

内部参考资料
注 意 保 存

来华技术座谈资料

汽车活塞环制造技术及其设备

NO 701

天津市科学技术情报所

一九七六年四月

目 录

一、日本活塞环公司（简称NPR公司）概况

二、汽车活塞环的设计结构

三、汽车活塞环的材质

四、汽车活塞环的表面处理

五、缸套材质及表面处理

六、活塞环的铸造工艺及设备

七、活塞环的机械加工工艺及设备

八、活塞环的检验项目及设备

一、日本活塞环公司概况

日本活塞环公司创建于1934年,本部设在东京,下属两个工场均在埼玉县(川口市工场、与野市工场),目前共有职工2600人,现有各种机械设备5273台,其中:熔化设备70台,铸造设备455台机械加工设备2076台,加工辅助设备1622台,化学处理设备499台,试验检查设备480台,电气设备71台,主要产品有:

- (1) 活塞环: 各种汽车、船舶、陆用内燃机、空气压缩机、冷冻机用的各种活塞环。
- (2) 汽缸套: 各种汽车、船舶、陆用内燃机用的各种汽缸套。
- (3) 转子发动机用各种密封件。
- (4) 内燃机磨擦件, 如汽门等。
- (5) 各种铜合金、粉末冶金产品。
- (6) 活塞环机械加工设备 & 检查设备。

该公司月产能力: 活塞环800万片(其中汽车活塞环年产6500万片), 缸套25万件, 其它铸铁、铜合金、合成树脂制品250万件。全年营业额为108亿日元。

该公司活塞环使用寿命表

种 类	使 用 寿 命
汽油机(四冲程)	15~20 万 公 里
汽油机(二冲程)	3 万 公 里
柴 油 机	载重车30~35公万里, 市用客车缩短 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$

二、汽车活塞环的设计结构

根据日本专业生产的特点, 活塞环的设计由制造厂承担, 他按照主机厂的发动机性能及技术经济指标要求, 设计不同结构的活塞环, 主要从下面几方面因素考虑: (1) 用于汽油机或柴油机。(2) 二冲程或四冲程。(3) 水冷式或者风冷式, (4) 最大马力及最高转速。(5) 发动机按置形式及排列。(6) 发动机活塞直径及行程。(7)

缸壁结构是干式还是湿式。(8)缸套的材料。(9)活塞的结构。(10)汽缸燃烧方式。(11)发动机的大修里程。(12)发动机润滑油的消耗指标及窜气指标等以适应各种发动机需要。

随着近几年来发动机性能向高速度、高负荷及高动力性能发展。这样活塞环的工作条件更加苛刻，为此对活塞环的设计结构，材料选用，表面处理等一系列问题进行了试验研究，目的是怎样来提高活塞环与缸套的磨擦付寿命，因此从改进磨擦付材质入手，相应的配合一定的表面处理，另外，从结构上加以改进，适当增加活塞环的面压，从而防止活塞环及缸套的窜气，降低润滑油的消耗，使行驶里程提高。

根据行驶里程要求，日本活塞环的使用寿命已达到30万公里，并向50万公里迈进。润滑油的消耗量为2000~3000公里/升，每马力小时的润滑油消耗量为0.5克，为达到这个指标，采取了一系列措施。该公司有十三台试验用发动机，围绕磨擦付进行各种台架试验，从而取得一定数据，改进了活塞环的设计。

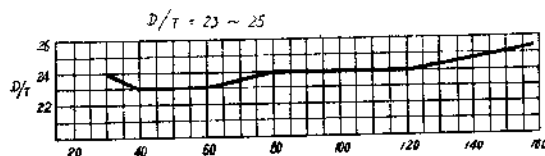
日本在1974年重新制定了“JASO50—E—102—74汽车活塞环”标准，代替1966.6.24制定的“JASO—6606汽车活塞环”标准。从这个标准来看，突出了以下几个方面：

