

超声振动加工技术及应用

——基于嵌入式系统与工程电子技术项目式OBE方法

何毓佳 张京东 谢 博 齐合达 邹云鹤*

内蒙古工业大学 内蒙古呼和浩特 010051

摘 要: 超声振动加工技术是一种结合传统切削与超声振动能量的先进制造工艺。该技术通过向切削工具或工件施加高频超声振动,实现了对传统切削过程的革新。超声振动不仅改变了切削力的分布,还影响了切削温度,从而显著提高了加工效率和加工质量。本文旨在探讨超声振动加工技术的产生机理,为后续的研究和应用提供理论基础。

关键词: 超声振动;加工技术;应用

引言

随着现代制造业的快速发展,对加工精度、效率和表面质量的要求日益提高。传统切削加工技术虽然在一定程度上满足了这些需求,但在面对难加工材料和复杂结构零件时,仍面临诸多挑战。超声振动加工技术作为一种新兴的制造工艺,以其独特的加工机理和显著的加工效果,为解决这些难题提供了新的思路。本文将从超声振动加工技术的产生机理出发,深入探讨其加工过程、工艺参数,旨在为超声振动加工技术的进一步研究和广泛应用提供有益的参考。

一、产生机理

超声振动切削过程是由一个超声波发生器产生超声波,再经超声换能器转换成高频机械振动,通过工件及刀具的相互作用,使工件发生相应的变化。在超声波发生器产生的超声波的作用下,工件发生周期性的塑性变形,使工件材料发生塑性流动,切削力大大降低;同时由于超声振动对工件的作用,使工件材料的金相结构发生变化,从而提高了工件材料的切削性能。刀具受到超声波作用后,其前角和后角都发生改变,进而引起刀具几何形状发生变化。

由于超声振动切削过程是一个多因素耦合作用的过程,因此其切削机理呈现出以下特点:

基金支持: 本论文为内蒙古工业大学校级教改一般项目“基于OBE理念的‘嵌入式系统与工程电子技术’项目式教学与考核评价研究”(2024203)和内蒙古工业大学专创融合课程建设项目“嵌入式系统与工程电子技术”(ZC2024004)的阶段性研究成果。

(1) 超声振动切削加工过程是一个复杂的物理过程,在整个过程中涉及到多种因素的耦合作用。

(2) 在切削过程中工件材料内部产生了塑性流动,使其切屑形态呈“条状”。

(3) 刀具和工件之间产生了强烈的摩擦和冲击作用。

(4) 切削时产生了很高的切削力。

(一) 超声振动切削作用机理

超声振动切削机理是在超声振动作用下,切削区内产生周期性的微振动,使工件材料产生周期性的塑性变形,从而降低切削力,同时由于微振周期和频率的变化,使刀具与工件之间产生强烈的摩擦和冲击作用,从而提高切削性能。加工中超声波高频振动可使工件材料中产生塑性变形,由于裂纹及断裂所引起的微裂纹、微断裂、微缺陷及微裂纹,使其应力松弛、强度提高。同时由于超声振动对工件材料塑性变形和残余应力的影响,从而降低了材料中的塑性流动,使切削力降低^[1]。这些因素综合作用于刀具上,大大降低了切削力。另外由于微振周期和频率的变化,使刀具与工件之间产生强烈摩擦和冲击作用,从而提高了刀具使用寿命。

超声振动切削是在普通切削(金属切削)的基础上发展起来的一种新型加工方法。它是在超声发生器产生超声波的同时将其转换成高频机械振动,使其振动频率达到20kHz以上;使工件在加工过程中受到周期性变化的微小切削力作用。这种变化主要包括三个方面:一是在超声发生器产生超声波时,使工件材料发生塑性变形;二是在刀具上施加一定的切削力以控制工件材料发生塑性流动;三是在刀具上施加一定频率和振幅以控制工件材料发生微观断裂和微裂纹。由于超声振动切削具有加工速度快、零件变形小、刀具磨损小、加工表面质量好

等优点, 所以它被广泛应用于各种难加工材料和精密零件的加工。超声振动切削技术已成为当今先进制造技术领域中最活跃的研究方向之一。

(二) 超声振动加工过程中刀具的几何形状

通常情况下, 刀具后角越小, 切削力越大; 前角越大, 切削力越小。因此, 为了获得良好的加工质量和较低的切削力, 在超声振动加工过程中刀具的后角和前角都要适当地增大。

为了使刀具具有较好的前角, 以获得理想的切削效果, 通常在前刀面上安装一个或多个质量较大的负前刀面刀刃, 使得负前刀面刀刃部分向外弯曲。这种负前刀面刀刃可以增大刀具的切削性能, 避免出现加工硬化现象。

