

高等学校教学用书

金属表面防蚀处理

GAODENG

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

(京)新登字036号

图书在版编目(CIP)数据

金属表面防蚀处理/卢燕平编.-北京:冶金工业出版社, 1995.6

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-1610-2

I. 金... II. 卢... III. ①金属表面保护-高等学校-教材 ②金属-防腐-高等学校-教材 IV. TG174.4

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第12221号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编100009)

河北省阜城县印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版; 各地新华书店发行

1995年5月第1版, 1995年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16, 12.75印张, 297千字, 194页, 1-1500册

7.60元

前 言

本书是根据金属腐蚀与防护专业的必修课“金属防蚀学”的教学大纲要求，在北京科技大学1984及1989年讲义的基础上，经过教学实践，不断修改、更新和增补编写而成。本书既可作为高等工业学校腐蚀与防护专业的教科书，也可作为有关专业师生及各类工程技术人员学习腐蚀与防护知识的参考书。

本书着重阐述了各种表面防蚀工艺原理、方法、特点及应用，还介绍了现代新兴的有发展前景的各种新技术、新工艺。内容包括电镀、化学镀、渗镀、热浸镀、喷镀、真空蒸镀、真空溅射、离子镀、离子注入、化学气相沉积、化学转化处理、涂料、衬里以及相关的技术领域。其目的在于使读者对金属表面防蚀处理有一个比较完整、系统的知识，以便在今后研究和解决金属腐蚀与防护的理论和实践问题中，正确地选择和使用各种防蚀方法。

电化学保护和缓蚀剂，名义上虽然不直接属于表面防蚀处理这个范畴，但它们在改变金属-腐蚀介质界面性质、防止腐蚀的原理上，有类似之处，而从事腐蚀与防护工作的人也经常应用或关心这些防蚀技术，因此，在本书第8章中，根据实际需要作了概括性的叙述。

本书稿由北京化工学院腐蚀与防护研究室于福洲教授作了精心的审阅，并提出了宝贵的修改意见；屈祖玉副教授协助制图、整理及校对；在编写过程中，还得到系、教研室许多同志的支持和帮助，在此一并表示感谢。

鉴于作者水平和能力有限，编写时间仓促，对书中疏漏及谬误之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

1993年10月

1746.88 / 61

目 录

1 绪论	(1)
1.1 防腐蚀的重要性	(1)
1.2 防腐蚀的主要途径和方法.....	(1)
1.3 表面防蚀处理的内容和任务	(2)
2 金属表面的预处理	(4)
2.1 概述	(4)
2.2 除油	(4)
2.2.1 油污的种类	(4)
2.2.2 对除油剂的要求	(4)
2.2.3 除油剂的除油机理	(5)
2.2.4 物理因素在除油中的作用	(5)
2.2.5 溶剂除油	(6)
2.2.6 碱液除油	(7)
2.2.7 电解除油	(8)
2.2.8 除油液的管理	(10)
2.3 酸洗	(10)
2.3.1 金属表面的氧化产物	(10)
2.3.2 酸洗液的组分及作用	(11)
2.3.3 化学酸洗	(12)
2.3.4 电化学酸洗	(18)
2.3.5 酸洗除油一步法	(19)
2.4 机械处理.....	(20)
2.4.1 刷光	(20)
2.4.2 磨光和抛光	(20)
2.4.3 喷砂和喷丸	(21)
2.5 表面清洁度检验方法.....	(22)
3 电镀	(24)
3.1 概述.....	(24)
3.2 电镀基本原理	(24)
3.2.1 法拉第电解定律的应用	(24)
3.2.2 电镀溶液中基本成分的作用	(27)
3.2.3 金属的阴极沉积过程	(29)
3.2.4 影响镀层分布的因素	(36)
3.2.5 影响镀层结晶晶粒的因素	(39)
3.2.6 析氢对镀层的影响	(42)

