

秘密资料

编号：——

压缩机驱动机构的高性能化（1）

汽车空调压缩机用
铝合金支座的研制

第一机械工业部情报所

一九七九年一月

摘 要

为了把汽车空调压缩机的支座,从现用的铸铁件改为铝合金件,以达到减轻重量和降低成本的双重目的,而研究了实际研制过程中出现的一些问题,即对固有振动频率、材料的疲劳强度、螺栓座表面凹陷变形、实际工作应力和腐蚀等问题进行了研究,并求出了这些参数的极限值。其结果,研制出一种可靠性足够高的铝合金支座。此支座的特点是,通过在螺栓座面上镶铸铁的办法缩短加工工时。

目 录

1. 绪言	1
2. 改用铝合金时出现的问题和研究项目	1
3. 试验方法	1
4. 试验结果	6
5. 分析	17
6. 失败的项目和遇到的主要困难	17
7. 结语	18
8. 参考文献	18

1. 绪 言

随着汽车车载设备的轻量化,从降低压缩机及其支承构件的总重量和成本两个方面考虑,必须减轻支座的重量。

在考虑减轻支座重量的问题时,首先考虑的是用铝合金支座来取代现用的铸铁支座,使支座铝合金化。在支座的铝合金化时,须要掌握从铸铁件改为铝合金件时发生的各种问题。如支座铝合金化时固有振动频率、实际安装在汽车上时的工作应力、支座的疲劳强度、紧固螺栓时铝合金螺栓座表面变形引起的螺栓松动等,对这些问题必须进行研究。此外,铝比铁易受腐蚀,因此在沿海地带使用时会受蚀腐。关于降低成本的措施,首先考虑的是降低加工成本。因此,作者等注意到支座上须加工的部位是螺栓座,并提出了下述方案。把尺寸已事先加工好的铁螺栓座(以下简称镶铁件)装入螺栓孔,用铝铸实。不仅如此,还通过铁件上的熔融镀锌层将铁与铝进行冶金接合^[1,2],使可靠性得到提高。

2. 改用铝合金时出现的问题和研究项目

本研究所涉及的研究项目如图 1 所示。

3. 试 验 方 法

3.1 固有振动的有限元法分析

在图纸设计的阶段,就须要计算支座的固有振动频率以及固有振动的振型,作者用有限元法计算了支座的固有振动频率^[3]。

支座的单元分割,如图 2 所示。单元数目 138、节点数目 219、自由度 18。因形状复杂,这样的分割是比较粗略的。假设 4 个发动机安装孔为固定的,以此为边界条件进行计算。

对下述三种材料进行了计算,即铸铁、铝合金和铝合金薄壁件。

3.2 铝合金的疲劳试验

试料是用拉伸试验取样用金属型制作的。图 3 表示,疲劳试验用试片的形状和取样的位置,因支座是不经热处理就使用的,所以疲劳试验用试片也是用未经处理的。另外,还用压铸的平滑板状材料作为比较材料,同时进行了疲劳试验。试验是用一台容量为 ± 10 吨的电液伺服试疲劳试验机,在完全双振拉伸压缩应力条件下,以 40 赫的交变速度进行的。

