

TG 17
270
1

金属表面处理技术丛书

金属表面清洗技术

李 异 主编



化学工业出版社

·北 京·

序 言

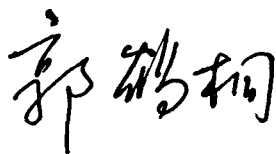
自古迄今，金属一直是人类生活、生产、甚至战争中不可或缺之重要材料。尽管近年来高分子材料异军突起，但也仅能有选择地部分取代之。金属材料的强度、硬度和使用温度等性能均优于高分子材料，其韧性又远在陶瓷等无机非金属材料之上。而且，它的不吸湿、尺寸稳定、不老化、导电、导热等一系列优异性能也绝非其他材料所能比拟。因此，金属应用范围之广，实属罕见。特别是在航天、原子能等高端领域更是离不开金属材料。

表面处理技术始终在为金属材料的保驾护航、增值添彩发挥着巨大的作用。一方面，它能显著降低金属（特别是钢铁）的腐蚀速度，为社会节约大量财富，并可通过装饰处理使之获得美丽的外观。另一方面，表面处理技术还能设法赋予金属各种与电、磁、光、声、化学、机械等有关的新功能。由于材料的功能多半都体现在其表面层上，因而有可能让一些低廉的贱金属材料经过表面处理而获得耐磨、减摩、磁化、导电、易焊接、化学催化等特殊功能，得以身价百倍。这就是说，金属表面处理技术既能为其他加工工艺提供平整清洁美观的表面，又能独立地形成具有重要使用价值的新型表层材料。它对社会发展所起的作用的确不容忽视。

金属表面处理技术涵盖面极广，涉及的学科也过多，而且这些学科彼此距离相当远，几乎没有谁能精通金属表面处理技术中的全部内容。此外，在实践过程中还会由新技术陆续不断地加入到此行列之中。不过，像这样一门庞杂而重要的综合性技术，在学术界却长期未能获得应有的关注。既然难以完整地组织出版包括金属表面处理技术全部内容的书籍，那么能够选择性地撰写部分有价值的题材，编纂为丛书出版，也诚属一难得之善举。

化学工业出版社组织编写的《金属表面处理技术丛书》各分

册，均有幸由在该领域多年、科技事业有成，且生产实践经验丰富的高水平专家学者执笔，实系一大盛事。相信这些理论上的可读性很强，而生产中之操作性又极佳的书，一定会受到广大读者的热烈欢迎。

A handwritten signature in black ink, reading '郭鹤桐' (Guo Heting). The characters are written in a fluid, cursive style.

2007 年 5 月于天津大学

前 言

金属清洗技术是表面技术及工程学科领域中的主要组成部分，它已扩展到表面工程技术以外的领域，并成为一门相对独立但又与许多专业技术部门密切相关的工艺技术，在各种工业生产过程中得到广泛应用，在国民经济及日常生活中也有重大的作用及经济价值。目前，金属表面清洗技术只在传统的电镀、涂装及表面工程技术有关的著作及技术资料中根据专业需要作简单的介绍，尚未有既适用于电镀、涂装行业，又对其他工业领域及需要应用的部门有引导借鉴作用的专著供工程技术人员参考。为了弥补这一缺陷，特编写此书，以适应目前工业建设形势和经济发展的需要。

本书在广泛收集国内外有关金属表面清洗，镀、涂层及污垢清除技术的著作、期刊论文及技术资料的基础上结合实践经验及体会编写而成。从实际应用出发叙述除油、除锈、除垢及退除金属镀层、非金属涂膜的原理、方法、溶液组成配方和操作工艺等，尽量列举应用实例及故障原因分析、排除方法等具体问题，并提出安全生产及采取环保、节能措施等当前特别重视的问题。此外也适当介绍了目前国外正在发展的二氧化碳清洗、激光除漆等先进技术。