3.2.7 阳极过程	(43)
3.3 常用金属电镀	(45)
3.3.1 镀锌	(45)
3.3.2 镀锡	(45)
3.3.3 镀铬	(46)
3.3.4 镀铜	(48)
3.3.5 镀镍	(48)
3.4 合金电镀	(49)
3.4.1 合金电镀基本原理	(49)
3.4.2 镀黄铜	(53)
3.4.3 镀铅锡合金	(54)
3.4.4 合金电镀的最新发展	(55)
3.5 化学镀	(56)
3.5.1 化学镀原理	(56)
3.5.2 化学镀镍	(58)
4 渗镀	(61)
4.1 概述	(61)
4.2 渗镀基本原理	(62)
4.2.1 渗层形成的条件	(62)
4.2.2 渗层的形成及其组织	(67)
4.2.3 渗镀速度	(70)
4.2.4 多元共渗的某些特点	(73)
4.3 渗锌	(77)
4.3.1 渗锌方法	(77)
4.3.2 渗锌层的性能及应用	(79)
4.4 渗铝	(80)
4.4.1 渗铝方法	(80)
4.4.2 渗铝层的性能及应用	(84)
4.5 渗铬	(86)
4.5.1 渗铬方法	(87)
4.5.2 渗铬层的性能及应用	(92)
4.6 二元和三元共渗	(95)
4.6.1 铬铝共渗	(95)
4.6.2 铝硅共渗	(97)
4.6.3 铬铝硅三元共渗	(97)
4.7 热浸镀	(98)
4.7.1 热浸镀及其特点	(98)
4.7.2 热镀锌	(99)
4.7.3 热镀铝	(101)
4.7.4 热镀铅	(102)
4.7.5 热镀锡	(103)

5 喷镀	(104)
5.1 概述.....	(104)
5.2 喷镀基本原理	(105)
5.2.1 喷镀材料的熔化	(105)
5.2.2 喷镀材料的雾化	(105)
5.2.3 涂层的形成	(106)
5.3 火焰喷镀和等离子喷镀.....	(111)
5.3.1 火焰喷镀	(111)
5.3.2 等离子喷镀	(112)
5.4 喷镀参数.....	(113)
5.4.1 火焰喷镀中的燃烧气体	(113)
5.4.2 等离子喷镀的热源	(114)
5.4.3 其他工艺因素	(115)
5.5 喷镀材料.....	(117)
5.5.1 纯金属及其合金	(117)
5.5.2 自熔合金	(118)
5.5.3 陶瓷材料	(119)
5.5.4 复合材料	(120)
5.6 喷镀的应用	(122)
5.6.1 在机械工业中的应用	(122)
5.6.2 在冶金工业中的应用	(123)
5.6.3 在航空工业中的应用	(124)
6 气相沉积	(126)
6.1 概述	(126)
6.2 真空蒸镀	(127)
6.2.1 真空的基本知识	(127)
6.2.2 饱和蒸气压	(128)
6.2.3 蒸发速率	(129)
6.2.4 真空蒸镀方法	(129)
6.3 真空溅射.....	(132)
6.3.1 溅射	(133)
6.3.2 溅射率	(133)
6.3.3 辉光放电	(134)
6.3.4 阴极溅射	(135)
6.3.5 磁控溅射	(136)
6.3.6 反应溅射	(137)
6.3.7 溅射镀膜的应用	(138)
6.4 离子镀.....	(138)
6.4.1 离子镀原理	(139)
6.4.2 离子镀方法	(140)
6.4.3 离子镀应用实例	(143)

6.5	离子注入	(144)
6.5.1	离子注入原理及特点	(144)
6.5.2	离子注入设备	(145)
6.5.3	离子注入材料改性的应用	(146)
6.6	化学气相沉积	(148)
6.6.1	化学气相沉积基本原理	(149)
6.6.2	常压和低压化学气相沉积	(149)
6.6.3	等离子和光激活化学气相沉积	(150)
6.6.4	化学气相沉积在保护涂层领域中的应用	(154)
7	化学转化处理	(157)
7.1	概述	(157)
7.2	铝及铝合金的阳极氧化	(157)
7.2.1	阳极氧化膜的形成机理	(157)
7.2.2	阳极氧化膜的性能	(159)
7.2.3	阳极氧化处理的方法	(160)
7.2.4	阳极氧化膜的染色和封闭	(163)
7.3	钢铁的化学氧化	(167)
7.3.1	化学氧化膜的形成机理	(167)
7.3.2	氧化膜的性能	(169)
7.3.3	影响氧化膜质量的因素	(169)
7.3.4	氧化处理工艺过程	(170)
7.4	金属的磷酸盐处理	(171)
7.4.1	磷化膜的形成机理	(171)
7.4.2	磷化膜的组成和结构	(172)
7.4.3	磷化膜的性能	(172)
7.4.4	影响磷化膜质量的因素	(173)
7.4.5	磷化工艺及方法	(174)
7.5	金属的铬酸盐处理	(176)
7.5.1	铬酸盐膜的形成过程	(176)
7.5.2	铬酸盐膜的组成和结构	(176)
7.5.3	铬酸盐膜的性能	(177)
7.5.4	影响铬酸盐膜质量的因素	(178)
7.5.5	铬酸盐处理工艺	(181)
8	其他防蚀方法	(183)
8.1	电化学保护	(183)
8.1.1	阴极保护	(183)
8.1.2	阳极保护	(186)
8.2	缓蚀剂	(187)
8.2.1	缓蚀剂的性能指标	(188)
8.2.2	缓蚀剂的缓蚀作用机理	(188)

