

第一章 汽车变速箱加工工艺规程设计

1.1 零件的分析

1.1.1 零件的作用

题目给出的零件是汽车变速箱箱体。变速箱箱体的主要作用是支承各传动轴，保证各轴之间的中心距及平行度，并保证变速箱部件与发动机正确安装。因此汽车变速箱箱体零件的加工质量，不但直接影响汽车变速箱的装配精度和运动精度，而且还会影晌汽车的工作精度、使用性能和寿命。汽车变速箱主要是实现汽车的变速，改变汽车的运动速度。汽车变速箱箱体零件的顶面用以安装变速箱盖，前、后端面支承孔 $\phi 120\text{mm}$ 、 $\phi 80\text{mm}$ 用以安装传动轴，实现其变速功能。

1.1.2 零件的工艺分析

由汽车变速箱箱体零件图可知。汽车变速箱箱体是一个簿壁壳体零件，它的外表面上有五个平面需要进行加工。支承孔系在前、后端面上。此外各表面上还需加工一系列螺纹孔。因此可将其分为三组加工表面。它们相互间有一定的位置要求。现分析如下：

(1)、以顶面为主要加工表面的加工面。这一组加工表面包括：顶面的铣削加工； $8 \times M10-6H$ 的螺孔加工； $2 \times \phi 12^{+0.027}\text{mm}$ 的工艺孔加工。其中顶面有表面粗糙度要求为 $Ra6.3\mu\text{m}$ ，8 个螺孔均有位置度要求为 $\phi 0.3\text{mm}$ ，2 个工艺孔也有位置度要求为 $\phi 0.1\text{mm}$ 。

(2)、以 $\phi 120^{+0.03}\text{mm}$ 、 $\phi 80^{+0.013}\text{mm}$ 、 $\phi 100^{+0.035}\text{mm}$ 的支承孔为主要加工表面的加工面。这一组加工表面包括：2 个 $\phi 120^{+0.03}\text{mm}$ 、2 个 $\phi 80^{+0.013}\text{mm}$ 和 1 个 $\phi 100^{+0.035}\text{mm}$ 的孔；尺寸为 $365 \pm 0.025\text{mm}$ 的与 $2 \times \phi 120^{+0.03}\text{mm}$ 、 $2 \times \phi 80^{+0.013}\text{mm}$ 的 4 个孔轴线相垂直的前、后端面；前、后端面上的 3 个 $M14-6H$ 、16 个 $M10-6H$ 的螺孔，以及 4 个 $\phi 15\text{mm}$ 、2 个 $\phi 8\text{mm}$ 的孔；还有另外两个在同一中心线上与两端面相垂直的 $\phi 30^{+0.020}_{-0.015}\text{mm}$ 的倒车齿轮轴孔及其内端面和两个 $M10-6H$ 的螺孔。其中前、后端面有表面粗糙度要求为 $Ra6.3\mu\text{m}$ ，3 个 $M14-6H$ 、16 个 $M10-6H$ 的螺孔，4 个 $\phi 15\text{mm}$ 、2 个 $\phi 8\text{mm}$ 的孔均有位置度要求为 $\phi 0.3\text{mm}$ ，两倒车齿轮轴孔

内端面有尺寸要求为 $90_0^{+0.46} mm$ 及表面粗糙度要求为 $Ra3.2\mu m$ 。

(3)、以两侧窗口面为主要加工平面的加工面。这一组加工表面包括：尺寸为 $160_0^{+0.46} mm$ 和 $104_0^{+0.46} mm$ 的两侧窗口面；与两侧窗口面相垂直的 12 个 $M10-6H$ 的螺孔；与两侧面成 60° 角的尺寸为 1" 的锥管螺纹孔（加油孔）。其中两侧窗口面有表面粗糙度要求为 $Ra6.3\mu m$ ，12 个螺孔均有位置度要求为 $\phi 0.3mm$ 。

1.2 变速箱箱体加工的主要问题和工艺过程设计所应采取的相应措施

由以上分析可知。该箱体零件的主要加工表面是平面及孔系。一般来说，保证平面的加工精度要比保证孔系的加工精度容易。因此，对于变速箱箱体来说，加工过程中的主要问题是保证孔的尺寸精度及位置精度，处理好孔和平面之间的相互关系。

由于汽车变速箱的生产量很大。怎样满足生产率要求也是变速箱加工过程中的主要考虑因素。

1.2.1 孔和平面的加工顺序

箱体类零件的加工应遵循先面后孔的原则：即先加工箱体上的基准平面，以基准平面定位加工其他平面。然后再加工孔系。变速箱箱体的加工自然应遵循这个原则。这是因为平面的面积大，用平面定位可以确保定位可靠夹紧牢固，因而容易保证孔的加工精度。其次，先加工平面可以先切去铸件表面的凹凸不平。为提高孔的加工精度创造条件，便于对刀及调整，也有利于保护刀具。

变速箱箱体零件的加工工艺应遵循粗精加工分开的原则，将孔与平面的加工明确划分成粗加工和精加工阶段以保证孔系加工精度。

1.2.2 孔系加工方案选择

变速箱箱体孔系加工方案，应选择能够满足孔系加工精度要求的加工方法及设备。除了从加工精度和加工效率两方面考虑以外，也要适当考虑经济因素。在满足精度要求及生产率的条件下，应选择价格最低的机床。

根据汽车变速箱箱体零件图所示的变速箱箱体的精度要求和生产率要求，当前应选用在组合机床上用镗模法镗孔较为适宜。

(1)、用镗模法镗孔

在大批量生产中，汽车变速箱箱体孔系加工一般都在组合镗床上采用镗模法

进行加工。镗模夹具是按照工件孔系的加工要求设计制造的。当镗刀杆通过镗套的引导进行镗孔时，镗模的精度就直接保证了关键孔系的精度。

采用镗模可以大大地提高工艺系统的刚度和抗振性。因此，可以用几把刀同时加工。所以生产效率很高。但镗模结构复杂、制造难度大、成本较高，且由于镗模的制造和装配误差、镗模在机床上的安装误差、镗杆和镗套的磨损等原因。用镗模加工孔系所能获得的加工精度也受到一定限制。

（2）、用坐标法镗孔

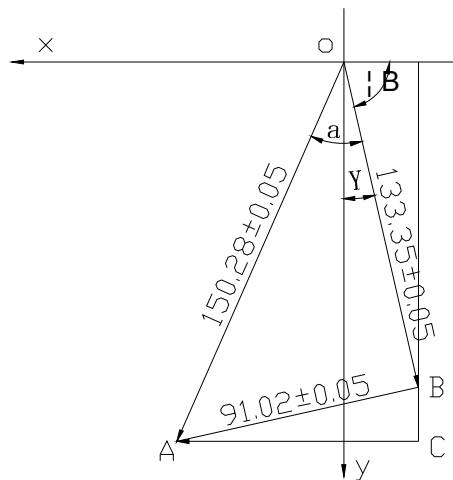
在现代生产中，不仅要求产品的生产率高，而且要求能够实现大批量、多品种以及产品更新换代所需要的时间短等要求。镗模法由于镗模生产成本高，生产周期长，不大能适应这种要求，而坐标法镗孔却能适应这种要求。此外，在采用镗模法镗孔时，镗模板的加工也需要采用坐标法镗孔。

用坐标法镗孔，需要将箱体孔系尺寸及公差换算成直角坐标系中的尺寸及公差，然后选用能够在直角坐标系中作精密运动的机床进行镗孔。

零件图所示变速箱箱体孔系尺寸换算如下：

如下图所示为三个支承孔中心线所构成的坐标尺寸关系。其中：

$|OA| = 150.28 \pm 0.05 \text{mm}$ ， $|OB| = 133.35 \pm 0.05 \text{mm}$ ， $|AB| = 91.02 \pm 0.05 \text{mm}$ 。设加工时坐标系为 $x0y$ 且 $x_{OB} = 30 \text{mm}$ 现在要计算 y_{OB} 、 x_{OA} 及 y_{OA} 。



由图可知： $y_{OB} = \sqrt{133.35^2 - 30^2} = 129.93 \text{mm}$

$$\cos \beta = 30 / |OB| = 30 / 133.35 = 0.22497$$

$$\therefore \beta = 76.999^\circ$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta = 13.001^\circ$$

根据余弦定理:

$$\cos \alpha = \frac{|OA|^2 + |OB|^2 - |AB|^2}{2|OA||OB|} = \frac{150.28^2 + 133.35^2 - 91.02^2}{2 \times 150.28 \times 133.35} \approx 0.8004$$

$$\therefore \alpha = 36.827^\circ$$

根据几何关系可得: $x_{OA} = |OA| \sin(\alpha - \gamma) = 60.707 \text{mm}$

$$y_{OA} = |OA| \cos(\alpha - \gamma) = 137.473 \text{mm}$$

孔系中心的直角坐标尺寸算出来后。还需要进一步确定各组成环的公差。组成环的公差分配方法有多种, 现以等公差分配法为例子说明各组成环公差的求解方法。

已知: $|CA| = 60.707 + 30 = 90.707 \text{mm}$

$$|CB| = y_{OA} - y_{OB} = 137.473 - 129.932 = 7.541 \text{mm}$$

$$|AB| = 78.084 \text{mm}$$

$$\text{因 } |AC|^2 + |CB|^2 = |AB|^2$$

两边微分后得:

$$2|AC| \cdot d|AC| + 2|CB| \cdot d|CB| = 2|AB| \cdot d|AB|$$

若 $d|AC| = d|CB| = \varepsilon$, 则有

$$\varepsilon = \frac{d|AB| \cdot |AB|}{|AC||CB|} = \frac{\pm 0.05 \times 91.02}{90.707 \times 7.541} = \pm 0.0067$$

$|AC|$ 与 x_{OA} 和 x_{OB} 构成尺寸链, 其中 $|AC|$ 为尺寸链的封闭环。按等公差分配原则, x_{OA} 及 x_{OB} 的公差各取 $\varepsilon/2 = \pm 0.034 \text{mm}$ 。

$|CB|$ 与 y_{OA} 及 y_{OB} 构成另一个尺寸链, 且 $|CB|$ 为尺寸链的封闭环。按前述方法可得 y_{OA} 及 y_{OB} 的尺寸公差各为 $\varepsilon/2 = \pm 0.034 \text{mm}$ 。

最终求得的变速箱箱体孔系在直角坐标中的尺寸及公差为:

$$x_{OA} = 60.707 \pm 0.0034 \text{mm}$$

$$y_{OA} = 137.473 \pm 0.0034 \text{mm}$$

$$x_{OB} = 30 \pm 0.0034 \text{mm}$$

$$y_{OB} = 129.93 \pm 0.0034 \text{mm}$$

1.3 变速箱箱体加工定位基准的选择

1.3.1 粗基准的选择

粗基准选择应当满足以下要求：

- (1)、保证各重要支承孔的加工余量均匀；
- (2)、保证装入箱体的零件与箱壁有一定的间隙。

为了满足上述要求，应选择变速箱的主要支承孔作为主要基准。即以变速箱箱体的输入轴和输出轴的支承孔作为粗基准。也就是以前后端面上距顶平面最近的孔作为主要基准以限制工件的四个自由度，再以另一个主要支承孔定位限制第五个自由度。由于是以孔作为粗基准加工精基准面。因此，以后再用精基准定位加工主要支承孔时，孔加工余量一定是均匀的。由于孔的位置与箱壁的位置是同一型芯铸出的。因此，孔的余量均匀也就间接保证了孔与箱壁的相对位置。

1.3.2 精基准的选择

从保证箱体孔与孔、孔与平面、平面与平面之间的位置。精基准的选择应能保证变速箱箱体在整个加工过程中基本上都能用统一的基准定位。从变速箱箱体零件图分析可知，它的顶平面与各主要支承孔平行而且占有的面积较大，适于作精基准使用。但用一个平面定位仅仅能限制工件的三个自由度，如果使用典型的一面两孔定位方法，则可以满足整个加工过程中基本上都采用统一的基准定位的要求。至于前后端面，虽然它是变速箱箱体的装配基准，但因为它与变速箱箱体的主要支承孔系垂直。如果用来作精基准加工孔系，在定位、夹紧以及夹具结构设计方面都有一定的困难，所以不予采用。

1.4 变速箱箱体加工主要工序安排

对于大批量生产的零件，一般总是首先加工出统一的基准。变速箱箱体加工的第一个工序也就是加工统一的基准。具体安排是先以孔定位粗、精加工顶平面。第二个工序是加工定位用的两个工艺孔。由于顶平面加工完成后一直到变速箱箱

体加工完成为止，除了个别工序外，都要用作定位基准。因此，顶面上的螺孔也应在加工两工艺孔的工序中同时加工出来。

后续工序安排应当遵循粗精分开和先面后孔的原则。先粗加工平面，再粗加工孔系。螺纹底孔在多轴组合钻床上钻出，因切削力较大，也应该在粗加工阶段完成。对于变速箱箱体，需要精加工的是支承孔前后端平面。按上述原则亦应先精加工平面再加工孔系，但在实际生产中这样安排不易于保证孔和端面相互垂直。因此，实际采用的工艺方案是先精加工支承孔系，然后以支承孔用可胀心轴定位来加工端面，这样容易保证零件图纸上规定的端面全跳动公差要求。各螺纹孔的攻丝，由于切削力较小，可以安排在粗、精加工阶段中分散进行。

加工工序完成以后，将工件清洗干净。清洗是在80—90℃的含0.4%—1.1%苏打及0.25%—0.5%亚硝酸钠溶液中进行的。清洗后用压缩空气吹干净。保证零件内部杂质、铁屑、毛刺、砂粒等的残留量不大于200mg。

根据以上分析过程，现将汽车变速箱箱体加工工艺路线确定如下：

工序1：粗、精铣顶面。以两个 $\phi 120mm$ 的支承孔和一个 $\phi 80mm$ 的支承孔为粗基准。选用立轴圆工作台铣床，和专用夹具。

工序2：钻顶面孔、铰工艺孔。以两个 $\phi 120mm$ 的支承孔和前端面为基准。选用专用组合钻床和专用夹具。

工序3：粗铣前后端面。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序4：粗铣两侧面及凸台。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序5：粗镗前后端面支承孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合镗床和专用夹具。

工序6：检验。

工序7：半精铣前后端面。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序8：钻倒车齿轮轴孔，钻前端面上孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合钻床和专用夹具。

工序9：铣倒车齿轮轴孔内端面，钻加油孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序10：钻两侧面孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合钻床和专用夹具。

工序 11：精镗支承孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合镗床和专用夹具。

工序 12：攻 $1''$ 锥螺纹孔。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合攻丝机和专用夹具。

工序 13：前端面孔攻丝。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合攻丝机和专用夹具。

工序 14：两侧窗口面上螺孔攻丝。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合攻丝机和专用夹具。

工序 15：顶面螺孔攻丝。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合攻丝机和专用夹具。

工序 16：中间检验。

工序 17：精铣两侧面。以顶面和两工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序 18：精铣前端面。以两个 $\phi 120mm$ 支承孔和一个工艺孔为基准。选用专用组合铣床和专用夹具。

工序 19：清洗。选用清洗机清洗。

工序 20：终检。

以上工艺过程详见机械加工工艺过程综合卡片（附表 1）。

1.5 机械加工余量、工序尺寸及毛坯尺寸的确定

“汽车变速箱箱体”零件材料采用灰铸铁制造。变速箱材料为 HT150，硬度 HB 为 170—241，生产类型为大批量生产，采用铸造毛坯。

(1)、顶面的加工余量。(计算顶面与 $\phi 120^{+0.03}mm$ 支承孔轴线尺寸 $100 \pm 0.12mm$)