本书在编写上力求理论联系实际，做到易懂实用、深入浅出、由表及里说明问题，希望能对广大从事表面处理技术行业，特别是从事金属表面清洗技术工作的有关人员有所帮助。

本书由华南理工大学李异主编、统稿并具体编写第一、二、四、五章，李建三具体编写第三、六章并负责全书的编校工作。张超玲、李咏梅、李桢参与了编校及资料的整理工作。

本书在编写过程中阅读、参考了国内外有关的技术著作及文

献资料，谨在此对原著及文献作者表示衷心的感谢及诚挚的敬意。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正，并提宝贵意见。

编者

2007 年 2 月于华南理工大学

目 录

第一章 概述	1
第一节 金属材料表面的污垢	1
一、金属表面的污垢	1
二、金属表面残留的各种膜层	4
三、金属表面残留的各种有机涂层	5
四、金属表面沉积的无机垢迹	5
第二节 金属表面清洗技术在材料加工领域中的作用	6
一、电镀、化学镀镀前的处理	6
二、金属材料表面涂装前的处理	8
三、金属表面清洁度对阳极氧化过程的影响	9
四、金属材料其他加工领域的预处理	11
第三节 金属表面清洗技术的类型	13
一、按清洗的原理分类	13
二、按清洗的方法及设备分类	14
三、按清除金属表面的污垢分类	21
四、按清洗物料的状况分类	30
五、金属表面清洗方法的选择与影响清洗质量的因素	33
第四节 金属表面清洗技术应用状况与发展趋势	37
一、目前清洗技术的应用状况	37
二、清洗技术的发展及趋势	40
第二章 金属表面除油	49
第一节 概述	49
一、金属表面除油的定义	49
二、油污的来源、性质和成分	49
三、金属表面除油的作用及意义	51

四、金属表面除油技术的现状及发展趋势	53
第二节 有机溶剂除油	54
一、有机溶剂除油的基本原理	54
二、有机溶剂除油的方法及设备	54
三、常用有机溶剂的种类及特点	59
四、影响有机溶剂除油效果的因素	65
五、溶剂除油的应用	67
第三节 化学和电化学除油	69
一、碱液除油	69
二、碱液除油的应用	83
三、酸液除油	89
四、酸性除油的应用	98
五、电化学除油	101
六、电化学除油的应用	107
七、表面活性剂与低温除油	112
八、表面活性剂除油的应用	121
第四节 物理-化学法除油	125
一、超声波强化除油	125
二、超声波强化除油方法的应用	129
三、二氧化碳除油清洗技术及其应用	132
第五节 机械和手工除油	138
一、滚筒除油	138
二、火焰燃烧法除油	141
第三章 金属表面除锈	143
第一节 概述	143
一、金属表面的锈	143
二、金属表面除锈的作用	145
三、金属表面除锈的常用方法	147
四、除锈常用的溶液及添加剂	149
五、金属表面除锈后防止再生锈	152

第二节 金属表面化学和电化学除锈	153
一、钢铁工件表面化学除锈	153
二、钢铁除油除锈的化学联合处理	163
三、其他金属的化学除锈	167
四、金属表面化学浸蚀和超声波联合除锈	183
五、金属表面的电化学除锈	192
第三节 金属表面的喷射式除锈	197
一、干法喷砂(丸)除锈	197
二、湿法喷砂除锈	219
三、抛丸除锈	221
四、高压水及其磨料射流除锈	228
五、自动喷射酸洗除锈	245
六、遥控自行式除锈	248
第四节 金属表面机械手工除锈	249
一、小型机械工具除锈的特点	249
二、小型机械工具除锈的设备	249
三、小型机械工具除锈的工艺及技巧	252
第四章 金属表面镀层膜层的退除及清洗	254
第一节 金属表面镀层的退除	254
一、金属表面镀层退除的意义及作用	254
二、镀层退除的方法及原理	255
三、镀层退镀液的配制及使用	263
第二节 金属表面单体金属镀层的退除	266
一、铜镀层的退除	266
二、镍镀层的退除	270
三、铬镀层的退除	272
四、锌镀层的退除	275
五、镀锡层的退除	277
六、金银镀层的退除	278
第三节 金属表面合金镀层的退除	283

