

变速器换挡叉加工工艺及夹具设计

摘 要

为了使变速器换挡，改变其转速，需要变速器换挡叉作用于换挡机构中，传递扭矩。它的优点是使变速器的速度直接变化，不需要经历其他的过程，以此可以使变速方便，但缺点是比较复杂。

本次设计涉及了机械制造工艺学和机床夹具设计、金属切削手册、公差配合与测量等知识。此次课题是凭证相关数据资料，运用技术理论和机械制造工艺学等相关的内容对换挡叉的制造工艺和作用进行了计算和分析，并且对变速器换挡叉加工工艺进行优化设计，设计夹具并且进行优化设计。

本论文的主要工作内容是完成变速器换挡叉工艺规程的设计，完成一道夹具设计。然后运用 CATIA 完成三维装配图和零件图并用 AutoCAD 完成了二维工程图纸，这样可以保证零件加工工艺的质量并且零件在加工过程中更加经济、高效、简单。

关键字：换挡叉 工艺 夹具

Processing Technology and Fixture Design of Transmission Shift fork

Abstract

The transmission shift fork acts on the shift mechanism of the spindle box, mainly in order to transmit torque, so that the transmission has the ability to shift. Its advantage is that the speed of transmission directly changes, do not need to experience other processes, so that the speed change convenience, but the disadvantage is more complex.

This design involves the knowledge of mechanical manufacturing technology and machine tool fixture design, metal cutting manual, tolerance coordination and measurement. According to the relevant data and data, the paper calculates and analyzes the process and function of transmission shift fork with the knowledge of mechanical manufacturing technology and technology theory, and optimizes the shift fork processing technology and the optimal design of fixture.

The paper involves the design of process specification for shift fork of transmission, and completes the fixture structure design of one working procedure. Finally, through CATIA drawing 3d assembly drawing and part drawing and using AutoCAD to complete the two-dimensional engineering drawings which can be used in actual production, to ensure the quality of processing and more economical, efficient and simple.

Keyword: Shift fork; Process; fixture;

目 录

1 前言	1
1.1 设计的意义	1
1.2 设计的目的	1
1.3 设计任务和要求	2
2. 零件工艺分析	3
2.1 变速器换挡叉的作用	3
2.2 技术条件分析	3
3. 工艺规程的设计	5
3.1 确定毛坯的制作方法	5
3.2 锻件参数的确定	5
3.3 基准的选择	6
3.4 制定工艺路线	6
3.5 机械加工余量、工序尺寸及毛坯尺寸的确定	7
3.6 确定进给量、切削速度、刀具和量具	8
4. 夹具设计	22
4.1 问题的提出	22
4.2 夹紧装置设计	22
5. 总结	23
参考文献	24
致谢	25

1 前言

1.1 设计的意义

变速器换挡叉的功用是为了传递扭矩，拨动同步器齿环，来让各个档位的齿轮进行结合或分离，变速器换挡叉直接作用与倒档齿轮。变速器换挡叉是变速箱重要部件之一，通过手柄可以操纵换挡叉，作用于中间变速轮，使其转速改变，从而让输入输出转速比改变。实际上就是运用换挡叉来使内部的齿轮改变它们工作的位置，这样就可以实现变速。

机械制造，工艺为本——这就要求必须有正确的理论。机械制造工艺就是为揭示机械制造过程的物理本质与规律而产生的科学，概括而言，它是研究如何科学、最优的生产装备的技术科学，即研究在制造中优质、高产、低耗的生产机械装备的原理和方法。其中的工艺水平最终要体现在装备水平上，抓住机械制作工艺这个根本，才能发展和提高制造业水平。

夹具在机械制造领域中占有很大的地位，夹具在提高劳动生产率、改善工人劳动条件、降低生产成本都有巨大影响。然而现在，像换挡叉等不规则零件依然不能在流水线上自动加工。所以为了提高加工效率，保证加工质量，设计出高效的、通用的夹具是非常必要的。

1.2 设计的目的

毕业设计可以让学生综合运用机械制造工艺学，机械结构设计，金属切削知识等，结合金工实习能够独立的计算和解决工艺问题，可以完成中等复杂的工艺规程的能力。

(1) 培养学生根据零件要求，学会并完成夹具设计的原理和方案，完成夹具结构设计并具有高效、经济合理的通用夹具的能力。

(2) 培养学生熟悉运用相关手册、图表、规范等基本能力。

(3) 培养学生进一步熟练运用机械制图、结构设计、写文件的能力。

(4) 对于毕业走上工作岗位，从事相关的职业有很大的作用。

1.3 设计任务和要求

采用经验估计法和查表修正法，完成变速器换挡叉加工工艺的设计和夹具设计。

- (1) 对变速器换挡叉的输出轴的主要技术要求进行计算分析。
- (2) 制定生产 5000 件变速器换挡叉加工工艺规程，完成变速器换挡叉零件机械加工工序卡片的编制。
- (3) 绘制两套完整的装配工程图及夹具专用零件图或一套夹具完整的装配图及夹具三维装配图。
- (4) 完成计算设计说明书，包括加工工艺分析、工艺尺寸计算、定位误差计算、切削用量和工时定额计算，夹具精度分析。