根据工序要求，顶面加工分粗、精铣加工。各工步余量如下：

粗铣：参照《机械加工工艺手册第 1 卷》表 3.2-23。其余量值规定为 $2.7 \sim 3.4mm$ ，现取 $3.0mm$ 。表 3.2-27 粗铣平面时厚度偏差取 $-0.28mm$ 。

精铣：参照《机械加工工艺手册》表 2.3-59，其余量值规定为 $1.5mm$ 。

铸造毛坯的基本尺寸为 $100 + 3.5 + 1.5 = 105mm$ 。根据《机械加工工艺手册》表 2.3-11，铸件尺寸公差等级选用 CT7，再查表 2.3-9 可得铸件尺寸公差为 $1.2mm$ 。

\therefore 毛坯的名义尺寸为： $100 + 3.5 + 1.5 = 105mm$

毛坯最小尺寸为： $105 - 0.6 = 104.4mm$

毛坯最大尺寸为: $105 + 0.6 = 105.6\text{mm}$

粗铣后最大尺寸为: $100 + 1.5 = 101.5\text{mm}$

粗铣后最小尺寸为: $101.5 - 0.28 = 101.22\text{mm}$

精铣后尺寸与零件图尺寸相同, 即 $100 \pm 0.12\text{mm}$ 。

(2)、两工艺孔 $\phi 12^{+0.027}\text{mm}$ 。

毛坯为实心, 不冲孔。两孔精度要求为 IT8, 表面粗糙度要求为 $6.3\mu\text{m}$ 。参照《机械加工工艺手册》表 2.3-47, 表 2.3-48。确定工序尺寸及加工余量为:

钻孔: $\phi 11\text{mm}$

扩孔: $\phi 11.85\text{mm}$ $2Z = 0.85\text{mm}$ (Z 为单边余量)

铰孔: $\phi 12H8$ $2Z = 0.15\text{mm}$

(3)、顶面 8 螺孔 $M10-6H$

毛坯为实心, 不冲孔。参照《机械加工工艺手册》表 2.3-71, 现确定其工序尺寸及加工余量为:

钻孔: $\phi 8.5\text{mm}$

攻丝: $M10-6H$

(4)、前端面加工余量。(计算长度为 $365 \pm 0.025\text{mm}$)

根据工艺要求, 前后端面分为粗铣、半精铣、半精铣、精铣加工。各工序余量如下:

粗铣: 参照《机械加工工艺手册第 1 卷》表 3.2-23, 其加工余量规定为 $2.7 \sim 3.5\text{mm}$, 现取 3.0mm 。

半精铣: 参照《机械加工工艺手册第 1 卷》, 其加工余量值取为 2.5mm 。

精铣: 参照《机械加工工艺手册》, 其加工余量取为 0.5mm 。

铸件毛坯的基本尺寸为 $365 + 0.5 + 2.5 + 3 = 371\text{mm}$, 根据《机械加工工艺手册》表 2.3-11, 铸件尺寸公差等级选用 CT7。再查表 2.3-9 可得铸件尺寸公差为 1.6mm 。

∴ 毛坯的名义尺寸为: $365 + 0.5 + 2.5 + 3 = 371\text{mm}$

毛坯最小尺寸为: $371 - 0.8 = 370.2\text{mm}$

毛坯最大尺寸为: $371 + 0.8 = 371.8\text{mm}$

粗铣前端面工序尺寸定为 $368 \pm 0.25\text{mm}$

半精铣前端面工序尺寸定为 $365.5 \pm 0.25\text{mm}$

精铣前端面后尺寸与零件图尺寸相同, 即 $365 \pm 0.23\text{mm}$

(5)、前端面上 16 螺孔 $M10-6H$, 3 螺孔 $M14-6H$, 4 孔 $\phi 15\text{mm}$, 倒车齿轮轴孔 $2 \times \phi 30_0^{+0.21}\text{mm}$ 加工余量。

毛坯为实心, 不冲孔。参照《机械加工工艺手册》表 2.3-71, 现确定螺孔加工余量为:

16 螺孔 $M10-6H$

钻孔: $\phi 8.5\text{mm}$

攻丝: $M10-6H$

3 螺孔 $M14-6H$

钻孔: $\phi 11.9\text{mm}$

攻丝: $M14-6H$

4- $\phi 15\text{mm}$ 孔, 参照《机械加工工艺手册》表 5-58, 确定工序尺寸为:

钻孔: $\phi 15\text{mm}$

倒车齿轮轴孔 $2 \times \phi 30_0^{+0.21}\text{mm}$, 参照《机械加工余量与公差手册》表 4-23 确定工序尺寸及余量为:

钻孔: $\phi 15\text{mm}$

钻孔: $\phi 28\text{mm}$ $2Z = 13\text{mm}$

扩孔: $\phi 29.8\text{mm}$ $2Z = 1.8\text{mm}$

铰孔: $\phi 30H8$ $2Z = 0.2\text{mm}$

(6)、前端面支承孔 $\phi 120^{+0.03}\text{mm}$, $\phi 80^{+0.013}\text{mm}$, $\phi 100^{+0.035}\text{mm}$ 。

根据工序要求，前端面支承孔的加工分为粗镗、精镗两个工序完成，各工序余量如下：

粗镗： $\phi 120^{+0.03} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $2mm$ ；

$\phi 80^{+0.013} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $2mm$ ；

$\phi 100^{+0.035} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $2mm$ 。

精镗： $\phi 120^{+0.03} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $1mm$ ；

$\phi 80^{+0.013} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $1mm$ ；

$\phi 100^{+0.035} mm$ 孔，参照《机械加工工艺手册》表 2.3-48,其余量值为 $1mm$ 。

铸件毛坯的基本尺寸分别为：

$\phi 120^{+0.03} mm$ 孔毛坯基本尺寸为 $\phi 120 - 2 - 1 = \phi 117 mm$ ；

$\phi 80^{+0.013} mm$ 孔毛坯基本尺寸为 $\phi 80 - 2 - 1 = \phi 77 mm$ ；

$\phi 100^{+0.035} mm$ 孔毛坯基本尺寸为 $\phi 100 - 2 - 1 = \phi 97 mm$ 。

根据《机械加工工艺手册》表 2.3-11，铸件尺寸公差等级选用 CT7，再查表 2.3-9 可得铸件尺寸公差分别为： $1.2mm$ 、 $1.1mm$ 、 $1.1mm$ 。

$\therefore \phi 120^{+0.03} mm$ 孔毛坯名义尺寸为 $\phi 120 - 2 - 1 = \phi 117 mm$ ；

毛坯最大尺寸为 $\phi 117 + 0.6 = 117.6 mm$ ；

毛坯最小尺寸为 $\phi 117 - 0.6 = 116.4 mm$ ；

粗镗工序尺寸为 $\phi 119^{+0.17}_{+0.10} mm$ ；

精镗后尺寸与零件图尺寸相同，即 $\phi 120^{+0.03} mm$ 。

$\phi 80^{+0.013} mm$ 孔毛坯名义尺寸为 $\phi 80 - 2 - 1 = \phi 77 mm$ ；

毛坯最大尺寸为 $\phi 77 + 0.55 = 77.55 mm$ ；

毛坯最小尺寸为 $\phi 77 - 0.55 = 76.45 mm$ ；

粗镗工序尺寸为 $\phi 79^{+0.17}_{+0.10} mm$ ；

精镗后尺寸与零件图尺寸相同，即 $\phi 80^{+0.013} mm$ 。

$\phi 100^{+0.035} mm$ 孔毛坯名义尺寸为 $\phi 100 - 2 - 1 = \phi 97 mm$ ；

毛坯最大尺寸为 $\phi 97 + 0.55 = 97.55 mm$ ；

毛坯最小尺寸为 $\phi 97 - 0.55 = 96.45 mm$ ；

粗镗工序尺寸为 $\phi 99^{+0.17}_{+0.10} mm$ ；

精镗后尺寸与零件图尺寸相同，即 $\phi 100^{+0.035} mm$ 。

(7)、两侧面及凸台加工余量。(两侧面计算长度分别为：侧面到支承孔 $\phi 80^{+0.013} mm$ 轴线尺寸 $160^0_{-0.1} mm$ 和 $104^0_{-0.1} mm$ 。凸台计算长度为：凸台到定位孔轴线尺寸 $20^{+0.90}_{+0.60} mm$)

由工序要求，两侧面需进行粗、精铣加工。各工序余量如下：

粗铣：参照《机械加工工艺手册第1卷》表3.2-23，其余量值为 $2.0 \sim 2.7 mm$ ，现取其为 $2.5 mm$ 。表3.2-27，粗铣平面时厚度偏差取 $-0.22 mm$ 。

精铣：参照《机械加工工艺手册》表2.3-59，其余量值规定为 $1.5 mm$ 。

铸件毛坯的基本尺寸分别为： $160 + 2.5 + 1.5 = 164 mm$ ，

$$104 + 2.5 + 1.5 = 108 mm$$

根据《机械加工工艺手册》表2.3-11，铸件尺寸公差等级选用CT7，再查表2.3-9可得铸件尺寸公差分别为 $1.4 mm$ 和 $1.2 mm$ 。

则两侧面毛坯名义尺寸分别为： $106 + 2.5 + 1.5 = 164 mm$

$$104 + 2.5 + 1.5 = 108 mm$$

毛坯最小尺寸分别为： $164 - 0.7 = 163.3 mm$ $108 - 0.6 = 107.4 mm$

毛坯最大尺寸分别为： $164 + 0.7 = 164.7 mm$ $108 + 0.6 = 108.6 mm$

粗铣后最大尺寸分别为： $160 + 1.5 = 161.5 mm$ $104 + 1.5 = 105.5 mm$

粗铣后最小尺寸分别为： $161.5 - 0.22 = 161.28 mm$ $105.5 - 0.22 = 105.28 mm$

精铣后尺寸与零件图尺寸相同，即 $160^0_{-0.1} mm$ 和 $104^0_{-0.1} mm$ 。

由工序要求可知，凸台只需进行粗铣加工。其工序余量如下：

参照《机械加工工艺手册第1卷》表3.2-23，其余量规定为 $1.0 \sim 1.5 mm$ ，现取其为 $1.5 mm$ 。

铸件毛坯的基本尺寸 $20 + 1.5 = 21.5 mm$ 。根据《机械加工工艺手册》表2.3-11，铸件尺寸公差等级选用CT7，再查表2.3-9可得铸件尺寸公差为 $0.82 mm$ 。

则凸台毛坯名义尺寸为： $20 + 1.5 = 21.5 mm$

毛坯最小尺寸为： $21.5 - 0.41 = 21.09 mm$

毛坯最大尺寸为: $21.5 + 0.41 = 21.91\text{mm}$

粗铣后尺寸与零件图尺寸相同, 即 $20_{-0.60}^{+0.90}\text{mm}$ 。

(8)、两侧面螺孔加工余量

毛坯为实心, 不冲孔。参照《机械加工工艺手册》表 2.3-71, 现确定螺孔加工余量为:

钻孔: $\phi 8.5\text{mm}$

攻丝: $M10-6H$

(9)、倒车齿轮轴孔内端面加工余量 (计算长度 $90_0^{+0.46}\text{mm}$)

根据《机械加工工艺手册》表 2.2-25, 只需进行粗铣加工即能达到所需表面粗糙度要求 $3.2\mu\text{m}$ 及尺寸精度要求。因此倒车齿轮轴孔内端面只进行粗铣加工。

参照《机械加工工艺手册第 1 卷》表 3.2-23, 其余量值规定为 $1.5 \sim 2.0\text{mm}$, 现取 1.5mm 。

铸件毛坯的基本尺寸为 $90 - 1.5 \times 2 = 87\text{mm}$ 。根据《机械加工工艺手册》表 2.3-11, 铸件尺寸公差等级选用 CT7, 再查表 2.3-9 可得铸件尺寸公差为 1.1mm 。

∴ 毛坯名义尺寸为: $90 - 1.5 \times 2 = 87\text{mm}$

毛坯最小尺寸为: $87 - 0.55 \times 2 = 85.9\text{mm}$

毛坯最大尺寸为: $87 + 0.55 \times 2 = 88.1\text{mm}$

粗铣后尺寸与零件图尺寸相同, 即 $90_0^{+0.46}\text{mm}$ 。

(10)、加油孔加工余量

毛坯为实心, 不冲孔。参照《机械加工工艺手册》表 2.3-71, 现确定其余量为:

钻孔: $\phi 28.5\text{mm}$

扩孔: $\phi 30.5\text{mm}$ $2Z = 2\text{mm}$

攻丝: $1''$ 锥管螺纹孔

1.6 确定切削用量及基本工时 (机动时间)

工序 1: 粗、精铣顶面

机床: 双立轴圆工作台铣床 X701

刀具: 硬质合金端铣刀 (面铣刀) $d_w = 400mm$ 齿数 $Z = 14$

(1)、粗铣

铣削深度 a_p : $a_p = 3mm$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.25mm/Z$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 $V = 4m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 4 \times 60}{3.14 \times 400} \approx 191r/min, \text{ 取 } n = 200r/min$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 200}{1000 \times 60} \approx 4.19m/s$$

进给量 V_f : $V_f = a_f Z n = 0.25 \times 14 \times 200 / 60 \approx 11.67mm/s$

工作台每分进给量 f_m : $f_m = V_f = 11.67mm/s = 700.2mm/min$

a_e : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-81, $a_e = 240mm$

被切削层长度 l : 由毛坯尺寸可知 $l = 341mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - a_e^2}) + (1 \sim 3) = 42mm$$

刀具切出长度 l_2 : 取 $l_2 = 2mm$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{341 + 42 + 2}{700.2} \approx 0.55min$$

(2)、精铣

铣削深度 a_p : $a_p = 1.5mm$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.15mm/Z$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 $V = 6m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 6 \times 60}{3.14 \times 400} \approx 288r/min, \text{ 取 } n = 300r/min$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 300}{1000 \times 60} \approx 6.28m/s$$

进给量 V_f : $V_f = a_f Z n = 0.15 \times 14 \times 300 / 60 = 10.5mm/s$

工作台每分进给量 f_m : $f_m = V_f = 10.5 \text{ mm/s} = 630 \text{ mm/min}$

被切削层长度 l : 由毛坯尺寸可知 $l = 341 \text{ mm}$

刀具切入长度 l_1 : 精铣时 $l_1 = D = 400 \text{ mm}$

刀具切出长度 l_2 : 取 $l_2 = 2 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{341 + 400 + 2}{630} \approx 1.18 \text{ min}$$

$$\therefore \text{本工序机动时间 } t_j = t_{j1} + t_{j2} = 0.55 + 1.18 = 1.73 \text{ min}$$

工序 2: 钻顶面孔、铰定位孔

机床: 组合钻床

刀具: 麻花钻、扩孔钻、铰刀

(1)、钻顶面 8 螺孔 M10-6H

切削深度 a_p : $a_p = 4.25 \text{ mm}$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 $f = 0.25 \text{ mm/r}$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 $V = 0.43 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.43 \times 60}{3.14 \times 8.5} \approx 967 \text{ r/min, 取 } n = 800 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 8.5 \times 800}{1000 \times 60} \approx 0.36 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l : $l = 20 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{8.5}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 4.5 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{20 + 4.5}{0.25 \times 800} \approx 0.12 \text{ min}$$

