

汽车零部件修复新技术

杜则裕

梁肇伟

(天津大学)

(交通部公路科学研究所)

提要 本文从原理、设备、工艺、成本核算等方面介绍了激光表面处理技术、金属粉末电加热修复曲轴、热喷涂铜锡合金修复轴瓦、刷镀及焊接等汽车零部件修复新技术。

关键词 激光 刷镀 焊接 修复 零件

New Techniques for Auto Part Repair

Du Zeyu (Tianjin University)

Liang Zhaowei (Research Institute of Highway)

Abstract This paper introduces principles, equipments, techniques and cost accounting of laser surface finishing, electric thermal metal powder for crank repair, thermal spraying copper-tin alloy for bearing bush recovery, brush plating and welding for auto part repair.

Key words Laser Brush plating Welding Repair Part

汽车零部件的修复是汽车修理的重要环节之一。汽车零件修理的发展在我国时兴时衰，主要是随着汽车更新率和维修配件的供应状况而变化。如今，80年代进口的车辆陆续进入大修期，维修所需的配件不仅价格昂贵，而且短缺。因此，进口汽车零部件的修复就提到议事日程上来了。同样，国产汽车虽配件供应充足，但为了降低修理成本，也需要修复磨损的汽车零件。为此，本文介绍一些国内外修复汽车零部件的新工艺、新技术，供零件修复工作者参考。

1 激光表面处理技术

从1960年发明了第1台激光发生器以后，不到10年激光技术就进入工业实用。利用激光的高能量密度的光束，辐照汽车零部件的表面，使其迅速发生金相组织的转变，获得耐磨组织，从而提高了汽车零部件的使用性能。

发动机排量在1.6L以下的发动机缸体，通常经过镗缸后，由于原缸壁的热处理层被镗去，露出了灰口铸铁的基体，缸壁的硬度较低，很快就被磨损，使用寿命很低，有的只能行驶1~2万km，即使采用镶硼合金缸套法修理，也只能行驶3~4万km。如今采用激光处理缸壁，其寿命可达15万km。

一般的铸铁缸体（或缸套）的金相组织为珠光体+石墨，硬度和耐磨性都较低。采用高能量密度的激光束对其表面辐照后，能快速的将铸铁表面加热到相变温度以上。此时只要将

汽车零部件修复新技术——杜则裕等

激光束移开工件,依靠发动机缸体本身的热传导作用,被加热的部位就会迅速冷却下来,不需要任何的冷却介质,就能获得高硬度的马氏体淬火层,实现了淬火。在激光束功率一定的条件下,扫描的速度越慢,淬火层越深;当激光的扫描速度一定时,激光器的功率越高,所获得的淬火层也越深。激光扫描的时候,扫描的几何轨迹影响淬火层的范围和形状,一般可以是条纹状或网格状扫描。经过扫描后,缸壁表面就形成了软硬相间的组织结构。其中,未经激光扫描的灰铸铁作为软的基体组织,而经过扫描后的部份发生相变,成为马氏体的硬质骨架,硬度由 HV200~250 可变为 HV700~1000。这种软硬组织相间的缸壁在摩擦时,软的基体先磨损,而硬的骨架并不磨损,从而形成了一种贮油结构,有利于缸壁的润滑。此外,这种结构还能起到抗硬质点的拉伤作用,特别是网格状激光扫描,能将缸壁表面分割成一个个小的菱形,便于硬的杂质和磨粒嵌进软的基体,防止了整个缸壁的被拉伤。对于汽缸的上止点部份,由于容易发生磨损,因此可用激光束在上止点附近以螺旋状几何轨迹扫描一个密集硬化带。这样可以提高汽缸的使用寿命。带的宽度为 4mm,硬化层深度为 0.35mm,硬度为 HRC58~60。

用激光处理汽车零件的另一个实例是,柴油机排气阀座(铸铁材质)经过铬激光合金化处理后,耐磨性和抗烧蚀性能明显提高,与单纯的镀铬相比较,寿命延长几倍。激光处理前,先在阀座的表面上预覆上待合金化的金属层,如镀铬或热喷涂以及涂敷待合金化的材料,然后用激光束进行辐射熔化,使合金元素与原基体材料一起迅速熔化扩散,从而在价格低廉的材料表面上获得具有一定均匀度和厚度的高合金层,其硬度、耐磨性和抗蚀性能均很好。

