

模具设计与制造技术的发展趋势

Design and Manufacturing Technology Development Tendency of Mould and Die

中航商用航空发动机有限责任公司 南长峰



南长峰

毕业于西北工业大学航空宇航制造工程专业,工程师,中航商发项目与供应链部部长助理。

在生产活动中,大部分产品的生产都需要使用模具。尤其是在航空发动机制造中,模具是重要而特殊的工艺装备,其设计和制造占整个发动机设计制造周期的30%左右,对发动机的制造质量、生产周期、制造成本产生直接影响。由于航空发动机模具具有结构形状复杂、种类多、批量小、设计制造质量要求高等特点,其生产与制造一直是制约发动机制

模具设计过程是一个建立在设计专家丰富的经验与知识基础上的创造性思维过程,它不仅是参考经验知识的辅助设计,更有在现有经验知识基础上的进一步积累创新。为实现模具设计的自动化与智能化,在模具设计发展过程中逐步引入了基于知识的工程技术以及推理技术实现模具的设计,实现设计决策的自动化。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.09.042

造周期的瓶颈之一。

模具设计技术

随着产品结构复杂程度的提高,产品的模具结构也越来越复杂,如图1所示。伴随模具结构复杂程度的提高以及CAD/CAE技术的发展,模

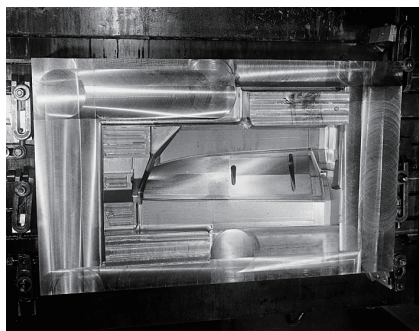


图1 叶片精锻模具

具设计技术经历了从依靠人的经验和手工制图到采用计算机辅助和自动决策设计的过程。CAD/CAE技术的应用对缩短模具制造周期及提高模具质量有着显著的作用。模具设计、制造水平的提高也带来产品加工质量与效率的不断提高。例如,在航空发动机叶片锻造模具的发展中,随着技术的不断发展,叶片精锻技术得到不断发展并大量使用,面向叶片精锻的锻压模具设计与锻件设计CAD系统逐渐得到应用。这对于缩短叶片精锻模具设计制造周期,实现设计制造数据共享和信息集成,提高工作效率,使设计、工艺、加工等有机地结合起来有重要作用。例如,借助图2中所示的航空发动机叶片精锻模

