

自动制孔刀具磨损对金属材料制孔质量影响研究

霍永兴

(航空工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 西安 710089)

摘要: 飞机装配自动制孔设备所使用的钻扩铰镗一体刀具,在连续制孔后的磨损会影响孔径、毛刺和光洁度等制孔质量。本文对金属材料材料刀具磨损的制孔体现和制孔质量变化机理开展分析,说明了刀具磨损的具体表现和发生规律,分析其对制孔质量的影响,按毛刺、孔径和粗糙度 3 个主要质量控制方面总结了变化趋势、提出了监测方法,为自动制孔质量控制提供了依据。

关键词: 自动制孔; 磨损; 孔径; 毛刺

0 引言

在国内外量产的主流飞机如 A320、B737 及 ARJ21 的组部件装配中,机翼机身壁板装配、翼肋连接等部位,以铝合金材料夹层为主,大量使用自动进给钻、机器人和自动制孔设备进行自动制孔,钻铰一体刀具使用广泛、损耗量大,以一面机翼壁板为例,需进行 4000 多个紧固件孔的钻制,由于钻孔过程连续进行、自动化设备运行环境限制,很难对钻孔质量进行实时监测,刀具连续制孔发生磨损,刀具的寿命直接影响制孔质量的稳定性。

针对刀具磨损和监测技术的研究有很多,基于图样处理技术、振动和声发生信号、机床信息等监测方法可以很好的判断刀具磨损状态,但基本集中在数控加工领域,对于钻铰一体刀具钻孔过程中的磨损规律研究也主要集中在复合材料领域,对于金属材料的制孔刀具磨损研究较少,本文通过刀具对比试验,研究了刀具磨损以及制孔质量的变化规律,对于判断刀具寿命适时更换刀具,避免出现无法挽回的如孔径超差等制孔质量问题,具有重要意义。

1 刀具磨损机理

自动制孔刀具为钻扩铰镗一体复合刀具,钻孔时,刀具在夹层材料内旋转刮削,可分解为沿刀具进给方向的轴向运动和绕刀具轴线的旋转运动,刀具所受切削力主要来源于克服被加工材料对弹性变形和塑性变形的抗力及克服切屑与前刀面的摩擦力和后刀面与已加工表面的摩擦力。

刀具切削刃的几何形状和尺寸决定了各个切削刃收到的切削力差异性较大,一般情况下,轴向力大部分来自于横刃,扭矩主要来源于两个主切削刃,而副切削刃受钻削力比较小,在刀具未磨损前基本不参与孔的形成。影响刀具寿命的因素主要为刀具材料、钻头结构与刃型尺寸、涂层处理和热处理状态、钻孔参数等,对于典型的自动制孔刀具结构,磨损部位集中在以下 3 个主要区域。

1.1 横刃磨损

对于自动制孔刀具,一般将横刃设计的很短,形成一个钻尖,以提高主切削刃的锋利程度,因此,刀具的横刃受轴向挤压力集中、磨损较为严重。对于飞机组部件自动制孔来说,多涉及多层材料组成的厚度较大的夹层,保证制孔质量为首要考虑因素,刀具的顶角设计一般较大,减少对材料

的挤压作用,以便利于断屑减小毛刺、避免孔径因夹屑扩大,因此横刃在使用初期磨损即已体现,但对制孔质量影响较小。

1.2 主切削刃磨损

在钻孔切削中磨损的主要形式为相变磨损,切削刃与材料之间的相对速度越快,越容易产生磨损,按刀具旋转刮削运动的分解方向,主切削刃在边缘位置的旋转周向速度最大,容易产生磨损;由于前角的大小影响主切削刃的强度,在刀具设计时追求刀具锋利性增大前角,更容易导致主切削刃的磨损,实际刀具磨损状态见图 1 所示,可见明显的温变烧蚀痕迹、月牙状磨损痕迹。



图 1 前刀面与后刀面的磨损状态

后刀面承受楔劈挤压,承受挤压力和摩擦力,磨损最为严重,磨损具体部位受切削刃折角、形状影响,但多集中在外侧,而前刀面主要受摩擦力,无论是面积还是力值均小于后刀面,磨损较小。

