

# 钛合金在现代汽车工业中的应用

□ 洛阳船舶材料研究所/陈政龙 杨晓

钛及钛合金具有密度小、机械性能优异、生物相容性好、耐腐蚀、耐高温、低温韧性好等特点,目前已被大量应用于航空航天、船舶、汽车制造、医疗器械和运动器械等领域。

钛合金密度只有钢的60%,而强度可以达到800MPa以上,在500℃左右仍然保持良好的机械性能,且焊接和成形性能都较好,在20多年以前就已经被应用于赛车的制造上,大幅减轻了赛车发动机的质量,同时提高了发动机性能。随着现代汽车工业的不断发展,人们对汽车的安全、舒适以及油耗等方面提出了更高的要求,这也促使钛及钛合金在汽车工业中得到更多的应用。

## 钛合金在汽车上的应用

目前,汽车制造中所使用的钛合金零部件主要分布在汽车排气系统、发动机系统、传动和减振系统以及车体框架部分。

### 1. 排气系统

汽车排气系统材料要求具有较

好的高温力学性能和耐S、Cl元素腐蚀性能。传统的排气门组件都是由不锈钢制备的,但是人们发现钛合金在性能方面更加适合用作排气门材料。在新型的雪佛兰Corvette Z206汽车上使用的钛制回气管,有效地避免了不锈钢管上出现的点蚀和焊缝锈蚀等问题,同时还提高了燃油的燃烧效率和加速能力,缩短了制动距离。美国最大的钛材制造商Timet一直致力于钛合金排气系统的研发与制造,日本多家公司也开展了相关的研制工作,目前,富士重工株式会社已经限量生产了440套钛合金车用排气管。

### 2. 发动机系统

汽车发动机系统是汽车领域使用钛合金最多的部件。早在20多年前,美国赛车手Warren Johnson首次使用装备五气门增压式804cc发动机的质量只有85kg的赛车参赛,由于发动机转速由7 500r/min提高到了9 000r/min,因此在1993年举行的7次比赛中5次夺冠。钛合金在发动机系统上的应用主要有气门、连杆、曲轴、气门座等零部

件。日本本田汽车公司在NSX赛车V-6发动机中使用了锻造钛连杆;三菱汽车公司制造的高容量、四缸发动机中使用了钛气门弹簧座,保时捷汽车中也使用了钛连杆。

(1) 气门。钛合金气门方面,美国和日本都进行了大量的研究工作,美国目前普遍使用Ti-6Al-4V合金制造进气门,使用Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo合金制造排气门;而日本丰田公司则使用Ti-6Al-4V/TiB合金制备进气门,使用Ti-Al-Zr-Sn-Mo-Nb-Si/TiB合金制备排气门。这几类钛合金都具有较好的高温力学性能、抗氧化和抗蠕变性能,有效改善了发动机性能,提高了汽车速度。

(2) 气门座。钛合金气门座在赛车和运动汽车上已得到广泛的应用,每年生产25万套以上,主要采用Ti-6Al-4V或Ti-5Al-2Cr-1Fe合金制备,由于气门座形状比较简单,所以在机械加工方面要求不高,且不需要特殊的表面处理,成本较为便宜,但在汽车减重方面效果明显。

(3) 连杆。钛合金连杆的使

用能够有效减轻发动机的质量，提高汽车性能。目前主要的制备材料为Ti-6Al-4V合金。日本大同株式会社目前正在开发一种两相钛合金Ti-3Al-2V-0.2Si-0.47Ce-0.27La，该合金具有良好的切削性，在力学性能、疲劳性能和耐腐蚀性方面也较为优异，期望用在发动机的急加速、急减速的连杆部件上。

(4) 曲轴。钛合金曲轴目前虽然没有得到广泛的应用，但是日本专门开发的Ti-3Al-2.5V合金已经在本田赛车上面得到验证，在有效减轻质量的同时，将发动机转速提高了700r/min，证明了钛合金曲轴的优越性。同时，日本已经在试制Ti-5Al-2Cr-Fe合金曲轴，期望钛合金在曲轴部件上得到更加广泛的应用。

