

陶瓷衬管与双层钢套过盈配合后的应力分析

宋顺成

(西南交通大学工程力学系, 成都 610031)

于洪志 陶春荣

(内蒙古金属材料研究所, 包头 014034)

摘要 本文利用MSC/NASTRAN 通用程序和过盈接触面有限元柔度间接法, 对于陶瓷衬管与双层过盈套管配合后的轴对称结构进行了应力分析, 给出了具有实际意义的结论

关键词 过盈配合, 装配应力, 柔度矩阵

1 引言

陶瓷衬管具有耐高温、耐烧蚀、耐高压等特性, 在国民经济及国防建设中具有广泛的应用前景。例如火箭发动机使用陶瓷衬管做喷管, 可以大大提高安全性和可靠性, 速射武器使用陶瓷衬管做药室可以大大延长使用寿命。但是陶瓷材料属于脆性材料, 因此陶瓷衬管通常和外钢套配合在一起使用, 并且配合方式一般采用过盈配合, 在该过盈配合组成的构件中存在装配应力, 其大小不但影响构件的使用性能, 而且影响构件的工艺质量。因此分析装配应力的大小及分布具有实际意义。过去一段时间对于任意几何形状过盈配合结构的应力分析未找到可靠的分析方法^[1], 经典的方法是将刚度较大的部件作为刚性材料, 然后将过盈量作为位移边界条件加在刚度较小的部件上求解^[2]。这种方法对于弹性模量处于同一数量级的构件来说显然不能得到可靠的计算结果。后来有人采用有限元反算法^[3], 其实质是任给过盈面上的压力值后, 反复试算, 反复修正, 最后达到某种精度给定的过盈量。这种方法对于复杂结构(例如本文分析的双层套管结构)难以达到计算精度的要求。文献[1]给出的接触表面应力分布近似表达式函数方法同样不适用复杂结构。

最近本文作者研究了弹性过盈耦合变形的有限元法, 提出了求解该类问题的整体直接法, 过盈接触面刚度间接法等, 特别是本文提出的过盈接触面有限元柔度间接法给出了利用现有通用程序求解任意几何形状过盈配合耦合变形问题的方法。本文利用该方法及MSC/NASTRAN 通用程序给出了陶瓷衬管与双层过盈套管配合后的弹性应力分析, 获得了具有实际意义的结论。

2 过盈接触面柔度间接法

过盈接触面柔度间接法是求解弹性过盈耦合变形的有限元法之一, 该方法的优点是可以利用现有的有限元通用程序求解弹性过盈耦合变形问题。该方法有极高的计算精度, 其基本过程为先求出各子结构过盈接触面上结点的柔度矩阵, 然后根据给定的过盈量求出接触面上的压力, 将压力作为各子结构的边界条件分别求出各子结构内的弹性响应。其具体步骤为在内部子结构 Ω 过盈接触面各结点上(或各单元表面上)分别施加单位力边界条件, 每一个结点上施加单位力时其它结点上的力为零, 并利用有限元方程计算各结点上引起的位移矢量 $\Psi_a^{(i)}$ ($i=1, 2, \dots, n\delta$)。同理在外部区域过盈接触面各结点上分别施加单位力并利用有限元方程计算各结点上引起的结点位移矢量 $\Psi_b^{(i)}$ ($i=1, 2, \dots, n\delta$), 于是由功的互换定理得到过盈接触面柔度矩阵

$$G_s^{(i)} = [\Psi_a^{(i)} \pm \Psi_b^{(i)}] \quad (i=1, 2, \dots, n\delta) \quad (1)$$