2. 零件工艺分析

2.1 变速器换挡叉的作用

为了使变速器换挡，改变其转速，需要变速器换挡叉作用于换挡机构中，传递扭矩。变速器换挡叉的叉头孔装配在变速轴上，其脚装配在变换齿轮的槽中，操纵变速杆可以使变速器换挡叉在变速箱中运动，从而改变速度。变速器换挡叉形状特殊，但是比较简单，由于变速器换挡叉的表面承受一定的工作压力，因此，对于零件本身要求足够的强度及韧度。

2.2 技术条件分析

(1) 变速器换挡叉加工表面分为四类：

- 1) $\Phi 15H8$ 孔；
- 2) 以 $\Phi 15H8$ 孔作为基准面的顶端；
- 3) 以 $\Phi 15H8$ 孔为基准的其它几个平面以及槽；
- 4) 16×56 两侧面及变速器换挡叉叉口的前后两侧面；
- 5) $M10 \times 1-7H$ 螺纹。

配合面有 $\Phi 15H8$ 的孔和槽以及叉口的上下端面和叉口中间侧面。这几组面对于加工精度及粗糙度要求都是相对其他要加工的面来说是比较高的，应作为加工的重点。加工面之间的位置要求，主要是：变速器换挡叉叉口的两个侧面对 $\Phi 15H8$ 的垂直度公差距离是 0.15mm 。

(2) 换挡叉技术要求

$\Phi 15$ 的孔的上偏差为 $+0.043$ ，下偏差为 $+0.016$ ，它们的配合公差是 $H8$ ，变速器换挡叉孔的内表面粗糙度是 3.2 ，可先采用 $\Phi 14$ 的麻花钻进行预先的钻孔，再用铣刀完成扩孔，最后完成内孔的精铣。

孔的上表面的加工工艺要求比较低，因此直接用立铣刀加工即可。

以拨槽作为基准的叉口上下两面的粗糙度为 6.3 ，可以直接用立铣刀加工。

最后加工变速器换挡叉的螺纹孔，可以预先用麻花钻进行钻孔，然后在进行扩孔，最后用丝锥攻丝完成。

表 2-1 换挡叉技术要求

加工表面	尺寸及偏差 (mm)	公差及精度等级	表面粗糙度 Ra
叉脚两端面	$5.9_{-0.15}^0$	IT12	6.3
叉口两内侧面	$51_0^{+0.1}$	IT12	6.3
Φ15 内孔	$15_{+0.010}^{+0.043}$	IT8	6.3
M10 螺纹孔	M10×1	IT7	
叉口凸台两端面	$9.65_{-0.25}^0$	IT12	6.3
叉头平台外表面		IT13	6.3
叉头平台凸面		IT13	12.5
叉口下表面		IT13	12.5

(3) 变速器换挡叉的工艺性

从零件图中我们可以看出，变速器换挡叉的叉脚比较薄，因此需要用淬火来处理它，使它的硬度达到要求。孔和叉脚的垂直度有要求，为了保证这种要求，可以使叉脚的面积变大，这样可以防止加工过程中钻偏。变速器换挡叉其它要加工的面要求都是比较低的，通过铣床，钻床进行加工就可以达到要求。变速器换挡叉其他表面要求比较低，可以用比较经济的方法进行加工，可以从这当中看出这个零件易加工，工艺性比较好。

3. 工艺规程的设计

3.1 确定毛坯的制作方法

变速器换挡叉的材料是 35 钢，在应用中要承受冲击载荷，换挡叉在正常工作时要求比较高，所以毛坯选用锻件。这样选择的原因是可以使金属纤维保持完好，没有损坏。加工面的尺寸要求较高，由于需要批量生产，并且为了节约材料，降低成本，因此选取模锻毛坯成型。

3.2 锻件参数的确定

(1) 公差等级：

由换挡叉的功用和技术要求，模锻成型，变速器换挡叉材料中按中碳钢，它的公差等级是为普通级。

(2) 锻件质量：

该换挡叉加工后质量为 3.5kg，机械加工前毛坯的质量为 4kg

(3) 锻件形状复杂系数：

对零件图进行分析计算，大致确定锻件的长度、高度和宽度，

$l = 136\text{mm}, b = 76\text{mm}, h = 72\text{mm}$ ， $p = 7.8 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$ 由文献【2】公式 2-3 计算形状复杂系数

$$s = \frac{m_t}{m_n} = \frac{3.5}{136 \times 76 \times 72 \times 7.8 \times 10^{-6}} = \frac{3.5}{5.8} = 0.6$$

