

我所钛合金专业发展三十年有感

王金友

航空工业部六二一所钛合金专业创建于1956年。三十年来,钛合金专业的科技人员与航空工业部各设计所和工厂的有关人员一起,在冶金系统各厂所的大力支持下,为在国产航空发动机和飞机上推广应用钛合金进行了不懈的努力,取得了一些重大科技成果,为新机研制做出了突出的贡献。本文的主要目的,是通过回顾国内航空用钛合金的发展过程,明确今后专业的发展方向,以便在“七五”期间和九十年代取得更大的进展。

一、发展过程和现状

1. 变形钛合金在航空发动机上的推广应用

(1) TC6和TC4钛合金

早在1959~1960年,六二一所就在试验室条件下开始研制TC6钛合金,熔炼出了合格铸锭,锻制出性能符合技术要求的棒材,并在四一〇厂试制成功第一批钛合金叶片锻件。1964年,经过充分论证,我们明确了钛合金在国产航空发动机中的推广应用应该以TC4钛合金为主攻方向。为此,我们选择了当时批生产量最大的某发动机作为重点推广应用对象。于1935~1966年,在四二〇厂试制成功国内第一批TC4钛合金压气机叶片,在马鞍山钢铁厂试制成功国内第一批TC4钛合金压气机盘模锻件。到1969年底,装有一、六、七、八、九级TC4钛合金压气机盘和叶片的涡喷×发动机连续通过三次地面长期试车,并于1972年顺利地完成了—个寿命50小时的试飞任务。

TC4钛合金压气机盘件和叶片的研制成功,为国内航空用钛合金的发展写下了光辉的一页。为了及时总结经验并解决在材料质量和

性能数据方面存在的问题,于1974年在四二〇厂召开了航空工业部钛合金推广应用规划会,于1975年由航空工业部和冶金工业部联合召开了TC4钛合金推广应用落实会。这两次会议对TC4钛合金在其他发动机上的推广应用起到了推动作用。特别应该提到的是由上海航空发动机厂试制成功的某涡扇型发动机,该发动机的风扇一、二级盘件和叶片,压气机三~八级盘件和叶片,全部是用TC4钛合金制造的,每台发动机用钛量达320公斤,占结构重量的17%。其中,由上钢五厂生产的一级风扇盘用坯料的重量高达130公斤,用它在上海重型机械厂试制出了国内最大的钛合金模锻件。

结合TC4钛合金盘件和叶片的研制,还测试了国产TC4钛合金的全面性能数据,掌握了钛合金叶片的高能挤压工艺,制订了TC4钛合金相组织标准评级图,以及TC4钛合金叶片用棒材、锻饼和盘件模锻件三份航空工业部标准。

(2) TC9和TC11钛合金

TC9钛合金是国内第一个经过全面研制的500℃长期使用的变形热强钛合金,它本是为满足新机设计需要从1966年开始研制的。后来于1979~1980年在黎阳公司,用TC9钛合金制成的高压压气机四、五、六级盘件和叶片,在高马赫数飞机用涡喷×发动机上成功地通过了两个寿命的长期试车。

从1980年开始,六二一所与上钢五厂、三〇〇七厂、四二〇厂和黎阳公司等单位开始研制TC11钛合金,它是一种综合性能更好500℃使用的热强钛合金。1982年,用TC11钛合金制成的三~八级压气机盘件和叶片,装在某新型涡喷发动机上顺利地通过了500小时地面长期试

车。1984年,装有TC11钛合金压气机盘件和叶片的发动机,作为两种新型飞机的动力装置,成功地通过了试飞考验。在TC11钛合金盘件研制过程中,为了充分发挥航空工业内部的技术潜力,用三〇〇七厂的十吨模锻锤试制成功直径达520毫米的钛盘,这是一项重大的技术突破,目前已经生产钛盘500多件。结合TC11钛合金盘件的研制,还发展了取消反复锻拔的AHLT饼坯锻造工艺,解决了大锻件组织性能不均匀的关键问题。