及过盈接触面柔度矩阵方程组

$$G_s F = \delta \quad (2)$$

解矩阵方程组(2)得到过盈界面上的压力 F , 然后将 F 分别做为 Ω_1, Ω_2 的边界条件代入弹性有限元程序即可给出过盈耦合变形问题的弹性解。

3 陶瓷衬管与双层钢套过盈配合后的弹性应力分析

陶瓷衬管与双层钢套过盈配合结构的几何尺寸及

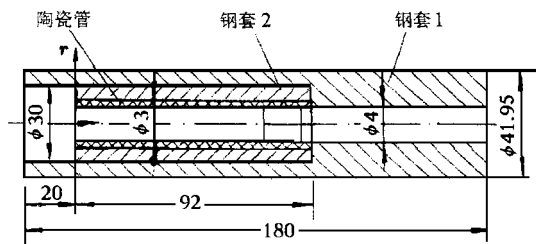


图1 装配结构及坐标系统

坐标轴的位置如图 1, 其中陶瓷衬管与钢套 2 半径方向的过盈量为 0.025 mm, 钢套 1 与钢套 2 半径方向过盈量为 0.05 mm. 钢套材料弹性模量 $E_s = 2.07 \times 10^5$ MPa, 泊松比 $\mu = 0.3$, 陶瓷材料弹性模量 $E_c = 4.0 \times 10^5$ MPa, 泊松比 $\mu = 0.19$.

陶瓷衬管与双层过盈套管配合后的弹性应力分析是在 DEC 工作站上利用 MSC/NASTRAN 通用程序进行的. 在各接触面上划分大小不等的 20 个单元, 每个单元接触面中点做为一个结点. 从坐标原点开始单元及结点位置编号为 1, 2, 3...20, 为了校核计算精度, 利用方程 (2) 求出各过盈接触面上的相对位移与给定

过盈量比较, 可评定计算精确度. 表 1 及表 2 分别给出了钢套与钢套之间及陶瓷管与钢套之间典型位置的界面压力和界面相对位移的计算结果. 由表 1、表 2 看出, 在钢套 1 与钢套 2 之间的接触面上位移计算最大相对误差为 0.000208%, 在钢套 2 与陶瓷管之间的接触面上位移计算最大相对误差为 0.000320%, 可见达到了很高的计算精度. 同时由表 1、表 2 可以看出, 在陶瓷管及钢套 2 两端面附近压力分布非常不均匀, 压力梯度很大, 该压力分布很难用平面问题解代替, 也很难用试算法及近似函数得出正确的计算结果.

表 1 钢套 1 与钢套 2 典型位置处的界面压力及过盈界面上的相对位移

结点位置	界面压力 (MPa)	界面相对位移 (10^{-2} mm)	半径方向给定过盈量 (10^{-2} mm)	位移计算相对误差 (%)
1	741.6684	4.9999971	0.050000	5.9604645×10^{-5}
2	408.5025	5.0000079	0.050000	2.3841858×10^{-4}
3	357.8092	5.0000021	0.050000	2.3841858×10^{-5}
9	224.6490	4.9999949	0.050000	2.0861626×10^{-4}
10	223.0436	4.9999949	0.050000	1.0132790×10^{-4}
11	223.2105	5.0000008	0.050000	1.1920929×10^{-5}
18	429.4913	5.0000101	0.050000	2.0265579×10^{-4}
19	498.9062	5.0000004	0.050000	1.1920929×10^{-5}
20	1212.778	4.9999900	0.050000	2.0265579×10^{-4}

表 2 陶瓷管与钢套 2 典型位置处的界面压力及过盈界面上的相对位移

结点位置	界面压力 (MPa)	界面相对位移 (10^{-2} mm)	半径方向给定过盈量 (10^{-2} mm)	位移计算相对误差 (%)
1	514.4151	2.4533400	0.025000000	3.2186508×10^{-2}
2	492.0929	2.4313999	0.025000000	3.2186508×10^{-2}
3	460.1715	2.3936400	0.025000000	1.1920929×10^{-2}
9	328.8290	1.8754600	0.025000000	1.6093254×10^{-2}
10	326.5911	1.8537100	0.025000000	1.1920929×10^{-2}
11	326.8308	1.8579600	0.025000000	8.3446503×10^{-3}
18	510.5706	3.0921200	0.025000000	2.3841858×10^{-2}
19	568.2686	3.1707902	0.025000000	1.5497208×10^{-2}
20	610.4475	3.2164499	0.025000000	1.9073486×10^{-2}

在上述基础上可以对各子结构进行应力分析. 图 2、图 3、图 4, 分别给出了陶瓷管内、外表面的切向应力、剪切应力及等效应力分布.

从图 2 看出由于过盈量引起的界面压力使陶瓷管各部位切向应力都是负值, 并且靠近端部附近切向应力(负)值增大.

