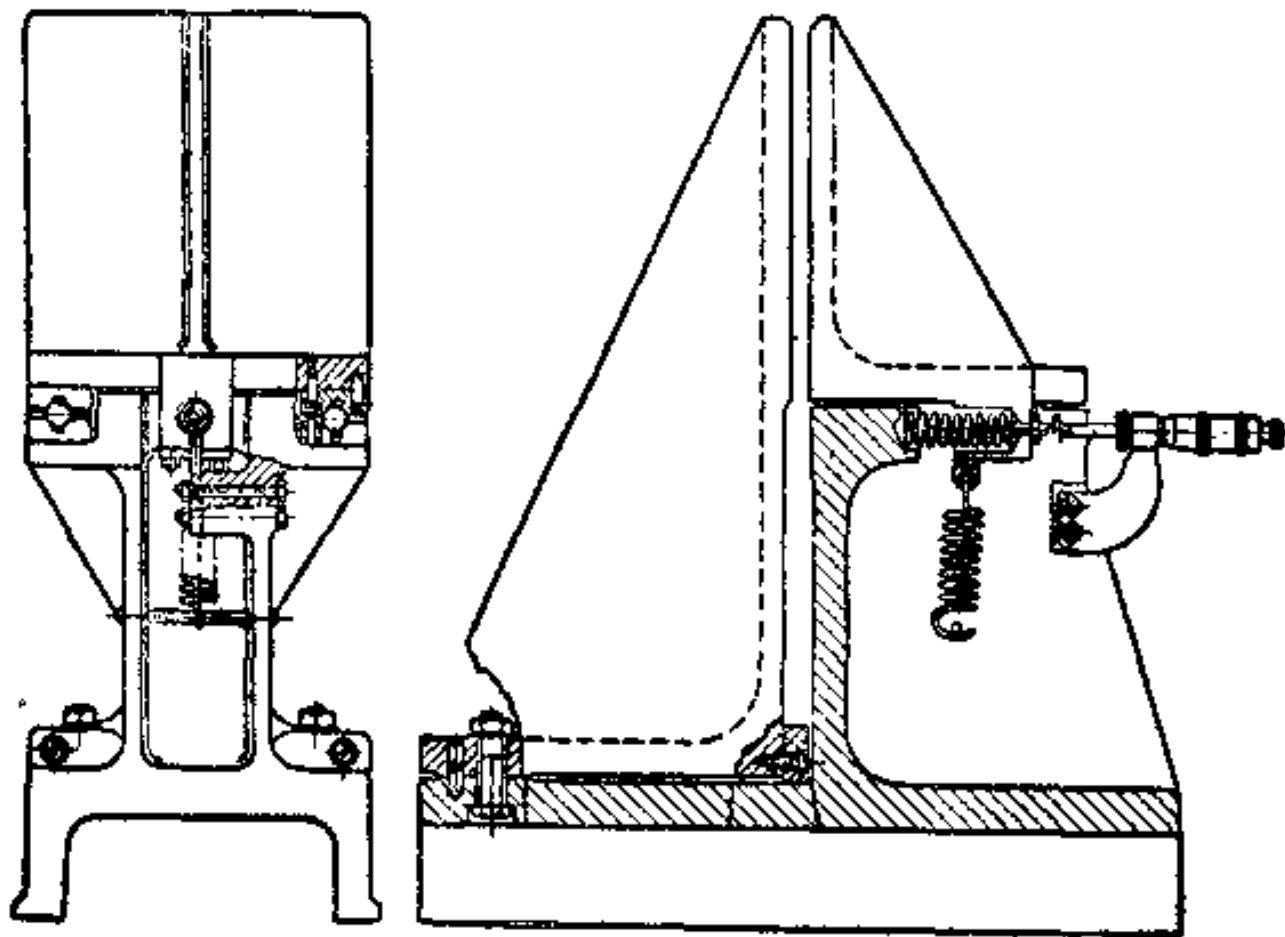


图 检验活塞环高度和翘曲度用的狭缝式夹具

6. 活塞环的弹性和圆周上径向压力的分布

