

小模数谐波齿轮制造工艺

赵明晶 李元燮

谐波传动是五十年代末出现的以弹性变形的机械波来传递运动的一种新的传动形式。特别是谐波齿轮传动在空间传动、起重运输、机床、化工以及自动控制等方面得到了广泛的应用和发展。因为它具有零件数目少、传动比大、重量轻、体积小、回差小、运动平稳和同轴输出等优点。因此，目前在国内外受到了日益广泛的重视。

谐波齿轮传动中的重要元件有柔轮、刚轮和发生器。其中，柔轮又是最基本的元件。它直接地影响着传动装置的寿命和承载能力。因此，合理的选择柔轮参数、结构和制造工艺对提高谐波齿轮传动性能具有重要的意义。

本文是根据工作中的体验，叙述几种常用的典型柔轮的制造工艺以及材料的选择、处理，柔轮的精度、检查等有关问题。所提出的看法系工作中的体验，仅供参考。

(图1),钟形柔轮(图2)和环形柔轮(图3)。它们的参数与技术要求列于表1。

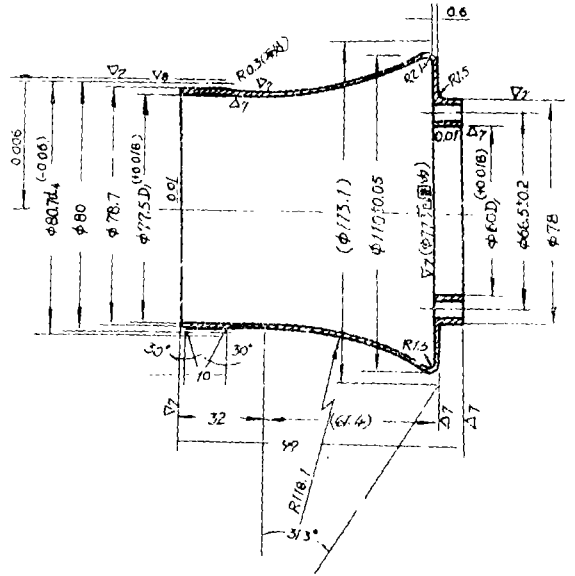


图2 钟形柔轮的结构

一、柔轮的结构与技术要求

常用的几种典型的柔轮结构有杯形柔轮

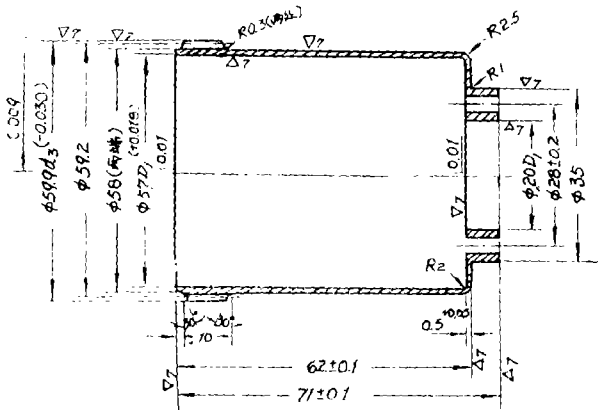


图1 杯形柔轮的结构

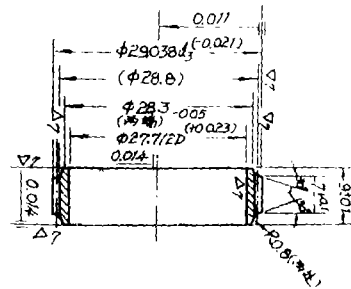


图3 环形柔轮的结构

表1. 柔轮的参数与技术要求

参数及技术要求	种类	杯形柔轮	钟形柔轮	环形柔轮
模数	数	$m = 0.4$	$m = 0.4$	$m = 0.2$
齿数	数	$Z = 148$	$Z = 200$	$Z = 140$
齿形角		$\alpha = 30^{\circ}1'$	$\alpha = 29^{\circ}38'$	$\alpha = 20^{\circ}$
齿全高		$h = 0.8$	$h = 0.8$	$h = 0.369$
变位系数		$\xi = 0$	$\xi = 0$	$\xi = +2$
圆棒测量尺寸		$dp = 0.866$	$dp = 0.866$	$dp = 0.402$
精度等级		$M = 60.104 \begin{matrix} -0.026 \\ -0.052 \end{matrix}$	$M = 81.518 \begin{matrix} -0.025 \\ -0.039 \end{matrix}$	$M = 29.395 \begin{matrix} -0.019 \\ -0.039 \end{matrix}$
配偶齿数		$Z_2 = 150$	$Z_2 = 202$	$Z_2 = 142$
技术要求		1.材料 35CrMnSiA; 2.调质 HB280~320; 3.发黑处理; 4.齿轮坯件半精加工后人工时效; 5.精加工前磁力探伤检查。		1.材料: 铍青铜(QBe2) 2.时效处理

