

再制造工程在某型军用航空 发动机上的应用

Application of Remanufacturing Engineering on a Military Aeroengine

空军工程大学工程学院 王莉莉 陈云翔 王 政



王莉莉

空军工程大学博士研究生,主要研究方向为装备发展战略与管理决策。

随着科学技术的发展,越来越多的新技术、新方法已应用在降低装备寿命周期费用方面,再制造工程就是这方面的突出代表。目前,再制造工程及技术已经广泛运用在各种民用机电设备上,而在航空领域的运用刚刚起步,本文以某型军用航空发动机为对象讨论再制造工程在航空领域的运用。

作为绿色设计、绿色制造技术的重要组成部分,再制造工程有着广阔的产业前景,在减少自然资源的消耗、节约材料、减少环境污染等方面有着重要的意义,符合可持续发展战略的要求。特别是军用产品,更加要重视和加强再制造工程相关理论和技术的基础研究。

再制造工程及其关键技术

1 再制造工程的内涵

再制造工程是指以装备寿命周期理论为指导,以废旧装备实现跨越式提升为目标,以优质、高效、节能、节材、环保为准则,以先进技术和产业化为手段,进行修复、改造废旧设备的一系列措施或工程活动的总称。装备再制造方式主要有再制造恢复和再制造升级2种。再制造的主要特征是再制造产品的质量和性能达到或超过新品,成本却为新品的50%左右,节能60%左右,节材70%以上,对保护资源环境贡献显著。

2 再制造产品的寿命周期特征

再制造产品的寿命周期是“研制—使用—再生”,其物流是一个闭环系统,与传统产品寿命周期的“研制—使用—报废”的开环系统相比,

是一个很大的延伸和发展。

3 再制造工程的关键技术

目前,国内外对再制造的关键技术研究主要有以下几种:

(1)微纳米表面工程技术。微纳米表面工程技术是在材料或零部件表面获得微纳米结构或微纳米复合膜层技术的统称。该技术的主要作用表现在:第一,改变材料表面的性能,如使材料表面的硬度、强度和耐磨性发生变化,或者使材料表面具备自动修复功能等;第二,零部件设计选材范围扩大,通过纳米表面涂覆层使普通材料具备特定材料的性能。

(2)清洗技术。根据清洗的位置、目的和材料的复杂程度等,在清洗过程中所使用的清洗技术和方法也不同,通常需要同时应用多种清洗方法。采用的清洗方法有汽油清洗、化学清洗剂清洗、擦洗或钢刷刷洗、高

(常)压喷洗、喷砂、电解清洗、气相清洗、超声波清洗等方法。

(3) 探伤技术。适合使用在该型发动机上的探伤技术主要为无损探伤。无损探伤是指在不造成探测对象破坏或损伤的条件下,使用仪器设备对机件、零件的缺陷进行检查、探测。主要的探伤手段有:磁粉探伤、涡流探伤、射线探伤、荧光探伤、超声波探伤和液晶探伤。

某型军用航空发动机维修中 存在的主要问题

1 该型发动机现行维修模式

目前,该型发动机采用全寿命管理的方式,对全寿命费用进行计算并统筹管理。发动机的使用时间主要由设计和生产单位规定,维修主要分为三级维修,经过多次翻修后,总寿命达到规定值即强制报废,而没有科学测试该发动机技术状态是否良好,各部件零件是否完好。

2 存在的主要问题

(1) 目前,空军对再制造工程的可行性论证尚处于起步阶段。

(2) 再制造理论体系不够健全。目前,关于军内再制造理论的框架构建仍处于起始阶段,军内只有装甲兵工程学院成立了再制造系,全军关于装备再制造工程的具体成果和应用较少。

(3) 军内技术人员对再制造产品的了解甚少。再制造产品在军内使用很少,人们对再制造产品的性能心存疑虑,对再制造工艺的流程和技术认识不同;同时,对于再制造产品的维护规程和使用规定的研究仍处于起步,这进一步局限了再制造工程在航空领域的应用研究。

再制造工程在某型军用航空 发动机中的使用分析

1 该型发动机使用再制造技术的原因

该型发动机使用报废后,一般采

取封存的处理方式,现在已经封存了数量巨大的该型发动机;而现役飞机对发动机的需求量又很大,经常出现飞机因机载发动机到寿或发动机批次性故障而停飞的现象。同时,该型发动机符合采用再制造技术的标准:

(1) 该型发动机是耐用产品,新品总的设计寿命达到 800h,首次翻修寿命也达到 300h。采用再制造技术后,再制造产品总寿命应大于 800h。

(2) 该型发动机报废属功能性报废。即大部分报废发动机的技术状态还是完好的,只是碍于设计和生产要求,不得不报废。

(3) 该型发动机是按标准化要求生产的,其零部件可以互换。

(4) 该型发动机单发价值过千万,产品回收价值高。

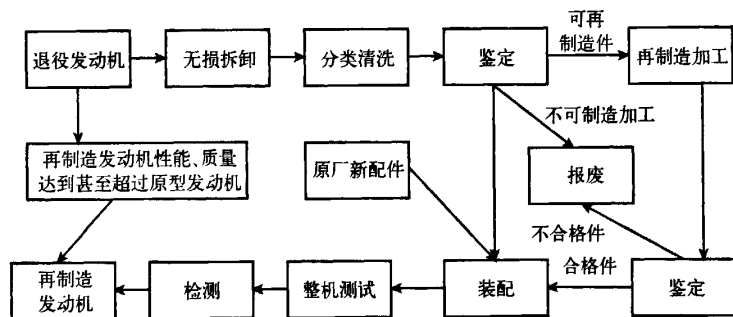
推移,报废量也在增大。如果发生战事,紧急生产该型发动机以满足作战需要是非常困难的。而对该型发动机采用再制造技术,生产周期短,可以迅速满足战时需要。

(3) 技术储备充足。目前,再制造工程在民用领域及部分军用领域已经得到充分的使用。各种再制造技术的可靠性和成熟性得到了充分的验证,属于“货架技术”,完全可以将这些成熟可靠的技术应用在军用航空领域内。

3 该型发动机再制造的工艺流程

该型发动机再制造的工艺流程和正规的大修有近似之处,二者最大区别是再制造后的发动机性能要达到甚至超过原新品。发动机再制造的工序是拆卸、分类清洗、再制造加工的工序是拆卸、分类清洗、再制造加工或更换新件、组装和试验等。

4 具体实施



该型发动机再制造的工艺流程图

(5) 采用再制造工程,用于恢复产品性能的成本较低。

2 该型发动机开展再制造技术的优点

(1) 节约资源。每台该型新发动机的售价都在 1000 万元以上,有许多零部件的材料都是稀缺金属,报废后这些材料也随之失效,造成了资金和资源的浪费。如果能够将这些稀缺金属充分利用,经济效益将非常明显。

(2) 战时节约时间。该型发动机装备量大,但备件少。随着时间的

(1) 技术评估。对于到寿前技术状况良好的发动机,首先对其进行技术性能的详细评估,并且清查发动机的各履历文件,核对该发动机在使用过程中没有发生过严重故障,以确定发动机确实具备再制造的能力和值。

(2) 拆解清洗。发动机由于长期工作,灰尘、油污及磨损物填充在各部件之间。首先要对发动机机体进行表面清洗,防止外来物对内部机件的二次污染,可以采用高压射流清洗,局部汽油清洗等方法。

表面清洗后对发动机进行拆解,分解后有明显变形、高温灼伤、严重磨损的机件不再采用,不必清洗;同时,直接剔除易损件,如轴承、垫圈等。拆解后对零部件的清洗主要包括清除油污、锈蚀、积炭等内容。对于不同的零部件采取不同的清洗方法,方便下一步探伤工作的进行。

压气机由压气机叶片和压气机匣等组成,压气机叶片长期高速旋转,有各种外来物(主要是昆虫)进入的痕迹,必须清除干净,可以采用汽油清洗。压气机匣因为接触大量水汽,经常发生锈蚀。去锈的主要方法有机械法、化学酸洗法和电化学酸蚀法等。

燃烧室主要由燃油喷嘴和燃烧室主体组成,该机件是燃油燃烧的腔体,积炭非常严重。清除积炭,目前常使用机械法、化学法和电解法等清除积炭。化学法指将零件浸入苛性钠、碳酸钠等清洗液中,以 $80^{\circ}\text{C}\sim 95^{\circ}\text{C}$ 的温度,使油脂溶解或乳化、积炭变软后,再用毛刷刷去积炭并清洗干净。这里采用化学法较为合适,不损害零件本身的性能。

