

机电工业考评技师复习丛书

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

镗 铣 工

机械工业出版社



本书简明、系统地介绍了镗铣工技师所必须掌握的基本知识及操作技能。全书共分八章,包括:金属切削原理与刀具;机床夹具及其设计;精密量具及测量;工艺规程的编制;典型零件的铣削加工;复杂零件的镗削加工;镗、铣床知识;提高劳动生产率的途径。每章末附有复习题,书末附有复习题答案选摘。

本书供参加考评技师的工人复习使用,也可供技师考评工作人员参考。

本书由秦皇岛机电设备厂张恩溪编写,河北机电技工学校魏联华审稿。

镗 铣 工

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

责任编辑:刘洁 责任校对:孙志筠
封面设计:方芬 版式设计:张世琴
责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ 印张 $7^{5/8}$ ·字数162千字

1990年10月北京第一版·1990年10月北京第一次印刷

印数 0,001—4,900·定价:4.60元

ISBN 7-111-02216-5/TG·568

编审委员会名单

主任 郭洪泽
副主任 董无岸 刘葵香 雷柏青（常务）
杨惠永（常务）
委员 和念之 陈东 杨明 张昭海
程新国 胡家振 胡小华

前 言

技师聘任制是在高级技术工人中实行技术职务的一项重要政策。对鼓励工人钻研业务，不断提高技术素质，稳定工人队伍，发挥高级技术工人的作用，适应经济建设需要，具有十分重要的意义。

目前，全国机电行业正在贯彻落实机电工业部和劳动人事部有关文件的精神，积极开展技师职称考评工作。为了配合这项工作的开展，我们组织编写了《机电工业考评技师复习丛书》。

《丛书》共20种，是依据部颁《工人技术等级标准（通用部分）》有关工种的“应知”要求，参考原国家机械工业委员会人事劳动司审定的《机械工业考评工人技师复习题例》和统编《机械工人技术理论培训教材》编写的。在内容安排上，《丛书》和《题例》配套，围绕《题例》中涉及到的重点问题，结合企业高级工、技师岗位生产（工作）实际，用《培训教材》中的有关内容，从理论上加以阐述，融《题例》和《培训教材》于一体，这是本套《丛书》最大的特点。

《丛书》内容精炼，除了供参加考评技师的工人复习、自测使用外，也可供各级技师考评组织在命题和评定成绩时参考，还可作为高级工和技师日常工作中的参考书。

对《丛书》的不足之处，欢迎提出宝贵意见，以便再版时修订。

机电工业考评技师复习丛书编审委员会

1989年4月

目 录

前言

第一章 金属切削原理与刀具	1
§ 1.1 金属切削过程的基本规律	1
§ 1.2 刀具材料	8
§ 1.3 刀具的几何参数	11
§ 1.4 先进刀具与工具	16
复习题	22
第二章 机床夹具及其设计	24
§ 2.1 机床夹具的基本概念及设计步骤	24
§ 2.2 工件的定位	26
§ 2.3 夹紧机构	35
§ 2.4 镗、铣床的夹具和组合夹具	44
复习题	50
第三章 精密量具及测量	53
§ 3.1 精密量具	53
§ 3.2 精密测量	63
复习题	65
第四章 工艺规程的编制	66
§ 4.1 工艺规程的基本概念和编制方法	66
§ 4.2 工艺规程编制实例	69
复习题	72
第五章 典型零件的铣削加工	73
§ 5.1 合理选择铣削用量	73

§ 5.2 铣削齿轮和滚子链轮	75
§ 5.3 铣削蜗轮	84
§ 5.4 铣削离合器	93
§ 5.5 铣削凸轮	98
§ 5.6 铣削球面及椭圆柱面	103
§ 5.7 刀具开齿	114
§ 5.8 铣削质量分析	126
复习题	128
第六章 复杂零件的镗削加工	131
§ 6.1 镗削平行孔系	131
§ 6.2 镗削角度孔系	134
§ 6.3 镗削复杂零件	137
§ 6.4 镗削质量分析	148
复习题	154
第七章 镗、铣床知识	155
§ 7.1 镗、铣床分类	155
§ 7.2 镗、铣床的电器和液压传动基本知识	161
§ 7.3 铣床的精度检验与调整	181
§ 7.4 镗床的精度检验与调整	192
复习题	200
第八章 提高劳动生产率的途径	203
§ 8.1 数控机床基本知识	203
§ 8.2 仿形铣床和坐标镗床	212
§ 8.3 先进工作法	219
复习题	223
复习题答案选摘	225

