

金属喷涂技术

阜阳市图书馆

安徽省宿县农机修造厂 编

安徽科学技术出版社

金属喷涂技术

安徽宿县农机修造厂 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

安徽科学技术出版社

责任编辑： 杨家骧
封面设计： 沈孝谟

金属喷涂技术

安徽宿县农机修造厂编

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

安徽省新华书店发行 安徽新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：3.375 字数：69,000

1984年7月第1版 1984年7月第1次印刷

印数1—11,500

统一书号：15200·42 定价：0.42元

目 录

第一章 金属喷涂的特点及应用	1
一、金属喷涂的特点	1
二、金属喷涂的应用	3
第二章 金属喷涂的基本原理	5
一、喷涂的基本原理	5
二、喷涂过程	7
三、喷涂层的粘附机理	10
第三章 金属喷涂的主要设备	13
一、金属喷涂枪	14
二、电源与燃料	21
三、压缩空气的生产贮存设备	22
四、表面粗糙处理设备	23
五、喷涂操作设备	25
第四章 金属喷涂的机械性能	32
一、喷涂层的组织结构	32
二、喷涂层的机械性能	33
第五章 金属喷涂前的准备	39
一、工件表面的喷前准备	39
二、工件的粗糙处理方法	41
三、选用优质喷涂材料	53
四、工件喷前预热	54

第六章 金属喷涂的方法和要点	55
一、喷涂层厚度的选定	55
二、喷涂方法	57
三、操作要点	61
四、使用喷涂工件的要求	68
第七章 喷涂曲轴的工艺和质量分析	69
一、修复曲轴的工艺规程	69
二、修复曲轴的质量分析	83
第八章 喷涂新技术和新材料	85
一、火焰喷涂与喷焊	85
二、等离子喷涂	91
三、喷涂新材料	94

第一章 金属喷涂的特点及应用

利用电弧或气体燃烧产生的热源,将金属熔化,并用高速气流喷射到经过处理的工件表面上,粘附而为涂层,使工件表面具有耐磨、耐热、耐蚀、导电以及其它特殊性能,这种方法称为金属喷涂技术。根据资料记载,金属喷涂已有七十多年的历史。早在1910年气喷涂就开始应用;1920年有了电喷涂;1952年出现了高频感应喷涂。随着现代工业技术的不断发展,六十年代又开创了自熔合金粉末喷涂和等离子喷涂,并在工业生产中得到推广和应用。

一、金属喷涂的特点

(1)在一般情况下,喷涂工件可以不要预热。在电或气喷涂过程中,工件表面温度稍有升高,但不超过 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,因此工件不会产生内部组织的变化;喷后工件热应力很小,不会引起外部的变形。

(2)金属喷涂层具有多孔性,可以收储润滑油,加之涂层本身硬度较高,在液体润滑的条件下,喷涂工件有很好的耐磨能力。

(3)金属喷涂不受工件尺寸的限制。既可将大面积的工件表面喷成均匀的涂层;也可对大型工件的局部位置进行喷

涂修复。相比之下，其它一些表面处理方法，如电镀、低温镀铁、渗碳、氮化等都要受到镀槽和加热设备容量的限制。而喷涂工艺正可以解决这些工艺所不能解决的问题。而且涂层可薄可厚，一般可在0.20~10毫米范围内选择，应用比较广泛。

(4)喷涂材料与基体材料都不受可焊性的限制，可以选用多种喷涂材料，使金属、非金属和有机材料(包括木材、陶瓷、纸、布、塑料等)喷涂后，可满足耐磨、防锈、耐蚀、美观等不同要求。

(5)由于喷涂层的性能取决于喷涂材料和工艺方法，在某种情况下，涂层亦可代替工件整体性能。这样就可以通过在普通材料上喷涂一层高级材料的途径，达到改进产品性能，降低生产成本，提高使用寿命的目的。尤其是在具有某种性能的高级材料无法制作整体零件时，喷涂技术的优越性更为突出。

(6)喷涂设备比较简单，易于操作；同时生产效率高，加工成本低，经济效益可观。特别是在缺乏电源和厂房的情况下，采用气喷涂和自熔合金喷焊的方法，只要一把喷枪、一只氧气瓶就可就地修复，方便及时。这对我国广大农村来说，更具有现实意义。