一、铜-锡合金镀层的退除	283
二、锡-铅合金电镀层的退除	286
三、镍-铬镀层的退除	289
四、铅-锡-铜镀层的退除	291
五、金属表面化学镀层的退除	293
第四节 金属表面氧化膜的退除	298
一、铝及铝合金氧化膜的退除	298
二、镁、铜合金表面氧化膜的退除	300
三、普通不锈钢表面氧化膜的清除	301
四、耐热合金钢, 热处理不锈钢氧化皮的退除	307
第五章 金属表面非金属黏附物的清除	311
第一节 金属表面有机涂层的清除	311
一、有机涂料的成分和涂层	311
二、有机脱漆剂清除金属表面的漆膜	316
三、有机脱漆剂的选择与配方	319
四、有机脱漆剂清除漆膜的应用实例	322
五、化学溶液清除漆膜	326
六、国内脱漆剂产品及产品检测和标准	330
七、物理和机械除漆法	338
第二节 金属表面结垢的清除	344
一、概述	344
二、清除水垢的意义及方法	344
三、机械清洗除垢	346
四、化学除垢清洗	350
五、水垢的化学清洗实例	364
第三节 金属表面积炭的清除	367
一、表面积炭的来源	367
二、积炭的清除原理及方法	368
三、清除积炭的配方及工艺	369
四、积炭混合垢层的清除实例	369

第六章 金属表面清洗的质量控制及环保要求	371
第一节 金属表面除油效果的评定及检验标准	371
一、金属表面除油效果的评定	371
二、除油标准及检验方法	373
第二节 金属表面除锈的标准及检验方法	373
一、涂装前钢材表面的锈蚀等级和除锈等级	373
二、涂装前钢材表面准备（酸洗）	377
第三节 金属表面清洗中对环保的要求及措施	379
一、清洗过程中的主要环保问题	379
二、废气的处理	383
三、废水的处理	393
附录一 GB/T 13312—91 钢铁件涂装前除油程度检验	
方法（验油试纸法）	402
附录二 GB 8923—88 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈	
等级	406
附录三 GB 7692—1999 涂装作业安全规程 涂漆前处理	
工艺安全及其通风净化	412
参考文献	427

第一章 概 述

我国经济持续快速稳定地增长是和工业生产的快速发展分不开的。其中制造业是最重要的组成部分。据报道，我国已成为世界制造业大国之一。而现代技术制造出的产品质量和可靠性很大程度上取决于加工过程各个环节和严格措施。各种金属制品在表面处理加工中，清洗是非常重要的环节。表面清洗就是要从设备或零部件的表面清除对加工产品有害或不应带有的物质，如各种油污、锈迹、各种附着在表面的残留物等，以便保证产品表面的镀层、涂膜有足够的附着力和漂亮的外观。

随着科学技术的飞速发展及人民生活水平的日益提高，制造工业的产品也越来越复杂，质量要求也越来越高，特别在国防、航天航空、电子工业等特殊领域要求更高。这就对表面清洗技术和施工质量提出了更高、更严的要求，才能保证制造产品的质量和提高市场竞争能力。

金属表面清洗工艺和施工质量与许多因素有关，必须要全面配合，综合管理，在原有的各种清洗工艺方法上优化施工条件。强化清洗过程和表面预加工是改进加工质量、提高劳动生产力和降低成本的有效方法。同时，还要不断改进和创新清洗方法，提高清洗技术水平和管理水平。这是摆在从事清洗行业工作同仁们面前的一项重要和富有挑战性的艰巨任务。

第一节 金属材料表面的污垢

常用的金属加工材料有各种钢铁、不锈钢、铜及其合金、铝及其合金以及锌、镍等。

一、金属表面的污垢

等待处理的各种零部件或设备表面，由于在加工制造及贮存运输等环节中的需要会产生各种各样的残留物质（见表 1-1）。这些异

物在表面上的存在是多余的,对产品的进一步处理甚至是有害的,这些污物又称污垢。如在加工过程中会留下金属屑、磨料、毛边、毛刺,因加工而引入的微粒及加工场地环境污染所落下的尘埃等。这些污物与金属表面结合强度很弱,只要采用一些机械、手工或物理方法即可除去。但有许多和金属表面结合强度较高的污垢残留物,则清理难度较大,情况也比较复杂,必须有一套专门的清洗技术去处理才能彻底清洗,使金属表面达到后处理工序要求的洁净程度。

