

航空产品

腐蚀及其控制手册



内 容 提 要

本《手册》从腐蚀防护系统工程的角度，阐述了航空产品在设计、制造、使用、维护、贮存中所遇到的环境特点，产生腐蚀的类型与控制措施，结合我国多年的经验，吸取了国外军用标准的长处，提出了产品结构设计、材料和防护工艺选择、封存包装技术等方面的腐蚀控制原则与质量控制原则。

本《手册》比较系统的提供了各地大气环境、金属材料腐蚀特性、各种防护层的性能特点及其对基体材料性能的影响等方面的技术数据，是一本实用科技手册。

本《手册》供航空产品研制、设计、生产、检验、贮运、维修、供应、教学等部门的有关工程技术人员使用，亦可供其他机械工业部门的有关工程技术人员及高等院校师生参考。

航空产品腐蚀及其控制手册

下 册

(内 部 发 行)

六〇一所印刷厂印装

3801

前 言

腐蚀是一种自然现象。任何工程、任何产品，都有生产、腐蚀、故障、报废的过程，因而，腐蚀和控制腐蚀贯穿着产品寿命的全过程。任何产品不可能完全不腐蚀，但可以通过人们的努力，将腐蚀控制到尽可能小的程度，以延长产品的寿命，减少事故的发生。

我们的观点是要真正控制腐蚀，必须由设计、科研、生产、使用、贮运、维修人员共同配合，层层把关，才能达到目的。尤其需要设计人员承担控制腐蚀的主要责任，因为设计人员最了解自己设计的产品的结构特性和适用范围。然而，我们不能要求设计人员精通腐蚀，成为腐蚀与防护专家，我们仅仅希望设计人员能了解腐蚀，认识腐蚀，能掌握腐蚀科学的最新进展，在所设计的产品中，能采用最恰当的或最新的腐蚀控制技术。帮助设计人员了解腐蚀、提供措施，以控制腐蚀，从而确保航空产品的安全、可靠并延长使用寿命正是本《手册》编写的出发点和归宿。

本《手册》，从腐蚀防护系统工程的角度出发，为航空产品的结构设计、材料选择、工艺技术、防护措施等方面推荐了较全面的控制原则及大量的实用数据，其中主要有国内外典型环境数据；高强度钢、不锈钢、结构钢、铝合金、镁合金、钛合金、铜合金和高温合金的腐蚀和氧化性能数据；结构设计中的腐蚀控制原则、应用实例及选材依据；各种电镀层、化学覆盖层、合金扩散层（渗层）、有机涂层以及耐磨、封严、热障涂层的特性及选用原则；封存包装技术；此外还介绍了航空产品常见的晶间腐蚀、剥蚀、磨蚀、接触腐蚀、应力腐蚀和氢脆、腐蚀疲劳、高温氧化和热腐蚀等各种腐蚀类型、原理等。不足之处是在腐蚀疲劳、氢脆等方面国内缺乏系统研究，因而涉及不够。

本《手册》具有深入浅出、理论适中、图文并茂、实用性强等特点，是为飞机、发动机、附件、仪表、电机电器等航空产品的研制、设计、生产、检验、封存包装、维修、供应等部门的工程技术人员提供的一本实用手册，也可供大气环境条件下使用的各种机械产品的设计、生产、使用部门及高等院校师生参考。

本《手册》是一部集体创作,参加的人员有:

	作 者	审 定
第 一 章	李金桂	杜发一
第 二 章	尤文孝	杜发一
第 三 章	戴廷洪 赵闰彦	盛润华
第 四 章	吕维骏	盛润华
第 五 章	张思九	杜发一
第 六 章	范瑞麟	刘士简
第 七 章	李金桂	盛润华
第 八 章	赵闰彦	盛润华
第 九 章	谢朝芳 毛庆珠	范 棠 刘士简
第 十 章	冯耀坤 赵家培	刘士简
第十一章	李金桂	杜发一
第十二章	罗祥骥	刘士简
文字修订	朱之槩 李云盛 吴再思	
出版编辑	尤文孝 陈嘉珠	
描 图	关桂兰	

腐蚀科学作为一门多科性边缘科学,正日益深入工程建设的各个领域,发挥着日益显著的作用。本《手册》期望在腐蚀科学与产品设计生产相结合方面迈出新的一步,以期获得更大的技术经济效益,为祖国“四化”建设作出应有的贡献。然而,由于编写者水平有限,时间仓促,错误不当之处欢迎批评指正。