主切削刃强度较低,在受振动以及钻孔区域应力不均匀情况下,容易造成非正常使用损坏,其制孔质量表现与正常使用磨损差异较大。

1.3 副切削刃磨损

自动制孔刀具为钻扩铰镗一体刀具,其钻制通孔时,是通过主切削刃的刮削进行的,副切削刃不具有扩孔和铰孔的功能,正常情况下没有磨损,对制孔质量有关系的磨损的情况有以下 2 种:

① 夹屑: 因主切削刃磨损等因素,铝屑断屑不利,会造成铝屑与刃带的挤压,造成副切削刃参与钻削,造成磨损,引起粗糙度增大。

② 主切削刃: 主切削刃与副切削刃的顶角,作为主切削刃的最边缘位置,与材料的相对运动速度最快,磨损严重,

外圆直径减小，导致副切削刃参与切削，由于该折角直接影响孔直径的大小和出刀口毛刺的形成，其磨损状态对孔径和毛刺高度影响巨大。

2 制孔质量影响趋势

在金属材料制孔中，直接与自动制孔刀具有关的连接孔的检验标准主要为孔径、毛刺、粗糙度 3 项，3 个因素对刀具磨损的敏感程度为：毛刺 > 粗糙度 > 孔径。

2.1 粗糙度影响

粗糙度的大小与切屑的切除断裂情况有很大关系，随着自动制孔刀具主切削刃的磨损增加，其外圆顶角断屑不利，导致孔壁切削痕迹增大，正常使用磨损状态下，孔的粗糙度与刀具使用时长和磨损程度呈正相关关系。

由于粗糙度不仅与刀具状态有关，还取决于制孔转速、进给等加工参数，在高转速自动制孔、刀具正常使用磨损状态下，粗糙度降低速率较小，一般晚于制孔毛刺超差发生时间，在刀具磨损严重、断屑不利情况下，才会造成孔壁粗糙度超差，严重时以积屑瘤、鳞刺、刀具磨痕和切削振纹等表现为主，故目视检查即可满足质量控制要求，需要注意的是在非正常磨损状态下，如刀具崩刃，会导致铝屑与切削刃相互挤压，造成孔壁粗糙、甚至产生鳞刺，见图 2 所示。

2.2 毛刺高度影响

在自动制孔过程中，按发生位置可分为层间毛刺和出刀口毛刺。在保持足够的夹层压力情况下，夹层材料层间的贴合程度更加紧密，层间毛刺高度会明显降低，在压紧力大于某一阈值时，层间毛刺高度很小不受工艺参数影响，故仅对出刀口毛刺进行研究。

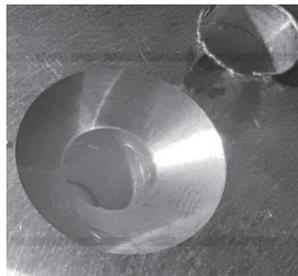


图 2 孔壁鳞刺状态

合格的毛刺一般以 ≤0.13mm 的均匀毛刺或均匀毛刺（带钻帽）体现。毛刺的产生是由于刀具对材料的轴向力挤压，使出刀口边缘部分材料塑性变形断裂拉伸，形成冠装毛刺和钻帽。

毛刺的增长，主要原因为主切削刃与副切削刃的顶角的磨损，见图 3 所示试件上孔的毛刺与其所使用刀具对照，区域 B 的磨损程度直接影响了毛刺的高度、钻帽是否脱落。钻帽粘连多产生于塑性较好的材料制孔过程，随着出刀口毛刺高度的增长，产生的概率同步增大，钻帽粘连比率先于毛刺高度达到不合格标准。