8.2.3 缓蚀剂的应用	(189)
8.3 涂料.....	(190)
8.3.1 涂料的构成	(190)
8.3.2 常用防腐蚀涂料的种类及其性能	(191)
8.3.3 涂覆方法	(192)
8.4 衬里	(192)
8.4.1 橡胶衬里	(192)
8.4.2 玻璃钢衬里	(192)
8.4.3 搪瓷.....	(193)
主要参考书目	(194)

1 绪 论

1.1 防腐蚀的重要性

众所周知, 金属的腐蚀问题遍及国民经济的各个部门及人民生活的各个领域。腐蚀造成的损失是十分惊人的。全世界因腐蚀而损耗的金属每年达一亿吨以上, 占金属年产量的20%~30%。据工业发达国家的调查统计, 每年因腐蚀破坏造成的巨大经济损失占国民经济总产值的2%~4%。目前我国每年由于腐蚀造成的直接经济损失至少达五百亿元以上。

其实腐蚀所造成的损失与危害远不止是金属材料或制品本身的损坏。因腐蚀而增加的设备设计、制造、维修与保护的费用, 由于设备与管道的泄漏, 产品的污染, 局部乃至全局性的停产, 甚至发生灾难性的事故等, 所造成的损失与危害远远大于材料本身的价值。腐蚀还造成宝贵的资源与能源的浪费, 而且可能污染环境。但是专家们指出, 如果充分利用人类现有的腐蚀科学知识和防腐蚀技术, 有些事故是可以避免的, 在一定程度上腐蚀可以得到控制, 有四分之一的经济损失能够挽回, 这个数字是相当可观的。

尽管防腐蚀几乎对所有工业都是不可缺少的专门技术, 但是, 一直未能得到人们应有的重视。而今, 随着工业、农业与科学技术的发展, 人们对保护自然资源与能源, 净化地球环境逐渐有了深刻的认识。所以已有不少人认为, 防腐蚀已不是单纯的技术问题, 而是关系到保护资源, 节约能源, 节省材料, 保护环境, 保证正常生产和人身安全, 发展新技术等一系列重大的社会和经济问题。由此可见, 研究防腐蚀对策, 开发和应用现代防腐蚀新技术, 确是一件十分重要的任务。

1.2 防腐蚀的主要途径和方法

腐蚀是指包括材料(或构件)和环境介质两者在内的一个具有多相反应的体系。从这个意义来讲, 防止腐蚀(也称防蚀)可以从三方面着手, 一是控制材料本身, 二是控制环境, 三是控制界面。因此金属防腐蚀的途径主要有以下几种:

A 材料方面

- (1) 选择适合在腐蚀环境中工作的耐蚀材料;
- (2) 金属材料成分、组织的均质化;
- (3) 耐蚀合金的改良和开发;
- (4) 复合材料的研究和开发。

B 环境方面

- (1) 严格控制工艺条件;
- (2) 除去介质中有害成分;
- (3) 降低气体介质中的水分;
- (4) 调节介质的pH值;
- (5) 选择适宜的缓蚀剂;
- (6) 水质处理。

C 界面方面

- (1) 表面防蚀处理;
- (2) 电化学保护;
- (3) 电化学保护与涂料联合防蚀;
- (4) 电化学保护与缓蚀剂联合防蚀。

上述各种防蚀途径中, 表面防蚀处理在防蚀工程中应用最为广泛。本教材将讨论这方面内容, 其他防蚀技术可参考有关专著和手册。

总之, 金属防腐蚀技术是多种多样的, 它涉及的范围很广, 内容十分丰富。但对于一个具体的腐蚀体系, 究竟采用哪种防蚀措施, 应根据腐蚀原因、环境条件、各种措施的防蚀效果以及成本与经济效益等因素综合考虑, 不能一概而论。

1.3 表面防蚀处理的内容和任务

表面防蚀处理是指用各种方法在金属材料表面上施加保护层的总称, 它是涉及化学、物理学、冶金学、金属腐蚀学、材料学、机械工程学以及与许多应用科学的多学科性的技术科学。