2. 变形钛合金在飞机结构中的推广应用

(1) TC1钛合金

1962~1964年,为了满足某飞机研制的需要,对TC1板材钛合金进行了全面的研究和试制。首先解决了合金元素锰在真空自耗电极电弧熔炼过程中成分难控制的关键问题,又对其再结晶过程、热处理制度、轧制工艺、冲压成形和焊接性能进行了全面研究。在冶金工厂试制成功宽800毫米、长3000毫米不同厚度板材,并在一二厂制造出某歼击机的机尾罩前段、水平安定面和整流包等国内第一批钛合金板材冲压成形零件。TC1钛合金目前仍然是国内广泛应用的板材钛合金,它已经在一些歼击机和运输机上得到实际应用。此外,TA2工业纯钛和TC3钛合金板材,也都在某些飞机的后机身得到广泛应用,主要是用来制造导风罩和非承力隔框。

(2) TC4钛合金

为减轻飞机的结构重量,改善飞机的技术战术性能,从1981年开始研制飞机用TC4钛合金大规格棒材和承力构件。六二一所、六〇一所、松陵公司、宝鸡有色金属加工厂、六〇二库、北航、西工大等单位参加了这项工作。经过三年多的共同努力,共生产了约十三吨直径为70~150毫米的TC4钛合金大规格棒材,五种共86件大型关键模锻件(58框接头、351梁和530梁),二十种共220件自由锻件(包括62框腹鳍接头等)。机加工后的成品零件顺利地通过了静力试验、全尺寸疲劳试验和一年多的试飞

考验。采用这些TC4钛合金承力构件后,使某歼击机减重17.69公斤,机身用钛量从1.81%提高到3.97%。

结合飞机用TC4钛合金承力构件的研制,还完成了16条棒材疲劳曲线、9条元件疲劳曲线,以及大量断裂韧性、裂纹扩展速率和接触腐蚀等方面的试验研究工作。编写了18份研究报告、16份生产工艺说明书和4份航空工业部标准。为在各种飞机结构中扩大TC4钛合金承力构件的应用,提供了大量的技术数据,积累了丰富的实践经验。

3. 铸造钛合金的研究与应用

(1) 设备建设

1935年在六二一所建立了国内第一台铸造钛合金专用设备,即8公斤真空自耗电极电弧凝壳炉。这台设备的建立,不仅为开展铸造钛合金和造型工艺研究创造了先决条件,而且对全国铸造钛合金专业的发展起到了推动作用。1968~1976年又和长春电炉厂一起设计和制造了50公斤真空自耗电极电弧凝壳炉,使铸造钛合金专业能够生产出直径达800毫米的大型钛铸件,并具备了年产15吨钛铸件的能力。与此同时,还建立了真空除气炉、200公斤真空自耗电极电弧炉等配套设备,建成了一条完整的钛铸件生产线。

(2) 铸造钛合金

从1966年开始,对ZT4铸造钛合金的成分上下限、组织与性能进行了全面研究,并于1984年制订了航空工业部标准。目前,ZT4铸造钛合金已经用于水上飞机的轮毂、刹车壳体和气缸座,以及某发动机前支撑座,并投入了批生产,仅前支撑座一项就生产了400多件。

ZT3是自行研制的500℃长期使用的铸造钛合金。ZT3铸造钛合金的主要特点是含有少量的稀土元素铈,其含量是在对各种稀土元素及其含量对Ti-Al-Mo-Sn系铸造钛合金的热强性、热稳定性和流动性的影响进行了系统研究的基础上确定的。ZT3铸造钛合金具有良好的高温持久和蠕变强度。从1976年开始,曾用