因为 0.6 介于 0.32 和 0.63 之间，所以换挡叉的复杂系数属于 S_2 级，锻件复杂的系数属于一般。

(4) 锻件材质系数

因为变速器材料是 35 钢，锻件材质系数属 M_1 级。

(5) 零件表面粗糙度

变速器换挡叉每一个加工表面的表面粗糙度都是大于或者等于 $3.2 \mu\text{m}$ ，即

$Ra \geq 3.2 \mu\text{m}$ 。

3.3 基准的选择

(1) 精基准的选择

按照变速器换挡叉零件的技术要求和装置要求，选择换挡叉的设计基准为叉头左端面，叉轴孔和叉脚内表面作为精基准，又依照了“基准统一”原则。变速器换挡叉轴孔的轴线是它的设计基准，采取这个基准作为精基准来加工变速器换挡叉叉脚两端面级锁削孔，这样做的话会有利并且保证加工轴孔和叉脚的垂直度；除此之外由于换挡叉刚性差，在加工过程中会产生影响，所以为了避免这种影响，采取换挡叉的左端面作为加工过程中定位的精基准，这样夹紧就可选择那些表面平整的并且没有毛刺的面作为粗基准，在这次设计中，采用变速器换挡叉的内孔作为这次加工过程中的粗基准，这种选择也符合粗基准的选择标准。

(2) 粗基准的选择

粗基准的选择原则:应选能加工出精基准的毛坯表面做精基准。当必须保证加工表面与不加工表面尺寸时，应选不加工表面作为粗基准。要保证某重要表面余量均匀时，则应该选择该表面为定位粗基准。当全部表面都需要加工时，应选用余量最小的表面作为基准，以保证足够的加工余量。在铣床加工换挡叉时，以内孔作为粗基准，满足粗基准的选择原则。

3.4 制定工艺路线

机械加工工序:

①遵循“先基准后其他”原则，首先加工出精基准。

②遵循“先粗后精”原则，对各表面都是先安排粗加工工序，后安排精加工工序。

③遵循“先主后次”原则，先加工主要表面，后加工次要表面。

因此确定的加工路线方案如下:

工序 I 钻并扩铰 $\Phi 15\text{mm}$ 孔。

工序 II 粗铣变速器换挡叉叉口 19×5.9 的两个内侧面。

工序 III 粗铣 16×56 两侧面。

工序 IV 粗铣换挡叉叉口前后的两侧面。

工序 V 粗铣 13 槽及 16.5×42.9 面及 16.5×14.5 面及 11×9.65 面。

工序VI 精铣换挡叉叉口两内侧面。

工序VII 精铣 16×56 两侧面。

工序VIII 精铣变速器换挡叉叉口所在位置的前后对应的两侧面。

工序IX 精铣 16.5×42.9 面。

工序X 钻螺纹底 M10mm 及攻 M10×1-7H 螺纹。

工序XI 倒角并检查。

3.5 机械加工余量、工序和毛坯尺寸的确定

根据上面内容的分析，各种尺寸的计算如下。

尺寸如下：

(1) $\Phi 15H8$ 内孔

毛坯为实心，不冲出孔。变速器换挡叉上部内孔要求是 IT8，根据文献[1]表 2.3-8 得到变速器换挡叉内孔机械加工工艺余量。

分配：

钻孔： $\Phi 14\text{mm}$

扩钻： $\Phi 14.75\text{mm}$ $2Z=0.75\text{mm}$

铰： $\Phi 15_{+0.010}^{+0.043}$ $2Z=0.25\text{mm}$

(2) 叉口两内侧面及 R105mm 的叉部端面。

将叉口两内侧面当作内孔的要求来计算其加工余量，即 $51_{0}^{+0.1}$ 的孔。为了使毛坯更加的简单化，变速器换挡叉叉口尺寸为 46.5，叉口的表面粗糙度为 $R_z=6.3\mu\text{m}$ ，为变速器换挡叉叉口进行精铣，粗铣单边余量为 $z=2.0\text{mm}$ ，精铣单边余量为 $z=0.25\text{mm}$ 。R105mm 的叉部端面，粗铣时 $z=2.0\text{mm}$ ，精铣时 $z=0.2\text{mm}$ 。

(3) 16×56 两侧面

因为在铣面时，两个面一起铣，在计算时把它当作双边余量来计算。现毛坯长度直接取 11mm。表面粗糙度为 $6.3\mu\text{m}$ ，需要精铣，此时粗铣单边余量 $z=2.0-0.2=1.8\text{mm}$ ，精铣时单边余量 $z=0.2$ 。

(4) 叉口前后两侧面

该端面的表面粗糙度为 $R_z=6.3\mu\text{m}$ ，所以先粗铣再精铣。查文献[4]中的表 4-1 得锻件尺寸公差等级 CT 分为 7-9 级，选用 8 级。此时粗铣单边余量为

