



机械工人  
活叶学习材料

339

# 有色金属的切削

盖华 编 著

机械工业出版社

15-7  
64/339

## 一 什么是有色金属

机械制造业中常用的金属，按它的性质来分，可以分为两类：一类叫做黑色金属，就是钢和铁；另一类叫做有色金属，即金、银、铜、铝……等等，也就是说，除了钢和铁以外的所有金属都是有色金属。

有色金属分为四组：铜、锡以及它们的合金等，因为它本身的重量较重，所以叫做重金属；铝、镁以及它们的合金等，因为它们有较轻的重量，所以叫做轻金属；钨、钼、钴、钛等有色金属，这些有色金属的产量少，所以叫它们为稀有金属；金、银、铂等有色金属，价值非常高贵，所以把它们叫做贵金属。

## 二 有色金属的种类和它的机械性质

有色金属的种类很多，大约有数十种以上，但在工业中所常见的也不过只有几种。我们对这些常见的有色金属以及它们的合金作一概括的了解，这样在加工这些有色金属时，才更容易掌握它的性能，因为有色金属的性能对切削加工有很大的关系。我们在了解有色金属性能之前，应先知道这些性能所代表的意义是什么，下面就是这些性能所表示的意义：

1 导热性 金属在加热或冷却的时候，传导热量的一种能力就叫做导热性。金属的导热性越好，也就是说，它传热越快。有色金属中银和铜的导热性最好，铝稍差一些，铁的导热性比生铁大五倍。因为有色金属的导热性好，所以在切削时可用较高的切削速度。

**2 导电性** 金屬能够傳导电流的一种能力叫做导电性。在金屬中銀和銅的导电性最好，其次是鋁，因此，在电器工业中有很多零件都是用銅来制造的。

**3 磁性** 如果金屬容易被磁鉄所吸引，而在磁化以后又像磁鉄一样，叫做磁性。某些鋼料的特点就是有特別高的磁性，而有色金屬一般沒有磁性。

**4 强度** 金屬在受外力后，有不被破坏又不改变本身形状的一种能力，叫做强度。如果加在物体上的力是拉力的話，叫做抗拉强度；如果加在物体上的力是压力的話，叫做抗压强度。表示强度的大小是以单位面积（平方毫米）上能承受住多大的力量来衡量。每单位面积上能承受住最大的力量叫做极限强度。

一般說来，有色金屬的强度比黑色金屬的强度低，因此，切削就比較容易。

**5 塑性和脆性** 金屬在受到外力后，只变形而不破裂，并且在外力停止后仍保持变形的一种能力就叫塑性，有时也叫做受范性。脆性与它恰恰相反，脆性大的金屬，加外力后不变形而就断裂。純銅的塑性最好，所以可拉成各种銅絲或軋成各种銅板。黃銅的塑性就差些。

**6 硬度** 金屬抵抗另一种硬金屬压入它表面层的一种能力叫做硬度。常用的硬度有两种：一种是布氏硬度（用符号  $H_b$  表示）；另一种是洛氏硬度（用符号  $HR_c$  表示）。金屬的硬度越高，越不容易加工。有色金屬的硬度一般都比黑色金屬的硬度低，所以加工时也比較容易。

我們知道了这些性能的意义后，就可看一下有色金屬的性能了。

一、銅及銅合金——銅是我們非常熟悉的一种有色金屬材

料，不論在机械工业中和国防工业中用到它的地方都很多。銅分为純銅和銅合金两类：純銅又叫做紫銅，它有很好的导电性，性质很軟。含杂质少的純銅，多用来制造电綫和許多电工器材；另一种是銅合金（銅合金是銅中加入某一元素，以改变原来的机械性能），因为它所含的元素不同，銅合金又分两种，即黃銅和青銅。

