

文章编号: 1005—0523(2002)02—0045—03

切屑生成、卷曲和折断的理论研究

陈海雷, 蒋先刚, 涂晓斌

(华东交通大学 基础科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 分析了金属切削加工中切屑形成、变形及折断的规律, 研讨了切屑形成过程中的各影响因素及有关计算公式. 为控制切屑形状和切削过程仿真提供了依据.

关键词: 金属切削, 切屑控制, 断屑

中图分类号: TG501

文献标识码: A

0 引言

金属切削加工是典型的材料去除不可逆过程. 加工过程中, 金属材料伴随着大应变和高温状态产生的塑性变形和断裂并最终形成切屑. 在现代高精度、高效率和高自动化的金属切削加工中, 切屑控制问题越来越成为切削加工中的重要课题. 不利的屑形将严重影响操作安全、加工质量、刀具寿命、机床精度和生产效率. 随着虚拟制造技术的深入研究, 为我们对切削加工过程的切屑仿真研究提供了良好的途径, 它将其生成、卷曲、折断过程的运动控制溶入参数化驱动的实时加工过程仿真演示中, 真正建立起具有“沉浸感”的加工环境的虚拟体现. 因此有必要对切屑的形成、变形和折断的机制与规律进行深入研究, 以便对切屑形态进行有效的控制并为实时加工过程仿真提供切屑造型的依据. 并能进一步通过切屑控制和预测来优化切削参数.

1 切屑形成的复杂性

金属切削加工的过程是一个很复杂的过程, 包含和涉及到很多物理机理因素, 如切削力、切削热、刀具磨损以及工件表面质量等, 它们都是以切屑的

形成过程为其外部表征. 对金属切削中的切屑进行控制, 是为了得到稳定和连续的切削, 以保护已加工表面、加强生产安全和切屑的方便清理.

金属切削加工的主要难点是无法对切屑流动加以严格的控制. 在金属切削中, 只有一部分边界条件是可以确定的, 其余的边界条件都是未知的, 甚至连边界本身也无法确定. 因此我们很难用简单的解析法得出切削中过程形成、流出的解析解. 切削加工中对切屑形成及切屑形状的影响因素很多, 并且关系复杂, 影响结果相当大. 在实际加工中, 许多不稳定的因素如刀具的磨损, 工件材料的不均匀性及机床的动态特性都会导致切屑形状的改变. 而对于不同的刀具刃形, 材料及不同的加工参数, 其切屑形状的差异就更大. 因此, 切屑形成的因素错综复杂, 如不经过预先试验, 一般很难准确地预测出切屑的形状. 但是, 切削过程与切屑形成有其本身的规律, 当切削条件在一定范围内变更时, 切屑形状的变化有一定的规律可循, 切削加工实践及研究证明, 使切屑的形状控制在一定的允许范围内是能够做到的.

2 切屑的形成、卷曲及折断

切屑的分类方法有很多, 其中以国际生产加工

收稿日期: 2001—10—22

作者简介: 陈海雷(1971—), 男, 浙江青田人, 华东交通大学讲师.

研究协会的 CIRP 分类法和国际标准化组织的 ISO 分类法应用最为广泛。CIRP 切屑分类法比较系统地反映了切屑流出、卷曲、折断与切屑类型之间的密切关系,有利于研究切屑的卷曲规律和断屑原理。我们下面的讨论将以这种分类法为基础展开。

2.1 切屑的形成、卷曲

刀具切入工件时,被切金属层经剪切面发生弹性滑移变形成为切屑。对于切屑的卷曲,文献^[3]认为,前刀面的摩擦作用是切屑卷曲的主要原因。这是因为前刀面的挤压作用使切屑厚度方向存在不同的残余应变,使切屑晶粒翻转从而引起切屑的卷曲。同时,刀具卷屑槽的存在将在很大程度上影响切屑的卷曲。日本的中山一雄指出:正常状态的切屑一般是螺旋形切屑,其形状可由螺旋外径 2ρ , 螺距 P , 螺旋面与轴线的夹角 θ 确定(图 1)。切屑流出后,受到工件、刀具、机床等的阻碍引起变形或折断,从而形成各种类型的切屑。因此,其它形状的切屑可以看成是螺旋切屑的演变和组合。

