

大型飞机起落架制造技术

Manufacturing Technology for Large Aircraft Undercarriage

中航飞机起落架有限责任公司 李 铭



李 铭

研究院级高级工程师。1992年毕业于西北工业大学,从事飞机起落架制造工程及技术管理工作。曾获部级成果三等奖。

飞机起落架作为飞机重要安全功能部件,是用于飞机起飞、着陆、地面滑行和停放的重要支持系统,是飞机的主要承力构件。它吸收和耗散飞机在着陆及滑行过程中与地面形成的冲击能量,保证飞机在地面运动过程中的使用安全。起落架的技术水平和可靠度对于飞机整体性能和使用安全具有重要影响。

起落架结构及工艺特点

为提高大型运输类飞机的道面漂浮性,其起落架结构多选用多轮多

支柱式结构布局。如伊尔-76飞机起飞重量为190t,其起落架系统为油气缓冲式前三点布局,包括一个前起落架支柱和四个主起落架支柱。其中主起落架高约3100mm,为支柱式单腔缓冲器结构,每个支柱有4个制动机轮并列排列,起落架收起时机轮连同缓冲器旋转90°,以使整组机轮收到圆形机身内。前起落架高约2300mm,为半摇臂式双腔缓冲器结构,有4个并列的辅助制动机轮,当起落架向前收起时机轮能轻微制动。

起飞重量达350t的波音747飞机起落架包括一个双轮支柱式前起落架和4个四轮小车式主起落架,其中主起落架分别由2个机翼主起落架和4个机身主起落架组成。前、主起落架高度均超过2m。

在结构和材料选择方面,大型飞机起落架主要结构件选材有钛合金及超高强度钢锻件,材料一般选真空冶炼工艺。超高强度钢材料有4340

钢、300M钢及30CrMnSiNi2A等,钛合金选材有Ti6Al16V2Sn、BT22等。300M钢作为一种成熟的超高强度钢材料,在现代飞机起落架上获得了广泛应用,国际、国内的各种军用、民用飞机都有选用。另外,钛合金具有比强度高、耐腐蚀性好的显著特征,在起落架上也有越来越多的应用。对伊尔-76飞机起落架来说,其钛合金用量较大,并且在大型主承力结构件上都有使用。如前、主起横梁即为钛合金大型构件,其中主起横梁尺寸更达1600×900×380mm,主起外筒结构尺寸也达 $\phi 270 \times 1600$ mm。

总体说来,大型运输类飞机起落架具有以下工艺特点:

(1) 结构布局复杂,零件尺寸超大。

飞机起飞重量增大、机体尺寸加大必然导致起落架结构尺寸相应加大。如伊尔-76起落架主要结构件尺寸普遍比中型运输飞机起落架零

件大2~3倍。这类结构件在制造时需采用大型起落架专用机加设备,对于热处理、焊接、表面处理等特种工艺也需大型设备来保障。

(2) 起落架长寿命要求促使新材料、新工艺广泛应用。

起落架结构与机体同寿是现代

这类材料对加工工艺均有严格要求,以避免制造过程中引起零件表面烧伤、污染和氢脆、镉脆等问题,并提高构件表面完整性,保证起落架使用安全及寿命。

(4) 主承力构件采用焊接结构或整体结构。



俄罗斯在飞机起落架结构件的制造方面广泛采用焊接结构,从伊尔-76飞机起落架零件来看,前、主起横梁、支柱外筒、活塞杆等主要承力构件均采用焊接结构。由此带来的优点是零件工艺性较好、制造成本相对较低;不利的方面是起落架寿命相对较短,很难与飞机同寿。与之相反,美欧生产的飞机起落架结构件均采用整体锻件加工成形,虽然在制造工艺性及成本等方面不佳,但产品寿命却较长,能够实现与飞机同寿。根据当前发展趋势来看,起落架零件焊接结构的应用仅仅是选择之一,整体结构件才是发展的主

要方向。大型军民机的普遍要求,其寿命一般要求达到3万~6万起落。因此,国外民机起落架选材主要应用300M钢、4340钢、高强钛合金及铝合金等高性能材料,在工艺技术方面广泛采用先进的表面强化、表面防护等新技术。如波音757型飞机起落架上就应用高速火焰喷涂钨钴合金,空客A320/A340起落架轮轴(300M钢)的非配合表面采用了金属陶瓷防腐涂层等高性能防腐技术。

