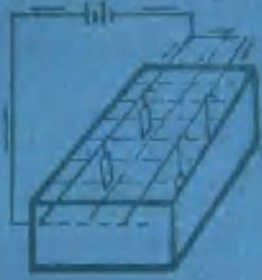


17
机械制造
实用新技术丛书



粟 枯 主 编

湿法表面处理技术

沈连桂 杨正方 王良蔚 等编著



74.4

国防工业出版社

机械制造实用新技术丛书之十七

湿法表面处理技术

粟 枯 主编

沈连桂 杨正方 王良蔚 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书共分十一章。书中较系统地阐述了湿法表面处理镀层、涂层运用及其所采用的各种具体工艺，包括预处理、电镀、铝及铝合金氧化和黑色金属磷化、有机和无机涂层的涂敷、后处理、酸洗和除污染、腐蚀和电抛光检验以及零件的返修等各个方面。还介绍了镀层、涂层的质量检验和检测技术。本书语言通俗、内容充实，可供生产上直接使用。

本书适宜于从事表面处理专业的科技人员和工人阅读，也可供有关大专院校和中等专业学校师生作为参考用书。

湿法表面处理技术

机械制造实用新技术丛书之十七

粟 祜 主编

沈连桂 杨正方 王良蔚 等编著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张4¹/₄ 106千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数：0,001—8,600册

统一书号：15034·2849 定价：0.84元

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝MK202发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；

2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；

3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将对对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗祜同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等高级工程师提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖冶、陈少中、任家耕和贾克琴、张

汉生等同志。

表面处理是机械零件不可缺少的一种防护技术，对于改善零件机械性能和延长使用寿命具有重要意义。

本书结合国内生产条件，着重介绍了国外引进的电镀、氧化、有机和无机涂层及其相应的辅助工艺等，同时还介绍了腐蚀检验、电抛光检验方法，零件的返修工艺、镀层与涂层质量检验及各种检测技术，可供生产上使用。

本书初稿由以下同志提供：沈连桂、王良蔚、杨正方、许菊文、蔡思仲、汤乐安、杨爱民、于乐华、华荣昌。

全书由沈连桂汇总整理，王良蔚审校，栗祜终审定稿。在编写过程中钟礼治、姜仁忠还帮助进行了文字修改。谨对在本书编写出版过程中给予大力支持和帮助的同志表示衷心感谢。

作者于西安
国营红旗机械厂

前 言

目前，表面处理技术已发展成为一项综合性技术了，它涉及化学、物理、电化学、热处理和真空技术等领域，成为机械工业生产必不可少的手段之一。

近些年来，有人将表面处理分为干法和湿法二种。干法表面处理，系指一些不采用溶液的表面处理技术，如热渗、等离子喷涂、低压喷涂、真空物理气相沉积、离子镀等。而将使用溶液或与液相介质有关的电镀等金属沉积工艺及与此有关的阳极化、氧化、酸洗和清理等，统称为湿法表面处理工艺 (Wet Process)。本书着重介绍湿法表面处理工艺方面的技术。

目 录

前言	V
一、镀、涂层的应用	1
(一) 镀、涂层应用的特点	1
(二) 镀、涂层系统浅析	9
二、预处理	17
(一) 除油	17
(二) 消除应力	25
(三) 吹砂	25
(四) 保护或绝缘	30
(五) 腐蚀	31
(六) 除膜	31
(七) 除挂灰	32
(八) 出光	32
(九) 中和	33
(十) 超声波清洗	33
(十一) 活化	33
(十二) 冲击镀	34
三、电镀	35
(一) 镀镉	35
(二) 镀铬	37
(三) 镀铜	38
(四) 镀镍	39
(五) 镀锡	41
(六) 镀银	42
(七) 钛及钛合金化学镀镍	44
四、金属的氧化和磷化处理	45
(一) 铝及铝合金的化学氧化	45