3.3 安装在汽车上时振动应力的测定

用动力齿轮系的实验装置,对铝合金支座进行了振动应力测定。图 4 是试验装置的示意

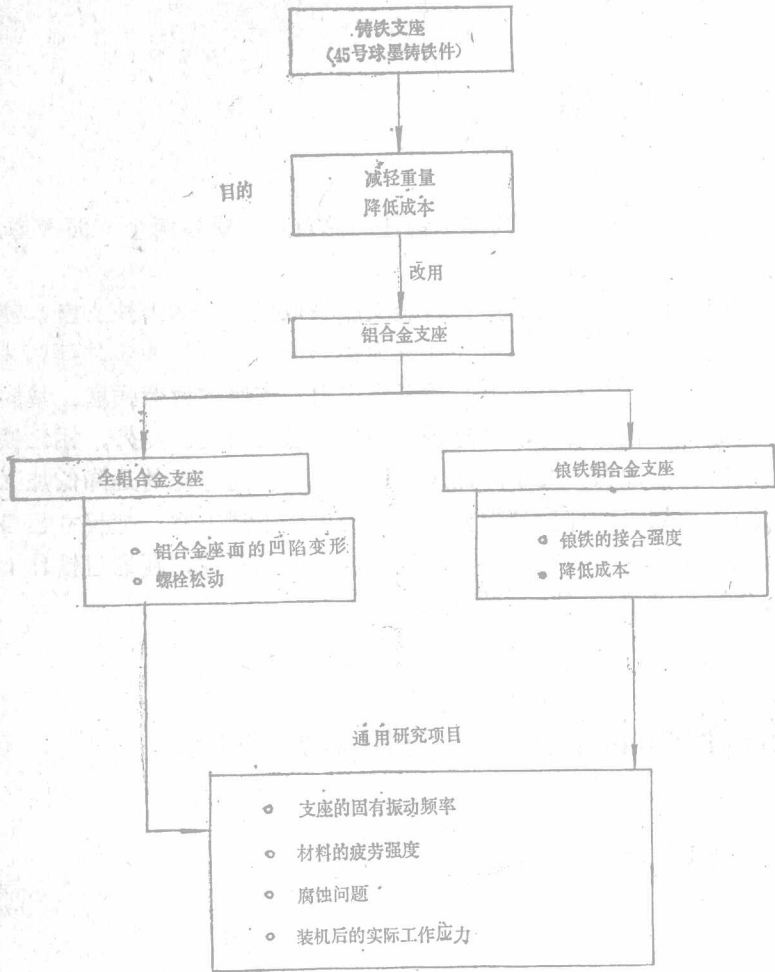


图 1 本研究的展开方法的图解

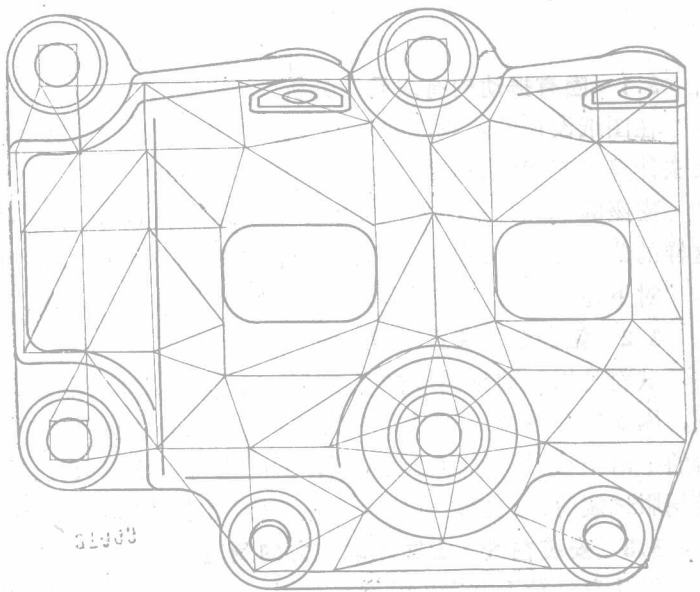


图 2 支座的单元分割图

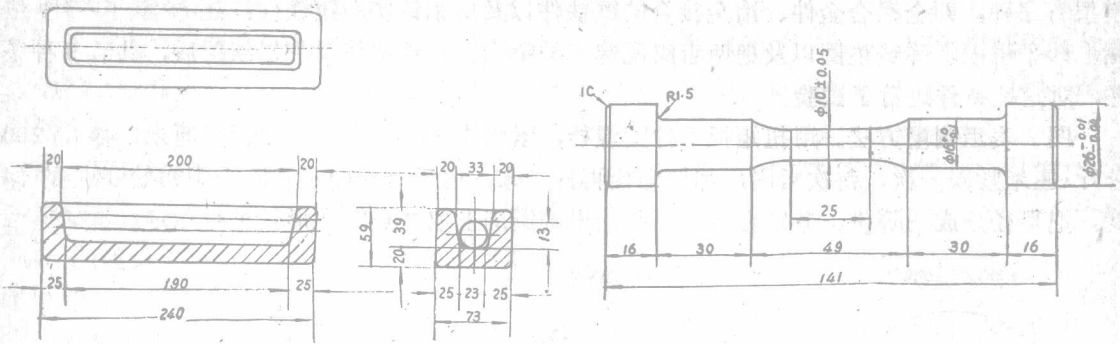


图3 疲劳试验用试片的形状和取样位置

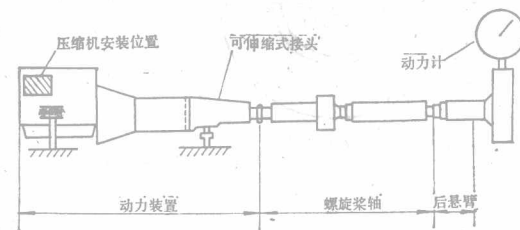


图4 动力齿轮系实验装置示意图

图。动力齿轮系的试验装置是由动力装置、螺旋桨轴、后悬臂和动力计等部分构成的。

动力计可向试片施加汽车行驶时发生的扭矩负荷。

图5表示支座外形。应力测定点是，包括应力集中点在内的产生高应力的部位，共有7处。为了观察这种粗略的处理方法对振动应力的影响，而将支座材料去除一部分形成孔。另外，支座位于直接接受从发动机放出的热量的位置，可以预料，支座本身的温度很高，所以，将 $\phi 0.3$ 的铜和铜·康铜热电偶锡焊在2处，进行了温度测定。

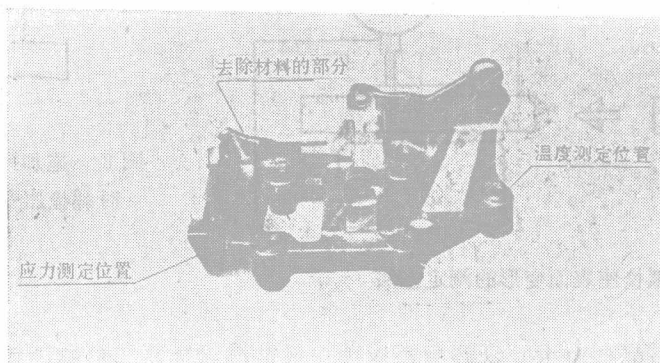


图5 应力测定位置、去除材料部位以及温度测定位置

3.4 螺栓座表面变形

铝合金铸件的静态强度比铸铁的低得多，所以，在使用铝合金支座时，须要研究的问题是螺栓座表面会不会发生变形的问题（原来不成问题）。于是，作者制作了一个把支座的螺栓座部分加以模型化的试片，进行了螺栓座表面变形试验。图6表示模型的形状。螺栓座

模型有三种，即全铝合金件、冶金接合的镶铁件以及用铝铸实的镶铁件。还准备了三种垫圈，即平垫圈、弹簧垫圈以及把两者组配起来的垫圈。将这些情况加以组配后，共有 9 种条件，对这些条件进行了试验。

图 7 表示测量方法。用扭矩扳手拧紧螺栓，紧固扭矩从 0~1000 公斤·厘米，每隔 250 公斤·厘米紧固一次，每次紧固后都把螺栓再拧下来，用千分表测定凹陷面距初始 0 点的深度。把半径分成三等份，分别在每个半径绘出的圆周上取 3 点对变形量进行测定。

