

国外转子发动机加工工艺

上海科学技术情报研究所

54
411

国外转子发动机加工工艺

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 6.5 字数: 160,000

1976年2月第1版 1976年2月第1次印刷

印数: 1—8,800

代号: 151634·274 定价: 0.80 元

(只限国内发行)

编 者 的 话

为了适应迅速发展的生产形势,我们遵照伟大领袖毛主席关于“**洋为中用**”的教导,对国外三角活塞转子发动机近年的加工工艺情况作了一次粗略的调查。现将初步搜集的有关资料选编成册,供大家参考。

由于一般零件的传统加工工艺大家都很熟悉,所以本资料着重介绍一些主要零件的特种加工工艺,例如缸体型面的变形、测量及加工设备;端盖、中隔板及缸体型面的表面处理;偏心轴及相位齿轮的精加工等等。

本资料是在第一机械工业部机械研究院及长春汽车研究所的组织下,由上海机电一局转子发动机会战小组、上海科学技术情报研究所、长春汽车研究所、无锡机床厂、金华汽车修理厂及天津动力机厂等单位联合编译的。

鉴于收集的资料有限,又缺乏实际经验,必然会出现**错、漏**之处,望批评指正。

编 者

一九七五年十月

目 录

概述	1
一、三角活塞转子发动机现状	1
二、三角转子发动机的生产情况	1
三、主要零件的加工及整机装配情况	2
缸体外旋轮线型面加工	8
一、缸体型面的加工原理	8
二、西德科帕公司的缸体型面铣床与磨床	11
三、美国格利森 (Gleason) 807、808 型缸体型面专用加工机床	18
四、美国三纵标 (Tri-Ordinate) 公司的 Tru-Coid 型立式缸体型面磨床	26
五、程控和凸轮组合——数字程控加工转子发动机缸体型面	28
六、美国布朗-夏普公司的 TCG 立式缸体型面磨床	32
七、美国森塔利-底特律公司的立式缸体型面成型磨床	35
八、西德福脱纳 ITF1 型立式磨床和 NSU 公司金刚石砂轮磨削	39
九、美国勃朗脱 Centalign 型立式缸体型面磨床	41
十、转子发动机缸体型面的多轴加工方法	43
十一、日本丰田工机的一种缸体型面加工方案	48
十二、缸体型面的拉削加工	52

十三、缸体型面的珩磨成形加工	53
表面处理技术	
一、转子发动机缸体型面处理及移植喷镀法	59
二、西德 NSU 公司的镍-碳化硅镀层工艺	61
三、转子发动机缸体型面镶套工艺	64
四、端盖及中隔板的表面处理	66
五、离子氮化表面处理工艺	69
其它特殊加工	71
一、平面加工	71
二、转子气封槽的加工	73
三、多缸转子发动机的偏心轴与相位齿轮	76
四、偏心轴的深滚轧硬化及摩擦抛光工艺	80
五、相位齿轮精加工及三角活塞热力去毛刺	82
缸体型面的变形、修正及测量	85
一、转子机缸体变形与型线修正	85
二、转子发动机缸体型面的测量	86
附录:	94
一、转子发动机主要零件的加工要求	94
二、国外转子发动机缸体型面磨床一览表	97

概 述

大工业的兴起和发展与动力事业的发展有密切的关系。十八世纪诞生了蒸汽机,随着生产的不断发展,又出现了更先进的内燃机。后者经过近百年的生产实践,已逐步完善。旋转活塞式发动机是最近十年来才进入实用阶段的一种新型的动力机械,目前已成为内燃机的一个重要分支,它的出现是内燃机工业的一次技术革新。正如伟大领袖毛主席指出的:“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。”

一、三角活塞转子发动机现状

现在已经投产的这种旋转活塞式内燃机,是迄今为止世界各地所提出的数千种回转式动力机械方案中的一种,即旋轮线型行星运动式三角活塞发动机。

三角活塞转子发动机与传统的往复活塞式内燃机相比,它摆脱了作为动力部件的活塞组的往复运动惯性力,以及采用了新的进排气方式,所以具有运转平稳、结构简单、重量轻、体积小及排气污染易于解决等优点。因而,这种新型动力装置引起了工业界的广泛重视。

转子发动机在密封性、燃烧稳定性及耐久性方面曾出现过不少问题,经过反复的科学实践,这些问题逐步解决,终于在六十年代中期开始定型生产。现在,转子发动机的台架耐久试验已达到800小时以上,转子汽车的道路耐久试车里程也已超过十万公里,因此对它的评价正在提高,也开始在内燃机工业中占有一定的地位,世界年产量已达到几十万台的水平。

目前,国外共有二十几家公司和厂家先后获得了转子发动机的研制和生产的所谓“专利权”,其中西德的纳克苏姆公司(NSU)、费希脱和萨克斯公司(Fichtel & Sachs)、日本的东洋工业公司、美国通用汽车公司(GM)及法国雪铁龙公司(Citroën)等都已在市场上正式出售转子发动机产品。

随着资本主义国家中所谓“能源危机”的出现及社会舆论对公害问题的重视,转子发动机必须进一步降低燃油消耗及改进排气污染状况才能投入大量生产。因此,目前世界上几家转子发动机的主要生产厂家,正在集中力量研究解决上述两个课题。同时,各制造厂商为了获取利润,还纷纷投入许多力量以研究转子发动机批量生产的最经济的工艺措施及必要的专用设备。

二、三角转子发动机的生产情况

西德纳克苏姆(NSU)公司于1964年9月定型生产KKM502型单缸转子发动机,装在Spider型双座轿车上。但进展很慢,到1967年,四年内总共才生产2382辆。1967年在

KKM502的基础上改进设计,开始成批生产 KKM612 型双缸转子发动机,打算日产 50~100 台,装备 RO80 轿车,但是实际上没有达到预定指标,产量最高的 1969 年为 7,800 辆。1969 年后对发动机结构又进行了改进,到 1972 年达到年产万台的水平。1974 年估计年产 2 万辆。