(2)、定位孔的钻、扩、铰

钻定位孔

切削深度 a_p : $a_p = 5.5 \text{ mm}$

进给量 f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39，取 $f = 0.25mm/r$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41，取 $V = 0.45m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.45 \times 60}{3.14 \times 11} \approx 782r/min, \text{ 取 } n = 500r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 11 \times 500}{1000 \times 60} \approx 0.29m/s$$

被切削层长度 l ： $l = 20mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{11}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 5.2mm$$

刀具切出长度 l_2 ： $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{20 + 5.2}{0.25 \times 500} \approx 0.20 \text{ min}$$

扩定位孔

切削深度 a_p ： $a_p = 0.425mm$

进给量 f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-52，扩盲孔 $f = 0.3 \sim 0.6mm/r$

取 $f = 0.6mm/r$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-53，取 $V = 0.3m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.3 \times 60}{3.14 \times 11.85} \approx 484r/min, \text{ 取 } n = 500r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 11.85 \times 500}{1000 \times 60} \approx 0.31m/s$$

被切削层长度 l ： $l = 20mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D - d_0}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{11.85 - 11}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 2.25mm$$

刀具切出长度 l_2 ： $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{20 + 2.25}{0.6 \times 500} \approx 0.08 \text{ min}$$

铰定位孔

切削深度 a_p : $a_p = 0.075mm$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-58, $f = 1.5 \sim 3.0mm/r$ 取

$f = 1.5mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-60, 取 $V = 0.17m/s$

机床主轴转速 n : $n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.17 \times 60}{3.14 \times 12} \approx 271r/min$, 取 $n = 300r/min$

实际切削速度 V' : $V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 12 \times 300}{1000 \times 60} \approx 0.19m/s$

被切削层长度 l : $l = 20mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = \frac{D - d_0}{2} ctgk_r + (1 \sim 2) = \frac{12 - 11.85}{2} ctg120^\circ + 2 \approx 2.04mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$

走刀次数为 1

机动时间 t_{j3} : $t_{j3} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{20 + 2.04}{1.5 \times 300} \approx 0.05min$

定位孔加工机动时间 t_j : $t_j = t_{j1} + t_{j2} + t_{j3} = 0.20 + 0.08 + 0.05 = 0.33min$

因为定位孔加工时间 > 钻顶面螺孔加工时间

\therefore 本工序机动时间 $t_j = 0.33min$

工序 3: 粗铣前后端面

机床: 组合铣床

刀具: 硬质合金端铣刀 (面铣刀) $d_w = 400mm$ 齿数 $Z = 14$

铣削深度 a_p : $a_p = 3mm$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.25mm/Z$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 $V = 4m/s$

机床主轴转速 n : $n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 4 \times 60}{3.14 \times 400} \approx 191r/min$, 取 $n = 200r/min$

$$\text{实际铣削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 200}{1000 \times 60} \approx 4.19 \text{ m/s}$$

$$\text{进给量 } V_f : V_f = a_f Z n = 0.25 \times 14 \times 200 / 60 \approx 11.67 \text{ mm/s}$$

$$\text{工作台每分进给量 } f_m : f_m = V_f = 11.67 \text{ mm/s} = 700.2 \text{ mm/min}$$

a_ϵ ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-81, $a_\epsilon = 240 \text{ mm}$

被切削层长度 l ：由毛坯尺寸可知 $l = 329 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - a_\epsilon^2}) + (1 \sim 3) = 42 \text{ mm}$$

$$\text{刀具切出长度 } l_2 : \text{取 } l_2 = 2 \text{ mm}$$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j : t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{329 + 42 + 2}{700.2} \approx 0.53 \text{ min}$$

工序 4：粗铣两侧面及凸台

机床：组合铣床

刀具：硬质合金端铣刀 YG8，硬质合金立铣刀 YT15

(1)、粗铣两侧面

$$\text{铣刀直径 } d_w = 320 \text{ mm, 齿数 } Z = 12$$

$$\text{铣削深度 } a_p : a_p = 3 \text{ mm}$$

每齿进给量 a_f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73，取 $a_f = 0.25 \text{ mm/Z}$

铣削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81，取 $V = 3 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 3 \times 60}{3.14 \times 320} \approx 179 \text{ r/min, 取 } n = 150 \text{ r/min}$$

$$\text{实际铣削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 320 \times 150}{1000 \times 60} \approx 2.51 \text{ m/s}$$

$$\text{进给量 } V_f : V_f = a_f Z n = 0.25 \times 12 \times 150 / 60 = 7.5 \text{ mm/s}$$

$$\text{工作台每分进给量 } f_m : f_m = V_f = 7.5 \text{ mm/s} = 450 \text{ mm/min}$$

a_ϵ ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-81, $a_\epsilon = 192 \text{ mm}$

被切削层长度 l : 由毛坯尺寸可知 $l = 140\text{mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - a_e^2}) + (1 \sim 3) = 34\text{mm}$$

刀具切出长度 l_2 : 取 $l_2 = 2\text{mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{140 + 34 + 2}{450} \approx 0.39\text{ min}$$

(2)、粗铣凸台

铣刀直径 $d_w = 50\text{mm}$, 齿数 $Z = 6$

铣削深度 a_p : $a_p = 3\text{mm}$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-77, 取 $a_f = 0.22\text{mm}/Z$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-88, 取 $V = 0.33\text{m}/\text{s}$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.33 \times 60}{3.14 \times 50} \approx 126r/\text{min}, \text{ 取 } n = 150r/\text{min}$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 50 \times 150}{1000 \times 60} \approx 0.39\text{m/s}$$

进给量 V_f : $V_f = a_f Z n = 0.2 \times 6 \times 150 / 60 = 3\text{mm/s}$

工作台每分进给量 f_m : $f_m = V_f = 3\text{mm/s} = 180\text{mm/min}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{\pi D_0}{f_m} = \frac{3.14 \times 26}{180} \approx 0.46\text{ min} \quad (\text{其中 } D_0 = 26\text{mm})$$

因为: $t_{j2} > t_{j1}$

\therefore 本工序机动时间 t_j : $t_j = t_{j2} = 0.46\text{ min}$

工序 5: 粗镗前后端面支承孔

机床: 组合镗床

刀具: 高速钢刀具 $W_{18}C_{r4}V$

(1)、粗镗 $\phi 80^{+0.013}\text{mm}$ 孔

切削深度 a_p : $a_p = 2mm$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-66, 刀杆伸出长度取 $200mm$,

切削深度为 $2mm$ 。因此确定进给量 $f = 0.6mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66, 取 $V = 0.25m/s = 15m/min$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 15}{3.14 \times 79} \approx 60.5r/min, \text{ 取 } n = 60r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 79 \times 60}{1000 \times 60} \approx 0.25m/s$$

工作台每分钟进给量 f_m : $f_m = fn = 0.6 \times 60 = 36mm/min$

被切削层长度 l : $l = 19mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{a_p}{\tan k_r} + (2 \sim 3) = \frac{2}{\tan 30^\circ} + 2 \approx 5.4mm$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 3 \sim 5mm$ 取 $l_2 = 4mm$

行程次数 i : $i = 1$

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{19 + 5.4 + 4}{36} \times 1 \approx 0.79 \text{ min}$$

(2)、粗镗 $\phi 120^{+0.03}mm$ 孔

切削深度 a_p : $a_p = 2mm$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-66, 刀杆伸出长度取 $200mm$,

切削深度为 $2mm$ 。因此确定进给量 $f = 0.7mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66, 取 $V = 0.3m/s = 18m/min$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 18}{3.14 \times 119} \approx 48.2r/min, \text{ 取 } n = 40r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 119 \times 40}{1000 \times 60} \approx 0.25m/s$$

工作台每分钟进给量 f_m : $f_m = fn = 0.7 \times 40 = 28mm/min$

被切削层长度 l : $l = 19mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{a_p}{\tan k_r} + (2 \sim 3) = \frac{2}{\tan 30^\circ} + 2 \approx 5.4 \text{ mm}$$

刀具切出长度 $l_2: l_2 = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

行程次数 $i: i = 1$

$$\text{机动时间 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{19 + 5.4 + 3}{28} \times 1 \approx 0.97 \text{ min}$$

(3)、粗镗 $\phi 100^{+0.035} \text{ mm}$ 孔

切削深度 $a_p: a_p = 2 \text{ mm}$

进给量 $f: \text{由于 } \phi 100^{+0.035} \text{ mm} \text{ 与 } \phi 80^{+0.013} \text{ mm} \text{ 孔同轴, 因此取 } f = 0.6 \text{ mm/r}$

机床主轴转速 $n: \text{由于 } \phi 100^{+0.035} \text{ mm} \text{ 与 } \phi 80^{+0.013} \text{ mm} \text{ 孔同轴, 因此 } n = 60 \text{ r/min}$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 99 \times 60}{1000 \times 60} \approx 0.31 \text{ m/s}$$

工作台每分钟进给量 $f_m: f_m = fn = 0.6 \times 60 = 36 \text{ mm/min}$

被切削层长度 $l: l = 4 \text{ mm}$

行程次数 $i: i = 1$

机动时间 $t_{j3}: \text{由于 } \phi 100^{+0.035} \text{ mm} \text{ 与 } \phi 80^{+0.013} \text{ mm} \text{ 孔同轴, 应在相同的时间内完成加工, 因此 } t_{j3} = t_{j1} = 0.79 \text{ min}$

由于 $t_{j2} > t_{j1} = t_{j3}$

\therefore 本工序机动时间 $t_j: t_j = t_{j2} = 0.97 \text{ min}$

工序 7: 半精铣前后端面

机床: 组合铣床

刀具: 硬质合金端铣刀 (面铣刀) $d_w = 400 \text{ mm}$ 齿数 $Z = 14$

铣削深度 $a_p: a_p = 2.5 \text{ mm}$

每齿进给量 $a_f: \text{根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 } a_f = 0.2 \text{ mm/Z}$

铣削速度 $V: \text{参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 } V = 5 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 5 \times 60}{3.14 \times 400} \approx 239 \text{ r/min, 取 } n = 250 \text{ r/min}$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 250}{1000 \times 60} \approx 5.23 \text{ m/s}$$

$$\text{进给量 } V_f: V_f = a_f Z n = 0.2 \times 14 \times 250 / 60 \approx 11.67 \text{ mm/s}$$

$$\text{工作台每分进给量 } f_m: f_m = V_f = 11.67 \text{ mm/s} = 700.2 \text{ mm/min}$$

$$\text{由工序 5 可知: } l = 329 \text{ mm} \quad l_1 = 42 \text{ mm} \quad l_2 = 2 \text{ mm}$$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{329 + 42 + 2}{700.2} \approx 0.53 \text{ min}$$

工序 8: 钻倒车齿轮轴孔、钻前端面上孔

机床: 组合钻床

刀具: 麻花钻

(1)、钻倒车齿轮轴孔

钻孔 $\phi 15 \text{ mm}$

$$\text{切削深度 } a_p: a_p = 7.5 \text{ mm}$$

$$\text{进给量 } f: \text{根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 } f = 0.30 \text{ mm/r}$$

$$\text{切削速度 } V: \text{参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 } V = 0.37 \text{ m/s}$$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.37 \times 60}{3.14 \times 15} \approx 471 \text{ r/min, 取 } n = 500 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 15 \times 500}{1000 \times 60} \approx 0.39 \text{ m/s}$$

$$\text{被切削层长度 } l: l = 43.8 \text{ mm}$$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{15}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 6.33 \text{ mm}$$

$$\text{刀具切出长度 } l_2: l_2 = 1 \sim 4 \text{ mm} \quad \text{取 } l_2 = 3 \text{ mm}$$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{43.8 + 6.33 + 3}{0.3 \times 500} \approx 0.35 \text{ min}$$

钻孔 $\phi 28mm$

切削深度 a_p : $a_p = 6.5mm$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-52, 取 $f = 1.2mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-53, 取 $V = 0.5m/s$

机床主轴转速 n : $n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.5 \times 60}{3.14 \times 28} \approx 341r/min$, 取 $n = 350r/min$

实际切削速度 V' : $V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 28 \times 350}{1000 \times 60} \approx 0.5m/s$

被切削层长度 l : $l = 43.8mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = \frac{D - d_0}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{28 - 15}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 5.75mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 1 \sim 4mm$ 取 $l_2 = 3mm$

走刀次数为 1

机动时间 t_{j2} : $t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{43.8 + 5.75 + 3}{1.2 \times 500} \approx 0.13 \text{ min}$

扩孔 $\phi 29.8mm$

切削深度 a_p : $a_p = 0.9mm$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-52, 取 $f = 1.3mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-53, 取 $V = 0.7m/s$

机床主轴转速 n : $n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.7 \times 60}{3.14 \times 29.8} \approx 449r/min$, 取 $n = 500r/min$

实际切削速度 V' : $V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 29.8 \times 500}{1000 \times 60} \approx 0.78m/s$

被切削层长度 l : $l = 43.8mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = \frac{D - d_0}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{29.8 - 28}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 2.52mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 1 \sim 4mm$ 取 $l_2 = 3mm$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j3} : t_{j3} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{43.8 + 2.52 + 3}{1.3 \times 500} \approx 0.08 \text{ min}$$

铰孔 $\phi 30H8$

切削深度 a_p : $a_p = 0.1 \text{ mm}$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-58, $f = 2.0 \sim 4.0 \text{ mm/r}$ 取

$$f = 3.0 \text{ mm/r}$$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-60, 取 $V = 0.13 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.13 \times 60}{3.14 \times 30} \approx 83 \text{ r/min, 取 } n = 80 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 30 \times 80}{1000 \times 60} \approx 0.13 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l : $l = 43.8 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = \frac{D - d_0}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{30 - 29.8}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 2.06 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 1 \sim 4 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j4} : t_{j4} = \frac{l + l_1 + l_2}{nf} = \frac{43.8 + 2.06 + 3}{3 \times 80} \approx 0.20 \text{ min}$$

倒车齿轮轴孔加工机动时间 t_j :

$$t_j = t_{j1} + t_{j2} + t_{j3} + t_{j4} = 0.35 + 0.13 + 0.08 + 0.20 = 0.76 \text{ min}$$

(2)、钻 M10-6H 螺孔

切削深度 a_p : $a_p = 4.25 \text{ mm}$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 $f = 0.25 \text{ mm/r}$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 $V = 0.43 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.43 \times 60}{3.14 \times 8.5} \approx 967 \text{ r/min, 取 } n = 800 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 8.5 \times 800}{1000 \times 60} \approx 0.36 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l : $l = 17 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{8.5}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 4.5 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j : t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{17 + 4.5}{0.25 \times 800} \approx 0.11 \text{ min}$$

(3)、钻 $4 - \phi 15 \text{ mm}$ 孔

切削深度 a_p : $a_p = 7.5 \text{ mm}$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 $f = 0.35 \text{ mm/r}$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 $V = 0.47 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.47 \times 60}{3.14 \times 15} \approx 599 \text{ r/min, 取 } n = 600 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 15 \times 600}{1000 \times 60} \approx 0.48 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l : $l = 22 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{15}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 6.33 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 1 \sim 4 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j : t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{22 + 6.33 + 3}{0.35 \times 600} \approx 0.15 \text{ min}$$

(4)、钻 M14-6H 螺孔

切削深度 a_p : $a_p = 5.95 \text{ mm}$

进给量 f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 $f = 0.25 \text{ mm/r}$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 $V = 0.45 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.45 \times 60}{3.14 \times 11.9} \approx 723 \text{ r/min, 取 } n = 700 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 11.9 \times 700}{1000 \times 60} \approx 0.44 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l : $l = 17 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{11.9}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 5.5 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j : t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_n} = \frac{17 + 5.5}{0.25 \times 700} \approx 0.13 \text{ min}$$

