

大直径钛合金机匣的数控车削加工

黄承志, 杨家典, 王攀智, 刘小刚

贵州航宇科技发展股份有限公司 贵州贵阳 550081

摘要: 针对Ti6Al4V钛合金薄壁机匣切削加工的难题, 分析零件的结构和尺寸要求, 通过编制合理工艺路线及数控程序, 选用合理的刀具、切削参数和工装夹具等, 确保了零件的加工精度, 为该类薄壁零件的数控车削加工提供参考。

关键词: Ti6Al4V钛合金; 薄壁件; 机匣; 车削加工; 数控程序; 切削参数

1 序言

Ti6Al4V钛合金是一种具有高强度、低密度和良好的耐热性、耐腐蚀性等特点的材料, 广泛应用于航空航天、汽车及医疗器械等领域^[1]。因其材料特性, 热处理强化后, 硬度高达320HBW, 抗拉强度不低于1200MPa, 加工过程中会存在增强破碎、拔出及脱粘等问题, 切削加工较为困难, 因此, 研究Ti6Al4V切削加工工艺, 对提高加工效率和加工质量具有重要的意义。

2 Ti6Al4V性能分析

Ti6Al4V切削加工的难度主要由材料本身的化学成分、金相组织和力学性能所决定。其化学成分^[2]见表1, 力学性能见表2。

3 薄壁机匣零件介绍及加工难点分析

薄壁机匣零件如图1所示, 零件尺寸如图2所示。该零件为大直径薄壁零件, 主要由薄壁直筒、外径多处法兰、斜面及凹槽组成, 零件材料为Ti6Al4V

表1 Ti6Al4V钛合金化学成分 (质量分数) (%)

元素	Fe	C	Cu	N	V	Al	Sn	H	O	其他	更多
含量	0.35~1.0	≤0.05	0.35~1.0	≤0.04	5.0~6.0	5.0~6.0	1.5~2.5	≤0.015	≤0.2	≤0.4	Ti余量

表2 Ti6Al4V钛合金力学性能

热处理或状态	项目	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服点 σ_s /MPa	断后伸长率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)	硬度/HBW
固溶退火+人工时效	值	≥1200	≥1100	≥6	≥15	≈320

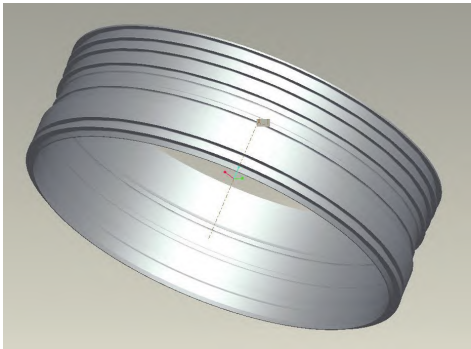


图1 零件三维模型

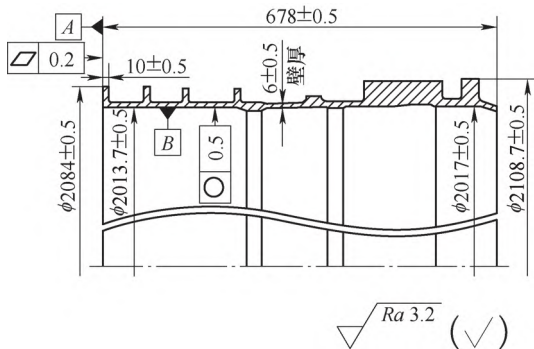


图2 零件尺寸

钛合金，以端面A和内径（ 2013.7 ± 0.5 ）mm为基准，最大外径（ 2108.7 ± 0.5 ）mm，最薄壁厚（ 6 ± 0.5 ）mm，高度（ 678 ± 0.5 ）mm，表面粗糙度值 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ 。零件的平面度 $\leq 0.2\text{mm}$ 、圆度 $\leq 0.5\text{mm}$ 。因为零件内外径都是较复杂的异形截

面，所以数控车削加工较为困难。

4 加工工艺流程

通过对零件结构及加工难点的分析，制定出加工工艺流程见表3。

表3 加工工艺流程

工序号	工序名称	工步图	说明及注意事项
5	粗车		单边留4mm进行粗车； 车两端面基准的平面度 $\leq 0.5\text{mm}$
10	车基准及工艺台		编制数控程序1，单边留2.0mm，车大端面及台阶面作为后工序的基准； 台阶端面要求100%见光，表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ ，平面度 $\leq 0.03\text{mm}$
15	半精车1		用专用工装（见图3）装夹零件，编制数控程序2，单边留2mm，半精车小端面及内外型面
20	半精车2		先松开工序15的压板，释放机械加工应力； 重新找正基准B的圆跳动 $\leq 0.1\text{mm}$
25	精车1		精车小端面及内外型面至达到图样尺寸要求； 端面要求100%见光，表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6 \mu\text{m}$ ，平面度 $\leq 0.03\text{mm}$
30	半精车3		重新找正基准B的圆跳动 $\leq 0.05\text{mm}$
35	精车2		精车大端面及剩余内外型面至达到图样尺寸要求， 完成零件的加工