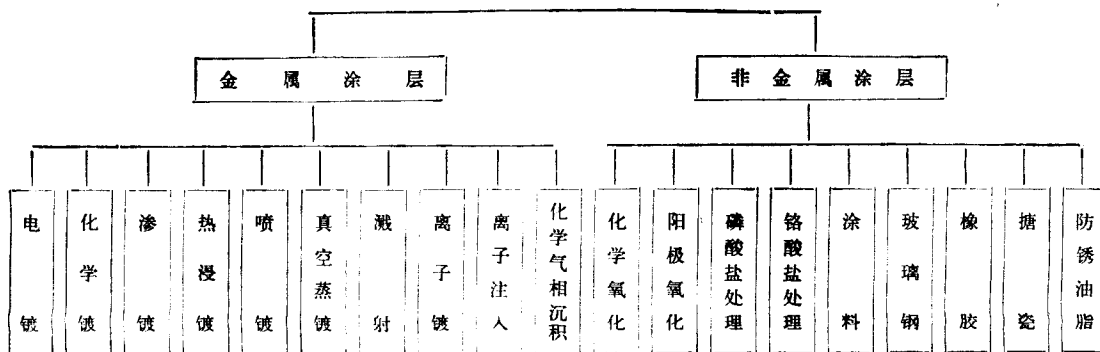
保护层的作用在于把材料与腐蚀性环境隔开, 以阻滞腐蚀过程的产生和发展, 达到减轻或防止腐蚀的目的。由于保护层材料的化学稳定性不同, 其防蚀作用机理也不相同, 可能是机械防护、化学防护或电化学防护, 或者是二者兼有之。

为了达到防蚀的目的, 保护层一般应该满足下列基本要求: (1) 耐蚀、高硬度、耐磨; (2) 结构紧密、完整、孔隙率小; (3) 与底层金属结合牢固, 粘结力好; (4) 分布均匀且有一定的厚度。

表面防蚀处理方法很多, 通常可分为金属涂层和非金属涂层两大类。

金属涂层是指用耐蚀性较强的金属或合金在容易腐蚀的金属表面上形成的保护层, 因此, 这种涂层又叫镀层。按照镀层与基体金属形成电偶时的极性又可分为阳极性镀层和阴极性镀层。在腐蚀介质中阳极性镀层的电位比基体金属更负, 例如钢上镀锌, 当锌镀层与基体构成腐蚀电池时, 锌将作为阳极溶解, 同时钢受到保护。镀层越厚, 保护作用越大。阴极性镀层的电位比基体金属更正, 如钢上镀铜、镍等。这类镀层的保护能力往往决定于它的孔隙率, 孔隙率越低, 保护作用越大。金属镀层的制造方法主要有电镀、化学镀、渗

表 1—1 表面防蚀处理方法的分类



镀、热浸镀、喷镀、物理气相沉积和化学气相沉积等。

非金属涂层是指用各种有机高分子材料——油漆涂料、玻璃钢、橡胶以及无机材料——陶瓷、化合物和珐琅等在金属设备或零件表面上形成的保护层。这类涂层起到了机械阻挡作用，能够把基体金属与环境介质完全隔开，防止基体因接触腐蚀介质而遭受腐蚀。

为了清楚起见，表面防蚀处理方法的分类可参见表 1—1。

以上都是在工业中获得应用的行之有效的表面防蚀方法，其中包括一些现代新兴的有发展前景的各种新技术、新工艺。但限于篇幅，本教材不打算过多涉及工艺过程本身，希望有需要的读者可以进一步阅读本书末所列的参考书。

本教材的目的是向学生和有关读者系统地介绍各种表面防蚀工艺原理、方法、特点及应用，以期对腐蚀与防护及其他相关专业的学生及广大腐蚀与防护工作者学习和运用现代表面防蚀技术，研究和解决金属腐蚀与防护的理论和实践问题有所裨益。

思 考 题

- (1) 用系统防护的观点，说明可能的金属防蚀途径和方法。
- (2) 涂层分哪几种？它为什么能起到防蚀作用？

2 金属表面的预处理

2.1 概述

通常, 金属及其制件经热加工、机械加工、热处理、表面加工, 以及在大气中贮存和运输过程中, 在其表面总会有各种脏物, 如油污、润滑剂、氧化皮、腐蚀产物、尘砂、油漆等, 或者存在改变了金属表面的形状及表面层的组织、结构。这些表面缺陷会严重影响涂镀层的致密性及与基体的结合强度, 甚至造成表面防蚀处理的失败。因此, 涂镀前, 首先必须把被污染的金属表面处理成清洁的表面或工业纯净的表面, 以获得适宜于涂覆物质和涂覆方法的基体金属表面。这是表面预处理的主要目的, 也是能否获得优质涂镀层的关键。

