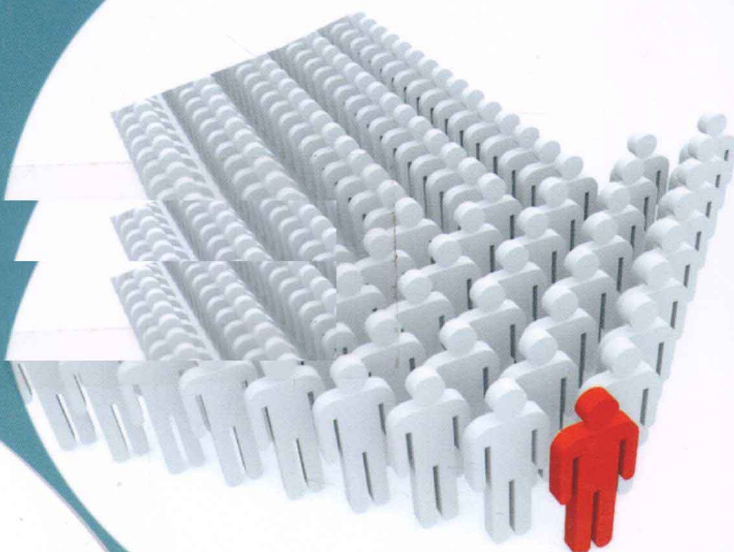


上岗就业百分百系列丛书

铁 工

上岗就业百分百

上岗就业百分百系列丛书编委会 组编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上岗就业百分百系列丛书

铣工上岗就业百分百

上岗就业百分百系列丛书编委会 组编



机械工业出版社

本书是根据《国家职业标准》的初、中级铣工等级标准及职业技能鉴定规范要求,按照岗位培训需要的原则编写的。本书主要内容包括:铣削基本知识、铣削设备,平面、沟槽、键槽、曲面、牙嵌离合器、链轮等复杂工件的铣削加工知识,铣工安全生产及加工禁忌,并通过实例提供详细的铣削加工工艺和加工方法,以加深理解,达到事半功倍的效果。

本书主要用作企业培训部门、职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的教材,也可作为技校、中职、各种短训班的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

铣工上岗就业百分百/上岗就业百分百系列丛书编委会组编.
—北京:机械工业出版社,2011.3
(上岗就业百分百系列丛书)
ISBN 978-7-111-33317-3

I. ①铣… II. ①上… III. ①铣削—基本知识 IV. ①TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 017664 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王晓洁 责任编辑:吴天培

责任校对:樊钟英 封面设计:马精明

责任印制:李 妍

中国农业出版社印刷厂印刷

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·10.75 印张·281 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33317-3

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级，经济发展对高质量技能人才的需求不断扩大。然而，技能人才短缺已是不争事实，并日益严重，这已引起中央领导和社会各界的广泛关注。面对技能人才短缺现象，政府及各职能部门快速做出反应，采取措施加大培养力度，鼓励各种社会力量倾力投入技能人才培养领域。为认真贯彻国家中长期人才发展规划（2010—2020年），适应全面建设小康社会对技能型人才的迫切要求，促进社会主义和谐社会建设，我们特邀请有关专家组织编写了这套“上岗就业百分百系列丛书”。

本套丛书在编写中以企业对人才需求为导向，以岗位职业技能要求为标准，以与企业无缝接轨为原则，以企业技术发展方向为依据，以知识单元体系为模块，结合职业教育和技能培训实际情况，注重学员职业能力的培养，体现内容的科学性和前瞻性。同时，在编写过程中力求体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理、叙述通俗”的特色，为此在编写中从实际出发，简明扼要，没有过于追求系统及理论的深度，突出“上岗”的特点，使具有初中文化程度的读者就能读懂学会，便于广大技术工人、初学者、爱好者自学，掌握基础理论知识和实际操作技能，从而达到实用速成、快速上岗的目的。

本套上岗就业百分百系列丛书编委会的组成人员有：汪立亮、刘兴武、袁黎、徐寅生、陈忠民、张能武、黄芸、徐峰、杨光明、潘旺林、潘珊珊、兰文化、邱立功。我们真诚地希望本套丛书的出版对我国技能人才的培养起到积极的推动作用，能成为广大读者的“就业指导、创业帮手、立业之本”，同时衷心希望广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

上岗就业百分百系列丛书编委会

目 录

前言

第1单元 铣削基本知识	001
模块一 铣削运动及其要素	001
一、铣削运动与铣削方式.....	001
二、铣削要素.....	002
模块二 铣削力、铣削热与铣刀的磨损	005
一、铣削力及其对铣削过程的影响.....	005
二、铣削热及其对铣削过程的影响.....	008
三、铣刀的磨损与刀具寿命.....	008
模块三 铣削用量的选择	010
一、背吃刀量的选择.....	010
二、每齿进给量的选择.....	011
三、铣削速度的选择.....	011
第2单元 铣削设备	012
模块一 铣床	012
一、铣床的特点与构成.....	012
二、铣床精度检查.....	017
三、典型铣床的调整和常见故障排除.....	021
四、铣床的合理使用和维护.....	026
模块二 铣刀	028
一、铣刀的类型.....	028
二、铣刀的结构要素及几何角度.....	030
三、铣刀的安装、使用与刃磨方法.....	034
四、铣刀的合理选用.....	039
五、铣刀的维护与保养.....	044
模块三 铣床夹具	045
一、通用夹具的结构形式.....	045