ZT3铸造钛合金试制成涡喷×发动机的后舱和涡扇×发动机的放气带。1980年,用ZT3制成的涡喷×发动机四、五级压气机匣通过了250小时地面长期试车考验。

从1981年开始,集中力量开展了ZT3和ZT4在发动机压气机机匣上的应用研究。解决了铸钛机匣在生产工艺和冶金质量方面存在的一系列技术关键。1983年,二、三级压气机机匣用ZT4合金制造,四、五、六、七级压气机机匣用ZT3合金制造的一种新型航空发动机,在黎明公司通过了两次地面长期试车,并于1984年作为某新型歼击机的动力装置试飞成功。该发动机采用铸钛机匣后,使每台发动机的结构重量减轻19.5公斤。

(3) 造型工艺

在造型工艺方面首先掌握了各种复杂形状的机加工石墨型。用这种造型方法生产了机轮轮毂、压气机机匣和8吋钛泵壳体等大型复杂钛铸件。此外,还结合国情研制成功一种经济有效的石墨-合脂捣实型造型工艺。用这种工艺生产出了某风扇发动机的一级空心叶片和某涡轮桨发动机的半圆机匣。其中,后者直径为454毫米,高679毫米,毛坯重54公斤,带有各种凸台和通孔,形状极为复杂,它于1977年在一二〇厂通过了200小时地面长期试车。

在精密铸造方面,从1967年开始研究石墨-树脂壳型系统,相继研究成功石墨-644环氧树脂和石墨-2177酚醛树脂壳型系统,并浇铸成功质量良好的空心叶片和增压器叶轮。为了尽快赶上国际先进水平,1981年又从西德钛铝精铸公司引进了钨面层和氧化钇面层陶瓷壳型制造技术。六二一所为了消化和掌握这项引进技术,建成了钛合金精密铸造专用的壳型研制生产线,共安装调试了32台设备,还开展了原材料国产化的试验研究工作。目前,已经采用从西德引进的工艺技术试制成功某歼击机用的五种ZT4钛合金精铸件,其尺寸精度和冶金质量均达到了国际上八十年代的水平。

二、对今后发展的建议

以上只是个简短的回顾。经过三十年的努力,为了满足航空工业发展的需要,已经试制成功18种钛合金牌号,并在8种发动机和10种飞机上通过了试车或试飞,初步形成了一个工作温度衔接和使用强度配套的航空用钛合金体系。但是,八十年代以来,国外航空用钛合金的材料和工艺发展很快,而国内一种合金牌号或工艺从开始研制到定型应用,一般需要十年左右的时间。因此,我们在安排课题时,决不能只考虑当前的需要,还应考虑到5~10年以后的发展趋势。现根据个人的工作体会,提出以下四点建议,供关心航空用钛合金发展的科技人员和有关领导同志参考。

(1) 航空发动机用钛合金在国外始终是钛合金发展的重点,因为发动机用钛合金的工作温度高、性能要求严、需要数量大。例如,美国1971年航空发动机用钛量约占航空工业总用钛量的67%。近十多年来,许多国家都针对航空发动机压气机出口温度不断提高的特点,发展了一些能在550~600℃长时间工作的热强钛合金,例如英国的IMI829、IMI EX834,苏联的BT18、BT25,美国的TransageX206等。因此,我们应该在TC6、TC11钛合金的基础上,继续发展能在520~550℃长时间工作的高蠕变强度、高断裂韧性的热强钛合金材料,加速β锻造、亚β锻造和β热处理工艺的研究和应用。

(2) 飞机结构用钛量在国外军用飞机上已经达到结构重量的25%,在民航飞机上达到结构重量的6%,每架波音747飞机用钛量为3850公斤。目前,美国和苏联为了进一步扩大钛合金在飞机结构中的应用,正在结合破损-安全设计的要求,大力发展和推广近β型高强高韧高淬透钛合金。这一类型钛合金与传统的β型钛合金比较,有更好的拉伸塑性和低周疲劳强度,与典型的α+β型钛合金比较有更高的强度、断裂韧性和淬透性。美国的Ti-10-2-3和苏联