购买一套国产激光处理设备约需投资 40 余万元,其中激光器 20 余万元,导光系统 4.5 万元,激光加工机床 10 万元,步进电机电源和电脑 4.5 万元。厂房使用面积 50~80m²,配备负责工艺的技术人员 1 名(兼管金相分析),电机兼机修人员 1 名,机械设计兼外协 1 人。这个班组每年可加工进口汽车发动机缸体 500 台,按每台收费 800 元计,年收入为 40 万元,另外还可以加工其它零件,收入 2~5 万元。这样只需 1~1.5 年即可将投资收回。

美国通用汽车公司早在 1974 年就将 CO₂ 激光器用于汽车零件的激光相变硬化,并在 17 条生产线上应用。每天处理 33 000 个可锻铸铁的转向器箱体,耐磨性提高 10 倍,费用仅为氮化的 1/5,节电 50%。1978 年该公司又建立了 5 条汽缸套激光淬火生产线。目前,俄、日等国也都在汽车的关键零件上进行激光相变硬化处理,大幅度地提高了零件的使用寿命。

我国从 70 年代末开始进行了用激光处理汽车零件的研究和试验,发展速度很快。北京机电研究院、青岛激光加工中心、西安内燃机配件厂、华中理工大学、北京首都汽车公司修理厂、中国科学院物理所等单位,用激光处理汽车、拖拉机发动机汽缸内壁,使其耐磨性能显著提高,并用于工业生产。此外,还有不少单位在齿轮根部、曲轴根部用激光处理,大大提高了零件的疲劳强度。其中,长春第一汽车制造厂已将发动机汽缸内壁的激光处理投入生产线使用。首都汽车公司修理厂及青岛激光加工中心也对外修理磨损的汽缸壁,这些都为延长我国汽车使用寿命注入了新的活力。

目前,美国有激光加工中心约 100 家,西欧约有 300 家,并且将以每年增加 20%~25% 的速度迅速发展。可以预料,激光处理将是一项极有发展前途的加工工艺。

2. 金属粉末电加热修复曲轴

这是一种在磨损的曲轴上用电接触加热的方法,将金属粉末熔结辗压在位于两个钢电

极之间的曲轴轴颈上，使之恢复几何尺寸的修复工艺。根据静压原理，金属粉末在压力和电接触加热温度的同时作用下，使其压制成形、致密、烧结、扩散连接一次完成。在加工过程中，轴颈上原有的淬火层被回火，受到机械的加压，因而在结合面上获得极细的晶粒组织，曲轴的疲劳强度也就得到了提高。修复后，曲轴的疲劳强度仅比新轴低7~9%。虽然在压力和高温作用下，粉末是在固态情况下连接在一起，并没有液相产生，然而其结合强度却高达150~300MPa，比热喷涂法高出9~19倍。金属粉末与曲轴基体的连接是通过原子在结合面上的扩散来实现的。

在加工前，先用磨削加工或金刚石砂轮修整轴颈的失圆度，使敷上的电接触加热层具有相同的均匀厚度，有利于增强粉末层与基体的结合。对于轴颈的单边磨损超过1.4mm或轴颈长度超过技术规定许可值及轴颈的圆角处有裂纹的曲轴，应予以剔出，不能修复。

加工时，将曲轴装卡在机床的偏心夹具内，随后调整加压电极与曲柄臂的间隙，将两块带状或块状的铁粉材料夹置于轴颈与电极之间（如图1所示）。所用的金属粉末是含碳量为0.8%~1.2%的渗碳铁粉，预先装入聚乙烯薄膜袋内，制成块状或带状。然后向气缸通入压缩空气，根据加压电极的宽度调整压紧力，待夹固后即可开动机床。当曲轴旋转1~2s后就可接通电源变压器，对金属粉末进行电接触加热。调整此时的电流值，使之符合设定值。曲轴旋转200°~210°后，即可切断电流，机床停转。再切断气源，将电极从曲轴的轴颈处退出。当轴颈上的接触加热层尚未冷却时，用圆锥形冲头在相应的位置打出油孔，一道轴颈的加工完毕，再进行下一道轴颈的加工。当全部轴颈接触加热修复后，立即用机油涂敷轴颈，使之润滑金属粉末层。