在本《手册》的编写和出版过程中,曾得到范棠同志、六二一所五室和六〇一所标准化室许多同志的热情帮助和指教,在此表示衷心地感谢。

第八章 金属镀层和覆盖层

8.1	金属镀层和覆盖层的分类 (1)	8.5.10	金和硬金镀层 (108)
8.2	使用条件分类 (3)	8.5.11	钯镀层 (109)
8.3	质量控制 (4)	8.5.12	铱镀层 (110)
8.3.1	防腐设计 (4)	8.5.13	黄铜镀层 (111)
8.3.2	镀覆层质量 (8)	8.5.14	青铜镀层 (112)
8.3.3	工艺质量的控制 (26)	8.5.15	铅锡合金镀层 (113)
8.4	镀覆层选择原则 (27)	8.5.16	镍镉扩散镀层 (114)
8.4.1	钢铁材料镀覆层的选择原则 (33)	8.5.17	镉钛镀层 (118)
8.4.2	铝和铝合金镀覆层的选择原则 (48)	8.5.18	镍铁合金镀层 (120)
8.4.3	镁合金防护原则 (51)	8.5.19	无机盐铝涂层 (121)
8.4.4	钛及钛合金镀覆层的选择原则 (52)	8.5.20	复合镀层 (129)
8.4.5	铜及铜合金的镀覆层选择原则 (56)	8.5.21	离子镀与离子镀铝 (141)
8.5	镀覆层性能、特点和应用范围 (57)	8.5.22	钢铁氧化 (发蓝) (144)
8.5.1	镉镀层 (57)	8.5.23	钢铁磷化 (144)
8.5.2	锌镀层 (68)	8.5.24	铝及铝合金硫酸阳极化 (146)
8.5.3	铜镀层 (79)	8.5.25	铝合金铬酸阳极化 (149)
8.5.4	镍镀层 (81)	8.5.26	铝合金绝缘 (草酸) 阳极化 (151)
8.5.5	化学镀镍层 (86)	8.5.27	铝合金硬质阳极化 (152)
8.5.6	铬镀层 (92)	8.5.28	铝合金瓷质阳极化 (159)
8.5.7	锡镀层 (100)	8.5.29	铝合金磷酸阳极化 (159)
8.5.8	铅镀层 (105)	8.5.30	铝合金化学氧化 (161)
8.5.9	银镀层 (107)	8.5.31	镁合金化学氧化 (162)
		8.5.32	A12 涂层 (162)
		8.5.33	TSM3 涂层 (163)
		8.5.34	离子注入表面改性层 (163)
			参考文献 (166)

第九章 有机涂层

9.1	绪言 (169)	9.1.6	分类 (170)
9.1.1	定义 (169)	9.2	航空涂料的主要种类 (171)
9.1.2	用途 (169)	9.2.1	醇酸漆 (171)
9.1.3	涂层保护原理 (169)	9.2.2	氨基漆 (172)
9.1.4	航空产品对涂层的要求 (169)	9.2.3	硝基漆 (178)
9.1.5	涂料的主要组份 (170)	9.2.4	过氯乙烯漆 (178)

9.2.5	丙烯酸漆	(180)	9.5.3	钢铁零件涂层系统	(203)
9.2.6	环氧漆	(181)	9.5.4	钛合金涂层系统	(204)
9.2.7	聚氨酯漆	(186)	9.5.5	复合材料的涂层系统	(205)
9.2.8	有机硅漆	(188)	9.6	专用涂层	(207)
9.3	涂料的涂覆工艺	(190)	9.6.1	蒙皮涂层	(207)
9.3.1	一般空气喷涂	(190)	9.6.2	飞机雷达罩涂层	(212)
9.3.2	热喷涂	(191)	9.6.3	叶片涂层	(215)
9.3.3	高压无空气喷涂	(191)	9.6.4	耐油涂层	(216)
9.3.4	粉末涂料涂覆	(191)	9.6.5	耐热涂层	(217)
9.3.5	电泳涂漆	(193)	9.6.6	电机、电器、仪表用防护 涂层	(220)
9.3.6	静电喷涂	(193)	附录 A	涂料产品分类、命名和型 号《GB2705-81》	(228)
9.4	涂层质量控制	(196)	附录 B	航空用涂料新旧型号对照 表	(234)
9.4.1	涂漆前零部件的表面准备	(196)	附录 C	国外涂层系统举例	(236)
9.4.2	涂料的准备	(196)	附录 D	各国飞机采用的蒙皮底漆 和面漆举例	(239)
9.4.3	施工环境条件	(196)		参考文献	(242)
9.4.4	施工要点	(197)			
9.4.5	涂层质量检验	(197)			
9.5	涂层系统	(198)			
9.5.1	铝合金涂层系统	(198)			
9.5.2	镁合金涂层系统	(200)			