(3) 钛合金、超高强度钢等先进材料加工难度大。

现代飞机起落架主要结构件材料选择以超高强度钢、钛合金为主。

要方向。

起落架主要制造技术综述

1 起落架超高强度钢零件制造

300M钢是一种成熟的航空结构钢材料,现代飞机起落架的主要承力构件起落架外筒、活塞杆、轮轴等大都选用300M钢。300M钢热处理强化后,抗拉强度达1960~2100MPa(HRC52~56),比30CrMnSiNi2A的抗拉强度高出22.4%,但300M钢对应力集中和应力腐蚀比较敏感,因此对制造工艺有较高要求。

300M钢起落架零件加工技术

虽然已较为成熟,但针对大型飞机起落架零件规格超大的实际情况,还涉及一些关键技术的应用,包括:

(1) 外筒、活塞杆等大规格锻件锻造技术。

主要需优化300M钢大型锻件锻造过程中的制坯、锻造工艺,锻件理化性能检测、锻件超声波探伤等技术,满足大型飞机长寿命、高可靠性能的锻件要求。

(2) 超大型起落架零件高效数控加工技术。

一方面,300M钢锻件毛坯所有表面均要进行大余量数控“扒皮”加工,内孔型腔材料去除量巨大;另一方面,作为300M钢构件都是起落架上的重要受力构件,零件外形结构相当复杂,材料去除率高。因此,对于大飞机起落架超大型零件的切削加工,其工作量就尤为突出,提高数控加工效率十分必要。

(3) 大型零件真空热处理及变形控制技术。

热处理是起落架零件加工过程必不可少的强化手段。对起落架大型主承力构件热处理强化效果、增脱碳控制、变形控制等方面尤需关注。

(4) 低氢脆电镀及新型高性能表面防护工艺等。

目前,300M钢等超高强度钢起落架零件对于非配合表面广泛采用的表面处理方式为镀镉或镀镉钛;对有相对运动的配合表面一般采用电镀硬铬层进行防护。这些电镀工艺过程控制非常重要,尤其是氢脆性控制。

2 钛合金零件的制造

伊尔-76飞机起落架大量采用钛合金零件,钛合金使用量约占全机机加零件重量的7.6%。考虑到钛合金所具有高比强度、低应力敏感和耐腐蚀等特性,作为飞机起落架结构选材的应用趋势,钛合金的使用量将会更加广泛。因此,钛合金零件制造技术是大型飞机起落架研制生产的重

点技术之一。

钛合金加工的主要问题是加工所用刀具的耐用度低,这是由钛合金特有的性质所决定的。钛合金材料具有化学活性大、热敏感性强、弹性模量小等特点,在机械加工领域一直属于难加工材料之一。具体表现在:

- 钛合金的导热性非常差,切削时被切屑带走和工件扩散传导的热量小,切削区温度高,致使被加工零件易变形。

大,造成刀具磨损加快。

总体来说,钛合金的切削加工性介于不锈钢和高温合金之间,其中 β 型钛合金的切削加工性最差, $\alpha + \beta$ 型的钛合金较好, α 型最好。因此,在钛合金切削过程中提高刀具材料的耐热性和抗粘结性能,控制切削温度,加强系统刚性,以提高刀具耐用度是钛合金加工关键所在。

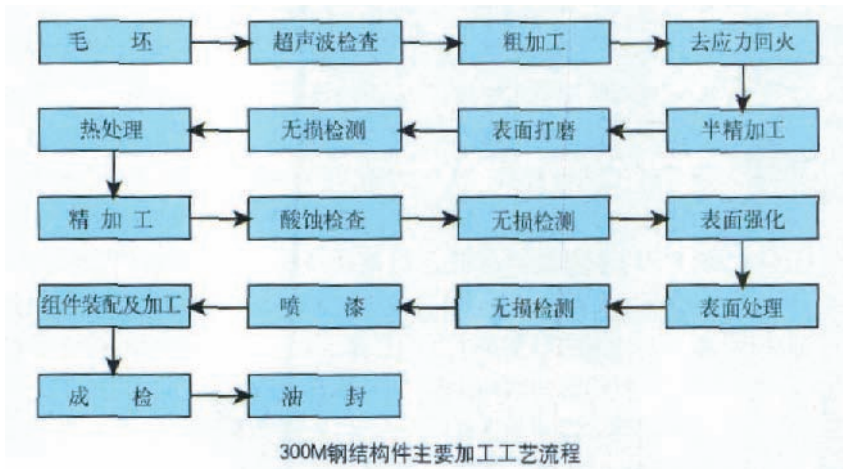
另外钛合金的磨削,特别是针对深长孔薄壁筒形件的磨削加工也是

目前国内对钛合金构件在起落架上的应用尚处于初期阶段,大面积的应用实践积累还不多,技术储备还不够充分,需关注一些关键工艺技术,包括:

- (1) 大规格钛合金荒坯制备及零件整体模锻工艺;
- (2) 热处理工艺;
- (3) 切削加工表面烧伤检查及控制技术;
- (4) 表面强化工艺等。

3 起落架零件深孔加工

深孔加工技术是起落架制造的关键及难点所在。飞机起落架前、主起活塞杆、外筒、轮轴等零件均属细长筒形件,材料大多为超高强度钢和钛合金,均为难切削加工材料。切削加工过程中刀具磨损相当严重,尤其是针对深长孔零件采用普通车削加工方法加工时,刀杆刚性不足和刀具耐用度过低的固有缺陷很难满足零件加工要求,尺寸精度、表面粗糙度(特别是过渡圆角和转接R处)不易得到保证。国际专业的起落架制造厂在加工这类零件时,除在结构设计时尽量考虑工艺性外,在工艺装备上普遍采用起落架专用数控加工设备,并配合结构先进、刚性较好的深孔刀



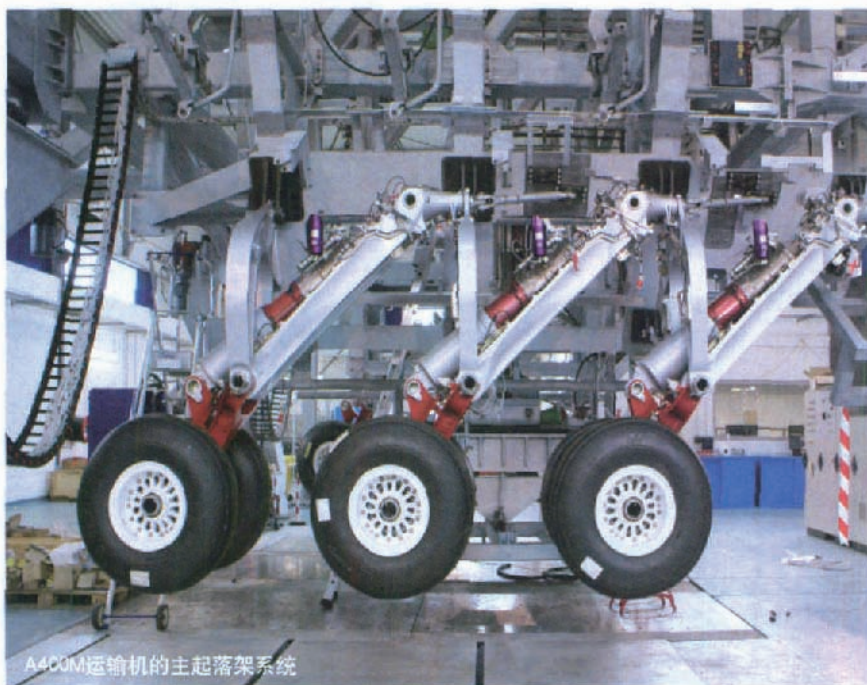
- 钛合金塑性小,因而显著地影响其切削时的变形,切屑与前刀面接触长度短、刀尖压力高,刀具磨损严重,容易造成崩刀。

- 钛合金弹性模量小,其锻造、切削加工时材料回弹大,一方面影响材料成型性能及多次成型后材料金相组织,另一方面也会影响加工时刀具与已加工表面的磨损,降低刀具耐用度。

- 钛合金的化学活性高,其机械加工、热处理过程又是一个高温高压的运动过程,钛易与空气中的氢、氧、氮等发生化学反应,使已加工表面产生一些不利的物理、化学变化,加工过程需要采取一定的保护措施;另一方面,常温下钛合金材料在空气中极易形成保护膜,对其进行表面处理时也较为困难。

