

精密数控机床切削特性耦合机械结构设计

宋启东

(莱州市金诚机械有限公司 山东 莱州 261400)

摘要:精密数控机床具有较强的集成性质,能够在系统化的管理下进行统一操作,促进机械工作在较稳定和标准的过程中完成运行。原有机床在结构设计中较少考虑切削特性,在进行整机工作时难以控制震颤频率,导致生产加工过程中的噪声过大,影响加工目标的切削深度。在匹配精密数控机床机械结构动静态参数的基础上,基于自由边界条件处理机床切削耦合特性,以直线式驱动上下抓取动作设计机械结构,完成精密数控机床切削特性耦合机械结构设计。试验结果:以某省工厂实际加工的柴油机发动机为测试对象,选择两组传统机械结构进行对照,在生产加工过程内传统结构会产生震颤频率,最大噪声信号为140dB,而新结构产生的噪声信号不超过16dB,且对切削深度的控制能够与标准设定相一致,具有实际应用效果。

关键词:精密数控机床;切削特性;耦合机制;结构设计;震颤幅度

0 引言

精密数控机床作为一种更高精度化和效率化的自动机床,在数控技术不断发展的过程中,对其提出了更高的加工精度和生产效率的要求。为保证机床能够在不同的生产条件下,对产品的加工精度和质量做到有效控制,需要考虑几何精度与变形定位之间的误差所在。现阶段数控机床的主要控制形式为数字信息,在标准化的流程内,通过设定操作频率和切削系数,对机械结构进行统一管理。但机械结构的震颤会引起加工材料的疲劳破坏,当加工机床进入工作状态时,若不能加入对切削特性的考虑,会引起巨大的震颤频率,从而产生过大噪声,诱发加工结果精度过低和产品应力不足等情况。

机床的机械结构包括机床本身和工作台、导轨和刀架等,对其不同机械结构的优化设计,需要对机床进行合理布局,在考虑刚性要求和精度的基础上,要保证机床的使用寿命与精度相一致。本文研究精密数控机床切削特性耦合机械结构设计方法,弥补原有机构的不足,通过有限元模型确定震颤的发生机制,完成对加工过程震颤的捕捉,以减少噪声过大的影响,为促进加工产品的切削精度提供理论支持。

1 精密数控机床切削特性耦合机械结构设计方法

1.1 匹配精密数控机床机械结构动静态参数

在实际生产过程中,机床会受到环境温度和内在运行温度的影响,在加工时会出现热变形的现象,进而对机床后续的加工精度产生影响,因此在设计机械结构时,要始终保证机床可以在恒温状态下进行工作。

数控机床的机械结构中数据系统是最主要的,在其

内包含输入和输出指令,只有保证准确的数据信息,才能够促进精密数控机床始终在稳定的状态运行。静态参数包括机床内置部件结构的零件状态,需要在不同的生产条件下,均可满足弹性形变要求。而动态参数为机械生产过程中机床主轴的刚度变化状态,能够在多种生产加工条件下,自动调整主轴以适应部件运行。

在标准化的参数匹配过程中,除了需要严格控制温度条件外,对机床机械结构运行过程中的脉冲量和位移量,均需要进行参考数据的设置。以按照正常的生产标准速度值进行匹配,在温度较低时要减少物理结构的摩擦转动,而在温度过高时要减少齿轮的高速运转。

1.2 基于自由边界条件处理机床切削耦合特性

根据自由边界拟定条件来处置数控机床机械耦合特性,当需要两个或者多个自由度选择时,取相同数值的耦合度进行配比,能够将其连接在一起,即为耦合原理的主要内容。利用3个耦合平动和3个转动进行连接,能够抵消1个自由转动的销接自由度,具体分为两个部分。其一是在有限元模型内,通过局部区域的某个节点进行标记,当该节点存在耦合关系时,在其辐射边缘的局部位置均为刚性属性,建立初次的机械结构刚性节点。其二是在耦合节点重复的条件下,对每个重合的节点进行自由度标记,利用生成的耦合集合进行重合配置,不断地增加机床的切削特性。

在实际的精密数控机床工作中,存在着不同的运维机制和技术特征,因此需要对多种种类的机械状态进行调配,其中以直线式上下机械抓取为主要变化形式,来满足机床的驱动运行过程。

1.3 直线式驱动上下抓取动作完成机械结构设计

对机床配置结构中的机械抓手,其机身本来就存在

焊枪和铁刀等工具，需要仔细配合生产工作中的实际用途，结合作业内容完成产品的加工生产。以项目的运行机制为设计前提，对结构设计过程中的数据信息进行整合，首先要保证机械结构在夹持物体时，不会受到限制和约束，能够及时地完成材料抓取任务。其次按照直线式运行的方式，对机床的刚性需求进行稳定配置，利用直接驱动的特性完成结构的集中管理，从而控制机床的操作难度。