第十章 高温无机涂层

10.1	概述	(243)	10.5.1	恢复尺寸涂层的类别和定 义	(283)
10.2	耐磨损涂层	(245)	10.5.2	恢复尺寸涂层的选用	(283)
10.2.1	磨损的类别和定义	(246)	10.6	涂层工艺	(286)
10.2.2	几类耐磨涂层简介	(247)	10.6.1	零件表面清理	(286)
10.2.3	耐磨涂层的选用	(251)	10.6.2	涂复工艺	(288)
10.3	耐热和抗氧化涂层	(262)	10.6.3	涂后处理	(295)
10.3.1	耐热和抗氧化涂层定义	(263)	10.7	涂层性能检测	(297)
10.3.2	几类抗氧化和热障涂层简 介	(263)	10.7.1	表面质量	(297)
10.3.3	抗氧化和耐热涂层的选用	(268)	10.7.2	结合性	(298)
10.4	机械部件间隙控制涂层	(274)	10.7.3	组份分析	(300)
10.4.1	封严涂层的类别和定义	(275)	10.7.4	抗氧化性	(301)
10.4.2	几类封严涂层简介	(275)	10.7.5	耐磨性	(301)
10.4.3	封严涂层的选用	(278)	10.7.6	力学性能	(302)
10.5	恢复尺寸涂层	(283)	10.7.7	显微镜分析	(302)

10.7.8	物理性能·····	(305)	参考文献·····	(308)
10.7.9	环境试验·····	(308)		

第十一章 航空电子产品的腐蚀控制

11.1	绪言·····	(310)	11.4.2	机械结合·····	(340)
11.2	环境—腐蚀效应·····	(310)	11.4.3	焊接(钎焊)·····	(341)
11.2.1	通用效应·····	(311)	11.5	电气串接(接地)与屏蔽	
11.2.2	腐蚀效应·····	(315)		中的防腐蚀·····	(342)
11.3	电子产品的腐蚀控制·····	(320)	11.5.1	串接与腐蚀防护·····	(342)
11.3.1	耐蚀材料的选择·····	(321)	11.5.2	电磁屏蔽与防腐蚀·····	(343)
11.3.2	材料的相容性·····	(322)	11.5.3	导电胶粘剂的腐蚀问题···	(345)
11.3.3	采用保护技术·····	(325)	11.6	特殊零件的防护·····	(346)
11.3.4	选用非金属材料·····	(328)	11.7	包装、保管及运输·····	(346)
11.3.5	微生物侵蚀的避免·····	(339)		参考文献·····	(347)
11.4	连接技术中的防腐蚀·····	(339)	附录 A	美国政府文件·····	(349)
11.4.1	粘合·····	(340)			

第十二章 封存包装

12.1	概述·····	(354)	12.5	封存包装用材料品种和标准	
12.1.1	外界条件对封存包装效果的影响·····	(354)		准·····	(386)
12.1.2	封存包装的分类·····	(358)	12.5.1	清洗用材料·····	(386)
12.1.3	航空产品封存包装设计因素·····	(365)	12.5.2	防锈剂·····	(386)
12.2	航空产品封存包装技术···	(365)	12.5.3	内包装用材料·····	(390)
12.2.1	一般要求·····	(365)	12.5.4	衬垫、缓冲、堵塞和紧固材料·····	(392)
12.2.2	清洗·····	(366)	12.5.5	外包装(运输包装)容器	(393)
12.2.3	干燥·····	(367)	12.5.6	包装用其他材料的品种标准·····	(441)
12.2.4	涂复防锈剂·····	(368)	12.5.7	封存包装用主要材料技术要求·····	(442)
12.2.5	单元封存包装方式·····	(371)	12.6	封存包装方法及试验方法的国内外标准或技术要求	(462)
12.2.6	运输包装·····	(381)	12.6.1	国内外封存包装方法标准	(462)
12.3	封存包装的质量控制·····	(381)	12.6.2	国内外标准中封存包装方式(分类)·····	(463)
12.3.1	质量控制·····	(383)			
12.3.2	检验管理·····	(383)			
12.3.3	检验方法·····	(384)			
12.4	封存包装标记·····	(385)			

12.6.3	封存包装有关试验方法标准.....	(468)
12.6.4	国内外封存包装试验方法标准中有关参数的对比...	(474)
12.6.5	其它有关参数.....	(476)
	参考文献.....	(497)

附录 I	国外腐蚀与防护、包装有关部分杂志.....	(498)
附录 II	国内腐蚀与防护、包装有关部分杂志.....	(500)
附录 III	腐蚀速度的单位换算系数	(500)