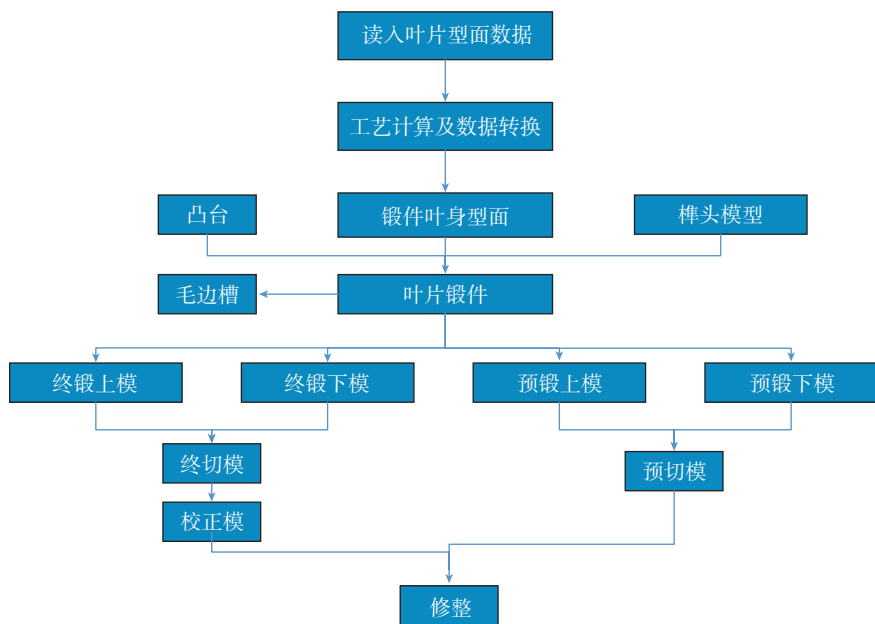


图2 叶片精锻模CAD系统流程

CAD系统,可对航空发动机叶片的终锻件、终锻模、预锻件、预锻模、挤杆件和挤杆模等进行实体造型,还可实现平衡角计算、叶根/叶尖部位延伸、变形抗力中心计算和棒料积聚工步等工艺计算。

在航空发动机空心涡轮叶片的制造方面,空心涡轮叶片一般采用定向结晶或单晶净成形精密铸造。在我国航空发动机精铸涡轮叶片设计制造过程中,由于模具设计的尺寸不够合理导致精铸叶片的型面精度低、质量不稳、废品率很高的问题一直没有解决。为了解决精铸叶片(如图3所示)成型精度低、质量不稳、废品率高等问题,国内(如西北工业大学等)相关机构通过综合分析空心涡轮叶片精铸过程中的变形情况,优化设计空心涡轮叶片精铸模具的型腔,并开发了空心涡轮叶片模具型腔优化设计软件。空心涡轮叶片模具型腔优化设计软件功能体系如图4所示。通过采用空心涡轮叶片精铸模具型腔优化设计系统,可以有效减少修模次数,提高空心涡轮叶片的成形精度。

随着信息技术水平的不断提高,模具设计系统也与产品的整个生产



图3 精铸叶片

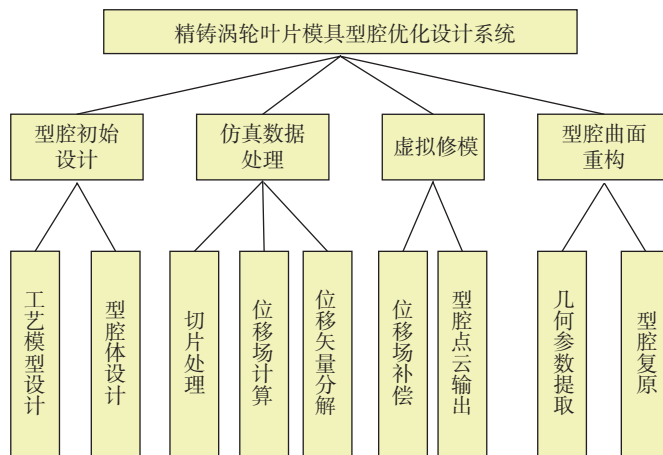


图4 空心涡轮叶片模具型腔优化设计软件功能体系

免由于产品数据不唯一而对设计制造造成的数据有效性影响。

(3) 能够根据多种条件快速查找相关的产品数据,能够根据产品结构组织产品数据,在产品结构和产品数据间直接建立直观、清楚的关系。

(4) 实现文件格式、设计图形文件幅面标准化。

(5) 严格设计流程和更改流程管理,通过严格的流程控制,保证设计和工艺数据正确性,提高工作效率。

模具设计过程是一个建立在设计专家丰富的经验与知识基础上的创造性思维过程,它不仅是参考经验知识的辅助设计,更有在现有经验知识基础上的进一步积累创新。为实现模具设计的自动化与智能化,在模具设计发展过程中逐步引入了基于知识的工程技术以及推理技术实现模具的设计,实现设计决策的自动化。例如,在空心涡轮叶片的模具设计过程中,西北工业大学开发了基于案例推理与基于规则推理相结合的模具设计系统,如图5所示。其中,基于案例的推理主要用于模具的概念设计,而基于规则的推理设计则用于模具细节的设计。