- (1) 根据发动机性能要求，从结构上分为8类。
- (2) 增加了新型结构的组合油环。
- (3) 增加了粒状及球状石墨铸铁。
- (4) 加大尺寸的活塞环单纯化只有+0.5、+1.0、+1.5三种，取消了+0.25、+0.75、+1.25。
- (5) 为了增加端面耐磨性，根据使用要求，上下平面镀硬铬。
- (6) 新增加各种断面形状的活塞环，如筒面、楔面环等。
- (7) 规定了各种环的弹力要求。
- (8) 高度尺寸(B)的公差进行了更改。
- (9) 径向尺寸(T)的使用范围进行了更改。
- (10) 规定了开口尺寸的温差值，气环温度为100°C，油环温度为80°C。

具体参数作如下规定：

(1) 环高尺寸(B)与主机厂商订，环数，汽油机三道环，柴油机的环数由传统的五道、向四道及三道环发展。

(2) 径向宽度(T)的确定：



名义直径 D

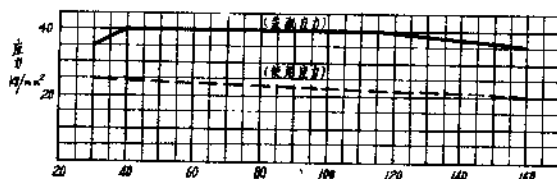
(3) 自由开口尺寸 (L) 确定:

$$L/D = 12 \sim 13\%$$

它影响“装配”及“使用”应力的大小, 其规定:

$$f_1 (\text{装配应力}) < 50 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_2 (\text{使用应力}) < 25 \text{ kg/mm}^2$$



名义直径 D

(4) 闭合间隙 (C) 的确定: 考虑活塞环的热膨胀因素:

$$C = 3.14 \times a \times \Delta t \times D$$

a : 热膨胀系数 ($12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$)

Δt : 温度差 压力环为 100°C , 油环为 80°C

D : 名义直径

(5) 面压 (P) 当材料的弹性模数为 9500 kg/mm^2 时为 $1.4 - 1.6 \text{ kg/cm}^2$

活塞环的分类基本上分为二类, 即气密环及油环, 另外按照不同要求, 每类内又划分各种结构, 现分别介绍如下:

1. 气密环——从断面形式可划分下几种:

(1) 矩形环 (P) 目前已逐渐被淘汰。

(2) 外锥环 (T)



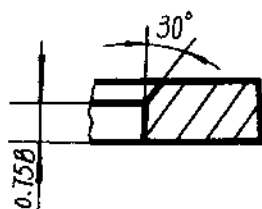
用于第一、二道环, 作为第一道环外锥面需镀硬铬, $\alpha = 30' - 60'$ 。作为第二道环, $\alpha = 1^\circ - 1^\circ 30'$, 根据使用寿命要求, 决定外锥面是否镀硬铬。

(3) 筒面环 (BF)

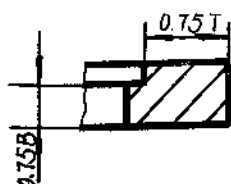


用于第一道环，它能适应活塞在工作时的摇摆而不影响气密性。“t”值与主机厂商订，一般为 0.01~0.02mm，筒面需镀硬铬。

(4) 内圆倒角环 (B)

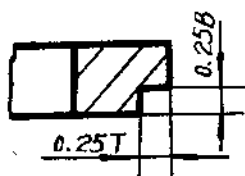


(5) 内台肩环 (1C)

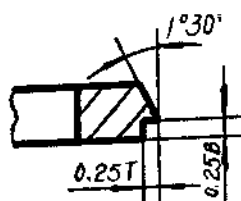


这二种形式均属于扭曲环，也用于第一道环，在柴油机上的二、三道环有时也采用内台肩环 (1C)

(6) 外台肩环 (UC)