- 钛合金的比强度较高,特别是热强性好,这一方面影响了锻造成型性能,同时加工过程切削力也会变

钛合金加工的关键工艺。在磨削加工过程中,改善加工条件,合理选择砂轮,优化余量分配,控制工件变形,减小残余应力,避免表面烧伤是其加工过程的关键点。



杆来满足加工要求。

起落架制造关键技术及展望

1 建立起落架专用工艺标准体系

由于起落架在保证飞机产品性能和使用安全性方面担负着极重要的角色,其发展受到世界各国的重视。美国联邦航空管理局(FAA)、英国民用航空局(CAA)、国际民航组织(ICAO)等组织都颁布和出版了大量的起落架研制标准、设计手册和设计规范。此外世界各起落架专业制造公司都有自己的专用设计手册和制造规范。

国内在起落架制造标准方面,不同机型采标各不相同,且通过适航认可的很少。这反映出国内在专业制造工艺标准体系上的缺陷和不完善,因此尽快建立满足我国现代飞机起落架技术要求的制造工艺标准体系已迫在眉睫。

因此,结合军民用起落架发展要求,围绕起落架工艺体系的建立和完善,开展有关机械加工、无损检测及热处理等特种工艺技术的工艺研究、适航申请等工作,逐步建立起完整的起落架工艺标准体系,将为大型飞机高品质起落架研制生产提供有力的技术支持。

2 实现关键加工技术新突破

(1) 起落架大型构件(缓冲器外筒和活塞杆)深孔型腔加工技术。提高深孔型腔加工效率是起落架零件加工的关键点。对于大型飞机来说,深孔型腔加工技术有其特殊性,主要体现在深孔钻镗、型腔数控加工、深孔磨削、计量检测技术及专用工艺装备的配置等方面。

(2) 高效数控加工技术。起落架构件材料利用率很低,机械加工工作量(特别是数控加工)很大,这对于大型飞机起落架中各类超大型结构件就更显突出。如果不能实现高效数控加工,不仅带来效率低下的问题,也将严重制约起落架交付进度。

(3) 钛合金零件磨削工艺。通过磨削获得优良的加工表面完整性,是保证钛合金零件加工质量的技术关键。传统飞机起落架结构中,采用大型钛合金结构件的情况并不多见,磨削工艺方法应用更少。另一方面,钛合金本身所固有的物理特性给磨削加工造成了较大困难。因此,需要从磨削参数的选择、磨削液的匹配以及砂轮的选用、过程控制等诸多方面进行优化,以切实提高钛合金的磨削加工效率和磨削质量。

3 提高表面完整性控制技术

开展高品质、长寿命起落架制造技术表面完整性研究,满足大型飞机起落架对超高强度钢结构件、钛合金大型结构件制造过程表面完整性要求,是保证起落架高品质、长寿命的基础。主要包括:

(1) 钛合金/超高强度钢加工表面烧伤控制技术。以300M钢热处理后和钛合金强化退火或固溶时效后的车削、磨削、铰削和铣削为重点研究对象,对其切削刀具、切削力、切削热、冷却条件等因素与表面烧伤的变化之间的规律进行研究,并以切削表面无烧伤作为主要约束条件选择切削工具、优化切削参数。

(2) 起落架新型钛合金/超高强度钢材料结构件表面强化研究。通过对超高强度钢、钛合金材料喷丸、挤压强化与其疲劳寿命关系的研究,找出与相应材料适应的强化工艺参数及强化前零件表面质量控制要求,保证强化效果和零件使用寿命。

有关资料表明:钛合金的疲劳强度主要取决于零件表面粗糙度和喷丸强化情况,采用喷丸强化可降低疲劳寿命的分散度1倍以上。

4 加强新型表面防护技术

新型高性能表面防护工艺是保证现代大型飞机起落架与机体同寿的重要技术手段,同时传统的表面处理技术往往有镀层防护性能不高、具有潜在的氢脆危险、污染环境等弊端。因此,进行有关新型高性能表面防护工艺研究十分必要。其中包括:金属陶瓷防腐涂层(MCAC)涂敷,



高速火焰喷涂(HVOF)工艺等。

作为300M钢、钛合金材料零件镀铬的替代工艺,国际上已在广泛开展HVOF涂层工艺的研究和应用,并已取得了大量成果。采用HVOF涂层防护的起落架已经在F-18、波音777等机型起落架上得到了应用。

除以上技术层面因素外,在起落架生产交付方式上还应与国际接轨,坚持起落架专业化成品供应商的发展模式。目前国外起落架的研制几乎都由专业起落架制造公司承担,国际知名的专业起落架制造公司主要有Messier-Dowty公司(欧洲)、Goodrich公司(美国)等。

(责编 未艾)