为改善负前刀面刀刃部分向外弯曲对加工质量产生影响的问题, 可以在负前刀面刀刃部分增加一个楔形刀齿。楔形刀齿可以起到减小切削力、减小振动幅度等作用, 但同时也会引起切削变形增大。为解决这一问题, 可以在负前刀面刀刃部分增加一个内角, 即负前刀面圆弧。由于内角较小, 使得负前刀面刀刃部分向外弯曲程度减小。通过改变刀具前角和负前刀面圆弧两个参数, 可得到不同的切削效果。同时由于内、外角的变化也会影响到负前刀面刀刃部分和刀具的接触情况^[2]。

二、加工过程

超声振动加工是通过施加一定的机械振动, 使刀具材料产生塑性变形, 并与工件表面之间形成塑性接触, 从而使工件表面实现材料去除的一种新型加工方法。超声振动加工过程是通过施加机械振动将刀具材料从基体上剥离, 同时在刀具与工件之间形成一定深度的切槽。当机械振动通过刀具材料时, 由于切削过程中切屑与刀具之间的摩擦, 使刀具上产生的热量逐渐被切屑带走, 从而降低了刀具表面温度, 降低了刀具磨损程度。此外, 由于超声振动作用使得切削力减小、切削温度降低和切削变形减小, 从而提高了刀具寿命^[3]。实际加工时, 在超声振动装置中施加一定频率和幅值的正弦信号, 使工件上产生周期性变化的机械应力, 从而实现对工件材料的去除。

(一) 超声振动

超声振动加工的基本原理是在刀具表面施加一定频率的正弦信号, 通过刀具材料的塑性变形, 在刀具表面形成切槽。这种方法比传统加工方法具有更高的加工精度和更好的表面质量, 且具有明显的优势。超声振动加工采用了传统加工中没有的新工艺、新技术, 因而可以将加工效率提高几倍甚至几十倍。据统计, 传统

加工方法在相同加工条件下, 其切屑与刀具接触点处产生的热应力约为 100~300MPa, 而超声振动加工仅为 0.1~2MPa, 从而使刀具磨损降低 70% 以上, 延长刀具寿命。在超声振动系统中, 切削过程中由刀具表面向工件材料发生的摩擦系数可降低到 0.05~0.10。此外, 由于超声振动作用使工件表面形成塑性接触而产生的切屑被切屑与刀具之间的摩擦带走, 从而降低了工件表面粗糙度。一般情况下, 随着工件材料硬度增加或硬度降低 (例如硬质合金), 其表面粗糙度逐渐增大。但当材料硬度和强度变化不大时 (例如硬质合金), 随着切削速度提高 (例如硬质合金), 其表面粗糙度逐渐减小。而当材料强度和硬度变化较大时 (例如陶瓷、碳化硅), 其表面粗糙度变化不明显^[4]。

(二) 切削力

超声振动切削过程中, 由于超声振动可以在一定程度上降低切削力、减少切削力热效应, 提高切削效率, 因此具有更好的加工效果。根据已有研究可知, 超声振动加工过程中的切削力比常规切削过程中的切削力小。当施加超声振动后, 切屑变得非常薄, 且会发生变形; 在切削过程中, 工件材料沿着切屑方向发生周期性变化的位移, 同时由于切削变形小、工件材料的塑性应变小、热效应小等原因, 使得切屑在切削过程中更容易与刀具和工件表面产生相对滑动; 另外由于刀具材料塑性变形的减小和切削速度的降低, 使得在相同条件下, 超声振动加工的切削力要小于常规切削。然而由于超声振动加工过程中刀具和工件之间仍有相对滑动和摩擦, 因此在相同条件下其对工件表面粗糙度、刀具耐用度和表面完整性等影响较大。

(三) 切削温度

超声振动切削时, 由于刀具上产生的热量被切屑带走, 使得切削区温度降低, 从而减小了刀具的磨损, 延长了刀具使用寿命。对于一般切削而言, 工件表面温度随进给量的增加而增加; 但对于超声振动加工而言, 由于工件表面温度随进给量的增加而降低。因此, 切削过程中进给量和切屑厚度是影响工件表面温度的主要因素。在普通切削时, 由于进给量和切屑厚度较大, 温度较高; 而在超声振动切削中, 由于进给量和切屑厚度较小, 因此在超声振动切削时, 切屑厚度减小、温度降低。在切削速度一定时, 超声振动切削的工件表面温度要比普通切削低; 但由于刀具材料不同, 切削温度也有所差异^[5]。一般来说, 刀具材料为金刚石、立方氮化硼或立方氮化硼等陶瓷材料的情况下, 由于陶瓷材料的导