日本东洋工业公司,原是日本第二流的汽车公司,为了在市场竞争中“出奇制胜”,该公司抓住了转子发动机这个新苗子,经过六年的反复试验研究,获得成功。他们的转子轿车,于 1967 年 5 月抢在西德之前投入成批生产,1972 年达到年产 24 万辆的水平,截止 1974 年 6 月,该公司共生产了 70 多万台转子发动机。为了研究排气净化问题,1967 年 2 月建立了一座面积为该 3700 平方米的排气研究中心,后来相继建造了几个发动机试验室。目前正在计划扩大投资,着重研究改善发动机性能及工艺装备,准备在最近两年内兴建一座月产 5 万余台转子发动机的大型工厂,并在 1975 年达到月产 7 万台的水平。同时还准备兴建一座专门生产转子发动机轿车的大型工厂。

西德费希脱及萨克斯公司,专门生产小型风冷转子发动机,几年来已有 4 万多台这种发动机销售到美国。

1967 年 5 月 9 日,西德纳克苏姆公司和法国雪铁龙公司协作,共同在卢森堡成立了 Comotor 转子发动机公司,该公司在阿尔特福魏勒(Altfor Weiler)设有机械加工车间和装配车间,设想日产 10 台转子发动机。1973 年的年产量为 5000 辆转子轿车。

其它公司,如西德的本茨公司,日本的洋马柴油机公司、铃木公司,美国的寇蒂斯-莱特公司及舷外机公司等也已先后投产,不过规模都不大。美国通用汽车公司,以 5000 万美元的代价购买了转子发动机“专利”,全面展开这一新技术的研究。1973 年,由于“能源危机”而宣布延期投产,但在 1974 年 6 月又传出了新的投产计划。其第一步已于 1974 年 7 月开始执行,在密执安州的费林特厂正式投产。现在日产 6 台转子发动机,已经装在需求量很大的雪佛莱“织女星”牌(Vega)小轿车上。

三、主要零件的加工及整机装配情况

随着发动机的逐步完善及生产批量的不断增大,各有关厂家对转子发动机的生产工艺及专用设备进行了深入的研究。

下面简单地介绍一下三角转子发动机各主要零件的生产情况及整机装配的问题。

转子发动机的转子和机体各大件的材料,无论是采用生铁还是铝合金,毛坯多半是铸造的,只有在研制过程的初期,曾采用过中碳钢焊接的转子。已经投产的几种转子发动机,它们的缸体几乎全部是用铝合金压铸的,而盖板和转子均采用最新的壳模铸造工艺,采用特殊的铸铁。图 1 为日本东洋工业公司麦芝达转子发动机的壳模铸造生产线实况。

另外,还出现了综合加工自动线。例如美国密执安州萨吉诺市 B·K 公司,建造了两条机械化的自动线,用以包括金属移植喷涂,压力铸造及电镀工艺等综合加工。为了解决电镀槽的公害问题,美国 Micromatic 公司发展了一种同时电镀珩磨成形的加工方法,将电镀工艺放在机械加工的流水线中,在一台机床上同时完成电镀与珩磨两道工序。

在机体大件的机加工中,相对来说盖板是比较简单的。但是西德纳克苏姆公司的 KKM612

型转子发动机其前盖结构比较复杂，该公司在几年前建成了一条加工这种发动机前盖的自动线。以前7名工人在相应数量的机床上加工该铸件需工时70分钟，而现在只需要一名工人，工件通过自动线的全部工时只需8分钟。全线共有257道工序，其中包括51道检验工序，共有15个工位。最近西德迪德斯海姆(Diedesheim)机床制造公司，又制造了一条加工KKM612型转子发动机前盖的自动线，在一次夹紧后，可从5个平面用214根轴进行加工，进一步缩短了工时。这条自动线总长21米，消耗动力需252瓩，总重量为96,700公斤(图2)。

