

■成都工具研究所有限公司/罗 勇 谢明强



QPQ技术 在汽车零部件上的应用



成都工具研究所有限公司总经理 罗 勇

QPQ (Quench—Polish—Quench) 原意为淬火—抛光—淬火,从专业技术上来讲,这种说法不够确切,这种技术实际上是低温盐浴渗氮加盐浴氧化或低温盐浴氮碳共渗加盐浴氧化,在国内把QPQ技术称作QPQ盐浴复合处理技术。

QPQ技术是一种金属表面改性技术,具有高抗蚀性、高耐磨、无公害等特点。20世纪80年代中期我

公司自主开发了QPQ技术,打破了国外垄断的现状,并在国内迅速投入规模生产。我公司已将该技术向北京、天津、四川、江苏、云南以及广西等地多家专门生产曲轴、气门、凸轮轴、活塞环和气弹簧活塞杆等专业汽车零件厂进行了技术转让,其中包括多种国外引进产品。汽车、摩托车作为QPQ技术第一大应用行业,汽车的曲轴、凸轮轴、气弹簧和扭转盘等年处理量由数百万件到数千万件,而气门的处理量高达3.45亿件。

应用实例

1.曲轴

曲轴是汽车发动机的关键零件之一,它承受复杂的弯曲、扭转载荷和一定的冲击载荷,轴颈表面还要承受磨损。其破坏形式是在轴颈和曲柄过渡的圆角处产生疲劳裂纹与轴颈表面的严重磨损。

曲轴的常用材料为45钢和球墨铸铁。以气缸直径200mm以下的往复式内燃机曲轴为例,45钢曲轴多采用调质处理,调质后的硬度要求为207~302HBW。球墨铸铁的曲轴多采用正火,正火后的硬度为240~300HBW。调质或正火后的曲轴再作QPQ处理,曲轴心

部保持较高的强度和良好的抗冲击能力，而表面耐磨性可提高十几倍，因此可以大大减少轴颈的磨损；疲劳强度可以提高40%~100%，大大减少了轴颈过渡区产生疲劳裂纹的几率。

根据我国汽车行业标准QC/T481—1999，无论是钢曲轴或球墨铸铁曲轴，经表面强化以后的氮化层硬度应不小于500HV，氮化层总深度（包括化合物层和扩散层）应不小于0.1mm。我公司开发的QPQ技术完全能够满足客户的技术要求。

2. 凸轮轴

凸轮轴是汽车发动机中又一重要零部件，它和气门挺杆组成一对摩擦副，作用是保证气门按一定的时间开起和关闭。

凸轮轴的常用材料为45钢、球墨铸铁或合金铸铁。45钢凸轮轴一般应预先进行调质，球墨铸铁凸轮轴应预先进行正火处理，合金铸铁凸轮轴一般应去应力退火。预先热处理的硬度应根据汽车的类型、载重量等因素来选择。

凸轮轴在工作过程中除承受一定的弯曲和扭转载荷外，凸轮部分还承受变化的挤压应力以及与挺杆的摩擦。凸轮轴的主要损坏形式是凸轮部分磨损和粘着磨损（严重时会产生熔接现象），以及凸轮表面因挤压应力的反复作用而造成的麻点或表面剥落。因此凸轮轴除了要有一定的强度和刚性以外，还应具有良好的耐疲劳性能和耐磨性。

凸轮轴的上述性能要求刚好是QPQ处理技术的优势所在。首先由于化合物层具有极高的耐磨性，同时可以减少摩擦系数，因此它可以大大减少凸轮轴的磨损，避免粘着现象的产生。其次由于扩散层可以大幅度提高疲劳强度，所以它可以大大减少凸轮轴表面产生麻点或剥落的可能性，由此便可以延长凸轮轴的使用寿命。凸轮轴经QPQ处理以后，45钢化合物层深度应 $>15\mu\text{m}$ ，球墨铸铁化合物层深度应 $>5\mu\text{m}$ ，表面硬度均应 $>500\text{HV}$ 。

3. 气门

气门是与气缸相接触的面，温度高达600~700℃。因此气门除了选用热强度钢材外，还要特别注意气门的接触面是一个危险区域。该区域要求耐热蚀、耐热疲劳、耐磨损，因此必须进行表面强化。较早的表面强化技术是采用镀硬铬。

现在进气门材料常采用4Cr9Si2钢，排气门材料一般都采用5Cr21Mn9Ni4N（焊接耐磨合金）。

4Cr9Si2钢气门的杆部及头部硬度为30~37HRC，尾部硬度大于48HRC。5Cr21Mn9Ni4N气门应先作固熔处理，杆部及头部硬度为34~40HRC，尾部硬度为50~60HRC。也可以用4Cr9Si2钢作尾部与5Cr21Mn9Ni4N钢焊接，尾部高频淬火后硬度可达到55~63HRC。气门经预热处理并达到上述技术要求后再进行QPQ处理，以便在其表面形成 $5\mu\text{m}$ 以上的化合物层，增加其高温状态下的耐蚀、耐磨和耐疲劳性能。气门在进行QPQ处理时应预先去除不锈钢表面的钝化膜，否则有时可能产生元素渗不进、无渗层的情况。另外可以用酸洗去除钝化膜，如有条件可以采用喷细砂的办法，效果更好。

气门在进行了氮化和氧化后，可以在光饰机上作振动抛光，然后再作一次氧化，即进行了QPQ的全过程。这样不仅可以降低气门表面粗糙度值，还可以增加耐蚀性。

现在国内外气门主要都采用QPQ处理，美国进行的气门比较试验表明，40Cr钢进气门和5Cr21Mn9Ni4N钢排气门经QPQ处理后，其耐磨性比镀硬铬高两倍，并成功解决了六价铬的公害问题。