### 3.减振系统

汽车减振悬挂系统的核心部件就是悬架。钛合金相比于一般汽车弹簧用钢而言，具有更高的比强度和更低的切变模量，抗疲劳强度也较高，更加适合用作制造汽车减振弹簧。由于弹簧的挠度和圈数呈正比，与材料的切变模量呈反比，因此，钛合金弹簧在达到相同弹簧反应的情况下，比钢制弹簧需要更少的圈数，有效减轻了弹簧质量，节约了空间。同时，钛合金弹簧还能够有效提高弹簧的共振频率，提高其使用寿命。目前大部分的钛合金弹簧都是用单相 $\beta$ 钛合金制备。德国大众公司已经在部分汽车上使用了Lupo FSI钛合金齿轮弹簧，用量约为3 500辆。

### 4.车体框架

车体框架部件方面，钛合金较高的比强度，较低的密度以及良好

的耐蚀性能，都说明其是良好的车体框架制备材料。目前，已经有汽车公司在车档支架、制动器卡钳活塞等部件上使用钛合金。变速器部件中，日本目前正在开发一种高旋压成型法制备钛合金外壳的工艺，与钢制外壳相比，钛合金外壳更好地减轻飞轮的冲击，缓冲效果更好。

另外，钛合金还在汽车紧固件等部件上得到了应用，随着钛合金制备工艺和汽车工业的不断发展，钛合金必将在汽车零部件上得到更多的应用。

## 钛合金对汽车轻量化的意义

国外研究机构测算发现，当汽车整备质量下降10%，油耗可降低6%~8%。还有研究表明，汽车每减重91kg，平均每升燃油可多行驶0.43km。因此，随着我国经济的不断发展，汽车保有量的不断增加，汽车轻量化已经成为减少能源消耗，降低空气污染的重要途径之一。

钛及钛合金材料因其出色的物理化学性能，目前在汽车零部件中的到了大量应用。钛材料的使用不仅有效提高了汽车的性能和安全系数，还在汽车轻量化方面发挥了重要作用，有效减轻了汽车整备质量，降低了燃油消耗。

汽车排气系统采用钛制尾喷管-回气管组件相比于传统不锈钢系统，大约能够减重8.2kg。而发动机零部件中气门、连杆等部件使用钛合金制品替代传统钢和铸铁材料都能够有效减轻发动机质量。根据日本汽车行业的研究，汽车动力阀使用约0.8kg的钛材料零件相当于20kg钢制零件所达到的效果；每一个钛

制气门座相比于钢制气门座能够减轻10g左右的质量；连杆和曲轴用于钛合金，对减轻发动机质量最为有效。减振系统上面，每个钛合金弹簧可比钢制弹簧减轻60%以上的质量，以每辆车4个悬架计算，换用钛合金弹簧之后，每辆车可减重9~13.6kg。另外，钛合金消音器的质量只有5~6kg，比不锈钢消音器轻了40%。以普通中型轿车为例，如果用现有的钛合金汽车零件替换掉传统的零件，汽车整备质量将由原来的1 500kg左右减重至1 000kg左右，减重率可达30%，综合油耗可降低20%以上，这将大大减少全世界的燃油消耗，有效缓解能源紧缺和环境污染的问题。

以上数据显示，钛合金的使用在汽车轻量化方面效果明显，在现代汽车工业中，应不断开发钛及钛合金在汽车零部件中的应用技术，提高钛合金在汽车上的应用比例。

## 结语

目前钛合金在我国汽车行业中的应用还只是处于尝试阶段。存在的主要问题是钛合金材料成本过高，零部件不易加工等。因此，未来的主要任务应该是通过开发廉价的钛合金材料，降低钛合金原材料的生产成本等方式，降低钛合金零部件价格，通过改善加工工艺提高钛合金零部件的加工效率。国外的经验表明，只有汽车设计制造方和钛合金研制方联合，才能为汽车提供更加优质的钛合金材料。相信随着研发工作的不断深入，钛及钛合金在现代汽车工业中必将发挥越来越重要的作用，推动汽车工业的不断发展。 **AUTO1950**