端盖大工作平面的热处理十分重要，既要提高耐磨性，又要尽可能地减少平面变形。因此，普遍采用了喷涂、高频感应淬火及离子氮化等工艺。

旋轮线缸体型面的加工是这种发动机生产中一个最复杂的问题，成本高，费工时。因此，

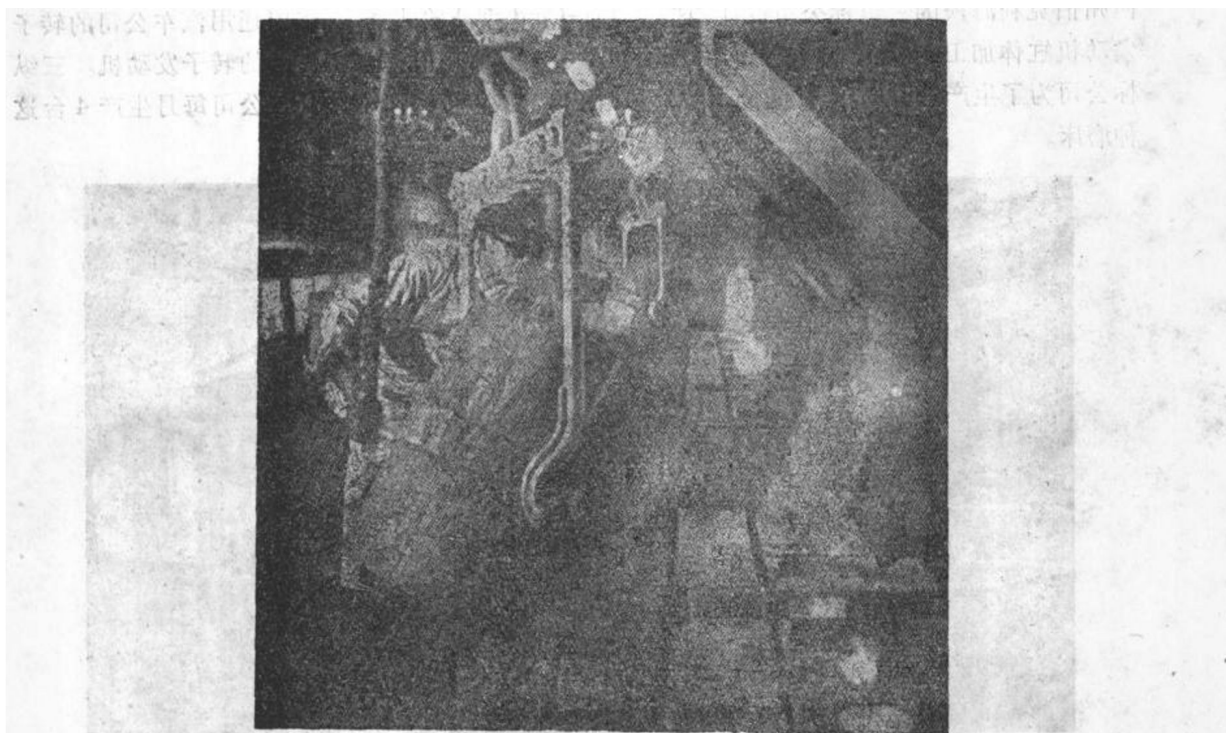


图1 日本东洋工业公司麦芝达转子发动机壳模铸造生产线

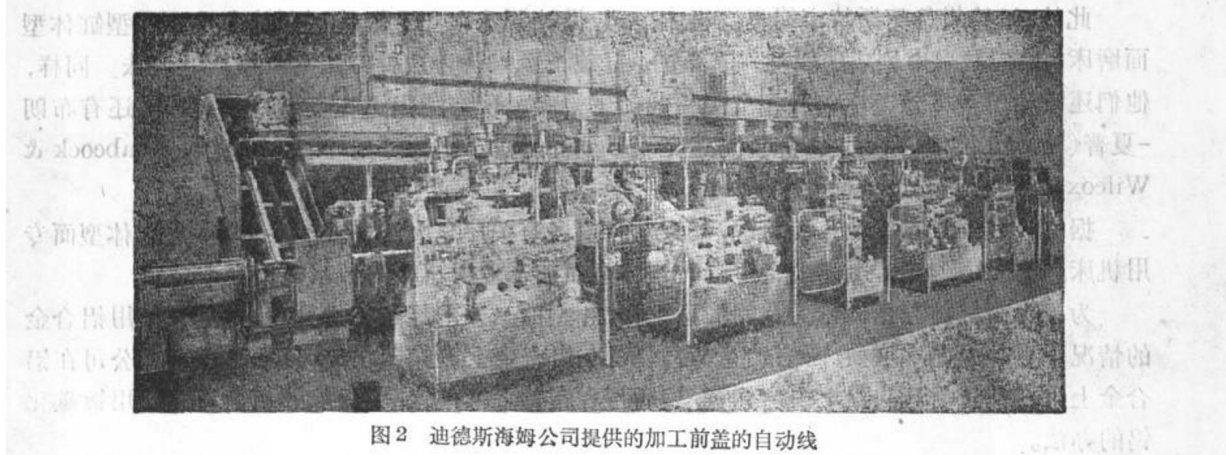


图2 迪德斯海姆公司提供的加工前盖的自动线

许多机床制造厂商纷纷设计制造加工旋轮线缸体型面的专用机床。

例如西德福脱纳公司 (Fortuna) 设计制造了 ITF-1 型立式及 ITF-2 型卧式缸体型面磨床, 腓特烈·科帕公司 (Fritz, Kopp) 设计制造了 TKS₄ 等缸体型面加工的靠模机床。较早的还有德国施图加特市格林机床厂, 他们在格林镗缸机的基础上发展了 TRO-350-H 及 TRO-350-M 两种型号的旋轮线缸体型面加工专用机床。

日本东洋工业公司本身就是生产机床的, 当该公司开始研制转子发动机后, 机床部门为本公司的转子发动机的生产自制了不少缸体型面加工的专用机床。另外, 丰田工机及大隈铁工厂等也开始研制此类专用机床。

美国机床制造行业在为转子发动机制造缸体型面加工专用设备方面更是十分活跃。新泽西州伯克利海茨的三纵标公司设计制造了 Tru-Coid 型凸轮式磨床, 美国通用汽车公司的转子发动机缸体加工, 主要依靠这种磨床, 福特汽车公司也采用它来加工自己的转子发动机。三纵标公司为了生产这种磨床, 还建立了生产线 (图 3)。从 1973 年 3 月起, 该公司每月生产 4 台这种磨床。

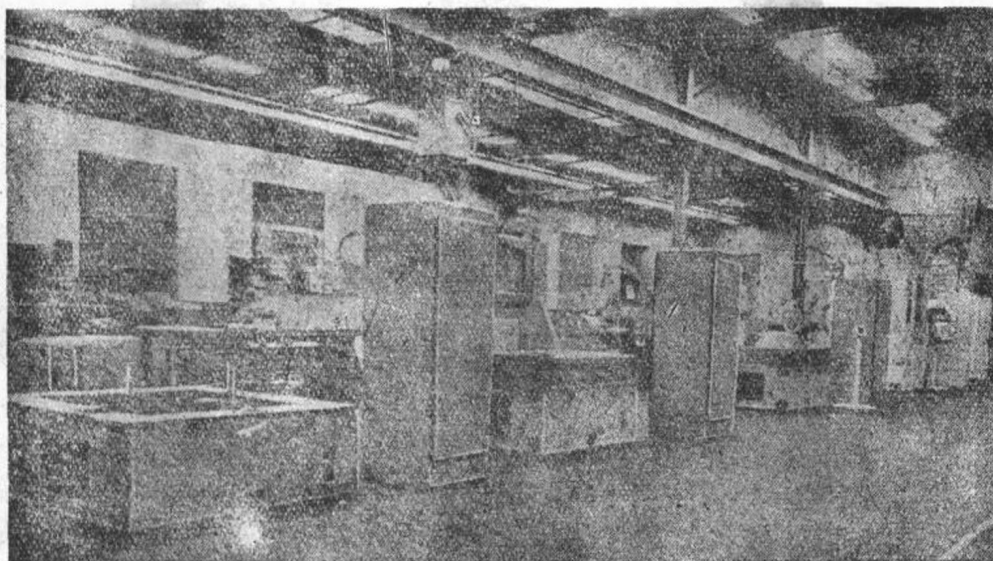


图 3. 三纵标公司 Tru-Coid 型磨床生产线

此外, 纽约州鲁契斯特市格里森机床公司, 设计制造出 807 缸体型面铣床及 808 型缸体型面磨床, 他们是采用创成法原理作基础的, 打破了原来认为这种方法生产率低的说法。同样, 他们还设计了 603 及 604 型转子气封槽的加工铣床。现在美国正在制造这类机床的还有布朗-夏普 (Brown & Sharpe)、密克罗马迪克 (Micromatio)、巴勃考克-威尔可克斯 (Babcock & Wilcox) 及翁斯卢德 (Onsrud) 等公司。