第一章 金属切削原理与刀具

§ 1.1 金属切削过程的基本规律

一、切削过程

切削过程的含义包括两个方面：一是从工件表面切去一层金属，另一是在工件上形成一定形状和尺寸以及符合一定质量要求的表面。

1. 切屑的形成 刀具在工件表面上切去一层金属的过程，就是这一层金属受到刀具压力的作用，经变形、破坏而形成切屑的过程。塑性材料的切屑形成分为四个阶段。

（1）挤压阶段：当刀具刚与工件接触时，工件在接触处受到挤压。如果工件的弹性变形极限小于刀具压力时，工件则产生弹性变形。

（2）滑移阶段：刀具继续前进，工件内部应力和变形不断增加，产生塑性变形，金属内部的晶格开始滑移。

（3）挤裂阶段：刀具再前进，工件内部应力和变形继续增加，当达到材料断裂点时，被切金属层与工件产生裂隙。

（4）切离阶段：随着刀具的继续前进，被切金属层与工件的裂隙不断扩大，被切金属层不断形成切屑单体逐渐与工件分离，并沿着刀具的前刀面滑出。这样继续下去，一个个切屑单体就连续被挤压出去了。

在加工脆性材料时，由于材料的塑性差，往往只有挤压、挤裂和切离三个阶段。

2. 已加工表面的变形和加工硬化 刀具的刃口不是绝对锋利的, 有圆弧半径 r_n , 见图1-1所示。由于 r_n 的存在, 使切削层内薄薄的一层金属 Δa 不能沿 OM 滑移。在刀尖附近的这层金属经过挤压变形以后留在已加工表面上。另外, 由于后刀面上有磨损棱面 BE 和存在已加工表面的弹性变形恢复现象(图中 Δh 为恢复高度), 因此使后刀面与加工表面间有一段接触面 BF 。刀具上的 BF 部分对加工表面进行挤压和摩擦, 使其进一步产生变形。已加工表面经过上述复杂变形以后, 表面硬度有所提高, 称之为加工硬化。

切削加工所造成的加工硬化往往使已加工表面上出现细微裂纹和存在残余应力, 影响工件的加工精度, 降低工件的疲劳强度, 并给下道工序的加工带来困难。一般说来, 希望减轻加工硬化的程度。从图中可看出, 刃口越锋利, 已加工表面的变形就越小, 越能切下薄切屑, 加工硬化现象相应减小。硬质合金刀具的刃口不如高速钢刀具锋利, 因此, 硬质合金刀具在使用时不宜采用太小的进给量和切削深度。

二、切削力

切削时要切下切屑, 就必须克服被加工材料的阻力。工件材料抵抗刀具切削所产生的阻力称为切削力。

1. 切削力的来源 在刀具的作用下, 工件表层金属发生弹性变形和塑性变形, 切屑与前刀面之间发生摩擦, 已加工表面与后刀面之间发生摩擦, 因此, 机床的动力大部分都要消耗在这些变形和摩擦之中。