由以上计算过程可知: 本工序机动时间 $t_j = 0.13 \text{ min}$

工序 9: 铣倒车齿轮轴孔内端面、钻加油孔

(1)、铣倒车齿轮轴孔内端面

刀具: 硬质合金端铣刀 $d_w = 80 \text{ mm}$ 齿数 $Z = 10$

铣削深度 a_p : $a_p = 1.5 \text{ mm}$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.3 \text{ mm/Z}$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-82, 取 $V = 0.6 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.6 \times 60}{3.14 \times 80} \approx 143 \text{ r/min, 取 } n = 150 \text{ r/min}$$

$$\text{实际铣削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 80 \times 150}{1000 \times 60} \approx 0.63 \text{ m/s}$$

进给量 V_f : $V_f = a_f Z n = 0.3 \times 10 \times 150 / 60 \approx 7.5 \text{ mm/s}$

工作台每分进给量 f_m : $f_m = V_f = 7.5 \text{ mm/s} = 450 \text{ mm/min}$

a_e : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 及毛坯尺寸得 $a_e = 40 \text{ mm}$

被切削层长度 l : 由毛坯尺寸可知 $l = 30 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = 0.5(D - \sqrt{D^2 - a_e^2}) + (1 \sim 3) \approx 36.6 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : 取 $l_2 = 2 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j1} : t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{40 + 36.6 + 2}{450} \approx 0.15 \text{ min}$$

(1)、钻加油孔

刀具：麻花钻、扩孔钻

钻 $\phi 28.5 \text{ mm}$ 孔

切削深度 a_p ： $a_p = 14.25 \text{ mm}$

进给量 f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39，取 $f = 0.45 \text{ mm/r}$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41，取 $V = 0.48 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.48 \times 60}{3.14 \times 28.5} \approx 322 \text{ r/min, 取 } n = 300 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 28.5 \times 300}{1000 \times 60} \approx 0.45 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l ： $l = 10 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1 : l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{28.5}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 10.2 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 ： $l_2 = 1 \sim 4 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t'_j : t'_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{10 + 10.2 + 3}{0.45 \times 7300} \approx 0.17 \text{ min}$$

扩 $\phi 30.5 \text{ mm}$ 孔

切削深度 a_p ： $a_p = 0.1 \text{ mm}$

进给量 f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-52，取 $f = 1.2 \text{ mm/r}$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-53，取 $V = 0.25 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.25 \times 60}{3.14 \times 30.5} \approx 157 \text{ r/min, 取 } n = 150 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 30.5 \times 150}{1000 \times 60} \approx 0.24 \text{ m/s}$$

被切削层长度 l ： $l = 10 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D - d_0}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{30.5 - 28.5}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 2.58 \text{ mm}$$

刀具切出长度 $l_2: l_2 = 1 \sim 4 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t''_j: t''_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{10 + 2.58 + 3}{1.2 \times 150} \approx 0.09 \text{ min}$$

\therefore 加工加油孔机动时间 $t_{j2}: t_{j2} = t'_j + t''_j = 0.17 + 0.09 = 0.26 \text{ min}$

由于 $t_{j2} > t_{j1}$

\therefore 本工序机动时间 $t_j = t_{j2} = 0.26 \text{ min}$

工序 10: 钻两侧面孔 (M10-6H 螺孔)

机床: 组合钻床

刀具: 麻花钻

切削深度 $a_p: a_p = 4.25 \text{ mm}$

进给量 $f: \text{根据《机械加工工艺手册》表 2.4-39, 取 } f = 0.25 \text{ mm/r}$

切削速度 $V: \text{参照《机械加工工艺手册》表 2.4-41, 取 } V = 0.43 \text{ m/s}$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 0.43 \times 60}{3.14 \times 8.5} \approx 967 \text{ r/min, 取 } n = 800 \text{ r/min}$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 8.5 \times 800}{1000 \times 60} \approx 0.36 \text{ m/s}$$

被切削层长度 $l: l = 30 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{D}{2} \operatorname{ctg} k_r + (1 \sim 2) = \frac{8.5}{2} \operatorname{ctg} 120^\circ + 2 \approx 4.5 \text{ mm}$$

刀具切出长度 $l_2: l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} = \frac{30 + 4.5}{0.25 \times 800} \approx 0.17 \text{ min}$$

工序 11: 精镗前后端面支承孔

机床: 组合镗床

刀具：高速钢刀具 $W_{18}C_{r4}V$

(1)、精镗 $\phi 80^{+0.013} mm$ 孔

切削深度 a_p ： $a_p = 1mm$

进给量 f ：根据切削深度 $a_p = 1mm$ ，再参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66。

因此确定进给量 $f = 0.4mm/r$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66，取 $V = 0.35m/s = 21m/min$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 21}{3.14 \times 80} \approx 83.6r/min, \text{ 取 } n = 84r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 80 \times 84}{1000 \times 60} \approx 0.35m/s$$

工作台每分钟进给量 f_m ： $f_m = fn = 0.4 \times 84 = 33.6mm/min$

被切削层长度 l ： $l = 19mm$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{a_p}{\tan k_r} + (2 \sim 3) = \frac{2}{\tan 30^\circ} + 2 \approx 5.4mm$$

刀具切出长度 l_2 ： $l_2 = 3 \sim 5mm$ 取 $l_2 = 4mm$

行程次数 i ： $i = 1$

$$\text{机动时间 } t_{j1}: t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{19 + 5.4 + 4}{33.6} \times 1 \approx 0.85min$$

(2)、精镗 $\phi 120^{+0.03} mm$ 孔

切削深度 a_p ： $a_p = 2mm$

进给量 f ：根据切削深度 $a_p = 1mm$ ，再参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66。

因此确定进给量 $f = 0.5mm/r$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-66，取 $V = 0.4m/s = 24m/min$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 24}{3.14 \times 120} \approx 63.7r/min, \text{ 取 } n = 64r/min$$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 120 \times 64}{1000 \times 60} \approx 0.4m/s$$

工作台每分钟进给量 f_m : $f_m = fn = 0.5 \times 64 = 32 \text{ mm/min}$

被切削层长度 l : $l = 19 \text{ mm}$

$$\text{刀具切入长度 } l_1: l_1 = \frac{a_p}{\tan k_r} + (2 \sim 3) = \frac{2}{\tan 30^\circ} + 2 \approx 5.4 \text{ mm}$$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 3 \sim 5 \text{ mm}$ 取 $l_2 = 3 \text{ mm}$

行程次数 i : $i = 1$

$$\text{切削深度 } a_p: a_p = 1 \text{ mm} \text{ 机动时 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{19 + 5.4 + 3}{32} \times 1 \approx 0.86 \text{ min}$$

(3)、精镗 $\phi 100^{+0.035} \text{ mm}$ 孔

进给量 f : 由于 $\phi 100^{+0.035} \text{ mm}$ 与 $\phi 80^{+0.013} \text{ mm}$ 孔同轴, 因此取 $f = 0.4 \text{ mm/r}$

机床主轴转速 n : 由于 $\phi 100^{+0.035} \text{ mm}$ 与 $\phi 80^{+0.013} \text{ mm}$ 孔同轴, 因此 $n = 84 \text{ r/min}$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 100 \times 84}{1000 \times 60} \approx 0.44 \text{ m/s}$$

工作台每分钟进给量 f_m : $f_m = fn = 0.4 \times 84 = 33.6 \text{ mm/min}$

被切削层长度 l : $l = 4 \text{ mm}$

行程次数 i : $i = 1$

机动时间 t_{j3} : 由于 $\phi 100^{+0.035} \text{ mm}$ 与 $\phi 80^{+0.013} \text{ mm}$ 孔同轴, 应在相同的时间内完

成加工, 因此 $t_{j3} = t_{j1} = 0.85 \text{ min}$

由于 $t_{j2} > t_{j1} = t_{j3}$

\therefore 本工序机动时间 t_j : $t_j = t_{j2} = 0.86 \text{ min}$

工序 12: 攻 $1''$ 锥管螺纹孔

机床: 组合攻丝机

刀具: 高速钢机动丝锥

进给量 f : 由于其螺距 $p = 2 \text{ mm}$, 因此进给量 $f = 2 \text{ mm/r}$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-105, 取 $V = 0.5 \text{ m/s} = 30 \text{ m/min}$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 30}{3.14 \times 32.5} \approx 294 \text{ r/min}, \text{ 取 } n = 250 \text{ r/min}$$

丝锥回转转速 n_0 : 取 $n_0 = 250r/min$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 32.5 \times 250}{1000 \times 60} \approx 0.43m/s$$

被切削层长度 l : $l = 10mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = (1 \sim 3)f = 3 \times 2 = 6mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = (2 \sim 3)f = 3 \times 2 = 6mm$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j : t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} + \frac{l + l_1 + l_2}{fn_0} = \frac{10 + 6 + 6}{2 \times 250} + \frac{10 + 6 + 6}{2 \times 250} \approx 0.1min$$

工序 13: 前后端面螺孔攻丝

机床: 组合攻丝机

刀具: 钒钢机动丝锥

(1)、M10-6H 螺孔攻丝

进给量 f : 由于其螺距 $p = 1.5mm$, 因此进给量 $f = 1.5mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-105, 取

$$V = 0.148m/s = 8.88m/min$$

$$\text{机床主轴转速 } n : n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 8.88}{3.14 \times 10} \approx 283r/min, \text{ 取 } n = 250r/min$$

丝锥回转转速 n_0 : 取 $n_0 = 250r/min$

$$\text{实际切削速度 } V' : V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 10 \times 250}{1000 \times 60} \approx 0.13m/s$$

被切削层长度 l : $l = 15mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = (1 \sim 3)f = 3 \times 1.5 = 4.5mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$ (盲孔)

$$\text{机动时间 } t_{j1} : t_{j1} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} + \frac{l + l_1 + l_2}{fn_0} = \frac{15 + 4.5}{1.5 \times 250} + \frac{15 + 4.5}{1.5 \times 250} \approx 0.11min$$

(2)、M14-6H 螺孔攻丝

进给量 f : 由于其螺距 $p = 1.5mm$, 因此进给量 $f = 1.5mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-105, 取 $V = 0.2m/s = 12m/min$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 12}{3.14 \times 14} \approx 273r/min, \text{ 取 } n = 250r/min$$

丝锥回转转速 n_0 : 取 $n_0 = 250r/min$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 14 \times 250}{1000 \times 60} \approx 0.18m/s$$

被切削层长度 l : $l = 15mm$

刀具切入长度 l_1 : $l_1 = (1 \sim 3)f = 3 \times 1.5 = 4.5mm$

刀具切出长度 l_2 : $l_2 = 0$ (盲孔)

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_{j2}: t_{j2} = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} + \frac{l + l_1 + l_2}{fn_0} = \frac{15 + 4.5}{1.5 \times 250} + \frac{15 + 4.5}{1.5 \times 250} \approx 0.11min$$

\therefore 本工序机动时间 t_j : $t_j = t_{j1} = t_{j2} = 0.11min$

工序 14: 两侧窗口面上螺孔攻丝

机床: 组合攻丝机

刀具: 钒钢机动丝锥

进给量 f : 由于其螺距 $p = 1.5mm$, 因此进给量 $f = 1.5mm/r$

切削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-105, 取

$$V = 0.148m/s = 8.88m/min$$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 8.88}{3.14 \times 10} \approx 283r/min, \text{ 取 } n = 250r/min$$

丝锥回转转速 n_0 : 取 $n_0 = 250r/min$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 10 \times 250}{1000 \times 60} \approx 0.13m/s$$

由工序 4 可知: $l = 30mm$ $l_1 = 4.5mm$ $l_2 = 0$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} + \frac{l + l_1 + l_2}{fn_0} = \frac{30 + 4.5}{1.5 \times 250} + \frac{30 + 4.5}{1.5 \times 250} \approx 0.18min$$

工序 15：顶面螺孔攻丝

机床：组合攻丝机

刀具：钒钢机动丝锥

进给量 f ：由于其螺距 $p = 1.5mm$, 因此进给量 $f = 1.5mm/r$

切削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-105, 取

$$V = 0.148m/s = 8.88m/min$$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 8.88}{3.14 \times 10} \approx 283r/min, \text{ 取 } n = 250r/min$$

丝锥回转转速 n_0 ：取 $n_0 = 250r/min$

$$\text{实际切削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 10 \times 250}{1000 \times 60} \approx 0.13m/s$$

$$\text{由工序 2 可知: } l = 20mm \quad l_1 = 4.5mm \quad l_2 = 0$$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{fn} + \frac{l + l_1 + l_2}{fn_0} = \frac{20 + 4.5}{1.5 \times 250} + \frac{20 + 4.5}{1.5 \times 250} \approx 0.13 \text{ min}$$

工序 17：精铣两侧面

机床：组合铣床

刀具：硬质合金端铣刀 YG8 $d_w = 320mm$, 齿数 $Z = 12$

铣削深度 a_p ： $a_p = 1.5mm$

每齿进给量 a_f ：根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.15mm/Z$

铣削速度 V ：参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 $V = 3.5m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 3.5 \times 60}{3.14 \times 320} \approx 209r/min, \text{ 取 } n = 200r/min$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 320 \times 200}{1000 \times 60} \approx 3.35m/s$$

$$\text{进给量 } V_f: V_f = a_f Z n = 0.15 \times 12 \times 200 / 60 = 6mm/s$$

$$\text{工作台每分进给量 } f_m: f_m = V_f = 6mm/s = 360mm/min$$

刀具切入长度 l_1 : 精铣时 $l_1 = D = 320mm$

由工序 3 可知: $l = 140mm$ $l_2 = 2mm$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{140 + 320 + 2}{360} \approx 1.28 \text{ min}$$

工序 18: 精铣前后端面

机床: 组合铣床

刀具: 硬质合金端铣刀 (面铣刀) $d_w = 400mm$ 齿数 $Z = 14$

铣削深度 a_p : $a_p = 0.5mm$

每齿进给量 a_f : 根据《机械加工工艺手册》表 2.4-73, 取 $a_f = 0.15mm/Z$

铣削速度 V : 参照《机械加工工艺手册》表 2.4-81, 取 $V = 6m/s$

$$\text{机床主轴转速 } n: n = \frac{1000V}{\pi d_0} = \frac{1000 \times 6 \times 60}{3.14 \times 400} \approx 287r/min, \text{ 取 } n = 300r/min$$

$$\text{实际铣削速度 } V': V' = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{3.14 \times 400 \times 300}{1000 \times 60} \approx 6.28m/s$$

进给量 V_f : $V_f = a_f Z n = 0.15 \times 14 \times 300 / 60 \approx 10.5mm/s$

工作台每分进给量 f_m : $f_m = V_f = 10.5mm/s = 630mm/min$

刀具切入长度 l_1 : 精铣时 $l_1 = D = 400mm$

由工序 5 可知: $l = 329mm$ $l_2 = 2mm$

走刀次数为 1

$$\text{机动时间 } t_j: t_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_m} = \frac{329 + 400 + 2}{630} \approx 1.16 \text{ min}$$

1.7 时间定额计算及生产安排

根据设计任务要求, 该汽车变速箱的年产量为 10 万件。一年以 240 个工作日计算, 每天的产量应不低于 417 件。设每天的产量为 420 件。再以每天 8 小时工作时间计算, 则每个工件的生产时间应不大于 1.14min。

