

某型歼击机薄壁受力扇形齿轮的加工改进

■ 中航工业贵阳万江航空机电有限公司 （贵州 550018） 汪 奎

摘要：分析了薄壁受力扇形齿轮的加工工艺方法，重点介绍了关键工序——切制齿轮，为类似零件的加工提供方法、技巧和借鉴。

现代机械传动中，齿类机构是一种重要的传动形式，大量应用于航空空气电动活门、电动机机构、力臂自动调节器及驱动电动机等领域（见图1）。现代航空机载设备对受力齿轮的要求越来越高，既要满足性能要求，又要减轻重量，一些薄壁铸锻的齿轮可以满足要求，但对加工工艺性提出了更高的要求。本课题以某型歼击机上的受力扇形齿轮为例，探索这方面的加工工艺性。

1. 薄壁扇形齿轮的结构和加工难点

（1）毛坯的结构特点。图2所示是某型歼击机上的一个受



图1 涉及齿轮加工的航空领域

力扇形齿轮的毛坯图。该零件毛坯的结构特点：①外形回转直径大，最大外形回转直径达到280mm。②受力齿轮部位（最大外形上插齿）壁薄，单边仅为7mm；插齿时刀具的往复运动容易产生冲击变形。③毛坯采用锻造和焊接完成，综合机械性能高。④零件需100%进行磁力探伤检验，不允许有铸造和焊接缺陷，如裂纹、夹渣及气孔等。

（2）加工难点。①毛坯用30CrMnSiA材料锻造焊接，合金钢强度高，调质后有很高的强度和硬度，加工过程中刀具磨损严重，且有一定的粘刀特性，对零件表面质量有一定影响。②利用范成法原理切制齿轮时，切削运



图2 薄壁扇形齿轮毛坯

动是插刀沿齿坯的齿宽方向作往复运动，单程切削，空程回刀。由于零件壁薄易变形，加工过程中齿轮的精度特别是齿形误差 Δf_t 易受影响。③锻造过程中由于欠压、锻模磨损、上下模错移、锻件氧化与脱碳及冷却收缩等原因，锻件尺寸很难准确，形状也可能发生翘曲歪扭，这给加工中的三基准重合（设计基准、工艺基准和检验基准）带来很大的难度。

2. 齿轮参数和工艺路线

（1）扇形齿轮参数及验收标准。该扇形齿轮用于许多歼击机型、歼教机型和某些重点工程，批量生产，年产量较大。其齿轮参数及验收标准如表1所示。

（2）工艺路线规划。科学合理的标准化流程不但能利用好生产资源，而且能降成本、增效益。该齿轮工艺路线规划如下：

平磨两面（基准面）→镗孔→加工中心钻孔→刻插齿标线→精铣凸台→去尽毛刺→精车插齿大外圆→插齿→磁力探伤→总检

表1 齿轮参数及验收标准

齿轮参数		
项目	代号	参数
模数	m	1.25
齿数	z	220
分度圆压力角	α	20°
齿顶高系数	h_a^*	1.0
径向间隙系数	C^*	0.2
精度等级	7f GB2363—1990	
验收标准		
跨齿数	K	25
公法线长度/mm	L	94.26 ± 0.01
齿圈径向跳动/mm	$\triangle F_r$	0.030
齿距累积误差/mm	$\triangle F_p$	0.046
齿形误差/mm	$\triangle f_f$	0.012
齿距偏差/mm	$\triangle f_{pt}$	± 0.013
齿向误差/mm	$\triangle F_{\beta}$	0.009

→封存入库。

制定工艺路线时重点考虑以下因素：消除应力处理。毛坯锻造焊接（ CO_2 气体保护焊）后，进行了退火和时效处理，避免了冷却收缩、焊接裂纹和内部气孔，有效地消除了应力集中，避免降低齿轮的承载能力和疲劳强度[$\sigma_b = (1\ 180 \pm 100)$ MPa]。

基准的选择：该零件装机时主要配合部位是 $\phi 8_{-0.015}^0$ mm孔，平磨两个平面作为粗基准后，以粗基准定位精镗孔 $\phi 8_{-0.015}^0$ mm，再以 $\phi 8_{-0.015}^0$ mm定位，精加工齿顶圆直径，并以该孔定位插齿，

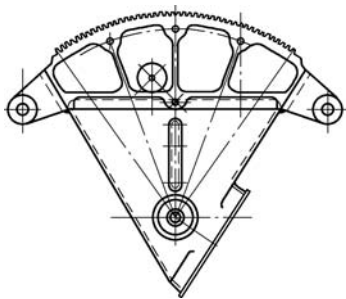


图3 扇形齿轮齿形

保证了设计基准、工艺基准和检验基准的重合，避免了定位误差、检验误差的干扰，提高了插齿精度。

工序分布：随着数控化率的飞速发展，多道工序、多次定位、多套工装加工1个单元内容的方式已经逐步消失，采用数控铣削加工中心，将齿轮外形上的所有孔一次定位全部加工完，保证了加工尺寸的一致性，大大提高了生产效率。

夹具设计：采用 $\phi 8_{-0.015}^0$ mm及其端面和辅助侧面定位，用组合夹具实现装夹，既快速又简便，共限制了零件的5个自由度，降低刀具往复运动产生振动对齿轮参数的影响。