2. 切削力的分解 切削力是一个由很多分力组成的空间力。可以把切削力 F_c 分解为三个分力, 如图1-2所示。

垂直切削力 F_z , 也叫主切削力, 它使刀具向下压, 即压向刀具的底面。

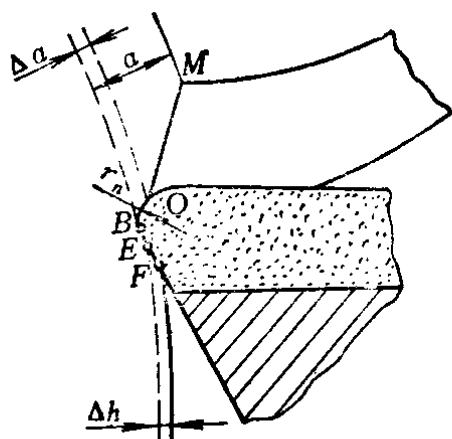


图 1-1 已加工表面的变形

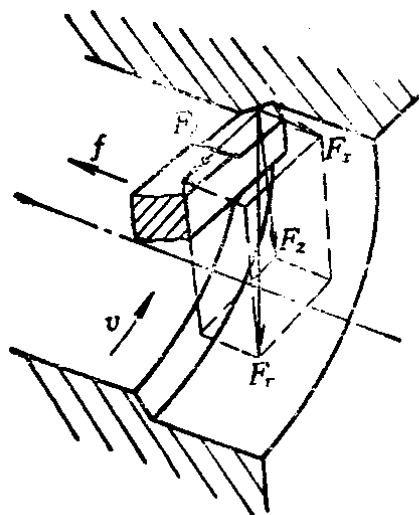


图 1-2 镗孔时切削力的分解

轴向切削力 F_x ，这个力平行于轴线，并与进给方向相反。

径向切削力 F_y ，它垂直于轴线和进给方向，使刀具压向轴心。

3. 影响切削力的因素

(1) 工件材料性能的影响：切削力一般与材料的硬度、强度成正比。在切削脆性材料时，因为形成切屑时不作塑性变形，所以切削力要小些。

(2) 刀具角度的影响：影响最大的是前角。前角的增大不仅减小被切金属层的变形，而且可以减轻前刀面与切屑之间的摩擦，从而使切削力减小。

主偏角的变化将使轴向切削力 F_x 与径向切削力 F_y 的比值发生变化。

(3) 切削用量的影响：切削用量中对切削力影响最大的是切削深度，其次是进给量，切削速度的影响较小。

切削深度和进给量对切削力的影响主要是由切削层面积的大小与被切金属层变形程度的难易来决定的。

(4) 冷却润滑液的影响：冷却润滑液可减少切屑与工件对刀具的摩擦，特别是具有化学活性的冷却润滑液，能渗透到切屑分离处的细小裂隙中，有利于切屑的分离，使切削力减小。

三、切削热

在切削加工过程中，金属切削层发生变形、分离，切屑与前刀面、已加工表面与后刀面之间产生摩擦，由于以上变形、分离和摩擦而产生的热量，称为切削热。

切削热有相当一部分传给了刀具和工件。传到刀具上的热量使刀刃温度升高，温度过高则降低切削部分的硬度，加速刀具磨损，甚至使刀具丧失切削能力；刀具受热膨胀产生变形，影响加工精度。传到工件上的热量使工件受热膨胀，产生加工尺寸的误差和测量尺寸的误差；工件受热后变形，不对称工件受热后产生弯曲及扭转变形，温度过高还将烧坏工件表面，这些都会影响工件的加工精度。

为了延长刀具使用寿命，提高加工质量，可以采用下面的方法来减小切削热或降低切削温度：采用大前角，以减少切屑变形；采用小主偏角，以增加切削宽度，增大散热长度；或降低切削速度、使用冷却液等，都可达到目的。

四、刀具的磨损

1. 刀具的钝化 随着切削时间的增加或其它原因，刀具锋利的切削部分逐渐变钝或突然破损，丧失正常的切削能力，这种现象称为钝化。钝化的形式主要有三种：

(1) 磨损：是指前刀面和后刀面上的微粒被切屑和工件带走的现象。

(2) 崩刃或碎裂：硬质合金刀具常发生这种现象。其原因除了刀具材料本身较脆以外，与焊接、刃磨、使用等因素有关。

(3) 卷刃：是指刀刃在高温、高压作用下发生塑性变形。

刀具主要是由于磨损而钝化。后两种钝化形式是不正常的钝化，应力求避免。

2. 刀具磨损的原因

(1) 机械擦伤磨损：是指工件或切屑上的硬质点将刀具表面上的微粒擦掉而造成的磨损，也叫磨料磨损。

(2) 粘接磨损：切削塑性材料时，在较大的正压力和适当切削温度的作用下，切屑与前刀面、工件与后刀面之间的吸附薄膜被挤破，形成新鲜表面紧密接触，发生粘接现象，刀具表面的微粒被切屑或工件带走，从而使刀具磨损。这种磨损也称为冷焊磨损。