参照《机械加工工艺手册》表 2.5-2, 机械加工单件（生产类型：中批以上）时间定额的计算公式为：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) + t_{zz} / N \quad (\text{大量生产时 } t_{zz} / N \approx 0)$$

因此在大批量生产时单件时间定额计算公式为：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%)$$

其中： t_d — 单件时间定额

t_j — 基本时间（机动时间）

t_f — 辅助时间。用于某工序加工每个工件时都要进行的各种辅助动

作所消耗的时间，包括装卸工件时间和有关工步辅助时间

k — 布置工作地、休息和生理需要时间占操作时间的百分比值

工序 1：粗、精铣顶面

机动时间 t_j ： $t_j = 1.73 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-43, 取工步辅助时间为 0.15 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.15 + 0.1 = 0.25 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48, $k = 13$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (1.73 + 0.25)(1 + 13\%) \approx 2.24 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时，

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{2.24}{2} = 1.12 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 2：钻顶面孔、铰定位孔

机动时间 t_j ： $t_j = 0.33 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-41, 取工步辅助时间为 0.44 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.44 + 0.1 = 0.54 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-43, $k = 12.14$

单间时间定额 t_d :

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.33 + 0.54)(1 + 12.14\%) \approx 0.98 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 3: 粗铣两侧面及凸台

机动时间 t_j : $t_j = 0.46 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照《机械加工工艺手册》表 2.5-45, 取工步辅助时间为 0.41 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短, 所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.41 + 0.1 = 0.51 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48, $k = 13$

单间时间定额 t_d :

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.46 + 0.51)(1 + 13\%) \approx 1.10 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 4: 钻两侧面孔

机动时间 t_j : $t_j = 0.17 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照《机械加工工艺手册》表 2.5-41, 取工步辅助时间为 0.44 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短, 所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.44 + 0.1 = 0.54 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-43, $k = 12.14$

单间时间定额 t_d :

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.17 + 0.54)(1 + 12.14\%) \approx 0.80 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 5: 粗铣前后端面

机动时间 t_j : $t_j = 0.53 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照《机械加工工艺手册》表 2.5-45, 取工步辅助时间为 0.31 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短, 所以取装卸工件时间为 0.1 min 。

则 $t_f = 0.31 + 0.1 = 0.41 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48， $k = 13$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.53 + 0.41)(1 + 13\%) \approx 1.06 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 6：半精铣前后端面

机动时间 t_j ： $t_j = 0.53 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-45，取工步辅助时间为 0.31min。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.1min。

则 $t_f = 0.31 + 0.1 = 0.41 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48， $k = 13$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.53 + 0.41)(1 + 13\%) \approx 1.06 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 7：钻倒车齿轮轴孔、钻前后端面上孔

机动时间 t_j ： $t_j = 0.76 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-41，取工步辅助时间为 0.44min。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.1min。

则 $t_f = 0.44 + 0.1 = 0.54 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-43， $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.76 + 0.54)(1 + 12.14\%) \approx 1.46 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时，

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{1.46}{2} = 0.73 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 8：铣倒车齿轮轴孔内端面、钻加油孔

由于钻加油孔机动时间与辅助时间均大于铣倒车齿轮轴孔内端面所用的时间，因此应以钻加油孔所用时间计算单件时间定额。

机动时间 t_j ： $t_j = 0.26 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-41，取工步辅助时间为 0.44 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.44 + 0.1 = 0.54 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-43， $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.26 + 0.54)(1 + 12.14\%) \approx 0.90 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 9：粗镗前后端面支承孔

机动时间 t_j ： $t_j = 0.97 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-37，取工步辅助时间为 0.80 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.15 min 。则 $t_f = 0.80 + 0.15 = 0.95 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-39， $k = 14.83$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.97 + 0.95)(1 + 14.83\%) \approx 2.20 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时，

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{2.20}{2} = 1.10 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 10：攻1" 锥管螺纹孔

机动时间 t_j ： $t_j = 0.1 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照钻孔辅助时间，取装卸工件辅助时间为 0.1 min ，工步辅

助时间为 0.4 min。则 $t_f = 0.4 + 0.1 = 0.5 \text{ min}$

k ：参照钻孔 k 值，取 $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.1 + 0.5)(1 + 12.14\%) \approx 0.67 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 11：精镗支承孔

机动时间 t_j ： $t_j = 0.86 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照《机械加工工艺手册》表 2.5-37，取工步辅助时间为 0.80 min。由于在生产线上装卸工件时间很短，所以取装卸工件时间为 0.15 min。则 $t_f = 0.80 + 0.15 = 0.95 \text{ min}$

k ：根据《机械加工工艺手册》表 2.5-39， $k = 14.83$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.86 + 0.95)(1 + 14.83\%) \approx 2.09 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时，

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{2.09}{2} \approx 1.05 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 12：前端面螺纹孔攻丝

机动时间 t_j ： $t_j = 0.11 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照钻孔辅助时间，取装卸工件辅助时间为 0.1 min，工步辅助时间为 0.4 min。则 $t_f = 0.4 + 0.1 = 0.5 \text{ min}$

k ：参照钻孔 k 值，取 $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.11 + 0.5)(1 + 12.14\%) \approx 0.68 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 14：精铣前端面

机动时间 t_j : $t_j = 1.16 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照《机械加工工艺手册》表 2.5-45, 取工步辅助时间为 0.41 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短, 所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.41 + 0.1 = 0.51 \text{ min}$

k : 根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48, $k = 13$

单间时间定额 t_d :

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (1.16 + 0.51)(1 + 13\%) \approx 1.89 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时,

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{1.89}{2} \approx 0.95 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 15: 精铣两侧面

机动时间 t_j : $t_j = 1.28 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照《机械加工工艺手册》表 2.5-45, 取工步辅助时间为 0.41 min 。由于在生产线上装卸工件时间很短, 所以取装卸工件时间为 0.1 min 。则 $t_f = 0.41 + 0.1 = 0.51 \text{ min}$

k : 根据《机械加工工艺手册》表 2.5-48, $k = 13$

单间时间定额 t_d :

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (1.28 + 0.51)(1 + 13\%) \approx 2.02 \text{ min} > 1.14 \text{ min}$$

因此应布置两台机床同时完成本工序的加工。当布置两台机床时,

$$t_d' = \frac{t_d}{2} = \frac{2.02}{2} = 1.01 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

即能满足生产要求

工序 16: 两侧窗口面上螺纹攻丝

机动时间 t_j : $t_j = 0.18 \text{ min}$

辅助时间 t_f : 参照钻孔辅助时间, 取装卸工件辅助时间为 0.1 min , 工步辅

助时间为 0.4 min。则 $t_f = 0.4 + 0.1 = 0.5 \text{ min}$

k ：参照钻孔 k 值，取 $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.18 + 0.5)(1 + 12.14\%) \approx 0.76 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

工序 17：顶面螺纹孔攻丝

机动时间 t_j ： $t_j = 0.13 \text{ min}$

辅助时间 t_f ：参照钻孔辅助时间，取装卸工件辅助时间为 0.1 min，工步辅

助时间为 0.4 min。则 $t_f = 0.4 + 0.1 = 0.5 \text{ min}$

k ：参照钻孔 k 值，取 $k = 12.14$

单间时间定额 t_d ：

$$t_d = (t_j + t_f)(1 + k\%) = (0.13 + 0.5)(1 + 12.14\%) \approx 0.71 \text{ min} < 1.14 \text{ min}$$

因此布置一台机床即能满足生产要求。

第二章 专用夹具设计

为了提高劳动生产率，保证加工质量，降低劳动强度。在加工汽车变速箱箱体零件时，需要设计专用夹具。

根据任务要求中的设计内容，需要设计加工工艺孔夹具及铣前后端面夹具各一套。其中加工工艺孔的夹具将用于组合钻床，刀具分别为两把麻花钻、扩孔钻、铰刀对工件上的两个工艺孔同时进行加工。铣端面夹具将用于组合铣床，刀具为两把硬质合金端铣刀 YG8 对变速箱箱体的前后两个端面同时进行加工。

2.1 加工工艺孔夹具设计

本夹具主要用来钻、扩、铰两个工艺孔 $\phi 12mm$ 。这两个工艺孔均有尺寸精度要求为 $+0.027mm$ ，表面粗糙度要求，表面粗糙度为 $6.2\mu m$ ，与顶面垂直。并用于以后各面各孔加工中的定位。其加工质量直接影响以后各工序的加工精度。本到工序为汽车变速箱体加工的第二道工序，加工到本道工序时只完成了顶面的粗、精铣。因此再本道工序加工时主要应考虑如何保证其尺寸精度要求和表面粗糙度要求，以及如何提高劳动生产率，降低劳动强度。

2.1.1 定位基准的选择

由零件图可知，两工艺孔位于零件顶面上，其有尺寸精度要求和表面粗糙度要求并应与顶面垂直。为了保证所钻、铰的孔与顶面垂直并保证两工艺孔能在后续的孔系加工工序中使各重要支承孔的加工余量均匀。根据基准重合、基准统一原则。在选择两工艺孔的加工定位基准时，应尽量选择上一道工序即粗、精铣顶面工序的定位基准，以及设计基准作为其定位基准。因此加工工艺孔的定位基准应选择顶面作为主要定位基面以限制工件的三个自由度，以两个同轴的主要支承孔 $\phi 120mm$ 限制工件的两个自由度，在用工件的一个端面作为辅助定位限制工件的另一个自由度。

为了提高加工效率，根据工序要求用两把刀具对两个 $\phi 12mm$ 工艺孔同时进行加工。同时为了缩短辅助时间，准备采用气动夹紧方式夹紧。

2.1.2 切削力的计算与夹紧力分析

由于本道工序主要完成工艺孔的钻、扩、铰加工，而钻削力远远大于扩和铰的切削力。因此切削力应以钻削力为准。由《切削手册》得：

$$\text{钻削力} \quad F = 26Df^{0.8}HB^{0.6}$$

$$\text{钻削力矩} \quad T = 10D^{1.9}f^{0.8}HB_{0.6}$$

式中: $D = 12\text{mm}$

$$HB = HB_{\max} - \frac{1}{3}(HB_{\max} - HB_{\min}) = 255 - \frac{1}{3}(255 - 187) = 232$$

$$f = 0.15\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$$

$$\therefore F = 26 \times 12 \times 0.15^{0.8} \times 232^{0.6} = 1802.5\text{N}$$

$$T = 10 \times 12^{1.9} \times 0.15^{0.8} \times 232^{0.6} = 6488.8\text{N} \cdot \text{mm}$$

当用两把刀具同时钻削时: $F' = 2F = 2 \times 1802.5 = 2605\text{N}$

$$T' = 2T = 2 \times 6488.8 = 12977.6\text{N} \cdot \text{mm}$$

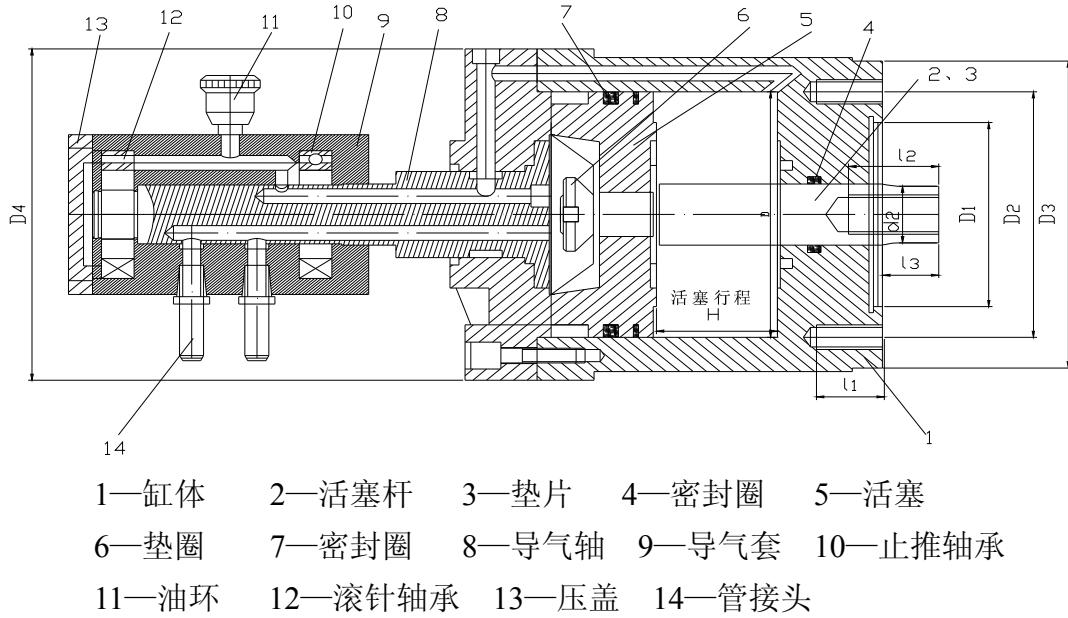
本道工序加工工艺孔时, 工件变速箱箱体放在两 V 形块上。依靠上面的活动钻模板下降夹紧工件, 夹紧力方向与钻削力方向相同。因此进行夹紧立计算无太大意义。只需连接两 V 形块的杠杆及固定杠杆的销钉强度、刚度适当即能满足加工要求。

2.1.3 夹紧元件及动力装置确定

由于汽车变速箱的生产量很大, 采用手动夹紧的夹具虽然结构简单, 在生产中的应用也比较广泛。但因人力有限, 夹紧受到限制。另外在大批量生产中靠人力频繁的夹紧也十分劳累且生产率低下。因此本道工序夹具的夹紧动力装置采用气动夹紧。采用气动夹紧, 原始夹紧力可以连续作用, 夹紧可靠, 机构可以不必自锁。

本道工序夹具的夹紧元件选用两短锥销、活柱钻模板。两短锥销分别在单活塞回转式气缸的活塞及心轴推动下进入工件支承孔 $\phi 120\text{mm}$ 中, 从水平方向夹紧工件。但工件仍可绕气缸心轴中心转动。活柱钻模板由气缸带动下降夹紧工件。

单活塞回转气缸结构图如下:



其主要结构参数如下：

D	H	P (公斤力)	D ₁		D ₂
			公称尺寸	公差	
100	35	310	75	+0.030	100
D ₃	D ₄	d ₁	d ₂	l ₁	l ₂
125	135	M10	M16	2	30
					n
				3	4

2.1.4 钻套、衬套、钻模板及夹具体设计

工艺孔的加工需钻、扩、铰三次切削才能满足加工要求。故选用快换钻套（其结构如下图所示）以减少更换钻套的辅助时间。根据工艺要求：工艺孔

$\phi 12^{+0.027} mm$ 分钻、扩、铰三个工步完成加工。即先用 $\phi 10 mm$ 的麻花钻钻孔，根

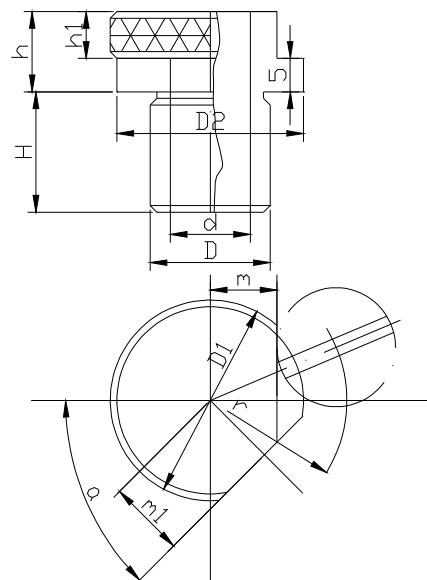
据 GB1141—84 的规定钻头上偏差为零，故钻套孔径为 $\phi 11F8mm$ 即 $\phi 11^{+0.034}_{+0.016} mm$ 。

