



国际制造业先进技术译丛

WILEY

热浸镀锌手册

Handbook of Hot-dip Galvanizing

[德] 彼得·梅斯 (Peter Maass) 著
彼得·派斯克 (Peter Peissker) 著
王胜民 译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际制造业先进技术译丛

热浸镀锌手册

[德] 彼得·梅斯 (Peter Maass) 著
彼得·派斯克 (Peter Peissker)
王胜民 译



机械工业出版社

Copyright © 2011 WILEY – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
Boschstr. 12, 69469 Weinheim.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Handbook of Hot – dip Galvanizing, ISBN 978 – 3 – 527 – 32324 – 1, by Peter Maass and Peter Peissker, Published by John Wiley & Sons . No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

版权所有，侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记图字：01 – 2013 – 7264 号

图书在版编目 (CIP) 数据

热浸镀锌手册 / (德) 梅斯 (Maass, P.), (德) 派斯克 (Peissker, P.) 著; 王胜民译. —北京: 机械工业出版社, 2015.9

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文: Handbook of hot-dip galvanizing

ISBN 978 – 7 – 111 – 51387 – 2

I .①热… II .①梅…②派…③王… III .①热浸镀锌 – 手册
IV .①TQ153.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 206428 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 陈保华 责任编辑: 陈保华 李 超

版式设计: 霍永明 责任校对: 樊钟英

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 21.75 印张 · 447 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 – 7 – 111 – 51387 – 2

定价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010 – 88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010 – 68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010 – 88379203

金书网: www.golden-book.com

策 划 编 辑: 010 – 88379734

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

本书以生产实践为基础，以目前欧洲热浸镀锌的技术现状和发展趋势为导向，系统全面地介绍了热浸镀锌技术。本书主要内容包括：腐蚀与防护、热浸镀锌的发展历史、表面预处理、热浸镀锌工艺原理、热浸镀锌工艺及设备、热浸镀锌厂的环境保护和职业安全、热浸镀锌工件的设计和制造、热浸镀锌企业的质量管理、镀锌层的腐蚀行为、热浸镀锌+涂装双重体系、热浸镀锌的经济效益、应用实例、热浸镀锌及镀锌层的缺陷。本书从工艺技术的环境友好型要求和先进性角度介绍了一些可实践的表面预处理方法、机械化或自动化的批量热浸镀锌生产线及车间布局，并基于未来防腐需求的角度考虑，介绍了热浸镀锌+涂装双重体系。本书内容实用性强，可供从事热浸镀锌的工程技术人员和操作者使用，也可供相关专业在校师生和研究人员参考。

译 丛 序

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是在 20 世纪 80 年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术的交叉、融合和集成。先进制造技术应用于产品全生命周期的整个制造过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，可实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术方面主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式方面主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术的应用情况等。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更远一些，唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式，早在 20 世纪初期，我国清代学者严复就翻译

了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，虽然现在已有网络通信、计算机等信息传输和储存手段，但图书仍将因其具有严谨性、系统性、广泛性、适应性、持久性和经济性而长期存在。纸质图书有更好的阅读优势，可满足不同层次读者的阅读习惯，同时它具有长期的参考价值和收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，翻译的质量也是个关键问题，需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献，为我国的制造业科技人员引进、吸纳国外先进制造技术的出版资源，翻译出版国际上优秀的先进制造技术著作，从而提升我国制造业的自主创新能力，引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选译严谨质高面广

(1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书，在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量，力求为读者奉献一套高品质的丛书。

(2) 专家选译把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担，充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

(3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书，组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

(4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性，应能代表相关专业的技术前沿，对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业，如机械、材料、能源等，既包括对传统技术的改进，又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

(5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员，高等院校的教师和学生，可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多热心支持“国际制造业先进技术译丛”出版工作的专家学者，他们积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切的敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的学习与工作提供切实的帮助，希望广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

译者序

锌是用途最广泛的金属之一，其最重要的应用就是保护钢铁材料免受腐蚀。到目前为止，热浸镀锌法仍是钢材户外防腐中最经济、有效的工艺方法。热浸镀锌技术自首次应用至今已有170多年的历史，多年来该行业的各国从业者和技术人员做了大量的研究和实践工作，取得了众多技术成果，促进了热浸镀锌技术的进步和发展。