(7) 外锥带台肩环



这二种形式也属于扭曲环，通常用于第二、三道环，为了提高切口处的气密性，外台肩在切口处不贯通。

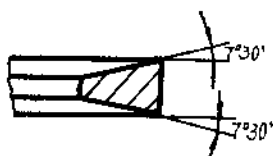
(8) 单楔面环 (K2)



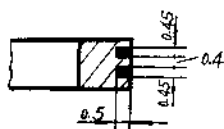
(9) 单楔面内倒角环 (K3)



(10) 双楔面环 (K1)



(11) 镶 Fe_3O_4 环 (F1)



这二种结构有效的防止胶着，用于摩托车发动机。

也是有效的防止胶着，大部份用于带增压器的柴油机发动机第一道环。

在外圆的沟槽内充填带自润性的 Fe_3O_4 及二硫化钼的粉料，可提高初期磨合性及防止拉缸的有效措施。常用于柴油机热负荷高的第一道环。

2. 油环：为了降低油耗，增加油环的面压，铸铁油环使用比例逐渐下降，相应的以钢带组合油环代替。

(1) 普通油环 (C1)

使用于一般发动机。



(2) 槽内侧倒角环 (C2)



(3) 槽外侧倒角环 (BC1) 及 (BC2)



(BC1)



(BC2)

为了增加面压采取倒角减少接触面。

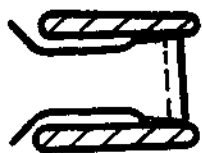
有时为了再增加面压，在上述油环内面增加一个波状衬环，但这种结构使用较少。

(4) “A型”钢带组合油环：



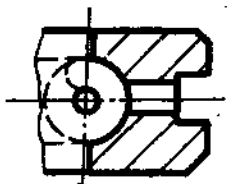
它由二片刮片环及中间衬环组成。

(5) “S型”钢带组合油环：



在工艺性上较“A”型简化，装配可以机械化，但油耗不如“A”型。

(6) 螺旋弹簧铸铁油环(E—C)：

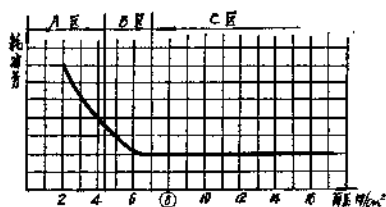


主要用于柴油机，使面压提高到 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 。为了降低磨耗在铸铁油环外圆及内沟槽上镀硬铬。

对钢带组合油环设计作如下补充

1. 面压：

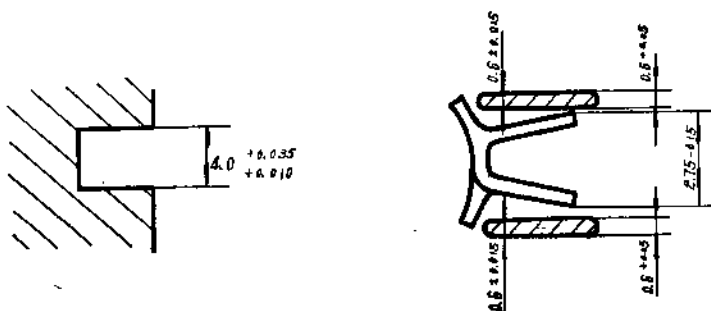
随着面压增加，油耗下降，但面压增加到一定值，而油耗下降也不明显了。如图所示：“A区”面压较低，耗油高，“B区”为转折区。在“C区”耗油平稳，所以在设计时，取面压值 $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 为标准。在极个别的情况下螺旋弹簧铸铁油环的面压达 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ ，而面压过大会增加磨耗及功率损失，故所以面压的确定一般是通过试验取得，不单纯依赖计标。



2. 组合油环的轴向配合尺寸:

当活塞环槽尺寸为 $4.0 \begin{smallmatrix} +0.035 \\ +0.010 \end{smallmatrix}$ 时

“A型”组合油环:



最大间隙:

$$\Delta_{\max} = 4.035 - (0.585 \times 2) - 2.60 = 0.265 \text{ mm}$$

最小间隙:

$$\Delta_{\min} = 4.010 - (0.615 \times 2) - 2.75 = 0.030 \text{ mm}$$

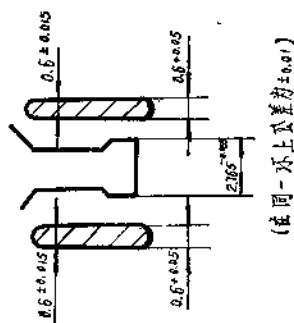
“S型”组合油环:

最大间隙:

$$\Delta_{\max} = 4.035 - (0.585 \times 2) - 2.71 = 0.155 \text{ mm}$$

最小间隙:

$$\Delta_{\min} = 4.010 - (0.615 \times 2) - 2.765 = 0.015 \text{ mm}$$



(值同一环上公差为±0.01)

日本各种发动机选用活塞环的举例

1. 四冲程汽油机

	第一种	第二种	第三种	总长度"mm"
第一压力环				2
第二压力环				2
油 环	制屑型合	同 左	同 左	4

丰田汽车公司的汽油机全部采用第一种,部份采用第二种。日产汽车公司采用第三种。

2. 四冲程柴油机, 从目前发展采用三道环、

	第一种	第二种	第三种	第四种
第一压力环				
第二压力环				
第三压力环				
油 环		同 左	同 左	同 左

当柴油机发动机排量在10公升以上一般采用第三、第四种方案, 如五十铃汽车公司就采用第三种方案或第四种方案。

三、汽车活塞环材质

1. NPR 活塞环材料牌号

NPR 活塞环材料有两种。一种是铸铁活塞环, 另一种是钢制活塞环。其牌 号、化学成份、组织及性能分别列于下表。

汽车用铸铁活塞环牌号 (φ160以下)

材質名称	化 学 成 份 (%)											硬 度	强度 (注)		弹性模数 (E) (kg/mm ²)	弹性收缩率 300° (%)	金相组织		备 注
	T.C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B	Cu	V		引张强度 (kg/mm ²)	屈服力 (kg/mm ²)			石墨	基体	
NPR铸铁	3.50 { }	2.00 { }	0.40 { }	0.20 { }	<0.10	—	—	—	—	—	—	—	>30	9500	<10	片状	珠光体 斯氏体	一般用	
NPR铸铁H	3.00 { }	2.00 { }	0.40 { }	0.20 { }	<0.10	—	—	—	0.02 { }	—	—	—	>35	11000	<10	片状	珠光体 斯氏体	一般用	
タ-カロイ	3.50 { }	2.00 { }	0.40 { }	0.20 { }	<0.10	—	—	—	0.02 { }	—	—	—	>30	9500	<10	片状	珠光体 特殊斯氏体	耐磨损用	
タ-カロイH	3.00 { }	2.00 { }	0.40 { }	0.20 { }	<0.10	—	—	—	0.02 { }	—	—	—	>35	11000	<10	片状	珠光体 特殊斯氏体	耐磨损用	
Pシキエラ -铸铁	3.00 { }	2.00 { }	0.40 { }	<0.35	<0.10	0.50 { }	0.40 { }	0.80 { }	—	0.08 ~	0.10 ~	—	>35	11500	<8	片状	马氏体 珠光体	耐折断用	
ニツバロイA	2.00 { }	1.50 { }	0.40 { }	<0.30	<0.10	—	<0.50	—	—	—	—	—	—	16500	<6	粒状	回火马氏体 碳化物	高弹性力耐折断用	
クロモシ ニツバ ロイ	2.00 { }	1.50 { }	0.40 { }	<0.30	<0.10	—	0.50 { }	0.20 { }	—	—	—	—	—	17000	<4	粒状	回火马氏体 碳化物	高弹性力耐折断用	
ニツバロイB ₁	3.30 { }	2.00 { }	0.40 { }	<0.30	<0.05	—	<0.50	—	—	0.50 ~	—	—	—	15500	<6	球状	回火马氏体 珠光体	高弹性力耐折断用	
ニツバロイB ₂	3.30 { }	2.00 { }	0.40 { }	<0.30	<0.05	—	<0.50	0.50 { }	—	0.50 ~	—	—	—	15500	<5	球状	回火马氏体 珠光体	高弹性力耐折断用	