二、夹具体和夹具的技术条件	052
第3单元 铣削加工技术	058
模块一 平面铣削	058
一、平面的铣削	058
二、斜面的铣削	064
三、矩形工件的铣削	073
四、较长工件的端面铣削	077
五、提高平面铣削精度的方法	079
模块二 沟槽铣削	083
一、直角槽的铣削	083
二、V形槽的铣削	085
三、T形槽的铣削	087
四、燕尾槽的铣削	090
五、圆弧槽的铣削	092
六、键槽和半圆键槽的铣削	094
七、花键轴的铣削	102
模块三 曲面铣削	107
一、球面的铣削	107
二、成形面的铣削	111
三、椭圆孔的铣削	118
模块四 牙嵌离合器铣削	119
一、矩形牙嵌离合器的铣削	120
二、尖梯形和锯齿形牙嵌离合器的铣削	122
三、梯形牙嵌离合器的铣削	124
四、螺旋形牙嵌离合器的铣削	126
五、离合器的铣削质量分析	127
六、牙嵌离合器的铣削加工操作禁忌	128
模块五 齿轮及齿条铣削	129
一、直齿圆柱齿轮的铣削	129
二、斜齿圆柱轮的铣削	133
三、直齿锥齿轮的铣削	137
四、直齿条的铣削	146
五、斜齿条的铣削	149
模块六 蜗轮、蜗杆铣削	151
一、蜗杆的铣削	152
二、蜗轮的铣削	154
参考文献	163

第1单元

铣削基本知识



知识要点

- 熟悉铣削的操作过程。
- 了解铣削要素的特性及其对铣削加工的影响。
- 了解铣削力对加工过程的影响。



任务目标

- 掌握提高铣刀寿命的措施。
- 掌握铣削用量的选择方法。

模块一

铣削运动及其要素

一、铣削运动与铣削方式

刀具要切除工件上多余的金属，必须具备相对切削运动，即主运动和进给运动，根据这两个运动配合形式的不同，铣削可以分为顺铣和逆铣两种基本方式(表1-1)。

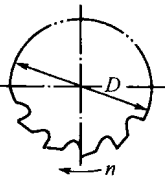
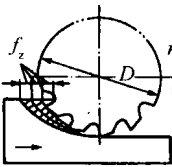
表 1-1 铣削运动与铣削方式

名称和简图		说 明
(1) 顺铣	 图(1)	主运动是由机床或人力提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具刀面接近工件。铣削过程中，铣刀的旋转运动就是主运动 进给运动是由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件之间产生附加的相对运动。铣削时，工件的移动就是进给运动
(2) 逆铣	 图(2)	铣刀的旋转方向和工件的进给方向相同叫顺铣。如图(1)所示 铣刀的旋转方向和工件的进给方向相反叫逆铣。如图(2)所示

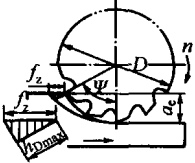
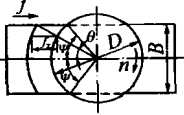
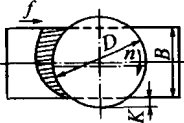
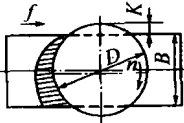
二、铣削要素