表 1-1 零件表面在金属加工过程中留下的污物

加 工 类 型			黏附的污垢
机 械 冷 加 工 过 程	切削加工		金属屑、锯屑、粉粒、粉尘、润滑冷却液
	粗磨		磨料粉尘、磨屑、润滑冷却液
	精磨、研磨、抛光		磨料、粉尘、油膏
	冷压加工(拔丝,拉伸,冲压)		石墨、油、脂、润滑冷却液
	冷轧加工		氧化皮、粉尘、润滑油
机 械 热 加 工 过 程	热处理	正火、退火、回火	氧化物、氧化皮、烟黑
		淬火	油脂、氧化皮、树脂
	熔焊	惰性气体中用不 涂药焊条	氧化物
		用涂药焊条	氧化皮、熔渣
	钎焊	软焊料	盐类、树脂
		硬焊料	焊药、焊渣、氧化皮
	铸造	压力铸造	氧化物
		非金属铸型	砂皮、氧化物
	热压力加工(锻、压、冲)		树脂、焦炭、熔渣、氧化皮
	热轧加工		粉尘、氧化皮
表 面 装 饰	化学氧化,阳极氧化		氧化膜
	电镀、化学镀		镀层、化学镀层
	涂装、喷漆		各种类型的漆、树脂
	搪瓷		珐琅
零 件 的 油 封、 库 存	油脂类防锈剂		油、脂、树脂
	无机类缓蚀防锈剂		氧化物
	有机类缓蚀阻化剂		氧化物、有机化合物

1. 金属表面的油渍

绝大多数的待处理金属部件的表面都存在有油渍、油污，这是因为在各种加工过程中都需要含油物料的配合。如零件切削、研磨及冷压加工的润滑冷却液，钢板冷轧过程用润滑油，热处理的淬火用油等。金属零部件加工出来后需要防锈油防锈，在仓库封存中要用油脂封装等也都与油脂接触。这些油污与金属表面的结合强度各不相同，有些油污较稀薄则结合程度中等，要清洗洁净较为简单容易；有些稠厚的油污比较复杂，它和表面的浮锈、铁屑、沙尘等结合对金属表面的附着力很强，很难清理，必须考虑多种方法，甚至多次清洗工序才能达到需要的清洁度。所以金属表面油污的清洗是金属表面处理中一道必经的工序，也是表面洁净的一道关键性的工序。

2. 金属表面的锈层

金属表面的锈层主要是指钢铁表面的锈，包括浮锈和厚锈层。锈来源于加工及放置过程。钢铁材料是活泼的金属材料，很容易和空气及环境介质中的氧结合生成氧化物。在机械的冷、热加工过程中，钢铁表面不断和氧接触，特别是在高温的情况下很快生成氧化铁，即铁锈。铁锈随钢铁材料种类不同，接触的环境介质以及铁锈生成的时间不同而有较大的差别，有灰暗色、黄褐色、褐色、棕色甚至灰黑色多种，成分可能是氧化亚铁 (FeO)、三氧化二铁 (Fe_2O_3)、四氧化三铁 (Fe_3O_4)、氢氧化铁 [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] 或者是它们的混合物。

一般来说加工过程中高温操作生成的锈较多，在较强的腐蚀环境中加工或存放时间长时，生成的锈层更厚更严重。所以金属制品特别是钢铁制品在电镀或涂装表面处理前都必须经过除锈。如果是刚加工出来的零件则表面仅存在薄锈，除锈清洗的方法较简单容易。存放时间很长或遭受过腐蚀介质侵蚀，表面的锈层较厚较严重，除锈比较困难复杂。因此，金属表面除锈是表面处理中一项重要的施工内容，也是金属表面清洗中的重要工序。

