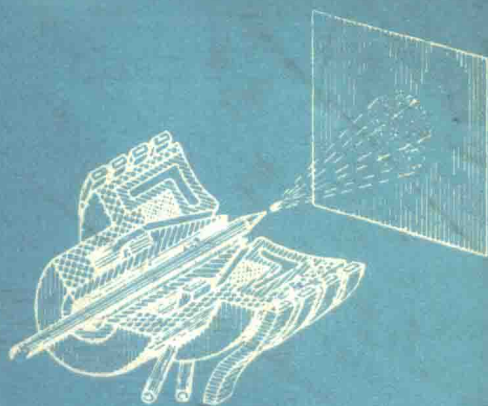




汽車零件修理中的高頻金屬噴鍍

何 光 里 編

人 民 交 通 出 版 社

汽車零件修理中的高頻金屬噴鍍

何 光 里 編

人 民 交 通 出 版 社

高频金属喷镀是一种新的汽车零件修理方法，它利用高频电流感应加热熔化金属来喷镀零件，具有许多优点，如可以改善修复件的润滑条件和提高耐磨性，操作工艺简单，效率高，成本低，并较其他喷镀方法所获得的喷镀层有更为理想的物理机械性能等。本书收集了国外一些技术资料，介绍了高频金属喷镀的过程、喷镀层的性质、喷镀设备、喷镀工艺等，可供汽车修理企业技术人员和高等、中等学校汽车运用与修理专业师生参考。

汽车零件修理中的高频金属喷镀

何光里 编

*

人民交通出版社出版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1964年9月北京第一版 1964年8月北京第一次印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：2 $\frac{1}{16}$ 张

全书：52,000字 印数：1—8,000册

统一书号：15044·4422

定价(科六)：0.32元

目 录

前言	3
概述	5
一、金屬电噴鍍和气噴鍍	7
1. 金屬噴鍍过程	7
2. 电噴鍍层和气噴鍍层的性質	11
二、高频金屬噴鍍过程	17
1. 金屬感应加热的物理基础	17
2. 金屬絲的熔化和噴散	23
3. 噴鍍层的形成和結構	31
三、高频噴鍍层的性質	36
1. 高频噴鍍层的結合强度和机械强度	36
2. 高频噴鍍层的硬度	41
3. 高频噴鍍层的耐磨性	43
4. 高频噴鍍层对修复零件疲劳强度的影响	48
四、高频金屬噴鍍設備	50
1. 高频金屬噴鍍器	51
2. 高频电能設備	56
五、高频噴鍍工艺过程	62
1. 高频噴鍍工艺	62
2. 高频噴鍍在零件修理中的应用	70
3. 高频噴鍍的安全技术	71
結束語	73
参考文献	76

前 言

汽車大修的质量在很大程度上决定于汽車零件的修理质量，大修汽車的成本也在很大程度上决定于零件修复的范围和費用。因此，修复磨損和损坏了的汽車零件，提高零件的修理质量，降低零件的修理成本，是修理生产中的主要任务之一，也是汽車修理科学研究領域中的一项重要的內容。特别是目前我国使用的汽車厂牌复杂，許多旧型汽車配件已停止生产，而一些新进口汽車的配件也不能完全供应；汽車配件的生产和供应，虽然有了很大的改善，但是在供应的配件的品种和数量仍然不能滿足修理生产需要的情况下，采用新的先进的零件修理方法，扩大零件修复范围，就具有更为迫切的意义了。

随着生产和科学技术的发展，零件修复工艺也不断地得到了完善，并逐步地形成了新的修复方法。

我国汽車修理生产中，已經采用了許多先进的零件修理方法修复磨損和损坏的零件。如已使用电脉冲堆焊修复磨損的曲軸；用胶补法修理气缸体的裂紋；用焊接法修复断裂的曲軸；早已在汽車零件修理中应用了金属噴鍍（好几年前就已用金属噴鍍修复磨損的曲軸，修补气缸体裂紋），目前金属电噴鍍和气噴鍍都已用在汽車修理生产中，并由于电噴鍍的能源容易获得，在我国汽車零件修理中应用較广。