注: 引张强_引, 是指另作试样得到的抗拉强度。

リ=グ抗力, 是指活塞环加工成品尺寸, 在特制的强度试验仪上得出。

钢制活塞环材料牌号

材质名称	化 学 成 分 (%)										硬度	抗拉强度 (kg/mm ²)	弹性模数 (E) (kg/mm ²)	弹力 减退率 (%)	金 相 组 织	用 途
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	V	N					
SK 5	0.80 } <0.35 0.90		<0.50 <0.03		<0.03		<0.20				—	H R 30 N 59~67	20000	—	索氏体	组合油环 组向衬环
	0.70 } <0.35 0.80		<0.50 <0.03		<0.03		—				—	H R 30 N 68~72	20000	—	索氏体	组合油环 刮环用
												H R 30 N 60~69	>150	30°C 60分 <10	索氏体	高弹性 耐折断 用压力环
SUS 2 0 1	<0.15 <1.00		5.50 } <0.06 7.50		<0.03	3.50 } <0.03 5.50	16.00 } — 18.00				<0.25	H R 30 N 120~ 59~67	20000	—	奥氏体	组合油环 组向衬环

2. 活塞环材质性能要求及NPR的发展趋势

汽车发动机的工作状况要求活塞环具有良好的气密性、耐磨性、刮油作用和导热性。随着发动机的强化，活塞环材料也必需向高强度、高耐磨性和高耐热性方向发展。

(1) 强度

普通铸铁活塞环提高强度的途径是强化基体，控制石墨大小、数量和分布情况。该公司的NPR铸铁弹性模数在9500kg/mm²以上，NPR铸铁H的弹性模数在11000kg/mm²以上。

为提高强度，可锻铸铁和球墨铸铁也被应用于活塞环生产（多用于高负荷发动机的第一道环和部份油环）。可锻铸铁不仅含碳量低，而且通过退火（980°C，保温30分钟）→淬火（850°C，油冷）→回火（660°C，保温1小时）的热处理，得到接近球状或粒状的退火石墨。为使石墨细小，分布均匀，往往在退火前增加一次淬火。可锻铸铁环的抗拉强度大于60kg/mm²，弹性模数可达16500~17000kg/mm²，具有很高的弹力和抗折断性能，过去曾被广泛用作汽油机和柴油机的第一道环。目前，由于球墨铸铁环的发展，可锻铸铁逐渐被球墨铸铁所代替。因为两者的机械性能差不多，但制造工艺球墨铸铁较可锻铸铁简单。NPR目前球墨铸铁和可锻铸铁环占总产量的20%，可锻铸铁环仅占5%，而且今后还有减少的趋势。球墨铸铁和可锻铸铁在强度和抗折断性方面虽远优于普通铸铁，但都是通过减少石墨量，改变石墨的形状和分布而得到，所以其耐磨性却低于普通铸铁环。为提高耐磨性，往往通过表面处理（如镀铬、喷钼等）来解决。

提高活塞环的强度，也有采用多种合金和增加合金含量来解决。如Pミキユラ-铸铁中含Ni：0.5~1.0%；Cr：0.4~0.7%；Mo：0.8~1.5%；Cu：0.8~1.2%；V：0.1~0.3%。得到马氏体、贝氏体和粒状珠光体的组织。但合金的增加，使成本提高，经济性较差。除上述通过增加合金量（或热处理方法），有意形成针状组织外，其他普通铸铁、加硼铸铁，却不允许产生针状组织。