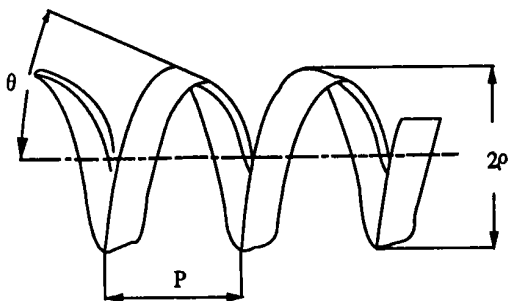


图 1 螺旋切屑形状参数

由切削机理可知,对螺旋形切屑产生影响的参数有:切屑上卷曲率 $1/\rho_x$, 横卷曲率 $1/\rho_z$, 流屑角 η 。则螺旋切屑的形状参数可表示为^[2]

$$\tan \theta = \frac{\rho_x}{\rho_z \cos \eta} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1 - \sin^2 \eta \cos^2 \theta}{\sqrt{\left[\frac{\cos \eta}{\rho_x}\right]^2 + \left[\frac{1}{\rho_z}\right]^2}} \quad (2)$$

$$P = \frac{2\pi \rho \sin \eta \cos \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \eta \cos^2 \theta}} \quad (3)$$

切削加工过程中,影响 $1/\rho_x$ 、 $1/\rho_z$ 及 η 的因素很多,诸如,被加工材料的性质,切削用量,刀具几何参数,冷却液及加工方式等。通过对主要影响因素的分析计算和对其它因素进行综合实验,我们得到如下公式^[4]

$$\frac{1}{\rho_x} = \frac{C_x}{(W_p - f) \cdot \cos \sigma / s} \quad (4)$$

$$\frac{1}{\rho_z} = C_z \left[\frac{\Delta}{b_D (\Delta + \kappa_{w1} \cdot b_D)} + \kappa_{w2} \xi_{h_{fz}}^a \right] \quad (5)$$

$$\eta = C_{\eta 1} \frac{f^{0.424}}{a_p^{0.744}} + C_{\eta 2}^2 \quad (6)$$

(6)式中 $C_{\eta 1} = 0.21(r_e + 0.45)^{0.68}(\kappa_r - 16)^{1.28} 0.99 r_n$

$$C_{\eta 2}^2 = c \lambda_s$$

2.2 切屑的折断

确定了切屑螺旋参数后,为了得到预期的屑型和最优的断屑效果,我们还必须对断屑机理进行研究。从 CIRP 分类法中,我们可以看到,当切屑的卷曲曲率很小时,容易形成长带屑或缠乱屑;当切屑的卷曲曲率较大时,如果切屑流出时没有受到工件或刀具的阻碍,或受到阻碍后又脱离了阻碍,则会形成连续的螺旋屑;如果切屑受到阻碍后不能脱离阻碍,则形成各种类型的折断屑。可见,切屑卷曲曲率对切屑的类型有很大的影响。但是,我们同时看到,切屑的几何尺寸、工件和刀具的形状以及切屑相对于工件和刀具的位置决定了切屑流出后是否碰到阻碍或碰到什么样的阻碍以及切屑受阻后的行为。此时,阻碍将对切屑的最终形状起决定作用。切屑相对于工件和刀具的位置可由切屑卷曲曲率、流屑角和切屑螺旋形状参数来计算得到^[6]。

断屑的应变条件决定了切屑碰到工件或刀具阻碍时是否会折断。切屑受前刀面和后刀面作用后,得到向上的卷曲半径 R_0 , 然后碰到后刀面使其卷曲半径增大到 R_L , 当应变 ϵ 达到断裂应变 ϵ_b

$$\text{屑折断的条件为}^{[1]} \quad \epsilon = \frac{a_{ch} \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_L} \right)}{2} \geq \epsilon_b \quad (7)$$