在国外也已广泛地用金属噴鍍修复磨損的零件，并为改善噴鍍工艺进行了許多工作，使噴鍍工艺得到了进一步的完善和发展。有些国家主要是采用电噴鍍，曾进行了用电噴鍍修复銅

鉛合金軸承的研究，並為提高電噴鍍層的結合強度進行了很多的工作，提出了某些提高結合強度的工藝措施。此外還創造了用高頻電流感應加熱熔化金屬絲的新的噴鍍方法——高頻金屬噴鍍，從根本上消除了金屬電噴鍍的噴鍍金屬絲燒損大、氧化劇烈的缺點，顯著提高了噴鍍層的质量。在另一些國家中氣噴鍍獲得了優先的發展，生產了三綫金屬噴鍍器、金屬絲供給速度無級調節的高生產率的單綫氣噴鍍器等許多新型噴鍍器。

高頻金屬噴鍍這一新的噴鍍方法，在我国的汽車修理生產中尚未採用。編者希望這一新的零件修復方法在我国汽車修理中也能得到傳播，所以編寫了這本小冊子。由於知識有限，冊子中可能有不妥和錯誤之處，希望讀者批評和指正。

編者1963年1月於長春

概 述

将熔化的金属用高速气流喷敷在工件表面上的过程，就称为金属喷镀。

利用金属喷镀的方法来修复磨损的零件是我国汽车修理生产中最早采用的零件修复方法。在八、九年前就已成功地用金属喷镀法修复不能再修理尺寸法来修复的曲轴。现在，金属喷镀法已广泛地用在我国汽车修理生产中修复各种动配合和静配合的轴颈，如曲轴轴颈、凸轮轴轴颈、各种突缘的轴颈、后桥壳轴颈和转向节轴颈等，同时还用它来修复转向节销、钢板销和修理气缸体上的水套裂缝。

金属喷镀在汽车修理中获得广泛应用，是由于它具有一系列的优点。与电弧堆焊和焊接比较，金属喷镀不会破坏零件原有的金相组织，因为喷镀过程中被修复零件受热不会超过 70°C 。金属喷镀可以喷镀厚达10毫米的镀层，能修复磨损大的零件。喷镀层具有较高的硬度，并具有孔隙，可以吸收润滑油，改善配合副的润滑条件，从而提高修复零件的耐磨性。用喷镀法修复零件的耐磨性一般都比新零件高1~3倍。金属喷镀工艺较电镀简单，喷镀过程容易控制，生产率比电镀高。因喷镀用的金属丝价格低于镀铬材料，用金属喷镀修复零件具有相当高的经济性，喷镀修复磨损零件的费用仅为新零件的9~60%。此外，金属喷镀还可喷镀假合金，修复有色金属套筒和抗磨合金轴承，节约有色金属。

根据熔化金属所用的热源不同，金属喷镀可以分为三类：

气噴鍍：用可燃气（乙炔、丙烷、丁烷等）和氧的气体火焰熔化金属的称为气噴鍍。

电噴鍍：利用电弧来熔化金属的称为电噴鍍。

高频电噴鍍：利用高频电流感应加热来熔化金属的称为高频电噴鍍。

高频电噴鍍是近几年才逐步完善，并开始应用于生产实践中的一种新的噴鍍方法。用高频感应加热熔化金属改善和提高了噴鍍层的性能。

一、金属电喷镀和气喷镀

1. 金属喷镀过程

为获得金属喷镀层，通常都需用一个称为金属喷镀器的机构来熔化金属丝（喷镀材料）和喷散熔化的金属。

图 1 为电喷镀过程简图。金属丝 1 通过导向咀 4 不断地被供给机构 3 向前移送。电流经过导线 2 流向金属丝。金属丝不但用作喷镀材料，也用作导电体，因此，在金属丝交会点便形

