# 小模数渐开线花键冷滚轧技术

靖江市万里马动力机械一厂 （江苏 214536） 潘志强

我厂生产的汽车转向器，其上下传动轴有3处靠花键连接（两种规格：$m=0.467$，$\alpha=30°30'$；$m=0.45$，$\alpha=45°$），批量每月3000套。在花键铣上加工该产品需150班（每班8h），而在滚轧机上加工只需6班，效率提高25倍。在长期的生产实践中，我们总结出了一系列小模数渐开线花键冷滚轧技术。

小模数渐开线花键冷滚轧是较为先进的加工技术，具有效率高、精度稳定、齿的强度和耐磨性高及工艺性好等优点。

典型的冷滚轧加工方法是采用一对参数相同的滚轧轮分别安装在两根主轴上，在传动机构的驱动下，同向同步旋转。右轮由液压缸驱动，可进行径向进给运转，左轮可通过调整机构，使其与右轮在工件表面的压痕重合，即通过冷滚轧使工件产生塑性变形，形成渐开线花键。

## 一、工艺参数的设计和选择

### 1. 毛坯材料的要求

材料的滚压性能主要取决于工件材料的屈服极限$\sigma_s$、伸长率$\delta$、强度极限$\sigma_b$和弹性模量$E$，因此要求：

（1）伸长率$\delta$不小于8%。因为伸长率过低，容易出现皱纹、褶痕和裂纹等现象，并使滚压轮寿命降低。

（2）材料硬度不宜超过300HB，否则轧轮寿命急剧降低，工件也容易过早疲劳损坏。

（3）强度极限$\sigma_b$不能大于1400MPa。

### 2. 毛坯直径$d_z$的确定

（1）当工件的变位系数不大时，$d_z$值可取其分度圆直径，即$d_z=mz$（式中$m$为模数，$z$为齿数）。与理论计算的差值一般在0.1m的范围内。

（2）$d_z$值的理论计算是按照工件滚轧前后轴截面面积相等的原则进行的，即工件被轧轮齿顶挤压凹陷部分的面积等于工件被挤压涨出部分的面积。

（3）当工件分度圆压力角$\alpha\leqslant35°$时，$d_z$值可按渐开线齿形面积公式计算，即

$$d_z=\sqrt{\frac{z}{\pi}\left[\frac{(d_b)^2(\tan^3\alpha_a-\tan^3\alpha_f)}{3}+S_a d_a-S_f d_f\right]+d_f^2}$$

（4）当工件分度圆压力角$\alpha>35°$时，$d_z$值可按直线齿形面积公式计算，即

$$d_z=\sqrt{\frac{z}{\pi}(S_a+S_f)(d_a-d_f)+d_f^2}$$

式中 $d_a$——齿顶圆直径（加上磨量）

$d_f$——齿根圆直径

$\alpha_a$——齿顶圆压力角

$\alpha_f$——齿根圆压力角

$S_a$——齿顶厚度

$S_f$——齿根厚度

$d_b$——基圆直径

（5）滚轧花键的齿顶圆轴向呈弧状。当齿顶圆需磨削时，其两端的齿顶圆直径$d_1$应稍大于或等于工件成品的齿顶圆直径；而中间截面上的齿顶圆直径$d_m$，则为用以计算毛坯直径$d_z$的齿顶圆直径$d_a$（工件磨削前齿顶圆直径），即$d_m=d_a$。

（6）根据经验，齿宽为6～8mm的工件花键齿，$d_z$值应在理论公式算出的基础上增加0.25～0.4$m$，即$d_z=d'_z$（$d'_z$为理论计算值）+0.25～0.4$m$。$d_z$值较理论计算值要大些，与工件齿顶圆圆弧曲率半径的大小有关。

（7）不同的金属材料，力学性能不同，冷滚轧的变形量也不同，即使同一种材料其加工参数不同，冷滚轧变形量也不一样，所以按理论计算得到的毛坯直径$d_z$，还要通过试轧来确定。选择一根与待加工工件材料性能、硬度相同，直径稍大于待加工工件，长约200mm的棒料作试棒。在试棒两端分别加工出与工件齿面等宽，外径分别等于毛坯直径$d_z$、大于$d_z$0.05mm和0.1mm，以及小于$d_z$0.05mm和0.1mm的试棒各两根。先对外圆直径与$d_z$相等的试棒进行试滚轧，逐渐增加进给量，测量跨棒距，并测量$d_m$值（对外圆不磨削的工件）或$d_1$值（对外圆需磨削的工件）。①跨棒距合适，$d_m$值大于工件成品齿顶圆直径或$d_1$值大