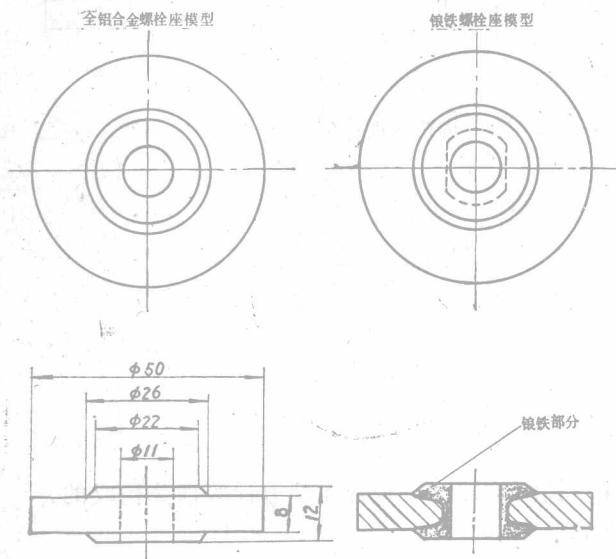


图 6 螺栓座模型的形状

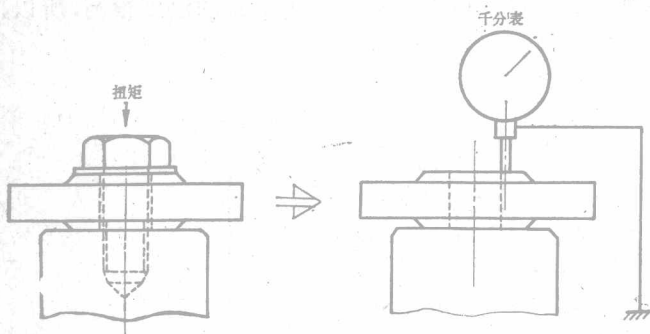


图 7 螺栓座表面变形的测定方法

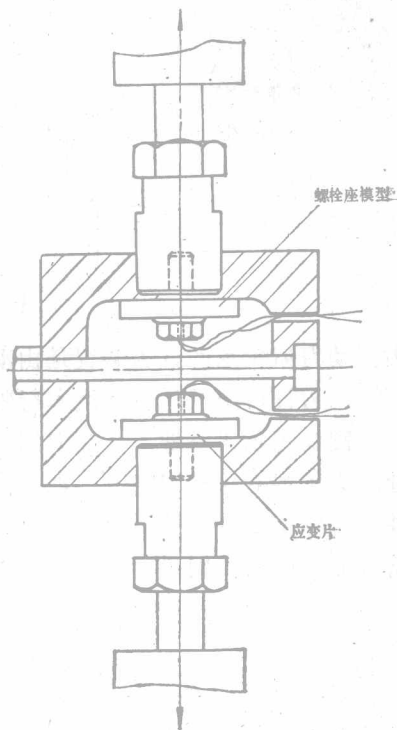


图 8 施加振动应力（脉动）时螺栓座变形试验用夹具

在施加振动应力的情况下，试验螺栓座表面变形的的方法是，检测因座面变形而引起的螺栓轴拉力的降低。即用图 8 所示夹具，把应变片贴在安装用螺栓上，把施加规定的扭矩时发生的螺栓轴拉力与相当于振动应力的外力之和，记录在电磁波器上，测定因交变次数的增多而使应力降低的值。振动应力的测量是用疲劳试验机在完全脉动拉伸应力条件下，用 40 赫的交变速度进行的。

往螺栓上贴应变片的方法是，把贴应变片的部位加工成 $\phi 8$ ，把应变片贴在此部分的两测，以消除弯曲应力的影响。

3.5 铁和铝合金的冶金接合

为促进铁和铝之间的冶金接合，可提高其“粘着性”。有一种方法是，在铝浴槽中添加少量的铅、铋和铍等元素，以减少熔液的表面张力。但问题是，这些元素有污染，或因内部偏折而出现降低强度等问题，故在实际上应用它是困难的。所以这次试验中，在拟接合的铁的表面镀上一层熔融锌，并在浇注铝溶液之前，为了使表面活化，用 18-8 不锈钢制的钢刷，刷净其表面，进行铁和铝的接合。另外，接合率依铸件的不同而有很大变化，因此，须要求出最佳铸造条件，为此目的，在不同的金属型温度和浇注温度下进行试验

表 1 试验条件

试 料	铝 硅 镁 合 金
熔 化	硅碳棒电炉
浇注温度	680℃、720℃、750℃
金属型温度	200℃、250℃、280℃、300℃
钢板表面	浇注前刷净

(见表 1)。使铁和铝合金形成冶金接合用的金属型，如图 9 所示。铁和铝合金的接合率的定义如下：冶金接合完成后，强行剥离，测定接合部分的面积，把接合部分的面积与总面积的比叫做接合率。

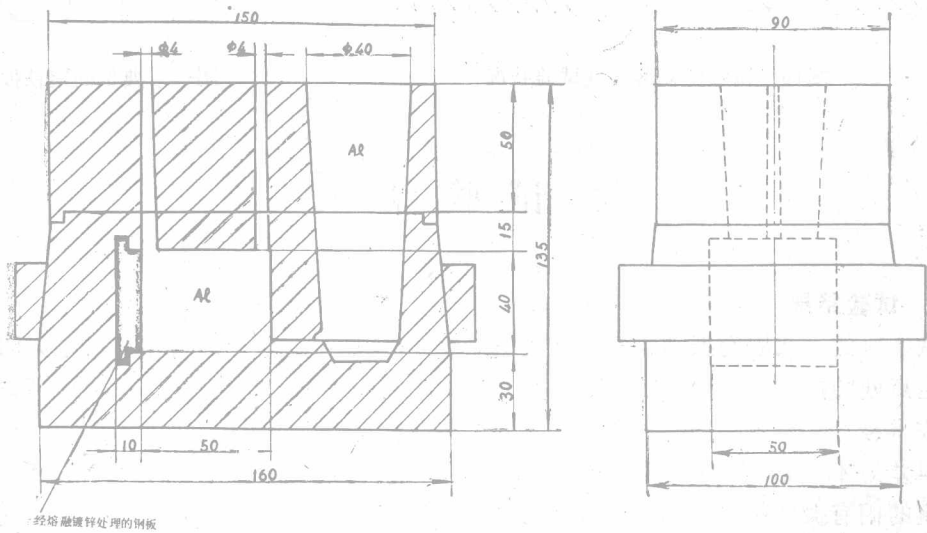


图 9 冶金接合试验用金属型

另外，把镶铁件用在铝合金支座上时，镶铁件如发生松动或脱落是危险的，所以在测定镶铁件剥落强度的同时，还检查有无松动。试验方法如图 10 所示。以座面变形试验用试料作试片，对冶金接合的和用铝铸实的两种试片进行了试验。剥离强度的测定方法是：把应变片粘贴在螺栓座模型两面沿径向上两个位置（见图），施加压缩载荷进行测定。另外，施加的载荷约等于剥离强度一半的交变应力，对施加振动应力时所产生的松动进行了测定。