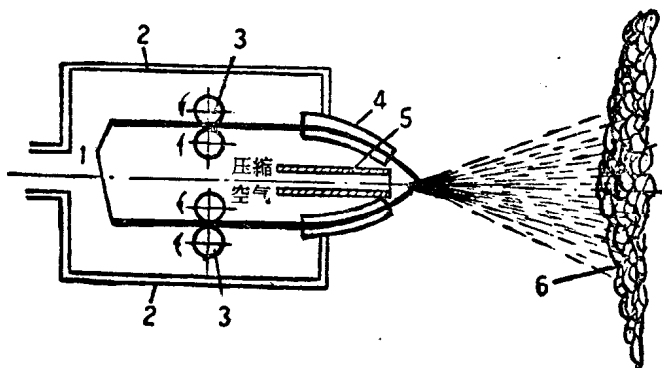


图 1 金属电喷镀过程简图
1-喷镀金属丝；2-导线；3-供给机构；4-导咀；
5-压缩空气咀；6-喷镀层

成电弧。电弧析出的热量将金属丝熔化。喷嘴 5 将压缩空气导向金属丝的交会点，由于经喷嘴射出的高速空气流的诱导力大于熔化金属的表面张力，因此，熔化金属被喷散成细小的金属

粒悬浮在空气流中，形成錐形的金属空气的噴炬。被噴散成細粒的熔化金属便以很大的速度冲向噴鍍表面。金属微粒由于撞击产生变形，就堵塞在准备好的有一定粗糙度的表面上，以后不断重叠堵塞就形成了金属噴鍍层。金属噴鍍的整个过程就是由上述三个阶段組成，即金属的熔化；将熔化金属噴成細小的金属粒；金属粒的堆聚形成噴鍍层。

当在金属噴鍍器內用电弧来熔化金属絲时，金属絲的熔化过程是断續的，而不是連續的。噴鍍器工作时，两金属絲不断向前移送，当其距离非常小时，在电场作用下，金属絲間便产生火花放电，点燃电弧。电弧放出的热量将金属絲熔化，熔化金属被压缩空气噴散，金属絲間的距离增大。由于电极間的能量不足以維持电弧繼續燃烧，电弧便熄灭，电路断开。随着金属絲的不断向前移送，金属絲間的距离迅速的縮短，使电极被短路。金属絲接触点在短路电流热效应的作用下熔化，又被压缩空气流噴散，使电路断开。随即又因金属絲向前移动，两者距离縮短，在电场的作用下产生火花放电，点燃新电弧，这样循环不已。每一周期中仅仅在电弧燃烧和短路期間有热量放出，能熔化金属絲。一个循环周期的時間是非常短的，只千分之几秒，电弧和短路的延續期就更短了。当噴鍍器以交流电工作时，电弧燃烧的延續期約为 $0.003\sim 0.005$ 秒，短路延續期約为 $0.005\sim 0.02$ 秒（金属絲供送速度增大則短路時間延長）。同时，电弧和短路期間熔化金属的溫度也是不相同的，电弧熔化金属的溫度高于短路熔化金属的溫度。在电弧熔化金属的中心除了液相金属外，还有气相金属，电弧周围空气中的氧分子也会分解为氧原子，而使熔化金属强烈氧化和烧損。