铣削要素是指铣削过程中铣削用量和铣削层的断面尺寸，下面分别说明(表 1-2)。

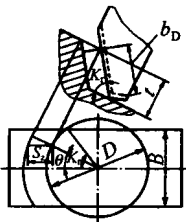
表 1-2 铣削要素

名称和简图	说 明	计 算 公 式	举 例
 铣削速度 v	主运动的线速度叫做切削速度，铣削时也叫铣削速度，也就是铣刀切削刃最大直径处在—分钟内所经过的距离(m/min) 在生产中，一般都先确定铣削速度 v，然后根据铣刀直径来选取铣床主轴转速 n	$v = \frac{\pi D n}{1000}$ $n = \frac{1000 v}{\pi D}$ 式中： D——铣刀直径(mm)； n——铣刀转速(r/min)； v——铣削速度(m/min)	【例 1】已知铣刀直径 $D = 100\text{mm}$，铣床主轴转速 $n = 150\text{r/min}$，试求铣削速度 v？ 【解】$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3.14 \times 100 \times 150}{1000}$ $\text{m/min} = 47.1\text{m/min}$ 【例 2】已知铣刀直径 $D = 100\text{mm}$，选定铣削速度 $v = 40\text{m/min}$，试求在 X6132 铣床上选择的主轴转速？ 【解】$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \times 40}{3.14 \times 100}\text{r/min} = 127\text{r/min}$ 按 X6132 铣床实有的主轴转速表选用 118r/min
 每齿进给量 f_z	铣削时的进给运动一般由工件的移动来完成。单位时间内工件相对于铣刀所移动的距离叫进给量。一般有三种表示法 铣刀每转过—齿，工件相对铣刀所移动的距离叫每齿进给量(mm/z)	$f_z = \frac{f_r}{z} = \frac{f_m}{zn}$ 式中： f_r——铣刀每转进给量(mm/r)； f_m——铣刀每分钟进给量(mm/min)； z——铣刀齿数	【例】已知铣刀齿数 $z = 10$，主轴转速 $n = 150\text{r/min}$，每分钟进给量 $f_m = 240\text{mm/min}$，求每齿进给量 f_z？ 【解】$f_z = \frac{f_m}{zn} = \frac{240}{10 \times 150}\text{mm/z} \approx 1.6\text{mm/z}$
每转进给量 f_r	铣刀每旋转一周，工件相对铣刀所移动的距离叫每转进给量(mm/r)	$f_r = f_z z$	【例】已知 $f_z = 0.16\text{mm/z}$，$z = 10$，求 f_r 值？ 【解】$f_r = f_z z = 0.16\text{mm/z} \times 10 = 1.6\text{mm/r}$
每分钟进给量 f_m	铣刀每旋转一分钟，工件相对铣刀所移动的距离叫每分钟进给量(mm/min)	$f_m = f_r n = f_z zn$	【例】已知 $f_z = 0.16\text{mm/z}$，$z = 10$，$n = 150\text{r/min}$，求 f_m 值？ 【解】$f_m = f_z zn = 0.16 \times 10 \times 150\text{mm/min} = 240\text{mm/min}$
背吃刀量 a_p	面铣刀铣削时铣削层深度圆柱铣刀铣削时铣削层宽度		
侧吃刀量 a_e	圆柱铣刀铣削时铣削层深度 面铣刀铣削时铣削层宽度		

(续)

名称和简图	说 明	计 算 公 式	举 例
圆柱铣刀铣削时的铣削层厚度 h_D 	当用圆柱铣刀铣削时,其铣削层厚度 h_D 是随时变化的。它和铣削方式有关,逆铣时,刀齿刚接触工件时,其 $h_D = 0$,而刀齿将离开工件时, h_D 达到最大值。顺铣时则相反。其平均铣削层厚度 ($h_{D\overline{\Psi}}$) 为铣刀瞬时接触角 (Ψ) $1/2$ 处的铣削层厚度	$h_{D\max} = f_z \sin \Psi$ $h_{D\overline{\Psi}} = f_z \sin \frac{\Psi}{2}$ $= f_z \sqrt{\frac{a_e}{D}}$ $\cos \Psi = 1 - \frac{a_e}{\frac{D}{2}}$ 式中: f_z ——每齿进给量 (mm/z); Ψ ——铣刀瞬时接触角 (弧度制)	【例】用直径 $D = 90\text{mm}$ 的圆柱铣刀铣槽,每齿进给量 $f_z = 0.1\text{mm/z}$,侧吃刀量 $a_e = 5\text{mm}$,试求最大铣削层厚度? 【解】 $h_{D\max} = S_z \sin \Psi$ $\cos \Psi = 1 - \frac{a_e}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{5}{\frac{90}{2}}$ $= 0.8889$ $\Psi = 27^\circ 16'$ 则 $h_{D\max} = 0.1\text{mm/z} \sin 27^\circ 16'$ $= 0.1\text{mm/z} \times 0.458 = 0.046\text{mm}$
面铣刀铣削时的铣削层厚度 	铣刀轴线在铣削宽度 B 的对称线上铣削时,称为对称铣削,见图(1)所示。这时刀齿在切入和切出时其铣削厚度相等,且数值最小;而在铣削宽度的对称线处时,则铣削层厚度最大,即等于 f_z	$h_{D\overline{\Psi}} = \frac{f_z \cdot D^{0.4} \cdot \sin \kappa_r}{0.26 B^{0.4}}$ $\cdot h_D = f_z \times \cos \theta \times \sin \kappa_r$ 式中: f_z ——每齿进给量 (mm/z); B ——铣削宽度 (mm); κ_r ——铣刀主偏角; D ——铣刀直径 (mm); θ ——刀齿在任意一点上所在位置与中心线间的夹角	【例】用面铣刀铣一平面。已知铣刀直径 $D = 120\text{mm}$,主偏角 $\kappa_r = 75^\circ$,铣削宽度 $B = 60\text{mm}$,每齿进给量 $f_z = 0.2\text{mm/z}$,求铣削的平均厚度 $h_{D\overline{\Psi}}$? 【解】 $h_{D\overline{\Psi}} = \frac{0.2 \times 120^{0.4} \times \sin 75^\circ}{1.26 \times 60^{0.4}}$ 故 $h_{D\overline{\Psi}} = \frac{0.2 \times 6.79 \times 0.966}{1.26 \times 5.14} \text{mm}$ $= \frac{1.311828}{6.4764} \text{mm} \approx 0.2\text{mm}$
图(2) (2) 不对称铣削时的铣削层厚度 (铣刀轴线偏向切口处) 	该刀轴线不在铣削宽度 B 的对称线上铣削时,称为不对称铣削,见图(2)、图(3)所示。当铣刀轴线偏向切口处时,则切入处的铣削层厚度小于切口处的厚度。而当铣刀轴线偏向切入处时,则切入处的铣削层厚度大于切口处的厚度。因此利用不对称铣削的偏置量 K ,可调节刀齿的铣削层厚度,如把铣刀轴线偏向切口处时,由于切入时的铣削层厚度小于切口处的厚度,减少了冲击,可以提高面铣刀的寿命		
图(3) (3) 不对称铣削时的铣削层厚度 (铣刀轴线偏向切入处) 			