3.6 铝合金支座的试制

试制了与现用铸铁支座一样的铝合金支座，在安装镶铁件的螺栓座部堆焊成 5 毫米厚。把螺栓座及螺纹全部镶铁，共 12 处。用铝铸入螺栓座的镶铁件的典型形状，如图 11 所示。

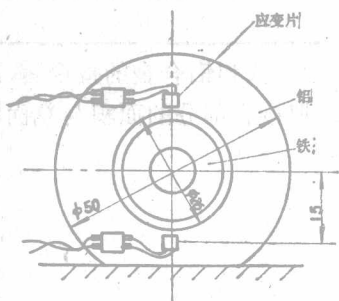


图10 铸铁件剥落强度试验状况

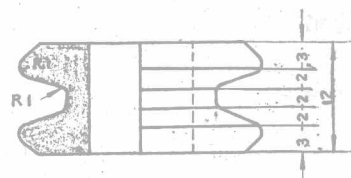
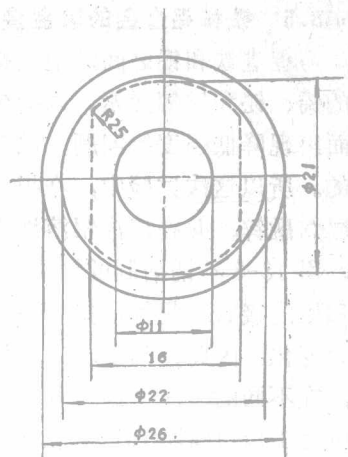
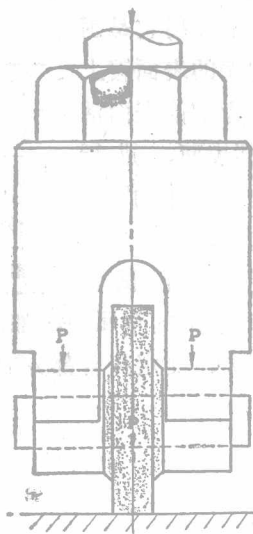


图11 典型的铸铁件

4. 试验结果

4.1 试验结果

铸铁支座的一次固有振动频率的计算值是 1789.4 赫，此时的固有振动振型如图 12-1 所示，固定点处的振动小，离固定点远的地方振动大。为了与计算结构进行比较，用螺栓将支座固定在平板上，测定了固有振动频率。固有振动频率的测量值是 1706 赫。计算值与实测值之间的误差为 4.6%，但对这样的单元分割来说，也算是一个大体上值得满意的结果吧。铝合金支座的固有振动频率是 1923 赫，当把壁厚从 5.5 毫米减至 3 毫米时，是 1590 赫。另外，某厂振动研究小组研究的结果表明，要求支座应具有的固有振动频率，大于 500 即可。因此，从上面所得的值来看，铝合金支座和铁支座之间没有多大差别，单从固有振动频率的角度来看，铝合金支座能够充分满足使用要求。图 12.2、12.3 表示铝合金支座的固有振动的振型。

4.2 材料的疲劳强度

铝硅镁合金疲劳强度的试验结果，如图 13 所示。图中还绘出了这种材料在 T6 处理时所得结果，以便比较。从图中所以看出，这种材料未经处理的铸件， $n = 10^7$ 次时的疲劳强度 $\sigma_a = 6$ 公斤/毫米²，经 T6 处理的与未经处理的相比较，在交变次数高的区域里，差别不大，PF 压铸*是一种特殊的铸造方法，用此方法铸出的铸件几乎没有什么缺陷，所以具有很高的疲劳强度。

* PF 压铸是日本轻金属公司研制的一种无气孔压铸方法。此种铸造方法的特点是，在铸造时把氧气和熔液同时浇注于铸型内。进去的氧气与熔液中的气体发生反应，生成氧化铝，可以完全除去气孔，因而能铸造出无缺陷的优质压铸件。过去认为压铸件的热处理有困难，但采用这种铸造方法，对压铸件也能进行热处理了。