(3) 相变磨损：当刀具上的温度超过刀具材料的相变温度时，其金相组织发生变化，硬度显著下降，使刀具迅速磨损。

(4) 扩散磨损：在高温下，刀具中的金属元素会逐渐扩散到工件和切屑中去，而工件材料中的金属元素也会扩散到刀具的表层，这样就改变了刀具表层的化学成分，使其变得脆弱，硬度和强度显著下降，刀具的磨损加剧。

(5) 氧化磨损：在高温作用下，氧与硬质合金刀具中的Co、WC等发生氧化作用，产生一些疏松脆弱的氧化物。这些氧化物容易被切屑、工件带走，使刀具磨损。

(6) 热电磨损：由于刀具与工件的材料不同，还有切削热的作用，于是刀具-工件便构成热电偶的热端，产生热

电动势，使热电流在刀具与工件中通过。在热电流的作用下，使碳的离子发生迁移，或从刀具移向工件，或从工件移向刀具。不论迁移方向如何，都会使刀具表层组织变弱，从而加剧刀具的磨损。

综上所述，造成刀具磨损的原因不外乎机械摩擦和热效应两个方面。对硬质合金刀具来说，在中低速切削时，粘接和机械擦伤是使它磨损的主要原因；高速高温切削时，主要由于机械擦伤、扩散与氧化而使刀具磨损，产生急剧磨损的主要因素是扩散磨损。对工具钢刀具而言，机械擦伤是造成刀具磨损的主要原因，产生急剧磨损的主要因素是相变磨损。

五、积屑瘤

当切削塑性材料时，切屑从前刀面流出，切屑底层受前刀面的摩擦力作用减低了流动速度，这层流速较慢的金属层称为滞流层。在高温高压作用下，当摩擦力大于滞流层与切屑分子之间的结合力时，滞流层就粘结在前刀面上，堆积成瘤，称此瘤为积屑瘤，俗称刀瘤。

积屑瘤的硬度很高，约为原工件硬度的1.5~2.5倍，可以代替刀具进行切削；积屑瘤的存在使刀具的前角增加；当积屑瘤积到一定高度时，会被切屑和工件带走，所以积屑瘤很不稳定，时大时小，时有时无。

随着积屑瘤大小的变化，实际切削深度也发生变化，使已加工表面高低不平，并粘附部分积屑瘤，造成工件表面质量不高。在精加工时，不允许有积屑瘤存在。

积屑瘤的产生与切削速度有很大关系。如图1-3所示，切削中碳钢，切削速度在15~20m/min时，所产生的积屑瘤最大，这是因为此时的摩擦系数最大。低速切削时，摩擦力

较小；高速切削时，滞流层金属呈微熔状态，摩擦力也不大，故所产生的积屑瘤也较小。

此外，增大刀具的前角、减小进给量、减小前刀面的表面粗糙度、合理使用冷却润滑液都可以减少积屑瘤的产生。

六、工件材料的切削加工性

工件材料的切削加工性是指其被切削的难易程度。具体地说，是指在切削时断屑是否顺利，刀具磨损是否严重，切削后能否得到较细的表面粗糙度。

影响工件材料的切削加工性的主要因素是工件材料的物理性能和机械性能。工件材料的硬度高或导热性差，切削起来就困难；工件材料的强度高或韧性高，切削时消耗能量大，刀具易磨损；工件材料硬度和强度低，但塑性高，切削后表面质量很差；工件材料脆性大，易形成崩碎切屑，其加工表面质量也很差。总之，太硬、太软、太脆或高强度、高韧性和导热性差的金属，其切削性能都差。