第八章 金属镀层和覆盖层

除了具有高耐蚀性的金属材料 and 贵金属材料外,大多数金属材料,如铁、碳钢、低合金钢、铝及铝合金、镁合金、锌合金、铜及铜合金等,在产品上使用时都要进行防护处理:如电镀、阳极化、化学氧化、喷镀等等,以保护所使用的金属材料免遭腐蚀。某些具有较高耐蚀能力的金属材料和非金属材料,在特定的使用条件下,如耐磨、导电、减摩、隔热、装饰等,也要进行防护处理。在作这种处理时,合理地选择防护层是非常重要的,否则,不仅不能起到可靠的保护作用,反而会引起不好的,甚至是严重的后果。

8.1 金属镀层和覆盖层的分类

金属镀层和覆盖层(简称镀覆层)可按下列三种方法分类:

- a. 电化学性质;
- b. 工艺方法;
- c. 保护目的。

8.1.1 除不能测量电位的覆盖层以外,按电化学性质,金属镀覆层可分为两类,即阳极性镀覆层和阴极性镀覆层。

8.1.1.1 阳极性镀覆层

在一定的介质中,镀覆层金属的电极电位比基体金属负时,此镀覆层称为阳极性镀覆层。使用时,此类镀覆层的完整性被破坏之后,仍可借电化学作用继续保护基体金属免遭腐蚀。但是,这种保护特性只在一定保护半径范围内有效。阳极性镀覆层的保护能力,主要取决于镀覆层的厚度,镀覆层越厚,其保护作用越强。

8.1.1.2 阴极性镀覆层

在一定的介质中,镀覆层金属的电极电位比基体金属正时,此镀覆层称为阴极性镀覆层。使用时,阴极性镀覆层只能机械地保护基体金属不被腐蚀,当镀覆层的完整性较差或被破坏之后,将加速基体金属的腐蚀。其保护能力则取决于镀覆层的孔隙率和镀覆层的厚度,镀覆层越厚,孔隙率越少,金属镀覆层的保护作用越强。

8.1.1.3 常用金属镀覆层的类别

根据飞机的使用条件(一般以NaCl为典型的腐蚀介质)和镀覆层金属的电化学特性,常用金属镀覆层的类别见表8-1。

8.1.2 根据当前防护处理所使用的工艺方法,镀覆层可分为八类:电镀与复合镀层、化学镀层、阳极化膜层、化学覆盖层、物理沉积层、喷镀或喷涂层、热浸层、渗金属层等。然而,随着防护科学的发展和综合利用技术的进步,一方面还会有许多新的防护工艺方法不

表 8-1 金属镀覆层的类别 (在海水条件下)

基 体 金 属	阳 极 性 镀 层	阴 极 性 镀 层
钢	锌、镉、离子镀铝、铝-钛、镍-镉、 无机盐铝涂层、A12、TSM 3	铜、镍、铬、银、锡 ^① 、金、铂、铅-锡、 铅-铜
铝及铝合金	锌、镉	锡、铜、镍、铬、银
铜及铜合金	锌、镉、铅	金、银、钯、铑、铂
黄 铜	锌、镉	金、银、钯、铑

①在有机酸介质中为阳极性镀层。

断出现；另一方面，在生产实际使用中，这些类别有时互相交错，不能截然分开。例如，物理沉积后可以氧化处理，以进一步提高其耐蚀性。又如，喷涂无机盐铝涂层后，为提高其硬度和耐蚀性，又进行阳极处理等。

8.1.2.1 电镀法 (包括复合电镀) 这是一种用直流或脉冲电流电解的方式 (包括水溶液或非水溶液)，在金属或非金属表面上沉积一层另一种金属或合金镀层，或沉积金属与金属氧化物，或沉积金属与非金属的复合镀层 (也称弥散镀层)。

例如，镀镉、镀铬、镀铅锡合金、镀铜锡合金、镀二氧化硅—镍复合镀层等。

8.1.2.2 化学镀法 这是利用溶液中的还原剂使金属离子在零件表面沉积成金属层，或沉积成金属与金属氧化物层，或沉积成金属与非金属层。

例如，化学镀镍、化学镀银、化学镀镍—硼、化学镀镍—碳化硅、化学镀镍—聚四氟乙烯等。

8.1.2.3 阳极化法 这是用直流电、交直流电等的电解方式，在零件表面形成自身氧化的膜层。例如，铝及铝合金阳极化、锌阳极化、钛及钛合金阳极化、镁合金阳极化等。

8.1.2.4 化学转化法 这是用化学方法在零件表面获得的金属自身氧化的膜层 (也称转化膜层)。例如，铝合金化学氧化、镁合金化学氧化、钢铁磷化、钢铁氧化 (发蓝) 等。