再用 $\phi 11.85 mm$ 标准扩孔钻扩孔，根据 GB1141—84 的规定 $\phi 11.85 mm$ 扩孔钻的

尺寸为 $\phi 11.85^{0}_{-0.027} mm$ ，故钻套尺寸为 $\phi 11.85F7mm$ 即 $\phi 11.85^{-0.034}_{+0.016} mm$ 。最后用

$\phi 12 mm$ 的标准铰刀铰孔，根据 GB1141—84 的规定标准铰刀尺寸为 $\phi 12^{+0.015}_{+0.008} mm$

故钻套孔径尺寸为 $\phi 12^{+0.039}_{-0.021} \text{mm}$ 。

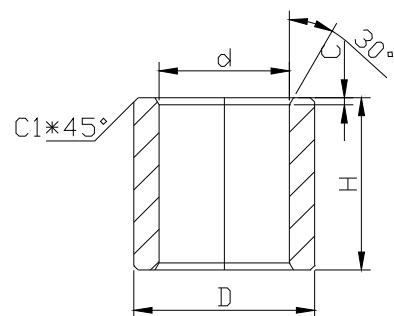


图：快换钻套

铰工艺孔钻套结构参数如下表：

d	H	D		D_1	D_2	h	h_1	m	m_1	r	α
		公称尺寸	允差								
12	18	18	$+0.023$ $+0.012$	30	28	12	7	10	11.5	20.5	45°

衬套选用固定衬套其结构如图所示：



其结构参数如下表：

d	H	D	C	C_1

公称尺寸	允差		公称尺寸	允差		
18	+0.018 0	24	25	+0.039 +0.025	1	0.6

钻模板选用悬挂式钻模板，在本夹具中选用的是气动滑柱式钻模板。利用夹具体内安装气缸，使滑柱带动升降板上升或下降由于气缸始终作用故不需要自锁机构。

夹具体的设计主要考虑零件的形状及将上述各主要元件联成一个整体。这些主要元件设计好后即可画出来夹具的设计装配草图。整个夹具的结构见夹具装配图 2 所示。

2.1.5 夹具精度分析

利用夹具在机床上加工时，机床、夹具、工件、刀具等形成一个封闭的加工系统。它们之间相互联系，最后形成工件和刀具之间的正确位置关系。因此在夹具设计中，当结构方案确定后，应对所设计的夹具进行精度分析和误差计算。

由工序简图可知，本道工序由于工序基准与加工基准重合，又采用顶面为主要定位基面，故定位误差 Δd_w 很小可以忽略不计。本道工序加工中主要保证两工艺孔尺寸 $\phi 12^{+0.027} mm$ 及位置度公差 $0.1mm$ 及表面粗糙度 $6.3 \mu m$ 。本道工序最后采用精铰加工，选用 GB1141—84 铰刀，直径为 $\phi 12^{+0.015}_{+0.008} mm$ ，并采用钻套，铰刀导套孔径为 $d = \phi 12^{+0.039}_{+0.021} mm$ ，外径为 $D = 18^{+0.023}_{+0.012} mm$ 同轴度公差为 $\phi 0.005 mm$ 。固定衬套采用孔径为 $\phi 18^{+0.034}_{+0.016} mm$ ，同轴度公差为 $\phi 0.005 mm$ 。

该工艺孔的位置度应用的是最大实体要求。即要求：(1)、各孔的实际轮廓受最大实体实效边界的控制即受直径为 $\phi 12 - \phi 0.1 = \phi 11.9 mm$ 的理想圆柱面的控制。(2)、各孔的体外作用尺寸不能小于最大实体实效尺寸 $\phi 12 mm$ 。(3)、当各孔的实际轮廓偏离其最大实体状态，即其直径偏离最大实体尺寸 $\phi 12 mm$ 时可将偏离量补偿给位置度公差。(4)、如各孔的实际轮廓处于最小实体状态即其实际直径为 $\phi 12.027 mm$ 时，相对于最大实体尺寸 $\phi 12 mm$ 的偏离量为 $\phi 0.027 mm$ ，此

时轴线的位置度误差可达到其最大值 $\phi 0.1 + \phi 0.027 = \phi 0.127 \text{ mm}$ 。即孔的位置度公差最小值为 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 。

工艺孔的尺寸 $\phi 12^{+0.027} \text{ mm}$ ，由选用的铰刀尺寸 $\phi 12_{+0.008}^{+0.015} \text{ mm}$ 满足。

工艺孔的表面粗糙度 $6.3 \mu\text{m}$ ，由本工序所选用的加工工步钻、扩、铰满足。

影响两工艺孔位置度的因素有 (如下图所示):

(1)、钻模板上两个装衬套孔的尺寸公差: $\Delta_1 = 0.005 \text{ mm}$

(2)、两衬套的同轴度公差: $\Delta_2 = 0.005 \text{ mm}$

(3)、衬套与钻套配合的最大间隙: $\Delta_3 = 18.034 - 18.012 = 0.022 \text{ mm}$

(4)、钻套的同轴度公差: $\Delta_4 = 0.005 \text{ mm}$

(5)、钻套与铰刀配合的最大间隙: $\Delta_5 = 12.039 - 12.008 = 0.031 \text{ mm}$

$$2\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta d_w^2} = 2 \times 0.039 = 0.078 \text{ mm} < 0.1 \text{ mm}$$

所以能满足加工要求。

2.1.6 夹具设计及操作的简要说明

钻铰工艺孔的夹具如夹具装配图 2 所示。装卸工件时，将小车拉出到支架 01 上，小车带有四个滚轮 04，可沿两条圆柱导轨灵活移动。工件装上后卡在三个斜块 24 中间。将小车连同工件推入夹具中时，螺钉 23 起限位作用。小车由滑柱 08 及弹簧 21 支承，夹紧工件时，小车可以压缩弹簧而自动下降。由于本工序在顶面钻铰孔，除了顶面已经加工以外，其余表面均尚未加工，为了保证所钻铰的孔与顶面垂直并保证两工艺孔能在后续的孔系加工工序中使各主要支承孔的加工余量均匀，所以钻铰孔工序的定位选择顶面作为主要定位基面以限制工件的三个自由度，以两个同轴的主要支承孔限制工件的两个自由度，再用工件端面限制一个自由度。本夹具采用活柱钻模板向下运动夹紧工件，钻模板装在四根滑柱 10 和 22 上，两根对角安装的滑柱 10 与气缸活塞相连，滑柱下移时，即可夹紧工件，操作时，先接通气缸使气缸活塞及心轴推动两个短锥销进入工件孔中，从水平方向夹紧工件。由于夹紧缸由弹簧 18 支承并安装在滑柱上，当活柱钻模板下降夹紧工件时，锥销连同气缸可以和工件一起下降。心轴装在滚针轴承及推力轴承上，即使水平方向已夹紧工件，但工件仍可绕心轴的中心转动。当滑柱 10、22 下降时，钻模板、工件也一起下降并迫使小车下降，工件则压在两个浮动 V 形块 06 上，两浮动 V 形块 06 通过杠杆 07 的转动而实现自

位。加工完后，滑柱升起，由弹簧 21 将小车和工件托起，拉出小车即可卸下工件。

2.2 粗铣前端面夹具设计

本夹具主要用来粗铣汽车变速箱箱体前端面。由加工本道工序的工序简图可知。粗铣前端面时，前端面有尺寸要求 $368 \pm 0.25\text{mm}$ ，前端面与工艺孔轴线分别有尺寸要求 $55_{-0.35}^{+0.65}\text{mm}$ 。以及前端面均有表面粗糙度要求 $Rz50$ 。本道工序仅是对前端面进行粗加工。因此在本道工序加工时，主要应考虑提高劳动生产率，降低劳动强度。同时应保证加工尺寸精度和表面质量。

2.2.1 定位基准的选择

在进行前端面粗铣加工工序时，顶面已经精铣，两工艺孔已经加工出。因此工件选用顶面与两工艺孔作为定位基面。选择顶面作为定位基面限制了工件的三个自由度，而两工艺孔作为定位基面，分别限制了工件的一个和两个自由度。即两个工艺孔作为定位基面共限制了工件的三个自由度。即一面两孔定位。工件以一面两孔定位时，夹具上的定位元件是：一面两销。其中一面为支承板，两销为一短圆柱销和一削边销。

为了提高加工效率，现决定用两把铣刀对汽车变速箱箱体的前端面同时进行粗铣加工。同时为了缩短辅助时间准备采用气动夹紧。

2.2.2 定位元件的设计

本工序选用的定位基准为一面两孔定位，所以相应的夹具上的定位元件应是一面两销。因此进行定位元件的设计主要是对短圆柱销和短削边销进行设计。

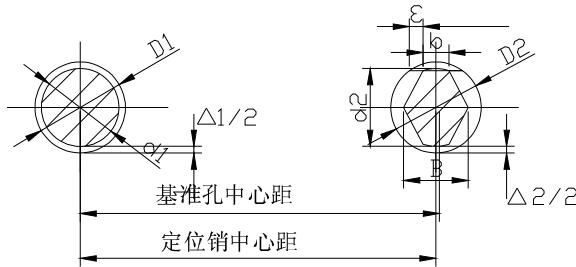
由加工工艺孔工序简图可计算出两工艺孔中心距 L_g 。

$$L_g = \sqrt{257^2 + 110^2} = 279.55\text{mm}$$

由于两工艺孔有位置度公差，所以其尺寸公差为 $\delta_{L_g} = \frac{1}{3} \times 0.1 = 0.03\text{mm}$

所以两工艺孔的中心距为 $279.55 \pm 0.03\text{mm}$ ，而两工艺孔尺寸为 $\phi 12^{+0.027}\text{mm}$ 。

根据《机床夹具设计手册》削边销与圆柱销的设计计算过程如下：



(1)、确定两定位销中心距尺寸 L_x 及其偏差 δ_{Lx}

$$L_x = L_g = 279.55 \text{ mm}$$

$$\delta_{Lx} = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3} \right) \delta_{Lg} = \frac{1}{3} \times 0.03 = 0.01 \text{ mm}$$

(2)、确定圆柱销直径 d_1 及其公差 δ_{d1}

$$d_1 = D_1 = 12 \text{ mm} \quad (D_1 \text{—基准孔最小直径})$$

$$\delta_{d1} \text{ 取 f7}$$

所以圆柱销尺寸为 $12^{-0.016}_{-0.034} \text{ mm}$

(3)、削边销的宽度 b 和 B (由《机床夹具设计手册》)

$$b = 4 \text{ mm} \quad B = D_2 - 2 = 10 \text{ mm}$$

(4)、削边销与基准孔的最小配合间隙 Δ_2

$$\Delta_2 = \frac{2b(\delta_{Lx} + \delta_{Lg} - \frac{\Delta_1}{2})}{D_2}$$

其中: D_2 —基准孔最小直径 Δ_1 —圆柱销与基准孔的配合间隙

$$\therefore \Delta_2 = \frac{2 \times 4 \times (0.01 + 0.03 - \frac{0.027}{2})}{12} = 0.018 \text{ mm}$$

(5)、削边销直径 d_2 及其公差

$$d_2 = D_2 - \Delta_2 = 12 - 0.018 = 11.982 \text{ mm}$$

按定位销一般经济制造精度, 其直径公差带为 $h6$, 则削边销的定位圆柱部分定位直径尺寸为 $\phi 11.982^0_{-0.009} \text{ mm}$ 。

(6)、补偿值 ε

$$\varepsilon = \delta_{Lg} + \delta_{Lx} - \frac{1}{2} \Delta_{1\min} = 0.03 + 0.01 - 0.008 = 0.032 \text{mm}$$

2.2.3 定位误差分析

本夹具选用的定位元件为一面两销定位。其定位误差主要为：

(1)、移动时基准位移误差 $\Delta_{j,y}$

$$\begin{aligned}\Delta_{j,y} &= \Delta d_1 + \Delta D_1 + X_{1\min} \\ &= 0.009 + 0.027 + 0.016 \\ &= 0.052 \text{mm}\end{aligned}$$

(2)、转角误差

$$\tan \Delta \theta = \frac{\Delta d_1 + \Delta D_1 + X_{1\min} + \Delta d_2 + \Delta D_2 + X_{2\min}}{2L}$$

$$\text{其中: } X_{2\min} = 2(\delta_{Lx} + \delta_{Lg} - \frac{X_{1\min}}{2})$$

$$\therefore \tan \Delta \theta = \frac{0.018 + 0.027 + 0.016 + 0.009 + 0.027 + 0.064}{2 \times 279.55} = 0.000288$$

$$\therefore \theta = 0.0165^\circ$$

2.2.4 铣削力与夹紧力计算

根据《机械加工工艺手册》可查得：

铣削力计算公式为

$$\text{圆周分力 } F_z = 9.81 \times 54.5 a_p^{0.9} a_f^{0.74} a_e^{1.0} Z d_0^{-1.0} k_{Fz}$$

$$\text{查表可得: } d_0 = 320 \text{mm} \quad Z = 12 \quad a_e = 192 \text{mm} \quad a_f = 0.2 \text{mm/z}$$

$$a_p = 3 \text{mm} \quad k_{Fz} = 1.06$$

$$\text{代入得 } F_z = 9.81 \times 54.5 \times 3^{0.9} \times 0.2^{0.74} \times 192 \times 12 \times 320^{-1.0} \times 1.06$$

$$= 3333.34 \text{N}$$

查表可得铣削水平分力、垂直分力、轴向分力与圆周分力的比值为：

$$F_L / F_E = 0.8 \quad F_V / F_E = 0.6 \quad F_x / F_E = 0.53$$

$$\therefore F_L = 0.8 F_E = 0.8 \times 3333.34 = 2666.7 \text{N}$$

$$F_V = 0.6 F_E = 0.6 \times 3333.34 = 2000.0 \text{N}$$

$$F_x = 0.53 F_E = 0.53 \times 3333.34 = 1766.7 \text{N}$$

当用两把铣刀同时加工时铣削水平分力 $F_L' = 2F_L = 2 \times 2666.7 = 5333.4 \text{N}$

铣削加工产生的水平分力应由夹紧力产生的摩擦力平衡。

$$\text{即: } F'_L = F \cdot \mu \quad (\mu = 0.3 \text{ 查表可得})$$

$$\therefore F = \frac{F'_L}{\mu} = \frac{5333.4}{0.3} = 17778N$$

计算出的理论夹紧力 F 再乘以安全系数 k 既为实际所需夹紧力 F'

$$\text{即: } F' = kF \quad \text{取 } k=2$$

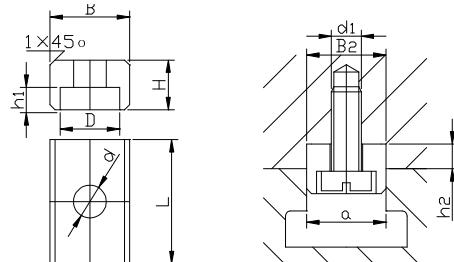
$$\therefore F' = 2 \times 17778 = 35556N$$

2.2.5 定向键与对刀装置设计

定向键安装在夹具底面的纵向槽中，一般使用两个。其距离尽可能布置的远些。通过定向键与铣床工作台 T 形槽的配合，使夹具上定位元件的工作表面对于工作台的送进方向具有正确的位置。定向键可承受铣削时产生的扭转力矩，可减轻夹紧夹具的螺栓的负荷，加强夹具在加工中的稳固性。