$z=2.0\text{mm}$ ，精铣时单边余量 $z=0.2$ 。

(5) 14.2 槽、16.5×42.9 面、16.5×14.5 面及 11×9.65 面

同上所述，这些面的表面粗糙度都是 12.5 μm ，粗铣。此时粗铣单边余量 $Z=2\text{mm}$ 。

3.6 确定进给量、切削速度、刀具和量具

工序 I：钻孔、扩孔和铰 $\Phi 15\text{H}8$ 的内孔，采用经验法来确定。

加工条件

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b=0.55\text{GPa}$ 、模锻。

加工要求：钻、扩及铰 $\Phi 15\text{H}8$ 的孔， $R_z=3.2\mu\text{m}$ 。

刀具：查阅文献[5]，根据表 2-125，选择麻花钻 $\Phi 14\text{mm}$ 、扩孔钻 $\Phi 14.75\text{mm}$ 、铰刀。

计算切削用量

(1) 钻 14mm 孔

1) 进给量 f : 根据文献[7]表 2.7，当钢的 $\sigma_b < 800\text{MPa}$ ， $d_0 = \Phi 14\text{mm}$ 时， $f=0.25\sim 0.31\text{mm/r}$ ，由于本零件在加工 $\Phi 15\text{mm}$ 孔时，是刚度比较低的拨叉，所以应乘安全系数 0.75，那么：

$$f = (0.25\sim 0.31) \times 0.75 = 0.19\sim 0.23\text{mm/r}$$

根据机床说明书，现取 $f=0.20\text{mm/r}$

2) 切削速度：根据文献[7]表 2.13 及表 2.14，查得切削速度

$$V=18\text{m/min}$$

3) 主轴转速：

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 18}{\pi \times 14} = 409.5\text{r/min}$$

根据机床说明书（见文献[1]表 4.2-2），与 409.5 r/min 相近的机床转速为

$$420\text{r/min}，\text{故}$$

实际切削速度为：

$$V = \frac{\pi d_w \cdot n_w}{1000} = \frac{\pi \times 14 \times 420}{1000} = 18.46\text{m/min}$$

4) 切削工时: 按文献[1]表 6.2-5

$$l=43\text{ mm}, l_1=9\text{ mm}, l_2=3\text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{n_w f} = \frac{43+9+3}{420 \times 0.2} = 0.65\text{ min}$$

(2) 扩 $\Phi 14.75\text{mm}$ 孔

1) 进给量 f : 根据文献[7]表 2.10, 当钢的 $\sigma_b < 800\text{MPa}$, $d_0=15\text{ mm}$ 时,

$f=0.6\sim 0.9\text{ mm/r}$, 同上所述, 则进给量:

$$f=(0.6\sim 0.9) \times 0.75=0.45\sim 0.675\text{ mm/r}$$

按照机床说明书, 取 $f=0.56\text{ mm/r}$

2) 切削速度: 根据文献[1]表 28-2 确定

$$V=0.4V_{\text{钻}}$$

$V_{\text{钻}}$ 是钻实心孔时的切削速度。

$$v=0.4 \times 18.84=7.54\text{ m/min}$$

3) 主轴转速:

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 7.54}{\pi \times 14.75} = 162.8\text{ r/min}$$

根据机床说明书, 选取 $n_w=170\text{ r/min}$

4) 机动工时:

$$l=43\text{ mm}, l_1=3\text{ mm}, l_2=3\text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{l+l_1+l_2}{n_w f} = \frac{43+3+3}{170 \times 0.56} = 0.51\text{ min}$$

(3) 精铰 $\Phi 15\text{mm}$ 孔

1) 进给量 f :

根据文献[1]表 2.10。铰孔的时候的数据为钻孔时的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$

$$f = \frac{1}{3} f_z = \frac{1}{3} \times 0.2 = 0.07 \text{ mm/r}$$

$$v = \frac{1}{3} v_z = \frac{1}{3} \times 18.46 = 6.15 \text{ m/min}$$

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 6.15}{3.14 \times 15} = 130.6 \text{ r/min}$$

2) 切削速度:

查阅文献[1]表 4.2-2, 选取 $n_w = 132 \text{ r/min}$

所以实际切削速度为:

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 15 \times 132}{1000} = 6.2 \text{ m/min}$$

3) 切削工时

$$l = 43 \text{ mm}, l_1 = 3 \text{ mm}, l_2 = 4 \text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{l + l_1 + l_2}{n_w f} = \frac{43 + 3 + 4}{132 \times 0.07} = 5.41 \text{ min}$$

工序 II: 粗铣变速器换挡叉叉口两内侧面, $50.5_{0}^{+0.1} \text{ mm}$ 为应保证的尺寸。

工件材料: 35 钢正火, $\sigma_b = 0.55 \text{ GPa}$ 、模锻。

加工要求: 粗铣叉口两内侧面, $R_z = 6.3 \mu\text{m}$ 。

进给量: 根据文献[1]表 3.1-29 查得, 粗铣采用硬质合金立铣刀, 齿数 $z=5$, $d=40$ 。由文献[6]表 5-5 得硬质合金立铣刀每齿进给量 f 为 $0.15 \sim 0.30$, 由手册得 f 取 0.15 mm/r 。

铣削速度: 根据文献[6]表 5-6 可以看出硬质合金立铣刀的切削速度为 $45 \sim 90 \text{ m/min}$, 根据金属切削手册取用 $V=60$

主轴转速:

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 60}{3.14 \times 40} = 477.7 \text{ r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39, 采用 $n_w = 560 \text{ r/min}$:

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 560}{1000} = 70.3 \text{ m/min}$$

切削工时:

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 50 \text{ mm}$$

当 $n_w = 560 \text{ r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量：

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.15 \times 5 \times 560 = 420 \text{ mm/min.}$$

