

表面织构参数对液压马达滑靴副的摩擦学性能影响研究

葛正菊

(佛山市顺德区中意液压有限公司 广东 佛山 528300)

摘要: 本文研究的表面织构参数为织构占有率、形状、深径比、载荷, 表征摩擦学性能与热力学性能的参数是接触应力、应力分布等。研究结果表明, 结构的织构深径比为 0.2、圆柱形织构形状、占有率 0.12 时, 滑靴副摩擦学性能最佳。

关键词: 表面织构参数; 摩擦学; 滑靴副

0 引言

经过对国内外大量相关文献进行调查了解到, 合理调整表面织构参数可以最大程度地优化滑靴副的摩擦学性能。然而文献中含有大量关于优化表面织构设计方面的内容, 并且已经收获客观的成就, 但在系统性与综合性方面较为缺失, 本文以此为切入点展开研究。

1 研究意义与背景

液压转动具有轻量化、控制简单、调速快等多个优点, 在工业领域中占据大量市场。部分液压系统以矿物油为动力来源, 但因矿物油污染性强、成本不可控、不安全等瑕疵, 在电力领域、煤矿井环境中无法应用, 液压传动便向着难燃液液压传动方向发展。另外, 随着摩擦学的研究加深和工程需求变化, 表面几何形貌的作用开始突显, 摩擦副表面存在有与其最佳润滑减摩性能相匹配的微观形貌, 因此以特殊的加工方法, 获取摩擦副表面最佳形貌参数成为当前研究的焦点^[1]。

2 织构表面滑靴副的耐磨机理有限元分析

因马达静压支撑点位置设有阻尼器, 使得在马达开启后, 高压乳化液不能在短时间内进入滑靴副空腔位置。高压乳化液为柱塞向下滑动提供推动力, 通过连杆推动曲轴转动。此时液膜没有隔离密封带接触面, 滑靴副接触面是干摩擦形态。

曲轴连杆式马达柱塞的曲轴部分中有三部分, 即壳体、曲轴与连杆。连杆底部和曲轴轮廓为接触面, 是两同心圆轮廓, 因此两平面贴近位置的摩擦副是滑靴副。

2.1 建立模型

把滑靴副抽象为可进行力学计算的模型, 几何形态、边界、初始等条件尽可能相似, 同时将计算量、计算条件等因素考虑其中。滑靴副选择尺寸 10mm ×

8mm × 2mm 的上试样, 选择尺寸 60mm × 8mm × 2mm 的下试样。

2.2 划分网格

选择 SOLID164 单元, 此单元可实现四面体网络划分, 也可实现六面体网格划分。通过映射网格方式进行划分, 把滑靴副织构位置划分成四面体。织构表面上、下试样节点数分别为 30621、136755。光滑表面上、下试样节点数分别为 20008、136755。

2.3 材料参数

滑靴副是马达运行过程中关键的力传递构件, 马达未进入正常运行形态时, 在干摩擦状态下持续运转。此状态时, 滑靴副摩擦磨损最剧烈, 且接触面摩擦造成的热量不易发散, 这使得滑靴副接触位置的温度在短时间不断拔高。马达正常运行时, 滑靴副中乳化液由密封带间隙位置向外渗透, 对相邻位置产生极大的侵蚀影响。本次研究使用的乳化液含水量达 95%, 有较强的腐蚀能力, 因此, 滑靴副要具备合格的力学性能等, 同时还有对腐蚀的抗性。综合各影响因素, 滑靴副上、下试样选择的材料分别为 316L 不锈钢材质、45# 钢材^[2]。

2.4 加载求解

通过 ANSYS 瞬态分析进行求解, 可掌握滑靴副摩擦全过程。设置约束与载荷, 为下试样上全部阶段施加三个方向的约束, 三方向为 UX 以及 UY、UZ; 为上试样上所有阶段施加 0.5MPa 压力, 初始移动速度控制在 9m/s。

设置求解过程中的控制参数, 因摩擦时滑靴副上试样、下试样有相对运动行为, 可在计算中, 修改刚度矩阵达到加速收敛速度的目的。为提高稳定性, 把 Line Search 调为 on, 自适应下降因子调为 off, 控制时间步可确保计算精度。计算结果输出为 10 步后开始, 计算步数为 60, 计算时间为 0.006s。开启自动时间步长功能, 可确保每时间步时间相等。