熔化金属絲的溫度不同，被空气流噴散的金属微粒便具有不同的尺寸，最小金属粒只有10微米，而最大的顆粒大于100微

米，少数大颗粒达0.4毫米。在熔化金属丝的温度相同的情况下，喷散的金属微粒尺寸取决于压缩空气流的压力，压力高，金属颗粒就细。

图2为气喷镀工作过程简图。金属丝2由供给机构不断地向氧乙炔火焰中心运送，气体火焰将金属丝熔化，熔化金属被压缩空气喷散，形成锥状的金属空气流冲向喷镀表面。

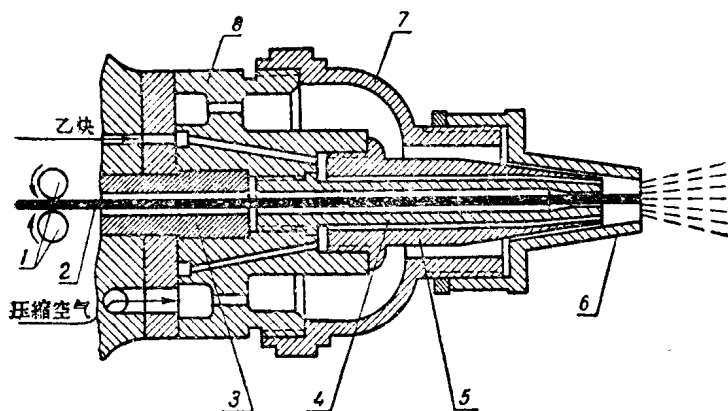


图2 金属气喷镀的工作简图

1-金属丝供给机构；2-金属丝；3-管接头；4-金属丝导向咀；
5-可燃气体喷咀；6-喷镀头；7-空气室；8-气体混合器

根据火焰中氧的分量，金属熔化过程可以连续进行，也可能断续进行。气喷镀器熔化金属丝的温度差别小，熔化金属丝的温度高于电喷镀。压缩空气流是环绕金属丝冲向熔化的金属，因此喷散的金属粒大小较为均匀，一般在30~150微米，少数的也可达200微米。同时，熔化过程中空气中的氧参与了燃烧作用，熔化金属的氧化较小。

金属丝熔化时，在电弧和火焰的高温作用下，金属丝的某些元素会被烧损，以电喷镀时金属元素烧损最大。这是由于电

弧燃烧时能使空气中的氧、氮分解为氧、氮原子，提高了氧、氮的活泼性。金属丝中各种元素烧损值各个研究者的数据都不尽相同。金属丝的元素烧损，对于电喷镀大致为：C 30~40%；Mn 25~50%；Si 25~40%。

被压缩空气流喷散的金属微粒获得了一定的动能，而参与空气流的运动。金属微粒由于具有不同的尺寸和不同的运动距离，因而在金属空气流中同一截面上的各个金属微粒的速度是不相等的，截面中心的金属微粒速度最大。金属微粒的速度自中心至边缘逐渐降低。同时在金属空气流的轴线方向，金属微粒的速度也不等，金属微粒的速度由零较为迅速的增加，达到最大值后，随着在轴线方向运动距离（即喷嘴至喷镀表面的距离）的增加而逐渐降低。金属微粒的最高速度，各个研究者的数据都不一致，而达到最高速度的喷镀距离也不一致。但多数研究者指出，喷镀钢时，金属微粒是在距喷嘴 75~100 毫米处达到最大速度，其值不超过 190 米/秒。微粒的末速取决于喷镀距离，当距离为 250 毫米时，颗粒末速在 85 米/秒左右。

金属微粒在运动过程中，由于与空气接触也会遭受氧化。微粒表面都包裹着一层氧化膜。由于接触空气的条件不同，在金属空气流同一截面上的金属微粒又以边缘的氧化最严重。电弧熔化的金属在熔化过程就被氧化，因此电喷镀的金属微粒氧化较严重，微粒外表包裹的氧化膜较厚。气喷镀微粒氧化程度较小，仅为电喷镀微粒的 $1/3 \sim 1/2$ 。

金属微粒的温度在运动过程中也会逐渐降低。由于微粒运动速度高，运动距离短，微粒温度降低不大。如当喷镀距离为 250 毫米时，微粒达到喷镀表面的时间只需 0.003 秒，在这样短的时间内，微粒来不及完全冷却。多数研究者认为，达到喷镀表面时微粒温度较熔化时的温度降低 5~15%。

具有不同的动能、不同的溫度、不同化学成分和氧化程度的金属微粒冲向噴鍍表面，由于撞击产生塑性变形、互相填塞、堆聚，而形成金属噴鍍层。显然，微粒撞击前动能越大，溫度越高，微粒尺寸越均匀，氧化越少，撞击时的塑性变形就越完善，就能更好地互相填塞，能得到物理机械性能比較好的噴鍍层。