根据文献[1]表 4.2-40，取

$$f_m = 500 \text{ mm/min}$$

故有：

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{50}{500} = 0.1 \text{ min}$$

工序III 粗铣 16×56 两侧面；保证尺寸 $10.05_{-0.25}^0$ ；

铣刀： $d_w = 40 \text{ mm}$ ，齿数 $z = 18$ ， $\beta = 15^\circ$ 。

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b = 0.55 \text{ GPa}$ 、模锻。

加工要求：粗铣 16×56 两侧面， $R_z = 6.3 \mu\text{m}$ 。

进给量：根据文献[7]表 3.3 得： $f_z = 0.08 \text{ mm/r}$

切削速度：根据有关手册，确定 $v = 0.35 \text{ m/s}$ ，即 21 m/min 。

主轴转速：高速钢镶齿三面刃铣刀，则

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 21}{3.14 \times 40} = 167 \text{ r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，得到 $n_w = 200$ ，

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 200}{1000} = 25.12 \text{ m/min}$$

当 $n_w = 200 \text{ r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 200 = 288 \text{ mm/min}$$

$f_m = 250 \text{ mm/min}$ 与该值接近，用 250 mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 70 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{70}{250} = 0.28\text{min}$$

工序IV 粗铣叉口前后两侧面及 R105mm 的叉部端面，保证尺寸 $6.3_{-0.19}^0$ 。

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b = 0.55\text{GPa}$ 、模锻。

(1) 粗铣变速器换挡叉叉口前后两侧面

铣刀： $d_w = 225\text{mm}$ ，齿数 $z = 20$ ， $\beta = 15^\circ$ 。

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z = 0.08\text{mm/r}$

切削速度：参考有关手册，确定 $v = 0.45\text{m/s}$ ，即 27m/min 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 27}{3.14 \times 225} = 38\text{r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39。 $n_w = 50\text{r/min}$ ，

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 225 \times 50}{1000} = 35.3\text{m/min}$$

当 $n_w = 50\text{r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 20 \times 50 = 80\text{mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，采用 90mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 55\text{mm}$$

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{55}{90} = 0.62\text{min}$$

(2) 粗铣 R105mm 的叉部端面

铣刀： $d_w = 225\text{mm}$ ，齿数 $z = 20$ 。

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z = 0.08\text{mm/r}$ 。

切削速度：参考有关手册，确定 $v = 0.45\text{m/s}$ ，即 27m/min 。

采用高速钢镶齿三面刃铣刀，则

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 27}{3.14 \times 225} = 38\text{r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39, 取 $n_w=50\text{r}/\text{min}$,

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 225 \times 50}{1000} = 35.3\text{m}/\text{min}$$

当 $n_w=50\text{r}/\text{min}$ 时, 工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 20 \times 50 = 80\text{mm}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-40, 采用 $90\text{mm}/\text{min}$ 。

切削工时:

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{76 \times 2}{90} = 1.68\text{min}$$

工序 V 粗铣 14.2 槽及 16.5×42.9 面及 16.5×14.5 面及 11×9.65 面

工件材料: 35 钢正火, $\sigma_b=0.55\text{GPa}$ 、模锻。

加工要求: 粗铣 14.2 槽及 16.5×42.9 面及 16.5×14.5 面及 11×9.65 面,

$R_z=6.3\mu\text{m}$ 。

(1)粗铣 14.2 槽

进给量: 根据机床说明书取 $f_z=0.08\text{mm}/\text{r}$

切削速度: 根据手册, 确定 $v=0.45\text{m}/\text{s}$, 采用粗齿锥柄立铣刀, $d_w=14\text{mm}$

莫氏锥度号数 2, 齿数 $Z=3$ 则

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 27}{3.14 \times 14} = 614\text{r}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-39, 采用 $n_w=560\text{r}/\text{min}$:

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 14 \times 560}{1000} = 24.62\text{m}/\text{min}$$

当 $n_w=560\text{r}/\text{min}$ 时, 工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 3 \times 560 = 134.4\text{mm}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-40, 采用 $150\text{mm}/\text{min}$ 。

切削工时:

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{21.65}{150} = 0.144\text{min}$$

(2) 铣 16.5×42.9 面

铣刀： $d_w=40\text{mm}$ ，齿数 $z=18$ 。则

进给量：查阅文献[7]表 3.3 得 $f_z=0.08\text{mm}/r$ 。

切削速度：参考有关手册，确定 $v=0.35\text{m/s}$ ，即 $21\text{m}/\text{min}$ 。

采用高速钢镶齿三面刃铣刀，

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 21}{3.14 \times 40} = 167\text{r}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，采用 $n_w=140\text{r}/\text{min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 140}{1000} = 17.6\text{m}/\text{min}$$

当 $n_w=140\text{r}/\text{min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 140 = 201.6\text{mm}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，选取 $180\text{mm}/\text{min}$ 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 55\text{mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{55}{150} = 0.37\text{min}$$

