

作者：杨茂楠

适用课程：机械工程材料、工程材料及其制造基础、工程材料学

汽车发动机气门的材料选择与高温性能优化

摘要：本案例围绕长城汽车制造企业发动机气门在高温工况下频繁出现早期失效的问题展开。发动机气门长期处于 600-800℃ 的高温、高压及交变载荷环境中，现有气门材料因高温强度不足、耐磨性较差，导致使用寿命缩短，影响发动机可靠性。结合机械工程材料课程中高温合金材料性能、材料热处理及选材原则等知识，对气门材料进行筛选与性能优化。通过成分分析、高温性能测试及工艺调整，最终选定合适的镍基高温合金并优化热处理工艺，使气门高温强度提升 15%，使用寿命延长 20% 以上。该案例已在《机械工程材料》课程中使用 1 轮，帮助学生掌握材料选择与性能优化的实际应用方法，教学效果良好。

关键词：机械工程材料、发动机气门、材料选择、高温性能

一、背景介绍

在汽车制造业中，发动机气门作为关键零部件，其性能直接关乎发动机的可靠性与使用寿命。长城汽车制造企业的发动机气门在实际运行过程中，长期承受高温（600-800℃）、高压及交变载荷的作用，频繁出现早期失效现象。这一问题不仅导致发动机维修成本增加，还影响了汽车的整体性能和安全。为解决此问题，需要从材料选择和性能优化入手，结合机械工程材料相关知识，找到适合发动机气门工作环境的材料及相应工艺，以提升其高温性能和使用寿命。

二、项目案例

（一）项目案例内容

1. 案例来源：源于长城汽车制造企业发动机气门在高温工况下频

繁早期失效这一实际问题，为解决该问题开展了本次材料选择与高温性能优化项目。

2. 主要内容：对长城汽车制造企业失效的发动机气门进行外观检查、成分分析、显微组织观察及力学性能测试，确定失效原因是材料高温强度不足及氧化磨损，根据气门工作条件（高温、高压、交变载荷），从镍基高温合金、钴基合金等候选材料中筛选出 3 种潜在材料，并对比其高温拉伸强度、耐磨性及成本；针对选定材料设计不同的固溶时效工艺参数，测试其高温性能变化；将优化后的材料制成气门进行台架试验，验证其使用寿命。

3. 工作流程：按照“失效分析 - 材料筛选 - 工艺优化 - 性能验证”的流程进行。首先对失效气门进行全面分析，明确失效原因；然后依据气门工作条件筛选合适的材料；接着针对选定材料优化热处理工艺；最后通过台架试验验证优化后的材料制成的气门性能。

（二）关键点

● 知识点：

发动机气门的工作环境及性能要求；

高温合金（镍基、钴基）的成分、组织与性能特点；

材料选择的基本原则；

热处理工艺（固溶时效）对高温合金性能的影响；

材料高温性能的测试方法。

● 技能点：

具备对失效零件进行初步分析的能力，能通过外观及性能测试判断失效原因；

能够根据零件工作条件筛选合适的材料，并对比不同材料的性能与成本；

会设计简单的热处理工艺方案以优化材料性能；

掌握材料高温拉伸强度、耐磨性等性能的基本测试方法；

能独立撰写材料选择与性能优化报告。

● 态度点：

培养严谨细致的工作态度，在材料分析与性能测试过程中注重数据的准确性与可靠性；

增强团队协作精神，通过小组讨论与协作，共同解决材料选择问题。

（三）教学使用

教学组织：适用课程为《机械工程材料》《工程材料学》《材料性能学》，适用对象为机器人工程、机械工程专业大三学生。作为课堂典型案例，用于分析气门失效原因与优化过程；作为课程设计任务，要求学生针对类似高温工况零件进行材料选择与工艺设计；作为实验教学素材，结合高温性能测试设备开展实操教学。

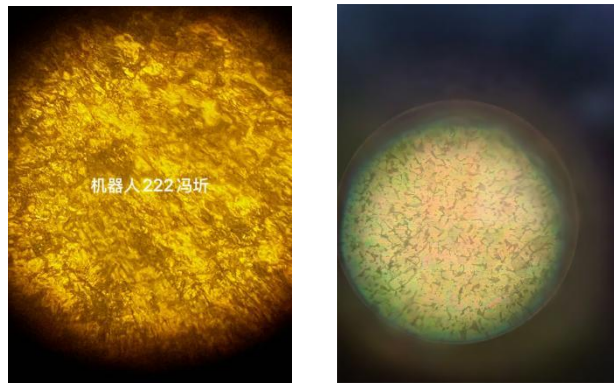
过程设计：在《机械工程材料》课程的“高温合金材料”章节中作为核心案例讲解，通过展示失效气门样品、性能测试数据及优化前后对比图表，增强教学直观性；组织学生开展小组讨论，围绕“气门工作环境对材料的性能要求”“不同高温合金的适用场景”等问题进行探讨；将案例作为课程设计任务，要求学生独立完成类似零件的材料选择与工艺设计报告。

考核方法：主要通过学生在小组讨论中的表现、课程设计报告的质量以及实验操作的规范性和准确性进行综合考核。

教学效果：学生对高温材料性能及选材原则的理解更加深入，能准确分析零件工作环境对材料的性能要求；在课堂表现中，学生的互动明显有所改变，加深对相应知识的应用与分析的能力，在课程设计

中，学生提出的材料选择方案合理性较之前提升 40%；该案例为学生搭建了从理论知识到工程应用的桥梁，培养了学生运用材料科学知识解决实际问题的能力，符合应用型人才培养的要求，有助于提升学生的工程素养。

（四）其他相关说明和附件



图中所示为学生利用金相显微镜观察发动机气门
(镍基高温合金) 处于 600℃下工作 100 小时的前后金相对比