为了改善工件材料的切削加工性能，可以采取一些具体办法。对于硬度较高的工具钢和一些合金钢，以及有表面硬皮的铸锻件，在切削前应进行退火处理，以降低其硬度；对于塑性较大的低碳钢，切削前应进行正火处理，以细化组织和增加强度与韧性；根据工件材料的性质，应合理地选取刀具的材料、刀具角度和切削用量；在切削时，注意使用冷却润滑液等。

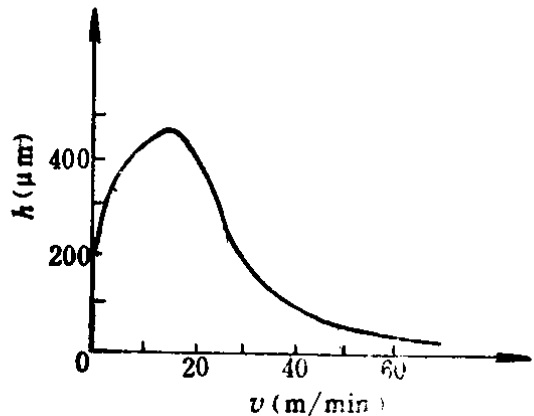


图 1-3 切削速度对积屑瘤的影响

§ 1.2 刀 具 材 料

一、对刀具切削部分材料的要求

1. 切削性能方面

(1) 高的硬度：刀具材料的硬度要高于工件材料的硬度。

(2) 高的耐磨性：一般刀具材料的硬度越高，则耐磨性也越好。但耐磨性还和刀具材料中的硬质点的种类、数量、大小、分布情况以及刀刃、刀头各表面的表面粗糙度等有关。

(3) 足够的强度与韧性：只有具备足够的强度和韧性，才能防止刀具的脆性断裂或崩刃等。

(4) 高的耐热性：即在高温下保持上述性能的能力，用红硬性表示。这是评定刀具材料切削性能优劣的主要标志。

2. 工艺性能方面

(1) 热处理性能好：热处理变形小，脱碳层薄，淬透性好等。对热成形刀具来说，还要求高温塑性好。

(2) 磨削性能好：磨削性能可用磨削比表示。磨削比是指磨削刀具时磨削金属体积与砂轮消耗体积之比。磨削比越大，则磨削性能越好。

(3) 其它工艺性能（如被切削加工性能、焊接性能等）好。

此外，刀具材料还应尽量达到价格低廉、资源丰富的要求。

二、常用刀具材料

1. 碳素工具钢 主要用于切削速度很低、形状简单、尺寸较小的手用刀具，如锉刀、手用铰刀、手用丝锥等。

2. 合金工具钢 主要用于制造形状比较复杂，而要求

热处理变形很小的刀具，如拉刀、板牙等。常用的材料有 9CrSi、GCr9 等。

3. 高速钢 在 550~650℃ 时仍能保持常温下的硬度、耐磨性。因此，其切削速度比碳素工具钢高 2~4 倍；其抗弯强度和韧性比硬质合金好，能承受较大的冲击力。高速钢是制造各种复杂形状刀具的主要材料。常用材料有 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 等。

4. 硬质合金 在 850~1000℃ 时仍能保持良好的切削性能，允许的切削速度为高速钢的 4~8 倍，其硬度 HRC74~82，高于工具钢。所以，硬质合金得到广泛使用。但是，它有以下缺点：抗弯强度远比高速钢低；冲击韧性差，怕受冲击和振动；刀刃不易磨得像高速钢那样锋利；不宜制作形状复杂的刀具。

硬质合金主要有钨钴类、钨钴钛类和通用类三种。钨钴类 (YG) 常用于加工脆性材料（如铸铁等）；钨钴钛类 (YT) 常用于加工塑性材料；通用类 (YW) 可用于各种材料的加工，主要切削耐热钢、不锈钢等难加工材料。