(3) 粗铣 16.5×14.5 面

铣刀：， $d_w=40\text{mm}$ ，齿数 $z=18$ 。则

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z=0.08\text{mm}/r$ 。

切削速度：根据有关手册，确定 $v=0.25\text{m/s}$ ，即 $15\text{m}/\text{min}$ 。

采用高速钢镶齿三面刃铣刀：

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 15}{3.14 \times 40} = 120\text{r}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，取 $n_w=140\text{r}/\text{min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 140}{1000} = 17.6\text{m}/\text{min}$$

当 $n_w=140\text{r}/\text{min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 140 = 201.6 \text{ mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40, 选取 180 mm/min 。

切削工时:

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 46 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{46}{180} = 0.26 \text{ min}$$

(2) 粗铣 11×9.65 面

铣刀: $d_w = 40 \text{ mm}$, 齿数 $z = 18$ 。则

进给量: 根据文献[7]表 3.3 得 $f_z = 0.08 \text{ mm/r}$ 。

切削速度: 参考有关手册, 确定 $v = 0.35 \text{ m/s}$, 即 21 m/min 。

采用高速钢镶齿三面刃铣刀:

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 21}{3.14 \times 40} = 167 \text{ r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39, 取 $n_w = 140 \text{ r/min}$:

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 140}{1000} = 17.6 \text{ m/min}$$

当 $n_w = 140 \text{ r/min}$ 时, 工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 140 = 201.6 \text{ mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40, 选取 180 mm/min 。

切削工时:

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 40 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{40}{180} = 0.22 \text{ min}$$

工序VI 精铣叉口两内侧面

工件材料: 35 钢正火, $\sigma_b = 0.55 \text{ GPa}$ 、模锻。

进给量: 根据文献[7]表 3.3 得 $f_z = 0.08 \text{ mm/r}$

铣刀同上: $d_w = 40 \text{ mm}$, 齿数 $z = 18$ 。则

切削速度：根据有关手册，确定 $v=0.8\text{m/s}$ ，即 48m/min 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 48}{3.14 \times 40} = 382.2\text{r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，取 $n_w=400\text{r/min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 400}{1000} = 50.2\text{m/min}$$

当 $n_w=400\text{r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 400 = 576\text{mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，选取 500mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 50\text{mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{50}{500} = 0.1\text{min}$$

工序VII 精铣 16×56 两侧面

铣刀同上： $d_w=40\text{mm}$ ，齿数 $z=18$ 。

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z=0.08\text{mm/r}$ 。

切削速度：参考有关手册，确定 $v=0.25\text{m/s}$ ，即 15m/min 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 15}{3.14 \times 40} = 119\text{r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，采用 $n_w=140\text{r/min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 140}{1000} = 17.6\text{m/min}$$

当 $n_w=140\text{r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 140 = 201.6\text{mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，选取 180mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 70\text{mm}$$

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{70}{180} = 0.39\text{min}$$

工序VIII 精铣叉口前后面侧面及 R105mm 的叉口端面，保证尺寸 $5.9_{-0.19}^0$

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b=0.55GPa$ 、模锻。

(1) 精铣变速器换挡叉叉口的前后两个侧面

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z=0.08\text{mm}/r$

铣刀同上： $d_w=100\text{mm}$ ，齿数 $z=12$ ， $\beta=8^\circ$ 。

切削速度：参考有关手册，确定 $v=0.8\text{m}/s$ ，即 $48\text{m}/\text{min}$ 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 48}{3.14 \times 100} = 152.9\text{r}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-39，选用 $n_w=200\text{r}/\text{min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 100 \times 200}{1000} = 62.8\text{m}/\text{min}$$

当 $n_w=200\text{r}/\text{min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为：

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 12 \times 200 = 192\text{mm}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，选取 $180\text{mm}/\text{min}$ 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 55\text{mm}$$

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{f_m} = \frac{55}{180} = 0.31\text{min}$$

(2) 精铣 R105mm 的叉部端面

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z=0.08\text{mm}/r$ 。

铣刀同上： $d_w=100\text{mm}$ ，齿数 $z=12$ 。

切削速度：参考有关手册，确定 $v=0.45\text{m}/s$ ，即 $27\text{m}/\text{min}$ 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 27}{3.14 \times 100} = 86\text{r}/\text{min}$$

根据文献[1]表 4.2-39， $n_w=100\text{r}/\text{min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 100 \times 100}{1000} = 31.4 \text{ m/min}$$

当 $n_w = 50 \text{ r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 12 \times 100 = 96 \text{ mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，采用 90 mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 152 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{76 \times 2}{90} = 1.69 \text{ min}$$

工序 IX 精铣 16.5×42.9 面

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b = 0.55 \text{ GPa}$ 、模锻。

加工要求：精铣 16.5×42.9 面， $R_z = 6.3 \mu\text{m}$ 。

铣刀同上： $d_w = 40 \text{ mm}$ ，齿数 $z = 18$ ， $\beta = 8^\circ$

进给量：根据文献[7]表 3.3 得 $f_z = 0.08 \text{ mm/r}$

切削速度：参考有关手册，确定 $v = 0.25 \text{ m/s}$ ，即 15 m/min 。

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 15}{3.14 \times 40} = 119.4 \text{ r/min}$$

根据文献[1]表 4.2-39， $n_w = 140 \text{ r/min}$ ：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 40 \times 140}{1000} = 17.6 \text{ m/min}$$