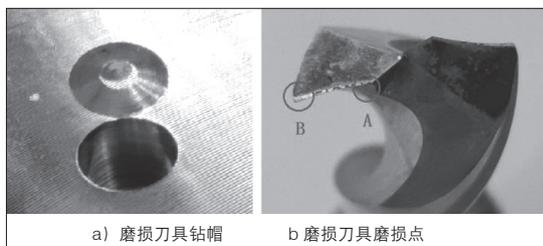


图 3 毛刺（带钻帽）与刀具的对照

2.3 孔径影响

自动制孔的孔径，由于受到自动制孔设备主轴跳动、刀具刃型设计和夹层厚度等因素造成的刀具偏摆影响，一般大于刀具直径，且在正常磨损和非正常磨损情况下变化趋势不同。

正常磨损情况下，孔径变化的主因为主切削刃与副切削刃的顶角的磨损，切削刃外圆磨损，直径减小，导致制出的孔径缩小；由于刀具磨损量级较小，孔径变化不大。

以一把寿命在 20000 个孔、名义制孔孔径 6.22mm 的刀具进行测试，以制孔数量分阶段进行孔径检测，试检测结果见图 4 所示，随着刀具寿命的消耗，制孔孔径呈减小趋势，在刀具寿命的初始和结束阶段，变化较快。一般刀具的磨损经历 3 个阶段：初期磨损、中期磨损和后期磨损，磨损后期刀具钝化，制孔孔径会急剧降低，需及时更换刀具。

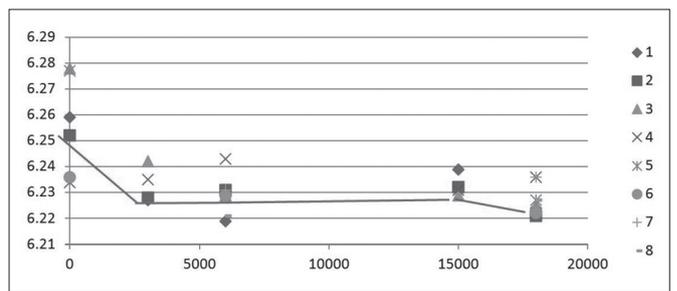


图 4 孔径随刀具制孔数量的变化趋势

非正常磨损情况下，主切削刃上存在不均匀分布的凹坑等破损点，造成主切削刃所受切削力无法沿刀具轴线保持平衡，导致主切削刃偏摆增大、孔径扩大，孔径呈锥形形状，入口偏大、出刀口接近正常孔径，孔径不稳定差异大，将导致严重制孔质量超差。

3 刀具寿命判断

现阶段的刀具磨损监测方法，其对象主要为刀具和工件特征，以及钻削加工中的映射参数，在钻铤一体刀具制孔中，主要以下面 3 种形式实现，可结合实际生产条件选择运用进行刀具寿命的判断。

3.1 刀具结构检查

刀具磨损，一般是以后刀面的磨损量 VB 作为判断标准，也有技术研究以前刀面的月牙状磨损量、主切削刃的形态变化投影作为评估对象。可使用工具显微镜或刀具磨损检测仪，测量刀具磨损量，直接观察刀具磨损的具体情况。此种检查方式，受刀具材料、润滑状态、几何形状设计等因素影响，不同刀具难以量化检查，同一刀具受刀具制造因素影响、磨损量检查精度影响，难以准确把控刀具磨损状态。

3.2 制孔质量检测

直接对刀具的制孔孔径、毛刺和粗糙度共 3 项制孔质量进行目视或量具检查。毛刺高度和钻帽的变化受刀具磨损情况影响最为严重，在钻帽出现粘连、毛刺高度增大至 0.13mm 时，刀具使用寿命结束。

该检测方式生产现场操作简便，但缺乏量化检测依据，

对刀具寿命的判断准确性差,同时刀具急剧磨损阶段随着制孔数量的增加钻头急剧磨损,制孔精度和质量也会急剧下降,因此需要对刀具寿命进行保守计算、提前更换刀具。

3.3 传感器监测

常用的传感器包括力传感器、振动传感器、声发射传感器和电流传感器等,随着自动制孔设备制造技术的发展,刀具制孔轴向力和扭矩已可通过传感器实时检测,并反馈控制制孔转速和进给等加工参数。自动制孔设备结合此种制孔力矩检测方式集成设计,可以准确判断刀具的寿命结束时间点,实现刀具寿命利用最大化和制孔质量稳定性,是后续自动制孔刀具寿命检测的发展方向。

4 结语

本文针对金属材料自动制孔过程刀具的磨损机理,从结构表现形式上进行了分析判断,并依据制孔试验探究了制孔质量对刀具磨损过程的变化趋势,提出了用于刀具寿命判断的操作方式,指出的毛刺优先控制原则,可以为飞机组部件自动制孔刀具使用寿命控制提供方法支持。

参考文献:

[1] 卢志远. 基于机床信息的加工过程刀具磨损状态在线监测[J].

