

钛合金及其激光加工技术在航空制造中的应用

张逢超

空军工程大学 陕西西安 710043

摘要: 作为新时代的金属结构材料, 钛合金在航空领域应用广泛。本文对钛合金及其激光加工技术的应用发展进行阐述, 探究了钛合金在飞机机架、飞机发动机、旋压件、燃气发动机中的应用, 同时介绍了几种钛合金激光加工技术在航空制造中的应用研究, 以期对钛合金及其激光加工技术在航空工业中的未来发展提供参考。

关键词: 钛合金; 激光加工; 航空制造; 应用

1. 钛合金在航空航天领域中的应用发展

由于钛合金本身密度较小、强度高, 在航空中的应用范围广泛, 也受到许多科学家和相关研究人员的青睐。在航空飞机研发初期, 即20世纪50年代, 钛合金仅应用在飞机机身隔热板、机尾罩和导风罩等一些不承力的结构部件; 这一情况发展到60年代初期, 飞机中机身的隔框、梁部等承力部位开始以钛合金取代钢材料进行筑造。发展至今, 研究数据表明, 航空飞机越先进, 飞机机型越宽, 其对钛合金的应用越多。美国C-5运输机钛合金密度为6%, 发展至C-17密度已增长至10.3%, 而21世纪处, 美国第4代战斗机F22钛量高至39%~41%。随着我国的发展和进步, 20世纪60年代的歼-7战斗机钛用量仅为9kg, 80年代的歼-8 II型战机已达93kg。20世纪70年代, 民用飞机对钛合金的使用率大大增加, 例如波音787用钛量站全机15%, 为136t。另外, 航空工业中的燃料箱、发动机、火箭壳体等也使用钛合金进行制造。

2. 合金在航空航天领域中的应用措施

目前, 钛合金在飞机上的应用广泛, 包括飞机机身、起落架、窗户框架、舱门、机翼结构、压缩机页面、发动机构建等。以下着重介绍钛合金在飞机机身架构、飞机发动机、旋压件、燃气发动机中的应用情况。

2.1 飞机机架中钛合金材料的应用

钛合金作为一种新型结构材料, 其比重处于铝和钢之间, 但其强度很高, 且有很高的抗腐蚀性和抗低温性能。20世纪60年代, 航空行业对钛合金的应用逐步从飞机后机身转移到中机身这样的重要承力部位。而随着国防科技的发展, 军事中加大了对钛合金的应用, 具体表现为钛合金用量占到整架飞机的20%到25%。随着时代发展, 为了提升飞机的安全性和舒适性, 提升民用飞机性能, 极大增加了对钛合金的使用。例如波音747民用飞机上, 钛含量达到3600kg以上, 对于小于2.5马赫的飞机, 将钛用来取代钢, 减轻了飞机重量。还有, 美国SR-72高速侦察机, 其飞行高度高达26200米, 钛合金是其整机的重要材料, 达到飞机结构重量的91%。

2.2 钛合金在飞机发动机中的应用

发动机作为飞机的关键构件, 关系到飞机关键性能及其经济用途, 极大体现着制造国的科技实力和航空工业水平。对航空发动机的所需构成的合金材料需在高温环境下工作(300~600℃), 同时要求高的比强度、蠕变抗力、持久强度及内部架构稳定性。同时, 为加强机身内部发动机的内部能源转化率, 增强其推重占比, 提升市场性, 也需要提升对钛合金的应用。先进, 在航空工

表1 各国飞机发动机用钛合金

国家	350℃	400℃	450℃	500℃	550℃	600℃	650℃	Burn resistant titanium alloy
中国	TC4	TC16 TC17	TA11	TC11 TA7 TA15	TA12	Ti60	TD3 (Ti3Al) Ti2AlNb	Ti40
俄罗斯	BT6 BT22	BT3-1	BT8M	BT9 BT20	BT25	BT18y BT36	-	BTT-1 BTT-3
欧洲/美国	Ti-64	Ti-6426 IMI550 Ti-17	IMI679 Ti-811	IMI685 Ti-6242	Ti-6242S IMI829	IMI834 Ti-1100	Ti-25Al- 10Nb-3V- 1Mo	Alloy-C