(7)随着喷涂技术和喷涂材料的改进和发展，现已可将金属、合金、非金属、氧化物、硼化物以及尼龙、塑料、陶瓷等制成粉末用以喷涂。这不仅提供了大量喷涂材料资源，同时也为改进产品性能，降低生产成本，提高经济效益创造了良好条件。

二、金属喷涂的应用

由于金属喷涂具有上述特点，故应用范围日益广泛。目前国内主要用于以下几个方面：

(1) 修复磨损旧件，节省大量资金和材料。目前，采用金属喷涂工艺修复的主要零件有内燃机曲轴、凸轮轴、传动轴、水泵轴、电动机转子轴，以及机床导轨、阀门、轴承、进排气门等各类零件。

(2) 在工业生产中，往往由于铸件铸造有缺陷，或机械加工方面出了问题，造成报废。有些大型铸件的铸造缺陷产生在内部，直到加工中才能发现砂眼、气孔等。在这种情况下，采用金属喷涂填满孔穴，恢复到加工尺寸，便可挽救本来要报废的零件。

(3) 喷铝扩散，防止热蚀。在工业生产中，有些设备、零件需用含铝较高的合金制作，以防高温氧化。如盐浴容器、炉门、炉板、烟道以及接触幅射热和直接热的钢铁组件。它们在使用时氧化很快，表皮极易脱落，如采用喷铝扩散和热浸处理，使工件表面形成一层保护涂层，便可隔热防蚀，经久耐用。

(4) 防止空气、水分的浸蚀。对于长期暴露在潮湿空气或浸泡在水内的钢铁器件，尤其是浸泡在海水里的钢铁器件，如用一般油漆保护，仍不能防止空气、水分的渗透浸蚀，此时可用金属喷涂的方法进行处理。通常对铁桥、水闸、船体、屋架、管道等设备器件在开始建造时，就予以金属喷涂，可满足防锈、美观的要求。

(5) 预防和减缓酸碱腐蚀。对于一些接触酸碱和化学液体、气体的大型工件，如石油贮存器、制酸制碱容器，以及食品工业容器等，可在钢铁表面上喷涂一层耐蚀材料，以代替整体金属制造，使生产成本大为降低。

(6) 用于其它方面和尖端科学。如在电子工业中，喷制硅整流元件、电阻等接触面和一些专用导电、隔热和绝缘制品等；在宇航、火箭、原子能等科研项目要求具有特殊物理、化学性能的工作表面时，金属喷涂也有较广泛的应用。

这里还要提出的是：由于金属具有优越的机械性能，并可长期保持稳定。因此，从原子能和空间技术到工业生产中的各种机械以及建筑器材乃至家庭用具等，很多采用以金属为主要材料。随着现代工业技术的不断发展，对各种设备、构件的性能要求将越来越高，其工作环境也愈加恶劣。在这种情况下，如何提高产品质量，延长使用寿命，满足特殊条件下的使用要求，已成为工业发展中的突出问题。由于不可能都选用优质材料来制造各种设备和工件。因此，积极推广和应用一些新技术、新材料、新工艺用以提高工件表面的各种性能，已经引起国民经济各个部门的重视。可以展望，随着现代工业对各种零器件要求小型化、轻量化、高性能的发展趋势，它的应用范围必将更加广阔。