模具高速加工技术

在航空发动机制造行业,模具通常结构复杂、种类多、批量小,其设计和制造周期在航空发动机制造中占

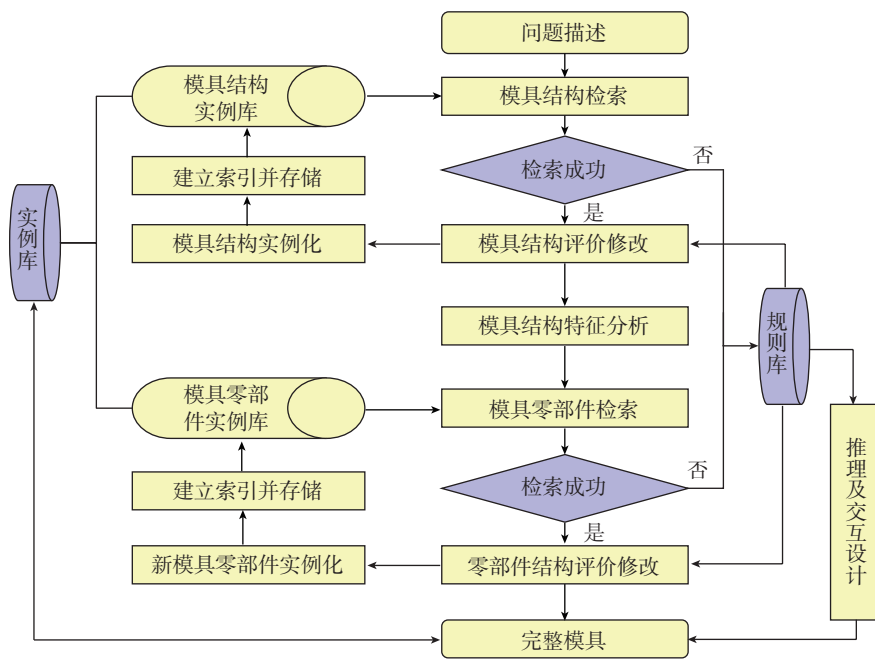


图5 涡轮叶片模具设计系统结构图

有重要比重,对发动机的制造质量、生产周期、制造成本有直接影响。在航空发动机中,模具材料(如发动机叶片精锻模具等)一般为合金钢并经过淬硬处理。这类材料硬度高、耐磨性好、塑性差、导热性能差。因此,在切削加工这类材料时容易出现以下问题:(1)单位切削力大、难切削,切削过程中易产生振动。(2)材料导热系数小、切削温度高,刀具磨损严重。(3)淬硬钢等模具在一定切削速度条件下易产生锯齿状切屑,出现切削振动,造成模具表面加工质量差。

传统的模具加工方法首先是在退火后进行铣削加工,然后进行热处理、磨削或电火花加工,最后进行手工打磨和抛光。这种制造方式加工周期长、生产效率低。由于高速加工技术具有加工效率高、精度高、切削力与切削温度低、加工表面一致性好等优点,近年来在模具生产中大量使用。以航空发动机叶片精密锻造模具为例,由于叶片型面为自由曲面,模具型面也为自由曲面,需要采用五轴数控加工成形。对于航空发动机叶片模具的制造,高速加工技术也是实现其高效、低成本制造最有效的方

法之一。高速加工技术的应用主要包括高速加工机床、高速加工用刀具技术以及高速加工冷却润滑技术等。高速加工机床是实现高速加工的前提和基本条件,其重点是考虑机床的主轴功率、进给速度和运动轴的驱动加速度。一般情况下,高速加工机床的主轴功率和进给速度是常规加工的10倍左右,而驱动轴的加速度应达到 20m/s^2 左右。在高速加工技术的发展过程中,刀具技术起到了非常关键的作用。在选择高速加工使用的刀具时,刀具材料应具有很好的热硬性,同时还要能够抵抗在高温、高压、高速等极端条件下的摩擦磨损。在应用高速加工技术切削具有高硬、高强、耐高温的难加工材料时,会在切削区域产生很高的切削温度,加剧刀具的磨损。随着高速加工技术的发展,“高效、低能、环保”的冷却润滑技术(如低温冷风射流、微量润滑、低温喷雾射流等新型冷却润滑技术)逐渐推广应用。