表面预处理的另一个目的是使涂镀前的金属表面达到所要求的粗糙度。例如涂漆或喷漆时, 需要表面粗糙些; 电镀零件则要求表面光滑。这样有利于得到高质量的涂镀层。

涂镀前金属表面预处理包括除油、酸洗和机械处理。

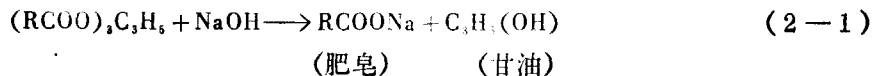
2.2 除油

从金属表面除掉油脂的过程称为脱脂, 习惯上叫做除油。脱脂剂又称除油剂。除油的主要方法有: 溶剂除油、碱液除油和电解除油。

2.2.1 油污的种类

油污按其化学性质可分为两大类: 皂化类和非皂化类。

所有植物和动物的油脂都属于皂化类, 它们都是甘油和高分子有机酸的酯类。这些油脂之所以称为皂化油, 是由于它们在碱的作用下能分解生成一种溶于水的脂肪酸盐——肥皂和甘油。化学反应式如下:



式中 R 代表各种脂肪酸的烃基。

这个反应称为皂化反应, 生成的肥皂和甘油溶于水, 即可被冲洗掉。

非皂化油脂是由不同成分的碳氢化合物的混合物所组成的矿物油, 如汽油、柴油、凡士林、各种润滑油等。这类油脂在碱的作用下不起化学分解反应, 因此称为非皂化油脂。但它们能在一定条件下与碱形成乳浊液, 也可以从金属表面除去。

2.2.2 对除油剂的要求

除油用的清洗剂应满足下列要求: (1) 对所除种类油污应有良好的脱脂能力, 而且成本低; (2) 对金属基材、挂具应无腐蚀作用, 使用安全、无毒; (3) 操作方便, 即易于用水洗净, 具有低的起泡性; (4) 对后续工序应无不良影响; (5) 便于进行废水处理, 不致引起公害。

现在市场上出售的除油剂, 还没有一种能够全部满足上述要求, 所以应该根据沾污油脂的性质和程度, 选择较合适的除油剂或是自己配制。例如附着的是动植物油脂, 则可以用碱

液清洗，因为苛性钠和碱性强的盐类都具有较强的皂化作用。若沾污的是矿物油，则可以采用适当的有机溶剂进行清洗，或者用含表面活性剂的碱液清洗。如果油污较严重，可以通过有机溶剂或乳化剂进行预脱脂之后，再进一步作脱脂处理。

2.2.3 除油剂的除油机理

除油时可以使用各种除油剂，它们的作用机理不尽相同。归纳起来，可以有以下几种：
皂化作用 指苛性钠和碱性强的盐类与油脂反应生成肥皂和甘油后溶于水而除去油脂的作用。皂化作用只能去掉动、植物油脂。

乳化作用 指将油脂变成微小的液滴散布在溶液中，成为乳浊液而除去油污的作用。矿物油等非皂化油，只有通过乳化作用才能除去。

润湿作用 指溶液渗入油脂中，并在金属表面扩散，以减少油脂对金属表面的附着，使之脱落。各种表面活性剂都具有良好的润湿作用。

分散作用 指将油脂从金属表面脱落之后，分散进入到溶液中的作用。除表面活性剂外，硅酸钠、磷酸钠等也有较好的分散作用。

溶解作用 是利用有机溶剂对油脂的溶解作用，把油污除去。

2.2.4 物理因素在除油中的作用

A 搅拌对除油的影响

溶液的对流、搅动和喷雾清洗时的冲击力，都能促使油污从工件表面脱落下来，可以使新鲜的除油液与表面接触，并加速油污在溶液中的分散过程，这些都可以使除油过程加快。

采用空气搅拌、机械搅拌和超声波清洗的方法，对于难以除油的形状复杂的零件是非常有效的。

B 温度对除油的影响

温度升高对于除油过程有促进作用。温度升高时，油脂变软，有利于除油剂的渗透和润湿作用，使油脂的界面张力减小，促进油污的脱落和分散。同时，温度升高还会使酯的水解速度加快，溶液的对流作用增强，这都有利于除油过程。因此传统的碱液除油过程都是在接近沸点的温度下进行。

但是，高温除油耗能较高，在能源日益紧张的今天，低温除油工艺愈来愈受到人们的重视。低温除油工艺对于表面活性剂的依赖程度是很大的，表面活性剂的浓度要高达1~3%。实践表明，非离子表面活性剂与阴极离子表面活性剂配合使用有增效作用。为了促进表面活性剂的溶解，往往还要加入亲水基团较多的表面活性剂（称为分散剂）。用这样的除油液可以在40℃左右甚至在室温下有效地除油。

C 电流对除油的影响

在通电的情况下进行除油，是一种很有效的除油方法——电解除油。

阴极除油时，工件表面带负电荷，靠溶液一侧带正电荷；阳极除油时，工件表面带正电荷，靠溶液一侧带负电荷。同种电荷相斥，使油膜与工件间的界面张力下降，有利于油污脱离表面，或者说带同号电荷的油污微粒相互排斥，促使它们从工件表面脱落下来。因而通电流能促进除油过程。