据统计根据汽车工业市场情况, 最近 5 年内各有关厂家大约需要 100~200 台缸体型面专用机床。附表中列出了上述公司生产的缸体型面加工专用机床的技术数据。

为了提高缸体与径向密封片间的耐摩擦性, 型面一般都经过特殊处理, 尤其在采用铝合金的情况下更是如此。例如, 西德纳克苏姆公司在铝合金上镀镍碳化硅; 日本东洋工业公司在铝合金上采用移植喷镀法涂上一层钢背, 然后再在钢背上镀硬铬; 美国舷外机公司则采用镀碳化钨的办法。

缸体型面的加工及处理如此复杂,因此也出现了一些革新工艺的设置。例如英国范德维尔公司(Vandervell),根据它多年来制造薄壁轴瓦的经验,对转子发动机缸体型腔进行镶套试验。并且声称,这种技术一旦成功,必将引起转子发动机结构上及加工工艺方面的重大变革。

缸体型面的测量检验,开始阶段采用该发动机创成运动的原理,依靠千分表进行,之后随着技术的发展,出现了一系列先进的检测设备,例如西德介绍的 UMM500 型三坐标万能测量仪,及在加工过程中与型线磨床配合使用的马尔普斯检测仪等等。

缸体加工之所以复杂,除了型面外,端面密封槽的加工也很费事。美国特钱公司(Turchan)专长搞“数控液压铣床”,他们为通用汽车公司设计了加工密封槽的专用机床。它是一台有4个主轴(四个切削头)的专用设备,一次可以同时加工两只缸体的两个端面的密封槽。由于铣刀盘是对置的,因此这种方案的切削力能始终保持平衡,与普通仿形式样板控制机床相比,其生产速度可提高一倍,可用于流水生产(图4)。

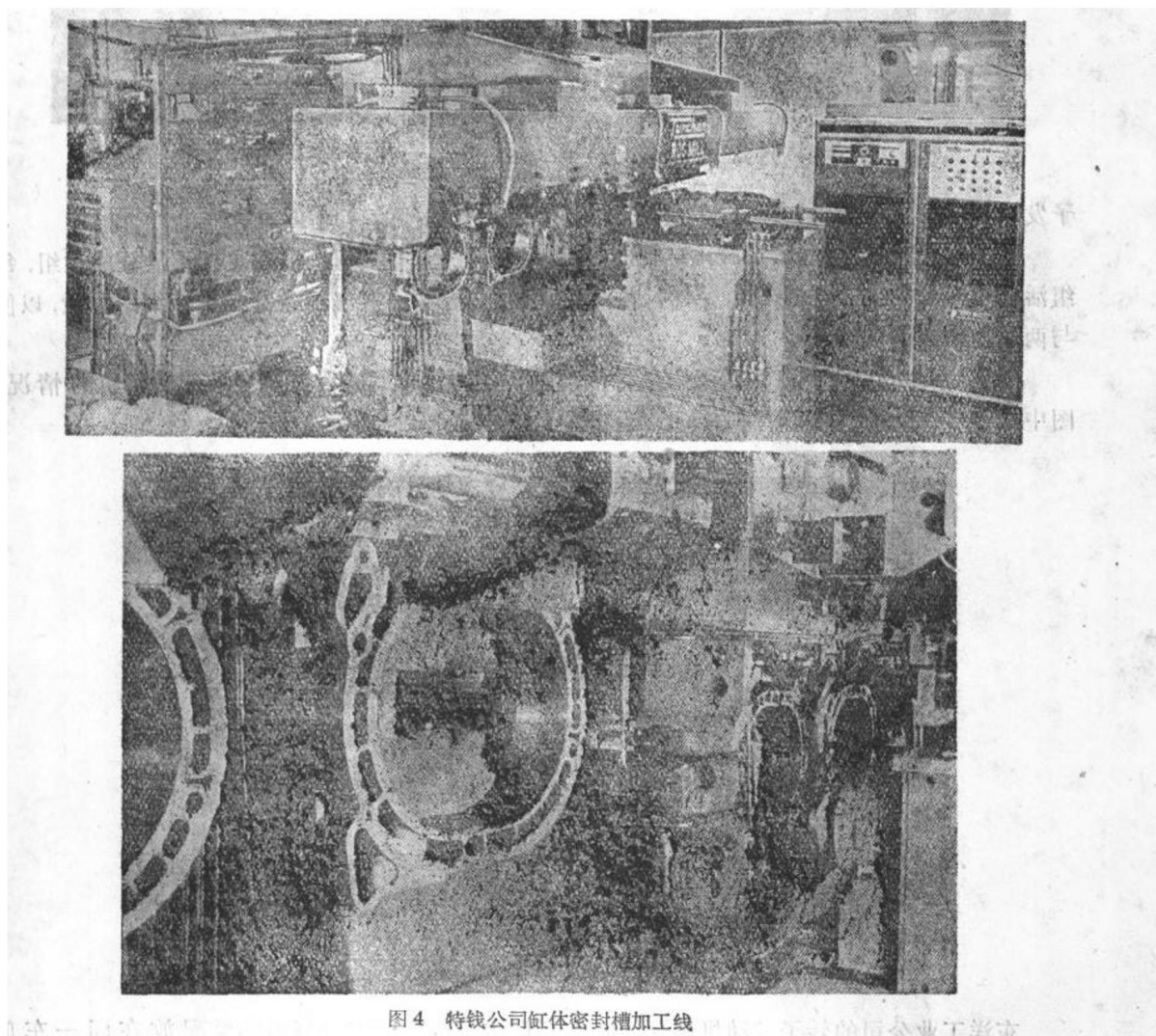


图4 特钱公司缸体密封槽加工线

最后介绍一下装配情况。开始阶段各制造厂家都没有成熟的工艺路线,装配就在生产车间内进行。图5表示装配线的一角。图6表示西德纳克苏姆公司1966年生产“Spider”型转