应用高速加工技术加工模具时主要有以下优点:(1)制造成本低。采用高速加工技术代替电火花加工成形,可直接加工淬硬后的模具表

面。从而节省了电极加工所需费用。此外,由于高速加工技术具有较高的加工效率和表面加工质量,从而可以获得比电火花更好的加工结果。(2)模具表面完整性状态好。采用高速加工技术可以避免电火花加工过程中在模具表面留下的重熔层,高速铣削加工后模具表面一致性好、应力状态分布较为均匀,表面完整性状态好,这对提高模具的使用寿命有重要意义。(3)生产效率高、周期短。采用高速加工技术制造模具可以达到很高的加工精度,同时可以采用较小直径的刀具对模具细节特征进行加工,从而不需要后续的手工抛修处理,大大缩短了模具的制造周期。

在采用高速加工技术进行模具的成形时,一般需要注意以下几方面问题:(1)加过过程中保持刀具负载的均匀性。高速加工过程中,刀具负载的不均匀会导致加工过程中刀具的破坏或加工效率过低。因此需要在高速加工过程中合理规划刀具路径及切削参数。(2)数控系统高速加工功能的应用。一些数控系统会在高速加工过程中对加减速进行单独的处理并提供高速加工循环指令,如西门子840D系统中的832循环指令。(3)合理的刀具悬伸长度。据计算,刀具悬伸长度每增加20%,刀具的变形就会增加50%左右,如图6所示。为减少加工过程中可能出现的加工振动以及加工变形,应采用尽可能短的刀具悬伸长度。(4)合理的刀具路径规划。在模具高速加工的轨迹生成策略方面,目前的CAM软件一般都能生成高光顺性的圆弧或摆线形式加工轨迹,使得机床在运行过程中运动轴的加减速相对较小、运动连续性与平稳性较好,从而减少因数控系统伺服延滞而带来的加工误差,如图7所示。

模具再制造技术

模具在服役过程中既受到大小

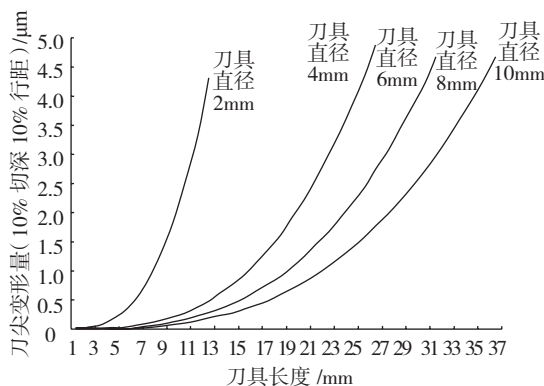


图6 刀尖变形量与刀具悬伸长度的关系

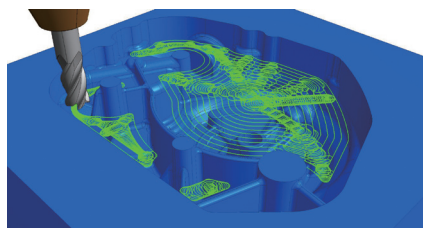


图7 高速加工轨迹

与方向复杂的作用力的反复作用,又受到冷热交替变化的影响,工作条件复杂,不可避免地会出现磨损、表面开裂甚至断裂等失效形式,特别是一些进口模具因局部的损伤而报废,需重新制造模具,既增加了成本又浪费时间。模具失效的主要形式有热开裂、磨损和塑性变形等。因此,对模具进行修复再制造以实现重用显得尤为重要。据统计,再制造技术可以在模具制造中节省 20%~80% 的费用,同时延长模具使用寿命 20% 以上。在美国,通过模具的再制造技术每年可节省 2 亿美元的费用。