(续)

名称和简图	说 明	计 算 公 式	举 例
切削层宽度 b_D  面铣刀铣削时的切削宽度	铣刀主切削刃的工作长度叫切削层宽度。 当用直齿圆柱铣刀铣削时, 切削宽度等于铣削层宽度, 即 $b_D = B$。 当用螺旋齿圆柱铣刀铣削时, 切削宽度随刀齿位置的变化而变化。刀齿刚切入工件时 b_D 值很小, 而后逐渐增大。当刀齿将切出时又逐渐减小。所以用螺旋齿刀具进行铣削, 其铣削过程是较平稳的	$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$ 式中: a_p——背吃刀量(mm); κ_r——铣刀主偏角	
切削面积 A	切削层厚度 h_D 与切削层宽度 b_D 之乘积为切削面积。铣削时的切削面积为所有同时工作刀齿的切削面积的总和。由于铣削时切削层厚度 h_D、切削层宽度 b_D 和同时参加铣削的刀齿数是在变化的。因此总的切削面积也随之变动, 一般取总的平均切削面积, 即 $A_{\text{平均}}$	$A_{\text{平均}} = \frac{f_z B a_p z}{\pi D}$ 式中: f_z——铣刀每齿进给量 (mm/z); B——铣削宽度 (mm); a_p——背吃刀量 (mm); z——铣刀齿数; D——铣刀直径 (mm)	

几种典型铣刀铣削时的背吃刀量 a_p 和铣削宽度 B 如图 1-1 ~ 图 1-8 所示。

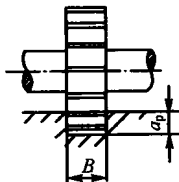


图 1-1

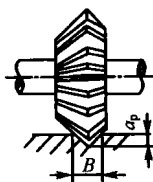


图 1-2

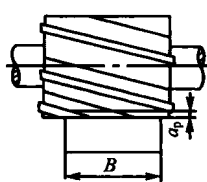


图 1-3

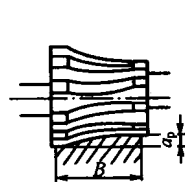


图 1-4

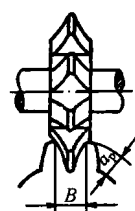


图 1-5

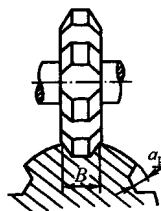


图 1-6

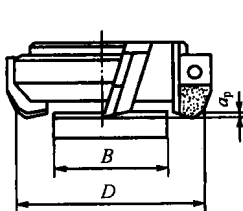


图 1-7

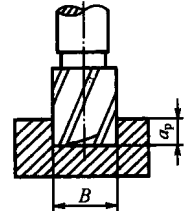


图 1-8

模块二 铣削力、铣削热与铣刀的磨损

一、铣削力及其对铣削过程的影响

1. 铣削力与铣削力的分解

铣削力是指铣刀在切除工件上的余量时受到的一种阻力。它是同时工作的各刀齿上受到的切削力的总和，是一对大小相等方向相反，分别作用在铣刀与工件上的作用力 F 与反作用力 F' 。总的铣削力主要来自三个方面：

- ① 在铣削过程中以克服工件材料弹性变形的抗力。
- ② 克服切屑形成过程中工件材料对塑性变形的抗力。
- ③ 克服切屑与前刀面的摩擦力和铣刀后刀面与工件已加工表面及过渡表面之间的摩擦力。