黃銅是銅和鋅的合金，由于鋅在黃銅中所含的量不同，而使銅合金的机械性能也不一样，含鋅在30%左右的黃銅强度最好。在机械工业中常用的黃銅有下面几种：

**硅黃銅** 常用它来鑄造复杂的机械零件，或用它代替青銅，这种黃銅切削时很容易。

**鉛黃銅** 常用它来制造精密仪器的零件，鉛可以改善黃銅的切削性能，因此，鉛黃銅特別容易切削。

**錳黃銅** 多用它制造电器和汽車零件，它的减摩性和耐蝕性都很好。

此外还有錫黃銅，鉄黃銅和鎳黃銅等等，多用它来制造軸瓦、衬套等零件，以代替青銅。

青銅是銅和錫的合金，青銅的机械性能很好，但它的价值較貴，一般在机械工业中常用的青銅有以下几种：

**鋁青銅** 这种青銅的强度很好，容易加工，不怕侵蝕。

**鉛青銅** 它的减摩性能很好，常用它制造軸瓦、衬套等。

此外，还有硅青銅、磷青銅、鉍青銅都是在机械工业中常用到的一些青銅。

二、鋁及鋁合金——鋁不仅是航空工业中的主要材料，也是机械工业中一种不可少的原料，純鋁的强度很低，常加入某一种金屬来提高它的强度。鋁合金按工艺性质分为压力加工用的鋁合金和鑄造鋁合金两种。

**压力加工用铝合金** 这种铝合金比铸造用铝合金的机械性能高，它有高的强度、塑性、耐蚀性和良好的焊接性。它可预先制成各种铝坯，然后再经机械加工制成各种机械零件。这种铝合金如铝镁合金、铝锰合金、铝锰硅合金等等。

**铸造用铝合金** 铸造铝合金多用在航空和汽车工业中，一些形状复杂的零件及一些要求耐热性能高的零件，如飞机发动机的活塞、汽缸头等等多用这种合金铸造。常用的铸造铝合金有铝硅合金、铝镁合金和铝铜合金等等。

三、镁及镁合金——镁比铝还要轻，它的重量只不过是钢的1/4。纯镁的机械性能不好，也常与其他金属混合成合金后再应用。镁合金不但比纯镁的机械性能好，并且切削性能也好。镁合金也分为压力加工镁合金和铸造镁合金两种：

**压力加工用镁合金** 如镁锰合金、镁铝锌合金等等。这些合金的塑性都很好，焊接性也好，受切削性能也特别好，可用高速切削。

**铸造用镁合金** 如镁铝锌合金、镁硅合金、镁锰合金等等。这些合金的切削性能也特别好，可以用高速切削。

四、减摩合金——这种合金是用来制造轴瓦，所以也叫做轴瓦合金。这种合金有下面几个特点：能受高压，不怕腐蚀，能与轴承结合，润滑散热性好。减摩合金按其成分分为两类：

锡基和铅基轴承合金，又叫五金，是锡和铅加合金元素铜和锑，它有较高的强度和耐磨性。

铅青铜，用它制造压力大的轴瓦或速度高的轴瓦，因为这种合金较硬，能承受高压和散热性好。

### 三 有色金屬的切削

**1 切削的基本知識** 任何一部機器都是由許多大大小小的零件組合起來的，在製造這些零件時，必須在這些零件的表面切去一層層的金屬，然後才能夠得到我們所需要的形狀和尺寸。這種加工過程就叫金屬切削。金屬材料的強度愈高，切削時也愈困難。有色金屬的強度比黑色金屬低，所以容易切削。

金屬切削加工，就是：被加工金屬與切削刀具間產生一種相對運動，而把金屬層從被加工的金屬上切下來。切下來的金屬層就叫鐵屑。由於切削方式和被加工材料性質不同，切下的鐵屑也不一樣。當切削脆性材料時（如鑄鋁），鐵屑呈碎片狀；當切削塑性材料時（如純銅），鐵屑呈連續的帶狀。