第二章 金属喷涂的基本原理

在金属喷涂中，按所用热源和熔化金属丝的方式不同，可分为电喷涂和气喷涂两种。现将金属喷涂的基本原理、工作过程及其涂层粘附机理分述如下：

一、喷涂的基本原理

金属电喷涂是利用电弧发出的热量来熔化金属丝，工作原理如图1所示。它有两对相互绝缘的送丝轮，随喷枪电动机带动旋转，将两根穿过后导管8的金属丝7经前导管6不断推向

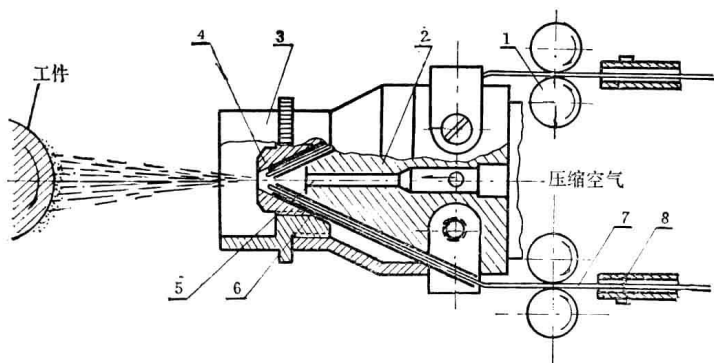


图1 电喷涂原理图

1. 送丝轮；2. 喷头；3. 防光罩；4. 空气帽；5. 压缩空气喷孔
6. 前导管；7. 金属丝；8. 后导管

喷头2，在压缩空气喷孔5前交会。前导管用导线分别与电源连接，当两根金属丝通过前导管时就分别带电，它们相互接触时，在交点处产生“短路-熔断-电弧”的过程。在电弧区域里，金属丝熔化为液体，并被压缩空气的气流吹击雾化，喷射到工件表面粘附而成涂层。

金属气喷涂是利用氧-乙炔火焰燃烧的热量来熔化金属丝，如图2所示。工作时，压缩空气不断吹动多片风轮，经减速传动送丝齿轮，并带动一对送丝滚轮转动。送丝滚轮4将一根金属丝5送进金属丝喷孔1，在喷头中央伸出；与此同时，氧气和乙炔进入环槽形混合室3中混合，然后经喷头孔道，从金属丝喷孔周围的氧-乙炔混合气喷孔2喷出，并在该处形成火焰，将金属丝熔化。此时，自气道中出来的压缩空气经喷头壳体内部的空隙，再沿氧-乙炔混合气喷嘴与空气帽6间的通道喷出，将熔化了了的金属丝雾化，并喷射到工件表面，粘附而成涂层。

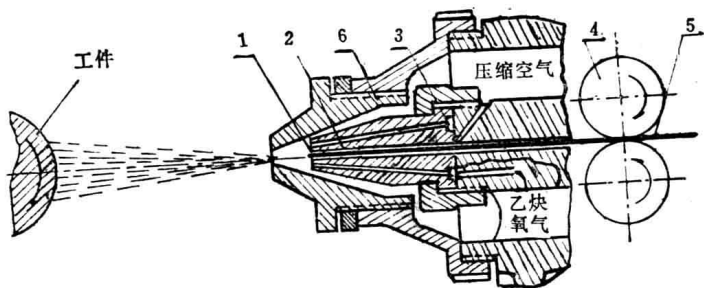


图2 金属气喷涂原理图

1. 金属丝喷孔；2. 氧-乙炔混合气喷孔；3. 混合室；4. 送丝滚轮
5. 金属丝；6. 空气帽

二、喷涂过程

从金属电喷涂或气喷涂的原理来看，金属喷涂层的形成，可分为金属材料的熔化、液态金属颗粒的飞行、金属颗粒的粘附三个过程。

1. 金属材料的熔化 金属材料的熔化取决于热源的温度。在电喷涂中，电弧温度可达到 $5000\sim 6000^{\circ}\text{C}$ ；在气喷涂中，氧-乙炔燃烧温度约 3000°C 左右，都远远超过了常用金属线材的熔点。在高速压缩空气的气流吹击下，熔化的金属被雾化成极小颗粒，喷射到工件表面上。

金属熔化的速度决定于喷枪送丝速度和电流或氧气、乙炔消耗量的大小。当压缩空气压力不变时，单位时间内消耗的热量，送丝速度就快，熔化的金属量就多，金属颗粒也随之增多；如果金属熔化速度不变，金属颗粒的运动速度将随空气压力的高低而变化。空气压力低，金属颗粒雾化差，运动速度低，这对涂层结合强度是不利的。但空气压力过高，金属颗粒过细，将会在雾化飞行中发生氧化。飞行距离愈长，氧化就愈剧烈。这种氧化将会带来两个不利因素：一方面是使金属线材中的合金元素被烧损，特别是在高温时，碳的烧损量较大，从而使涂层含碳量大为减少(如表1所示)，致使涂层的硬度有所降低；另一方面由于金属颗粒外表的氧化皮硬度较高，它的厚度虽然很小，但颗粒不易变形，这样粘附在工件上，直接影响了涂层的质量。因此在喷涂过程中除保证空气压力外，选择合适的送丝速度和熔化速度是非常重要的。