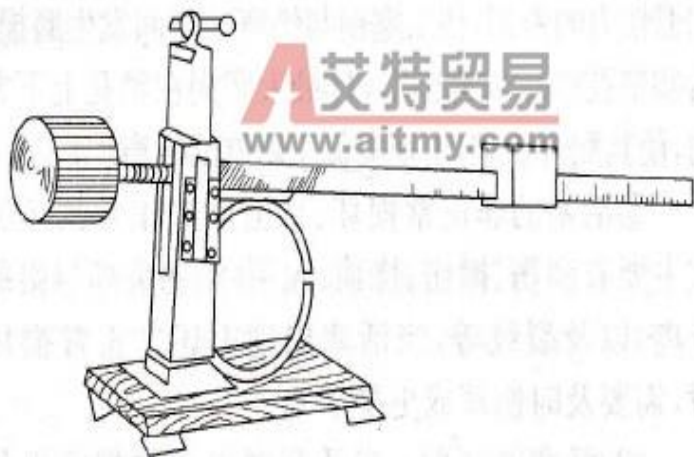
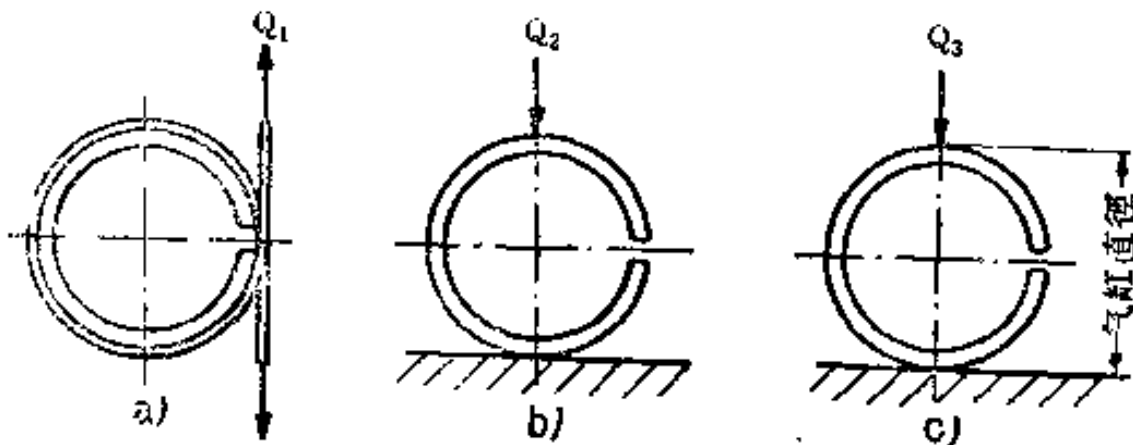