3. 金属表面的氧化皮

钢铁表面的氧化皮也是锈的一种，是氧化铁的另一种存在形式，它在钢铁表面是较厚的片状体，主要是在高温加工过程中生成的。例如钢板的热轧过程中由于在高温下氧化，生成了与钢铁表面结合牢固的氧化铁，同时有较厚的膜层，是一层具有化学结合力与金属表面结合强度极高的氧化膜层。在钢铁制件的热处理及焊接等高温操作过程中也同样产生氧化皮。由于氧化皮和本体金属表面的结合强度高，所以要彻底清除比较困难。一般采用酸浸渍使其松脱之后，再进行冲洗使其脱落，也有用机械冲刷或超声冲洗等方法。

二、金属表面残留的各种膜层

1. 金属表面镀层的退除

在电镀或化学镀进行的过程中，由于操作条件控制不好或出于某些原因，会出现不良的镀层，为了保证产品的质量，这些不良镀层产品必须返工退镀。另外某些金属镀件由于使用过程的磨损或其它原因损坏需要修理时，必须将旧镀层退除，然后重新电镀，去除镀膜一般采用化学方法为主。某些情况下，也可以采用电化学的方法或机械的方法退除。一些较薄的镀层用抛光甚至吹砂的方法也可以顺利去除。由于电化学的退镀方法比较复杂，要有专门的设备及退镀电解液。因此，镀层退镀力求简单易行。除非有特殊的需要或批量退镀时，可考虑电解退镀。

2. 金属表面的氧化膜

铝合金表面都有一层自然生成的氧化膜，但在加工或搬运过程中易受到损坏并污染，所以在表面处理中要首先除去。此外在铝合金阳极氧化操作过程中，由于操作条件控制不好，或是突发事故，致使某批量的铝合金成膜质量达不到要求，有时是在着色后，发现颜色不均匀，才知道是氧化膜质量不好。在这种情况下，需要把不良的氧化膜退除重新进行阳极氧化成膜。也有因为旧膜破坏而需要修理的零部件，要先将旧膜退除然后重新进行阳极氧化成膜。氧化

膜的退除主要用碱性溶液中浸渍退除，也可以用电化学方法处理。

三、金属表面残留的各种有机涂层

某些制品涂漆后表面出现鼓泡、起皮、长鳞片、开裂甚至腐蚀以致全面脱皮，需要彻底清除破坏的涂层，直至裸露出洁净的基体金属表面，并重新涂装。另外，当某些产品或部件涂装涂膜，发现其性能或外观不够理想，或发现有新的更好涂料可以代替时，产品换装需要清除不合适的涂层。某些零部件或设备在使用过程中受到磨损、冲击甚至破坏，或者涂层已老化甚至破裂需修理重新涂装时，表面的旧漆膜也必须彻底清除。漆膜的品种繁多，性能又有很大差异，所以退除的方法较复杂，工作量大，要根据具体情况而定，优选最简便又最经济的方法施工。

四、金属表面沉积的无机垢迹

许多金属设备及零部件在使用过程中经常与某些含碳、钙等无机介质接触。当长时间使用后，在表面上沉积有不同程度的钙质沉积层。例如，换热设备、水处理设备、蒸发器等表面经常有无机盐沉积物附着。同样某些零部件及设备在燃烧系统中工作时，其表面产生积炭的现象，这些表面的无机垢迹对机械运转及操作产生负面影响，所以要定期清除修理。根据以上所述，把金属表面污垢情况综合于表 1-2 内。

表 1-2 金属表面的污垢

污 垢 类 别	污垢与表面结合的性质与程度	污垢的具体物质	污垢物的来源
油污	机械或物理结合，强度为弱至中等	防锈油，润滑油，抛光脂，磨光膏、切削油，凡士林，密封油	机械加工过程，热轧，冷轧，压延加工，热处理
锈层	与表面化学结合，强度中等至强	各种浮锈，黄锈，棕锈，褐锈，黑锈，锈层	加工过程氧化，使用过程中介质的腐蚀，贮存及运输中氧化
氧化皮	与表面为化学结合，结合牢固，强度中至强	氧化皮，焊渣皮，热处理氧化皮	钢板热轧过程，热处理及淬火，铸造过程，焊接加工