8.1.2.5 物理沉积法 包括真空蒸发、真空电子束物理蒸气沉积、离子镀、阴极溅射等物理方法在零件表面沉积的金属、合金或非金属覆盖层。

例如，真空镀镉、离子镀铝、真空沉积多元合金、阴极溅射氮化钛等。

8.1.2.6 喷涂法 一般是用金属丝材或合金粉末，通过加热融化喷涂在金属零件上形成的涂层。例如，喷铝、喷锌等。近年来发展较快的用无机盐作粘结剂的金属涂层是将金属粉末、无机盐与水按比例配成料浆，将料浆喷涂在零件表面，然后在一定的温度下加热固化，在金属零件表面形成涂层的方法。例如，无机盐铝涂层、无机盐锌涂层等。

8.1.2.7 热浸法 这是将零件浸入熔融的金属中，取出后在零件表面粘附的一层金属层。例如，热浸锡等。

8.1.2.8 渗金属法 通过高温扩散，将一种或多种元素渗入金属表层。它通常用作高温防护层，详见第六章《高温腐蚀与高温涂层》，但也有少数渗层，如 A12、TSM3 等用作

中温防护层。

8.1.3 按照镀层的保护目的，可以划分为六类，即防腐蚀、装饰外观、磨损、电性能、工艺要求及其它要求。

8.1.3.1 防腐蚀 为防止零件在使用条件下腐蚀的防护层。根据镀覆层使用温度，还可分为常温、中温与高温三类。

8.1.3.1.1 常温防护层 一般指跨音速飞机的表面温度下能使用的镀覆层。

例如，镉镀层、锌镀层、镉锡镀层、离子镀铝层、钢铁氧化层和磷化层、铝合金阳极化与化学氧化层、镁合金氧化层等。

8.1.3.1.2 中温防护层 一般指发动机的压气机部件的表面温度下能使用的镀覆层。通常为500℃左右。

例如，镍镉扩散镀层、无机盐铝涂层、离子镀铝层、Al₂O₃涂层、黄铜镀层、乳白铬层、化学镀镍层、TSM3涂层等。

8.1.3.1.3 高温防护层 一般指发动机燃烧室及涡轮部件的表面温度下能使用的防护层。例如，渗铝、渗Al-Si、渗Cr-Al、Pt-Al渗层、MCrAlY包芯层等。

8.1.3.2 装饰外观 能提供光亮、黑色装饰或特殊颜色以便识别标记的镀覆层。

例如，铜—镍—铬镀层、镍—铬镀层、青铜—铬镀层、铜—镍—镍封—铬镀层、仿金镀层、铝及铝合金阳极化着色、铝及铝合金瓷质阳极化膜层、黑铬镀层、黑镍镀层、铜或黄铜氧化层等。

8.1.3.3 抗磨损 为防止零件工作时受到磨损，一则是提高表面硬度，另一方法是使用具有低摩擦系数的减磨镀层。

例如，铬镀层、松孔铬层、化学镀镍层、复合镀层、铝合金硬质阳极化膜层等高硬度的耐磨镀覆层，以及铅镀层、银镀层、铅锡合金镀层、铅铋合金镀层、MoS₂-Ni复合镀层等减磨镀层。

8.1.3.4 电性能 根据零件工作要求，提供导电或绝缘性能的镀覆层。

例如，铜镀层、银镀层、金镀层为提高导电性能的镀层，以及钢铁磷化、铝合金硬质阳极化等具有高电阻的绝缘镀覆层。

8.1.3.5 工艺要求 利用镀覆层特性满足零件加工工艺的要求。

例如，为便于零件焊接的镀镍层、镀铜层、镀锡层、浸锡层等。为提高粘结力钢铁镀黄铜，铝合金进行磷酸阳极化，或防止在一定温度下一种金属与另一种金属粘结而镀铜或钢铁件磷化等。

8.1.3.6 其他 属于一般的特殊要求的保护目的。

例如，低氢脆性防护层、用于氧气系统的镀锡防护层等等。

8.2 使用条件分类

产品零件的使用条件是选择镀覆层种类的首要依据。其分类见表8-2。

表 8-2 使用条件分类

使用条件		特 征	举 例
代号	条件		
I	良 好	凡不暴露在大气条件下，又不受工业气体、燃料废气与其它腐蚀性介质影响的零件	密封（气密的）仪表内部零件，飞机液压系统的内部零件等
II	一 般	无雨、雪直接影响，但受少量工业气体、燃料废气、海雾或一般大气条件影响的零件	飞机及导弹的内部零件和附件及座舱内部零件
III	恶 劣	凡受风、砂、雨、雪、海雾及工业气体、燃料废气直接影响或者在温度、湿度变化较大的条件下工作的零件	飞机及导弹的外部零件和附件、水上飞机和沿海机场的飞机的零件及附件
H	海 水	直接接触海水的零件	水上飞机水线附近的零件
T	特 殊	凡不属单纯防护和装饰，而为了特殊要求的零件	要求耐磨、减摩、导电、隔热、绝缘、焊接、防氧化及粘橡胶等的零件