于工件成品齿顶圆直径 0.1mm 以上者，应适当减小 $d_z$ 值。②跨棒距合适，$d_m$ 值或 $d_1$ 值小于工件成品齿顶圆直径，应适当增大 $d_z$ 值。③当跨棒距大，而加大径向进给亦无变化时，工件齿顶与滚轧轮齿根发生干涉，即所谓的顶死现象。这对机床和轧轮很不利，必须减少 $d_z$ 值。④当跨棒距小，而减小径向进给轧出的工件保证跨棒距后，齿顶圆直径减小，应适当增大 $d_z$ 值。

**3. 滚轧时间 $t$ 的确定**

滚轧时间 $t$ 过长不经济，且加剧滚轧轮的磨损。而 $t$ 太短则不利于金属材料的充分变形，滚轧出的工件尺寸一致性差。

滚轧时间 $t$ 一般可按下列经验公式确定：

$$t=\frac{60z\ (a+0.5)}{nz_c}$$

式中 $z$——工件齿数

$z_c$——滚轧轮齿数

$n$——机床转速，r/min

$a$——工件转过的整圈数，一般 $m=0.4\sim1$ 时取 8

**4. 挤压力 $F$ 的确定**

挤压力 $F$ 应与机床转速、径向进给速度等协调。一般 $m=0.4\sim0.5$，$v=0.04$mm/r，$n=35$r/min，$F=12$kN；$m=0.5\sim1$，$v=0.04$mm/r，$n=40$r/min，$F=14$kN。

## 二、同步调整

所谓同步调整即是调整左轧轮，使其与右轧轮在工件表面上的压痕重合。同步调整决定着渐开线花键能否成形及成形后的精度，它是冷滚轧工艺过程的重要一环，同步调整不好，两轧轮在工件表面上的压痕不重合。

**1. 按压痕不重合的误差大小分为 3 种情况**

(1) 乱齿　两轮在工件表面上压痕的重合度极差，产生严重的干涉，滚轧不出合格的花键齿。

(2) 出屑　两轮压痕重合度差，在滚轧过程中产生铁屑，虽能滚轧出花键齿，但精度极差。

(3) 超差　两轮压痕重合度差，使加工出的工件产生所谓大小齿现象，达不到精度要求。

**2. 同步调整的步骤和方法**

径向进给深度为 0.1mm，手动转动滚轧轮，使工件转过大于半圈不足 1 圈，那么工件表面会留下两轧轮的压痕。根据压痕的状况调整机构，顺时针或逆时针转动左轧轮，如此反复几次，直至两轮的压痕重合，此后还需使工件转过 8 圈以上。当压痕仍重合，方可认为同步调整结束。

**3. 影响因素**

影响同步调整的机床因素（两轮不同步转动），其中有一轮或两轮同时存在转动游隙大致有：

(1) 同步齿轮传动有间隙。

(2) 传动轴花键有间隙。

(3) 万向节磨损。

(4) 轧轮、传动轴键槽与键有间隙。

## 三、滚轧轮设计

目前，国内外滚轧机床的两滚轧轮轴线与工件轴线平行且在同一平面内，因此小模数花键滚轧是平面齿轮啮合。我们可根据平面齿轮啮合原则，导出滚轧轮一系列计算公式。下面我们就滚轧轮设计中若干参数的选择作些介绍。

**1. 齿数 $z_c$**

根据滚轧机床的最大中心距、允许的滚轧轮最大直径及工件的齿数、模数等参数，选取尽可能多的齿数 $z_c$。有一花键齿数 $z=30$、模数 $m=0.467$，则滚轧轮的最大极限齿数为 $[(230-m)/m]-z=462$。从理论上讲，滚轧轮齿数增多，可延长其使用寿命。如滚轧轮齿数减少 1/4，其使用寿命将降低 50%。为了给机床中心距有一定的余量，同时也为滚轧齿数较多的花键齿共用一个滚轧轮提供方便，最后选取 $z_c=320$。

**2. 滚轧轮的齿顶圆直径 $d_{ac}$**

(1) 滚轧时两滚轧轮带动工件作旋转运动。从理论上讲，两轧轮齿顶圆与工件毛坯外圆应是作纯滚动。此时，滚轧轮的 $d_{ac}=(z_c/z)\ d_z$，但在开始滚轧时，轮齿的啮合重合系数远小于 1，因此两者不可能实现纯滚动。此时工件虽有一定的转动惯量，但仍不免有打滑现象。因此滚轧轮的齿顶圆周节 $t_c$ 应较工件毛坯直径上的周节 $t_z$ 稍大些，即 $t_c>t_z$。一般以 $t_c=t_z+0.0055$ 为宜。则滚轧轮齿顶圆直径 $d_{ac}=z_c\times[(d_z/z+0.0055)]$。