图12.2 铝合金支座固有振动的振型

壁厚—5.5毫米 固有振动频率— $f = 1923$ 赫 最大摆动—1.0

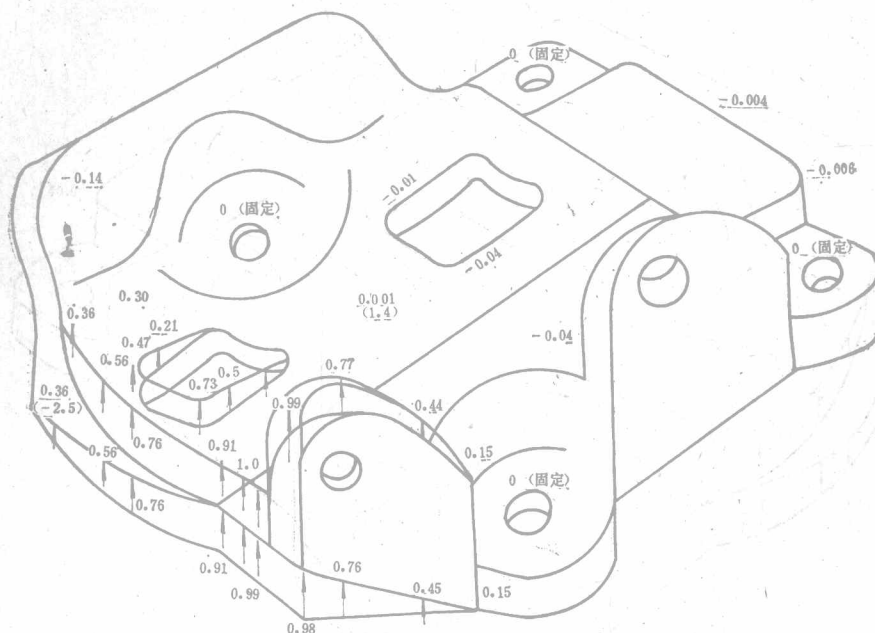


图12.3 铝合金支座固有振动的振型

壁厚—3毫米 固有振动频率— $f = 1590$ 赫 最大摆动—1.0

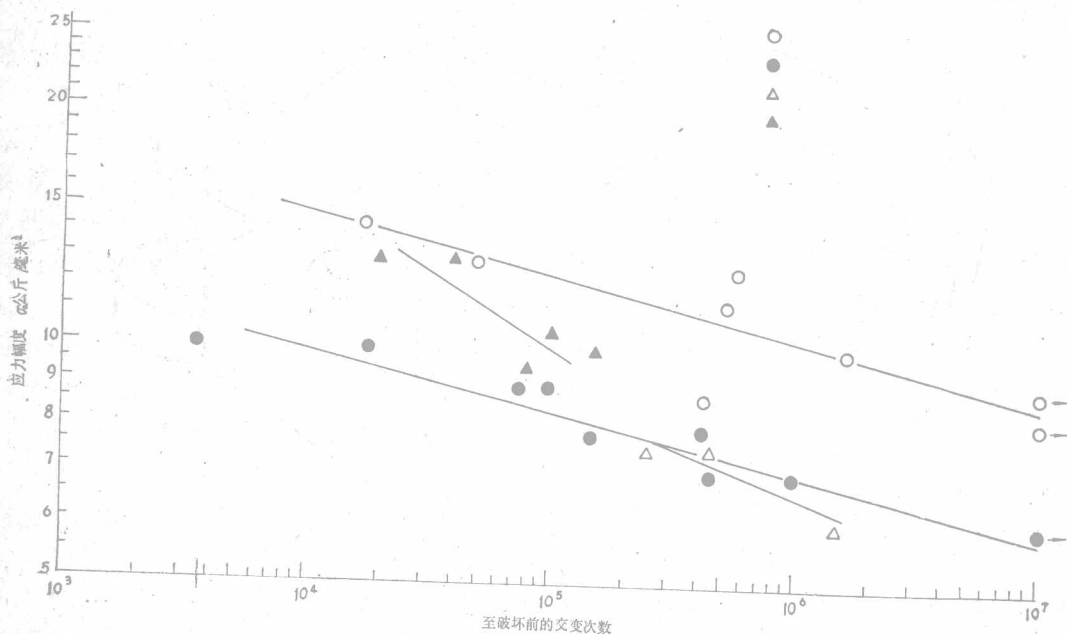


图13 铝合金的疲劳强度

4.3 振动应力

实际安装到汽车上时，对振动应力进行测量的结果，如图 14 所示。

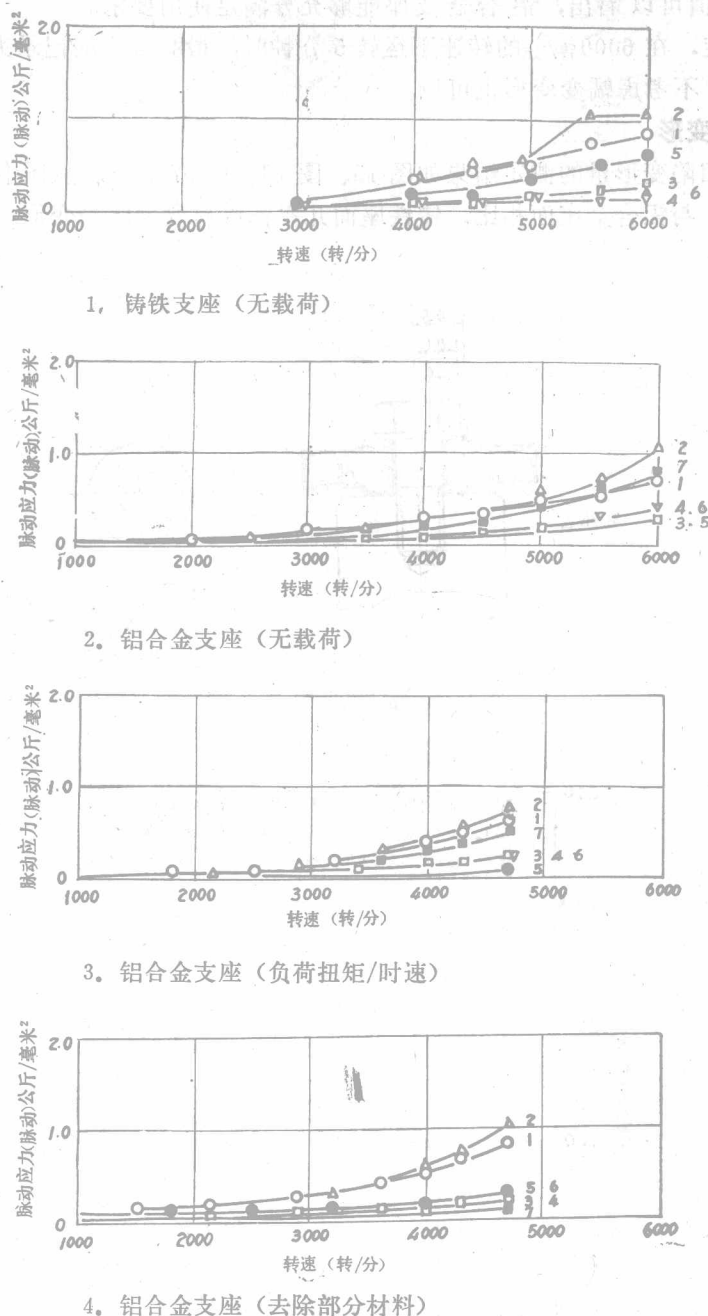


图14 振动应力测定结果

在发动机转速介于 1000~4700 转/分 (相当于时速 30~130 公里/小时) 的范围内进行了载荷扭矩的试验。为了便于比较，图中还绘出了无载荷状态的曲线。从图中可以看出，随发动机转速的增大，振动应力也在增大。另外还可以看出，铸铁支架和铝合金支架几乎没有什么差别，即使在扭矩的作用下也和无载荷时的情况一样。去除部分材料的支架与没有去除的相