热系数很低,因此切削速度对其影响较小;而当刀具材料为TiN、Ti6Al4V或TiC时,由于陶瓷材料具有很好的导热性能和良好的韧性、强度、耐磨性及极好的热稳定性等优点,因此在超声振动加工中刀具温度要比普通切削低。此外,由于超声振动加工中工件表面温度随着进给量和切屑厚度的变化而变化。因此在超声振动切削中适当控制进给量和切屑厚度是提高工件表面质量及延长刀具寿命的关键因素之一。

三、工艺参数

超声振动加工过程中的工艺参数主要包括振幅、切削速度和进给速度等。在一定范围内,随着振幅的增加,加工效率也随之增加,但随着振幅的增加,对刀具寿命、工件表面质量以及加工精度都有负面影响;在一定范围内,切削速度的增加使切削力、切削热、切屑变形、刀具磨损等均有所提高;进给速度的增加则会导致切削力、切削温度的进一步增加。在超声振动加工中,最佳的加工工艺参数是:振幅为0.2~0.4 μm ,切削速度为200 ~ 400m/min,进给速度为20 ~ 40m/min。其中,振幅与进给速度对加工效率和表面质量影响较大,而切削速度对表面质量影响较大。但目前对于超声振动加工的具体工艺参数的选择仍处于摸索阶段^[6]。

(一) 振幅

振幅是影响超声振动加工效率的重要参数,其主要影响因素是进给速度和切削深度。如果切削深度较小,则会导致切削力的减小,从而提高加工效率。当切削深度增大时,振幅会随之减小,但同时也会导致切削力的进一步增大。如果振幅太小,则会导致刀具寿命降低。当加工尺寸较大的工件时,若振幅太小,则会导致刀具寿命降低甚至损坏;但如果振幅太大,则又会导致加工精度降低。此外,如果工件表面粗糙度较大,则需要较高的振幅才能保证加工质量。因此,在选择超声振动加工工艺参数时,需要综合考虑加工效率和表面质量等因素。通常情况下,在加工尺寸不大的工件时,选择振幅为0.1~0.2 μm ;对于尺寸较大的工件来说,一般选择振幅为0.4~0.6 μm 。

(二) 切削速度

切削速度是影响超声振动加工效率的重要因素之一。在超声振动加工中,由于切削力、切削热、切屑变形等原因,切削速度对切削力、切削热和刀具磨损的影响很大。当切削速度提高时,可获得更高的加工效率,但当切削速度进一步提高时,会引起切屑变形、刀

具磨损、刀具寿命下降等问题。如果不考虑工件材料的可切削性和加工过程中的振动,当切削速度增加到某一数值时,就会出现刀尖折断现象。同时,随着切削速度的提高,工件表面粗糙度也会逐渐增大。此外,若切削速度过高还会引起工件和刀具间的剧烈摩擦,造成加工表面温度升高而影响加工精度。当切削速度从200m/min增加到400m/min时,表面粗糙度从Ra0.75 μm 增加到Ra0.90 μm 。而且随着切削速度的进一步增加,工件表面质量的下降趋势将变得更加明显。由此可见,当切削速度增大时,表面粗糙度与加工精度均有所提高。但当进给速度过高时,由于振动作用减弱导致振幅下降。所以在超声振动加工中应尽量避免使用过高的进给速度进行加工。

结束语

综上所述,超声振动加工技术及应用作为一种先进的制造技术,已经在多个领域展现出其独特的优势和广泛的应用前景。通过深入研究和理解超声振动切削的作用机理、刀具几何形状对加工效果的影响,以及加工过程中的超声振动、切削力和切削温度等关键因素,我们可以更好地掌握这一技术的核心。同时,工艺参数如振幅和切削速度的优化,也为提高加工效率和加工质量提供了有力支持。未来,随着材料科学和制造技术的不断进步,超声振动加工技术将迎来更加广阔的发展空间。

参考文献

- [1]舒坤,孙岩,陈燕.超声振动辅助磁粒研磨技术的研究进展[J].振动与冲击,2023,42(06):39-54+78.
- [2]许超,袁信满,关艳英,庄百亮,查慧婷,龚涛,王健健,张翔宇,马原,赵学奇.超声加工技术的应用及发展趋势[J].金属加工(冷加工),2022,(09):1-6.
- [3]丁文锋,曹洋,赵彪,徐九华.超声振动辅助磨削加工技术及装备研究的现状与展望[J].机械工程学报,2022,58(09):244-269.
- [4]张德远,黄志勇,张翔宇.超声加工的技术发展与行业应用[J].电加工与模具,2021,(04):1-14.
- [5]张卫锋,刘致君,张灿祥,张福霞.旋转超声加工的研究现状及发展趋势[J].机械制造与自动化,2021,50(03):1-4+19.
- [6]张德远,刘逸航,耿大喜,姜兴刚.超声加工技术的研究进展[J].电加工与模具,2019,(05):1-10+19.