(2) 耐磨性

活塞环在工作状态下的磨损分两类：

①机械磨损——磨粒磨损。

②拉缸（Scuff）——熔着磨损。

熔着磨损又分磨合初期的拉缸和中期的拉缸。

减少机械磨损除解决材质问题外，还必需考虑空气滤清和机油滤清的改善，尽量减

少进入气缸的微粒，这种磨损在日本的汽车发动机上已不是主要问题。

发动机向高负荷、高速、高功率方向发展，活塞环工作条件恶劣，熔着磨损就显得突出了。不同的磨损，必需采取不同的措施予以解决。

对铸铁材料来说，提高耐磨性主要是在不减少石墨量的条件下，使基体中折出坚硬的物质，提高抗磨性。现在使用的铸铁环一般含磷在0.5%左右，折出硬度 $HV = 750$ 的二元磷共晶，有一定的抗磨作用。但这种材料较脆，有时会出现空洞，故NPR用加硼铸铁来提高其耐磨性。可锻铸铁和球墨铸铁环则用表面处理来提高其耐磨性。采取上述措施后，NPR柴油机活塞环的寿命由二十年前三万公里提高到目前的二十万至三十万公里。

(3) 耐热性

活塞环在工作中往往受高温影响而弹力消失。为使活塞环长时间受高温作用而保持其弹力，要求活塞环材料有良好的耐热性。

柴油机：一道环的工作温度 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ；

油环的工作温度 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

汽油机：一道环的工作温度 $150 \sim 180^{\circ}\text{C}$ ；

油环的工作温度 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$

随着柴油机的增压，提高功率后，一道环的工作温度增加到 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。故该公司活塞环的标准规定，须在 300°C ，保温一小时后，其弹力减退率在10%以内，才算合格。如果石墨量和基体中铁素体量太多，则上述指标就会被突破。

从耐热性来说，可锻铸铁和球墨铸铁环优于普通铸铁环。可锻铸铁和球墨铸铁环在上述试验条件下，弹力减退在6%以内。

3. 加硼铸铁

在活塞环铸铁中加入0.02~0.08%的硼(B)，可折出特殊的斯氏体，其硬度($HV = 1000 \sim 1200$)很高，这种高硬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；而且，使石墨分布均匀，不致降低强度；同时，加硼形成的碳化物能均匀分布于基体中，切削性能也不致变坏。目前，NPR的加硼铸铁被广泛用于活塞环和缸套生产。据介绍，该公司加硼铸铁环占活塞环总产量的50%；而缸套则全部为加硼铸铁材料。

硼与其他元素及对机械性能的影响如下：

(1) 磷: 加硼铸铁在金相组织中最主要点是析出特殊的斯氏体, 这种组织同时分布有磷共晶与复合碳化物。铸铁中磷的增加, 磷共晶也会增加; 硼的增加, 则碳化物量增加。因此, 适当调整磷和硼的含量, 可以得到不同耐磨性的材料。但对活塞环, 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。

(2) 硅: 理论上硅有碍于碳化物析出, 故铸铁中含硅高, 则硼量需多。但硼的最大特点是通过微量加入即可得到显著效果。因此, 硼加入仅0.04%而硅高达2.8时, 也有碳化物析出, 故在生产中硅对硼的影响不大。

(3) 铬、钒、钨: 这些元素有利于碳化物析出, 在少量存在时对硼的加入量影响不大。

(4) 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, 石墨消失。

(5) 硬度: 硼量增加, 硬度上升, 当含硼增至2%时, 碳化物硬度可达Hv1300。

(6) 强度: 硼量增加, 强度和抗折断性能有下降的趋势, 但较缓慢, 含硼量在0.1%以下, 能达到JIS标准规定。

四、汽车活塞环的表面处理

1. 作用

(1) 提高耐磨性(镀铬、喷钼);

(2) 防止拉缸(Scuff)(氧化和磷化处理、银嵌 Fe_3O_4 、喷钼);