**2 切削時產生的作用力** 切屑在從金屬上切下來時，有一壓力壓在刀具的前面上，如圖1是在車床上切削時產生的切削壓力。這個壓力只分為互相垂直的三個分力，如圖1中 $P_z$ 、 $P_y$ 、 $P_x$ 所示。 $P_z$ 分力叫做切削主分力，它是切削時消耗功率的主要因素，這個力越大，切削時耗費的功率越多。這個力的大小與被加工材料的強度有直接關係，材料的強度越大，這個分力也越大。一般來講，由於有色金屬的強度比黑色金屬的強度低，因此，在同一切削用量下，切削有色金屬比切削黑色金屬所消耗的功率也少。 $P_x$ 分力叫軸向分力，它與刀具主偏角的大小有直接關係，當主偏角大時，軸向分力也大。軸向分力過大，在縱向走刀時，就感到困難。 $P_y$ 分力叫徑向分力，它與刀具主偏角也發生直接關係，當主偏角大時，徑向分力反而小。如果徑向分力過大，在加工時工件就容易振動或產生彎曲。

圖2是銑削時產生的作用力，當銑刀刀齒切入金屬層時，就

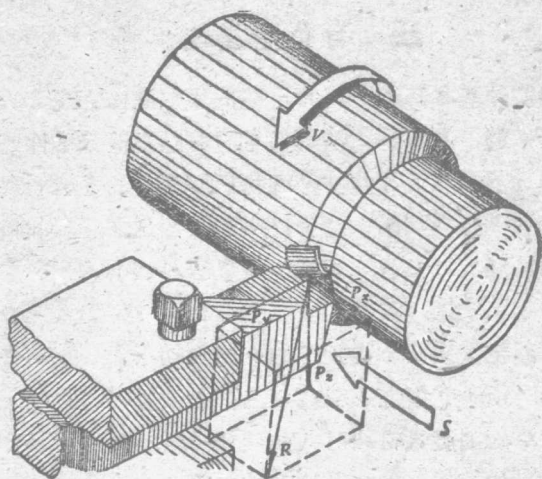


图1 切削分力。

在刀齿上产生一个压力  $R$ ，它可以分成两个分力：即圆周切削分力  $P_z$  和径向切削分力  $P_{p0}$ 。圆周切削分力  $P_z$  是在切削时消耗功率的主要因素，这个力越大，消耗的功率越多。径向力  $P_{p0}$  使刀杆弯曲或振动，因此径向力大了加工出来的工件表面光洁度较低。

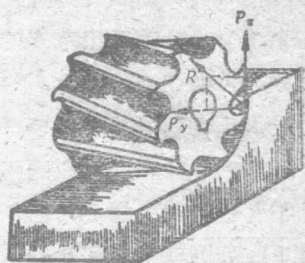


图2 铣切分力。

图3是钻孔时产生的作用力，在钻孔时钻头的两个切削刃同时切入金属，在两个切削刃上同时也产生两个压力，这两个压力的大小相等。把这个压力按互相垂直的方向可分为三个分力，如图3中所示的  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_{z0}$ 。两个  $P_y$  分力，它的大小相等方向相反，并且作用在一直线上，所以这两个分力可以抵消。两个  $P_x$  分



力分別作用在两个切削刃上，构成了一扭矩，这个扭矩越大时，钻孔时所消耗的功率也越多。 $P_z$ 分力的大小是与被加工材料、钻头直径和钻孔时的进给量有直接关系，当这些因素越大时， $P_z$ 分力也越大。 $P_z$ 分力叫轴向分力，这个分力越大，在送进时就感到困难， $P_z$ 分力的大小与钻头的顶角、钻头直径、被加工材料有直接关系，当这些因素越大时， $P_z$ 分力也越大。表1是钻有色金属时钻头顶角的大小。