噴散的金屬微粒的狀況，可以通过控制噴鍍規範的各个参数使之具有最佳的組合得到改善。但是，要想获得最佳的金屬微粒的狀況，仅仅依靠改变噴鍍規範还是达不到的，特别是对于电噴鍍，必須改变熔化金属絲的方式，以消除金属絲熔化过程中的过分的氧化、烧損和熔化溫度的不均一等缺点。

2. 电噴鍍层和气噴鍍层的性質

噴鍍层不是一整块金属，它是由不同化学成分的金屬微粒互相填塞堆聚成的，而組成噴鍍层的微粒又被氧化膜隔开成为非金属接触，因此噴鍍层具有某种金相結構的說法是不严格的，一般所說的噴鍍层結構都是指金属微粒的結構。

金属微粒在飞向噴鍍表面的路程中，它們受到空气流的冷却作用，溫度約降低 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，相当于每秒 $10000 \sim 100000^{\circ}\text{C}$ 的冷却速度，在撞击噴鍍表面之前，絕大多数已由液相冷却为固相金属。撞击在噴鍍表面之后，将继续受到强烈的冷却，因为噴鍍表面对于金属微粒來說是具有很大热容量的物体。先噴鍍上的金属微粒又受到随后噴鍍上的金属微粒的高溫作用，在这种热的传递交换过程中，金属微粒便产生金相結構轉變，而具有不同的結構。若极大的冷却速度与散热均匀相結合，就能形成数量很大、分布均匀的晶粒，获得細晶粒的結構。

噴鍍的金属微粒的冷却速度是在奥氏体稳定性最低的温度范围内，因此鋼噴鍍层的金相结构是由奥氏体和残余奥氏体转变的各种产物混合的（馬丁体、托氏体、索氏体和铁素体等）細晶粒结构組成。在鍍层中那一种金相结构占优势不仅取决于金属微粒的冷却条件，还取决于金属微粒的化学成分。显然，尽可能降低金属絲在噴鍍过程中的烧損是提高噴鍍层的物理机械性能有效途径之一。

图3是气噴鍍层的金相结构。从图可以看出氧化物也是噴鍍层的組成元素，图中的黑色斑痕和黑綫条便是氧化夹杂物。图中的黑点是鍍层中的微細孔隙。此图表明金属微粒之間以及金属微粒与基体金属（噴鍍表面）之間皆为氧化膜隔开，不存在任何熔合焊接现象。对噴鍍层所进行的X射綫分析也証实了这一点。

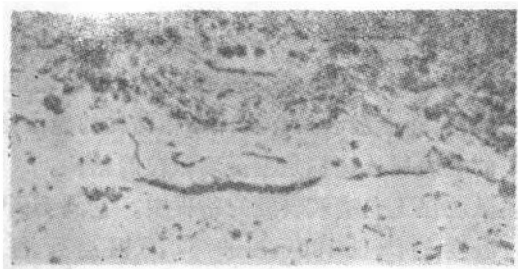


图3 气噴鍍层的金相结构（ $\times 150$ ，未酸蝕；中性火焰；噴距70毫米）

对鋼的电噴鍍层的研究表明，噴鍍层中的微細孔隙的尺寸在很大范围内变动，最大值可达0.9毫米，最小值只有0.015毫米，孔隙面积为 $0.0002 \sim 0.64$ 毫米²，噴鍍层的密度仅相当于鑄鋼或鍛鋼的85~95%。气噴鍍层的孔隙少于电噴鍍层。