根据 GB2207—80 定向键结构如图所示：

夹具体槽形与螺钉

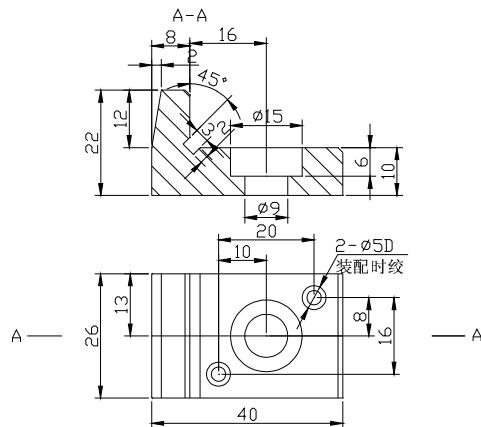


根据 T 形槽的宽度 $a=16mm$ 定向键的结构尺寸如下：

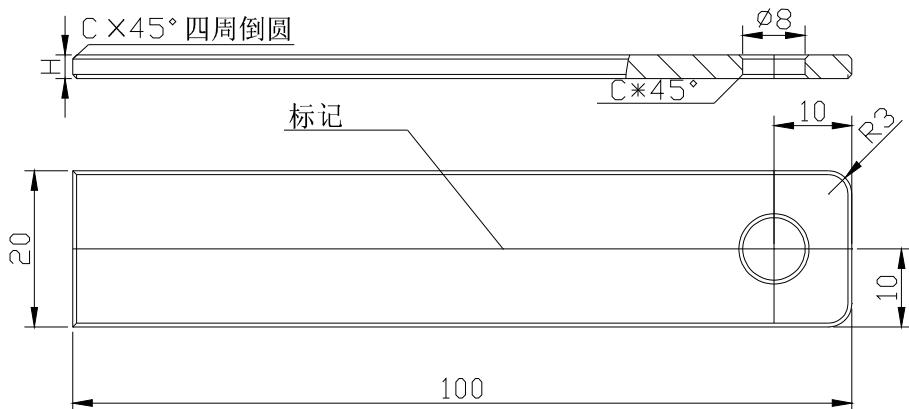
B			L	H	h	D	h_1	夹具体槽形尺寸		h_2
公称尺寸	允差 d	允差 d_4						B_2	公称尺寸	
16	-0.012	-0.035	25	10	4	12	4.5	16	+0.019	5

对刀装置由对刀块和塞尺组成，用来确定刀具与夹具的相对位置。

由于本道工序是完成汽车变速箱箱体前后端面的粗铣加工，所以选用直角对刀块。根据 GB2243—80 直角对刀块的结构和尺寸如图所示：



塞尺选用平塞尺，其结构如图所示：



塞尺尺寸为：

公称尺寸 H	允差 d	C
3	-0.006	0.25

2.2.6 夹紧装置及夹具体设计

为了提高生产效率，缩短加工中的辅助时间。因此夹紧装置采用气动夹紧装置。工件在夹具上安装好后，气缸活塞带动压块从上往下移动夹紧工件。

根据所需要的夹紧力 $F' = 35556N$ ，来计算气缸缸筒内径 D_0 。

$$\text{气缸活塞杆推力} \quad Q = \frac{\pi D_0^2}{4} P \eta$$

其中：P—压缩空气单位压力 (取 P=6 公斤力/厘米²)

η —效率 (取 $\eta = 0.9$)

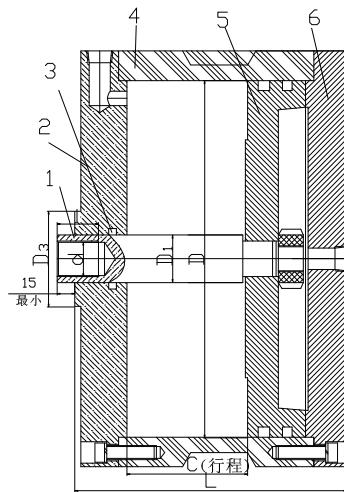
$$Q = F' = 3555.6 \text{ 公斤力}$$

$$\therefore D_0^2 = \frac{4Q}{\pi P \eta} = \frac{4 \times 3555.6}{3.14 \times 6 \times 0.9} = 838.8 \text{ 厘米}^2$$

$$D_0 = 28.96 \text{ 厘米}$$

$$\text{取 } D_0 = 30 \text{ 厘米} = 300 \text{ mm}$$

因此气缸选用管接式法兰气缸，其结构如下图所示：

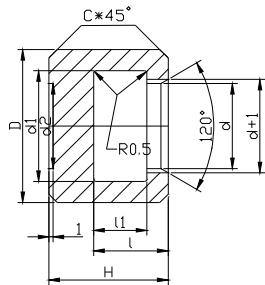


1—活塞杆 2—前盖 3—密封圈
4—缸筒 5—活塞 6—后盖

其主要结构参数如下表：

D	C	D ₁	D ₂		D ₃	D ₄	D
			公称尺寸	公差			
300	$\frac{40}{100}$	40	80	-0.060	190	350	$M30 \times 1.5$
d_1 英寸	d_2		$L \approx$	l	l_1	α	
	公称尺寸	孔数					
Z1/2"	M16	4	230	35	25	22°30'	

压块选用结构如图所示：



主要结构尺寸如下表：

d	D	H	d_1	d_2	l	l_1	C
M24	36	28	26	20	17.5	12.5	2

夹具体的设计主要考虑零件的形状及将上述各主要元件联成一个整体。这些主要元件设计好后即可画出夹具的设计装配草图。整个夹具的结构夹具装配图 3 所示。

2.2.7 夹具设计及操作的简要说明

本夹具用于汽车变速箱箱体前后端面的粗铣。夹具的定位采用一面两销，定位可靠，定位误差较小。其夹紧采用的是气动夹紧，夹紧简单、快速、可靠。有利于提高生产率。工件用吊环在夹具体上安装好后，压块在气缸活塞的推动下向下移动夹紧工件。当工件加工完成后，压块随即在气缸活塞的作用下松开工件，即可取下工件。由于本夹具用于变速箱体端面的粗加工，对其进行精度分析无太大意义。所以就略去对其的精度分析。

参考文献

- [1] 许晓旸, 专用机床设备设计, 重庆: 重庆大学出版社, 2003。
- [2] 孙已德, 机床夹具图册, 北京: 机械工业出版社, 1984。
- [3] 贵州工学院机械制造工艺教研室, 机床夹具结构图册, 贵阳: 贵州任命出版社, 1983。
- [4] 机械工程基础与通用标准实用丛书编委会, 形状和位置公差, 北京: 中国计划出版社, 2004。
- [5] 淘济贤等, 机床夹具设计, 北京: 机械工业出版社, 1986。
- [6] 储凯等, 机械工程材料, 重庆: 重庆大学出版社, 1998。
- [7] 廖念钊等, 互换性与技术测量, 北京: 中国计量出版社, 2000。
- [8] 狄瑞坤等, 机械制造工程, 杭州: 浙江大学出版社, 2001。
- [9] 贺光谊等, 画法几何及机械制图, 重庆: 重庆大学出版社, 1994。
- [10] 丁骏一, 典型零件制造工艺, 北京: 机械工业出版社, 1989。
- [11] 孙丽媛, 机械制造工艺及专用夹具设计指导, 北京: 冶金工业出版社, 2002。
- [12] 东北重型机械学院等, 机床夹具设计手册, 上海: 上海科学技术出版社, 1979。
- [13] 孟少龙, 机械加工工艺手册第1卷, 北京: 机械工业出版社, 1991。
- [14] 《金属机械加工工艺人员手册》修订组, 金属机械加工工艺人员手册, 上海: 上海科学技术出版社, 1979。
- [15] 李洪, 机械加工工艺手册, 北京: 机械工业出版社, 1990。
- [16] 马贤智, 机械加工余量与公差手册, 北京: 中国标准出版社, 1994。
- [17] 上海金属切削技术协会, 金属切削手册, 上海: 上海科学技术出版社, 1984。
- [18] 周永强, 高等学校毕业设计指导, 北京: 中国建材工业出版社, 2002。

致 谢

首先，我要感谢我的毕业设计指导老师陈广凌老师、张彦博老师。在毕业设计中，他们给予了我学术和指导性的意见。我万分的感谢他们给我的宝贵的指导意见和鼓励。

同时，我深深感谢姚必强老师、张敬东老师、乔水明老师、李泽容老师、周汝忠老师、党玉春老师、卢宗彪老师、张勇老师、翟秀云老师等。在他们的课堂上，我受益匪浅，得到了不少对我论文有帮助的知识和想法。

我也非常感谢我的父母。在学习和生活上，他们一直都很支持我，使我能全身心地投入到学习中。

最后，很感谢阅读这篇毕业设计（论文）的人们。感谢你们抽出宝贵的时间来阅读这篇毕业设计（论文）。

附件 1:

毕业设计(论文)任务书

机制 专业 2001 年级

2005 年 3 月 28 日批准

专业负责人: 乔水明

发给学生: 李尚勤

1. 毕业设计(论文)题目: 汽车变速箱加工工艺及夹具设计
2. 学生完成全部任务期限: 2005 年 6 月 17 日
3. 任务要求:
(1)、设计内容: 制订年产 10 万台汽车变速箱加工工艺, 设计铣端夹具及加工工艺孔夹具各一套。
(2)、图纸要求: 汽车变速箱零件工作图, 两套夹具装配图, 夹具专用零件图二到三张。
(3)、计算与说明: 加工工艺分析、工艺尺寸计算、定位误差计算、切削用量、工时定额计算、夹具精度分析、说明书、工艺卡。
4. 实验(调验)部分内容要求: -----

5. 文献查阅及翻译要求: (1)、翻译有关机械制造方面 10000 个字符以上的外文资料, 字数不得少于三千。

(2)、查阅资料: 机械制造工艺学、机械加工工艺人员手册、机床夹具手册、机床夹具图册、金属切削手册、典型零件机械加工工艺、毕业设计指导资料等 (不少于十五本资料)。

6. 发出日期: 2005 年 4 月 5 日

指导教师: 陈广凌 (签名)

指导教师: 张彦博 (签名)

完成任务日期: 2005 年 6 月 17 日

学生: 李尚勤 (签名)

附件 2：

毕业设计(论文)指导教师评语

学生: _____ 学号: _____ 专业: _____ 年级: _____

指导教师评语: _____

指导教师签名: _____

20--年--月--日

附件 3:

毕业设计(论文)评阅人评语

学生: ----- 学号: ----- 专业: ----- 年级: -----

题目: -----

评阅人评语: -----

评阅人签名: -----

日期: 20--年--月--日

附件 4:

毕业设计(论文)答辩小组评语

学生: ----- 学号: ----- 专业: ----- 年级: -----

题目: -----

答辩小组评语: -----

答辩成绩: -----

组长签名: -----

外语文献翻译

摘自：《制造工程与技术（机加工）》（英文版）

《Manufacturing Engineering and Technology—Machining》

机械工业出版社 2004 年 3 月第 1 版 P560—564 页

美 s. 卡尔帕基安(Serope kalpakjian)

s.r 施密德(Steven R.Schmid) 著

原文：

20.9 MACHINABILITY

The machinability of a material usually defined in terms of four factors:

- 1、 Surface finish and integrity of the machined part;
- 2、 Tool life obtained;
- 3、 Force and power requirements;
- 4、 Chip control.

Thus, good machinability good surface finish and integrity, long tool life, and low force And power requirements. As for chip control, long and thin (stringy) cured chips, if not broken up, can severely interfere with the cutting operation by becoming entangled in the cutting zone.

Because of the complex nature of cutting operations, it is difficult to establish relationships that quantitatively define the machinability of a material. In manufacturing plants, tool life and surface roughness are

generally considered to be the most important factors in machinability.

Although not used much any more, approximate machinability ratings are available in the example below.

20.9.1 Machinability Of Steels

Because steels are among the most important engineering materials (as noted in Chapter 5), their machinability has been studied extensively. The machinability of steels has been mainly improved by adding lead and sulfur to obtain so-called free-machining steels.

Resulfurized and Rephosphorized steels. Sulfur in steels forms manganese sulfide inclusions (second-phase particles), which act as stress raisers in the primary shear zone. As a result, the chips produced break up easily and are small; this improves machinability. The size, shape, distribution, and concentration of these inclusions significantly influence machinability. Elements such as tellurium and selenium, which are both chemically similar to sulfur, act as inclusion modifiers in resulfurized steels.

Phosphorus in steels has two major effects. It strengthens the ferrite, causing increased hardness. Harder steels result in better chip formation and surface finish. Note that soft steels can be difficult to machine, with built-up edge formation and poor surface finish. The second effect is that increased hardness causes the formation of short chips instead of

continuous stringy ones, thereby improving machinability.

Leaded Steels. A high percentage of lead in steels solidifies at the tip of manganese sulfide inclusions. In non-resulfurized grades of steel, lead takes the form of dispersed fine particles. Lead is insoluble in iron, copper, and aluminum and their alloys. Because of its low shear strength, therefore, lead acts as a solid lubricant (Section 32.11) and is smeared over the tool-chip interface during cutting. This behavior has been verified by the presence of high concentrations of lead on the tool-side face of chips when machining leaded steels.

When the temperature is sufficiently high—for instance, at high cutting speeds and feeds (Section 20.6)—the lead melts directly in front of the tool, acting as a liquid lubricant. In addition to this effect, lead lowers the shear stress in the primary shear zone, reducing cutting forces and power consumption. Lead can be used in every grade of steel, such as 10xx, 11xx, 12xx, 41xx, etc. Leaded steels are identified by the letter L between the second and third numerals (for example, 10L45). (Note that in stainless steels, similar use of the letter L means “low carbon,” a condition that improves their corrosion resistance.)

However, because lead is a well-known toxin and a pollutant, there are serious environmental concerns about its use in steels (estimated at 4500 tons of lead consumption every year in the production of steels).

Consequently, there is a continuing trend toward eliminating the use of lead in steels (lead-free steels). Bismuth and tin are now being investigated as possible substitutes for lead in steels.

Calcium-Deoxidized Steels. An important development is calcium-deoxidized steels, in which oxide flakes of calcium silicates (Ca₂SiO₅) are formed. These flakes, in turn, reduce the strength of the secondary shear zone, decreasing tool-chip interface and wear. Temperature is correspondingly reduced. Consequently, these steels produce less crater wear, especially at high cutting speeds.

Stainless Steels. Austenitic (300 series) steels are generally difficult to machine. Chatter can be a problem, necessitating machine tools with high stiffness. However, ferritic stainless steels (also 300 series) have good machinability. Martensitic (400 series) steels are abrasive, tend to form a built-up edge, and require tool materials with high hot hardness and crater-wear resistance. Precipitation-hardening stainless steels are strong and abrasive, requiring hard and abrasion-resistant tool materials.

The Effects of Other Elements in Steels on Machinability. The presence of aluminum and silicon in steels is always harmful because these elements combine with oxygen to form aluminum oxide and silicates, which are hard and abrasive. These compounds increase tool wear and reduce machinability. It is essential to produce and use clean

steels.

Carbon and manganese have various effects on the machinability of steels, depending on their composition. Plain low-carbon steels (less than 0.15% C) can produce poor surface finish by forming a built-up edge. Cast steels are more abrasive, although their machinability is similar to that of wrought steels. Tool and die steels are very difficult to machine and usually require annealing prior to machining. Machinability of most steels is improved by cold working, which hardens the material and reduces the tendency for built-up edge formation.