业中对钛合金的主要利用类型是 α 型、近 α 型和 $\alpha+\beta$ 型,表1为世界各国所研发的飞机用钛合金。

2.3 钛合金旋压件的应用

在航空工业领域中,钛合金之所以受到如此重视,最重要的原因是由于钛合金本身不仅材料性能相比于钢等材料更为结实耐用,还有其精密化因素优于其他材料。一般情况下,在对航空工业中钛合金的应用之前,需要不断检验材料的实用性和耐用性,检测其组织结构,并经过多次实验后进行记录和分析,以保证所要应用到的航空用材料能够更加安全可靠。还有,由于钛合金本身材料质地的特殊性,需要保证钛合金材料组织过程中保证成形环境要满足严格温度要求,所以在航天703中对钛合金的基材构建以TC4为主,并通过强力旋压环境制成半圆体构造,同时在TC3和TC4配料基础上,制造出两种新型钛合金半球体。

2.4 钛合金材料在燃气发动机制造中的应用

钛合金在制造燃气发动机中也占有重要地位。随着科技进步,我国在航天用发动机中对钛合金的应用占到发动机整体重量的三分之一,但是,有相关数据表明英国等一些航空业发达国家早在上世纪中期就开始重视对钛合金材料的应用,且这些国家通过对钛合金的深入研究和应用深层次开发出了喷气式发动机。截止目前,喷气式发动机中的扇叶主要结构正是采用的新型钛合金。

3. 钛合金激光加工技术在航空制造中的应用措施

国外多数实践研究表明,钛合金激光加工技术能够更有效地利用钛合金相关材料,有利于航空工业的发展和进步。当前,我国钛合金制造行业发展迅速,这对我国的航空制造行业将会产生重大影响。本文主要论述了钛合金激光焊接技术、钛合金激光分离技术、钛合金激光增材技术,这些也是国际上对钛合金激光加工技术主要涉及到的领域。

3.1 钛合金激光焊接技术

钛合金激光焊接技术主要应用到飞机大蒙皮及机身重要部件的焊接与装配中,包括襟翼的翼盒、发动机叶片、燃料贮箱和飞行舵翼等。在飞机整体机身壁板结构进行焊接时,其中存在许多T性结构,一般采用T形接头双光束激光焊接。通过对T型结构激光双光束焊接技术的深入研究和实验,双光束焊接技术会在焊接的同时维持住壁板形状和衔接结构,以此来减少机身外壁负担。同时,此焊接技术扩大了金属材料的“呼吸孔”,使得气体能够更加容易排出去,极大缓解了机身的减压问题;在焊接过程中,由于是双光束的缘故,使得焊接能够更加稳定,热影响对材料的影响降低,提升了焊接质量和

水平,这也减小了飞机蒙皮的形状误差,从而保证了飞机的稳定性。自2003年开始,我国逐步提升了钛合金的激光焊接技术,加强其在飞机壁板中的焊接利用率,同时对航空工业中许多修理技术也进行了许多应用。

3.2 钛合金激光分离技术

钛合金的激光分离技术就是至激光切割和激光打孔技术,简单的来说就是将能量都聚焦到一个很狭小的空间里面,就可以收获到很高的辐射密度($10^{\circ} \sim 1015W/cm^2$),利用这种高密度的能量可以进行非接触和高速度的加工,并且是高精度的,该项技术可以实现对很多的材料进行激光切割和打孔技术,是很多难加工材料的最适宜的一种加工方式,目前市面上所流行的激光切割技术主要是运用在,飞机蒙片还有发动机匣等设施上,国外已经采用钛合金蒙皮进行生产,尤其是在激光切割和重熔层上的研究达到了炉火纯青的地步,但是我们国内主要的研究方向是针对钢板的激光切割工艺上面,对于钛合金的切割所使用到的只是极少数的运用于军用飞机上,激光打孔运用最多的是在燃烧室,叶片等等这些发动机的部件上。

