

# 齿轮裂纹产生的原因及防治办法

何芸 杨克楷 吴克键

浙江通力传动科技股份有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i1.5946

**[摘要]** 齿轮是机械传动中最为常用的元件之一,其作用是将输入轴的转速和扭矩转换成输出轴的转速和扭矩。齿轮的工作环境往往非常恶劣,需要承受高强度、高速度、高温等各种极端条件,因此齿轮的设计和制造具有非常高的要求。然而在实际使用中,齿轮常常会发生裂纹,导致机器无法正常工作,甚至引发事故。因此,研究齿轮裂纹产生的原因及防治办法对于提高机械传动的安全性和可靠性具有重要的意义。本文针对齿轮裂纹产生的原因及防治办法进行分析和论述。

**[关键词]** 齿轮, 裂纹, 原因, 防治办法, 检测, 评估

## Causes and Prevention Measures of Gear Cracks

He Yun, Yang Kekai, Wu Kejian

Zhejiang Tongli Transmission Technology Co., Ltd

**[Abstract]** Gear is one of the most commonly used components in mechanical transmission, whose function is to convert the speed and torque of the input shaft into the speed and torque of the output shaft. The working environment of gears is often very harsh, requiring them to withstand various extreme conditions such as high strength, high speed, and high temperature. Therefore, the design and manufacturing of gears have very high requirements. However, in practical use, gears often crack, causing the machine to malfunction and even causing accidents. Therefore, studying the causes and prevention methods of gear cracks is of great significance for improving the safety and reliability of mechanical transmission. This article analyzes and discusses the causes and prevention methods of gear cracks.

**[Key words]** gears, cracks, causes, prevention and control measures, testing, evaluation

## 引言

齿轮是由齿数相等的齿轮齿条配合转动来传递功率和运动的机械零件。按照齿轮的传动方式,可以将其分为齿轮传动和链轮传动两种。齿轮传动又可以分为平行轴齿轮传动和直交轴齿轮传动。平行轴齿轮传动是指两个平行轴上的齿轮配合传递功率和运动,适用于中小功率传动。直交轴齿轮传动是指两个相交直角轴上的齿轮配合传递功率和运动,适用于大功率传动。齿轮还可以根据其齿形的不同分为直齿轮、斜齿轮、蜗杆和锥齿轮等。

### 一、齿轮裂纹产生的原因

#### 1、材料原因

材料是齿轮裂纹产生的一个重要因素。齿轮通常使用的材料有钢、铸铁和铜合金等,不同材料的性能有所不同。如果材料的强度和韧性不匹配,就会导致齿轮的裂纹。此外,材料的含氧量、夹杂物和非金属夹杂物等也会影响齿轮的性能,从而导致裂

纹的产生。

#### 2、工艺原因

工艺是齿轮制造的重要环节。制造工艺中的一些问题,如热处理、冷却、焊接等,都会导致齿轮裂纹的产生。热处理过程中,如果温度不均匀或冷却速率过快,就会导致齿轮的应力分布不均,从而产生裂纹。焊接过程中,焊接区域的温度和应力也会导致齿轮的裂纹。

#### 3、设计原因

齿轮的设计也是裂纹产生的一个重要因素。设计中的一些问题,如齿形、齿距、齿宽等参数的选择不当,都会导致齿轮裂纹的产生。齿轮的工作条件和工作环境也是设计中需要考虑的因素。如果设计不合理,就会导致齿轮在工作中产生过大的应力,从而产生裂纹。

### 二、齿轮裂纹的注意事项

#### 1、材料选择

为了避免齿轮裂纹的发生, 需要选择适合的材料。一般来说, 材料应该具有良好的强度和韧性, 且含氧量、夹杂物和非金属夹杂物等应尽可能少。在选择材料时, 还需要考虑齿轮的使用条件和工作环境。

## 2、工艺控制

制造齿轮时需要严格控制工艺, 包括热处理、冷却、焊接等。热处理过程中需要保证温度均匀, 冷却速度适中, 避免产生应力集中。焊接时需要严格控制温度和应力, 避免过高的温度和应力导致裂纹的产生。

## 3、设计合理

齿轮的设计应该合理, 选择合适的齿形、齿距、齿宽等参数。设计时需要考虑齿轮的使用条件和工作环境, 合理分配齿轮的应力。同时, 还需要考虑齿轮的加工工艺, 避免加工过程中产生过多的应力集中, 导致裂纹的产生。

## 4、检测技术

检测技术是齿轮裂纹防治的重要手段。常用的检测技术包括超声波检测、磁粉检测、涡流检测等。这些技术可以检测出裂纹的位置、形状、大小等信息, 帮助人们及时发现和处理齿轮裂纹。

## 5、维护保养

维护保养是防治齿轮裂纹的重要措施之一。定期检查和维修齿轮传动系统, 及时发现和处理裂纹和其他问题, 可以延长齿轮的使用寿命, 保障齿轮传动的安全性和可靠性。

## 三、齿轮裂纹诊断技术

针对齿轮的故障诊断技术可以分为两大类: 特征提取方法和状态识别方法。其中, 特征提取方法主要是对从齿轮振动信号中采集到的数据进行各种信号处理, 以获得能够表征齿轮运行状态的特征值信息, 进而进行故障诊断。常用的信号处理方法包括时域分析、频域分析、时频分析以及模态分解等。在时域分析中, 通过观察信号在时间域内的波形和幅值变化, 可以获得有关齿轮故障的信息。在频域分析中, 将信号转换为频域, 可以观察到信号在不同频率下的特征, 从而获得有关齿轮故障的信息。时频分析则结合了时域和频域分析的优点, 可以在时间和频率上同时观察信号的变化, 更全面地获得有关齿轮故障的信息。模态分解则是将信号分解为一系列不同频率和振幅的成分, 可以更准确地获得齿轮故障的信息。另一方面, 状态识别方法主要使用智能算法, 如状态分类方法、神经网络和专家系统等, 以进行齿轮故障诊断。这些方法通过输入有效故障信息分量, 结合信号处理得到的特征值信息, 进行状态识别和故障诊断。状态分类方法主要是将齿轮故障状态分为几类, 然后通过分类器将信号分为不同的类别, 完成齿轮故障诊断。神经网络则可以通过学习大量的齿轮振动信号, 进行故障状态预测和诊断。专家系统则是将专家的经验 and 知识整合成一个系统, 用于诊断齿轮故障。

## 四、齿轮裂纹的防治办法

### 1、热处理

在自由锻的过程中, 锻造缺陷很难控制, 因此需要进行磁粉探伤。此外, 由于自由锻的温度较高, 必须进行正火来改善组织结构。冷却过快会导致硬化, 因此需要进行高温回火以消除内应力, 并稳定工件尺寸, 减少淬火的变形和产生裂纹的可能性。在渗碳工序中, 为了减少齿轮表面的氧化和脱碳, 应当将其随炉冷却至880~860℃, 并且冷却速度不宜过慢。接着, 在热处理淬火工序中, 淬火后的齿轮需要进行冷处理和低温回火, 以进一步消除内应力和稳定组织。随后需要进行安排时效, 以消除冷处理带来的应力。总之, 这些加工工艺都需要注意细节和技巧, 以确保生产出高质量的产品。需要严格控制加工过程中的温度、冷却速度、冷却方式和回火温度等参数, 以避免缺陷的产生和材料的失效。同时, 需要进行各种检测和测试, 以确保产品的质量符合标准和要求。

### 2、控制磨削应力

在磨削过程中, 需要选择合适的砂轮和磨削用量, 控制磨削热, 以减少应力的产生。同时, 还需要注意磨削的切削速度和切削深度, 以及磨削工艺的处理方法, 如磨削前的热处理等。通过合理的磨削工艺, 可以有效减少齿轮裂纹的产生, 提高齿轮的质量和寿命。

#### (1) 砂轮的选择

在磨齿面和粗磨滚道时, 应选择粒度小、组织号大的软砂轮, 以减少磨削过程中产生的热量和磨削精度的损失。这种砂轮具有不易堵塞、表面不易烧伤、变形可能性小等特点, 但同时也存在砂轮轮廓容易变形的问题, 需要定期校准砂轮并严格控制磨削余量, 以减小磨削热引起的变形。在磨齿和精磨滚道时, 应采用粒度大的硬砂轮, 并且要在确保齿轮粗糙度要求的前提下选择组织号大的ZR1至Z1陶瓷结合剂砂轮。这种砂轮具有较好的轮廓形状保持能力, 并且能够有效地控制磨削热, 减少变形的可能性。此外, 在砂轮的选择和使用中, 还需要根据磨削工件的特点进行适当的调整, 以确保磨削效果和精度。除了砂轮的选择外, 还应注意在磨削过程中保持充分的冷却润滑, 并避免过度磨削, 以免产生过多的热量和磨削应力。同时, 在磨削后要对工件进行合理的热处理, 以消除残余应力, 并稳定工件尺寸和性能。这些措施的综合应用可以有效地减少薄壁齿轮磨削过程中产生的残余应力, 从而提高产品质量和性能。在选择砂轮时, 需要根据具体的情况来确定所需的粒度和组织号, 以保证最佳的磨削效果和工件质量。总之, 在对薄壁齿轮进行磨削时, 需要特别注意磨削热对工件的影响, 选择合适的砂轮和磨削参数, 以保证工件质量和磨削效果。此外, 还需要定期校准砂轮, 确保其轮廓形状的准确性, 以保证磨削的一致性和精度。

#### (2) 磨削用量的选择

磨削过程中不仅会产生残余应力,还会引起金相组织的变化,因此需要对磨削用量进行控制。其中,提高砂轮的转速、降低工件的转速以及减小砂轮走刀量是比较有效的措施,可以减小热变形及磨削热引起的应力集中,从而避免产生过多的残余应力和金相组织变化。首先,提高砂轮的转速可以有效地减少磨削时间,降低磨削温度,避免磨削热的积累。同时,提高转速还可以提高砂轮的磨削效率,提高磨削精度和表面质量。其次,降低工件的转速也可以有效地减小磨削热的积累,避免热变形和残余应力的产生。同时,降低转速还可以减少工件表面的粗糙度,提高表面质量。最后,减小砂轮走刀量可以避免过多的磨削热积累,减少应力集中,从而减小残余应力的产生。同时,减小走刀量还可以提高砂轮的寿命,降低磨削成本。综上,控制磨削用量是减少残余应力和金相组织变化的有效手段,其中提高砂轮转速、降低工件转速以及减小砂轮走刀量是比较常用的措施,需要根据具体情况进行调整。同时,也需要注意砂轮的选择和校准,以保证磨削质量和效率。

### (3) 磨削热的控制

磨削过程中产生的热不仅能引起齿轮的热胀冷缩,还会使金相组织发生变化,产生相变残余应力,影响磨削深度方向的应力分布。为了控制磨削热,可以采用多种手段,其中使用优质的冷却液是一个有效的措施。优质的冷却液可以有效地吸收磨削过程中产生的热,从而减少热的积累,避免热导致的变形和残余应力的产生。常用的冷却液有化学合成液、极压切削油等。这些液体具有优异的降温、润滑和防锈性能,可以有效地降低磨削温度,减少磨削热对工件的影响。此外,还可以采用切削液的喷洒方式,将切削液直接喷洒在砂轮和工件之间,从而有效地降低磨削温度。同时,也需要注意控制喷洒的量和方向,以避免过多的液体影响磨削精度和表面质量。总之,采用优质的冷却液是控制磨削热的有效手段之一,可以有效地减少磨削温度,降低热导致的变形和残余应力的产生。在使用冷却液的过程中,也需要注意选择合适的冷却液和控制喷洒的方式,以达到最佳的磨削效果。

### 3、应对渗碳齿轮磨削裂纹

喷丸强化工艺是一种表面处理技术,主要是利用高速喷射出的金属珠粒冲击工件表面,使表面产生塑性变形,并形成一层薄而均匀的冷硬层,这个层能有效地抵消工件表面的拉应力,从而提高工件表面的抗疲劳性能和抗裂纹性能。喷丸强化工艺是渗碳齿轮磨削裂纹问题的一种解决方案。喷丸强化工艺有很多种,例如喷丸轮喷丸强化、喷丸喷砂强化、水切割强化等。喷丸强化的工艺参数包括喷丸压力、喷丸时间、喷丸距离、珠粒大小等,这些参数的选择取决于工件材料、形状、尺寸和所需的性能要求。喷丸强化工艺可以用于金属、陶瓷、塑料等材

料的表面处理,其优点在于可以增强材料的表面硬度、耐磨性和抗疲劳性能,并且可以在不改变工件尺寸和形状的前提下进行表面处理。同时,该工艺还可以修复和加工各种形状的工件表面,并可以提高表面质量和降低表面粗糙度。然而,喷丸强化工艺也存在一些缺点,例如需要消耗大量的能源和珠粒材料、珠粒可能会造成二次污染等问题。此外,喷丸强化工艺并不能完全解决所有的磨削裂纹问题,还需要结合其他加工工艺和设计手段来综合解决。

### 4、齿轮材料的选取

钢材的质量是影响渗碳齿轮性能的重要因素,它包括钢材的化学成分、物理性能、冶金质量和加工工艺等多个方面。首先,渗碳齿轮的硬度和淬透性是保证齿轮具有高强度和高耐磨性的基础。渗层表面淬硬性与其钢材中碳含量有关,适当的渗层深度可以提高齿轮的耐磨性。同时,渗碳齿轮芯部的强度和韧性也非常重要,适宜的芯部强度和韧性可以保证整体强度和渗层的抗剥落能力,同时还能具有足够的抗冲击能力,防止齿轮的脆裂。淬透性主要取决于合金元素的类型和含量,例如Cr、Mo、Ni等元素可以提高淬透性,从而增强齿轮的性能。此外,钢材的冶金质量也会对渗碳齿轮的性能产生影响。钢材中的夹杂物、缺陷等对齿轮的使用寿命和安全性都有不良的影响。因此,制造渗碳齿轮钢材时,需要采取严格的质量控制措施,确保钢材的质量符合要求。最后,加工工艺也是影响渗碳齿轮质量的重要因素。在渗碳齿轮的制造过程中,需要采取正确的加工工艺和操作方法,确保齿轮的精度和性能符合要求。

### 结束语

总之,齿轮裂纹是齿轮传动中常见的故障之一,对齿轮传动的安全性和寿命造成严重影响。为了防止齿轮裂纹,需要选择适合的材料,严格控制工艺,合理设计齿轮,采用有效的检测技术,定期进行维护保养,只有这样才能确保齿轮传动系统的安全可靠运行。

### [参考文献]

- [1]王伟. 齿轮齿面裂纹产生原因的分析及应对措施[J]. 机械制造, 2018, 56(08): 72-74.
- [2]王新. 齿轮磨削裂纹的产生原因及防止措施[J]. 煤炭技术, 2009, 28(11): 16-17.
- [3]李国平. 齿轮加工裂纹的原因分析及消除方法[J]. 航空制造技术, 2002(09): 70-71.
- [4]侯书峰. 齿轮端面磨削裂纹的产生及防止措施[J]. 机械工艺师, 1987(02): 13-14.

作者简介: 姓名: 何芸 性别: 男 籍贯: 江西省广丰县 民族: 汉 出生年月: 1982.08 职称: 中级工程师 研究方向: 齿轮传动设计