为了科学地分析研究机床、刀具和夹具，常将铣削力分解到所需的研究方向上，得到铣削分力，如图 1-9 所示。

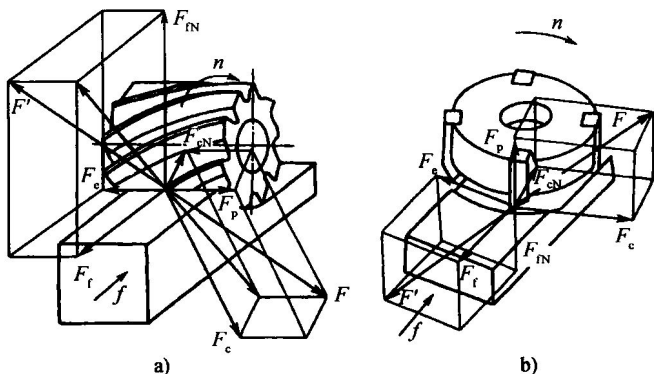


图 1-9 铣削力的分解

a) 圆柱铣刀铣削力的分解 b) 面铣刀铣削力的分解

小贴士

作用在铣刀上的铣削力 F 可分解为：切削力 F_c 、垂直切削力 F_{cn} 和背向力 F_p 三个互相垂直的分力。

作用在工件上的铣削力 F' 可分解为：进给力 F_t 、横向进给力 F_x 和垂直进给力 F_{in} 三个互相垂直的分力。

2. 铣削力对加工过程的影响

(1) 作用在铣刀上的铣削力对加工过程的影响

① 切削力 F_c 。切削力 F_c 是总铣削力 F 在铣刀外圆切线方向的分力，也称圆周铣削力。 F_c 作用在铣刀和刀杆上，产生的扭矩总是力图阻止铣刀旋转。铣床消耗的功率主要用来克服 F_c 的作用。 F_c 是计算其他方向铣削力的机床功率的依据，所以也称主铣削力。

铣削加工是非连续切削，铣削过程中由于切削面积的变化，会引起切削力及力矩的变化。

尤其是当同时参加切削的刀齿数越少时,这种切削力和切削力矩的变化就越大。这种切削力和力矩的变化,会引起工艺系统的振动和冲击,使加工表面质量、机床寿命和刀具寿命下降。如采用带螺旋角的铣刀或细齿铣刀,都可增加同时工作的刀齿数,从而减小切削力与力矩的变化,使切削变得平稳些。因此,在可能情况下尽量选用大螺旋角铣刀或细齿铣刀,必要时还可在铣刀心轴上装飞轮,以增加铣削的平稳性。

② 垂直切削力 F_{cN} 。垂直切削力 F_{cN} 是总切削力在工作平面内,垂直于主运动方向的分力。 F_{cN} 通过铣刀作用在刀轴上,它与 F_c 的合力易使刀轴产生弯曲变形,增大了铣刀的径向跳动,会影响铣削的加工质量与刀具寿命。为此,对于卧式铣床在铣刀安装时应尽量靠近主轴和缩短铣刀的跨距,以减小刀轴的变形。对于立铣刀,则应尽可能选用直径较大的铣刀并缩短铣刀的伸出长度。

③ 背向力 F_p 。背向力 F_p 是总切削力在垂直于工作平面上的分力,也称轴向切削力。其方向和大小与铣刀的形式有关。

用螺旋齿圆柱铣刀铣削时, F_p 随螺旋角 β 的增大而增大,它的方向则与铣刀的旋转方向和刀齿的旋向有关。为了保证铣刀刀杆与铣床主轴锥孔的紧密结合,装刀时应使 F_p 指向主轴,以免刀杆从主轴孔中拔出产生事故。

用面铣刀铣削时, F_p 随立铣刀主偏角 κ_r 的减小而增大,它的方向总是指向主轴,使铣刀刀杆与主轴锥孔紧密结合。另外, F_p 随铣刀刃倾角的绝对值的增大而增大。负刃倾角使 F_p 指向主轴,正刃倾角使 F_p 背向主轴。

(2) 作用在工件上的铣削力对铣削过程的影响

① 进给力 F_f 。进给力 F_f 是总切削力在纵向进给方向上的分力。 F_f 通过工件作用在进给机构上,顺铣时进给力与工作台移动方向相同,当丝杠与螺母之间存在间隙时,铣削中会使工作台产生窜动,这样铣刀的刀齿会由于受到冲击而损坏。因此,顺铣时必须预先消除机床丝杠与螺母的间隙。

② 垂直进给力 F_{fN} 。垂直进给力 F_{fN} 是总切削力在垂直方向上的分力。 F_{fN} 通过工件传给工作台和垂直进给系统,在立式铣床上做端铣时, F_{fN} 的大小等于 F_p ,但方向相反。在卧式铣床上周铣时,则 F_{fN} 的大小和方向与铣削方式有关:逆铣时, F_{fN} 在向下最大到向上最大之间作周期性地变化,会造成机床振动,对切削过程极为不利;顺铣时,垂直进给力 F_{fN} 始终向下,有把工件压向夹具的趋势,使工件定位可靠。另外 F_{fN} 只有大小变化,没有方向变化,所以振动较小,切削平稳,宜加工薄而长的工件。

③ 横向进给力 F_x 。横向进给力 F_x 是总切削力在横向进给方向上的分力。 F_x 通过工件传给工作台和横向进给系统,在卧式铣床上用圆柱铣刀周铣时, F_x 的大小等于 F_p ,但方向相反。用面铣刀铣削端面时, F_x 的方向始终顺着铣削方向不变,但其大小则随刀齿切入工件的位置而变化。当工件很窄,如果 F_x 的数值很大,并且同时参加切削的刀齿数又少时,就会产生强烈的振动,甚至使工件产生弯曲变形。所以,只有在工件宽度接近铣刀直径时才用对称铣削。

3. 铣削力及铣削功率的计算

(1) 铣削力的计算

要设计机床、刀具及夹具,就必须知道铣削力的大小。铣削力的大小与被加工材料、铣削的背吃刀量 a_p 、侧吃刀量 a_e 、每齿进给量 f_z 、铣刀直径 d_0 、铣刀的几何角度等有着复杂的函数关系,一般可参考有关手册,采用类似表 1-3 ~ 表 1-5 中的公式进行计算。