涡轮主要由涡轮叶片和涡轮机匣组成。涡轮叶片和涡轮机匣主要受高温灼烧和积炭污染,对于可以看见灼烧痕迹的叶片和机匣不再使用,只有积炭的叶片和机匣用上述化学方法清洗。

喷管受高温灼烧和积炭污染,对于积炭可以用化学法清除,但因高温变形的不再使用。

附件主要是油污污染,主要使用的是化学方法和电化学方法(指将碱溶液作为电解液,工件接于阴极,使其在化学反应和氢气的共同剥离作用力下去除积炭)。可以用化学清洗液,配合超声波清洗的方式进行清洗。

传动轴是高温高转速部件,对于有变形、灼烧及严重磨损痕迹的不再清洗。只有油污的可以采用化学清

洗液结合超声波清洗。

(3) 零件探伤。由于该型发动机各机件均是精密装配件,因此在探伤前,应首先使用精密测量工具对机件的尺寸进行测量。零件必须符合各机件履历文件规定的尺寸范围,否则将其淘汰。对于所有探伤零件,建议采用超声波探伤和液晶探伤相结合的方法。

(4) 零部件恢复性能处理。对于已经清洗并且经过探伤合格的零部件,可以采取各种措施,使其恢复原有的技术性能。采取已经得到广泛应用的成熟技术,减少生产周期和费用。主要是先进表面技术和复合表面技术,用来修复和强化废旧零件的失效表面。由于废旧零部件的磨损和腐蚀主要发生在表面,因而各种各样的表面涂敷技术应用得最多。微纳米涂层及微纳米减摩自修复技术是以微纳米材料为基础,通过特定涂敷工艺对表面进行高性能强化和改性,或应用摩擦化学等理论在摩擦损伤表面原位形成自修复膜层的技术,可以解决许多再制造中的难题,并使性能大幅度提高;修复热处理是一种通过恢复内部组织结构来恢复零部件整体性能的技术手段。

针对该型发动机工作环境恶劣的特点,主要是高温、高转速等,有选择地对不同机件采取不同的技术处理方式。

压气机叶片、涡轮叶片为该型发动机的核心部件,可以采取陶瓷热障涂层(TBCS)技术作用于叶片表面。该技术可以降低金属表面温度,延长其使用寿命。这样,其叶片强度将显著增加,抗摩擦性能也令人满意。

压气机机匣和涡轮机匣内表面可以采取中频淬火+低温离子渗硫的方法进行复合处理,获得自润滑膜层。外壁采用超音速等离子喷涂技术喷涂防腐功能涂膜,可以减缓腐蚀。

喷管可采用防积炭涂层。

2根相互啮合和传动轴可采用低温离子渗硫处理,改善相互间的摩擦系数,采用纳米添加剂在轴管表面形成自润滑层。

第一级压气机叶片由于要承受外来物的冲击,需要对其表面进行强化处理,可以采用激光淬火强化处理。发动机附件导管可以采用喷涂技术进行强化。

实际上,还有很多技术可以达到同样的效果。同时,采用这些技术不会改变零部件的外形尺寸,不影响零部件的装配使用。

(5) 再制造工程与发动机延寿工程的区别。

发动机延寿工程针对没有到寿的发动机,通过更换“短板”(规定寿命较短,使用中易损坏)零件,并通过长时间工作检测整机的工作可靠性,而对发动机的规定寿命进行延长。目前,可以延长 $100\sim 200\text{h}$ 。

再制造工程针对的是已经到寿报废但技术性能良好的发动机,通过各种高新技术使其恢复原有的可靠性和技术性能。甚至可以在已经经过延寿处理的发动机上开展这项工作。

结束语

作为绿色设计、绿色制造技术的重要组成部分,再制造工程有着广阔的前景,在减少自然资源的消耗、节约材料、减少环境污染等方面有着重要的意义,符合可持续发展战略的要求。特别是军用产品,更加要重视和加强再制造工程相关理论和技术的基础研究。

加强航空再制造工程学科体系的建设,针对航空再制造发动机的特点,建议使用在双发战斗机上。再制造技术在航空领域的应用,将有效地节省资金、节约资源;同时,大幅提升部队的战斗力,取得经济和军事双重效益。

(责编 凌董)