8.3 质量控制

8.3.1 防腐设计

8.3.1.1 低耐蚀性的金属材料使用时必须具有防护层。为保护金属材料不被腐蚀，应尽量选择阳极性防护层。

8.3.1.2 根据零件材料的特性、热处理状态、使用条件和部位、结构形状和公差配合等因素，正确地选择防护层（详见8.4）。

8.3.1.3 凡需镀覆的零件应避免尖角、凹槽、盲孔和平底压孔，并有足够的坡度以防止积水。为不影响镀覆质量，对具有这类形状的零件要求，见表8-3。

表 8-3 对零件形状的要求

零件具有的特征	要 求
尖 角	圆滑过渡，过渡半径以1.0毫米为宜
凹 槽	愈小愈好，深度应小于凹槽宽度的50%
盲 孔	直径小于6毫米时，深度小于直径的50%
平底压孔	应圆角，深度不超过宽度的50%
翅 、 肋	底部两侧应圆滑过渡，半径大于3毫米，高度应尽量小
平 底 槽	以“U”型槽比“V”型槽好，深度不超过宽度的50%
凸 面	凸度不小于15/1000
打字标记	凹陷形式比隆起形式好

8.3.1.4 不同的材料或镀覆层相接触时，应尽可能防止产生接触腐蚀，其控制原则见第四章。

8.3.1.5 镀覆工艺对基体材料的性能有不同程度的影响，特别是主要受力零件和对疲劳性能有要求的零件，在选择防护层时应注意这一问题。

8.3.1.6 一切用电化学方法获得的镀覆层，在同一零件的不同部位，其厚度通常是不均匀的，而小的深孔（尤其是盲孔）和凹槽处，一般很难镀覆，在镀覆不到的地方应该采取其他防护措施，如涂漆或涂油等。

8.3.1.7 所有的镀覆层只能在一定的温度范围内使用，超过允许的使用温度时，不仅影响其耐蚀、耐磨等性能，某些镀层甚至会导致基体金属开裂或脆断。镀覆层允许使用的最高温度，见表8-4。

表 8-4 镀覆层允许使用的最高温度

℃

镀覆层类别	航空工业部 标 准 (HB 5033-77)	美国宇航材料 标 准 (AMS)	美国联邦标准 (QQ)	美国军用标准 (MIL)
锌 镀 层	250		未钝化锌层: 370 钝化长时间工作零件: 65 钝化短时间工作零件: 150	
镉 镀 层	230	232	232	
银 镀 层			在铜基体上无镍底层时: 150	
铬镀层(耐磨)				370 ^②
镍-钛镀层		232		
镍-镉镀层	500 ^①	482		
黄铜镀层	500			
镍-锡镀层				173
镍锌镀层		482		
钢铁磷化膜层	150			锰盐磷化膜: <121 锌盐磷化膜: <93.3
无机盐铝涂层	550 ^③			

注: ①HB/Z 31-82《镍镉扩散镀层工艺说明书》;

②MIL-STD-1568A《宇航武器系统中腐蚀预防和控制》;

③无机盐铝涂层工艺说明书(航空工业部报审稿)。

8.3.1.8 带有螺纹连接、压合、搭接、铆接、点焊、局部钎焊、单面焊接等组合件，在电镀或化学处理时，溶液进入缝隙内不易彻底清除，残留的酸、碱在存放或使用期间，将会加速零件的腐蚀。除镀覆的溶液不会使基体金属产生腐蚀、可以组合后再镀覆外，这类组合件一般均应采用涂漆或镀覆后再组合。

8.3.1.9 由不同金属材料构成的组合件，在进行镀覆时，所使用的溶液不一定对两种材料都是适宜的，在有些情况下，可能使组合件中某一种材料发生腐蚀，或使其镀覆层的质量降低。例如，与铝合金（或锌合金）组合的钢零件进行化学氧化时，铝合金（或锌合金）被腐蚀；与钢组合的铝合金零件在进行阳极氧化时，钢件会遭受腐蚀。

8.3.1.10 锻件、铸件、焊接件存在的重叠、气孔、缝隙等缺陷，在镀覆处理时，可能影响镀覆层质量。其相应技术条件中的允许缺陷应尽可能少。

8.3.1.11 有配合公差要求的零件需进行防护处理时, 设计时应留有镀层余量。例如, 铝合金硬质阳极化时, 阳极化后零件的尺寸将会增加, 其增加量为形成氧化膜厚度的一半。