表1 喷涂线材合金元素的损失

化学元素	电金属喷涂			气金属喷涂		
	线材	涂层	损失(%)	线材	涂层	损失(%)
碳	0.72	0.48	33.3	0.72	0.71	1.39
硅	0.22	0.12	45.5	0.22	0.20	9.10
锰	0.23	0.13	47.8	0.23	0.18	22.8
硫	0.02	0.019	5.0	0.02	0.019	5.0
磷	0.016	0.014	12.5	0.016	0.012	25.0

2. 液态金属颗粒的飞行 一般电或气喷涂中，都是用压缩空气来吹击金属线材端部的熔滴。因此液态金属颗粒的速度和温度与吹击它们的空气压力有直接关系。如图3所示。压缩空气在喷枪出口处的速度为 V_0 ，离开枪口后则迅速降低，如图3中“ $V_{气}$ ”曲线所示。金属颗粒起初是静止的，后在压缩空气(140~250公尺/秒)的吹击下，颗粒运动速度急剧增高，在离开枪口30毫米处可达到最大速度值。当它们速度与压缩空气速度相近时，又随气流速度的下降而减低；但由于金属颗粒的惯性作用，仍稍高于空气的速度。图3中画出了直径0.005~0.025毫米颗粒的速度随飞行距离的变化情况。液态金属颗粒在喷射中向周围空气散发热量，随着离开枪口距离的增加，温度也降低(如曲线“ T ”所示)。

从保证涂层与基体结合强度来看，我们总是希望金属颗粒到达喷涂工件表面时，具有最大的速度和最高的温度。因为这样会带来三个好处：一是使金属颗粒撞击工件表面所产生的塑性变形增大，能够更好地嵌在工件的表面上或先期形

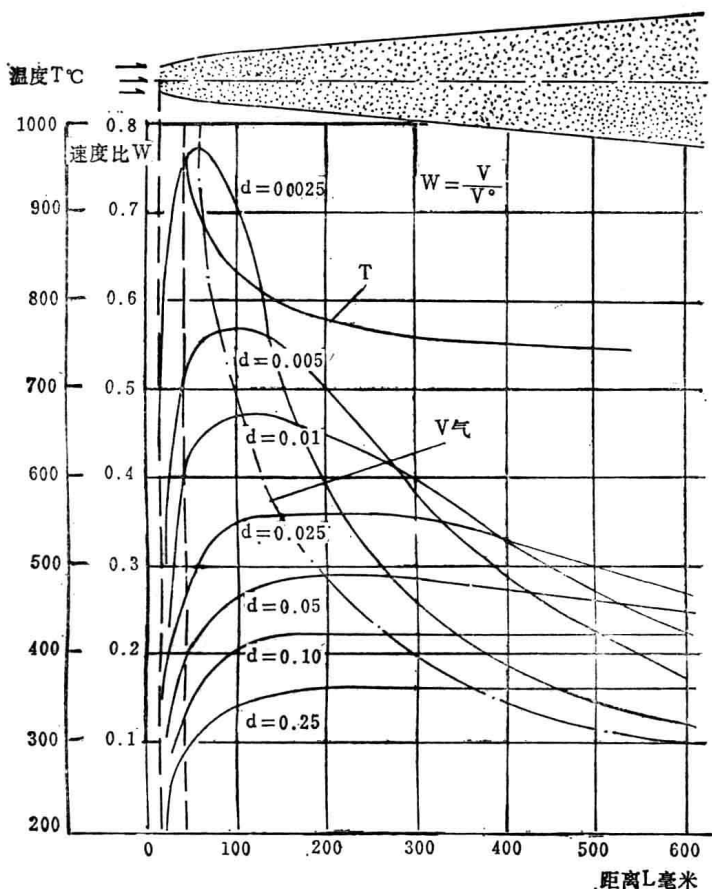


图3 金属喷涂颗粒速度与温度变化

成的涂层空隙中，从而扩展了金属颗粒与喷涂工件的接触面积。二是塑性变形越大，金属颗粒外表在飞行过程中生成的氧化皮容易破碎脱落，使颗粒与基体之间以及颗粒与颗粒之间的夹杂物相对减少，金属颗粒与工件表面的接触面就会增