(二) 镁合金的化学氧化·····	46
(三) 铝及铝合金的硫酸阳极化·····	47
(四) 铝合金的铬酸阳极化·····	49
(五) 铝合金的厚膜阳极化·····	50
(六) 钛及钛合金的阳极化·····	52
(七) 黑色金属的磷化·····	53
五、有机、无机涂层的涂敷·····	54
(一) PL205涂层的涂敷·····	54
(二) Sermetel`W/或PL219涂层的涂敷·····	55
(三) PL101涂层的涂敷·····	56
(四) 镁合金防护涂层的涂敷·····	57
(五) 铝合金防护涂层的涂敷·····	58
(六) 干膜润滑剂的涂敷·····	58
(七) NML-52底胶 + NML-46滑石可磨耗涂层的涂敷·····	59
六、后处理·····	61
(一) 重铬酸盐处理·····	61
(二) 活化和钝化·····	62
(三) 封闭·····	62
(四) 填充·····	63
(五) 除铜·····	63
(六) 除蜡·····	63
(七) 除氢·····	63
(八) 熔化处理·····	69
(九) 热处理·····	69
(十) 老化·····	69
(十一) 固化·····	69
(十二) 烘干·····	70
(十三) 油封·····	70
七、酸洗和除污染·····	70
(一) 不锈钢和镍基合金的酸洗·····	70
(二) 钛合金的酸洗·····	77
(三) 低熔点合金污染的去除·····	79

八、腐蚀和电抛光检验	81
(一) 硫酸电腐蚀检验	81
(二) 钛合金的腐蚀检验	83
(三) 镍基合金的电抛光检验	84
(四) 硝酸腐蚀检验	88
九、质量检验	93
(一) 电镀层的质量检验	93
(二) 氧化和磷化层的质量检验	95
(三) 有机、无机涂层的质量检验	98
十、检测技术	100
(一) 吹砂强度的测定	100
(二) 金属污染试验	102
(三) 镉镀层钝化膜的存在与否试验	102
(四) 厚度的测定	102
(五) 孔隙率的测定	104
(六) 结合力的测试	104
(七) 硬度的测定	106
(八) 耐蚀性试验	107
(九) 膜重的测定	108
(十) 膜层连续性试验	109
(十一) 涂层的附着试验	109
(十二) 耐热性试验	109
(十三) 应力腐蚀试验	110
(十四) 疲劳强度试验	112
(十五) 耐磨性试验	112
(十六) 导电性试验	113
(十七) 含氢量的测定	113
十一、氧化膜层的修补与零件的返修	114
(一) 氧化膜层的修补	114
(二) 镀层和氧化膜层的返修	115
(三) 有机和无机涂层的返修	118
附录 各类有机、无机涂料的验收试验方法	119

一、镀、涂层的应用

现代航空发动机按其各部位的工作环境，可分为低温 ($\leq 220^{\circ}\text{C}$)、中温 ($220\sim 600^{\circ}\text{C}$) 和高温 ($> 600^{\circ}\text{C}$) 三个温度区。在这些工作环境中发动机接触的介质有燃油、润滑油、液压用油、冷却液 (防冰和冷却用甲醇-水混合液)、气流 (发动机进气流和高温燃气流)、海水盐雾和工业大气、风砂和某些机械杂质等，这些介质在发动机零件上冷凝、湿润、浸渍、冷热交变、冲刷或机械碰撞。因此，在设计某个零件的镀、涂层时，通常应根据其工作条件、基体材料、使用寿命和施工技术的可行性以及经济性等加以综合考虑后确定。

一般说来，航空发动机上所使用的湿法表面镀层和涂层大致可以分为以下几类：

(1) 电镀层，如镀镉、铬、银、镍等，通常用于耐磨、防氧化、耐磨蚀或修复尺寸。

(2) 铝、镁合金的阳极化和化学氧化处理以及黑色金属的磷化，用于金属材料的表面防护，有时作为涂有机漆层的底层。

(3) 有机、无机涂层，使用的有机涂料有酚醛类、环氧类、环氧有机硅类和聚氨酯类等，它们具有良好的防腐和耐发动机燃气腐蚀性能。Sermetel 无机涂料更有突出的防腐和抗高温氧化性能。