图5 “Spider”装配线一角

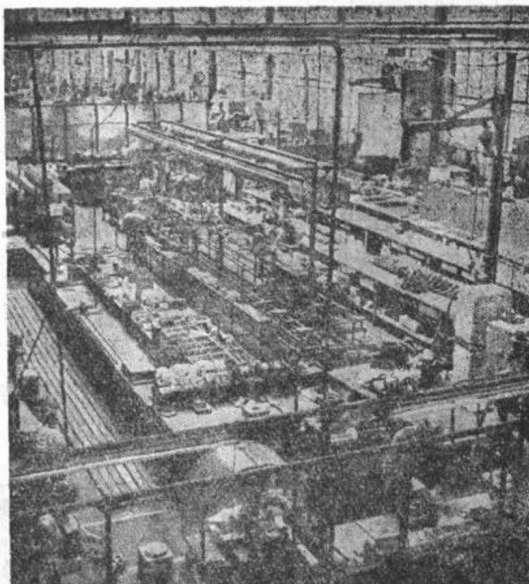


图6

子发动机的情况,照片近处是简易装配线,照片远处为零件的机加工部分。

随着生产批量的扩大,Comotor 公司根据装配往复机的经验,将活塞按重量分成七组,每组活塞重量的差别不超过 22 克;气封条按长度分为 8 组,每根气封条都经过仔细的测量,以便与两端的密封销精确配合。

图7为 Comotor 公司在西德阿尔特福魏勒新建的转子发动机工厂里装配转子机的情况。图中是许多待装的端盖,前面一台正在装配。

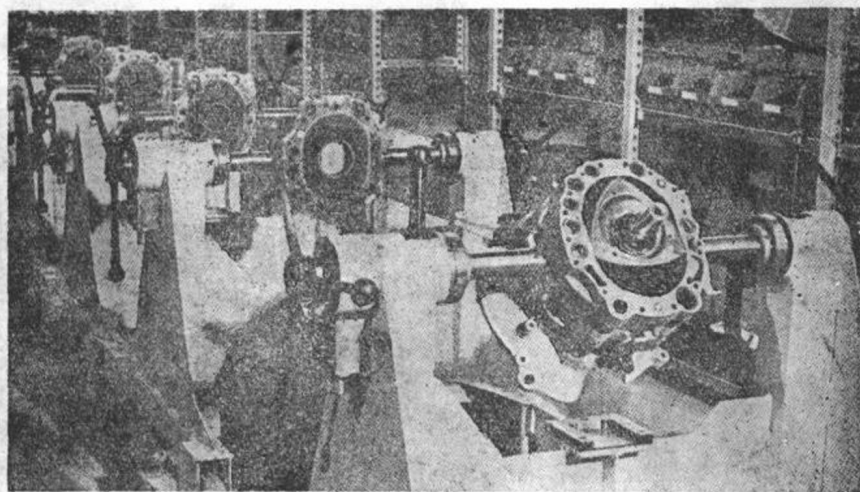


图7 Comotor 的一条装配线

东洋工业公司的转子发动机装配线,在新厂未建成之前与往复机的装配放在同一车间里,装配完的发动机挂在传送带的悬架上。图8是东洋工业公司麦芝达转子发动机的装配线,1973年2月曾经达到过月装2万3千多台的水平。

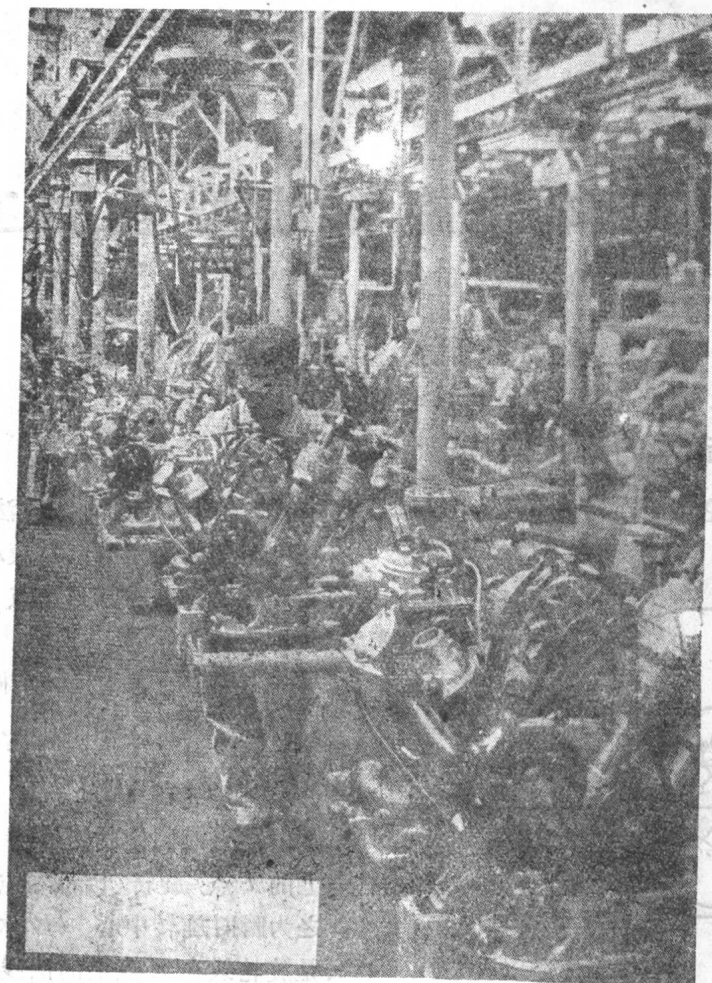


图8 东洋工业公司麦芝达装配线

(一)