再制造技术一般是指对废旧产品进行高技术的修复和改造,主要针对对损坏或将报废的零部件,在性能失效分析、寿命评估等分析的基础上,进行再制造工程设计,采用一系列相关的先进制造技术,从而使再制造产品质量达到或超过新品。由于再制造技术实现了对资源的重复利用,近年来受到了各国的广泛重视。与常规大规模生产产品相比,模具的再制造有其独特性:(1)数量少。模具是专用的且通常数量单一,而其他产品

如汽车发动机,通常是大规模生产。这就决定了模具的再制造策略与大规模制造零件的再制造策略不尽相同。(2)再制造策略。通常对大规模生产产品进行再制造是通过更换磨损/故障部件来实现的,回收的零部件材料由于其与产品的一致性被重复利用。而在模具的再制造过程中,主要是对问题区域进行修复,

采用的技术主要是焊接和加工技术。(3)修复使能技术。通常采用焊接技术对问题区域进行修复,然后采用加工技术对修复区域进行加工。(4)不确定性。状态和几何的不确定性使得模具修复过程费时且昂贵。模具的修复再制造过程中还需要进行对模具状态的进行评估和对修复区域进行识别。这一切都将导致处理时间长,维修费用高。模具再制造的主要流程如图 8 所示。

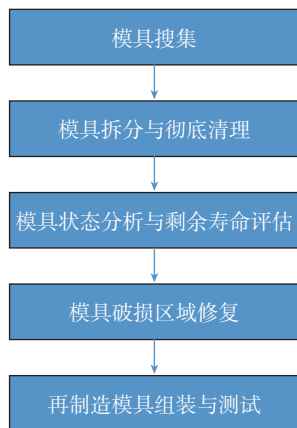


图8 模具再制造流程

目前,用于模具再制造的修复技术包括激光焊接技术、电弧堆焊修复技术、电火花修复和热喷涂修复技术等。面向模具再制造的激光加工具有熔敷热影响区小、变形小、层晶粒细小、结构致密,焊接区域的硬度、耐磨性、耐腐蚀性能好,已广泛应用于各类模具的再制造。此外,由于操作的方便性,激光焊接技术在模具修复中大量使用,如图 9 所示。电弧堆焊

是指利用同材质或异种材质的金属熔敷在工件表面,从而获得特定表面性能和表面尺寸的工艺方法。堆焊是模具修复中常用的修复方法,模具严重损坏(如锻模大量补焊)时可采用焊条电弧焊。



图9 模具的激光修复

(此外,为提高模具修复的便捷性,德国开发出一种可移动式模具修复机床。在使用该机床进行冲压模具的修复时,不需将模具取出即可实现模具的在位修复,提高了模具修复的便捷性。)

寿命预测与可靠性保证是模具修复中的关键。寿命预测模型主要有确定性模型和概率模型两种。确定性模型尝试通过考虑系统的物理模型进行寿命预测,而概率模型通过监测过程数据来预测剩余寿命。在预测模具的剩余寿命时,经常使用基于物理的模型,具体的研究包括模具的磨损建模、失效建模以及寿命预测模型。虽然建立了模具的寿命预测模型,但是由于存在大量的随机因素及不可预测因素的存在,可能导致预测结果与实际结果相差甚远。因此,模具修复结果的可靠性分析也是模具再制造技术需要深入研究的一个方向。

结束语

目前的模具设计与制造技术正朝着智能化、绿色化的方向发展。随着航空产业的发展以及航空产品更新换代速度的日益加快,模具的设计与制造技术仍将会在航空制造业中发挥重要作用。(责编 叶枫)