3 计算结果分析

3.1 织构占有率的影响

参数设置: 织构深度为 $80\mu\text{m}$, 织构中距为 $1000\mu\text{m}$, 载荷为 0.5MPa , 运动速度为 9m/s 。织构占有率会影响最大接触应力, 后者随前者同步增大或减小。织构占有率在 0.3 以上时, 最大接触应力提升速度明显加快。出现这种发展趋势的原因是, 受接触应力、接触面积、载荷影响。载荷不变, 接触面积减小, 接触应力则持续增大。织构占有率确定为 0.12 时, 接触应力最大值是 1.07MPa , 而织构占有率确定为 0.05 时, 接触应力的最小值是 1.01MPa 。

随织构占有率增大, 上试样等效应力出现先减后增的发展趋势。织构占有率为 0.12 时, 上试样等效应力最小值是 1.26MPa , 织构占有率为 0.05 时, 等效应力最大值是 1.77MPa 。

首先从上试样底部中选择一边缘中心点进行研究, 织构占有率不断调大, 而该中心点等效应力振幅呈现增大趋势, 最终稳定在 0.8MPa , 变化过程中有多次较大的数值浮动, 呈先减后增趋势。织构占有率确定 0.12 时, 等效应力为 0.525MPa 振幅, 出现 3 次数据浮动。之后, 从上试样底部中选择一中心点进行研究, 随着织构占有率增加, 点位等效应力出现的振动幅度相应增加, 等效应力规律性愈差。织构占有率确定 0.12 时, 等效应力的值最大是 0.294MPa , 最小是 0.095MPa 。由此可知, 织构占有率确定 0.12 时, 滑靴副上试样关键点处等效应力数值浮动较小, 且次数少, 这利于滑靴副应用时控制振动及噪声, 并顺利展开工作^[3]。

3.2 织构深径比的影响

最佳织构占有率为 0.12、直径为 $\phi 400\mu\text{m}$ 、中心距为 $1000\mu\text{m}$ 、荷载分别为 0.5MPa , 运动速度为 10m/s 。由研究可知, 深径比逐渐增大, 织构表面滑靴副表现出的接触应力变化趋势是先减后增。深径比为 0.2 时, 接触应力将至最低, 即 1.06MPa 。深径比确定 0.05 时, 出现最大值接触应力, 即 1.069MPa 。对多个深径比参数进行比较, 可探知接触应力的变化趋势, 进而得到: 滑靴副的接触应力最大值, 受结构深径比的影响较小。

上试样等效应力受织构深径比增大影响, 出现先减后增变化趋势。织构深径比确定 0.2 时, 等效应力最大值是 1.27MPa , 织构深径比确定 0.05 时, 上试样等效应力达到最大值, 是 1.72MPa 。从此推测中可知, 织构深径比有着最佳数值, 以最佳数值展开滑靴副运动时, 上试样等效应力达到最小值^[4]。

首先从上试样底部中选择一边缘中心点进行研究, 织构深径比不断调大, 而该中心点等效应力振幅呈现增大趋势, 最终在 0.8MPa 稳定, 变化过程中有多次较大的数值

浮动, 先减后增形式。织构深径比为 0.05, 应力数据上下变化最少, 在 0.5MPa , 共出现 3 次数据浮动。调整织构深径比为 0.35, 应力数据变化次数增加, 最大可达 0.85MPa , 共出现 6 次数据浮动。之后, 从上试样底部中选择一中心点进行研究, 随着织构深径比增加, 点位等效应力出现的振动幅度对应减小。对比 0.2 和 0.5 时上试样点位等效应力变化可知, 织构深径比确定 0.5 时, 上试样最大等效应力出现的位置不在滑靴副的上试样地面, 因此, 点位等效应力数据浮动小, 数据浮动次数也少。

滑靴副上试样底部边缘位置的中心点受织构深径比增大影响, 等效应力平均值呈现先减后增变化趋势, 地面中心点同样如此。织构深径比确定 0.2 时, 地面边缘位置中心点等效应力平均值是 0.69MPa , 地面中心点是 0.18MPa 。由此可知, 织构深径比最佳参数是 0.2。

3.3 荷载的影响

织构占有率是 0.12, 织构深径比是 0.2, 织构中心距是 $1000\mu\text{m}$ 。因载荷增加, 织构表面滑靴副接触应力-时间曲线的振幅逐渐增大, 震荡次数减少, 可知随着载荷增加, 滑靴副工作状态中产生低频振动的概率越大。根据不同载荷参数下, 上试样点位等效应力变化可了解到, 载荷增大, 上试样底部中心点位及边缘位置中心点位都呈现振幅增大的变化趋势。载荷超过 0.9MPa 时, 滑靴副上试样底部边缘位置中心点位等效应力振幅较为稳定。另外, 滑靴副上试样两处点位等效应力平均值受载荷增大影响呈增大趋势。