組成噴鍍层的金属微粒尺寸不均一以及金属微粒之間不紧密的非金属接触、具有淬火结构的这一特点，使噴鍍层具有許

多优良的性质，可也存在着許多难以克服的弱点。噴鍍层的机械性质不同于噴鍍金属絲，机械强度較差，特別是抗拉强度差。噴鍍层的拉伸强度极限，各个研究者的数据都不相同，这是由于噴鍍层的性质受很多因素（噴鍍规范、金属絲的化学成份等）影响，最优的噴鍍层只有在各种影响因素最佳組合的情况下才能得到。但是所有的研究数据都証明噴鍍层的拉伸强度非常低，一般碳鋼的电噴鍍层抗拉强度极限很少超过10公斤/毫米²，碳鋼气噴鍍层不超过20~24公斤/毫米²。噴鍍层的抗压强度較高，碳鋼的电噴鍍层抗压强度极限一般为80~90公斤/毫米²，最高值可达135公斤/毫米²。实验数据表明，气噴鍍层的机械性能优于电噴鍍层，这是由于电噴鍍过程中金属微粒受到了更强的氧化作用。

噴鍍层的組成特点也降低了它与基体金属的結合强度。与其他几种修复零件的鍍盖层（电镀层、堆焊层和电火花鍍盖层）比較，噴鍍层的結合强度最低，因为噴鍍层金属微粒間以及与基体金属間都是依靠机械性的互相卡住而結合的。实验表明，噴鍍层的破坏都是沿接触平面和微粒边界进行，微粒本身的强度都高于微粒間的結合强度。显然，微粒尺寸較小、較均匀、塑性大、动能高、氧化少，微粒撞击噴鍍表面的变形就会更完善，就能增加微粒間的接触面积，能获得最高的結合强度，同时也能提高噴鍍层的机械强度。

在同样的噴鍍规范下，噴鍍层的結合强度在很大程度上决定于噴鍍表面的粗糙状况，即决定于噴鍍表面的准备方法。

噴鍍层結合强度，由于試驗方法不同，噴鍍条件不同，各个研究者所提供的用同一表面准备方法的噴鍍层結合强度的数值差別很大。如以車削破皺螺紋方法准备的表面上的噴鍍层为例，电噴鍍层結合强度最低的只1.15公斤/毫米²，最高为18公

斤/毫米²。据有人进行各种鍍盖层比較試驗結果指出，电噴鍍层平均的法向拉伸結合强度为2.37公斤/毫米²（表面准备方法为滾压和噴砂处理）。气噴鍍层的剪切結合强度，某些研究者的数据为0.5~18公斤/毫米²，与电噴鍍层比較，結合强度似乎稍低一些。由于試驗方法、表面准备方法、噴鍍规范等的不同，因此不能利用各个研究者的数据在两种噴鍍层間进行比较。

組成噴鍍层金属微粒的淬火結構，鍍层中的氧化夹杂物，使鍍层具有較高的硬度。此外，噴鍍层剧烈冷却和噴鍍过程中的冷却硬化在噴鍍层中所造成的內应力，也提高了鍍层的硬度。噴鍍层的硬度一般都高于噴鍍金属絲的硬度，如含碳量0.4的鋼絲硬度为H_B150，其电噴鍍层的硬度增高到H_B258。由于噴鍍规范和噴鍍金属絲的化学成份不同，文献中所列举的噴鍍层硬度值差別也很大。在同样的噴鍍规范下，噴鍍层硬度随噴鍍金属絲含碳量的提高而增加。如鋼絲含碳量0.8%的电噴鍍层硬度为H_B395。气噴鍍层的硬度与电噴鍍层的差別不大，如含碳量为0.65~0.69%的鋼絲的气噴鍍层显微硬度分别为：馬丁体結構850公斤/毫米²；索氏体340公斤/毫米²；氧化物400公斤/毫米²。含碳量0.65~0.70%的鋼絲的电噴鍍层显微硬度的平均值为670公斤/毫米²。

进行显微硬度的測量表明，由于噴鍍层的結構不一致，噴鍍层的显微硬度存在着很大的差別。这是非常不希望有的情况。但要想从气噴鍍和电噴鍍过程本身来消除这种現象是比較困难的。

噴鍍层中存在着的微細孔隙，能够吸收和儲存潤滑油。气噴鍍层吸油能力为噴鍍层体积的5%，而电噴鍍层可达5~11%，在某些情况下达到了23%。因此，提高了噴鍍层的耐磨