续表

污垢类别	污垢与表面结合的性质与程度	污垢的具体物质	污垢物的来源
金属镀膜	与表面为化学结合,其强度为强	各种金属电镀膜层,化学镀层,刷镀层及热浸镀层	电镀加工,化学镀加工,刷镀、热浸镀等的不良膜层,零部件修复的旧镀层
阳极氧化膜	与表面为化学结合,强度为强	铝阳极氧化膜,不锈钢阳极氧化膜等	铝合金及不锈钢阳极氧化加工中的不良膜层,保护性能差的自然氧化膜
各种有机涂层	与表面为机械结合,强度为强	清漆,油漆,胶漆,各种树脂漆,密封胶,沥青漆等	涂装施工过程中的不良涂层,破旧涂层的修理
各种无机垢层	与表面为机械结合,强度中至强	各种钙沉积物,积炭,水泥块,搪瓷块	零件及设备使用过程中与介质接触沉积形成,在检修中清除

第二节 金属表面清洗技术在材料加工领域中的作用

一、电镀、化学镀镀前的处理

在电镀过程中,金属材料的基体或待镀零件的表面状况对电镀、化学镀的质量有重要影响,所以在镀前都必须对金属基体材料或零件表面进行认真处理,清洗可以提高镀层与基体材料之间的接触状况,提高镀层与基体之间的结合力,以获得良好的镀层结构和优良的覆盖能力。基体或零件镀前表面清洗与镀层质量的关系如下。

1. 镀件表面清洁度对镀层结构的影响

镀层是由晶体或晶粒组成的,晶粒的形状大小及排列决定着镀层结构的性质。它除了和镀液的组成有关外,也和镀件表面的接触有关。洁净的镀件表面和镀液有着良好的接触。镀件表面就会均匀细致地产生晶粒,并很快连成一片,获得均匀、致密的镀层。相反,若基体表面上存留有杂质、油污等,对镀层组织结构是极其有害的。如果残留物与非电解质黏附在基体表面或掺杂在镀层中,就

使镀层出现麻坑、麻点。如果这些残留物是电解质，就会形成结瘤等。镀层或镀层与金属基体间有杂质还可以形成腐蚀微观电池，从而降低镀层的防锈性能和耐腐蚀能力。此外，由于镀件表面的油锈被带进镀液中，严重污染镀槽中镀液，又进一步影响镀层质量及镀液寿命。

2. 镀件的表面清洁度和覆盖能力的关系

在电镀过程中，覆盖能力只是表明被镀零件的凹洼处和深孔部位有无镀层或被镀层覆盖，并不是指镀层厚度的问题。覆盖能力主要和镀件本身的材料有关。在同一镀液中，不同基体材料进行电沉积时，它们之间的覆盖能力差别较大。例如，铜、镍、黄铜和钢在镀铬溶液中进行电镀时，它们的覆盖能力依次递减。此外，覆盖能力与镀件的表面状态，特别是表面的清洁度有很大关系，相同的基体材料在相同的镀液中施镀时，光洁度好的基体表面上覆盖能力要比粗糙而不洁的基体表面好。原因是光洁的镀件表面其实际电流密度高，电流分布均匀，易于达到金属的析出电位。特别是镀件表面镀前处理不彻底，表面存在未除尽污渍、油膜或成相膜层等，将妨碍镀层在表面沉积导致镀层架在薄油膜上，或被局部绝缘，覆盖能力下降。

3. 镀件表面状况和镀层结合力的关系

镀层结合力是电镀层性能和质量好坏的重要指标，结合力强说明镀层附着在镀件表面的能力强，结合牢固，在使用过程中不会破裂或脱落。相反，如果镀件表面清洗不彻底、不干净，存在油污、锈蚀产物等，电镀层就不能直接与镀件表面的金属结合，并牢固地附着。日后将导致镀层起皮、鼓泡，镀膜破裂甚至剥落的情况发生。当然金属离子在镀件表面上，沉积还与其他因素有关。基体材料表面洁净度不是唯一的因素，但它却是很重要的因素。

实例：钨合金是难熔金属、耐高温材料，在工业领域中广泛应用，但在高温下易氧化。最好在其表面上电镀铬层。但合金表面氧化膜电阻大，如不清除很难得到良好的镀层。为此，首先在钨合金表面用细砂纸打磨，彻底去除其氧化膜，然后用去污粉擦洗除油，