各种形式的加工中，所产生的作用力是不一样的，这些分力的计算方法可参考机械工业出版社出版的机械工人活叶学习资料[机床切削马力的计算]一书，在这里就不再多讲了。



图3 钻切分力。

表1 钻头顶角 $2\phi$ 的数值表

| 被 加 工 材 料 | 顶 角 (度)                        |
|-----------|--------------------------------|
| 黄铜及青铜     | $130^{\circ} \sim 140^{\circ}$ |
| 紫铜        | $125^{\circ}$                  |
| 铝         | $140^{\circ}$                  |
| 镁铝合金及硅铝合金 | $90^{\circ} \sim 100^{\circ}$  |
| 铁合金       | $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$ |

**3 切削有色金属时刀具几何形状的选择** 刀具的几何形状就是刀具切削部分各表面的形状和这些表面在空间的位置。刀具合理的几何形状，对刀具的使用寿命、生产率和被加工件的表面质量都有很大的关系。



刀具的种类很多，但每种刀具都有相同的几何形状和角度，而这些角度在切削中所起的作用是一样的，就拿车刀作为例子来分析一下。

图4是车刀的几何形状和各部分的名称，它在切削中所起的作用和切削有色金属时最合理的数值介绍于下。

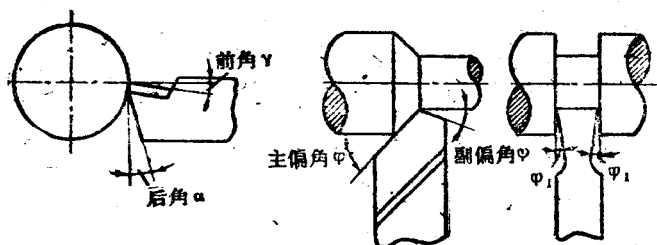


图4 车刀的几何形状。

**前角** 前角是刀具的一个主要角度，前角越大，刀具越容易切入金属里面，切屑越容易切下来，切削时耗费的功率也就少。但前角大了也有坏处，就是使刀尖部分的强度变弱，并且前角越大，切削时切屑的压力中心距刀尖越近（如图5），这样在刀尖地方就容易断碎和热量不易散出，刀具的寿命就降低。因为有色金属的强度比钢料的强度低，所以切削有色金属时刀具的前角要比切削钢料时刀具的前角稍大些。表2是加工有色金属时刀具前角的合理数值。

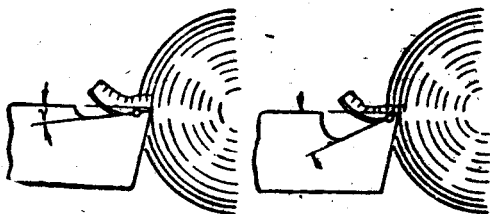


图5 前角大小与压力的关系。

**后角** 后角也是刀具的一个主要

表2 刀具前角 $\gamma$ 数值表

車 刀

銑 刀

| 被加工材料   | 前角(度)                        | 被加工材料   | 圓柱銑刀前角       | 立銑刀前角        |
|---------|------------------------------|---------|--------------|--------------|
| 鋁及鎂的輕合金 | $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ | 鋁合金     | $20^{\circ}$ | $15^{\circ}$ |
| 青銅及脆性黃銅 | $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ | 韌性黃銅    | $20^{\circ}$ | $20^{\circ}$ |
| 韌性黃銅    | $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ | 青銅及脆性黃銅 | $6^{\circ}$  | $8^{\circ}$  |

角度，后角越大，就会使刀尖部分变得銳利，切削时因被加工材料彈性变形而压在刀具后面的压力也就較小（如图6甲），另外后角越大，刀具刀口磨鈍时磨去的金屬越多（如图6乙），也就是說，使用的寿命也越长。但另一方面后角过大，会使刀尖部分的强度降低，刀具的寿命縮短，因此，在切削层很厚的情况下（如粗車），压在刀具前面上的压力很大，就可用小的后角，以增加刀