表 1-3 高速钢铣刀铣削力的计算公式

工件材料	铣刀名称	铣削力的计算公式/N
钢材、青铜、铝合金、 可锻铸铁等	面铣刀	$F_c = C_F k a_p^{0.95} f_z^{0.80} d_0^{-0.10} Z a_e^{1.1}$
	立铣刀、圆柱铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} Z a_p$
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} Z a_p$
	角度铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} Z a_p$
	半圆(凸或凹)成形铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} Z a_p$
灰铸铁 190HB	面铣刀	$F_c = C_F k a_p^{0.90} f_z^{0.72} d_0^{-1.1} Z a_e$
	立铣刀、圆柱铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.83} f_z^{0.65} d_0^{-0.85} Z a_p$
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀	$F_c = C_F k a_e^{0.83} f_z^{0.65} d_0^{-0.83} Z a_p$

表 1-4 各种铣刀加工不同材料的 C_F 值

铣刀名称	切削系数 C_F				
	钢材	可锻铸铁	青铜	灰铸铁	铝镁合金
面铣刀	808				
立铣刀、圆柱铣刀	669	490	368	490	177
三面刃盘铣刀	670	294	222	294	167
角度铣刀	381	294	221	294	167
半圆(凸或凹)成形铣刀	461				

表 1-5 高速钢铣刀铣削力的修正系数 κ_F 值

工件材料		前角 γ_o				面铣刀 κ_r 角				
$\left(\frac{\sigma_b}{75}\right)^{0.3}$	$\left(\frac{HB}{190}\right)^{0.55}$	5°	10°	15°	20°	30°	45°	60°	75°	90°
		1.08	1.0	0.92	0.92	1.15	1.08	1.04	1.0	1.04

注：试验条件： $\gamma_o = 5^\circ$ ， $\kappa_r = 75^\circ$ ， $\gamma_s = -5^\circ$ ， $\alpha_o = 6^\circ$ ， $\kappa'_r = 15^\circ$ ， $\omega \leq 30^\circ$

铣削时，各进给力分和切削力 F_c 有一定的比例关系，如表 1-6 所列，求出了 F_c 便可计算出 F_f 、 F_p 、 F_e 和 F_{IN} 。

表 1-6 铣削时各进给力与切削力 F_c 的比值

铣削条件	比值	对称端铣	不对称铣	
			逆铣	顺铣
面铣 $a_e = (0.4 \sim 0.8) d_0 / \text{mm}$ $f_z = (0.1 \sim 0.2) / (\text{mm/z})$	F_f / F_c F_e / F_c F_{IN} / F_c	0.3 ~ 0.4 0.85 ~ 0.95 0.5 ~ 0.55	0.6 ~ 0.9 0.45 ~ 0.7 0.50 ~ 0.55	0.15 ~ 0.30 0.9 ~ 1.0 0.50 ~ 0.55
立铣、圆周铣、盘铣和成形铣 $a_e = 0.05 d_0 / \text{mm}$ $f_z = (0.1 \sim 0.2) / (\text{mm/z})$	F_f / F_c F_{IN} / F_c F_e / F_c		1.0 ~ 1.2 0.2 ~ 0.3 0.35 ~ 0.4	0.8 ~ 0.9 0.75 ~ 0.8 0.35 ~ 0.4

点铣削力 F 为

$$F = \sqrt{F_e^2 + F_{cN}^2 + F_p^2} = \sqrt{F_f^2 + F_c^2 + F_{IN}^2}$$

(2) 铣削功率的计算

当计算出铣削的 F_c 分力后, 用以下公式即可计算出铣削功率 P_c (kW) 的大小, 即

$$P_c = \frac{F_c d_0 n_0}{2 \times 9550000}$$

式中 F_c ——铣刀圆周铣削力(N);

d_0 ——铣刀直径(mm);

n_0 ——铣刀转速(r/min)。

二、铣削热及其对铣削过程的影响

铣削热来源于切削过程中工件材料变形产生的热量, 以及切屑与铣刀的前刀面、工件与铣刀的后刀面摩擦产生的热量。它是铣削加工过程中重要的物理现象之一。铣削中产生的切削热将传递给工件、刀具、切屑以及周围空气等介质。

铣削热传给工件, 将会造成工件的温度升高。铣削热可使切削区的温度达 $700 \sim 800^\circ\text{C}$, 甚至高达 1000°C 。这么高的温度, 一方面由于热胀冷缩, 会使工件产生变形, 影响工件的尺寸与形状精度。粗加工时一般影响不大, 但在精加工时却会有较大的影响, 特别是铣削细长件或薄壁件时影响更为严重。另一方面, 铣削热传给工件, 在较高的温度下, 有时工件材料的金相组织会发生变化, 使加工表面产生残余应力, 烧伤、退火, 影响其使用性能, 但铣削热有时也可以利用。例如, 加工淬火钢时, 粗加工中利用负前角产生的大量切削热, 使工件切削层软化, 从而易于切削。