在此基础上，对抓取的手臂长度可以分为两个部分。一方面是利用活塞杆形成固定的三角形，加深机械结构的稳定性。另一方面在较长的抓取臂杆上，增加导杆装置形成四边形，以此减少大臂的整体重量。至此通过匹配精密数控机床机械结构动静参数，以自由边界条件处理机床切削耦合特性，形成直线式驱动上下抓取动作，完成精密数控机床切削特性耦合机械结构设计。

2 试验测试与分析

为验证此次设计的机械结构具有实际应用效果，能够在精密数控机床的自动化生产中减少噪声输出，提高切削精度，采用试验测试的方法进行论证。选择某机床加工工厂为测试对象，主要进行柴油发动机的缸体加工，是其表面的加工精度符合柴油机的工作标准。测试过程为发动机的表面半精加工，在生产效率的统一设定下，要求在进行操作工序时，数控机床能够在任意切削速度和进给方向上，都能够始终保持最小临界点的切削深度为4.00mm。在此基础上，通过BK公司的多频道动态系统进行生产记录，需要在不同的生产工序内记录噪声大小，以此对比后续发动机的切削精度值。现场布置仪器和条件如表1所示。

表1 测试监测仪器名称以及型号参数

标号	仪器	型号
L1	数据分析系统	7600-PLUSE
L2	传感器	8110-004
L3	振动矫正器	4529-NK
L4	内置电路加速度测试仪	4115-004
L5	放大电路信号传感器	4502-7B
L6	重力锤	8600-4N

根据标准内容可知，在此次试验过程中对机床的监测，采用加速度传感器进行信号获取，以内置的生产放大电路为基础，捕获加工过程中震颤产生时的最大噪声。以给定的生产标准进行工艺设定，选择两组传统的加工机床为对照组，其一为不具备切削特性的机械结构，其二为不具备耦合机制的机械结构。对三组机床的加工时间和内置环境进行统一设定，为保证其他因素对精度的影响，同时设置三组机床的基本加工动力学要求，如下：

第一，内置刀具参数。将刀具的选择标准，按照直径和齿数进行划分，其中最大刀具直径为180mm，配备的刀具齿数为10，最小刀具直径为60mm，配备的刀具齿数为6。

第二，加工切向系数。以刀具的直径大小为设置条件，最大直径内的切削力系数为6618 N/mm²，最小直径内的切削力系数为4242N/mm²。以刀具的运行方向为条件，在最小切向的切削力系数为2406.22N/mm²，最大切向的切削力系数为4386N/mm²。

按照上述的设定过程和标准，对柴油机的发动机表面进行加工，将加工时间控制在3h内，以每隔0.5h进行震颤的噪声信号采集。三组机床的数据结果见表2。

表2 不同机械结构下加工生产噪声采集结果 /dB

时间	传统结构 1	传统结构 2	本文结构
9:00	120	100	12
9:30	140	120	14
10:00	100	140	16
10:30	80	120	12
11:00	140	80	14
11:30	120	100	14

根据表2内容可知，三组机床的起始加工时间点为9:00，在不同的机械结构下产生的噪声结果不同：两组传统结构加工中，噪声产生的最小值为80dB，最大值为140dB，本文结构产生的最大噪声值为16dB，比传统机械结构的最小值还要小。

以实际生产需求为前提，在产生震颤的情况下才会发生较大噪音，根据上述情况来看，在两组传统机械结构下进行加工，会产生较大的震颤频率，而本文设计的机械结构在加工全程的噪声较小，且较为稳定，基本不会有震颤产生。综合试验结果：本文设计的机械结构能够在生产时把控好配置的刀具和切削参数，使得机床在加工过程中产生较少的震颤，保证最小噪声输出，为切削精度提供前提保障，具有实际应用效果。

为进一步验证本文设计的机械结构的特性，将加工全过程导入至MATLAB测试平台，通过切削深度检测工具测量最小临界点的切削深度，误差在±0.02之间即符合标准。选择9:30和10:30两个时间点为统计对象，在每个生产阶段最小临界点产生的信号由传感器输入到测试平台，多轮检测下的切削深度数据如表3所示。

根据表3内容，在本文设计的机械结构下，精密数控机床的切削深度基本与设定条件相一致，能够满足柴油机发动机表面的加工工艺。而两组传统机械结构下，机床的加工切削深度较误差值大，基本上产生的误差在0.50~0.30之间，会影响成品的质量。综合试验结果：以

(下转第17页)