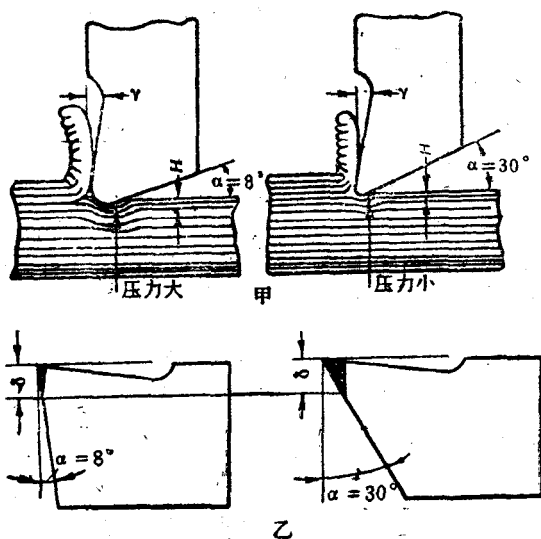


图6 后角大小与切削的关系。

尖的强度；当切削层很薄的情況下（如精車），刀具的后角加大，以减少由于被加工材料弹性变形而压在刀具后面的压力。表3是加工有色金属时刀具后角的合理数值。

表3 刀具主后角 $\alpha$ 数值表

| 車 刀                  |       | 銑 刀                 |       |
|----------------------|-------|---------------------|-------|
| 刀具类型和工作条件            | 后角(度) | 刀 具 类 型             | 后角(度) |
| 車刀(走刀量小于0.2毫米/轉)     | 12°   | 細齒圓柱銑刀及端銑刀          | 16°   |
| 車刀(走刀量大于0.2毫米/轉)     | 6°    | 粗齒鑲片圓柱銑刀及端銑刀        | 12°   |
| 刨刀(走刀量小于0.2毫米/轉)     | 8°    | 直齒粗齒双面刃及三面刃圓盤銑刀     | 20°   |
| 刨刀(走刀量大于0.2毫米/轉)     | 6°    | 直齒粗齒式鑲片的双面刃及三面刃圓盤銑刀 | 16°   |
| 內孔車刀(走刀量小于0.2毫米/轉)   | 12°   | 斜齒細齒双面刃及三面刃圓盤銑刀     | 16°   |
| 內孔車刀(走刀量大于0.2毫米/轉)   | 8°    | 斜齒粗齒式鑲片的双面刃及三面刃圓盤銑刀 | 12°   |
| 硬質合金車刀(走刀量小于0.3毫米/轉) | 8°    | 直徑小于10毫米圓柱柄或圓錐柄立銑刀  | 25°   |
| 硬質合金車刀(走刀量大于0.3毫米/轉) | 12°   | 直徑10~20毫米圓柱柄或圓錐柄立銑刀 | 20°   |
| 最后精加工用的硬質合金車刀        | 6°    | 直徑大于20毫米圓柱柄或圓錐柄立銑刀  | 16°   |

**主偏角** 主偏角的大小,会直接影响到被加工件的表面质量。当主偏角小时,能使刀具的使用寿命延长,但另一方面,主偏角小了,在切削时容易使工件产生振动或弯曲,所以在加工韧性好的材料时(如紫銅),或者是精加工时,应使主偏角大些。主偏角的大小可按表4中根据各种加工方式来选择合理的数值。