材料前部



图9

因

外入信并

图1所示, B点

图1所示, B点

缸体外旋轮线型面加工

一、缸体型面的加工原理

(一) 缸体的理论型线

缸体的理论型线在几何上称为“双弧长短幅外旋轮线”，它的创成方法见图1。圆(R)沿着与它内切的固定圆(K)滚动，与圆(R)相对固定并随之滚动的圆外一点P所形成的运动轨迹即是外旋轮线。

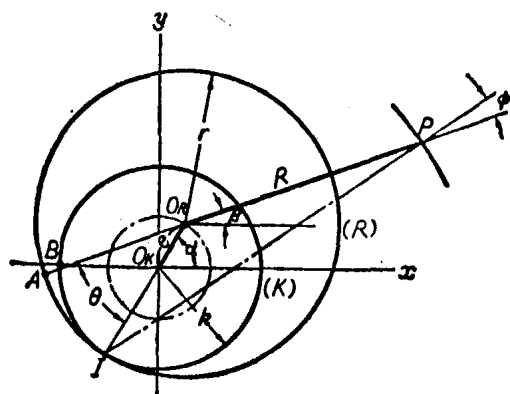


图1 用内滚法创成外旋轮线

当圆(K)的半径 k 与圆(R)的半径 r 之比为： $\frac{k}{r} = \frac{2}{3}$ 时，形成的轨迹就是封闭的双弧长短幅外旋轮线。

P 点对固定圆讲是绕二个圆的切点（即图上的 I 点）旋转，因该切点位置也在变动，故称之为瞬时旋转中心， $\bar{I}P$ 称为瞬时旋转半径，也是旋轮线在 P 点上的法线。

图中 R 称为创成半径。 R 与 $\bar{I}P$ 所成的角 φ 称为旋轮线的摆动角。这个摆动角大小也随 P 点位置的改变而变化。

固定圆(K)的圆心与滚动圆(R)的圆心之距离称为偏心距 e 。

若图1中 A、B 两点为两圆的初始切点，滚动一段时间后，切点移至图中之 I 点，则根据纯滚动原理，在滚动过程中

$$\widehat{AI} \cong \widehat{BI}, \text{ 即 } r\theta = k\alpha$$

因；

$$\frac{k}{r} = \frac{2}{3} \quad \text{及} \quad \alpha = \theta + \beta$$

代入后可得：

$$\alpha = 3\beta$$

如图1所示，将 B 点和固定圆圆心 O_K 连线作为直角坐标系的 x 轴，则可得出当偏心轴转角 α 变动时之旋轮线方程：

$$x = e \cos \alpha + R \cos \frac{\alpha}{3}$$

$$y = e \sin \alpha + R \sin \frac{\alpha}{3}$$

缸体的理论型线见图2。图3为采用滚动圆(R)与固定圆(K)外切的方法来创成旋轮线。

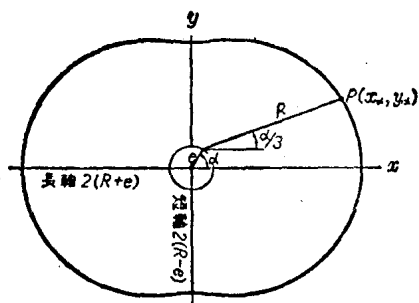


图2 缸体的理论型线

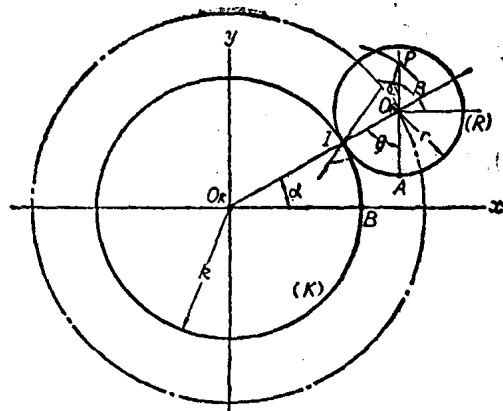


图3 用外滚法创成外旋轮线

当 $\frac{k}{r} = 2$ 时, 则圆 (R) 上的一点 P 也可以形成双弧长短幅外旋轮线, 偏心距 $e = O_K P$, 创成半径 $R = r + k$, 创成的外旋轮线是完全一样。

(二) 缸体的实际型线

在实际使用中, 为了减少磨损, 三角活塞顶端与缸壁接触的径向密封片不是一个尖点, 而是一个半径为 a 的小圆弧。因此缸体的实际型线应比理论型线扩大。扩大的方法是: 在理论型线各点沿法线方向向外平移一段距离 a , 如图4。 a 称为平移距。接触点随摆动角 φ 的变化而变化, 法线仍通过圆弧中心, 因而理论上密封片在活塞槽中不会产生径向运动。

实际型线方程经推导结果如下:

$$x = e \cos \alpha + R \cos \frac{\alpha}{3} + a \frac{R \cos \frac{\alpha}{3} + 3e \cos \alpha}{\sqrt{R^2 + 9e^2 + 6Re \cos \frac{2\alpha}{3}}}$$

$$y = e \sin \alpha + R \sin \frac{\alpha}{3} + a \frac{R \sin \frac{\alpha}{3} + 3e \sin \alpha}{\sqrt{R^2 + 9e^2 + 6Re \cos \frac{2\alpha}{3}}}$$

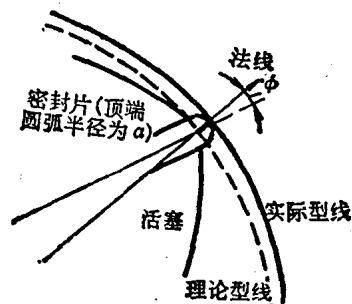


图4 缸体实际型线

1) 摆动角 φ 对加工的影响

对刨成法切削加工而言, 在镗削缸体时为了保持一定的切削角度以得到较高的型面精度与光洁度, 而在磨削时为了保持砂轮中心在法线上以保证接触点在型线上, 必须使镗刀刀头及砂轮随型线各点摆动角的变化而相应变化。

