

三维自由曲面力控制磨削系统

杨开明 刘红霞 任天平

(郑州工业大学机电一体化研究所)

摘要 系统以磨削力跟踪控制为基础,实现磨削力和机床双闭环控制。该控制方法实现了不需要数控指令就能自由曲面进行磨削加工,并且在磨削的同时对砂轮磨损自动补偿,保证了加工精度。

关键词 磨削力;控制;砂轮补偿

中图分类号 TG580.6

0 引言

三维自由曲面磨削加工在工业制品日趋多样的今天,成为摆在加工行业面前一个急待解决的难题。对于模具加工,磨削更成为左右模具制品价值的一项重要工程。随着 CAD/CAM 技术的成熟和其日趋广泛的运用,自由曲面半精加工已经得到解决,但后期加工特别是磨削还没得到很好的解决。国内乃至国外就目前来说,自由曲面的磨削加工基本上都是用手工工具由手工来完成。它不但需要操作者有丰富的经验,而且加工精度由于人为因素的影响而难于保证。手工作业效率低下,所需费用更不待言。据有关资料统计,模具精加工的费用要占一个模具成品费用的百分之二十五以上。解决模具精加工自动化的意义是不言而喻。

解决模具精加工特别是磨削加工问题,仅从一个或几个技术领域着手都难以得到理想的结果。它应充分运用微机、电子、控制方法、精密机械、传感、伺服、机械制造工艺等领域的先进技术,在已有技术的基础上来完成。本文介绍我们研制的针对三维自由曲面磨削所开发的一个系统。

1 系统原理

普通磨削采用“控制进给速度”磨削,在磨削过程中所产生的磨削力与工件速度、磨削深度、砂轮速度、工件材料等因素有关。实践证明,在具体的磨削条件下存在一个最佳磨削力区间,对磨削力“积极控制”,可以得到较高生产力和所需表面粗糙度。在磨削过程中,作为工件和砂轮之间的磨削力,和其它切削过程的切削力相类似,也包括两个方面:一是砂轮上各磨粒刀尖挤压和切工件时,工件切削层金属弹性变形、塑性变形的阻力;二是磨粒和切屑、工件表面间的摩擦力。由于磨粒几何形状各异,分布极不规则,作用在各个磨粒刀尖的力大小不等、方向比较散乱。我们所讨论的磨削力是指砂轮在磨削过程中所受到全部力的总和。它一般可用以下分式来描述:

$$F_r = C_f \cdot Z_s^{0.7} \cdot a_p \cdot K$$

国家八五重点科技攻关项目(85-719-29-01)

收稿日期:1997-09-11

第一作者:男,1970年生,硕士,讲师

$$P_m = C_p \cdot Z_s^{0.7} \cdot a_p \cdot K$$

$$F_t = 9.18 \cdot K_0 \cdot W^{-0.5} \cdot a_e^{0.88} \cdot \left[\frac{V_w}{V} \right]^{0.75} \cdot \left[\frac{1}{d_t} \pm \frac{1}{d_w} \right]^{-0.13}$$

在上述式子中各参数定义如下：

- F_r 为径向磨削力, P_m 为磨削功率, F_t 切向磨削力;
- a_p 为砂轮工作宽度, a_e 为磨削深度, V_w 工作速度;
- V 为砂轮线速度, d_t 为砂轮直径, d_w 为工件直径;
- W 为磨粒平均间距, $C_p \cdot K \cdot C_F$ 为磨削过程相关系数;
- K_0 为与工件材料性质相关的系数;
- Z_s 为单位金属切除率, 即砂轮每一毫米工作宽度每分钟磨去的金属量, 其值按下式求得:

