

浅析机械加工过程中机械振动的原因及对策

马智勇

北京同仁堂科技发展股份有限公司 北京 100000

摘要: 机械加工中的机械振动影响加工精度和表面质量。本文分析了自由振动、强迫振动和自激振动的成因,指出切削力突变、机床惯性力、外界干扰及系统稳定性不足等是主要原因。为降低振动,提出了优化切削参数、提高机床和刀具刚度、设置隔振设施、提高系统阻尼、采用减振措施及主动控制技术等对策,这些措施有助于确保加工过程的稳定性和精度,提升工件质量,延长机床和刀具使用寿命。

关键词: 机械加工; 机械振动; 原因; 对策

引言: 机械加工过程中的机械振动是影响加工精度和表面质量的重要因素。随着制造业的发展,对加工精度和效率的要求日益提高,机械振动的控制成为亟待解决的问题。本文旨在探讨机械加工中机械振动的类型、原因及对策,以期提升机械加工质量和效率提供理论支持和实践指导。通过深入分析振动产生机理,提出有效的控制措施,对于推动制造业的发展具有重要意义。

1 机械加工中的振动类型及其对加工过程的影响

1.1 自由振动

自由振动是机械加工振动的基本形态之一,源自系统受到的初始外界干扰力——激振力,当这种突发力量作用于系统时,会触发一系列振动波。但是由于机械系统中固有的阻尼效应,自由振动并不会持续放大,而是会逐渐减弱直至消失,这一过程体现了系统内部能量的自然耗散。在机械加工实践中,自由振动多由切削力的突然变化或其他外界冲击引发,如刀具与工件接触时切削条件的不稳定导致切削力的急剧波动。尽管单次自由振动的幅度随时间逐渐减小,对机械加工的直接干扰有限,但长期累积的微小振动却可能对机床精度、刀具寿命及工件表面质量构成威胁。具体来说,自由振动会增大机床部件间隙,削弱机床整体刚性及精度,加速刀具磨损,缩短使用寿命,并可能在工件表面留下波纹、划痕等瑕疵,进而影响到生产效率、成本控制及最终产品质量。

1.2 强迫振动

强迫振动在机械加工中的产生原因相较于自由振动更为广泛且复杂多变,机床运动部件高速运转时产生的周期性惯性力,以及电动机皮带轮因质量分布不均导致的旋转不平衡离心力,均是强迫振动的主要激发源。此外切削过程中刀具与工件接触状态的不连续性,使得切削力呈现周期性变化,进一步加剧了振动。同时,机

械加工现场的其他外部振源,诸如邻近设备的振动,也可能通过地基等介质传播至机械加工系统,成为强迫振动的另一重要来源。这些强迫振动不仅显著影响加工件的圆度、粗糙度等关键质量指标,导致加工精度和表面质量下降,具体表现为加工件表面出现波纹、划痕等瑕疵,而且由于振动导致的机床部件周期性相对位移,还会加剧部件磨损,缩短机床使用寿命,进而增加维护成本,对机械加工过程的稳定性和经济性构成严重威胁^[1]。

1.3 自激振动

自激振动作为机械加工领域一种独特的振动现象,其特性在于振动系统能自行产生交变力,从而激发并维持周期性振动,亦称颤振。在切削加工过程中,自激振动尤为常见,其振动频率与机械加工系统的固有频率紧密相关,且能量直接来源于驱动机床运转的电动机,而非外界干扰力。当刀具以一定速度切削工件时,若切削系统稳定性不足,切削力中的特定成分易与系统固有频率发生共振,激发自激振动。这种振动依靠系统内部能量循环维持,直至切削结束或系统稳定性恢复。自激振动对机械加工过程影响深远,不仅导致刀具与工件相对位置的周期性变化,使切削轨迹偏离理想状态,降低加工件尺寸和形状精度,留下波纹、锥度等缺陷,严重影响加工质量;还会加剧刀具和机床部件磨损,缩短使用的寿命,极端情况下甚至造成刀具崩刀或机床部件损坏,带来安全隐患和经济损失。

2 机械加工中机械振动的原因分析

2.1 自由振动的原因

在机械加工过程中,机械振动的产生是一个多因素交织的复杂现象,其中自由振动作为基本形态,其成因尤为关键。自由振动,即在没有外界持续作用力的情况下,由初始扰动引发的系统振动,并随时间逐渐衰减。这种振动的产生主要归咎于切削力的突变及机床运动部