3.4 织构形状的影响

通过展开正方形、球形、圆柱形、光滑表面多次不同织构形状研究可知, 光滑表面接触应力最大值是 1.033MPa 。与之相比较, 其他三种织构表面接触应力最大值都有不同程度增加; 圆柱织构形状接触应力最大值是 1.05MPa , 这三种织构形状接触应力由小到大依次排序为圆柱形、球形、正方形织构形状, 如图 1~图 4 所示。

通过研究得到所需要的数据, 通过对数据进行分析可了解到: 光滑表面等效应力最大值是 1.31MPa , 正方形表面等效应力最大值是 1.64MPa ; 圆柱表面等效应力最大值是 1.26MPa , 球形表面等效应力最大值是 1.19MPa 。

首先从上试样底部中选择一边缘中心点进行研究, 光滑表面下该部分等效应力平均值是 0.762MPa , 织构表面滑靴副此位置平均等效应力, 全部小于光滑表面滑靴副同位置平均等效应力。选择球形织构形状时, 该点位等效应力达到最小平均值, 即 0.623MPa 。之后, 从上试样底部中选择一中心点进行研究, 光滑表面该点位等效应力平均值是 0.276MPa ; 选择正方形织构表面时, 该点位等效应力达到最大平均值, 即 0.292MPa ; 选择圆柱织构表面时, 该点位等效应力达到平均值, 即 0.267MPa ^[5]。