$$Z_s = 1000 \cdot V_w \cdot a_e \cdot f_t / a_p$$

其中 f_t 为纵向进给量。

从上述公式中我们可以得到这样的结论：

- 1. 1、当工件速度 V_w 、纵向进给量 f_t 增大时, 如果其它条件不变则磨削力将增加;
- 1. 2、当磨削深度 a_e 增加时, 砂轮和工件接触面积增大, 磨削力也就增大;
- 1. 3、当砂轮线速度 V 增加时, 切削力将减少。实践表明, 切削速度 V 小于 $16m/s$ 时, 切削力随 V 的增加而缓慢减少; 如果 V 继续增大, 则切削力下降很快, 直至最后保持相对恒定。因而一般磨削加工砂轮线速度都选在 $25m/s$ 以上这段磨削力较小的范围内;
- 1. 4、砂轮的磨损对磨削力影响较大。磨损程度的增加, 径向磨削力 F_r 和切向磨削力 F_t 都将增加, 而径向磨削力增加更快。当砂轮硬度较高时, 磨钝的磨粒不易脱落, 磨削力也较大;
- 1. 5、磨削力还和工件材料的性质有关。工件表层材料的力学性能或热处理后的力学性能, 是影响磨削力的直接因素。

以上结论在实际的磨加工过程中也得到验证, 较好地证明了理论和实践的一致性。在一定条件下, 控制了磨削力的大小也就控制了相应的磨削用量, 从而得到一定的加工精度。

在我们所研制的系统中是以磨削力的跟踪控制为基础, 磨削力控制和机床伺服控制相结合, 实现磨削力和机床的双闭环控制。设磨削力控制目标值为 F_0 , 在加工过程中检测到的磨削力值 F , 我们的控制是使 $F_0 - F$ 趋于零。在这一过程中, 根据磨削力的变化来控制磨头和工件的相对运动, 从而完成对曲面的磨削加工。加工过程不需要数控指令, 从而也就不需要为编制数控指令而费时。系统控制框图如图 1 所示。

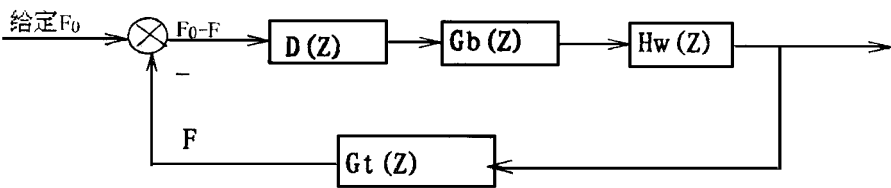


图 1 系统控制框图

图中 F_0 为磨削力给定量, F 为磨削力反馈量, $G_b(Z)$ 和 $H_w(Z)$ 为伺服系统及工作台运动系统传递函数 Z 变换, $G_t(Z)$ 为磨头及信号处理系统传递函数 Z 变换, $D(Z)$ 为磨削系统数字控制器。

针对自由曲面的各种形状, 给系统配以五种以上的磨削形式, 不同位置表面选择相应的加工方式, 最终完成曲面的加工。当然, 在加工前要输入相应的参数。这些参数主要是工作速度、磨深控制量、磨削范围控制量。系统硬件与软件组成如图 2 和图 3 所示。