多，涂层结构就越致密，这样可以促进相互之间的物理粘附作用。三是速度越大，金属颗粒与喷涂表面撞击时，动能转化热能也越多，金属颗粒温度也随之增高，金属原子活动能力也就相对增强，这些因素都有利于提高涂层的结合强度。

3. 金属颗粒的粘附 雾化的金属颗粒在到达工件表面之前，几乎都保持着液体状态。只是在液体颗粒撞击工件表面的一瞬间，由于受到压缩空气的吹击和向冷的喷涂表面散发热量后，温度才急剧下降，冷凝而与工件表面产生粘附，形成涂层。

三、喷涂层的粘附机理

人们曾从不同角度，探讨金属颗粒与喷涂工件表面的粘附机理，提出了种种解释，但都不够完善，一般只强调了某一个侧面。到目前为止，还没有一种理论能够准确地、全面地描述粘附现象的本质。应该指出，粘附是机械、物理、化学等综合作用的结果。这里介绍几种粘附理论，对指导生产实践有一定的意义。

1. 机械连接理论 通常将喷涂工件表面预先进行粗糙处理，使其形成不平的表面而对涂层产生钩锚作用，称为机械连接。金属喷涂工艺为这种机械连接创造了良好条件。再则在喷涂中，由于液态金属颗粒温度很高，处于可塑状态，经过强烈的撞击变形，使颗粒易于在喷涂表面铺展、冷凝和粘附，能紧密地嵌在工件的粗糙表面上。随后喷射来的颗粒又紧接着撞击先落下的金属颗粒，或填在前一涂层的空隙中，由于受机械结合力的作用，使之能够均匀连接在一起。

2. 物理吸附理论 在日常生活中，我们看到两块非常平滑的润湿玻璃板叠合后，两者会贴得很紧，难以分开，这是由两贴合面产生物理吸附作用所致。从现代观点来看，任何物质的分子之间，都存在着物理吸附的作用力。这种作用虽然较弱，但随分子数量的增多，分子间距离的缩短，其吸附力量也相应增强。这个道理，可把金属喷涂解释为：如果两互相接触的金属表面没有油污、灰尘、水蒸汽、夹杂物等，其晶格距离极近，当金属表面温度很高时，金属表面原子活动增强，可促进物理吸附作用，这是提高涂层结合强度的一个重要措施。

3. 化学扩散理论 我们知道，如果把一瓶红墨水与一瓶蓝墨水用一根导管连接起来，红、蓝墨水之间将会互相渗入，于是两瓶墨水都会变色。这种现象是两者分子相互扩散的结果。在金属喷涂中，由于喷涂材料与基体材料的分子都处在运动状态，两种物质相互接触时，分子键或碎片相互扩散，将会强有力地连接起来。扩散程度取决于分子键的结构和运动能力。

4. 电理论 这种理论认为，在金属喷涂中，由于两种物质接触，形成了双电层，在电场的作用下，分子、原子和离子间存在引力。这种引力的大小，决定于物质的化学和电化学的性质。

5. 涂层收缩应力 根据金属热胀冷缩的原理，当涂层冷却时，必然会产生收缩应力。这种收缩应力对不同工件将产生不同影响。对平面和内圆来说(如图4所示)，由于涂层收缩，将会引起涂层脱离工件表面的应力，从而降低结合强度，甚至造成脱壳；但外圆表面上的涂层，会产生指向轴心的收

缩应力，使涂层包紧在基体上，增强涂层的结合力。

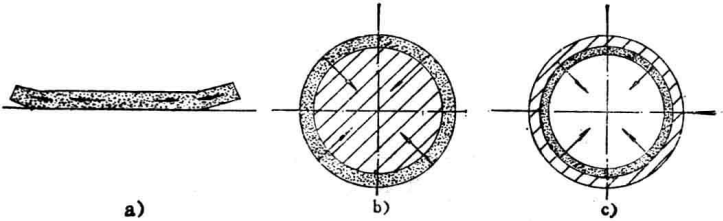


图4 涂层收缩的影响