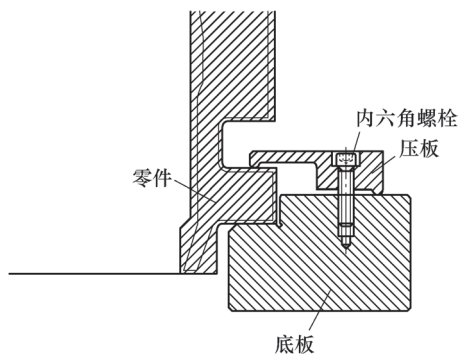


图3 专用工装

5 工艺方案的实施

5.1 刀具的选择

因钛合金在热处理后，毛坯表面较硬，直径较大存在椭圆，故车削加工中切削力很大，刀具容易出现崩刃。粗车时选用抗冲击性较强的YG8硬质合金刀具，半精车和精车时选用CNMG160612-GJ VP10RT和RPMT10T3MOE-JS VP15TF涂层硬质合金刀片^[3]。

5.2 精车零件的数控程序

根据零件加工难点及工艺方案分析，该零件的几何形状较为复杂，所以采用计算机辅助编程（CAM）。主要步骤如下。

（1）加工零件及工艺分析 包括确认零件尺寸、公差及精度要求，确认进给路线、工装夹具、量具及刀具，并确认编程原点和编程坐标系^[4]。

（2）加工零件的建模 利用计算机及软件建立零件的三维模型。

（3）加工参数输入 包括选择机床型号、毛坯尺寸、刀具类型、切削用量以及其他信息（安全平面、刀具轨迹、进退刀方式和冷却方式等）。

（4）刀具轨迹生成及完善 根据几何信息与工艺信息，系统自动完成计算和编排，生成刀具轨迹。刀具轨迹若有不合理之处，可以在人机交互下对轨迹进行完善。

（5）轨迹仿真及首件试加工 将程序导入设备，让设备空运转，以验证刀具轨迹的正确性与合理性。验证程序的加工精度，则需进行首件试加工，以发现程序的漏洞及不足，并加以修改和补偿。

（6）后续程序处理 将刀具轨迹文件转换为数控车床能准确运行的程序。精车小端及外圆如图4所示。

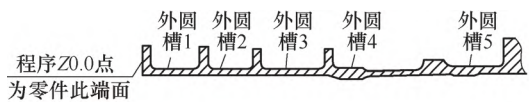


图4 精车小端及外圆

以精车外圆槽1为例，选用刀宽6 mm、刀尖R3.0mm的球槽刀，程序如下。

```
N100
T0000
G00 X2400. Z-70.
X2111.6
S8 M03
M08
G01 X2058.2 F0.3
G03 X2054.983 Z-69.188 CR=2. F0.15
G01 X2059.809 Z-67.406 F0.5
G00 X2116.42
Z2.657
X2100.772
G01 X2110. Z-1.957 F0.3
Z-14.043
X2106.085 Z-16.
X2058.2
G02 X2054.2 Z-18. CR=2. F0.15
G01 Z-68. F0.3
G02 X2055.534 Z-69.491 CR=2. F0.15
G01 X2059.533 Z-67.254 F0.5
G00 X2400.
Z50.
M09
M05
M00
```

小端精车内圆选用50° 尖刀，刀尖R1.2mm，程序如下。

```
N160
T0000
G00 X1600. Z50.
X2047.874
Z3.184
S8 M03
M08
G01 X2039.7 Z-.903 F0.3
```

Z-226.202
G03 X2038.553 Z-230.282 CR=14.8
G01 X2032.884 Z-240.168
G03 X2029.377 Z-244.054 CR=14.8
G01 X2029. Z-244.35
Z-271.328
X2029.542 Z-271.66
G03 X2036.222 Z-280.649 CR=14.8
G01 X2041.219 Z-377.378
G03 X2039.722 Z-382.422 CR=14.8
G01 X2039.6 Z-382.606
Z-411.1
G00 X1600.
Z50.
M09
M05
M00
M30

精车大端及外圆如图5所示。

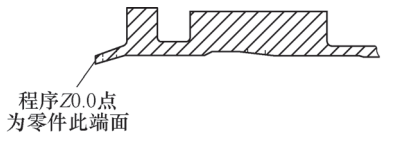


图5 精车大端及外圆

选用刀宽6mm、刀尖R3.0mm的球槽刀精车外圆，程序如下。

N170
T2D2
G0X2140
G00 Z-238
G00 X2128.000
M3S10
G01 Z-93.657 F0.4
G01 X2124.085 Z-91.700
G01 X2073.000
G03 X2069.000 Z-89.700 CR=2.000
G01 Z-88.7
G0X2140
G00 Z-29
G00 X2134.700
G95 G01 Z-63.643