为了提高硬质合金刀片的综合切削性能，可在 YT5、YT15 等韧性较大的硬质合金基体上用化学气相沉积法或其它方法涂覆一层硬度高、耐磨性好、厚度只有几微米的涂覆层。这样的刀片称为涂层硬质合金刀片。它的使用寿命比一般可转位刀片提高 1~3 倍，而刀片的制造成本仅提高 20~30%。近几年来，涂层硬质合金刀片发展很快，已应用的涂层材料有碳化钛、氮化钛、碳化铌、氮化硼和金刚石等。

三、其它刀具材料

1. 陶瓷 目前已用于生产的陶瓷刀具材料有氧化铝矿物陶瓷和金属陶瓷两种。氧化铝矿物陶瓷是用氧化铝微粉在

高温下烧结而成的，一般多制成多边形可转位刀片。其硬度、耐磨性和耐热性均比硬质合金高，能在1200℃或更高的温度下进行切削工作。因此，可采用比硬质合金高几倍的切削速度，并能获得较高的加工精度。此外，这种材料资源丰富，价格低廉。但是，陶瓷刀片的最大缺点是性脆、抗弯强度低、易崩刃，在使用范围上受到很大限制。

金属陶瓷是在三氧化二铝的基体上加入少量的镍、铁、铬、钼、钛、钨、钴等元素制成的。因此，它除具备氧化铝矿物陶瓷的优点外，还可大大提高抗弯强度。

2. 金刚石 金刚石有天然和人造两种。天然金刚石(JT)价格昂贵，使用很少。

人造金刚石(JR)是一种超硬材料，是目前能人工制造出来的最硬物质。它是在高温、高压和其它条件配合下由石墨转化而成的。

人造金刚石分单晶体与聚晶体两种。单晶体人造金刚石多用于制造砂轮，用来磨削高硬度的脆性材料（如硬质合金等）。聚晶体人造金刚石没有共同的单一的结晶平面，各个方向上的性能是一致的，可以制成刀片形状，镶焊在刀杆上，用于车削或镗孔等工序。

人造金刚石硬度很高，耐磨性好。但它存在一些缺点，除强度与韧性较低外，热稳定性和对铁的化学稳定性较差。因此，它只适于加工铝、铝合金、塑料、陶瓷、玻璃纤维等非铁材料。切削这些材料，它的使用寿命比硬质合金高几十倍，并能得到较高的加工精度。

3. 立方氮化硼 这是继人造金刚石之后出现的又一种超硬材料，其原料是与石墨结构相似的六方氮化硼。它也是用高温高压的方法制成的。

立方氮化硼的热稳定性和对铁的化学稳定性都比人造金刚石好,但其硬度比人造金刚石略低。这种材料用于加工黑色金属,特别是加工一些难加工材料,是很有发展前途的。

§ 1.3 刀具的几何参数

一、刀头各部分的基本定义

1. 刀头的组成 刀头由三个刀面、两个刀刃和一个刀尖组成,见图1-4所示。

(1) 三个刀面:

- 1) 前刀面 A_f : 切屑流出时经过的刀面。
- 2) 后刀面 A_a : 与加工表面相对的刀面。
- 3) 副后刀面 A'_a : 与已加工表面相对的刀面。

(2) 两个刀刃:

1) 主切削刃 S : 前刀面与后刀面的交线,承担主要切削工作。

2) 副切削刃 S' : 前刀面与副后刀面的交线,承担少量切削工作。

(3) 一个刀尖: 即主、副切削刃相交的一点。

2. 辅助平面 为了便于测定刀具的几何角度,人们假想了几个辅助平面。

(1) 基面 P_r : 切削刃上任意一点的基面是通过该点并与该点切削速度方向垂直的平面,如图1-5所示。

(2) 切削平面 P_o : 切削刃上任意一点的切削平面是通过该点并与加工表面相切的平面,如图1-5所示。

(3) 主截面 P_o : 主切削刃上任意一点的主截面是通过该点并垂直于主切削刃在基面上的投影的平面,如图1-6a所示。

(4) 副截面 P'_o : 副切削刃上任意一点的副截面是通过