8.3.1.12 电镀、化学镀、阳极化、化学氧化、磷化等, 应在零件完成所有的机加工、焊接、成型、浸渍、钻孔等工序之后进行。

8.3.1.13 经加工后有残余应力的零件, 应按表 8-5 的条件, 在电镀前消除应力, 电镀后除氢。

表 8-5 镀覆零件镀覆前消除应力与镀覆后除氢的规定

镀 覆 层		镀 覆 前 消 除 应 力			镀 覆 后 除 氢		
标 准 号	类 别	条 件	温 度 (℃)	时 间 (小时)	条 件	温 度 (℃)	时 间 (小时)
MIL-C-14550	Cu	所有硬度大于HRC40并且可能含有残余应力的钢零件	应是既可以得到最大程度的消除应力, 又不致使硬度减少到最低的规定限度以下		弹簧和其他硬度大于HRC40并且承受弯曲和反复碰撞的零件	190±15	3
					热处理低于190℃的淬火零件如渗碳件	允许温度低于130	
					经证明电镀工艺不会影响零件使用性能	不除氢	
MIL-T-10727 MIL-P-14535	Sn 黑Ni		不消除应力			不除氢	
MIL-L-13808	Pb	除了承受弯曲或反复冲击的零件外, 所有HRC>40的金属零件	适当进行热处理		所有在正常使用承受弯曲和反复冲击的零件, 如弹簧	190±15	3
					低于190℃热处理的淬火弹簧和渗碳体	按协商工艺除氢	
MIL-C-14538	黑Cr	HRC>40	150~260	1	如采购部门规定时	190±15	3
MIL-C-26074	化Ni	所有HRC>40的钢零件如果具有不利的残余应力	采用温度应最大限度的消除应力, 又不使硬度低于标准下限		HRC<40只承受静负荷或设计时考虑的动负荷有限使用, 或两者同时存在	镀前不喷丸, 镀后不除氢	
					HRC>40在动负荷下无限使用(镀前应喷丸)	190±15	>3
					HRC>40只承受静负荷或动负荷下有限应用或两者同时存在	190±15	>3
					铝零件	149	1
MIL-C-45204	金	HRC>40和含有残余应力的钢零件	温度应能最大限度的消除应力而又不会使零件的硬度降低		HRC>40	190±15	3
					低于190℃热处理的淬火零件, 包括渗碳件	按协商工艺除氢	

续表 8-5

镀覆层		镀覆前消除应力			镀覆后除氢		
标准号	类别	条 件	温度 (℃)	时间 (小时)	条 件	温度 (℃)	时间 (小时)
MIL-P-45209	钼	HRC>40和含有残余应力的钢零件	温度应能最大限度的消除应力而又不使零件的硬度降低		钢弹簧和其它一些将要受到弯曲和反复冲击的零件以及HRC>40的钢件	190±15	3
MIL-R-46085 MIL-P-23408	铈 Cd-Sn	HRC>40的黑色金属如含有不利的残余应力	未具体规定		低于190℃热处理的包括渗碳的零件	按协商工艺除氢	
MIL-C-13924	发蓝	所有冷成形或有残余应力的零件,例如经冷变形的零件应消除应力	未具体规定		抗拉强度240,000磅/时 ² (168.74Kg/mm ²)以上的钢零件	190±15	3
MIL-P-16232	磷化	HRC≥39(包括渗碳件)磷化前应消除应力			合金钢HRC≥39	98~107	8或
					碳钢HRC>47	或室温	128
AMS 2419	Cd-Ti	抗拉强度128Kg/mm ² 以上	应保证最大限度的消除应力而又不使零件的硬度降低到图纸规定值以下		抗拉强度105~126Kg/mm ²	190±15	3
					抗拉强度126~140Kg/mm ²	190±15	6
					抗拉强度140~154Kg/mm ²	190±15	8
					抗拉强度大于154Kg/mm ²	190±15	12
AMS 2416	Ni-Cd	HRC>40	同 上				
AMS 2417	Ni-Zn	HRC≥40	应保证最大限度的消除应力而又不使零件的硬度降低到图纸规定值以下		HRC36~39碳钢和低合金钢	190±15	3
					HRC≥40碳钢和低合金钢	190±15	23
					所有经热处理后HRC≥38的抗蚀钢	190±15	3
					当190℃加热影响硬度时	163	23
ISO/DIS 2081 (1982)	Zn	1100MPa(112Kg/mm ²) 1100~1450MPa(112~147.9Kg/mm ²) 1450~1800MPa(147.9~183.6Kg/mm ²) >1800MPa(>183.6Kg/mm ²)	不要求		1100MPa(112Kg/mm ²)	不要求	
			190~230	1	1100~1450MPa(112~147.9Kg/mm ²)	190~230	18
			190~230	18	1450~1800MPa(147.9~183.6Kg/mm ²)	190~230	16
			190~230	24	>1800MPa(>183.6Kg/mm ²)	190~230	24
HB/Z 5068-78	Zn				σ _b >90Kg/mm ² 渗碳、氰化或钎焊零件	230~250 200~230 140~160	2 3 >3
	Cd				σ _b >90Kg/mm ² 渗碳、氰化或钎焊零件	180~200 140~160	2~3 >3
HB/Z 5089-78	Cu				σ _b >100Kg/mm ² 渗碳、氰化或钎焊零件	180~200 不超过热 温回火温 度	2 >2
HB/Z 5072-78	Cr				σ _b >100Kg/mm ² 渗碳、氰化或钎焊零件	空气中 200~230 油中 180~200	2~4 2~4