件的惯性效应。在刀具与工件接触的瞬間，切削条件的不稳定或突变会导致切削力急剧变化，对机械系统施加瞬间冲击，从而激发自由振动。特别是当切削力变化频率接近或等于系统固有频率时，更易引发共振，导致振动幅度增大。机床运动部件在加速和减速过程中产生的惯性力，也会作用于机械系统，引发振动。在高速或重载加工条件下，这种惯性效应更为显著，对系统稳定性影响更大。此外机械系统的结构特性也对自由振动的产生和衰减有重要影响。自由振动的存在不仅会降低加工精度和表面质量，还可能加速刀具和机床部件的磨损，甚至导致机床故障。所以必须采取有效措施，如优化切削参数、提高机床结构刚性、采用先进减振技术等，以抑制自由振动的产生和传播，确保机械加工过程的稳定性和可靠性，从而提高加工效率和质量。

2.2 强迫振动的原因

在机械加工领域，强迫振动的产生是一个复杂且多元的问题，其成因涉及机床运动零件的惯性力、电动机皮带轮的质量偏心、切削断续表面切削力的不连续性以及外界其他振源的干扰等多个方面。当机床的关键运动部件，如主轴和刀架，在高速运转时，会因惯性产生显著的周期性离心力，导致机床整体振动，尤其在高速或重载加工条件下更为显著，严重威胁加工精度和表面质量。同时电动机皮带轮的质量分布不均匀也会在高速运转时产生周期性的离心力，通过传动系统传递到机床和工件，引发强迫振动，影响机床稳定性和加工精度。此外切削加工过程中刀具切入和离开工件时切削力的急剧变化，相当于对机械系统施加周期性冲击力，激发强迫振动，尤其在切削深度大或进给速度快时更为显著。机械加工过程还可能受到邻近设备振动和地基振动的外界干扰，这些振动通过空气或地基传递到机床和工件，同样成为强迫振动的来源，所以为了有效控制强迫振动，需综合考虑上述因素，采取相应的减振措施^[2]。

2.3 自激振动的原因

一是切削过程中刀具与工件之间的摩擦力，随着切削条件的变化，如切削速度、进给量、切削深度以及工件材料的性质等因素的改变，刀具与工件之间的摩擦力也会发生相应的变化。当摩擦力突然增加时，切削力也会随之增大，这种力的突变会对机械系统产生一个瞬间的冲击，从而引发系统振动。此外刀具与积屑之间的不稳定作用力也是导致系统振动的一个重要因素。在切削过程中，积屑的形成和排出会对刀具产生一个不稳定的反作用力，这种力的变化同样会引发系统振动。二是工件材料的不均匀性，当工件材料的硬度、刚度等物理性

能存在差异时，刀具在切削过程中会受到不均匀的切削力。这种不均匀的切削力会导致刀具在切削过程中的受力状态不断变化，从而引起系统的振动。特别是在切削硬度变化较大的工件时，刀具的受力状态会发生显著变化，导致系统振动的产生。三是刀具的刚度不足，在切削的过程中，刀具需要承受较大的切削力，如果刀具的刚度不足，就容易发生震颤现象。这种震颤不仅会降低切削精度和表面质量，还会引发系统振动，刀具的磨损和崩刀也会导致切削力的不稳定。随着切削时间的延长，刀具会逐渐磨损，当磨损到一定程度时，刀具的切削性能会显著下降，导致切削力的不稳定和切削过程的不连续，引发系统振动。崩刀则是刀具在切削过程中突然断裂的现象，崩刀会导致切削力的急剧变化，同样会引发系统振动。四是切削参数的不合理，切削参数包括切削速度、进给量、切削深度等，这些参数的设置直接影响切削力的大小和切削过程的稳定性。当切削参数设置不当时，会导致切削力的不稳定和切削过程的不连续，从而引发系统振动，所以在切削加工过程中，需要合理设置切削参数，以确保切削过程的稳定性和切削力的连续性^[3]。

3 机械加工中机械振动的控制对策

3.1 降低自由振动的对策

在机械加工的领域，有效控制机械振动，特别是自由振动，对于确保加工精度、提升工件表面质量以及延长机床和刀具使用寿命至关重要。为降低自由振动，一是优化切削参数，通过合理调整切削速度、进给量等，减缓切削力的变化速率，从而降低自由振动的幅度。当切削速度过高或进给量过大时，切削力急剧增加并可能突变，这是激发自由振动的主要原因。因此，适当降低切削速度、减小进给量，不仅有助于提升加工稳定性，还能减少刀具磨损，延长使用寿命。二是提高机床和刀具的刚度，作为切削加工的主要承载部件，其刚度直接影响振动响应。机床或刀具刚度不足时，切削过程中产生的惯性力易引发明显振动，降低加工精度，加速机床和刀具损坏。所以加强机床结构设计，如增加支撑结构、优化材料选择，以及选用刚度较高的刀具材料，如硬质合金、陶瓷等，能有效增强抗振能力，显著降低由惯性力引起的振动，提升加工系统稳定性。在实施这些控制对策时，需根据具体加工条件和工件材料特性灵活调整切削参数，综合考虑机床和刀具的刚度需求进行针对性优化设计，并定期检测和维护机床及刀具的刚度状态，以确保加工过程的持续稳定。