此外，在通电时，由于工件表面产生大量气体（氢气或氧气），这些气泡不仅对油膜有很强烈的撕裂作用，使油污变为油滴，而且很容易滞留在油滴表面，吸附在油与溶液之间，将油包围起来，随着析出气体的增多，气泡不断聚集长大而具有一定浮力，带动油滴漂到

溶液上方，从而加速了除油过程。

2.2.5 溶剂除油

溶剂除油是，借油脂溶于有机溶剂中以后随溶剂一起挥发而去掉油脂。它是溶解皂化和非皂化油脂的方法。由于有机溶剂只能溶解油脂，而不能溶解油污中的非有机物，因此，溶剂中的脏物在溶剂挥发后仍会残留在工件表面上。用溶剂除油后，还必须进行补充除油，如电化学除油，因为当溶剂挥发后，表面上会留下一层油膜。

A 溶剂

使用有机溶剂除油，溶剂应符合下列条件：（1）无易燃性；（2）无毒、无刺激性臭味；（3）不腐蚀金属材料或除油设备；（4）溶剂不分解、不变质；（5）溶解油脂能力强、粘度低、比热小。但事实上任何一种溶剂都难以满足上述全部条件。目前，生产中经常采用的有机溶剂有：汽油、煤油、甲苯等石油溶剂。其次是三氯乙烯、四氯乙烯（又称过氯乙烯）、1,1,1-三氯乙烷等氯代烃系溶剂及四氯化碳。

汽油和煤油等溶剂来源方便、价格便宜，溶解矿物油的能力较强且稳定、毒性小，是应用普遍、用量最大的有机溶剂。三氯乙烯不易燃烧、稳定、能溶解多数油脂、机油、蜡及焦油。它对大多数金属（铝、镁例外）无腐蚀作用，可以无危害地用于金属制品脱脂，但由于三氯乙烯有一定的毒性，必须遵照操作规程，在专门的除油设备中使用。

使用溶剂除油最大的优点是速度快、生产效率高，在使用除油设备的情况下溶剂消耗量少，因而成本并不高。但如果不使用除油机，则溶剂消耗量大，成本高且使用也不太安全。所以在这种情况下，应尽量不用或少用有机溶剂来除油。

B 除油方法与除油设备

除油的方法可以用布蘸有机溶剂擦拭金属工件表面，或者是使用“除油机”来进行。

除油机的结构形式有单槽式、多槽式，此外还有喷射式和附设有链式输送机的清洗装置。图2—1示出了常用的双槽式除油机。

双槽式除油机是敞口处装有冷却管的铁槽（最好内壁衬铅），溶剂受热时蒸发并在冷却管处冷凝，因而可避免蒸气弥散于空气中。又因蒸气比空气重，所以在溶剂液面和冷却管之间形成蒸气相。当粘附油污的工件置于这种蒸气的气氛中，蒸气在工件表面冷凝，起到溶解油污的作用。随后含有油污的溶剂落入槽的底部与剩余的溶剂混合，通过溶剂回收装置分离提纯后重新使用。除油时，将粘附油脂、污物的工件先在图2—1中左边清洗槽内进行预浸，然后用蒸气清洗（右边槽）。由于溶剂的挥发会危害人体的健康，所以除油机应安置在通风良好的地方。但必须注意，在设备附近禁止设置煤气燃烧器、电热器、火炉等易产生烟火和火焰的设施。因为泄漏的蒸气被烟火和火焰分解后，有产生盐酸蒸气和

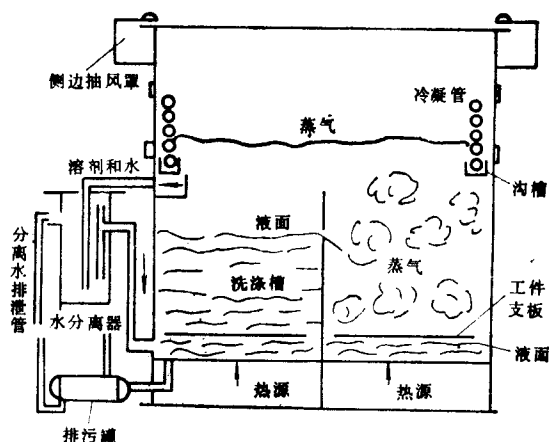


图2—1 双槽式除油机示意图

其它有毒气体的危险。

2.2.6 碱液除油

碱液除油是指用含有碱性化学试剂的溶液除去表面油污的方法。这种除油是借助碱和表面活性剂与油脂的皂化和乳化作用进行的。过去使用的碱性除油液是由苛性钠以及碱性盐组成的,为提高其脱脂能力,往碱液中加入一些表面活性剂。近年来由碱性盐、表面活性剂和防锈剂组成的除油剂应用得很广泛。