摆动角 φ 的变化易于从下式求得:

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{K + 3 \cos \frac{2\alpha}{3}}{\sqrt{K^2 + 9 + 6K \cos \frac{2\alpha}{3}}}$$

$$\varphi_{\max} = \sin^{-1} \frac{3}{K}$$

两式中的 $K = \frac{R}{e}$, 称为形状参数。

2) 活塞顶端的线速度对加工的影响

活塞在缸体中运动时, 它的顶端相对于静止的缸体表面滑动, 这个滑动速度可按前述型线方程微分再合成而得:

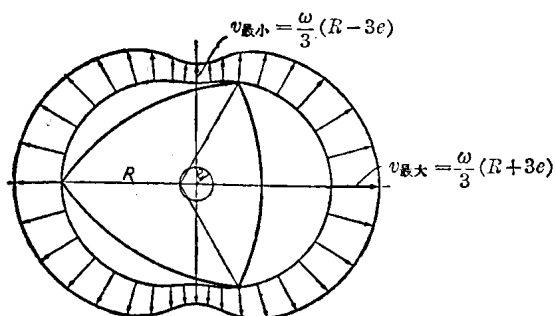


图5 活塞顶端线速度值沿缸体四周的分布

$$v = \frac{\omega e}{3} \sqrt{K^2 + 9 + 6K \cos \frac{2\alpha}{3}}$$

式中 ω 为偏心轴角速度, 为常数。

它沿缸体四周的分布见图5。不难证明, 沿缸体所有线速度 v 的方向与缸体型线各点的切线方向相同(图5上的速度方向与实际方向差 90° , 以便在图上表达)。

对创成法切削加工而言, 在镗削时为了使切削速度均匀, 在磨削时为了使进给速度均匀, 以获得较高的加工质量, 必须采取使刀具与缸体接触点的线速度均匀化的措施。

3) 型线最小曲率半径对加工的影响

在磨削缸体时, 砂轮的半径必须小于型线的最小曲率半径, 即砂轮半径小于

$$e \sqrt{\frac{27}{32} (K^2 - 9)} + a。$$

4) 型线修正问题对加工的影响

由于转子发动机工作时缸壁温度不均匀, 引起的热变形平均值约 $0.1 \sim 0.2$ 毫米, 为了保证工作时缸体型线正确, 必须考虑热变形的修正。

此外, 因型线各处曲率不同, 及有进排气孔的关系, 加工时压力也不同, 因而切削的余量也不同, 为此必须考虑修正。实际上是采用样板或修正凸轮来修正所加工的型线的。

(三) 缸体的型线加工

1) 创成法

一般说创成法生产率较低, 只用于小批和单件生产中。但美国格里森创成机床由于把产生摆动角的曲柄机构移到机床上方, 而二个旋转运动分别由两对大的精密蜗轮付传动。因此机床布置较合理, 且刚度大, 易于保证精度(详见后), 生产率也很高, 是大量生产转子发动机缸体的新方法。

格里森创成机床采用滚动圆与固定圆内切的原理。如上所述也可采用滚动圆和固定圆外切的原理, 熟知的 $5e$ 法机构即是其中的一种型式。外切法的磨削方案见图6。小齿轮可以不必作行星运动, 而是两个齿轮都绕固定轴旋转, 工件则和大齿轮一起转动。连接创成点 A 和齿轮啮合点 M 的直线是旋轮线的法线。若将半径为 r 的砂轮中心 O_s 设置在直线 AM 上, 则砂轮就能磨削旋轮线或它的等距线。若将砂轮中心 O_s 沿 AM 向 A 的方向移动, 就能径向进刀以产生所需的等距线。

2) 靠模法

靠模法是成批生产缸体时所常用的方法。用创成法磨削出模板, 然后缸体型面在靠模磨床上加工(图7)。

磨削模板时, 砂轮中心沿旋轮线运动, 这时模板型线是旋轮线的等距曲线, 其平移距等于

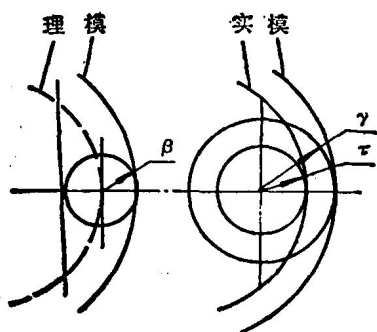


图6 凸轮线及其等距线磨削加工装置的原理

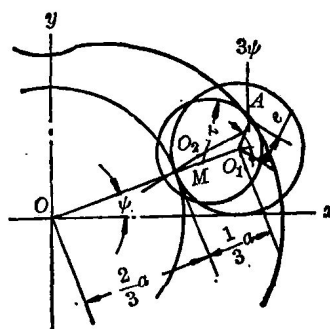


图7 缸体型面的加工方案

砂轮圆弧半径 β 。

磨削缸体型面时, 半径为 r 的辊子沿靠模运动, 它的中心与砂轮(半径为 τ) 中心重合。应保证 $\beta + \tau - r = a$ 才能磨出平移距为 a 的缸体实际型线。要注意磨削靠模板及磨削缸体实际型线时的砂轮半径是不同的, 不能相混。

如果靠模的型线和沿着它运动的辊子都制成圆锥形的话, 那么只要轴向移动辊子就能实现砂轮的径向进给。

在加工缸体型面的专用铣床及磨床中, 目前也有直接应用数控原理的, 还有人设想在粗加工时采用成型刀具拉削方法, 其具体情况见后介绍。

参 考 资 料

- [1] “国外三角活塞旋转式发动机”1970 年;
- [2] “The Wankel RC Engine Design and Performance”
- [3] “Роторно-Поршневые Двигатели”

二、西德科帕公司的缸体型面铣床与磨床

西德腓特烈·科帕(Fritz Kopp)公司制造的 EKF47-1 型面铣床(图 1)和 TKS4-2 型面磨床(图 2)是加工转子发动机缸体型面的专用机床, 这两种机床的结构基本相同, 只是切削主轴的转速、传动功率及切削程序有些区别。