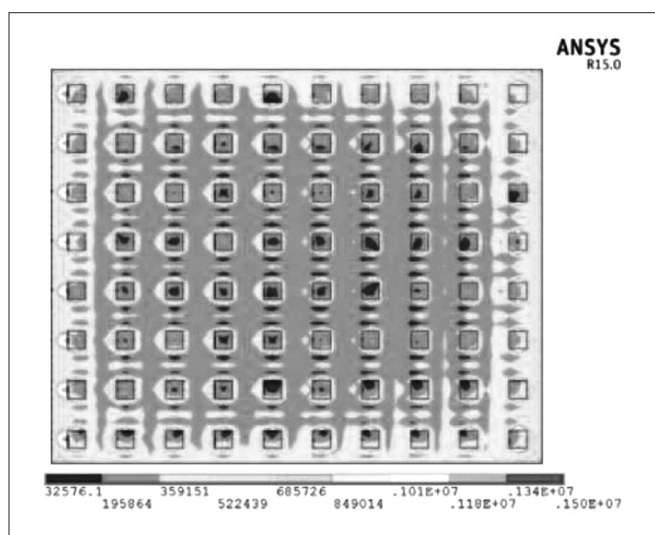


图 1 正方形滑靴副接触应力显示图

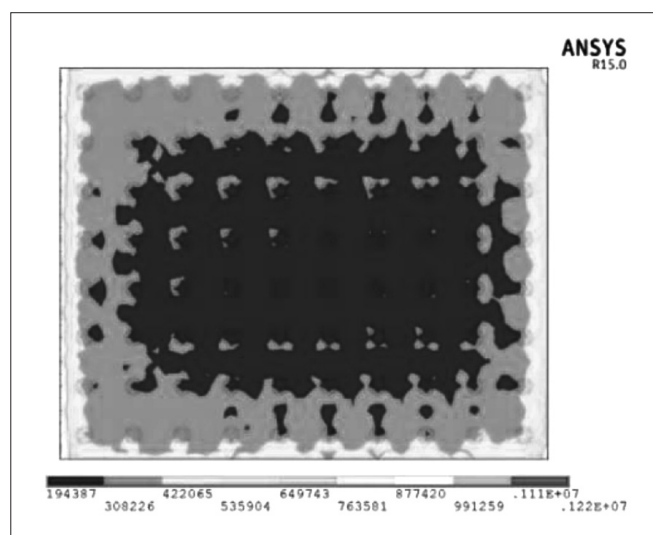


图 3 球形滑靴副接触应力显示图

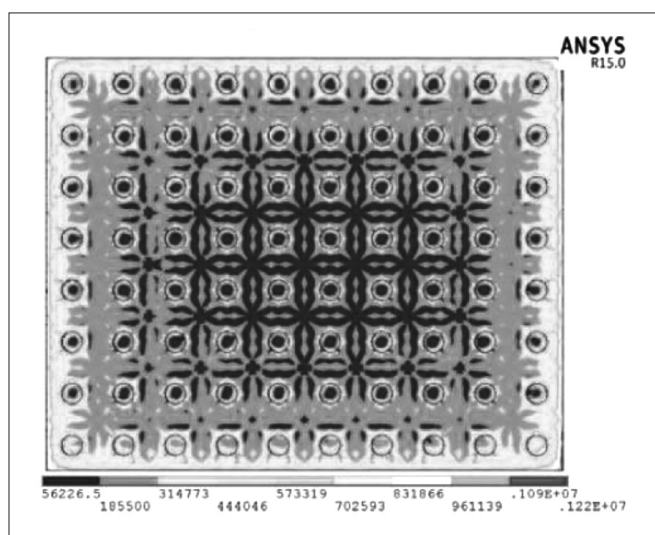


图 2 圆柱形滑靴副接触应力显示图

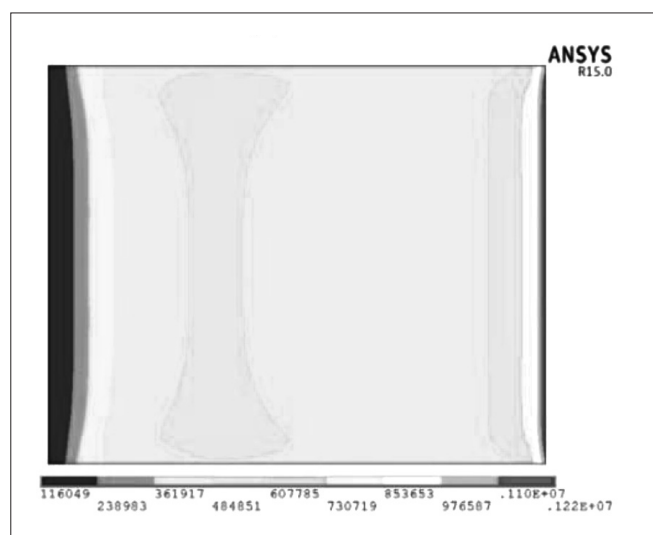


图 4 光滑表面滑靴副接触应力显示图

通过对多个形状织构表面的滑靴副接触应力分布进行研究可知,针对光滑表面形式的滑靴副上试样,接触应力最大值在上试样的底面前与后部分出现,底面两侧的接触应力相对偏小。之后对织构表面上试样展开研究,三种形状接触应力的地区分布规律为:距离边缘位置近的接触应力大,底面中心位置接触应力相对小。

图 1 中,等效应力的最大数值在边缘位置出现,最大与最小应力值相差 1.467MPa。图 2 中,等效应力最大数值在上试样前部分出现,而最小值则在中心部分,最大与最小应力值相差 1.026MPa。图 3 中,等效应力最大数值在上试样后部分出现,而中心部分的应力分布相对均匀,最大与最小应力值相差 1.163MPa。图 4 中,等效应力的最大数值在上试样前部分出现,而最小值在后部分,最大与最小应力值相差 1.104MPa。通过此对比研究可知:圆柱形上试样前部分与后部分出现等效

应力最大值,分布情况良好;球形上试样底面等效应力最大值与等效应力最小值间的差值比较小,由此可知,上试样受力最均匀。

4 结语

马达运行时,滑靴副进入干摩擦运行状态。滑靴副织构深径比 0.2、圆柱形织构形状、占有率 0.12 时,滑靴副摩擦学性能最佳。随织构占有率增大,上试样等效应力出现先减后增的发展趋势;上试样受织构深径比增大影响,出现先减后增的变化趋势;滑靴副上试样底部边缘位置的中心点受织构深径比增大影响,等效应力平均值呈现先减后增的变化趋势。

参考文献:

- [1] 张东亚,孙喜洲,高峰,等.表面织构参数对
(下转第 45 页)

使零部件的形状、刚度、支承等对称于中间轴线或者中间面,为机床的部件与组件提供良好的热环境,以削弱或彻底消除热变形,提高零件加工精度。隔离热源,将机械加工过程中的发热源尽量与主机隔离开,以减少机床温升,维持机床的热稳定状态,减少机床热变形。对于无法隔离的热源,如主轴承、摩擦离合器和丝杠螺母副等,可以采取强制冷却或者优化摩擦状态的方式,控制传导到机床的热量。此外,还可以通过优化排屑设计,避免切削热大量传导给机床,有效控制工艺系统的热变形,切实提升零件加工精度。