早期时候激光打孔技术的研究领域国内外在航空项目中主要采用的是用普通脉冲或者是断脉冲激光,研究的内容主要是集中在运用优化工艺提高孔的几何以及冶金的质量。印度的Bandyopadhyay等就对厚度分别是4mm和8mm的IN718与Ti6Al4V合金采取了激光打孔技术,发现了当材料的厚度有所增加的时候,所打的孔锥的度就会有所减少,并且在进行打孔的时候所产生的飞溅以及重铸层这些不足会变得明显。马来西亚理工大学Bahar等发现脉宽在0.5~20ms的时候,低的脉冲是有助于提高Ti6Al4V合金的激光表面打孔的质量,相反高的脉冲就会降低孔的锥度。最近这几年,超短脉冲激光打孔技术在航空制造领域的应用中受到了大众的关注。俄罗斯普通物理研究所Kononenko等对飞秒激光的重复频率进行了分析还有对钛基合金旋切打孔所造成的影响,发现了当重复率比较高的时候,打孔时的热累积就会提高速率,但是孔入口的边缘和表面上就会发生很明显的氧化。

3.3 钛合金激光增材技术

激光增材技术主要是运用于航空领域行业,该项技术在航空领域和高端装备领域的应用开发中是被世界各国重点发展的一个项目,在过去的几年时间里,航空零件增材制造是增长的最快的一个领域,在2019年的时候所产的规模就已经高达60亿美元,国外的技术不管是在成熟度上还是实现应用的时间点上,都已经达到了一定的高度,一定程度上十分的成熟,目前在国际上有

很多家大规模的激光增材设备制造商。

对这一块的技术研究,现如今航空所制造的相关激光增材研究技术主要是聚集在优化涂层成分和工艺来满足各种不同的场景下所需要的实际需求。Savalani等主要是利用Ti+碳纳米管粉末通过激光融覆所得到的一种TiC增强钛合金表面,熔覆层无孔隙且与基体结合强度优异。当碳纳米管的比例从原本的百分之五加到了百分之二十的时候,它表面的硬度和耐磨性都会不断的增加,是可以达到基体的10倍以上的,上海交通大学的Gao等分析了Ti6Al4V合金表面激光熔覆Ti-Ni/TiN/TiW+TiS/WS:自润滑粉末对表面性能的影响。当混合粉末的成分为50%Ni-30%TiN-20%WS,时,硬度会从原本的370HV上升到900HV,并且表面摩擦系数最小它的耐磨性也会达到最好的状态。

4. 结语

随着我国航空科技的不断发展,航空制造领域对钛合金的用量在不断的上升,当然未来对于钛合金的研究方向更加的倾向于低成本、高应用的技术,首先我们研究人员要继续深加工新型的低成本钛合金研究,对成形工艺进行优化改良,同时,我们还可以利用高科技使用计算机的模拟计算系统去进行设计,采用高科技的加持可以节约出更多的资源,并且将新型材料的制备和加工的工艺技术设计的精准性有所提高,最后一步就是要加

强对综合性钛合金的相关研究,比如说对TiAl金属间化合物还有钛基复合材料的相关研究,在未来的新技术加持下可以进一步的选择利用钛合金替换原来的镍基和铁基合金这种传统式的材料,最后的一步就是对钛合金的研究技术以及激光加工技术在航空飞行领域的应用中能够进一步的进行研究,从问题的根本上进行更深一步的突破和创新,更好的制约航空钛合金的使用量,以及对应用水平的进一步提升。随着各个方面的研究更加深入和精进,相信在不久的将来这些都能都走入人们的生活中,成为现实。

参考文献:

- [1]顾俊,刘钊鹏,徐友钧,等.钛合金及其激光加工技术在航空制造中的应用[J].应用激光,2020,40(3):547-555.
- [2]高功重比钛合金材料在航空作动系统中的应用[J].现代制造技术与装备,2020,56(12):168-170.
- [3]浅析钛合金材料在航空紧固件中的应用[J].军民两用技术与产品,2017(12):121.
- [4]温嵘,王琦,李璇,等.超快激光加工技术在航空发动机制造中的应用[J].电加工与模具,2020(6):56-59.
- [5]张洋.激光加工技术在机械制造中的应用研究[J].中国科技投资,2021(23):149,160.