3.2 降低强迫振动的对策

(1) 减少外界干扰力。在机械加工现场, 外界干扰力可能来源于多个方面, 如邻近设备的振动、地基的微小震动、空气流动产生的噪声等。这些干扰力通过直接或间接的方式传递到机床和刀具上, 从而引发强迫振动。为了有效减少这些干扰力的影响, 可以采取一系列措施。可以在机床周围设置隔振设施, 如隔振垫、隔振沟等, 以隔离和减少外界振动对机床的传递, 同时优化机床的布局, 确保机床与周围设备的合理间距, 避免振动源的相互干扰, 还可以对机床进行定期的维护和保养, 确保其处于良好的工作状态, 减少因机床自身问题而产生的振动。(2) 提高系统阻尼。阻尼是指系统抵抗振动的能力, 提高阻尼可以有效减小振动幅度和持续时间, 从而降低强迫振动的影响。为了实现这一目标, 可以在机床和刀具上安装阻尼器, 如橡胶阻尼器、液压阻尼器等, 这些阻尼器能够吸收和消耗振动能量, 从而降低振动幅度。此外, 使用高阻尼材料也是提高系统阻尼的有效途径。高阻尼材料具有优异的能量吸收和耗散能力, 能够有效降低振动传递和放大效应, 所以在机床和刀具的设计和制造过程中, 应优先考虑使用高阻尼材料, 以提升系统的抗振能力。(3) 提高机床和刀具的制造和装配精度。由于机床和刀具在制造和装配过程中可能存在零件缺陷、松动等问题, 这些问题会导致振动源的产生和放大, 进而引起强迫振动, 所以提高机床和刀具的制造和装配精度至关重要, 还可以采用先进的制造工艺和装配技术, 如精密加工、数控加工、激光焊接等, 以确保零件的尺寸精度、形状精度和位置精度达到设计要求。在装配过程中, 应严格控制装配公差和装配顺序, 确保机床和刀具的装配精度满足使用要求。通过这些措施的实施, 可以有效减少由于零件缺陷和松动等原因引起的振动, 提升加工过程的稳定性和精度^[4]。

3.3 降低自激振动的对策

为了有效控制机械加工中的自激振动, 确保加工过程的稳定性和精度, 可以采取多种针对性措施。第一, 优化切削参数是降低自激振动的关键。切削速度、进给量、切削深度等参数的合理选择直接影响切削力的稳

定性和切削过程的不连续性。因此, 我们需要根据加工材料、机床性能以及刀具特性等因素, 科学优化切削参数, 确保切削过程平稳进行, 避免过大的切削力导致刀具和工件变形, 从而降低自激振动的风险。第二, 提高刀具和工件的刚度也是降低自激振动的重要途径。可以选用刚度较高的刀具和工件材料, 如硬质合金刀具、高强度钢材等, 并加强其支撑结构, 如增加支撑点、优化支撑方式等, 以提高整体刚度, 减小切削过程中因变形引起的振动。第三, 采用减振措施同样不可或缺。可以在机床和刀具上安装橡胶减振器、液压减振器等, 以吸收和消耗振动能量, 降低振动幅度; 并且使用高阻尼材料制造机床和刀具的关键部件, 如高阻尼合金、复合材料等, 以减少振动传递和放大效应。第四, 还可以采用主动控制技术, 通过安装加速度传感器等监测设备实时获取振动信息, 并通过控制系统对振动进行精确监测和快速响应, 进一步降低自激振动的风险。这些措施共同作用, 为机械加工过程的稳定性和精度提供了有力保障。

结语

综上所述, 机械加工中的机械振动对加工精度和表面质量具有显著影响。通过优化切削参数、提高系统阻尼、增强机床和刀具刚度、采用减振措施及主动控制技术等对策, 可以有效控制机械振动, 提升加工过程的稳定性和精度。未来, 随着制造业的不断发展, 对机械振动的控制将提出更高要求, 需要不断探索和创新更加有效的控制措施, 以推动制造业的持续进步。

参考文献

- [1] 李晓峰. 机械加工过程中机械振动的成因及解决措施[J]. 科技创新导报, 2020(17):64-64,21
- [2] 郭翔翔, 马爱兵. 机械加工过程中机械振动的成因及解决措施[J]. 时代农机, 2020(01):26-27
- [3] 张学敏. 机械加工中的振动问题及其控制[J]. 经济技术协作信息, 2020(11):88-88.
- [4] 白向龙. 机械加工过程中机械振动的原因及对策探讨[J]. 全面腐蚀控制, 2020(3):60.