**主刀刀斜角** 这个角度有正、負和零度三种(如图7),負的主刀刀斜角会使鉄屑向外卷曲,这样就不易使鉄屑划伤工件已加工的表面,精加工时多用負的主刀刀斜角。在粗加工时为了要增加

表4 刀具主偏角 $\varphi$ 数值表

車 刀

銑 刀

| 切削时工作条件    | 主偏角(度)                       | 銑刀工作条件                          | 主偏角(度)       |
|------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 粗加工有色金屬工件时 | $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ | 直徑大于 150毫米的圓錐形端銑刀, 銑切层深到 3 毫米时  | $20^{\circ}$ |
| 工件有足够的剛性时  | $45^{\circ}$                 | 直徑大于 150毫米的端銑刀, 銑切层深在 3~5 毫米时   | $30^{\circ}$ |
| 精加工有色金屬工件时 | $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ | 直徑大于 150毫米的端銑刀, 銑切层深大于 5 毫米时    | $45^{\circ}$ |
| 精加工細長工件时   | $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ | 直徑小于 90毫米的雙面刃圓盤銑刀, 銑切层深到 2 毫米时  | $60^{\circ}$ |
|            |                              | 直徑小于 90毫米的雙面刃圓盤銑刀, 銑切层深 2~5 毫米时 |              |

刀刃的强度, 所以常用正的主刀刃斜角。用硬质合金刀具切削不連續表面时, 主刀刃斜角也应该大些。一般主刀刃斜角的数值从  $-4^{\circ}$  到  $+10^{\circ}$  范围内。

副后角和副偏角这两个角度的作用都会使刀具与被加工工件表面的摩擦减少, 有了这两个角度, 在切削时只是主刀刃和刀尖一点与被加工工件接触, 这样会使摩擦大大减少。車刀

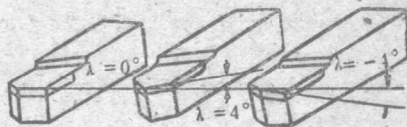
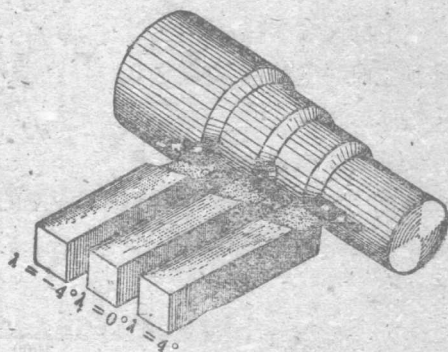


图7 主刀刃斜角。

的副后角一般采用 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ；端铣刀的副后角采用 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。

副偏角过大，会使刀尖减小，这样刀尖传热性就不好，刀具就容易磨损，车刀的副偏角采用 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 最好。

· **过渡切削刃** 过渡切削刃是为了增加刀尖部分的长度、改善散热情况，延长刀具的使用寿命。过渡切削刃的长度越长，而刀具的使用寿命也越长，加工后工件的表面光洁度也越好，不过过渡切削刃过长了，在加工时刀具容易产生振动，使工件加工面上出现波纹形状。过渡切削刃有圆弧和直线两种形式（如图8），但它的作用还是一样，只是直线的过渡切削刃在刀磨时比较容易。

过渡切削刃是根据加工情况来确定的，如粗加工时，它的圆弧半径可小些；精加工时，它的圆弧半径可大些。

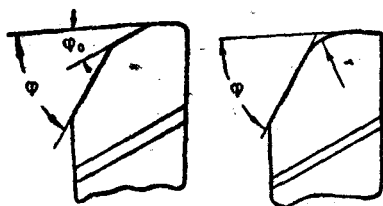


图8 过渡切削刃。

#### 4 切削有色金属时的切

**切削速度** 切削速度是工件要加工面上的一点，在每分钟內所移动的距离，它的单位用每分钟多少米来表示。写作米/分。如用公式来表示，即：

$$\text{切削速度} = \frac{\pi \times \text{工件加工表面直径} \times \text{工件每分钟转数}}{1000} \text{ (米/分)}。$$

例 加工一铝合金零件，加工的直径是100毫米，工件每分钟转500转，这时它的切削速度是多少？

解 用上式算出切削速度 =  $\frac{\pi \times 100 \times 500}{1000} = 157 \text{ (米/分)}。$

如果已知工件加工时的切削速度，也可算出机床主轴的转数。

即：

$$\text{机床主軸的轉數} = \frac{1000 \times \text{切削速度}}{\pi \times \text{工件加工表面直徑}} \text{ (轉/分)}。$$