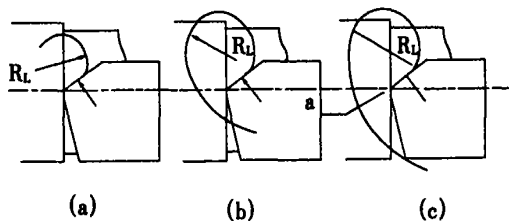


图 2 切屑的生成、卷曲与折断

图 2 所示后刀面障碍型的折断方式是在实际的车削加工中最为常见的一种切屑折断方式。

3 切屑控制

切屑控制,又称切屑处理,是指在切削加工采用适当的措施来控制切屑的卷曲、流出与折断,使之形

成“可接受”的良好屑形。在不同材料、不同加工方式的金属切削加工中,我们往往希望得到不同形状的切屑。比如,车削一般的碳钢和合金钢时,我们希望得到 C 形屑,因为 C 形屑不会缠绕在工件或刀具上,也不易伤人,是一种比较好的屑形。但是,如前所述,我们知道 C 形屑多数是碰撞在车刀后刀面或工件表面上折断得到的,切屑高频率的碰撞和折断会影响切削过程的平稳性,从而影响工件已加工表面的粗糙度。所以,精车时一般多希望形成长螺卷屑。通过前面的讨论以及得到的各式我们可以看出,影响切屑可控性的因素很多。我们主要可以采用如下的方法来达到理想的切屑形状:1) 改善被加工材料的切削可控性,2) 选择合适的切削用量,3) 选择合理的刀具几何参数,4) 设计合理的断屑槽槽形。

被加工材料主要是其所形成的切屑的断裂应变 ϵ_b 影响切屑的可控性。在多数情况下,被加工材料是不能由加工者来选择或更改的,因此通过热处理来改变其金相组织和机械性质就成为改善被加工材料切屑可控性的主要途径。在切削用量中我们可以通过增加进给量 f 和降低切削速度 v 来使切屑厚度 a_{ch} 增大,从(7)式可以看出的切屑厚度增大,可以使切屑易于折断。同时进给量的增大可使刀-屑接触长度 l_c 增大,这将导致 $1/\rho_x$ 的增大,刀-屑接触长度的增大还可以使副刀刃参加切削的比例增大,易于产生强烈的侧向卷曲,上述影响都将使切屑易于折断。但是进给量的选择还要受到加工表面粗糙度等因素的制约,不能任意加大,采用过低的切削速度也将影响加工质量。这时,我们应选择合适的刀具几何参数和断屑槽参数。减小刀具前角 γ_0 和增大主偏角 κ_r 可使切屑厚度增大有利于切屑折断。刃倾角 λ_s 可以控制切屑的流动方向从而对

切屑形成过程进行控制,一般来说选用正刃倾角对断屑较为有利。断屑槽可以对连续流出的切屑施加一定的约束反力,改变切屑根部的应力分布情况,使剪切面发生弯曲,从而使流出的切屑具有一定的曲率半径。断屑槽还可以引导切屑的流出。所以我们可以选用不同的断屑槽形状和参数来控制切屑的形状和流动方向。综合上述各种方法选择合理的参数并通过切削试验进行调整,我们就可以得到满意的切屑。

4 结束语

本文通过对影响切屑形成、变形、折断的各因素的分析,得到了一系列的相应公式。得出了通过控制刀具的几何参数和切削用量来控制切屑形状的结论。这不仅可以使我们得到满足加工要求的屑形,也为计算机切削加工仿真提供了切屑造型的依据。

参考文献:

[1] IS Jawahir, C A van Luttervelt. Recent developments in chip control research and applications. Annals of the CIRP[年报] 1993, 42(2): 659~685.
[2] Nakayama K, Ogawa M. Basic rules on the form of chip in metal cutting. Annals of the CIRP[年报] 1978, 27(1): 17~20.
[3] 刘亚俊等. 切屑卷曲模型及其控制参数的研究[J]. 工具技术, 2001, (2): 6~8.
[4] 施志辉等. 金属切削加工切屑形状参数的量化计算[J]. 工具技术, 2001, (1): 17~19.
[5] 赵 玢等. 切屑生成、卷曲、折断过程的实时仿真研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2000, (8): 12~15.
[6] 施志辉. 可转位机夹刀片断屑槽形的研究[D]. 大连: 大连铁道学院, 1999.
[7] 张幼桢. 金属切削理论[M]. 北京: 航空工业出版社, 1988.

Study on Chip Generating, Curling and Breaking

CHEN Hai-lei, JIANG Xian-gang, TU Xiao-bin

(School of Natural Science, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract :In this paper the law of chip formation, distortion and breaking for metal cutting are investigated, the affecting factors in chip forming and the formulas are discussed, and the foundation of the chip shape control and the machining process simulation are provided.

Keywords :metal cutting; chip control; chip breaking