从图 3 看出陶瓷管在轴向中间位置剪切应力值很小, 但在陶瓷管内距端部不远处(约 5 mm ~ 6 mm)

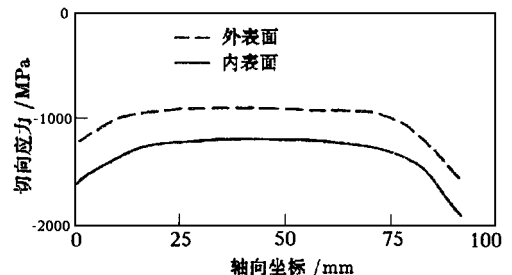


图 2 陶瓷管切向应力分布

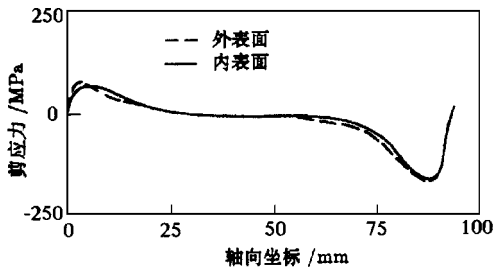


图3 陶瓷管剪应力分布

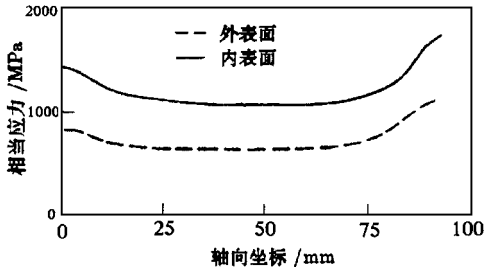


图4 陶瓷管相当应力分布

剪切力较大,该剪切力常常引起过盈配合后的陶瓷管端部附近发生剪切破坏

从图4可以看出陶瓷管内具有较大的等效应力,并且从中可以看出明显的端部效应

4 结论

(1) 过盈接触面有限元柔度间接法是利用有限元程序求解过盈配合问题的有效方法,它能给出具有很高的计算精度的结果

(2) 本文研究的陶瓷管由过盈量引起的应力分布沿轴向是不均匀的,存在着明显的端部效应

(3) 陶瓷管内存在着较大的等效应力,而且在端部附近存在着较明显的剪切应力,该剪切应力是造成端部附近常常发生破坏的直接原因

(4) 可以根据本计算结果改进过盈量设计,使应力分布得到优化

参考文献

- 1 苗德华,舒同林,张东峻 非拉梅问题的过盈配合结构装配应力的研究 工程力学,1994,11(1)
- 2 Holdand I, Bell K 应力分析的有限元方法(中译本).北京:国防工业出版社,1978
- 3 孙华东,王复兴,李保成 陶瓷镶套枪管尾部碎裂现象的数据分析和探讨 力学与工程应用,太原:山西科学技术出版社,1994

(1995年9月10日收到第1稿
1996年4月15日收到修改稿)

表示振动光饰机效率的参数——有效时间比

邱支振

(华东冶金学院,马鞍山 243002)

摘要 本文分析了振动光饰机物料在翻滚运动中的受力情况,并据此提出一个可以表示振动光饰机效率的参数——有效时间比

关键词 振动机械,振动光饰机,物料运动

振动光饰机是对工件进行表面处理的重要设备之一,但由于其物料运动的复杂性,对其规律进行理论分析的工作还很不夠,因而影响到它的制造和应用 振动光饰机工作时物料进行的复杂运动,主要可分为物料整体绕轴线的周转和物料在径向截面内的翻滚运动,其中翻滚运动对于振动光饰机的工作效率有决定性的意义 本文根据对物料翻滚运动的受力分析,提出了一个可以表示振动光饰机效率的参数——有效时间

1 影响物料翻滚运动的力

图1是振动光饰机的示意图 由于激振器两偏心块的作用,产生激振力 P 和激振力矩 M ^[1], P 使机体产生水平面内的振动, M 使机体绕水平轴摆动 因此,可以推出机体的运动微分方程为

$$\begin{cases} \ddot{x} + \omega_x^2 x = \frac{P}{m} \cos(\omega t + \beta) \\ \ddot{y} + \omega_y^2 y = \frac{P}{m} \sin(\omega t + \beta) \\ \ddot{\varphi} + \omega_\varphi^2 \varphi = \frac{M}{J} \sin(\omega t + \gamma) \\ \ddot{\psi} + \omega_\psi^2 \psi = -\frac{M}{J} \cos(\omega t + \gamma) \end{cases}$$