例 上例中，我們已知工件的切削速度是每分鐘 120 米，机床主軸的轉數應該是少？

$$\text{解 用上式算出机床主軸轉數} = \frac{1000 \times 120}{\pi \times 100} = 382 \text{ (轉/分)}。$$

在算出机床的轉數后，不一定恰恰就与机床的轉數相等，这时可根据計算出来的轉數，在机床变速箱中选择接近这种轉數的速度。

在切削有色金屬时的切削速度，一般都比切削鋼料时的切削速度高 1~2 倍。本书末頁附表中是用各种加工方式加工有色金屬时的切削速度，是根据切削深度和走刀量来确定的。在选用附表中的切削速度时，先从表的豎行中选择适宜的进給量，再从横行中选择适宜的切削深度，在两行相交的地方就是它的切削速度。如工件是車平面，它的切削速度应稍高一些，可用車外圓时切削速度的 1~1.3 倍。

5 加工有色金屬工件时工件的装夾方法 有色金屬的特点是它的硬度低、剛性小，在夾紧这些工件时，如果不注意就很容易把工件夾变形或把工件已精加工的表面划傷，这样就往往使已加工好的工件，达不到我們的要求。例如，在加工一个不太厚的銅套时，如用普通三爪来把工件夾紧，因为工件与卡爪的接觸面太小，很容易把工件夾扁（如图 9），如工件已被夾扁，而又繼續加工，加工后的表面在夾紧时檢查，会有較高的精度，合乎我們的要求，但把卡爪松开，由于工件反彈性变

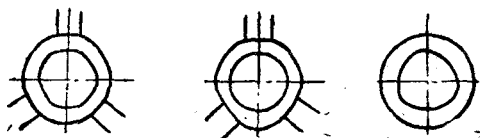


图 9 三爪卡盘卡紧工件。

形，而使工件已加工过的表面成了另一种几何形状，这样就达不到我們所要求的精度了。在这种情况下，应把普通三爪卡盘上换上三个专用卡爪，如图10，这种卡爪有較大的表面与工件接触，用这种卡爪来夹紧有色金属工件时，工件就不会再产生变形，因工件有大部分的表面与卡爪接触。

有些直径較大的工件，又不能采用上面这种专用卡爪，也可以用一种带压板的卡爪，工件的固定是靠这些压板来压紧的。如图11甲是加工銅圈

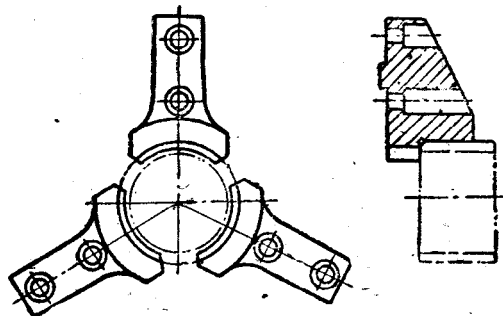


图10 专用三爪卡盘卡工件。

端面时用的一种卡爪。因为工件的直径較大，如靠三个卡爪把工件正确的夹紧是有困难的，这样很容易把工件夹扁，图11甲所示的卡爪，是卡爪只把工件正确的确定在一定的位罝，并把工件微微夹紧，然后靠螺钉1經摆动压板2把工件夹紧。图11乙是搪銅圈内孔时用的专用卡爪，工件夹紧也是靠螺钉1和压板2来夹紧的，卡爪也只是起定位作用。以上这两种卡爪，它与工件接触的表面都是在所使用的車床上一次加工出来的，因此，保证了卡爪的圆柱表面和端面对机床主軸中心的同心度和垂直度，加工出来的工件有很高的精度。

有时当工件的生产量較大时，可制造一个专用的开口套筒来装夹工件，这样又不会夹伤工件，也不会把工件夹扁。如图12是加工活塞时用的开口套筒，用普通三爪卡盘通过这个开口套筒把