铣削热传给铣刀, 一方面使铣刀温度升高, 产生热变形, 影响加工精度, 特别精密复杂的铣刀更应控制铣刀的温升; 另一方面刀具温度的升高, 会引导起刀具的热磨损或刀具材料的力学性能变化。所以, 使用高速钢铣刀, 切削温度应控制在 500°C 以下, 使用硬质合金刀具, 切削温度应控制在 800°C 左右。

为了减小铣削热对切削加工的影响, 在生产中可采取以下措施:

① 在保证切削刃强度的条件下, 适当增大前角, 减少切削层金属的塑性变形, 以减少切削热的产生。

② 端面铣削时, 当工艺系统刚度较好, 可适当减小主偏角 κ_r , 改善刀具的散热条件, 使切削区平均温度下降。

③ 当工件余量较大, 机床刚度较好时, 可降低切削速度, 增大进给量和背吃刀量或侧吃刀量。实践证明, 在保证相同金属切除率的情况下, 这是降低切削温度的一个较有效的措施。

④ 采用大流量的切削液冲洗, 将切削热带走。同时也减少了刀具和切屑及工件的摩擦, 减少了切削热的产生。

⑤ 提高铣刀的刃磨质量, 减小前刀面与后刀面的表面粗糙度值, 减小切屑与前刀面、工件与后刀面的摩擦, 从而使切削温度下降。

三、铣刀的磨损与刀具寿命

铣刀过快磨损, 必然会影响加工质量, 增加刀具消耗, 使生产率降低, 加工成本增加。为了提高经济效益, 保证加工质量, 应该合理使用刀具, 为此就应了解刀具磨损的原因, 掌握合理使用刀具的方法。

1. 铣刀磨损的原因

铣刀磨损的原因主要有机械磨损与热磨损两类。

(1) 机械磨损

即机械摩擦造成的磨损。铣削时工件材料的硬点在铣刀表面上刻划出沟纹而造成的磨损，也称磨料磨损。工件材料的硬质点的硬度越高、硬质点的数量越多，铣刀越容易磨损。高速钢铣刀容易产生机械磨损，而硬质合金铣刀一般不易产生机械磨损，只有在切削冷硬铸铁、夹砂铸件时才易产生机械磨损。

(2) 热磨损

① 在切削温度很高的状况下，高速钢铣刀硬度下降而造成的磨损。

② 在高温状态下，硬质合金中的一些元素会扩散到工件材料与切屑中去，使硬质合金硬度下降而产生磨损，称为扩散磨损。

③ 在高温与足够大的切削力作用下，刀具的前、后表面，在和工件与切屑的相对运动中发生黏结，被工件和切屑带走而发生黏结磨损。

④ 在铣削过程中，切削区的周围介质与铣刀材料发生化学反应产生氧化物，使刀齿硬度下降，称为化学磨损。

2. 铣刀磨钝标准与铣刀寿命

(1) 铣刀磨钝标准

铣刀磨损到一定程度就不应再继续使用，这个磨损限度称为磨钝标准。

在生产中铣刀是否已经磨钝，在粗加工中可从加工表面是否出现亮带，切屑颜色、形状是否发生变化，以及是否出现振动或噪声等不良现象来判断；在精加工中可从加工表面粗糙度的变化来判断。而在评定刀具材料的切削性能和研究试验时，国际标准(ISO)规定以测量后刀面上的磨损带的宽度 VB ，作为铣刀的磨钝标准，如图 1-10 所示。

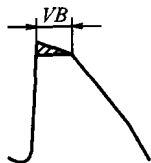


图 1-10 铣刀磨损带宽度

(2) 铣刀寿命

铣刀刃磨后，从开始切削到其磨损量达到磨钝标准为止的总切削时间，称为铣刀的寿命，以 T 表示。它不包括对刀、测量、调整等非切削时间。在相同的切削用量与磨钝标准下，铣刀的寿命越高，表示铣刀的切削性能越好。

铣刀总寿命是指铣刀从第一次投入切削使用，直到报废所经历的实际总切削时间。

$$\text{铣刀总寿命} = \text{铣刀寿命} \times \text{铣刀刃磨次数}$$

合理的刀具寿命，可保证加工的质量要求、较高的生产率以及最低的加工成本。铣刀的寿命可参考表 1-7 确定。

表 1-7 各种铣刀的合理寿命

(单位: min)

刀具材料	铣刀名称	铣刀直径/mm								
		20	50	75	100	150	200	300	400	500
高速钢	面铣刀		100	120	130	170	250	300	400	500
	立铣刀	60	80	100						
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀		100	120	130	170	250			
	键槽铣刀		80	90	100	110	120			
	圆柱铣刀	100	170	280	400					
	角度铣刀		100	150	170					
	燕尾铣刀		120	180	200					

(续)

刀具材料	铣刀名称	铣刀直径/mm								
		20	50	75	100	150	200	300	400	500
硬 质 合 金	面铣刀		90	100	120	200	300	500	600	800
	立铣刀	75	90							
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀			130	160	200	300	400		
	键槽铣刀			120	150	180				
	圆柱铣刀				150	180	200			
	角度铣刀			150	180					
	燕尾铣刀			150	180					