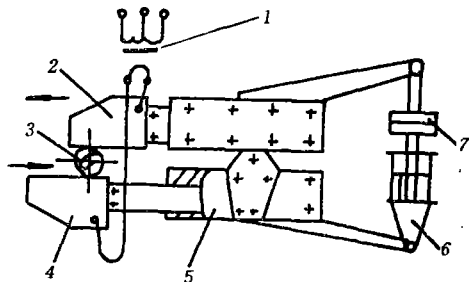


图1 金属粉末电加热修复曲轴示意图

电接触加热的规范参数如下：

- ①变压器空载电压3.9~5.2V
- ②电极电压 100~140V
- ③加热电流 2500~4000A
- ④加热时间 40~80s

采用人造金刚石砂轮对曲轴进行磨削，砂轮硬度为ZR₁—ZR₂，粒度为40~60目。磨削过程中，只允许剪切掉加热层表面的微粒，而不允许从加热层上剥落整颗的微粒。因此，要求砂轮应保持锋利，要经常打磨砂轮，因为在磨削过程中，砂轮经常被金属粉末堵塞而降低磨削力。如果磨削后的轴颈光洁度符合技术条件的规定，则无需再抛光。通常修复层的孔隙率为15%~22%，低于金属喷涂的情况。修复层是依靠曲轴的基体金属的传热而冷却的，所以得到的硬度接近等温淬火的硬度。

俄国科尔金诺汽车修理厂用这项新工艺修复ГАЗ-52和ГАЗ-53型汽车发动机的曲轴。经过3年的使用考核，其耐磨性能并不比新轴低，原因是电加热层具有显微孔隙，能够存油。修复一根曲轴的成本仅为19~27卢布。

3 热喷涂铜锡合金修复轴瓦

苏联专利954501号介绍了一种热喷涂修复轴瓦的方法。修复选用的设备是两套ГПН-5М汽车零件修复新技术——杜则浴等

型氧乙炔焰丝材喷涂机,一台喷涂机喷直径为3mm的铜丝,另一台喷3mm的锡丝。喷涂时氧气的压力为22.5N/cm²,乙炔压力为7.84N/cm²,氧气流量1385L/h,乙炔流量>70L/h。喷涂层的成份随着喷涂时的送丝速度而变化,若喷铜的送丝速度快于喷锡的,则喷涂层含铜量高,形成铜基合金;反之,则形成锡基合金。在整个喷涂过程中,喷铜和喷锡的速度随涂层要求而变化。若要求减磨涂层时,则交替喷涂铜合金和锡合金,以形成交替的层状阶梯结构。每层锡合金涂层厚度控制在5~25μm,铜合金厚度为11~35μm,即锡合金与铜合金厚度之比为0.45~0.70。

这种减磨喷涂层的自身具有疏松的多孔结构,贮油性能良好。涂层内既有耐磨的铜合金相,也有自润滑的锡合金相,这两种金相结构形成了交替的铜锡合金层状阶梯涂层后,塑性较好,与低碳钢基体的结合强度高,其耐磨性能有很大的提高。轴瓦的寿命从4000~8000h延长到30 000~40 000h,即寿命增加5~8倍。喷涂层的耐磨性、承载能力、允许温升等性能对比如表1所示。

喷涂后,对涂层进行机械加工。加工后的工作层厚度控制在0.10~0.50mm。从表1可以看出,这种铜锡合金层交替的阶梯层状涂层很耐磨,具有良好的减磨性能。随着涂层内含锡量的递增,相对应的极限承载能力也增加,在含锡量为100%时极限承载能力为4号氟塑料的2.78倍。其最高允许温升则随着含锡量的增加而逐步递减,在纯锡时只允许温升为200℃。而相对耐磨性则在锡合金和铜合金厚度比为0.6时最高,为БрoΦ10-1的1.9倍;纯锡则最低为0.48倍,但优于4号氟塑料。从表1还可以看出,与其它材料相比,铜锡合金涂层的相对耐磨性、相对极限承载能力以及允许的最高温升等项性能均很优异,是一种理想的轴瓦修复涂层。