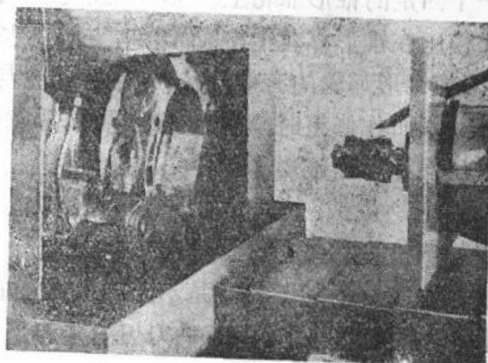
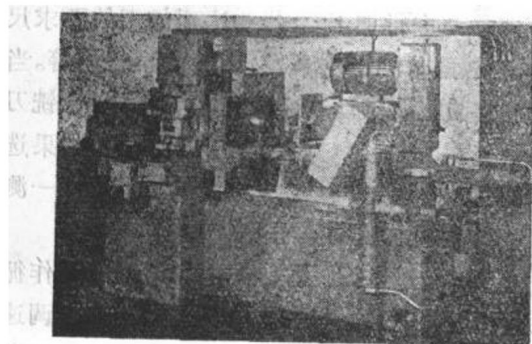


图1 EKF-1 型面铣床

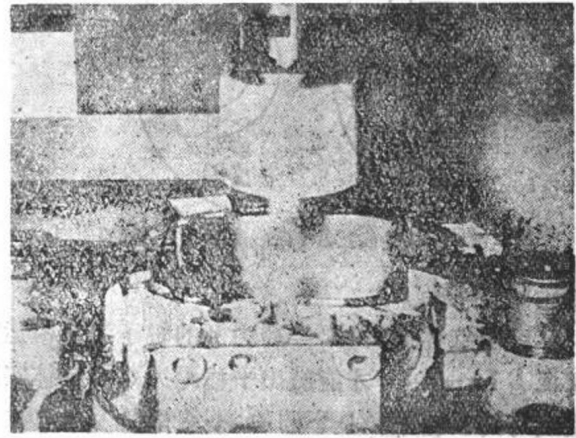
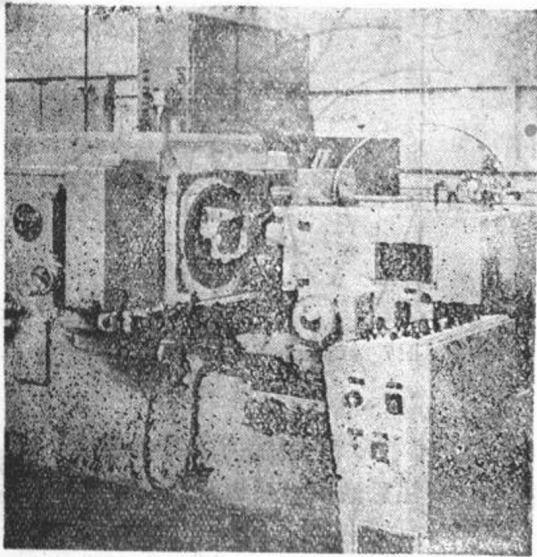


图2 TKS4-2 型面磨床(用 De Beers MDA 人造金刚石磨轮)

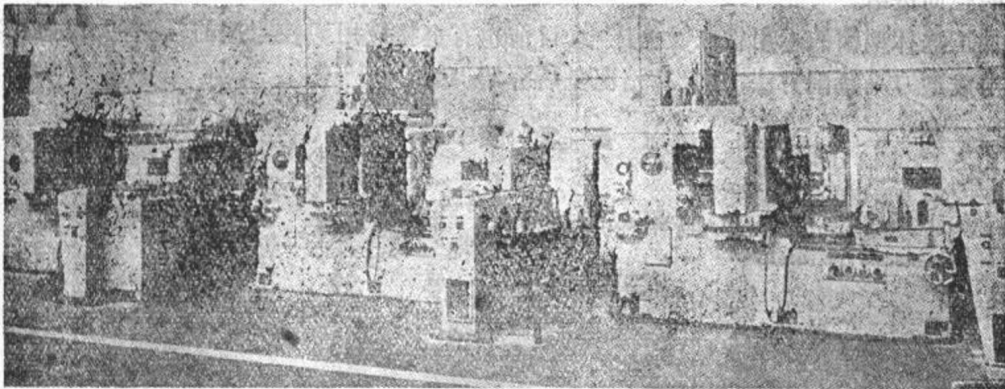


图3 一组加工 NSUR080 转子发动机缸体型面的科帕靠模磨床

这两种机床易于获得必要的加工精度,因为工件和靠模样板正确地定位在同一主轴上,因而可消除因连动机构的传动磨损而产生的精度偏差。型面磨床 TKS4-2 的仿形原理如图 4 所示,圆锥靠模和工件刚性地在—起作旋转运动,其侧面由液压机构控制着滑动支架,使靠模紧靠在一个固定的锥形靠轮上。砂轮(或铣刀)是与锥形靠轮在同一中心线上的,缸体的旋转面就借靠模压在锥形靠轮上,从而滑动支架在水平方向移动进行加工。若要达到加工的要求尺寸,必须使锥形靠轮的有效直径(即锥形靠轮与模板接触部分的平均直径)与砂轮直径相等。当砂轮因磨损而作修整时,其修整量可由锥形靠轮作轴向调整而自动补偿。但对铣削来说,铣刀磨损量虽然亦可由锥形靠轮作轴向补偿调整,但不能作自动补偿。另外,对磨削而言,如果选用金刚砂轮,亦存在着这样的缺点。在结构上,靠模装拆简便,并且工件与靠模都可由同一测量装置来测检(图 3)。

铣削与磨削的加工程序是不同的。在铣削时铣刀需经过进刀、仿形铣削和退刀的工作循环(图 4)。铣削时,铣刀的每一刀刀的走刀量要保持相等,故工件与靠模的转速需由一个调速靠模控制,以达到走刀量的均等。