4. 气弹簧活塞杆

气弹簧活塞杆是汽车上的用量较大的零件，要求有较高的耐磨性和良好的耐蚀性。一般采用镀硬铬，增加表面的耐蚀性和耐磨性。但镀铬的六价铬离子严重污染环境，因此必须采用无公害的工艺方法替代。

QPQ技术是一种无公害的工艺方法，其耐磨性比镀硬铬高两倍，耐蚀性比镀硬铬高10倍以上，因此用QPQ技术代替镀硬铬，耐磨性和耐蚀性都会大幅度提高，实际使用结果也证实QPQ处理的气弹簧活塞杆有良好的耐蚀性，盐雾试验耐蚀性达96h。

气弹簧活塞杆在国外早已采用QPQ处理，年处理量达数千万件。在国内近年来也大量采用QPQ技术处理气弹簧活塞杆，在浙江、广东、北京等地已有十多个厂家采用QPQ技术生产气弹簧活塞杆，有的厂家生产的气弹簧活塞杆还远销美国。

QPQ技术作为一种无公害的工艺方法，代替电镀铬可以很好地解决六价铬离子的公害问题，同时还可以提高耐蚀性、耐磨性，并大大降低生产成本。

5. 活塞环

活塞环是各种汽车、摩托车发动机的关键零件，在高温下与缸体发生滑动摩擦，因此不仅要求有较高的耐磨性，还要求高温下的耐蚀性和良好的抗咬合性能。

QPQ技术具有较高的耐磨性和耐蚀性，同时也具备在较高的温度下抗咬合性能，因此可以满足活塞环的技术要求。国内已经有多家工厂成功地采用QPQ技术生产活塞环。

某活塞环厂在采用QPQ技术以后，又进行了进一步的试验工作。对ASL817材料的活塞环在进行两段QPQ处理，其工艺规范为：

$540^{\circ}\text{C} \times 3\text{h} + 580^{\circ}\text{C} \times 3.5\text{h}$

两步处理工艺的试验结果满足了表面硬度大于700HV，渗层深度大于0.05mm的技术要求，并且生产质量稳定。试验结果还表明，采用QPQ技术的生产成本低于镀铬。镀铬的费用为0.2元/片，QPQ处理的费用仅为0.14元/片。

科技创新取得突破

1. 第二代QPQ技术已经研发成功

QPQ技术大量投入生产20多年来，虽然已经被很多行业采用，取得了较好的效果，但由于QPQ技术渗层太浅，难以承受较重的负荷和较高的运转速度，更不能承受较大的磨损，因此应用的范围受到了很大限制。

我公司经过十多年的潜心试验研究，终于成功开发了第二代QPQ技术——深层QPQ技术，其化合物层深度由原有QPQ技术的15~20 μm增加到30~40 μm，甚至更深。

第二代QPQ技术已经经过耐磨性试验、抗蚀性试验、力学性能试验和渗层组织形态试验的全面考核。钢经深层QPQ与普通QPQ处理后性能比较见附表。

45钢经深层QPQ与普通QPQ处理后性能比较

处理方法	滑动磨损试验		失重抗蚀性试验		冲击韧性试验	
	磨损量 /g	耐磨性 比	失重量 /g	抗蚀性 比	冲击功 /J	韧性比
QPQ处理	0.538	1	20.99	1	12.2	1
深层QPQ 处理	0.133	4.05	1.67	12.6	24.2	1.98

耐磨性：中碳钢经深层QPQ处理后滑动磨损试验耐磨性为普通QPQ处理的四倍。

抗蚀性：中碳钢经深层QPQ处理后失重试验抗蚀性为普通QPQ处理的12倍；盐雾试验抗蚀性为普通QPQ处理的一倍以上。如果深层QPQ技术与密封剂结合使用，盐雾试验抗蚀性可达300h以上，甚至更高，达到国际先进水平。

冲击韧性：中碳钢经深层QPQ处理后冲击韧性接近普通QPQ处理的两倍。

深层QPQ技术由于有更高的耐磨性、抗蚀性和较高的韧性，因此比普通QPQ技术有更广泛的用途，可以用于更大负荷、更高速度、更大磨损量的零件，填补原有QPQ技术的许多应用空白。在国外已经成功地用于精密机械，军工、航空、航天等行业。

2. 第三代QPQ 技术正处在研究开发阶段

我公司在原有QPQ技术基础上，通过开发新的盐浴配方，试验新的催化剂，并采用电流催渗等方法加快渗层的形成速度，从而研究开发出一种化合物层深度可达到60~80 μm、应用范围更广、性能更优的超深层QPQ技术。

结语

通常表面硬化技术只能提高金属表面的耐磨性，表面抗蚀技术一般只能提高金属表面的抗蚀性，而QPQ技术则可以同时大幅度提高金属表面的耐磨性和抗蚀性，提高的幅度均比常规硬化和抗蚀技术高10倍以上，因此它被称为冶金学领域内的革命性新技术。同时该技术还具有工件几乎不变形、无公害、节能等优点。

QPQ技术具有很高的学术水平，它使我国在金属表面强化改性技术方面达到了世界先进水平，在环保方面处于国际领先地位。今后应加强QPQ技术替代镀铬方面的研究工作，使尽可能多的镀铬件采用QPQ技术来代替，以便大幅度提高产品耐蚀性、耐磨性，同时降低生产成本，尽量减少由镀铬而引起的六价铬公害问题。

关键词：

QPQ技术 汽车零部件 表面改性

(收稿日期20130423)