3. 影响加工精度因素的解决措施

（1）插齿过程中的冷却方式。30CrMnSiA属中碳结构钢（平均含碳量3‰），强度高，综合机械性能好，焊接性能较差。调质后有很高的强度和足够的韧性，淬透性较好。考虑到该零件为焊接薄壁件，而且要求加工后齿形表面粗糙度值较高（ $R_a = 0.8\text{mm}$ ），故采用机油和煤油混合冷却的方式，优点是保证有良好的加工性能，加工中变形

微小，抗疲劳强度好，用油作为冷却介质冷却速度较慢，保证加工出较低的表面粗糙度值。

（2）刀具及切削参数选配。刀具的选配主要考虑零件结构、装夹空间及进刀方式等。零件 $m = 1.25$ ， $z = 220$ ， $\alpha = 20^\circ$ ，选用的刀具 $m = 1.25$ ， $z = 40$ ， $\alpha = 20^\circ$ ，带锥结构，定位孔 $\phi 20\text{mm}$ ，定位孔装入插齿机拉杆接头的定位外圆，插齿刀的底部空间装上拧紧螺钉即可使用。

参数选配如下：插齿刀的计算直径50mm；刀具每分钟往复行程数120；刀具每往复行程的圆周进给量0.17mm/r；刀具每往复行程的径向进给量0.048mm/r；主电动机转速1 000r/min。

（3）插齿刀的运行方式。常用的插齿方法有成形法和范成法，对同一模数不同齿数的齿轮，齿廓形状也不相同，成形法需要很多刀具，而且精度差、效率低。故齿轮加工一般采用范成法。

范成法的原理是利用一对齿轮（或齿轮与齿条）相互啮合时，其共轭齿廓互为包络线的原理来切齿。即把一个齿轮或齿条做成刀具，在另一个齿坯上切出与它共轭的渐开线齿廓。

插齿时，刀具与齿坯之间的相互运动主要有：①范成运动。插齿刀与齿坯以恒定的传动比 $i = \omega_c / \omega_p$ （ ω_c 、 ω_p 分别为插齿刀和齿坯的角速度）作回转运动。②切削运动。插齿刀沿齿坯的齿宽方向作往复运动，单程切削，空程回刀。③进给运动。插齿刀向齿坯的中心作径向移动，直至切出规定的齿槽深度。



图4 扇形齿轮插齿刀

对于该扇形齿轮，全部完成齿形加工单件约15min。

(4) 挂轮的选配。该齿轮的加工在普通插齿机或数控插齿机上均可实现，以普通插齿机为例，假定机床的传动比公式为

$$i = (\text{刀具齿数} / \text{工件齿数}) \times (24/10)$$

差动挂轮：

当 $i < 1$ 时，则

$$i = (a/b) (c/d)$$

当 $i > 1$ 时，则

$$i = (d/c) (b/a) = 0.436\ 363\ 6$$

故挂轮选取为

$$(a/b) (c/d) = (96/80) \times (20/55)$$

此值的选取并非唯一，主要是根据机床所配置的挂轮数量及齿数选取。

4. 加工结果

通过多年的加工，齿轮质量稳定，检测参数在合理的区间分布，表2所示是多年检测参数统计的分布区域。

表2 (单位: mm)

名称	符号	检测参数
公法线长度	L	94.25 ~ 94.27
齿圈径向跳动	ΔF_r	0.015 ~ 0.023
齿距累积误差	ΔF_p	0.013 ~ 0.028
齿形误差	Δf_f	0.008 ~ 0.011
齿距偏差	Δf_{pt}	0.011 ~ 0.013
齿向误差	ΔF_β	0.007 ~ 0.009

5. 结语

本文针对航空产品中受力扇形齿轮的机械加工，从毛坯、

工艺路线、基准选取、加工参数及刀具选择等进行了介绍。该类齿轮在航空产品中占有很大的比例，不同的企业，由于生产资源和计划调度不同，加工的方式不尽相同。本次选择的课题，已经多年的加工验证，方法简便，操作简单，质量稳定，为类似零件的加工提供方法、技巧和借鉴。

参考文献：

- [1] 朱孝录. 齿轮传动设计手册[M]. 北京：化学工业出版社，2003.
- [2] 郭仁生. 机械设计基础[M]. 北京：清华大学出版社，2006.
- [3] 熊万武，盛君豪. 速查挂轮表[M]. 北京：机械工业出版社，2004.

MW (收稿日期：20160720)

“劳力恩”金属加工液

——国际品质、服务中国

● SR系列金属加工液（油）

枪钻、枪铰油，齿轮加工油，强力拉削油，珩磨油；
乳化型、微乳化型、全合成型水溶性切削液，全合成型水基珩磨液，光学玻璃磨削液。

● MD系列清洗机专用清洗剂

高压喷淋式清洗机专用清洗剂、超声波清洗机专用清洗剂、碳氢溶剂清洗剂。

● MD系列金属防锈油

置换型金属防锈油，薄层金属防锈油。

服务热线：400-0411-023



盛瑞贝尔化工有限公司

地址：大连市甘井子区革镇堡后革644号

邮编：116035

网址：www.sunrobell.com

电话：0411-84324593 84323644 86459096 传真：0411-86458988

邮箱：ll@sunrobell.com

◆广告 查询编号：1213