G01 X2130.785 Z-65.600
G01 X2073.000
G02 X2069.000 Z-67.600 CR=2.000
G01 Z-89.5
G0X2140
G00 Z-32.493
G00 X2135.371
G95 G01 X2132.543 Z-31.079
G02 X2128.300 Z-30.200 CR=3.000
G01 X2065.268
G03 X2061.508 Z-28.882 CR=2.000
G01 X2042.121 Z-2.176
G02 X2040.724 Z-1.079 CR=3.000
G01 X2040.324 Z-0.879
G02 X2036.081 Z-0.000 CR=3.000
G01 X2015
G0Z82M9
M5
X2280
M0

大端精车内圆选用刀宽6mm、刀尖R3.0mm球槽刀，程序如下。

N180
T2D2
G00 X2030.650
Z2.5
M3S10
G1 Z0.907 F0.4
G01 X2026.820 Z-1.007
G01 X2043.000 Z-29.119
G01 Z-103.900
G02 X2048.232 Z-112.113 CR=14.200
G03 X2050.000 Z-114.889 CR=4.800
G01 Z-140.661
G01 X2042.600 Z-174.261
G01 Z-254.236
G03 X2035.200 Z-264.025 CR=14.800
G0X2010M9
M5
Z50
M30

5.3 切削参数

根据零件材料、尺寸精度和表面粗糙度要求，结合刀具手册上推荐的切削数值^[5]，选取的刀具切削参数见表4。

6 加工验证

经过对钛合金机匣数控车削加工的分析，合

理选用工艺路线、数控程序、刀具和切削参数。粗车时选用“低中转速、较快进给、较大切深”的策略，精车时选用“高转速、较慢进给、较小切深”的切削方式，可有效保证零件的加工精度。加工完成的钛合金机匣的关键尺寸检测记录见表5，成品零件如图6所示。

表4 刀具的切削参数

刀具名称	刀杆名称	刀片名称	材质	切削速度/(m/min)	进给量/(mm/r)	切削深度/mm
内外圆粗车刀	硬质合金 (YG) 刀	—	YG8	40~48	0.23~0.28	2~3
外圆半精车刀	MCLNR3232P12	CNMG120408-GJ	VP10RT	45~53	0.3~0.4	0.8~1.2
内圆半精车刀	MCLNL3232P12	CNMG120408-GJ	VP10RT	45~53	0.3~0.4	0.8~1.2
外圆切槽刀	RF123J32-3225BM	TN-500/08-J2N-88	5820	15~20	0.08~0.12	—
外型面精车刀	SRAPR3232P10	RPMT10T3MOE-JS	VP15TF	52~63	0.15~0.35	0.4~0.7
内圆精车刀	MCLNL3232P16	CNMG160612-GJ	VP10RT	52~63	0.15~0.35	0.4~0.7
内型面精车刀	SRAPL3232P10	RPMT10T3MOE-JS	VP15TF	52~63	0.15~0.35	0.4~0.7

表5 钛合金机匣关键尺寸检测记录 (单位: mm)

序列号	关键尺寸					结论
	ϕ (2013.70 ± 0.50)	678.00 ± 0.50	6.00 ± 0.50	平面度 ≤ 0.2	圆度 ≤ 0.5	
7—001	$\phi 2013.38 \sim \phi 2013.90$	$677.90 \sim 678.00$	$6.11 \sim 6.20$	≤ 0.12	≤ 0.30	合格
7—002	$\phi 2013.26 \sim \phi 2013.80$	$678.18 \sim 678.30$	$6.10 \sim 6.22$	≤ 0.08	≤ 0.22	合格

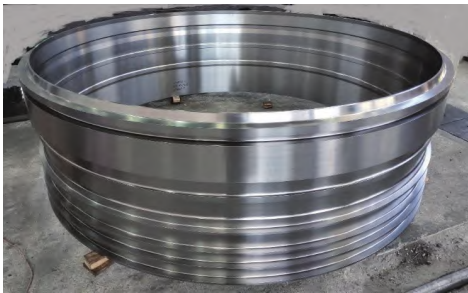


图6 成品零件

7 结束语

本文对大直径钛合金机匣车削过程的问题及难点进行分析，编制合理的加工工艺及数控程序，选用合适的刀具及切削参数，使得零件车削加工得以顺利进行。因零件的直径较大，壁厚较薄，尺寸要求精度高，为此设计了专用工装夹具来保证产品的加工质量，经实际加工验证，较好地解决了大直径

钛合金机匣的数控车削加工难题。

参考文献：

[1] 吕嗣孝, 周洪, 崔建昆. 钛合金材料切削加工参数优化和实验研究[J]. 机械工程师, 2022 (1): 154-156.

[2] 魏军. 大直径紧密复杂型面薄片零件车削加工工艺研究[J]. 中国新技术新产品, 2018 (1): 69-70.

[3] 刘本良, 张敏, 钱志强, 等. 薄壁锥度壳体类零件数控车削工艺与装夹研究[J]. 金属加工 (冷加工), 2016 (10): 28-30.

[4] 高新华. 数控加工工艺技术分析[J]. 装备制造, 2019 (12): 156.

[5] 叶贵根, 薛世峰, 仝兴华, 等. 高速切削TiAl6V4温度和切削力动态变化规律研究[J]. 工具技术, 2011 (8): 21-25.

MW 20240830