中国机械工程 2019,30(2):220-225.

[2] 胡坚. 航空材料制孔缺陷抑制及工艺研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2016.

[3] 王继虎. 面向飞机自动化装配的机器人精密制孔工艺参数优化[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.

[4] 陆剑中. 金属切削原理与刀具[M]. 机械工业出版社,2005.

[5] 刘姿. 飞机壁板叠层材料精密制孔工艺研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2015.

[6] 林琳. 民用飞机自动装配制孔技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.

[7] 韩风华. 基于多参数指标的刀具磨损状态在线监测[J]. 制造技术与机床,2018,(2):141-146.

[8] Park K, Beal A, Kim D D, et al. Tool wear in drilling of composite/titanium stacks using carbide and polycrystalline diamond tools. Wear. 2011, 271(11-12):2826-2835.

[9] 孙鑫. 航空材料自动化精密制孔工艺研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2014.

[10] 王国锋. 刀具状态智能监测研究进展[J]. 航空制造技术,2018,61(6):16-23.

(上接第90页)

新,就需要对能源管理方面的评价机制、监控机制,以及用人机制等进行分别的优化创新:

对于评价机制的优化而言,工业企业需要定期的组织,对能源标准化管理工作效果的评价活动。进行评价的主要依据,是企业的能源标准化管理效果,与国内外其他竞争企业的能源标准化管理效果的比较,全面分析工业企业的能源标准化管理的优势与不足,从而实现全面综合的反思与思考,进而对能源标准化管理机制进行针对性的深度优化创新。

对于标准化管理的监控机制而言,想要实现对于能源的全面管理,加快能源标准化管理的建设步伐,就需要完善其相应的监控系统。具备一定发展规模的工业企业,可以专门设置能源标准化管理的专门负责单位,从而展开对于能源标准化管理的监控、指挥和评价等一系列工作,是能源标准化管理工作的开展更加深入。

对于用人机制的创新,是因为目前我国很多的工业企业,对于能源标准化管理专业人才的培养和引进力度不够。甚至有很多工业企业,没有设立专门的能源标准化管理岗位或部门,对于能源的标准化管理工作,更是没有专门的技术人员进行指挥管理。这就使得能源标准化管理工作开展过程中,负责标准化管理工作的人员素质比较低,不能够及时发现工业企业能源管理的发展需求。因此,想要保证能源标准化管理工作的展开,对工业企业的能源管理体系进行全面创新,就需要重视起对于用人机制的全面创新。通过积极引进并培养标准化管理相关的专业人才,在其领导下充分开展能源标准化管理工作,从而实现能源标准化管理体系的搭建。

3 结语

对于能源管理的标准化创新,是我国工业企业现代化

改革和创新发展的必然趋势。工业企业想要实现能源的标准化管理,首先需要从能源消耗观念方面进行现代化更新。对于能源管理模式创新,是工业企业实现可持续发展的核心,也是企业管理机制全面创新的基础。为了实现能源管理的标准化创新,就需要企业的相关管理人员,充分的意识到能源标准化管理的重要性,深入了解能源标准化管理的内容和结构,从而在对企业发展模式进行更新的过程中,实现能源管理的标准化。在我国老旧工业基地的创新发展和改造过程中,通过能源管理的标准化改革,实现旧工业的整体更新换代,从而促进我国工业行业的整体优化创新,将工业企业的发展与经济全球化发展相接轨。

参考文献:

[1] 郭云德,任时朝. 工业企业能源计量管理问题信息化分析[J]. 大众标准化,2020,(20):228-229.

[2] 曾祥国,邵亘古,李新. 关于工业企业能源管理标准化的思考[J]. 资源信息与工程,2020,35(05):130-131+136.

[3] 张丹. 企业能源管理的节能技术应用[J]. 产业科技创新,2019,1(19):87-88.

[4] 刘敏. 关于工业企业能源管理方面问题的探讨[J]. 资源节约与环保,2019,(04):190.

[5] 蔡兴涛. 企业能源管理标准化问题研究[J]. 现代营销(学苑版),2011,(12):137.

作者简介:周佩(1991.10-),女,汉族,硕士研究生,广东佛山人,研究方向:能源管理标准化。