橡胶除氧封存技术

张元宁 陈金华

一、前言

航空橡胶目前使用量较大的是丁腈、丁苯、和天然橡胶等。这些橡胶分子链中具有不饱和双键，这些不饱和和活性基团的存在是橡胶老化的内在因素，而大气中氧、臭氧、温度、光、微生物等是橡胶老化的主要外在因素。氧、臭氧等活性物质使橡胶链的不饱和键打开，产生断裂、交联，出现表面龟裂、泛白等现象，物理机械性能下降，以致失去使用功能。因橡胶制品在加工、装配、贮存、使用过程中易受环境因素影响，氧化变质，所以一些比表面积大的橡胶制品、敏感元件，如橡胶薄膜、减震垫等，贮存寿命都较短。棉线胶管在仓库贮存中极易受大气中湿气侵入长霉变质，即使在年平均湿度为59%的北京地区，经过一个雨季也长霉，成都、南昌、海南岛等地区长霉情况就更严重。为了延长橡胶制品的贮存周期，进而延长其使用寿命，从外界防护入手，采用良好的包装方

法，是防止橡胶件变质的有效措施之一。

二、封存技术概况

二次世界大战以后，国外包装技术迅速发展起来，出现了充氮、干燥空气封存、真空封存、除氧封存等方法。

除氧封存是当前日本食品及其它工业中流行的一种包装技术^[1]。它是继真空包装、充氮包装之后的一种新型包装^[2]。六十年代，日本三菱瓦斯化学株式会社生产的一种铁基型“爱吉-列斯”除氧剂，在阻氧性好的复合薄膜（聚乙烯/聚偏二氯乙烯/流延聚丙烯）袋中封存食品（湿度较高的酱菜）可不必加入防腐剂。该封存方法既能防氧化、防介质、防微生物生长、防潮、防机械损伤，而又易充填、易封合、易启封，因此在商业市场具有一定的竞争力。

铁基型除氧剂能在1~2天内使密封系统中的氧浓度降至0.1%。

配合除氧剂封存的外包装材料直接关系到封存效果和封存持续时间，故要求阻氧性好，否则在贮存过程中外界空气（氧气）大量渗进包装袋，即使用了除氧剂，也是徒劳的。

的BT22都是这一类型钛合金的典型代表。因此，我们应该在继续扩大TC4钛合金在飞机结构中应用的同时，集中力量研究和掌握使用强度达到120公斤/毫米²的钛合金，用以直接代替国产飞机上常用的30CrMnSiA结构钢制造部分重要承力构件。

(3) 钛合金铸件在国外的航空发动机和飞机结构中已经获得广泛应用，并达到较高的技术水平。例如，装备波音757飞机的PW2037型发动机采用的精密铸造钛合金压气机机匣，其直径为1016毫米，高度为330毫米，重量为106公斤；CF6-80发动机用风扇框钛铸件，其直径达到1295毫米，重量达到136公斤。结合国内实际条件，在现有基础上继续扩大铸钛机匣在航空发动机上应用的同时，应该充分发挥从西德引进的钛合金精密铸造工艺的技术潜力，

大力发展和推广发动机和飞机用各种形状复杂的中小型钛合金精密铸件。

(4) 钛合金板材、管材在国外航空工业应用中占有相当大的比例，美国已经发展了板材专用的可冷成形的Ti-15-3-3-3钛合金和管材专用的Ti-3Al-2.5V钛合金。国内在这些方面还基本上处于空白状态，因此对板材和管材用钛合金材料及其成形工艺的发展，必须给以足够的重视。此外，钛合金紧固件和型材在国内的发展也非常缓慢，缺乏统一的规划和有效的组织措施。例如，每架波音757飞机采用约700公斤的钛合金紧固件，碳-碳复合材料在国产飞机上的应用，也急需钛合金型材和螺栓来配合，这些都是应该及时提到日程上来考虑的问题。