二、柔轮材料的选择

柔轮是在交变应力的作用下工作的。因此，柔轮材料的选择必须具有良好的耐疲劳性能和高的强度，同时还应兼有良好的加工性能。通常使用的材料多为滚珠轴承钢与合金结构钢。此外，在交变应力增大(传动比 $i < 50$)的小功率传动中，亦可采用铍青铜、尼龙、塑料、氯丁橡胶和缩醛树脂^[3]等材料。柔轮材料应以耐疲劳性能作为最重要的指标。常用的几种合金结构钢的疲劳极限列于表2^{[1][2]}。根据我们工作中的体验，35CrMnSiA是一种良好的柔轮材料，可以推荐使用。因为它具有良好的耐疲劳性能。35CrMnSiA应在调质状态下使用，而且其硬度应以HB280~320为宜。硬度过高则易使材料变脆，影响其耐疲劳性能。

GCr15 轴承钢，虽然也是一种常用的

柔轮材料，但由于它是淬硬钢，宜在淬硬状态下使用，故而硬度较高性能较脆，对应力集中极为敏感易使柔轮齿间底部产生纵向裂纹，导致柔轮破损。即使采取GCr15 轴承钢，也应在调质状态下使用，硬度不宜高于Rc35。

表2. 常用的柔轮材料及其疲劳极限^{[1][2]}

材 料	疲劳极限 σ_{-1} kg/mm ²
40Cr	38~40
40CrNiMoA	50~70
50CrV	55~63
35CrNi ₃ A	52~70
18CrNiWA	54~62
18CrMn ₂ MoW	~50
31CrMoA	~45
30CrMnSiA	48~70
35CrMnSiA	48~70
30CrNiWA	~56
GCr15 (淬硬)	50~70

对于小功率的谐波齿轮传动为了减小交变应力的影响,也可采用铍青铜(QBe2)。当采用铍青铜时,必须注意其热处理规范,做好时效处理(见工艺规程)。否则将会使铍青铜失去弹性而不能正常工作。此外,缩醛树脂也是一种较好的非金属柔轮材料^[3]。

三、柔轮的制造工艺

下面以钟形和环形两种柔轮为例说明柔轮的制造工艺。

1. 钟形柔轮的制造工艺(图2)

零件名称		钟形柔轮	件号
材料		35CrMnSi4	数量
简图		见图2	
序号	工种	工序内容	设备与刀具
1	锻造	锻造毛坯,各表面留5毫米余量	
2	热	正火处理:锻件加热到870°~890°保温2小时后空冷	
3	粗车	粗车内外各表面,留2毫米余量。	普通车床
4	热	调质处理 HB280~320 淬火:加热到870°~890℃保温1~2小时,油淬; 高温回火:加热到620°~670℃保温2小时,水冷。	
5	车	(1)在Φ78凸台上车出丝扣(配丝扣胎) (2)用丝扣胎将柔轮旋紧,车出Φ60D ₁ 与Φ77.5D ₁ 内表面,留磨量0.15—0.2毫米 (3)用液压仿形刀架按照样板精车钟形内表面至图纸尺寸与要求。	普通车床 SV18R(捷克) 液压仿形刀架
6	磨	磨Φ77.5D ₁ 与Φ60D ₁ 内孔至图纸尺寸并靠出端面	内圆磨床
7	车	配上心轴:1.车Φ80.7b ₄ 外园直径留磨量0.3mm。 2.车去Φ78外园上的螺纹,直径留磨量0.3mm,同时车出两侧端面。	普通车床
8	磨	磨Φ80.7与Φ78外圆及两侧端面均至图纸尺寸与要求。	外圆磨床
9	精车	用液压仿形刀架按照样板精车钟形外表面至图纸尺寸与要求	SV18R普通车床 (捷克)
10	探仿	磁力探仿检查内部缺陷。	磁力探伤机
11	表面处理	发黑处理	
12	磨齿	直接磨出齿形至图纸尺寸与要求	G816蜗杆砂轮磨齿机(英国)
13	钳	按图纸尺寸划线并钻孔	
14	检查	按JB305—67标准验收	