(3) 提高铣刀寿命的措施

- ① 采用合理的切削用量(主要是铣削速度与进给量)。
- ② 选择合理的铣刀几何角度。
- ③ 提高铣刀的刃磨质量,保证前、后刀面的表面粗糙度要求。
- ④ 采用合适的切削液。
- ⑤ 采取工艺措施,改善工件材料的加工性能。

模块三 铣削用量的选择

铣削时选用的切削用量,应在保证工件的加工精度和铣刀寿命的前提下,以获得最高的生产率。一般情况下尽量在铣削中将加工表面的宽度一次铣出,避免接刀留下刀痕。在工艺系统刚度允许的条件下,首先选用较大的背吃力量 a_p (或 a_x),再选用较大的进给量,最后根据合理的寿命来确定适宜的切削速度。

一、背吃刀量的选择

在铣削加工中,一般应根据工件切削层的尺寸来选择铣刀。若用面铣刀铣削平面时,铣刀直径应选择大于切削层宽度。若用圆柱铣刀铣削平面时,铣刀宽度一般应大于工件切削层宽度。若加工余量不大时,应尽量一次进给铣去全部加工余量。只有当工件的加工精度要求较高时,才分粗铣、精铣。具体背吃刀量的选取可参考表1-8选取。

表1-8 铣削背吃刀量的选择

(单位:mm)

工 件 材 料	高速钢铣刀		硬质合金铣刀	
	粗 铣	精 铣	粗 铣	精 铣
铸铁	5~7	} 0.5~1	10~18	} 1~2
低碳钢	<5		<12	
中碳钢	<4		<7	
高碳钢	<3		<4	

二、每齿进给量的选择

粗铣时，限制进给量提高的主要因素是切削力，进给量主要是根据铣床进给机构的强度、刀杆的刚度、刀齿的强度及铣床、夹具、工件的工艺系统刚度来确定。在强度和刚度许可的条件下，进给量可以尽量选取得大一些。精加工时，限制进给量提高的主要因素是表面粗糙度。为了减少工艺系统的振动，减小已加工表面的残留面积高度，一般选取较小的进给量。其具体选取可参考表 1-9。

表 1-9 铣削进给量的选择 (单位:mm/z)

刀 具 名 称	高速钢铣刀		硬质合金铣刀	
	铸 铁	钢 材	铸 铁	钢 材
圆柱铣刀	0.12 ~ 0.2	0.1 ~ 0.15	} 0.2 ~ 0.5	} 0.08 ~ 0.20
立铣刀	0.08 ~ 0.15	0.03 ~ 0.06		
套式面铣刀	0.15 ~ 0.2	0.06 ~ 0.10		
三面刃盘铣刀	0.15 ~ 0.25	0.06 ~ 0.08		

三、铣削速度的选择

在背吃刀量和每齿进给量确定以后，可以在保证铣刀合理的使用寿命的前提下确定铣削速度。粗铣时，确定铣削速度必须考虑到铣床的许用功率。如果超过了铣床的许用功率，则应降低铣削速度。精铣时，一方面应考虑到合理的铣削速度，以抑制积屑瘤的产生，提高表面质量；另一方面，由于刀尖磨损往往会影响到加工精度，因此，应选用耐磨性能比较好的刀具材料，并应尽可能选取在最佳铣削速度的范围内工作。铣削速度可参考表 1-10 选取，并根据铣削实际情况进行试铣后加以调整。

表 1-10 铣削速度的选择 (单位:m/min)

工 件 材 料	铣削速度		注 明
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	
20 钢	20 ~ 45	150 ~ 190	1. 粗铣时，取小值；精铣时，取大值 2. 工件材料强度和硬度较高时，取小值；反之取大值 3. 铣刀材料耐热性好时，取大值；反之取小值
45 钢	20 ~ 35	120 ~ 150	
40Cr	15 ~ 25	60 ~ 90	
HT150	14 ~ 22	70 ~ 100	
黄铜	30 ~ 60	120 ~ 200	
铝合金	112 ~ 300	400 ~ 600	
不锈钢	16 ~ 25	50 ~ 100	

专家提醒

- ① 一般情况下，粗铣取大值，精铣取小值。
- ② 对刚性较差的工件，或所用的铣刀强度较低时，铣刀每齿进给量应适当减小。
- ③ 在铣削加工不锈钢等冷硬倾向较大的材料时，应适当增大铣刀每齿进给量，以免切削刃在冷硬层上切削，以至加速切削刃的磨损。
- ④ 精铣时，铣刀安装后的径向及轴向圆跳动量越大，则铣刀每齿进给量应相应适当地减小。
- ⑤ 用带修光刃的硬质合金铣刀进行精铣时，只要工艺系统的刚性好，铣刀每齿进给量可适当增大，但修光刃必须平直，并与进给方向保持较高的平行度，这就是所谓的大进给量强力铣削，可以充分发挥铣床和铣刀的加工潜力，提高铣削加工效率。