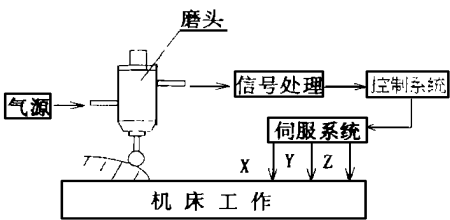


图 2 系统硬件原理

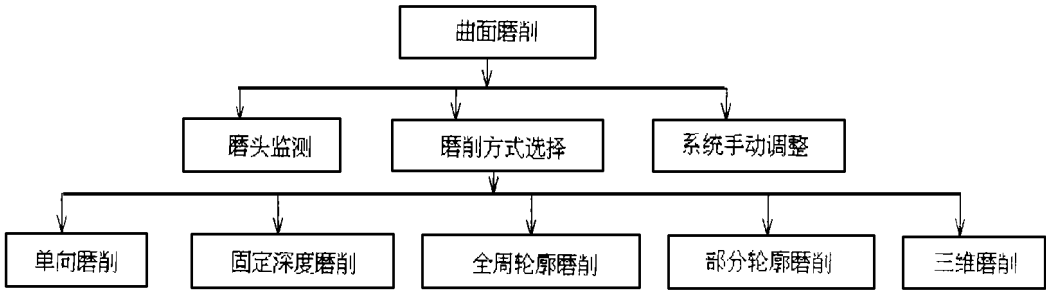


图 3 磨削系统软件组成

2 系统分析

系统中如何根据加工表面的形状、表面精度要求、工件材料性质、由于热处理引起的变形量等因素, 确定一个合适的磨削力控制目标是关键所在。

如图 4 所示, 自由曲面曲率变化很大, 对于常用的球头砂轮来说, 砂轮和工件接触处的曲率半径也不断发生变化, 从而导致磨削线速度的变化, 最终导致磨削力发生变化。因此要在加工精度允许的范围内化分加工区域, 针对该区域的加工要求确定合适的磨削力控制目标。区域的化分可以根据是粗加工或精加工粗化分和细化分。

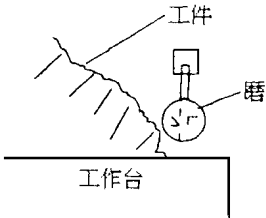


图 4 磨削过程

在该系统磨削加工中, 还可以对前道工序的加工残余误差量或热处理后的变形量进行修正。当然, 这必须是工件在磨削加工前进行测量, 得到误差量或变形量的大小后才能实施这项功能。方法是根据该量的大小改变磨削力控制的目标量。

在磨削过程中,砂轮的磨损对加工精度影响特别大。砂轮磨损的补偿变得非常重要,模具加工更是如此。实践表明,砂轮磨损对磨削力有很大的影响,它也体现在磨削力的变化上。且随着磨损程度的增加,磨削力也将增加。在其它加工条件一定的情况下,由于我们控制了一个恒定的磨削力,因而砂轮磨损能够得到补偿。

由于系统把磨削力控制和机床控制有机的结合起来,在控制磨削力的同时控制机床工作台的运动,它形成一个闭环系统,因而加工过程不需要数控程序。这样就增大了系统的适应范围。在磨削过程中,系统检测出三个方向的磨削力 F_x 、 F_y 、 F_z ,则磨削过程中产生的总磨削力 F 为:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

把该磨削力 F 和控制目标值 F_0 相比较,得到它们的差值:

$$\Delta F = F - F_0$$

用该误差值来调节机床工作台的运动,使 ΔF 趋于最小,从而保证磨削过程磨削力恒定。其控制过程是:得到 F_x 、 F_y 、 F_z 、 ΔF 后,通过一定的算法,得到机床工作台的运动量,然后由机床伺服系统来完成机床工作台的运动过程。

3 结束语

本文介绍了一个和三坐标以上数控铣床或者加工中心配套的针对自由曲面的磨削系统,经验正是可行的。它是鉴定过的国家“八五”科技攻关项目《智能化集成加工中心及控制系统》的一个子系统。下一步我们将进行系统能用性的研究,开发出与该装置相配套的专家系统,它将采用专家的推理方法和控制策略,把磨削经验和知识通过计算机处理,使其更加通用化和智能化,以其在生产中大幅度提高其生产效率和加工精度。

参 考 文 献

- 1 金属切削理论与实践·下册第二分册:金属切削理论与实践编委会:北京出版社,1980
- 2 金属切削加工理论·[日]·中山一雄:机械工业出版社,1985.3
- 3 精密工学会志·[日]·Vol.52No.1(1986)
- 4 幸田盛堂等·金属自由曲面研磨法的研究·昭和60年度精机学会秋季大会学术讲演会讲演论文集(1985)805

Grinding System Based on Force Control of Three-Axis Free from Surface

Yang Kaiming Liu Hongxia Ren Tianping
(Zhengzhou University of Technology)

Abstract Basing on the grinding force trace control, this system realizes twin close-loop controls of grinding force and machine tool. This kind of control method can grind free from surface without NC instructions, and automatically compensate the wear of grinding wheels. So it guarantees the precision of grinding.

Keywords grinding force; control; compensation of grinding wheel