A 除油剂组分及作用

除油所使用的主要除油剂有以下几种:

氢氧化钠 碱性最强,皂化作用亦很大。它能和动植物油脂发生反应,使酯水解为可溶于水的肥皂和甘油。例如,除去硬脂时发生如下反应:



碳酸钠 无论是无水碳酸钠,还是含10个结晶水的碳酸钠,两者皂化作用均弱,但它们对溶液的 pH 值有良好的缓冲作用,对油脂层也有缓慢的润湿和分散作用。而对基体金属无明显腐蚀作用,因此清洗有色金属是比较合适的。

磷酸钠 除油液中常用的是十二水磷酸钠 ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)、偏磷酸钠 (NaPO_3) 和三聚磷酸钠 ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)。它们除具有碳酸钠的优点外,磷酸根还具有一定的乳化能力,并有很好的水洗性。此外,对硬水有软化作用。磷酸钠对铝、锌等金属没有显著的腐蚀作用。

硅酸钠 硅酸钠俗称水玻璃或泡花碱,它是由 Na_2O 和 SiO_2 化学结合而成。硅酸钠常在变更 $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ 的比值基础上分类。除油剂中常用的硅酸钠主要是正硅酸钠 ($2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、偏硅酸钠 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 和固体或液体的水玻璃 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。硅酸钠本身具有良好的表面活性作用,当与其他表面活性剂组合时,则是碱类中最好的润湿剂、乳化剂和分散剂。此外,正硅酸钠对强碱具有缓冲作用,对硬水有软化作用,偏硅酸钠还在有色金属(铜、锌、铝及其合金)的除油剂中被广泛地用作缓蚀剂。

应该指出的是,在用硅酸盐除油时,要注意游离的硅酸会残留在金属表面上,若水洗不彻底,则在酸洗过程中会变成不溶性的凝胶(硅胶)牢固地粘附于表面,严重地影响涂镀层的质量。

表面活性剂 它可促进乳化、分散作用,加快除油过程。这种物质分子中的亲油端(疏水端)被金属表面油污所吸附,同时分子中的亲水端与碱液中的水分子结合,从而提高了金属表面在溶液中的润湿性,使之充分地同碱液接触。另外,表面活性剂还可以降低油水的界面张力和油滴对金属表面的亲合力,从而促使油滴进入溶液。同时表面活性剂又被吸附在油滴表面形成胶体,使溶液中的油滴不会重新聚集,起到对油脂乳化、分散的作用。

除油剂中常用的表面活性剂有水玻璃、肥皂和烷基芳基聚乙二醇(OP 乳化剂)等。在 OP 乳化剂中, OP-7 和 OP-10 对钙盐和镁盐的敏感性很小,因此可以在硬水中使用。近年来国内生产的新型表面活性剂 6501 (十二烷基二乙醇酰胺)、6503 (十二烷基二乙醇酰胺磷酸酯)及 TX10 (聚氧乙烯辛烷基酚醚)等乳化效果更好。

B 碱液除油工艺条件

应根据油污状态和金属材料性质来选择适当的除油剂组成和使用条件。当表面粘附大

量油脂，即油层很厚，有滑腻和粘性感时，只用碱除油是不能轻易除净的，必须先用其它方法（如擦拭、溶剂除油等）进行处理。碱性除油液呈强碱性，与金属反应会发生腐蚀或过腐蚀，破坏了金属表面的颜色和光亮程度。因此有色金属及其合金（如铝、锌、锡、铅、铜等）除油应尽量在低温、使用氢氧化钠含量较低或者完全不含氢氧化钠的溶液进行。钢铁材料除油用较高的碱度处理一般来说是可以的，但碱的浓度过高，会使肥皂的溶解度和乳浊液的稳定性下降，反而降低了除油效果。通常，以5~10%氢氧化钠溶液或2~5%磷酸钠溶液为宜。

从节约能源方面考虑，除油温度要尽量低些，但降低温度与提高除油效率是相互矛盾的。温度越高，表面粘附的油脂与除油液的物理化学反应速度越快，除油也越容易。而低温除油效率较低，因此要往除油剂中加入乳化剂或表面活性剂。

从除油剂成本角度考虑，希望除油剂浓度低一些，但除油剂的除油效率就可能减少。为了提高低浓度除油剂的除油效率，就必须考虑采用某些物理效应，例如，用超声波振动或加表面活性剂等，强化除油过程，促使油污从零件表面脱落下来。