Other alloying elements, such as nickel, chromium, molybdenum, and vanadium, which improve the properties of steels, generally reduce machinability. The effect of boron is negligible. Gaseous elements such as hydrogen and nitrogen can have particularly detrimental effects on the properties of steel. Oxygen has been shown to have a strong effect on the aspect ratio of the manganese sulfide inclusions; the higher the oxygen content, the lower the aspect ratio and the higher the machinability.

In selecting various elements to improve machinability, we should consider the possible detrimental effects of these elements on the properties and strength of the machined part in service. At elevated temperatures, for example, lead causes embrittlement of steels (liquid-metal embrittlement, hot shortness; see Section 1.4.3), although

at room temperature it has no effect on mechanical properties.

Sulfur can severely reduce the hot workability of steels, because of the formation of iron sulfide, unless sufficient manganese is present to prevent such formation. At room temperature, the mechanical properties of resulfurized steels depend on the orientation of the deformed manganese sulfide inclusions (anisotropy). Rephosphorized steels are significantly less ductile, and are produced solely to improve machinability.

20.9.2 Machinability of Various Other Metals

Aluminum is generally very easy to machine, although the softer grades tend to form a built-up edge, resulting in poor surface finish. High cutting speeds, high rake angles, and high relief angles are recommended. Wrought aluminum alloys with high silicon content and cast aluminum alloys may be abrasive; they require harder tool materials. Dimensional tolerance control may be a problem in machining aluminum, since it has a high thermal coefficient of expansion and a relatively low elastic modulus.

Beryllium is similar to cast irons. Because it is more abrasive and toxic, though, it requires machining in a controlled environment.

Cast gray irons are generally machinable but are. Free carbides in castings reduce their machinability and cause tool chipping or fracture,

necessitating tools with high toughness. Nodular and malleable irons are machinable with hard tool materials.

Cobalt-based alloys are abrasive and highly work-hardening. They require sharp, abrasion-resistant tool materials and low feeds and speeds.

Wrought copper can be difficult to machine because of built-up edge formation, although cast copper alloys are easy to machine. Brasses are easy to machine, especially with the addition of lead (leaded free-machining brass). Bronzes are more difficult to machine than brass.

Magnesium is very easy to machine, with good surface finish and prolonged tool life. However care should be exercised because of its high rate of oxidation and the danger of fire (the element is pyrophoric).

Molybdenum is ductile and work-hardening, so it can produce poor surface finish. Sharp tools are necessary.

Nickel-based alloys are work-hardening, abrasive, and strong at high temperatures. Their machinability is similar to that of stainless steels.

Tantalum is very work-hardening, ductile, and soft. It produces a poor surface finish; tool wear is high.

Titanium and its alloys have poor thermal conductivity (indeed, the lowest of all metals), causing significant temperature rise and built-up

edge; they can be difficult to machine.

Tungsten is brittle, strong, and very abrasive, so its machinability is low, although it greatly improves at elevated temperatures.

Zirconium has good machinability. It requires a coolant-type cutting fluid, however, because of the explosion and fire.

20.9.3 Machinability of Various Materials

Graphite is abrasive; it requires hard, abrasion-resistant, sharp tools.

Thermoplastics generally have low thermal conductivity, low elastic modulus, and low softening temperature. Consequently, machining them requires tools with positive rake angles (to reduce cutting forces), large relief angles, small depths of cut and feed, relatively high speeds, and

proper support of the workpiece. Tools should be sharp.

External cooling of the cutting zone may be necessary to keep the chips from becoming “gummy” and sticking to the tools. Cooling can usually be achieved with a jet of air, vapor mist, or water-soluble oils. Residual stresses may develop during machining. To relieve these stresses, machined parts can be annealed for a period of time at temperatures ranging from 80°C to 160°C (175°F to 315°F), and then cooled slowly and uniformly to room temperature.

Thermosetting plastics are brittle and sensitive to thermal gradients during cutting. Their machinability is generally similar to that of thermoplastics.

Because of the fibers present, reinforced plastics are very abrasive and are difficult to machine. Fiber tearing, pulling, and edge delamination are significant problems; they can lead to severe reduction in the load-carrying capacity of the component. Furthermore, machining of these materials requires careful removal of machining debris to avoid contact with and inhaling of the fibers.

The machinability of ceramics has improved steadily with the development of nanoceramics (Section 8.2.5) and with the selection of appropriate processing parameters, such as ductile-regime cutting (Section 22.4.2).

Metal-matrix and ceramic-matrix composites can be difficult to machine, depending on the properties of the individual components, i.e., reinforcing or whiskers, as well as the matrix material.

20.9.4 Thermally Assisted Machining

Metals and alloys that are difficult to machine at room temperature can be machined more easily at elevated temperatures. In thermally assisted machining (hot machining), the source of heat—a torch, induction coil, high-energy beam (such as laser or electron beam), or

plasma arc—is forces, (b) increased tool life, (c) use of inexpensive cutting-tool materials, (d) higher material-removal rates, and (e) reduced tendency for vibration and chatter.

It may be difficult to heat and maintain a uniform temperature distribution within the workpiece. Also, the original microstructure of the workpiece may be adversely affected by elevated temperatures. Most applications of hot machining are in the turning of high-strength metals and alloys, although experiments are in progress to machine ceramics such as silicon nitride.

SUMMARY

Machinability is usually defined in terms of surface finish, tool life, force and power requirements, and chip control. Machinability of materials depends not only on their intrinsic properties and microstructure, but also on proper selection and control of process variables.

译文：

20.9 可机加工性

一种材料的可机加工性通常以四种因素的方式定义：

- 1、分的表面光洁性和表面完整性。
- 2、刀具的寿命。
- 3、切削力和功率的需求。
- 4、切屑控制。

以这种方式，好的可机加工性指的是好的表面光洁性和完整性，长的刀具寿命，低的切削力和功率需求。关于切屑控制，细长的卷曲切屑，如果没有被

切割成小片，以在切屑区变的混乱，缠在一起的方式能够严重的介入剪切工序。

因为剪切工序的复杂属性，所以很难建立定量地释义材料的可机加工性的关系。在制造厂里，刀具寿命和表面粗糙度通常被认为是可机加工性中最重要的因素。尽管已不再大量的被使用，近乎准确的机加工率在以下的例子中能够被看到。

20.9.1 钢的可机加工性

因为钢是最重要的工程材料之一（正如第 5 章所示），所以他们的可机加工性已经被广泛地研究过。通过宗教铅和硫磺，钢的可机加工性已经大大地提高了。从而得到了所谓的易切削钢。

二次硫化钢和二次磷化钢 硫在钢中形成硫化锰夹杂物（第二相粒子），这些夹杂物在第一剪切区引起应力。其结果是使切屑容易断开而变小，从而改善了可加工性。这些夹杂物的大小、形状、分布和集中程度显著的影响可加工性。化学元素如碲和硒，其化学性质与硫类似，在二次硫化钢中起夹杂物改性作用。

钢中的磷有两个主要的影响。它加强铁素体，增加硬度。越硬的钢，形成更好的切屑形成和表面光洁性。需要注意的是软钢不适合用于有积屑瘤形成和很差的表面光洁性的机器。第二个影响是增加的硬度引起短切屑而不是不断的细长的切屑的形成，因此提高可加工性。

含铅的钢 钢中高含量的铅在硫化锰夹杂物尖端析出。在非二次硫化钢中，铅呈细小而分散的颗粒。铅在铁、铜、铝和它们的合金中是不能溶解的。因为它的低抗剪强度。因此，铅充当固体润滑剂并且在切削时，被涂在刀具和切屑的接口处。这一特性已经被在机加工铅钢时，在切屑的刀具面表面有高浓度的铅的存在所证实。

当温度足够高时—例如，在高的切削速度和进刀速度下—铅在刀具前直接熔化，并且充当液体润滑剂。除了这个作用，铅降低第一剪切区中的剪应力，减小切削力和功率消耗。铅能用于各种钢号，例如 10XX, 11XX, 12XX, 41XX 等等。铅钢被第二和第三数码中的字母 L 所识别（例如，10L45）。（需要注意的是在不锈钢中，字母 L 的相同用法指的是低碳，提高它们的耐蚀性的条件）。

然而，因为铅是有名的毒素和污染物，因此在钢的使用中存在着严重的环境隐患（在钢产品中每年大约有 4500 吨的铅消耗）。结果，对于估算钢中含铅量的使用存在一个持续的趋势。铋和锡现正作为钢中的铅最可能的替代物而被人们所研究。

脱氧钙钢 一个重要的发展是脱氧钙钢，在脱氧钙钢中矽酸钙盐中的氧化物片的形成。这些片状，依次减小第二剪切区中的力量，降低刀具和切屑接口处的摩擦和磨损。温度也相应地降低。结果，这些钢产生更小的月牙洼磨损，特别是在高切削速度时更是如此。

不锈钢 奥氏体钢通常很难机加工。振动能成为一个问题，需要有高硬度的机床。然而，铁素体不锈钢有很好的可机加工性。马氏体钢易磨蚀，易于形成积屑瘤，并且要求刀具材料有高的热硬度和耐月牙洼磨损性。经沉淀硬化的不锈钢强度高、磨蚀性强，因此要求刀具材料硬而耐磨。

钢中其它元素在可机加工性方面的影响 钢中铝和矽的存在总是有害的，因为这些元素结合氧会生成氧化铝和矽酸盐，而氧化铝和矽酸盐硬且具有磨蚀性。这些化合物增加刀具磨损，降低可机加工性。因此生产和使用净化钢非常必要。

根据它们的构成，碳和锰钢在钢的可机加工性方面有不同的影响。低碳素钢（少于 0.15% 的碳）通过形成一个积屑瘤能生成很差的表面光洁性。尽管铸钢的可机加工性和锻钢的大致相同，但铸钢具有更大的磨蚀性。刀具和模具钢很难用于机加工，他们通常再煅烧后再机加工。大多数钢的可机加工性在冷加工后都有所提高，冷加工能使材料变硬并且减少积屑瘤的形成。

其它合金元素，例如镍、铬、钼和钒，能提高钢的特性，减小可机加工性。硼的影响可以忽视。气态元素比如氢和氮在钢的特性方面能有特别的有害影响。氧已经被证明了在硫化锰夹杂物的纵横比方面有很强的影响。越高的含氧量，就产生越低的纵横比和越高的可机加工性。

选择各种元素以改善可加工性，我们应该考虑到这些元素对已加工零件在使用中的性能和强度的不利影响。例如，当温度升高时，铝会使钢变脆（液体—金属脆化，热脆化，见 1.4.3 节），尽管其在室温下对力学性能没有影响。

因为硫化铁的构成，硫能严重的减少钢的热加工性，除非有足够的锰来防止这种结构的形成。在室温下，二次磷化钢的机械性能依赖于变形的硫化锰夹杂物的定位（各向异性）。二次磷化钢具有更小的延展性，被单独生成来提高机加工性。

20.9.2 其它不同金属的机加工性

尽管越软的品种易于生成积屑瘤，但铝通常很容易被机加工，导致了很差的表面光洁性。高的切削速度，高的前角和高的后角都被推荐了。有高含量的矽的锻铝合金铸铝合金也许具有磨蚀性，它们要求更硬的刀具材料。尺寸公差

控制也许在机加工铝时会成为一个问题，因为它有膨胀的高导热系数和相对低的弹性模数。

铍和铸铁相同。因为它更具磨蚀性和毒性，尽管它要求在可控人工环境下进行机加工。

灰铸铁普遍地可加工，但也有磨蚀性。铸造中的游离碳化物降低它们的可机加工性，引起刀具切屑或裂口。它需要具有强韧性的工具。具有坚硬的刀具材料的球墨铸铁和韧性铁是可加工的。

钴基合金有磨蚀性且高度加工硬化的。它们要求尖的且具有耐蚀性的刀具材料并且有低的走刀和速度。

尽管铸铜合金很容易机加工，但因为锻铜的积屑瘤形成因而锻铜很难机加工。黄铜很容易机加工，特别是有添加的铅更容易。青铜比黄铜更难机加工。

镁很容易机加工，镁既有很好的表面光洁性和长久的刀具寿命。然而，因为高的氧化速度和火种的危险(这种元素易燃)，因此我们应该特别小心使用它。

钼易拉长且加工硬化，因此它生成很差的表面光洁性。尖的刀具是很必要的。

镍基合金加工硬化，具有磨蚀性，且在高温下非常坚硬。它的可机加工性和不锈钢相同。

钽非常的加工硬化，具有可延性且柔软。它生成很差的表面光洁性且刀具磨损非常大。

钛和它的合金导热性(的确，是所有金属中最低的)，因此引起明显的温度升高和积屑瘤。它们是难机加工的。

钨易脆，坚硬，且具有磨蚀性，因此尽管它的性能在高温下能大大提高，但它的机加工性仍很低。

锆有很好的机加工性。然而，因为有爆炸和火种的危险性，它要求有一个冷却性质好的切削液。

20.9.3 各种材料的机加工性

石墨具有磨蚀性。它要求硬的、尖的，具有耐蚀性的刀具。

塑性塑料通常有低的导热性，低的弹性模数和低的软化温度。因此，机加工热塑性塑料要求有正前角的刀具(以此降低切削力)，还要求有大的后角，小的切削和走刀深的，相对高的速度和工件的正确支承。刀具应该很尖。

切削区的外部冷却也许很必要，以此来防止切屑变的有黏性且粘在刀具上。有了空气流，汽雾或水溶性油，通常就能实现冷却。在机加工时，残余应力也许能生成并发展。为了解除这些力，已机加工的部分要在 $80^{\circ}\text{C}—160^{\circ}\text{C}$ ($175^{\circ}\text{F}—315^{\circ}\text{F}$) 的温度范围内冷却一段时间，然而慢慢地无变化地冷却到室温。

热固性塑料易脆，并且在切削时对热梯度很敏感。它的机加工性和热塑性塑料的相同。

因为纤维的存在，加强塑料具有磨蚀性，且很难机加工。纤维的撕裂、拉出和边界分层是非常严重的问题。它们能导致构成要素的承载能力大大下降。而且，这些材料的机加工要求对加工残片仔细切除，以此来避免接触和吸进纤维。

随着纳米陶瓷（见 8.2.5 节）的发展和适当的参数处理的选择，例如塑性切削（见 22.4.2 节），陶瓷器的可机加工性已大大地提高了。

金属基复合材料和陶瓷基复合材料很能机加工，它们依赖于单独的成分的特性，比如说增强纤维或金属须和基体材料。

20.9.4 热辅助加工

在室温下很难机加工的金属和合金在高温下能更容易地机加工。在热辅助加工时（高温切削），热源——一个火把，感应线圈，高能束流（例如雷射或电子束），或等离子弧——被集中在切削刀具前的一块区域内。好处是：(a) 低的切削力。(b) 增加的刀具寿命。(c) 便宜的切削刀具材料的使用。(d) 更高的材料切除率。(e) 减少振动。

也许很难在工件内加热和保持一个不变的温度分布。而且，工件的最初微观结构也许被高温影响，且这种影响是相当有害的。尽管实验在进行中，以此来机加工陶瓷器如氮化矽，但高温切削仍大多数应用在高强度金属和高温度合金的车削中。

小结

通常，零件的可机加工性能是根据以下因素来定义的：表面粗糙度，刀具的寿命，切削力和功率的需求以及切屑的控制。材料的可机加工性能不仅取决于起内在特性和微观结构，而且也依赖于工艺参数的适当选择与控制。