图 活塞环弹性测量示意图

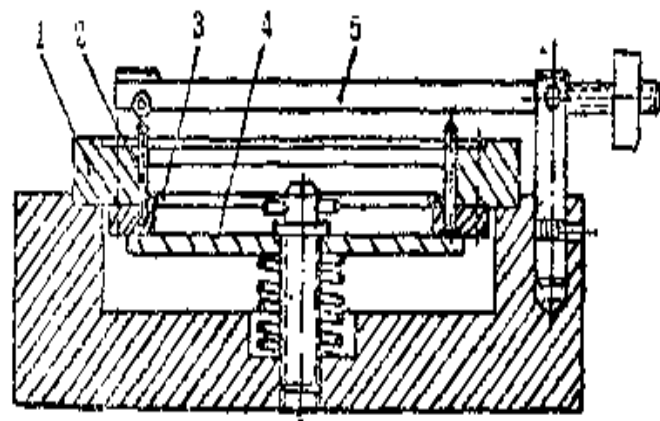
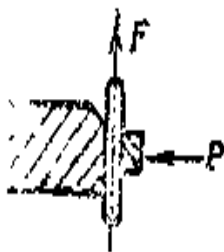
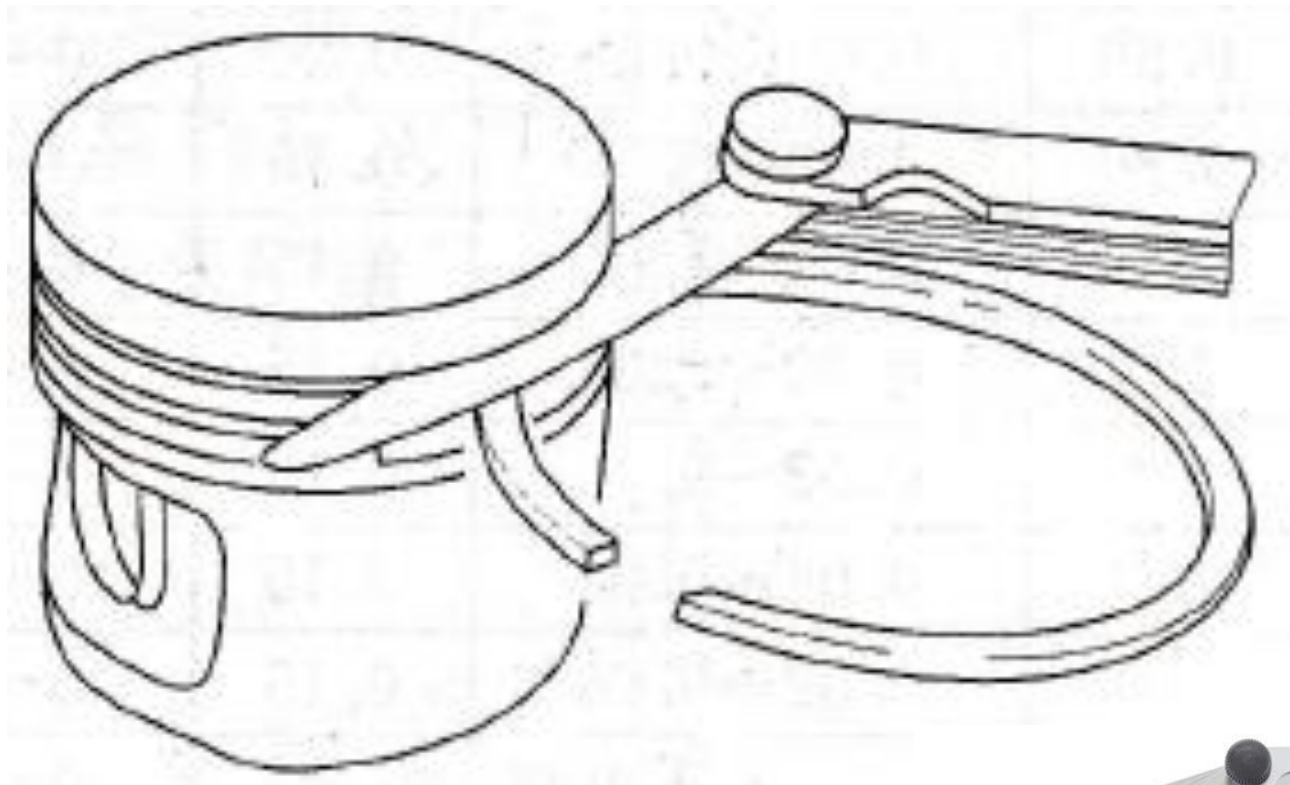


图 简易的机械式径向压力图测定仪
1—环规；2—滚针；3—活塞环；4—托板；5—活动杠杆

7. 工作活塞环侧隙检查



*8. 活塞环检查项目表

表 6 基本尺寸方面的检测项目和要求

序号	检测项目	检查样本	检测器具	检测位置或检图
1	涂层硬度及厚度	2 片 / 批	显微硬度计	开口 5 mm 处
2	扩口	10 片 / 批	扩口机	
3	铬层结合强度	2 片 / 批	目视	开口 5 mm 处
4	基体硬度	2 片 / 批	显微硬度计	
5	环高	全数	外径千分尺	
6	平行度	20 片 / 批	外径千分尺	
7	闭口间隙	全数	环规、厚薄规	
8	径向厚度及偏差	20 片 / 批	径向千分尺	
10	自由开口	5 片 / 批	游标卡尺	
11	切向弹力 F_t	2 片 / 批量	弹力测量仪	
12	开口倒角	全数	目视	
13	断带、带偏和带扭	全数	目视	
14	漏光度	5 片 / 筒	漏光机	
15	挠曲	全数	挠曲板	
16	桶面度	2 片 / 批	外圆轮廓仪	

思考练习题

- 1.在活塞环机械加工时，机械成形法、热定形法、铸造成形法和滚压成形法的含义是什么？
- 2.画图并说明在定位加工主要表面时，连杆、曲轴、活塞、活塞环的定位和夹紧方案。

- 曲轴加工可以分为哪些加工阶段？
- 在活塞环机械加工时，机械成形法、热定形法、铸造成形法和滚压成形法的含义是什么？
- 画图并说明在定位加工主要表面时，曲轴、活塞环的定位和夹紧方案。

Thank you!

进入下一章节