表 2—1 列出了普通常用的碱液除油配方及操作条件。

表 2—1 碱液除油配方及操作条件

溶液成分 (g/L)	金 属 材 料							
	钢 铁			铜铜合金		铝和铝合金		锌 和 锌 合金
	1	2	3	1	2	1	2	
氢氧化钠	50~80	30	10~30	5~10				
碳酸钠	15~20	50		35~40	10~20			10~20
磷酸钠	15~20	70		40~60	10~20	40	10~30	10~20
硅酸钠	5		30~50		5~10	10~15	3~5	10~20
OP乳化剂	1~2	3~5	3~5	2~3	2~3	—	2~3	2~3
温度 (°C)	90~100	70~100	70~100	70~80	70	65~85	50~60	50~60

工件经碱液除油后，为了充分去掉其表面形成的肥皂和乳浊液，应当用70~90℃的热水洗，然后用冷水冲洗。

使用碱液除油的优点是，成本低、无毒、不会燃烧，而缺点是生产效率比较低（除油时间长）。

2.2.7 电解除油

电解除油是在碱性除油液中通直流电，把工件作为阴极或阳极，进行短时间电解除油的方法。

电解除油时，除了利用碱洗除油的皂化和乳化作用外，还由于电极表面的极化作用，降低了金属表面与溶液的界面张力，并借助于电极上所产生的大量气泡对油膜的迅速撕裂，使油污转变成细小的油珠而被除掉。同时，从金属表面逸出的气泡对溶液还会起到强烈的机械搅拌作用，进一步加速了除油过程。

A 电解除油的方法

电解除油、分为阴极除油、阳极除油和阴、阳极交替除油。

阴极除油是将工件作为阴极，阳极一般由不溶性电极材料制成（如铅板、镍板或镀镍

钢板)。除油时,在阴极表面发生还原反应,并析出氢气:



阳极除油是将工件作为阳极,阴极可以使用钢板。除油时,在阳极表面发生氧化反应,并析出氧气:



阴极除油和阳极除油具有不同的特点。

阴极除油的特点是:析出的气体为氢气,气泡小,数量多,面积大。因而除油效率高,不腐蚀工件。但易产生氢脆,零件表面上有黑色挂灰。实际生产中,对于弹性大、强度高的弹簧零件和薄壁零件,为保证其机械强度,一般都不用阴极除油,而仅用阳极除油。

阳极除油的特点是:析出的气体为氧气,气泡大,数量少,随着氧气的析出,阳极附近的溶液 pH 值下降,降低了油脂的皂化反应速度。同时,由于氧气泡使油滴与金属表面分离的能力不如氢气泡所起的作用强,所以除油效率比阴极低。阳极除油时,由于析出氧气,零件表面生成浅黄色的氧化膜。又因阳极具有溶解性,对金属有腐蚀作用,所以锌、锡、铜及其合金不宜用阳极除油。

为了解决阴极除油产生氢脆,析出杂质的缺点和阳极除油零件被溶解的问题,在实际应用中,经常采用阴、阳极交替除油的方法,即先用阴极除油,再转为短时间阳极除油,或先用阳极除油,再转为阴极除油,其除油效果较好。

目前,钢带和钢丝连续生产中所采用的无触点阴阳极交替电解除油新工艺,则是上述交替除油法的一个发展。这种工艺的原理是利用电化学双性电极现象。通过电极分段放置并分别接电源负极和正极而成为阴极和阳极。钢带或钢丝不接电源,它在通过各段极板之间时,分别成为阳极和阴极(即作为各段极板的相对极性电极)。此时,钢带或钢丝上的电极过程及作用分别相当于阳极除油和阴极除油过程。

无触点阴阳极交替电解法除具有阴、阳极交替除油法的特点外,它还具有除油速度快、生产效率高的优点。

B 电解除油工艺条件

与碱液除油相比,电解除油主要是依靠电极极化作用及电极上析出气体的机械搅拌和剥离作用,所以电解除油剂的氢氧化钠含量应适当降低,表面活性剂也不是必要的成分。

表 2-2 电解除油配方及操作条件

溶液成分 (g/L)		金 属 材 料				
		钢 铁		铜和铜合金	铝和铝合金	
		1	2		1	2
氢氧化钠		10~15	20~50	10~20		
碳酸钠		20~30	30~50	20~30	15~30	5~10
磷酸钠		50~70	20~30		20~30	10~20
硅酸钠		5~10	3~5	5~10		5~10
操作 条件	温度(°C)	70~90	60~90	50~80	50~70	40~50
	电流密度(A/dm ²)	10~15	5~10	6~12	3~5	5~7
	时间 (min)	15~20		0.5	2~3	0.5
	作为阴极 作为阳极		5~10			