(3) 提高初期磨合性(氧化和磷化处理、喷涂聚四氟乙稀, 镀软质金属);

(4) 表面防锈。

总之, 是为适应发动机朝高速、高功率、高负荷发展, 在使用苛刻条件下延长其使用寿命, 但又必须与延长缸套使用寿命相配合。

2. 镀铬

(1) 活塞环外圆镀铬

镀铬的目的是提高耐磨性。由于铬的熔点高, 也具有某种防拉缸性。但初期磨合性差。镀铬环较普通铸铁环的耐磨性为3:1。现在日本汽车发动机的第一道环几乎全部采用镀铬, NPR环的一般磨损情况如下:

柴油机第一道环: 7~8 μ /万公里;

汽油机第一道环：5~6 μ /万公里。

镀铬的耐拉缸性虽不及喷钼，但优于普通铸铁环和球墨铸铁、可锻铸铁环，其顺序为：球铁可锻铸铁<普通铸铁<镀铬<喷钼。NPR环镀铬全部是镀硬质铬，在日本镀多孔铬非常少见。为了提高初期磨合性，部分是在镀硬质铬的表面喷射成细小点状凹坑，可以储油。

铬层厚度：

汽油机第一道环：0.1mm
 柴油机第一道环：0.15mm
 第二道环：0.1mm
 油 环：0.1mm

适当增大铬层厚度可以提高耐磨性，但最大不能超过0.3mm，10年前NPR曾试验将铬层厚度提高到0.5mm，但不论采用铸铁，球铁还是高强度钢，都产生环折断的现象，最后才找到原因系铬层增厚使疲劳强度急剧下降所致（见下表）。

材 质 名 称	铬 层 厚 度	疲 劳 破 坏 应 力
球 墨 铸 铁	不 镀 铬	45kg/mm ²
球 墨 铸 铁	0.2mm	41kg/mm ²
球 墨 铸 铁	0.3mm	38kg/mm ²
普 通 铸 铁	不 镀 铬	23kg/mm ²
普 通 铸 铁	0.2mm	21kg/mm ²
普 通 铸 铁	0.3mm	20kg/mm ²



（图 1）



（图 2）

活塞环外圆镀铬（如图一所示），必须倒角，这样会引起漏气。因此，也有用外圆镀银嵌铬（如图二），它的优点是不须倒角，还可提高初期磨合性。

(2) 平面镀铬

随着发动机的强化, 活塞环的端面磨损(特别是第一道环)也日趋严重, 它不但影响窜气, 还会造成环的折断, 因此在日本活塞环平面镀铬(0.005mm厚)已比较流行。

(3) 镀铬工艺及设备

①工艺过程:

液体珩磨→水洗→电解处理→水洗→镀铬。

②电镀液成分:

CrO_3 230~250g/l; (Cr_2O_3): 3~10g/l;

H_2SO_4 1~1.3g/l; Na_2SiF_6 : 4~7g/l;

Fe: 10g/l以下。

③电解处理:

电解液浓度: (COOH)₂ 10%;

温度控制: - 30~35°C;

电流密度: 20A/dm²;

时 间: 30秒。

④电镀规范:

溶液温度: 62±2°C;

电流密度: 70~80A/dm²;

沉积速度(参考): 1.2~1.4μ/分。

⑤设 备:

NPR外圆镀铬的C—005设备生产率为15000片/16小时; 内外圆同时镀铬的C—006设备生产率为4000片/16小时。以上两种设备没有什么新异。该公司还有一种C—001—2圆形旋转式自动镀铬机生产率为12000片/8小时。此次座谈日方未作介绍, 但北京汽修五分厂有此资料。

(4) 镀铬质量检查

①每工件长750mm, 镀层厚0.15±0.02mm。

②铬层硬度Hv(200)750以上, 一般为800~1000。

③铬层结合强度检查, 日本尚无国标, NPR采取以下方法检查: