

# 挤齿加工工艺问题的研究与改进

王利峰<sup>1</sup> 张瑶瑶<sup>2</sup> 程雪娇<sup>3</sup>

陕西法士特齿轮有限责任公司 陕西 宝鸡 710077

**摘要:** 针对大模数花键零件在挤齿加工过程中出现的刀杆断裂、跨球距尺寸不稳定、部分零件在加工过程中摘档卡滞等与挤齿工艺相关的问题, 本文通过研究挤齿的工艺特点, 从零件产品结构、工艺控制方法等方面出发, 采取了一系列改进措施, 从而提高了挤齿的加工精度和过程稳定性。

**关键词:** 挤齿; 刀杆断裂; 强度跨球距; 材料; 摘档卡滞; 花键终止圆直径; 花键大径

## 1 引言

挤齿是加工倒锥内花键的一种常用工艺方法, 特别是对于部分由于强度等各方面原因无法设计插齿空刀槽的零件, 挤齿就成为了内花键加工的唯一方式。

然而, 与插齿相比, 挤齿主要靠挤轮的对花键齿厚进行挤压而形成倒锥花键结构, 是一种不去量加工工艺, 不同于插齿多次切削去量加工, 挤齿是一种一次挤压成型的工艺, 故而, 零件受到来自刀具的瞬时冲击力很大, 同时, 零件作用于刀具和机床的反作用力也很大。故而, 挤齿的加工工艺性不如插齿, 零件的加工精度也逊于插齿。如果一旦花键的加工量较大, 就会出现刀杆断裂、跨球距尺寸不稳定等问题。此外, 挤齿零件在变速箱中摘档卡滞等问题也是我们在挤齿工艺中面对过的一些问题。如何解决这些问题, 就成了我们工艺人员面临的一个个难题。下面就以我公司碰到的一些挤齿问题的解决为例, 具体描述改善挤齿加工工艺性的方法和措施。

## 2 问题描述与解决

### 2.1 大模数花键挤齿过程稳定性问题的研究与解决

#### 2.1.1 问题描述

我公司生产的一种倒锥花键零件, 由于结构强度问题, 不能设计插齿工艺空刀槽, 故内花键只能使用挤齿工艺进行加工。此零件内花键齿数为22, 模数为4, 压力

角为 $20^\circ$ , 分度圆夹角为 $6^\circ$ , 倒锥齿有效长14.15, 跨球距要求为 $M = 77.71/77.56$  (S $\phi$ 7.5量球)。

此零件在进行小批量生产阶段时, 多次出现加工零件不到50件时刀杆突然断裂的现象, 甚至部分刀杆在加工不到10件时突然断裂。此外, 零件的跨球距尺寸也极度不稳定, 经常突然性出现跨球距最大超差0.5的现象, 大部分零件跨球距尺寸在范围内。

#### 2.1.2 分析与改进

针对以上问题, 我们分别从刀杆设计优化、加工过程优化、零件结构设计优化三方面进行了分析与改进。

##### 2.1.2.1 刀杆优化

###### 2.1.2.1.1 分析

挤齿目前使用的刀杆有以下2种结构。A结构刀杆(如图1所示)加工零件不到10件即会断裂, B结构刀杆(如图2所示)加工不到50件即会断裂, 从寿命来看, B结构刀杆明显优于A结构刀杆。通过对比, 我们可以看出, A结构刀杆与B结构刀杆的主要区别在于途中标识位置: 在刀杆的机床安装与挤轮安装相接过渡之处, A结构为过渡圆角R1结构, B结构为过渡圆角R1结构。而刀杆的断裂位置, A、B结构刀杆均在机床安装与挤轮安装相接之处, 这也与加工过程中刀杆主要承受的是来自于径向的剪切力相吻合, 故改进刀杆结构的关键就在于增强刀杆在机床安装与挤轮安装相接之处的强度。

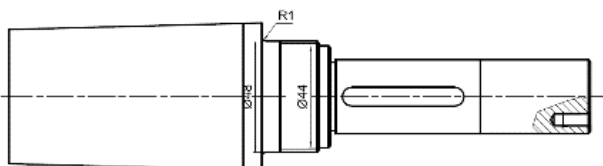


图1 A结构刀杆

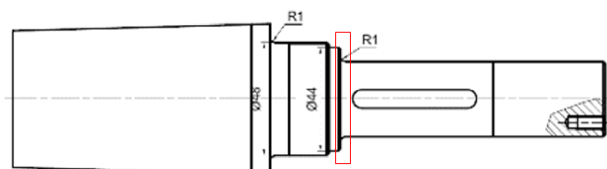


图2 B结构刀杆

###### 2.1.2.1.2 措施

在B结构的基础上, 我们对刀杆的机床安装与挤轮安

装相接位置的过渡圆角进一步增大, 并在不与安装干涉的情况下, 将以下几个位置进行加粗设计。此外, 我们

将刀杆的材料更换为抗疲劳强度更好的65Nb材料。如图3所示。

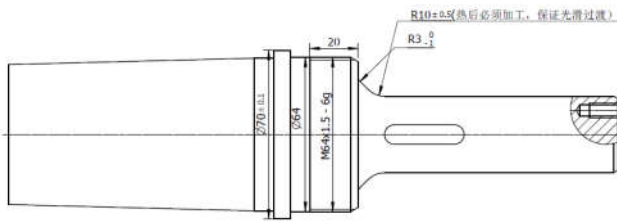


图3 改进后刀杆

#### 2.1.2.1.3 验证

此种方案实施后, 刀杆寿命有所提升, 但刀具本身仍存在强烈震动及发热情况, 零件的跨球距公差仍然无法保证, 故此方案仍然不能满足批量生产要求。

#### 2.1.2.2 加工过程优化

##### 2.1.2.2.1 分析

既然刀具和零件的瞬时冲击力太强, 那我们能不能通过多次进给和延长纯加工时间来改善加工过程? 事实上, 受所用挤齿机床限制, 零件单次加工时间不能通过调整机床参数实现, 机床也无法编制程序进行多次加工成型, 故我们无法通过以上手段改变刀具及零件瞬时所受冲击力来

改善加工情况。但我们注意到, 每次刀杆断裂时, 刀杆通体温度很高, 所以, 减缓加工节奏, 留给刀杆足够的冷却时间, 应该能对刀杆断裂现象有所改善。

##### 2.1.2.2.2 措施

实际上, 我们在加工完每件零件后, 都会留出大约1min的机床空置时间, 给予刀杆一定时间冷却。

##### 2.1.2.2.3 验证

此种方案实施后, 刀杆的寿命能提升到生产零件约100件, 能实现较小批量的生产任务, 零件的跨球距也不再出现超差0.5的情况。但每次加工后, 刀杆并不会完全冷却, 刀杆最终依然会在100件左右断裂, 依然不能保证批量生产要求外, 零件的跨球距变动量虽然降低到0.2范围内, 但还是不能保证设计公差要求。并且, 牺牲生产效率, 也不能用于长期生产过程。

#### 2.1.2.3 零件结构的改进

##### 2.1.2.3.1 分析

由于挤齿不是去量加工, 零件受到挤轮挤压后, 齿厚多余部分会被挤压到2个方向:(1)沿径向部分挤压到花键大径及小径;(2)沿轴向部分会被挤压到倒锥花键与直花键相接处。如图4所示。

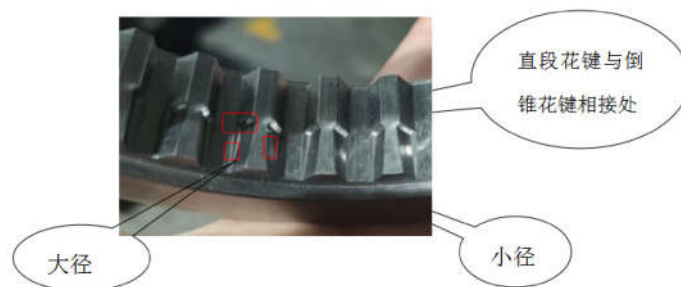


图4 挤齿齿厚变形分布

如果有足够的空间去容纳齿厚挤压出的部分, 那么刀具受到来自零件的瞬时反作用力就会大大减小, 则挤轮和刀杆受到的冲击力就会大为减小, 加工过程的稳定性和刀杆、挤轮的寿命将会得到大幅提升。而花键大径尺寸由挤齿前立拉工序的拉刀决定。如果大径变更较大的话, 一方面成本较大, 另一方面, 由于此零件内花键大径与外齿轮小径之间壁厚较小, 零件强度会明显降低, 零件使用寿命存在风险。如果大径变更较小, 那就没有足够空间容纳多余挤量, 达不到预期效果。故而, 我们最好选择在轴向进行结构改进。

##### 2.1.2.3.2 措施

最终, 我们在零件的直段花键与倒锥花键之间增加一段4mm的空刀槽, 此空刀槽直径不超过花键大径, 如此以来, 则在能保证零件强度不会收到明显影响的情况

下, 为齿厚挤出部分留下足够空间。

##### 2.1.2.3.3 验证

此种方案实施后, 零件的刀杆此后再未出现发热、断裂情况, 挤轮也不再出现碎裂情况, 并且零件的跨球距尺寸能够保证在0.1公差范围内, 完全满足批量生产的质量和效率能力要求。故而, 最终我们选定以此作为此问题改进的长久措施。

#### 2.2 摘档卡滞问题的研究与解决

##### 2.2.1 问题描述

我们的一款变速箱曾经接到客户的零公里故障投诉: 部分变速箱某一个档位出现摘档卡滞现象。这个档位的2个零件是通过倒锥花键进行连接的, 我们将内花键零件称做A零件, 外花键零件称做B零件。其中A零件的花键是通过挤齿的工艺方法加工的, 而B零件花键是通过

滚齿的方式加工的。A零件内花键齿数为22，模数为4，压力角为 $20^\circ$ ，分度圆夹角为 $6^\circ$ ，倒锥齿有效长14.15，跨球距要求为 $M = 77.71/77.56$ （ $S\phi 7.5$ 量球），花键终止圆直径 $\phi 91.2$ 最小，大径 $\phi 92$ ；B零件内花键齿数为22，模数为4，压力角为 $20^\circ$ ，分度圆夹角为 $6^\circ$ ，倒锥齿有效长19.8，跨球距要求为 $M = 102.03 \pm 0.03$ （ $S\phi 9$ 量球），大径 $\phi 92$ （ $0/-0.15$ ）。

## 2.2.2 分析与改进

### 2.2.2.1 分析

通过2相配件的结构及参数对比，我们发现，A零件内花键大径虽然远远大于B零件外花键大径，但A零件内花键终止圆直径下差与B零件外花键大径上差相同。

由于挤齿工艺是一种非去量加工的工艺方法，故而对于由挤齿工艺加工的内倒锥花键，多余的齿厚余量会被挤轮挤压到小径、大径处（如前面图4所示），而在大径处产生的工艺台，在后续是没有办法去除的，会一直保留在成品之上（如图5所示）。



图5 成品倒锥齿厚挤齿余量分布

因此，理论上，如果A零件内花键的终止圆直径小于B零件外花键大径，那么A零件的挤齿工艺台就会与B零件外花键大径接触，就会产生摘档卡滞现象。而在实际中，由于花键存在形位公差，即便是A零件内花键的终止圆直径等于B零件外花键大径，或者A零件内花键的终止圆直径稍稍大于B零件外花键大径，也会出现A零件的挤齿工艺台与B零件外花键大径接触的情况，从而出现摘档卡滞现象。

为了验证这个推断，我们对存在故障的变速箱进行拆箱，对A零件的内花键有效终止圆直径、A零件花键的跳动、B零件的外花键大径、B零件花键的径向跳动进行复测。

分析检测结果，我们发现B零件花键的径向跳动、A零件花键的跳动均基本在产品图要求，基本都超过0.05。而A零件的内花键有效终止圆直径有合格的，也有超差的，超差值普遍不超过0.1，B零件的外花键有合格的，也有超差的，超差值不超过0.05。对于部分零件，这几个数值都在产品图要求之内，但从理论上两个零件的终止圆与大径是能接触上的。

## 2.2.2.2 措施

### 2.2.2.2.1 工艺措施

既然存在零件不符合产品图的情况，那么我们首先要做的改进工艺，提升产品符合性。

#### 2.2.2.2.1.1 A零件的内花键有效终止圆直径符合性提升

A零件内花键有效终止圆直径主要由道工序决定：①挤齿工序；②去除挤齿小径凸起的二拉工序；③热处理工序。

对于挤齿工序，理论上，在跨球距固定的情况下，挤轮的外圆直径是决定内花键有效终止圆直径的主要因素，故而，对挤轮进行设计改进，增大挤轮外圆直径可以增大内花键有效终止圆直径。此挤轮原有设计，可以加工到的内花键有效终止圆直径为 $\phi 91.45$ ，但在实际加工中，内花键有效终止圆直径在 $\phi 91.3$ - $\phi 91.45$ 之间。与刀具设计沟通，由于此零件大径与终止圆直径仅仅相差0.8，已有挤轮设计中，大径与终止圆直径相差只有0.55，故而设计提升空间很小。最终在设计挤轮上，可以将内花键有效终止圆直径提升到 $\phi 91.55$ 。最终在控制计划中，对挤齿工序，我们将加工首件的要求定为 $\phi 91.45$ 。如果超差，则意味着挤轮已经磨损严重，操作者需要更换挤轮。

对二拉工序，在拉刀多次拉削后，拉刀刃会略微钝化，在此情况下，在挤齿序产生的工艺台会被拉刀微微卷起，从而导致内倒锥花键有效终止圆直径变小。有鉴于此，在控制计划中，在此工序，我们在加工首件检验要求中增加对内倒锥花键有效终止圆直径的检测要求，要求值为 $\phi 91.35$ 。如果超差，则意味着拉刀刃已经明显钝化，操作者需要将拉刀送至刃磨室，刃磨提高拉刀锋利程度后才可进行加工。

针对热处理因素，我们通过多次热处理前数据与热处理后花键终止圆直径对比分析，最终确定热处理后花键终止圆直径比热前小0.1，故而保证热前机加工在 $\phi 91.35$ ，则最终成品是完全能保证 $\phi 91.2$ 的图纸要求。

#### 2.2.2.2.1.2 B零件的外花键大径符合性提升

B零件外花键大径主要由2道工序决定：①精车工序；②热处理工序。

对于精车工序，目前工艺可以稳定得保证0.05的公差，已经没有提高的余地，故而不予变动。

针对热处理因素，我们通过多次热处理前数据与热处理后花键大径对比分析，最终确定热处理后花键大径比热前大0-0.1，故而调整热前机加工花键大径尺寸在 $\phi 91.2$ （ $-0.1/-0.15$ ），则最终成品是完全能保证 $\phi 91.2$ （ $0/-0.15$ ）的图纸要求。

#### 2.2.2.2.2 产品设计措施

我们前面对工艺进行提升与改进,已经满足原产品图的要求,但是从理论上,还是存在A零件的花键终止圆与零件B大径接触上的可能性。故而,必须对原有产品图进行更改。

对于零件A,如果产品图增大花键终止圆直径,则由于挤齿时终止圆直径受花键大径限制,则不仅挤齿序的挤轮需要重新设计制造,并且挤齿前拉花键、挤齿后拉花键的拉刀也都要重新设计制造,那么,不仅付出的成本高,而且产品实际更改周期也很长,总体而言,此方案可行性较低。

对于有零件B,减小产品图花键大径的话,只需要热前精车尺寸进行变动就可以,不需要投制任何新的刀具,从而可以将更改成本降到最低,并且能够立即实现实际更改。

故而,最终采取了将零件B花键大径更改为 $\varnothing 91(0/-0.15)$ 的方案。

#### 2.2.2.3 验证

在以上措施实施后到如今的1年多时间内,所生产的变速箱再也没有出现过某一个档位摘档卡滞现象,这个问题得到了彻底的解决。

### 3 总结

面对加工量较大的倒锥齿内花键挤齿加工中存在的刀杆断裂、跨球距尺寸不稳定的现象,我们从刀具结构优化、加工过程优化、产品结构优化三方面进行工艺改进,对比改进效果,最终选择产品结构优化作为长久的改进措施,最终保证了零件的加工质量和生产效率,提升整体的挤齿加工能力。

通过研究摘档卡滞问题后的零件参数特性,我们精准找到问题的所在,通过调整内花键终止圆直径与外花键大径的相对尺寸关系,最终彻底杜绝了问题的复发。

#### 参考文献:

[1]尹新颖,《高效率的齿轮精加工技术——挤齿》,河北机电学院学报,1998年,第15卷,第2期。