(4) 其它如二硫化钼、石墨型等干膜润滑剂，可用于耐磨损或防粘滞处理；云母填充涂料用于耐热和绝缘；滑石可磨耗涂料用于封严。此外，还有陶瓷涂层等。

(一) 镀、涂层应用的特点

根据现代航空发动机的特点，我们在选择涂、镀层时，十分注意以下几点：

(1) 尽可能保证镀、涂层的结合力。凡是要求镀、涂层的零部件表面,除了要严格的除油以外,对于涂有机、无机涂层的零件表面,还要根据其材料或使用要求,作不同的处理。有色金属要经过吹砂和氧化或阳极化;黑色金属则要经过吹砂、吹砂-磷化,不适于吹砂的零件,采用环氧底漆或磷化自蚀底漆作粘结底层。对于电镀零件、不锈钢和耐热钢,镀前增加三氯化铁腐蚀或硫酸电腐蚀、冲击镀等工序。镁合金零件经机加工后重新氧化前,先在除膜溶液中将原先的旧膜除去。化学氧化的铝叶片,经其他加工工序后,涂漆前也要求除膜重新氧化。此外,在有机涂层的选择上,底层与基体、底层与面层的配套上都要充分考虑涂层的结合性能。将铬镀层设计成银嵌式,虽然给零件加工造成了一些麻烦,但使镀层的结合力得到了可靠保证。

(2) 重视涂层的综合性能,严格保证其质量要求。除对涂层的理化质量进行检验外,还着重检验涂层在发动机工作状态下各种特定环境的适应性。除了理化质量指标要求(如:粘度、固体份、干膜重量、导电性、干和湿刮痕、附着力、粘附性、弯曲)此外,还有防护耐蚀性指标要求(如:耐热-盐雾循环、耐合成海水),耐热老化和热膨胀指标要求(如:耐干热、热稳定),耐各种介质指标要求(如:耐滑油、液压油、燃油、甲醇、甲醇-水)等。试片的制作也必须按照特殊规定(见附录一),以便试验后不仅证明涂层在完整状况下的性能变化,而且可以证明涂层在经受局部破坏情况下的保护能力。可磨耗涂层的底胶和滑石涂料也规定了理化质量指标。

(3) 适当增加非金属防护涂层的涂敷层次,并严格控制厚度。为尽可能减少镁、铝零件的锈蚀,只要结构设计容许,零件的所有部位都应采用涂层保护。同时,涂、镀层的厚度应规定具体,施工中严格控制,加工后应测定其厚度。

(4) 为了简化工艺,在可能的情况下,尽量采用非金属涂层作保护层。因为非金属涂层易于施工,成本较低,对金属基体损害小,并且兼有耐温、防腐、耐气流冲刷、耐发动机燃气腐蚀等

综合性能。而这些往往是电镀层所不具备的。

表17-1与17-2是从国外引进的一些涂、镀层及其主要用途。表17-3是这些涂料和镀层的性能验收项目。

表17-1 电镀、氧化、磷化层类型及主要用途

序号	镀、膜层名称	类型	性能			最高工作温度(℃)	厚度范围(微米)	主要用途
			标准电位(伏)	硬度(HV)	熔点(℃)			
1	镉镀层	金属电镀层	-0.4		321	235	5~11 7.6~15.2	易腐蚀钢的防腐蚀; 铜合金和不锈钢与铝、镁轻合金接触时的缓冲层, 防止产生电位腐蚀
2	铬镀层	金属电镀层	-0.74	≥800	1830		13~25 170~300	耐磨
3	银镀层	金属电镀层	+7.99		960		2.5~5	螺纹紧固件高温防粘滞、减磨
4	铬酸阳极氧化膜层	三氧化二铝	绝缘	≥400 ①			约3	尺寸公差小、精度高的铝合金零件防腐蚀或作该类零件涂层的底层
5	硫酸阳极氧化膜层	三氧化二铝	绝缘	400~1500 ①			8~13	铝合金防腐蚀或作该类零件涂层的底层
6	Alocrom 1200氧化膜层	铬酸盐-磷酸盐	绝缘				0.5~4	铝合金叶片涂层的底层
7	厚膜阳极氧化膜层	三氧化二铝	绝缘	≥300 ①	2050 ①		38~50	耐磨
8	镁合金化学氧化膜层	铬酸盐	绝缘				≤3 ①	镁合金零件涂层的底层
9	磷化膜层	磷酸锰盐	绝缘			<300	8	钢铁零件涂层的底层; 滑动表面耐磨损