当 $n_w = 140 \text{ r/min}$ 时，工作台的每分钟进给量 f_m 为

$$f_m = f_z \times z \times n_w = 0.08 \times 18 \times 140 = 201.6 \text{ mm/min}$$

根据文献[1]表 4.2-40，选取 180 mm/min 。

切削工时：

$$\text{行程} = l + l_1 + l_2 = 55 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{55}{180} = 0.31 \text{ min}$$

工序 X 钻螺纹底孔 M10mm 及攻 M10×1-7H 螺纹孔

工件材料：35 钢正火， $\sigma_b=0.55GPa$ 、模锻。

加工要求：钻螺纹底孔 M10mm 及攻 M10×1-7H 螺纹孔， $R_z=6.3um$ 。

(1) 钻螺纹底孔 M10mm

进给量：根据文献[7]表 2-7 得 $f=0.1mm/r$

切削速度：根据文献[7]表 2-13，2-14 确定切削速度 $v=10m/min$

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 9.2} = 346r/min$$

取 $n_w=392r/min$ ，实际切削速度为：

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 9.2 \times 392}{1000} = 11.32m/min$$

切削工时：

$$t_m = \frac{l+l_1+l_2}{n_w f} = \frac{4+2+1}{392 \times 0.1} = 0.18min$$

(2) 扩螺纹底孔 M10

1) 进给量 f : 根据文献[7]表 2-7 得 $f=0.1mm/r$

2) 切削速度：

$$V=0.4V_{\text{钻}}$$

$$v=0.4 \times 18.84=7.54m/min$$

5) 主轴转速：

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 7.54}{\pi \times 10} = 240mm/r$$

根据机床说明书，选取

$$n_w=272r/min$$

6) 机动工时：

$$t_1 = \frac{l+l_1+l_2}{n_w f} = \frac{4+2+1}{272 \times 0.1} = 0.26min$$

(3) 攻螺纹 M10×1-7H 螺纹

进给量：根据文献[7]表 2-7 得 $f = 0.1\text{mm}/r$

切削速度：根据文献[7]表 2-13, 2-14 确定切削速度 $v=10\text{m}/\text{min}$

$$n_s = \frac{1000v}{\pi d_w} = \frac{1000 \times 10}{3.14 \times 10} = 318.5 r / \text{min}$$

取 $n_w = 392 r / \text{min}$, 实际切削速度:

$$v = \frac{\pi d_w n_w}{1000} = \frac{3.14 \times 10 \times 392}{1000} = 12.2 m / \text{min}$$

切削工时:

$$t_m = \frac{l + l_1 + \Delta}{P} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n_1} \right)$$

l ——工件螺纹长度 (mm)
 l_1 ——丝锥切削锥长度(mm)
 Δ ——攻螺纹时超切量, 取 (2~3) P
 n ——攻螺纹时的转速(r / min)
 n_1 ——丝锥退出时的转速(r / min)
 P ——工件螺纹螺距(mm)

$$t_m = \frac{3.5 + 24 + 2 \times 0.75}{0.75} \times \left(\frac{1}{392} + \frac{1}{392} \right) = 0.20 \text{ min}$$

工序XI 倒角并检查

倒角的地方一共有三个地方, 叉口的倒角是 $0.5 \times 45^\circ$, 变速器换挡叉上部槽口的倒角是 $0.5 \times 45^\circ$, 变速器换挡叉内孔的内倒角是 $0.4 \times 45^\circ$.

采用 90° 铰钻加工这几个倒角。可以选取主轴转速 $n=500 r / \text{min}$ 手动进给。

4. 夹具设计

夹具对于机械加工来说是有重要的作用的，机械加工离不开夹具，从整体上来说主要有以下方面。

- (1) 在加工过程中减少了加工时间。
- (2) 可以保证工件的加工精度并且有很高的加工质量。
- (3) 对于工人来说，降低了对他们的加工技术要求，使工作更加简单化，减轻了工人的劳动强度，使其工作更加轻松，并且保证工件的安全生产。
- (4) 降低了工业的成本。
- (5) 在生产中可以保持生产节奏。
- (6) 提高了劳动生产率。

4.1 问题的提出

在本次设计中，由于其作用是粗铣换挡叉 $16.5\text{mm} \times 42.9\text{mm}$ 的两个侧面，这是它主要需要考虑的方向。两个侧面对于 $\Phi 15\text{mm}$ 的孔有一定的位置精度要求。所以在本次设计中，着重点是应该考虑怎么样去提高劳动生产率，在生产过程中尽可能的降低生产的成本，对于加工精度来说，不是主要关注问题。

4.2 夹紧装置设计

(1) 定位基准的选择

从零件图中可以看出，变速器换挡叉的叉口两端面对 $\Phi 15\text{mm}$ 的孔有位置要求，所以选取同一个定位基准面来进行加工。综合以上及其他因素考虑，最终选择 $\Phi 15\text{mm}$ 的孔作为本次机械加工工序中主要用来定位的定位基准。对于辅助基准，本道工序中选择变速器换挡叉叉口两内侧面。