比，前者的振动应力比后者高 20~30%。另外铝合金支座的最大振动应力为 1.07 公斤/毫米^2 （发动机转速 6000 转/分），根据 $n = 1.07$ 次时，材料的疲劳强度为 6 公斤/毫米^2 来看，安全系数 $s = 5.6$ ，从此值可以看出，铝合金支座能够充分满足使用要求。

关于温度测定，在 6000 转/分的转速下运转 5 分钟时，最高温度的记录为 100°C 。如在这种程度的温度下，不考虑蠕变变形也可以。

4.4 座面的变形

紧固螺栓时凹陷变形量的测定结果如图 15、图 16、图 17 所示。从图中可以看出，不论使用哪一种垫圈，与铝合金座面相比，铸铁座面几乎都没有发生凹陷变形。

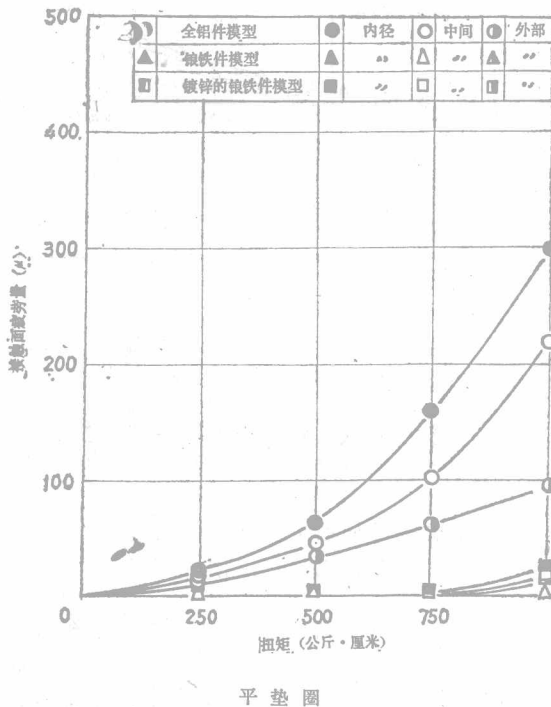
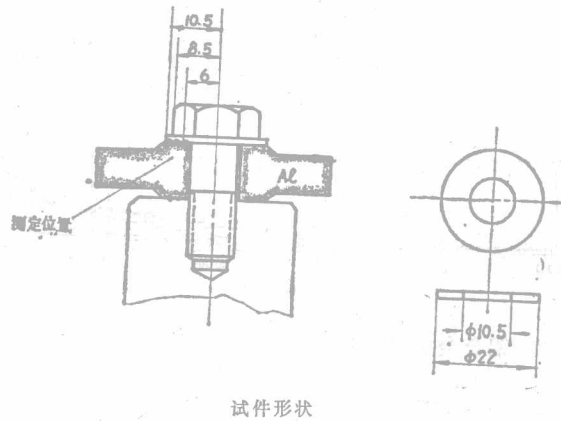


图15 紧固时座面的凹陷变形量（平垫圈）

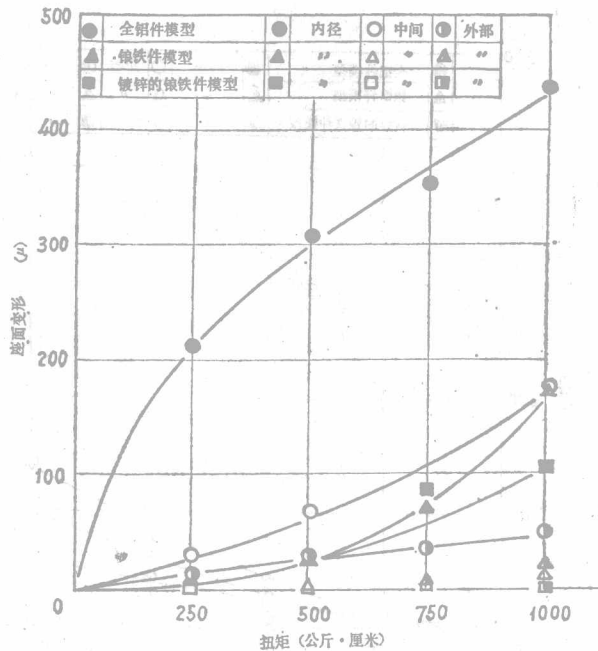
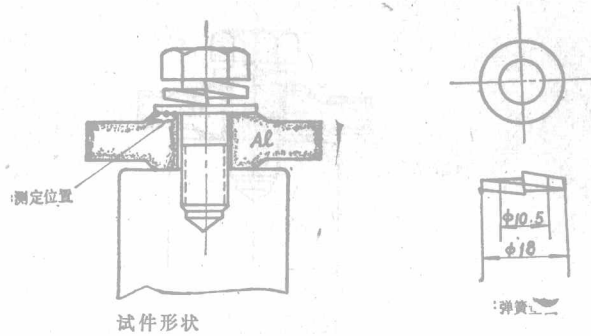


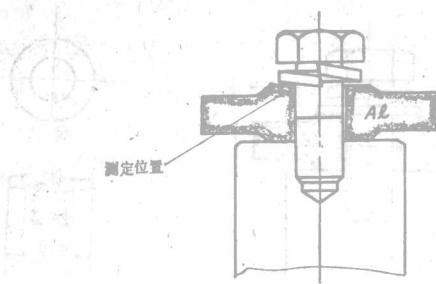
图16 紧固时座面的凹陷变形 (弹簧垫圈)