① 数据仅供参考。

表17-2 有机、无机涂层类型及主要用途

序号	涂层名称	类型	牌 号		最高工作温度 (°C)	厚度范围 (微米)	主要用途
			美 国	中 国 (相似牌号)			
1	清漆涂层	酚醛树脂	VX1290A/25 VX1290A/70	F100(绿) F100(透明)	220	7.6 76	镁、铝合金的防护
2	白色磁漆涂层	环氧-有机硅	PL205	HTY-80-5(7号)	250	25~38	铝叶片防护
3	烘干底漆 和面漆涂层	环氧底漆 + 聚氨酯面漆	P13114 + { E3696/693(灰) E3875/538(红)	仿P13114 仿E3696/693(灰) 仿E3875/538(红)	220	7.6 >89 (包括P 13114)	铝、镁合金壳体以及暴露在 发动机外表面的零件防护
4	干膜润滑剂	二硫化钼	PL237		200	5~13	耐磨损处理或很薄的保护或 防粘滞处理
		石墨-环氧树脂	PL-94	HB-21	400 (氧化气氛) 500 (无氧化气氛)	3~8	
5	自蚀漆底涂层	环氧树脂与磷 酸促进剂	SL4853	X06-1			钢及其镀铬零件涂层的粘结 底层
6	可磨耗涂层	滑石-环氧树脂	NML52 + NML46		200	1.27 1.53 1.8 16.3	封严
7	空气干燥漆层	硝基纤维素- 虫胶纤维素	C05187(透明) C05151(红底漆) C05153/693(灰)		200		作为VX1290A/70, E3696/ 693, E3875/538涂层的修补 涂层, 也可用于发动机零件无 表面防护部位以及镀铬零件损 坏部位的修复

8	黑色烘烤磁漆涂层	环氧树脂	ARALDITE 985	H05-6		铝镀膜表面防护和衬色
9	耐高温铝粉烘烤磁漆涂层	铝粉填充-环氧有机硅	PL101		550	抗高温氧化和耐腐蚀
10	耐高温无机涂层	铝粉填充-磷酸盐、磷酸盐	Sermetel 'W'	HTY-80-6、TWL-7	600	抗高温氧化和耐腐蚀
		硅酸钾	PL149(白)	149号	450	管路标志
			PL150(绿)	150号	650	
			PL152(墨)	152号	650	
11	耐高温铝涂层	铝粉填充金属陶瓷-环氧有机硅	PL219		500 (低合金钢) 600 (铁素体不锈钢)	抗高温氧化和耐腐蚀, 代替 Sermetel 'W' 涂层
12	耐高温、常温修补涂层	铝粉填充-硅酸钾	PL177			PL219, Sermetel 'W' 涂层经后固化后常温下修补
		铝粉填充-钛酸丁酯	PL82			PL101, Sermetel 'W' 涂层经固化或后固化后常温下修补
13	云母填充涂层	云母填充-环氧有机硅	PL95		400	耐热和绝缘
14	闪光涂层	铝粉填充-乙基纤维素+气溶胶	PL45	Q01-1+铝粉		在发动机发出以前覆盖发动机运转部分的表面油污, 装饰污染的涂层

注: 数据仅供参考。

表17-3 各类有机、无机涂料的验收项目

序号	涂料牌号	粘度 (涂-4杯, 20℃,秒)	稀释剂	主要性能指标														
				热稳定性	刮痕	弯曲	粘附性	附着力	耐合成海水	耐500℃干热	耐600℃干热	耐润滑油	耐室温液压油	耐70℃液压油	耐甲醇	耐甲醇-水	耐燃油	耐热-盐雾循环
1	PL219	30~40	SV16	√	—	10毫米 √	—	—	√	√	—	√	② √	√	√	② √	—	√
2	Sermetel 'W'	15~18	水	√	—	10毫米 √	—	—	√	√	—	√	② √	√	√	② √	√	√
3	PL101	25~32	SV 16R ₁	—	1000克 √	6.35 毫米 √	—	—	① √	550℃ 500℃ √	—	√	√	750克 √	750克 √	√	√	—
4	PL94	15~25	SV16	—	√	—	√	—	—	—	—	—	—	√	√	—	—	—
5	PL205	60~70	CO 5877	—	—	—	—	√	—	250℃ 750克 √	—	—	7天 2000克 √	—	7天 2000克 √	√	70℃ 7天 2000克 √	—
6	VX1290 A/25	15~25	CO 4289	—	1000克 √	6.35 毫米 √	—	—	—	220℃ 500克 √	—	—	√	√	1000克 √	√	√	—
	VX1290A/20	60~70	CO 4289	—	1000克 √	6.35 毫米 √	—	—	—	220℃ 500克 √	—	—	√	1500克 √	1500克 √	√	√	—
7	P 13114	60~70	CO 4289	—	—	—	—	√	—	220℃ 500克 √	—	—	√	1500克 √	1500克 √	√	√	—