(2) 成对使用的滚轧轮齿顶圆直径的差值不应大于 0.02mm，滚轧轮齿顶圆直径公差取 h7。

**3. 滚轧轮分度圆上的压力角 $\alpha_c$**

(1) 在滚轧过程中，由于工件节圆上部齿面与下部齿面所受到的挤压力存在差异，齿形由齿根向

(下转第 46 页)

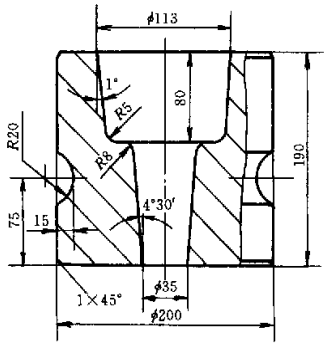


图 4　镦头模简图

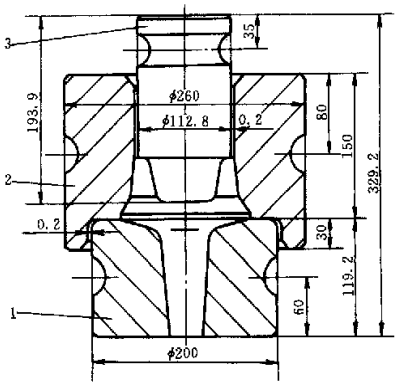


图 5　终锻模简图

1. 下模　2. 中模　3. 上模

（3）因只有 C41—150 和 C41—750 空气锤各一台参加工作，故不能流水作业生产，而只能采用小批循环作业。以 20～30 件为一批，先逐件完成在 C41—150 上的拔卡杆和在 C41—750 上的镦粗，镦粗上模的中间坯及时加入炉子的另一侧加热等待终镦。等此批镦完后，再换模在同一台 C41—750 上逐件终锻，在此批终锻未完成时，C41—150 歇工等待。再加上拔镦时 C41—150 的生产速度比 C41—750 低，每镦两件之间存在等待时间。结果造成生产率不够理想，班产成品锻件为 120 件左右的结果。

（20030928）

（上接第 44 页）

齿顶部分发生倾斜，使工件分度圆压力角增大。为了对此进行补偿，滚轧轮分度圆压力角 $\alpha_c$ 应较工件分度圆压力角 $\alpha$ 小些。压力角的减少量，要根据工件的材料性能、齿部参数和热处理状况等确定。根据以往经验，对材料硬度为 150～220HB 的小模数渐开线花键齿，当工件分度圆压力角 $\alpha = 30°30'$，则滚轧轮分度圆压力角 $\alpha_c = 30°$，即压力角减小 30′。又如 $\alpha = 45°$，$\alpha_c = 44°$；$\alpha = 35°$，$\alpha_c = 34°15'$；$\alpha = 30°$，$\alpha_c = 29°30'$等。

（2）在对滚轧轮与工件滚轧计算时，如果计算它们的滚轧啮合角、节圆直径及节圆上的弧齿厚等参数时，应以工件分度圆压力角 $\alpha$ 作计算参数。但在计算滚轧轮自身的一些参数时，如基圆直径、公法线长度、分度圆齿厚等参数时，则应以 $\alpha_c$ 作为计算参数。

（3）为简化制造，分度圆压力角 $\alpha_c$ 为 45°左右的滚轧轮齿形，可以用直线齿形替代渐开线齿形。

**4. 滚轧轮的材料选用**

（1）超硬高速钢 W6Mo5Q4V2Al　淬火硬度为 64～67HRC。

（2）钨高速钢 W14Cr4VMnxt　淬火硬度为 64～67HRC。

（3）铬钼钒合金钢 Cr12MoV　淬火硬度为 58HRC。

## 四、润滑、冷却及垃圾清除

**1. 润滑与冷却**

冷滚轧加工采用润滑和冷却措施，可降低工件表面粗糙度值，提高滚轮的使用寿命，减小工作压力。在加工中可采用二硫化钼、机油的混合剂。

**2. 垃圾清除**

应经常用钢丝刷清理轧轮槽内的铁屑。如不及时清理，滚轧时将出现以下现象：

（1）工件齿顶被挤平。

（2）轧轮轮齿挤断，导致轧轮报废。

## 五、在滚丝机上滚轧小模数渐开线花键

在滚丝机上滚轧渐开线花键，需对滚丝机作如下调整和革新。

（1）对照挤压力确定机床所需滚压力。若压力不够，更换增大液压缸，以保证足够的输出。

（2）机床传动件各部位间隙调整消除。

（3）拆除工件支撑板，安装中心架（自制），用双顶尖装夹工件，保证双顶尖中心线与两轧轮中心线平行。

（20030928）