铝合金座面在 1000 公斤·厘米的紧固扭矩作用下,使用各种垫圈时的凹陷变形量分别为:平垫圈 300 μ ; 弹簧垫圈 435 μ ; 两者并用时 140 μ 。从此结果可以看出,在座面上,如果采用平垫圈和弹簧垫圈组和紧固法,即使是铝合金座面也能使凹陷变形量减小。

图 18 表示座面凹陷的情况。使用弹簧垫圈时,和其他紧固方法相比,凹陷量显著增大的原因是,因为在施加额定扭矩后,为测定凹陷量而在拧松螺栓时,被弹簧垫圈上的突起部分划伤。

在施加振动应力时,平均应力随交变次数的增加而下降,其结果见图 19,从 19 中可看出,对全铝合金支座模型施加 4 级振动应力时,在 $n = 10^7$ 次的区域中,轴拉力降低的现象几乎没有。但是,正如图 20 所示,如果施加超过此合金铸件静态强度的振动应力,就会发生破坏。

从这些结果可以看出,在紧固螺栓时铝合金座面稍微发生凹陷,但即使再施加振动应力,其座面的凹陷也不再发展。



试件形状

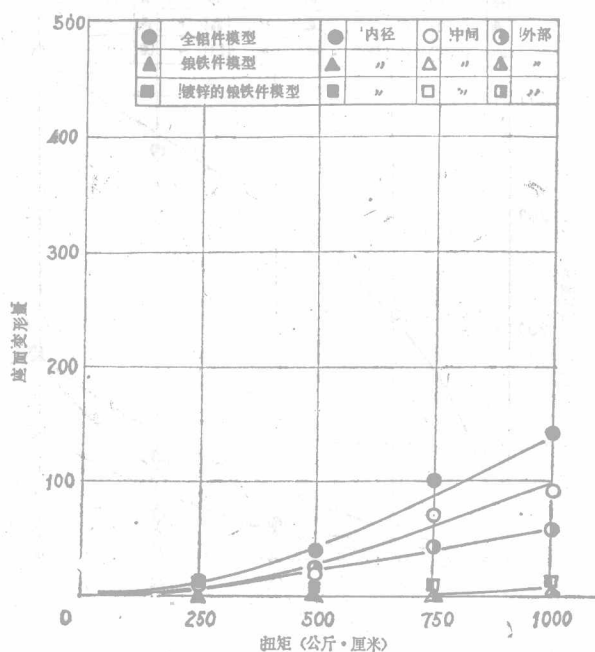


图17 紧固时座面的凹陷变形 (平垫圈加弹簧垫圈)

另外，图 21 表示，施加扭矩与螺栓中发生的轴拉力之间的关系，仅供参考。可以看出，即使使用相同的紧固扭矩来拧紧螺栓，所产生的轴拉力也是相当不一致的。

图 22 表示，本模型在紧固螺栓时的内应力系数。内应力系数的定义是，追加于螺栓的拉伸内应力与作用于栓接上的外力之间的比值。此外，图 23 表示，对施加的振动应力和在铝合金上粘贴的应变片的应变输出功率进行测定的结果。

4.5 接合率以及接合部强度

把铸铁与铝合金已接合的试料，以机械方法强行剥离，根据其接合部分的面积算出接合率。图 24 表示，在各种铸造条件下的接合率。从图中可以看出，最佳铸造条件是，浇注温度为 720~750℃，金属温度为 250~280℃。故作者决定在上述温度及金属型温度的范围内进行接合。还了解到，当金属温度超过 300℃时，因铁表面的镀锌层发生氧化，而安全不能接合。