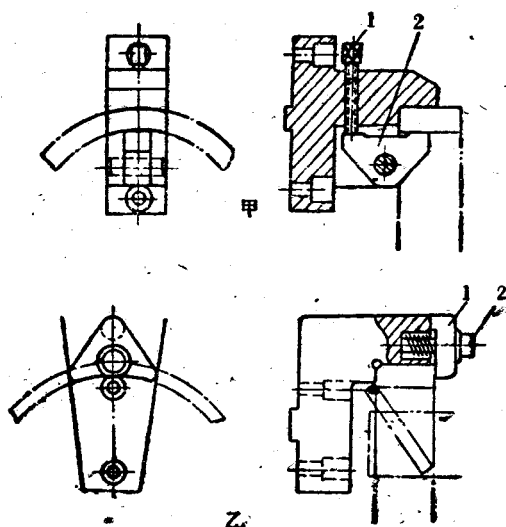


图11 加工圈端面的卡爪。

活塞夹紧，这样不会把活塞已加工表面夹坏；图13是加工汽缸筒时用的专用开口套筒和圆盘，在汽缸筒的左端是一个开口套筒，右端是一个与汽缸套配合的定位盘，在加工工件时，把工件经过开口套筒放在卡爪上，并把卡爪微微涨紧，把右端定位盘装到汽缸筒里，并用顶尖顶住圆盘的中心孔，就可加工汽缸筒的全部外表面，用这种方法加工的汽缸筒，具有很高的精度和光洁度。

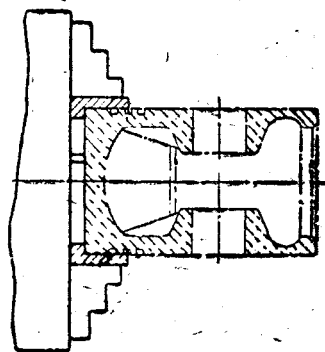


图12 加工活塞的三爪卡盘。

在铣床上加工有色金属工件时，同样应注意工件在夹紧时是

否产生变形，若不注意，待加工后，同样会产生废品。如图14是一个铝锰合金制造的变速器上盖，在6H82铣床上用圆柱铣刀铣削端面，加工时所用的夹具如图14所示，在工件

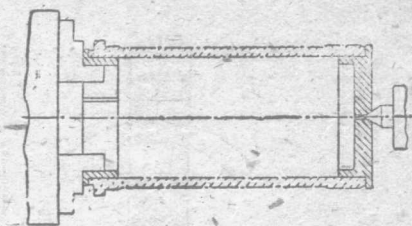


图13 加工汽缸筒的卡爪。

的四角用四个支撑螺栓来支承住工件，一双头螺栓从工件的孔中伸出，用压板把工件压紧，用这种方法加工后的工件在平台上检查时，发现工件端面翘起，这就是由于在压紧工件时，工件的中间凹下，加工后平面是非常平的，但把压板松开时，工件又恢复到原来的形状，而把已加工好的平面变成了翘曲面了。

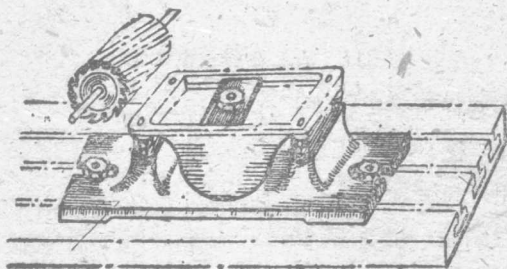


图14 加工变压器上盖的方法。

解决这个问题的办法很简单，只要在压板的底面，增加两个活动支承，在压紧工件之前，将两个活动支承调整的与工件表面接触，然后再把工件压紧，工件就不会再产生变形了，这样加工出来的工件，表面是很平的。

另外由于有色金属它的硬度较低，要是像压紧钢件时一样地来压紧有色金属工件，工件已加工过的表面就很容易损坏。