《热浸镀锌手册》一书德文版第1版于1970年出版，德文版第2版于1993年出版，德文版第3版于2007年出版，德文版第3版的英文翻译版于2011年出版。本书的历次出版发行均取得了出乎预料的效果。现在看来，这主要是归功于本书内容的全面性、完整性、系统性和实用性，使得其成为热浸镀锌行业的重要参考资料。《热浸镀锌手册》第3版由德国Peter Maass博士领衔编写，他是德国资深的防腐工程师，他主编的本书第3版一度成为德国职业培训的参考标准。

无论是从生产量，还是从业人员的数量考虑，我国是当之无愧的热浸镀锌大国。虽然热浸镀锌技术自首次应用至今已有170多年的历史，但在我国，热浸镀锌技术留给我们的印象仍是脏、乱、差和污染严重。一次偶然的机会我接触到《热浸镀锌手册》第3版原版书，书中内容的全面性、完整性、工艺及设备的先进性、职业安全和环境保护的前瞻性等深深地吸引了我。通读全书之后，我一直思索，此书如能翻译成中文在国内发行，将对我国批量热浸镀锌技术的良性发展起到重要的推动作用。鉴于此，我决心将其翻译成中文，翻译过程中得到了机械工业出版社的大力支持。

本书中，作者从热浸镀锌的发展历程、镀锌层的腐蚀机理、热浸镀锌工件的预处理、镀锌层的形成过程、热浸镀锌的工艺设备及车间布局、热浸镀锌工件的设计和制造、热浸镀锌层的后续涂装、热浸镀锌生产的职业安全和环境保护、热浸镀锌技术的质量管理、热浸镀锌的经济效益分析、热浸镀锌技术的应用及相关标准等全面地介绍了热浸镀锌技术。其中从工艺技术的环境友好型要求和先进性角度介绍了一些可实践的表面预处理方法、机械化或自动化的批量热浸镀锌生产线及车间布局，并基于未来防腐的需求角度考虑，介绍了热浸镀锌+涂装双重体系。本书的各章节内容以生产实践为基础，全书内容以目前欧洲热浸镀锌的技术现状和发展趋势为导向，内容实践性强、应用性强。

本书全部章节内容由王胜民翻译，王胜民负责了译文全稿的校审和修改。刘华伟、刘金刚、郭怀才承担了第11~13章的部分初译工作，在此表示衷心的感谢。此外，还要衷心地感谢袁天琴女士，她在翻译和文字处理过程中给予了支持和帮助。在翻

译时，基于实践考虑将《热浸镀锌手册》英文版的附录 B、C、D 内容和全书索引省略。

热浸镀锌是钢铁材料防腐的最有效方法，在全球对资源、能源和环境高度关注的今天，我们衷心地希望《热浸镀锌手册》的中文版对热浸镀锌行业的从业者和企业的决策者有积极的意义，同时能够促进热浸镀锌行业的良性发展。

王胜民

英文版致谢

出版商真心感谢美国热镀锌协会 (AGA) 执行主席 Philip G. Rahrig 先生、美国 Voigt & Schweitzer 公司前总裁 Werner Niehaus 先生、美国 Horsehead 集团公司的 Barry P. Dugan 先生, 感谢他们对翻译内容的校订。

德文版第3版前言

自1993年德文版《热浸镀锌手册》第2版出版以来已有一段时间，对其进行修订并出版第3版成为必要。在第3版出版之际，我们衷心感谢本书的所有作者，包括一些新作者。

与第2版相比，在对第3版进行修订时做了以下的更改和补充：

1) 采用了最新版本在欧洲和国际标准，尤其是采用了最新的 DIN EN ISO 1461。

2) 在表面预处理章节中，基于环境友好型要求的发展趋势补充了新技术内容。

3) 基于德累斯顿腐蚀保护研究所和莱比锡钢结构工程研究所的研究结果，以全新的基础解释了镀锌层的形成过程，并包含了高温镀锌的相关内容。

4) 对符合热浸镀锌要求以及职业安全和管理的质量管理的工艺装备、设计、制造章节的内容进行了更新。

5) 在热浸镀锌的后处理部分补充了粉末涂层及其商业的重要性。

6) 所有的章节都考虑了扩大热浸镀锌产品的应用范围，如应用于车架。

7) 政府部门、行业协会和金属工人产业协会之间历经八年的激烈讨论，最终决定于2005年8月起将热浸镀锌作为一个整体划归为表面涂镀专业。所以，德国在第一时间成立了热浸镀锌专家认证协会。