2. 环形柔轮的制造工艺(图3)

零件名称	环 形 柔 轮		件 号
材 料	铍 青 铜 QBe2		数 量
简 图	见 图 3		
序号	工 种	工 序 内 容	设 备 与 工 具
1	备 料	下料 $\Phi 32 \times 20$	
2	粗 车	粗车内外表面, 留余量 2 毫米	普 通 车 床
3	热	时效处理: 加热至 300°C 保温 8 小时后, 空冷。	
4	精 车	1) 精车内孔 $\Phi 27.712D$ 至图纸尺寸。 2) 车端面、切断并平整另一端面。 3) 装上心轴: 精车 $\Phi 29.038$ 外圆与 $\Phi 28.3$ 两测轴台均至图纸尺寸。	普 通 车 床
5	滚 齿	用胀胎夹紧工件, 在 <i>MikRON</i> 122 小模数滚齿机上, 用标准刀具滚齿至图纸要求。	<i>MiKRON</i> 122 小模数滚齿机 $m0.2, \alpha 20^{\circ}$ 标准滚刀。
6	检 查	按 <i>JB305-67</i> 标准验收	

四、精度与检查

小模数谐波齿轮的精度等级可按照 *JB305-67* 小模数圆柱齿轮传动公差选取。检查项目为: 齿轮运动误差 ΔT_s 和齿轮周期误差 ΔT , 也可用周节累积误差 Δt_s 和齿轮转动一齿中心距变动 Δa 来代替。但是, 由于谐波齿轮传动的特点所致^[3], 也可免去对齿轮运动误差 ΔT_s 或周节累积误差 Δt_s 的检查。因为谐波齿轮传动是多齿, 并在相对 180° 的位置上啮合(二波时), 对周节累积误差有明显的抵消作用。因此, 对谐波齿轮传动来说, 其运动误差要比组成传动的两个齿轮的运动误差的平均值小得多。

实验表明, 由图1柔轮组成的谐波齿轮减速器的运动误差只有两齿轮运动误差平均值的51%。由此可见, 谐波齿轮传动对提高传动的运动精度是极为有效的。

此外, 谐波齿轮传动对其它各种误差

(齿形、齿向、偏心等误差) 的敏感度也比一般齿轮传动要小, 旋转的平稳性也比一般齿轮传动要高^[3]。

对谐波齿轮传动回转精度影响较大的是齿轮的周期误差(齿的周节误差), 特别是对很小模数的谐波齿轮尤应注意其周节误差的检查。

在加工过程中, 对谐波齿轮齿厚的控制, 以采用量棒测量法为宜。

五、结 语

柔轮的制造工艺直接影响着柔轮的寿命、效率和传动精度。

柔轮薄壁体的成形, 目前多采用锻件用切削加工方法来完成。这种工艺方法对金属材料的金属纤维组织有破坏作用, 因此影响其寿命。若能采用冲压等方法来完成薄壁体的成形, 同时表面再经滚压或喷丸处理, 则可改善金属组织, 显著地提高其疲劳强

度。

齿的成形，目前以插齿最为普及，因为这种方法既可加工外齿，又可加工内齿。研磨可以显著地提高其旋转的平稳性。同时效率一般也可达80%以上。

谐波齿轮的齿形角规定为 28.6° 。当缺乏谐波齿轮刀具时，也可采用标准的 20° 压力角的插齿刀或滚刀来加工谐波齿轮。此时应对谐波齿轮进行变位计算（参看图3），通过计算来选定变位系数 ξ 和啮入深度 h_3 。

参 考 文 献

- [1] Н.И.Колчиди «Зубчатые и червячные передачи» 1968
- [2] 苏联机器制造百科全书第三卷
- [3] Н.И.Цейтлин Волновые передачи «Вопросы ракетной техники» 1965, No. 8
- [4] С.А. Цуванов Боковые зазоры и высота зуба в волновой передаче «Известия вузов «Машиностроения» 1974, No. 8

（上接24页）

概率的相应值。

表1 i 谐波功率低于期望功率的一个分数的概率

i 谐波数	概 率	$\beta = 0.1$ 的概率
1	$1 - e^{-\beta}$	0.095
2	$1 - e^{-2\beta}(2\beta + 1)$	0.022
3	$1 - e^{-3\beta}(4.5\beta^2 + 3\beta + 1)$	0.004

β : 期望功率的分数

译自 *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*
V01.114 No.1 P161, 1967.

〔吴桂英译 于前洋校〕