8.3.2 镀覆层质量

产品零件的耐蚀性能,与镀覆层的合理选择,以及镀覆层本身的质量密切相关。各种镀覆层应控制的质量项目,列于表8-6。

表 8-6 镀覆层质量控制项目

镀覆层类别	检 测 项 目
阳极性镀层	厚度、耐蚀性、结合力
阴极性镀层	厚度、耐蚀性、结合力、孔隙率、镀层应力(对性能有要求时)
覆盖层	膜厚、耐蚀性、膜层重量
特殊用途	硬度、耐磨性、绝缘性、导电性、可焊性、胶粘性、抗变色能力、抗氧化性
识别标记	厚度、膜层重量、耐晒能力

8.3.2.1 镀覆层厚度

根据产品的类型、特性、使用条件和寿命,确定镀覆层厚度。电解液的性质,阴、阳极的形状,距离,面积比都会影响镀覆层的厚度和均匀性。在同一零件上,内部比外部薄,凹陷部分比凸出部分薄;同一平面上,中间部分比边缘部分薄;在小而深的孔、尤其是盲孔或槽、缝隙中,甚至没有镀覆层。检测厚度时,零件上凡直径19毫米的钢球所能接触到的部位,其镀覆层厚度均应符合厚度系列规定的最低值。

8.3.2.2 镀覆层的结合力

镀覆层与基体之间的结合能力,取决于基体材料类别、工艺方法、镀覆前处理和工序间质量。镀覆层结合力的好坏,不仅影响其对基体金属的保护能力,有时甚至影响产品的使用性能。鉴定镀覆层结合力的方法有多种,根据零件的基体材料、形状、用途,选择适当的检验方法。镀覆层应与基体牢固结合,不能有起泡、剥落等现象。

8.3.2.3 镀层的孔隙率

对阳极性镀层虽然也要求其均匀和致密,但在生产中一般不检测其孔隙率。阴极性镀层的孔隙率对其防护性能影响很大,但是通常除作为工艺性镀层要求控制其孔隙率外(如防止渗碳镀铜),各标准中,通常都只控制装饰铬镀层的孔隙率。有关标准控制指标,见表8-7、8-8、8-9、8-10、8-11。

表 8-7 装饰铬孔隙率标准

标 准	镀层厚度(μm)			要 求
	种 类	厚 度	总厚度	
HB 5042-77	铜 镍 铬	12 8 0.6~2	>20	在任一平方厘米面积上应不多于3~4个
SJ 1276-77				应符合有关文件或企标的规定

表 8-8 装饰铬镀层孔隙率标准 (WJ 456-75)

类 别	使用条件	序 号	基体金属	镀层金属	孔 隙 率 ①		
					厚度(微米)	总厚度(微米)	不大于(点/厘米 ²)
保 护 装 饰 性 铬 (简称铬)	良 好	1	铜及铜合金 铝及铝合金	铬	6±1	6±1	—
		2	钢	青铜	6±1	11±2	
				铬	5±1		
	3	钢 铜及铜合金 铝及铝合金	镍	9±1			
			铬	2±1			
	一 般	4	钢	青铜	16±2	21±3	4
				铬	5±1		
		5	钢	铜或镍	5±1		
				铜	9±1		
				镍	5±1		
	恶 劣	6	钢	铬	2±1	31±4	3
				青铜	26±2		
		7	钢	铬	5±1		
青铜				24±2			
镍				5±1			
8		钢	铬	2±1			
	铜或镍		5±1				
	铜		14±2				
	镍		10±2				
特 殊	9	钢	铬	2±1	45±5	2	
			镍	5±1			
			青铜	38±3			
	10	钢	铜或镍	5±1			
			铜	23±2			
			镍	15±2			
			铬	2±1			
硬 铬	—	11	钢	硬铬	10±2	10±2	—
乳白铬	恶 劣	12	钢	乳白铬	11±2	11±2	3
	一 般	13			21±3	21±3	2