我们希望德文版《热浸镀锌手册》第3版能继续满足专业人士的需求，并对热浸镀锌企业起到有益的参考作用。

欢迎广大读者对本书内容批评指正，我们将不胜感激。最后，我们衷心地感谢 Wiley - VCH 出版公司，尤其是 Ottmar 博士和 Münz 博士对本书的修订与出版工作给予很大的鼓舞和支持，并仔细地承担了一些编辑工作。

Leipzig, 2007 年 12 月

Peter Maaß

Peter Peißker

德文版第 2 版前言

1742 年法国化学家 Paul Jacques Malouin 发明了热浸镀锌工艺，但直到 1836 年法国工程师 Stanislas Sorel 申请专利授权并实施后，热浸镀锌技术才首次应用于实践。几十年来，在冶炼和化学工程师的共同努力下，热浸镀锌工艺已发展成为高效的、现代化的工业技术。

结构工程的日益增加及其广泛应用，以及腐蚀防护领域的低维护或无维护成本要求，推动了热浸镀锌技术的发展和装备进步。

有关热浸镀锌技术的主要基础理论在 1941 年出版的 Bablik 教授（热镀锌工艺技术的知名专家）的经典著作《热浸镀锌》中已经详述。《热浸镀锌手册》一书的德文第 1 版由本文作者编写并于 1970 年出版，在第 2 版中将致力于让读者和从业者更多地了解热浸镀锌技术的发展历史和技术进展，希望有助于促进它的实践应用。

因为腐蚀是由环境的影响而引起的，所以腐蚀及其防护尤其是热浸镀锌技术，目前已成为产品质量管理和环境保护的一个组成部分。热浸镀锌技术作为抑制和防止腐蚀的最佳选择，它的主要作用是：

- 1) 保护自然资源。
- 2) 节约成本。
- 3) 提高生活质量。
- 4) 提高安全性。

一些参考书籍在过去可能是由单独的作者独立撰写的，但考虑到热浸镀锌工艺、设备的复杂性，本书由不同学科领域的专家共同撰写完成。欢迎广大读者对本书内容批评指正，我们将不胜感激。最后，我们衷心地感谢给予我们各方面帮助的出版商。

Leipzig, 1993 年 7 月

Peter Maaß

Peter Peißker

目 录

译丛序

译者序

英文版致谢

德文版第3版前言

德文版第2版前言

第1章 腐蚀与防护	1
1.1 腐蚀	1
1.1.1 腐蚀的原因	1
1.1.2 腐蚀的类型	2
1.1.3 腐蚀现象	2
1.1.4 腐蚀环境	2
1.2 防腐蚀	5
1.2.1 方法	5
1.2.2 商业意义	12
1.2.3 腐蚀防护和环境保护	13
1.3 钢结构腐蚀防护的基本标准	13
第2章 热浸镀锌的发展历史	15
参考文献	20
第3章 表面预处理	22
3.1 交付状态	23
3.1.1 基体材料	23
3.1.2 表面精整	23
3.1.3 钢的表面粗糙度	27
3.2 机械表面清理方法	27
3.2.1 喷砂(或喷丸)处理	27
3.2.2 滚筒抛光清理	28
3.3 化学清洗与脱脂	29
3.3.1 碱液清洗剂	31
3.3.2 生物清洗	37
3.3.3 酸洗脱脂	38

3.3.4 其他清洗方法	40
3.4 工件的漂洗	40
3.4.1 残留液	41
3.4.2 漂洗过程的计算	42
3.4.3 漂洗水的再循环利用	44
3.5 酸洗	45
3.5.1 基体材料及表面状态	46
3.5.2 盐酸酸洗	48
3.5.3 铸件的预处理	63
3.5.4 脱锌	64
3.6 热浸镀锌的助镀剂	65
3.6.1 $ZnCl_2$ 、 NH_4Cl 复盐助镀剂	65
3.6.2 $ZnCl_2$ 、 $NaCl$ 、 KCl 复盐助镀剂	67
3.6.3 助镀剂残留	67
参考文献	68
第4章 热浸镀锌工艺原理	74
4.1 工艺的区别	74
4.1.1 带钢或钢丝的连续镀锌	74
4.1.2 批量镀锌	76
4.1.3 特殊的工艺	79
4.2 435 ~ 620℃ 区间热浸镀锌层的形成	79
4.2.1 基本概述	79
4.2.2 锌浴温度和浸镀时间对镀层厚度的影响	82
4.2.3 钢的热处理对镀锌（镀层生长）的影响	85
4.2.4 530℃ 以上的高温镀锌	87
4.2.5 镀层的结构分析	87
4.2.6 形层的整体理论	92
4.2.7 锌浴中合金元素对镀层形成的影响	94
4.3 液态金属致脆性（LME）	97
参考文献	98
第5章 热浸镀锌工艺及设备	101
5.1 初步规划	101
5.1.1 初步研究	101
5.1.2 细化设计	101
5.1.3 报批的申请文件	101
5.2 车间布局	102