(2) 定位分析

变速器换挡叉在定位轴上，挡板上，支撑钉上实现了完全定位。定位轴在本次加工工序中限制了变速器换挡叉在 Y 轴上的移动自由度和 Z 轴上的移动自由度及转动自由度。支撑钉限制了变速器换挡叉在 Y 轴上的转动自由度，挡板

限制了工件在 X 轴上的移动自由度，螺钉限制了工件在 X 轴上的转动自由度，又由于是两个面同时加工，所以形成了完全定位。

(3) 切削力和夹紧力计算

铣刀同上：Φ40mm, z=18

根据文献【7】表 3.28 得到

$$F = C_F a_p^{x_F} f_z^y a_e^{u_F} z / d_0^{q_F} Mn^{w_F}$$

其中

$$c_F = 40 \text{ mm}, a_p = 3.1 \text{ mm}, x_F = 1.0, f_z = 0.08 \text{ mm}, y_F = 0.72, a_e = 20 \text{ mm},$$

$$u_F = 0.86 \text{ mm}, d_0 = 40 \text{ mm}, q_F = 0.86 \text{ mm}, w_F = 0, z = 18$$

$$\text{所以 } F = 650 \times 3.1 \times 0.08^{0.72} \times 20^{0.86} \times 18 / 40^{0.86} = 3242 \text{ N}$$

当用两把刀同时铣削时， $F_{\text{实}} = 2F = 6484 \text{ N}$

水平的分力： $F_H = 1.1F_{\text{实}} = 7132.4 \text{ N}$

垂直的分力： $F_V = 0.3F_{\text{实}} = 1945.2 \text{ N}$

在计算切削力时，安全系数 $K = K_1 K_2 K_3 K_4$

其中具体信息如下：

K_1 为基本安全系数 1.5，

K_2 为加工性质系数 1.1，

K_3 为刀具钝化系数 1.1，

K_4 为断续切削系数 1.1。

$$\text{所以 } F' = KF_H = 1.5 \times 1.1 \times 1.1 \times 1.1 \times 7132.4 \text{ N} = 15664 \text{ N}$$

(4) 定位误差的分析

夹具的主要的定位元件是定位轴，所以误差也主要是定位轴和工件的孔之间的装配误差，即轴和孔之间的配合误差。孔的尺寸为 Φ15H8，做选择的配合轴的尺寸为 Φ15h7。

所以定位误差为 $b_{\text{max}} = 0.043 - 0 = 0.043 \text{ mm}$ ，而孔的公差为 8 级，即最大间隙能

满足零件的精度要求。

5. 总结

通过本次毕业设计，让我深刻的认识到：作为一名机械工程师，我们必须所拥有的是严谨的态度，这样才能做到安全、经济。尽可能的节约材料，能够最有效率的进行生产，这是我们所应该做到的。对于工艺来说，我们应该多学习，多掌握一些知识，这么才可以在以后的工作中更加出色的完成任务。

相互学习，注重交流。我在本次毕业设计中所学到的重要内容。在设计过程中。同学，老师对于我的帮助都很大，在我们遇到难题时，我们都会进行讨论，交流，争取得到统一的意见，这样可以避免很多错误。

本次毕业设计最主要的工作内容是变速器换挡叉设计的计算，工艺规程卡片的制作和工艺工序卡片的制作。其次还有一道工序夹具的设计，需要做的就是完成三维，二维的夹具体的绘制。

在本次毕业设计中主要是要运用 CAD 和 CATIA，在原有的变速器换挡叉工艺的基础上，对它进行改进，降低变速器换挡叉的生产成本，提高产品的经济性。

参考文献

- [1]李益民. 机械制造工艺设计简明手册[M]. 机械工业出版社, 1994.
- [2]邹青. 机械制造技术基础课程设计指导教程[M]. 机械工业出版社 2004.
- [3]张世昌, 李旦, 高航. 机械制造技术基础[M]. 高等教育出版社, 2007.
- [4]孙本绪, 熊万武. 机械加工余量手册[M]. 国防工业出版社, 1999.
- [5]陈心昭, 蔡兰. 机械加工工艺装备设计手册[M]. 机械工业出版社, 1998.
- [6]艾兴, 肖诗纲. 切削用量简明手册[M]. 机械工业出版社, 2005.
- [7]于骏一, 邹青. 机械制造技术基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [8]杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [9]吴宗泽. 机械设计实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [10]李天远. 简明机械工程师手册[M]. 上册. 云南科技出版社, 1988.
- [11]刘守勇. 机械制造工业与机床夹具[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [12] 牛文志. 机床夹具设计的几点注意事项[J]. 金属加工, 2010.
- [13]宋春霞. 浅谈机械的设计与制造[J]. 中国电子商务, 2010.
- [14]陈宏钧. 机械加工工艺设计员手册. 机械工业出版社. 2009.
- [15]吴拓. 机械制作工艺与机床夹具课程设计指导. 机械工业出版社. 2006.
- [16]Thmas D. Gillespie. Fundamentals of Vehicle Dynamics[J]. SAE No. R-114 (ISBN 1-56091-19-9/92).