各种涂层性能对比 表1

涂层的类型及材料	Δt*	相对耐磨性	相对极限	最高允许
			承载能力	温升(℃)
Cu	—	0.79	0.70	400
Cu—Sn	0.25	0.96	1.06	355
Cu—Sn	0.45	1.8	2.40	320
Cu—Sn	0.6	1.9	2.66	320
Cu—Sn	0.7	1.8	2.70	320
Cu—Sn	1.0	0.96	2.72	280
Cu—Sn	2.0	0.95	2.74	230
Cu—Sn	4.0	0.56	2.78	200
Sn	—	0.48	2.78	200
CT—Al(50,50)	—	0.71	0.61	350
4号氟塑料	—	0.43	1.58	175
БрoΦ10—1	1	1.00	1.00	220

* Δt = $\frac{\text{锡合金涂层厚度}}{\text{铜合金涂层厚度}}$

4 刷镀修复

近年来刷镀技术的应用与推广为汽车零件的修复提供了降低成本的途径。新疆石油管理局汽车修理厂自1983年以来,采用刷镀工艺修复了大量的汽车零件,累计节约资金达300余万元。经过对修复零件的多年跟踪调查认为,刷镀修复的零件97%以上都能保证汽车行驶10万km以上,甚至在使用寿命、耐蚀性等方面优于原件。

在汽车修理工作中,经常采用刷镀工艺修复的零件有以下几种:

- ①转向节轴颈:其材质为40Cr、42CrMo。磨损量为0.05~0.25mm。
- ②轴承外圈:材质为40MnB。其磨损量为0.01~0.1mm。
- ③后桥半轴套管:材质为40Cr、45Mn2、45号钢等。其磨损量为0.05~0.25mm。
- ④汽车轮毂:材质为球墨铸铁QT、ZG35等。其磨损量为0.02~0.10mm。
- ⑤差速器壳轴承孔:ZG35材质,磨损量为0.05~0.25mm。

在汽车修理工作中,采用刷镀工艺可以修复低中碳钢、中碳合金钢、铸钢及铸铁等材质的零件。实践证明,修复的效果较为理想。采用刷镀修复有以下优点:

①修复周期短：采用快速镍刷镀 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 厚度的半轴套管，平均每副仅需 75min 。如果采用槽镀修复，则需 12h 。电弧堆焊后机加工修复需要 5h 。从这些数据可以看出，刷镀修复比槽镀修复可缩短修复周期，为槽镀时的 10.8% ；为堆焊修复的 26% 。

②修复零件的种类多：几乎所有的磨损零件都可以采用刷镀工艺进行修复。尤其是对于五十铃TD72、太托拉T148等柴油车的后桥，因为半轴套管与壳体焊接成为一个整体，这就使修复工作相当困难。一般只能切除原套管，更换上新的套管。采用刷镀工艺修复，就很方便、灵活，节约材料和修理费用。所以，刷镀工艺具有不解体零部件现场修复的优点。

③修复成本低：例如东风EQ140汽车转向节，更换新件的材料费为600余元，采用堆焊修复需要100元左右，如果用刷镀工艺进行修复只需要20元。从此可以看出，刷镀的成本是很低的。据统计，一般刷镀件的平均成本是新件的 $2\%\sim 10\%$ 。刷镀修复的经济效益是很明显的。

④修复质量好：据资料介绍，刷镀件的使用寿命为新件的 100% 以上，而槽镀件为新件的 $60\%\sim 100\%$ ，手工电弧堆焊为新件的 $30\%\sim 100\%$ 。实验测得，快速镍刷镀层的结合强度为 80.2N/mm^2 ，镀层硬度为HV660。耐磨试验表明，Ni、Fe镀层的耐磨性能均优于45号钢淬火件及20Cr渗碳淬火件。

5 焊接修复实例

汽车零件的修复工艺多采用气焊、电弧焊及耐磨堆焊等工艺。下面介绍近年来的进口汽车零件修复实例。

5.1 机油散热器及空调器的修复

进口小汽车的机油散热器及空调器的材质为铸铝合金。在使用中常被磨损、断裂，如日本三菱面包车空调器循环管的磨漏及丝接头的断裂等。

修复工艺是采用氧-乙炔焰，选用HO1-6型焊炬，配合LI09(GB TA1型)铝电焊条。焊接时采用微碳化火焰。先将损坏部件装配好，并用外焰快速跳动法对工作预热。同时，铝焊条也在预热火焰中加热，当焊条药皮局部熔化时，用端头挑起被熔化边缘。