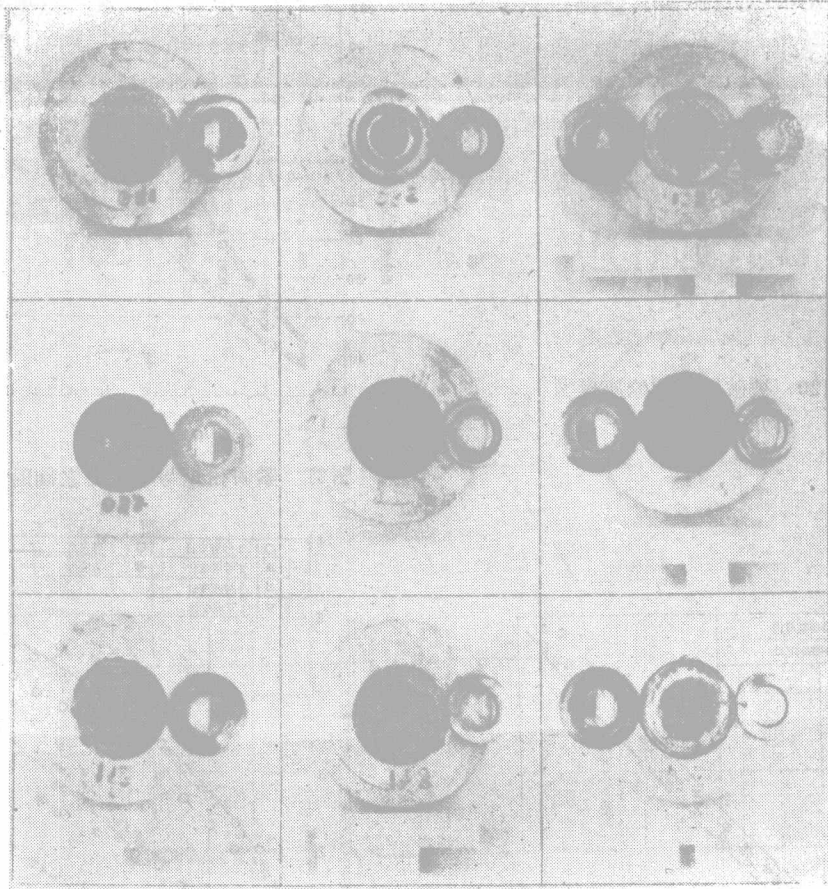


图18 座面凹陷变形的情况

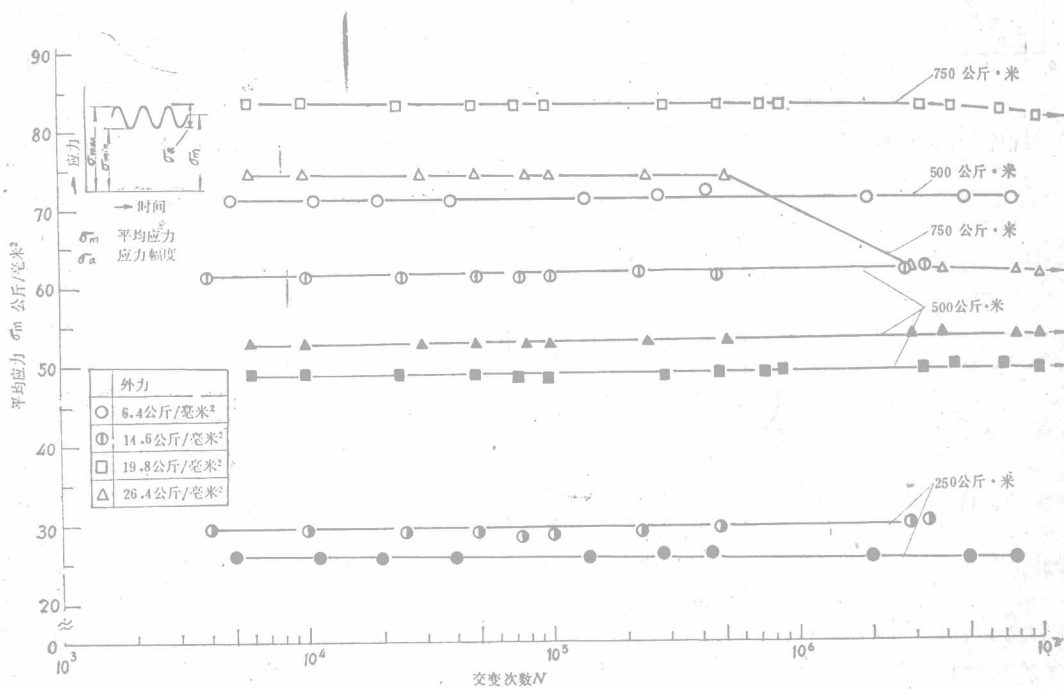


图19 在振动应力作用下螺栓轴拉力的关系图

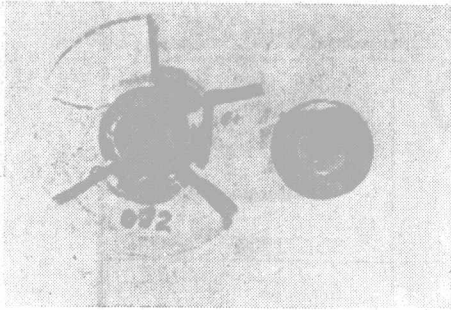


图20 被破坏的螺栓座模型
外力26.4公斤/毫米²

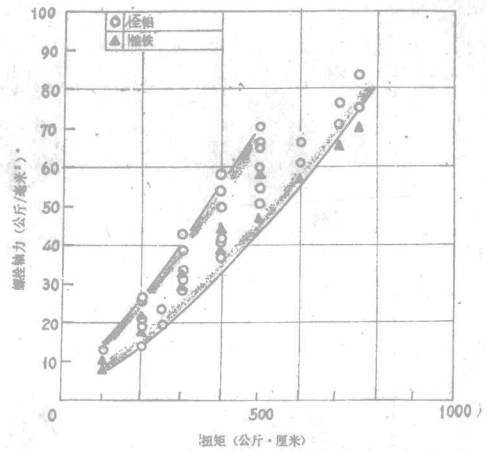


图21 紧固扭矩与轴拉力之间的关系

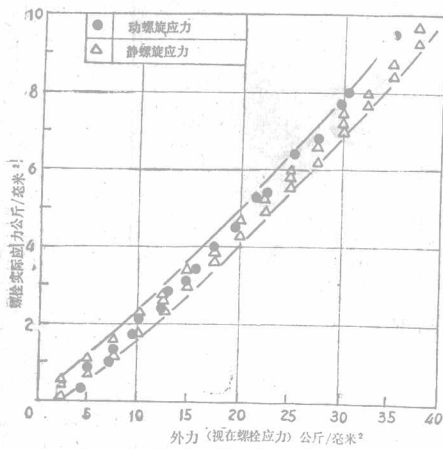


图22 螺栓的内应力系数 (扭矩500公斤·厘米)

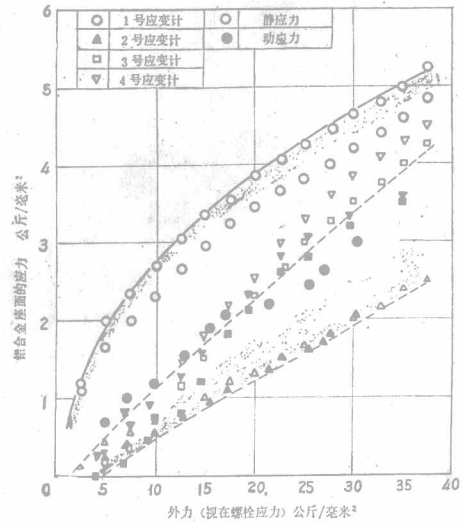


图23 外力与铝合金座面应力的关系

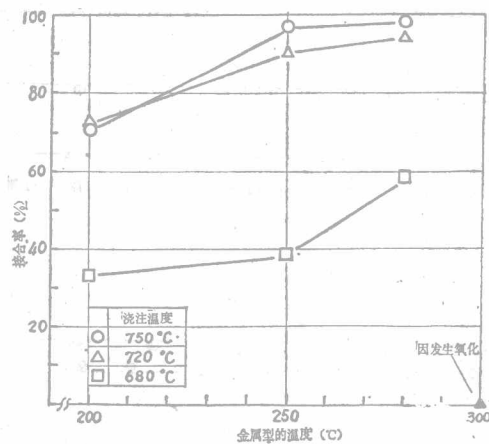


图24 铁与铝合金的最佳接合条件