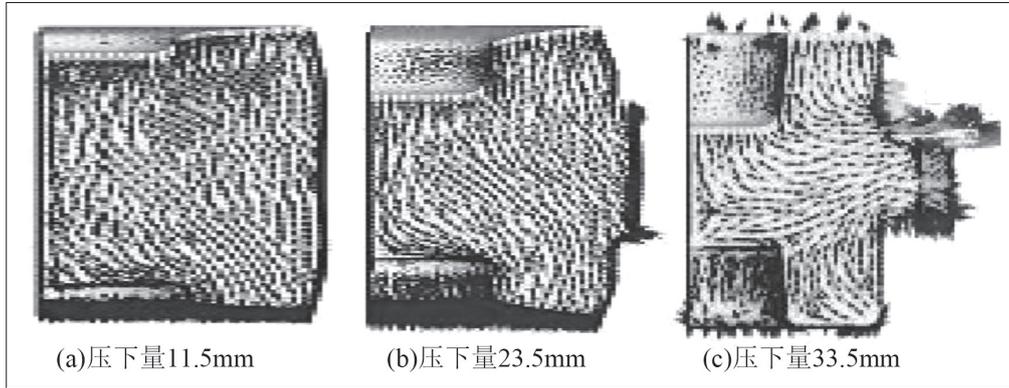


图2 盘毂热锻成形过程

数的过程中，使用正交设计与有限元分析相结合的方式，确定工艺参数组合为始锻温度 1105℃、挤压速度 255mm/s、模具预热温度 205℃、润滑系数 0.18，在验证参数设置时使用有限元模拟分析手段；

(3) 按照金属流动规律划分成形过程，第一阶段为上、下凸模挤压金属，同时产生流动反应；第二阶段为填充上、下两端钢颈；第三阶段将在上端钢颈部分及中间材料发生

径向流动填充齿腔。

参考文献：

[1] 李锐，孟亮. 基于 Deform 和正交试验的汽车轮毂盖板冲压工艺参数优化 [J]. 制造技术与机床, 2021(8): 147-150.
 [2] 张东民，盛育东，张金玉，等. 六角开槽螺母的冷锻工艺优化及数值模拟 [J]. 机械设计与制造, 2018(3): 191-194.

造, 2018(3): 191-194.

[3] 王玉红，马廷威，赵启蒙. 基于 Deform 的盘毂锻造模具设计 [J]. 锻压装备与制造技术, 2021, 56(6): 101-104.
 [4] 仇建桐，邓沛然，邵威，等. 基于 Dynafbm 的铝合金筒形件拉深成形 [J]. 锻压技术, 2020, 45(5): 49-55.

(上接第 14 页)

表3 不同机械结构的加工切削深度测试结果 /mm

轮次	时间	传统结构 1	传统结构 2	新结构
第 1 轮	9:30	3.76	3.46	4.00
	10:30	3.78	3.48	4.00
第 2 轮	9:30	3.78	3.52	3.99
	10:30	3.76	3.50	4.00
第 3 轮	9:30	3.78	3.50	4.00
	10:30	3.78	3.48	3.99
第 4 轮	9:30	3.80	3.48	3.99
	10:30	3.78	3.50	3.99
第 5 轮	9:30	3.78	3.52	4.00
	10:30	3.76	3.50	4.00

本文设计的机械结构进行机床加工，能够对刀具的切削性能进行控制，保证在较小的震颤频率下完成加工生产，且切削深度可以满足设计需求，具有实际推广意义。

3 结语

本文以精密数控机床的切削特性为研究基础，通过有限元模型的网格划分方法，以及自由边界的处理条件，对机床的切削耦合特性进行分析，完成了机床的上下抓取动作驱动匹配，重新设计了精密机床的切削特性耦合机械结构。

试验结果表明：以某工厂实际生产的工艺件为测试

条件，在本文设计的机械结构应用下，生产全过程的噪声均不超过 16dB，且加工过程中的切削深度与要求的基本一致，满足误差不超过 0.02 的前提设定，具有实际应用效果。

由于在研究过程中对测试环节的具体指标设定过于单一，得到的具体评测结果有一定偏向性，存在少许的不足。后续研究中会针对以上问题，对测试的项目展开设定，多角度分析精密数控机床的切削特性，为其机械结构的优化提供更可靠的理论支持。

参考文献：

[1] 翟一欣，郇亮，李培楠. 异形盾构全断面刀盘切削土体的流动特性仿真研究 [J]. 中国市政工程, 2021(02): 62-66+126.
 [2] 张伟华，赛云祥，李佳，等. 某型精密数控机床床身的优化设计及性能分析 [J]. 机械设计, 2020, 37(S2): 162-167.
 [3] 李焱. 试述数控机床切削控制能力对机械加工精度的影响 [J]. 中国设备工程, 2020(18): 179-180.

作者简介：宋启东（1964-），男，汉族，山东莱州人，本科，工程师，研究方向：数控机床与精密加工工艺。