需要注意的是，由于被修复工件很薄，最薄处为 1mm ，并且修复时升温快，易塌陷，所以在焊接时要注意工件在稍有熔化现象时就应立即改变焊炬与工件之间的夹角，此角度以 25° 为宜。这样，大部份热量用于加热焊条。当工件母材与焊条同时达到熔化时，就要快速施焊。焊后还应以温水将焊接部位的黑色熔渣冲洗干净，以免焊药中的氟化物、氯化物对工件进行腐蚀。

5.2 气缸体的修复

“斯可达”汽车的 108kW 柴油机灰口铸铁缸体，其上有两处损坏，需要进行修复：

一处是在缸体下底座中部，有两条 25mm 及 70mm 裂纹。修复方案采用不预热气焊工艺，用弱氧化焰开坡口，然后使用铸铁焊丝HS401及气焊熔剂CJ201，弱氧化焰焊接受热面积不要过大。焊后，火焰在边缘处停留 5min ，并使用石棉粉盖在补焊处，以便使该区缓冷。对于较长的裂纹，由于它延伸到缸体内部，其受力较大，因此必须采用栽丝及加装筋板等方法进行补焊修复。焊接时应采用小电流，可得到小的熔深，这样即可得到较小的白口层厚度。

另一处缺陷，是在第二缸缸套外阻水圈支座处，掉落一块母材金属。由于缺陷位于缸体内部，无法补焊，所以应在缸体外侧相应部位以排钻挖去一块椭圆形母材，以显露缺陷。焊补工作分为两步，第一步是补缺陷，第二步补挖去的母材。补缺陷采用 6mm 厚钢板，按缺陷汽车零件修复新技术——杜则裕等

处的大小、形状加工成一补块, 对齐碴口、采用 $\phi 3.2\text{mm}$ 的Z116焊条电弧冷焊修复缺陷处, 焊后不需要再加工。

第三步, 再以 $2.5\sim 3\text{mm}$ 的Q235低碳钢板, 按照排钻挖下的孔洞形状、尺寸制作一块补板。使其中部向外凸出, 以便锤击消除应力。焊补工艺, 仍然采用电弧冷焊的分段退焊方法, 每焊 $10\sim 15\text{mm}$ 长度, 即进行锤击。这项修复工艺的技术关键, 就是补板周边应加工成圆弧状, 中间向外凸起, 这样可以减少焊接应力, 防止焊接裂纹的产生。

5.3 后桥壳断裂的修复

日本五十铃TOJ50ALQD型8t柴油自卸汽车的后桥壳易在突出部位附近发生断裂。其材质为铸钢, 厚度为 12mm , 断裂处外径 $\phi 120\text{mm}$ 。后桥壳断裂会导致车辆报废, 采用焊接加强修复可变废为宝, 使车辆继续工作。

后桥壳断裂的修复工艺是: 先将断裂处清除油污、锈蚀。将后桥壳卡在C630车床上, 两端断面对准校正, 并用电焊将断裂处四周点焊牢固后, 从车床上取下来。在裂纹处, 沿周长对称地逐段用电弧开出U型坡口, 坡口每段长度约为 50mm 。焊补的工艺规范参数是: J507焊条、 $\phi 3.2\text{mm}$, 焊前经 350°C 、2h烘干。采用直流电源, 焊接电流为 150A , 以平焊位置为宜。整个圆周, 共分8段焊补。最后用J507焊条($\phi 3.2\text{mm}$)直流反接, 130A 电流在立焊位置进行连续焊接两周。此外, 还应在焊补处的上下左右对称地焊上4块 6mm 厚的加强筋板, 以增加后桥壳的刚度。

参考文献

- [1] 周昌炽, 激光表面处理的现状与发展. 表面工程, 1991年2期。
- [2] 单国友、肖冰、王茂才等, 汽车发动机缸体重复激光淬火的研究, 全国第二届表面工程学术研讨会论文集上册, 1991年11月。
- [3] 林子光, 激光表面处理及摩擦学, 全国第二届表面工程学术研讨会论文集上册, 1991年11月。
- [4] 苏联专利954501号。
- [5] 姜代齐, 曲轴的金属粉末电加热修复法, 汽车工艺, 1991年1期。
- [6] 靳龙 热合木, 刷镀技术在汽车修理行业的应用, 全国第二届表面工程学术研讨会论文集上册, 1991年11月。
- [7] 张永惠, 进口小汽车机油散热器及空调器的气焊修复, 焊接, 1989年5期。