1.4 工艺系统的残余应力

机械加工工艺系统的残余应力对零件加工精度的影响主要表现为以下几个方面:

一是在焊接、锻造或者铸造毛坯件的过程中,坯件壁厚、薄厚以及结构的差异会直接影响金相组织与冷却速度的变化,导致毛坯内部的应力较高。虽然,在机械加工的过程中,会切除部分残余应力,但却无法彻底消除,导致残余应力重新排布,引起工件变形,影响零件加工精度。

二是在切削过程中,作用力与切削热的双重作用下,工件表面会存在残余应力,发生塑性变形。当残余应力达到一定标准,工件表面则会出现开裂等现象。

三是细长轴经过加工后,由于残余应力的重新排布,导致工件弯曲、变形,影响加工精度。虽然冷校直法会在一定程度上减少残余应力的影响,但却无法消除二次加工产生的变形^[5]。

鉴于此,可以从以下两方面,减小机械加工工艺系统的残余应力对零件加工精度的影响:

第一,合理设计零件结构,通过把控零件尺寸误差,减少坯件加工过程中的残余应力的影响;

第二,根据实际情况,选择正确的自然时效或者人工时效处理措施。其中,自然时效就是要在坯件成型后,通过在空气中静置的方式,减少或消除内应力。该方法操作便捷,但耗时长;人工时效又分为热时效和振动时效两类。热时效是将工件加热至指定温度后,随加热炉一起冷却,该方法需要投入大量资金,且能耗大。振动时效是通过激励振荡器使工件共振,该方法操作便捷、能耗低,且可以彻底消除残余应力,应用较为广泛。

2 提高加工精度的措施

控制机械加工工艺对零件加工精度的影响,消除机械加工误差是关键所在。经过实践验证,减少机械加工误差可以从以下几方面入手:第一,控制人为因素。由于人为因素是在机械加工的 actual 过程中产生的,具有不确定性与不可预测性。因此,现场操作人员要严格遵守加工工艺流程,提高机械加工的标准性、规范性,减少因人为操作失误导致的加工误差。第二,消除原始误差。在充分分析原始误差的组成结构的前提下,采取有效措施,快速、直接减少原始误差影响。比如,选用精密机床加工对精度要求较高的零部件。同时,可以引入补偿机构,对零件在机械加工设备、加工工艺系统上的原始误差进行补偿。此外,可以通过改进加工工艺流程的方式,分化原始误差,并对工件本身、机床维修保养等方面上产生的原始误差进行转移处理,将作用位置的原始误差转移到非作用位置,以提高零件的加工精度。

3 结语

总之,机械零件的加工质量以加工精度为重要的衡量标准,而机械加工工艺的精度与机械加工工艺系统息息相关。因此,可以从机械加工工艺出发,对加工精度的影响进行深入分析,并采用相应的措施,以降低返工率,提高机械加工工件的加工精度。

参考文献:

- [1] 高晚生. 基于机械加工工艺对零件加工精度影响对策的研究[J]. 科技视界, 2015(12): 85+200.
- [2] 王杰, 程明远, 李士晓. 浅谈机械设计加工中应注意的几个问题[J]. 科技信息, 2011(11): 96-97.
- [3] 储胜国. 探析零件加工中机械加工工艺对精度的影响[J]. 内燃机与配件, 2021(21): 109-110.
- [4] 方理想. 机械加工工艺对加工精度的影响[J]. 流体测量与控制, 2022(3): 40-42.
- [5] 吴克兵. 机械加工工艺对零件加工精度的影响研究[J]. 造纸装备及材料, 2021(2): 94-96.

(下转第45页)

液压马达滑靴副的摩擦学性能影响研究[J]. 表面技术, 2019, 48(04): 230-236.

[2] 蒋川. 海水淡化泵-马达集成装置螺旋阻尼槽滑靴副水膜承载特性研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2021.

[3] 杨勇康. 轴向柱塞泵/马达用磁性滑靴副油膜特性研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.

[4] 许攀. 轴向柱塞泵/马达磁性滑靴副结构与特

性研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2017.

[5] 聂松林, 张立茂, 张振华, 等. 水压轴向柱塞泵/马达滑靴副水膜动态特性分析[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(09): 1303-1310.

作者简介: 葛正菊(1983.12-), 女, 汉族, 甘肃兰州人, 本科, 工程师, 研究方向: 液压元件研发设计。