5.2.1	直线式布局	102
5.2.2	U形布局	102
5.2.3	操作空间	106
5.2.4	挂架、挂具、辅助装置	107
5.2.5	自动化批量热浸镀锌车间	110
5.3	预处理车间	111
5.3.1	预处理单元	111
5.3.2	酸洗间	111
5.3.3	预处理槽的供热	113
5.3.4	处理液槽罩盖	115
5.4	干燥炉	115
5.5	热浸镀锌炉	117
5.5.1	浸入式燃烧器（用于锌或锌-铝合金的陶瓷锅加热）	117
5.5.2	循环加热的热浸镀锌炉	118
5.5.3	表面加热的热浸镀锌炉	118
5.5.4	脉冲燃烧器加热的热浸镀锌炉	118
5.5.5	感应加热的热浸镀锌炉	119
5.5.6	电阻加热的热浸镀锌炉	119
5.5.7	通道感应加热的热浸镀锌炉	121
5.5.8	服务规划（锌锅）	121
5.6	锌锅	124
5.7	锌浴罩	124
5.7.1	固定式横向布置的锌浴罩	125
5.7.2	横向布置的锌浴罩（通过行车移动）	126
5.7.3	纵向布置的锌浴罩	127
5.8	后处理	127
5.9	卸载区	128
5.10	挂具返回系统	128
5.11	起重单元	128
5.11.1	热浸镀锌用起吊系统的调整、维护	129
5.11.2	设备概述	129
5.12	过滤设备	131
5.13	小件半自动化热浸镀锌生产线	133
5.14	采用陶瓷锅的热浸镀锌炉	133
5.15	用于小件的自动化热浸镀锌生产线	135
5.15.1	高精度螺栓的全自动热浸镀锌生产线	135

5.15.2 自动化机器人离心处理的小件热浸镀锌生产线	137
5.16 管材热浸镀锌生产线	138
5.17 振动器的应用	138
5.18 能量平衡	140
5.19 锌锅的运行、停止、更换和操作方法	141
5.19.1 锌锅和镀锌炉	141
5.19.2 锌锅的运行	142
5.19.3 最佳的操作	143
5.19.4 高效率的能耗和锌锅的服役寿命	144
5.19.5 停工	145
5.19.6 锌锅的失效	146
参考文献	146
第6章 热浸镀锌厂的环境保护和职业安全	147
6.1 控制大气污染的规则和方法	147
6.1.1 规则	147
6.1.2 批准	148
6.2 热浸镀锌企业的通风设备	149
6.3 测量系统	168
6.3.1 排放的检测	168
6.3.2 工作区的检测	168
6.3.3 趋势测量	168
6.4 废弃物和残留物	168
6.4.1 一般注意事项	168
6.4.2 脱脂工序产生的含油废弃物、残留物	170
6.4.3 酸洗废液	170
6.4.4 废助镀液、助镀液处理残留物	171
6.4.5 浸镀过程中产生的废弃物或残留物	171
6.4.6 其他废弃物或残留物	172
6.5 噪声	172
6.5.1 一般注意事项	172
6.5.2 热浸镀锌厂的噪声防护	174
6.6 职业安全	174
6.6.1 一般注意事项	174
6.6.2 热浸镀锌厂的配备	176
6.6.3 操作规程、通用规程	178
6.6.4 个人防护装置	178

6.6.5	个人行为规则	178
6.6.6	有害物质的处理	181
6.6.7	工作场所的安全标志	182
6.6.8	法人代表的环境和劳动保护责任	182
6.7	环境保护的实际措施	184
	参考文献	187
第7章	热浸镀锌工件的设计和制造	191
7.1	一般注意事项	191
7.2	基体材料的表面质量要求	192
7.2.1	一般注意事项	192
7.2.2	不同类覆盖层的去除	192
7.2.3	表面粗糙度	194
7.2.4	壳层、鳞片、折叠层	194
7.3	待镀件的尺寸和重量	195
7.3.1	一般注意事项	195
7.3.2	锌锅尺寸、待镀件单件重量	195
7.3.3	体积庞大件、大尺寸件	196
7.3.4	悬挂	197
7.4	容器和管类结构件（中空件）	197
7.4.1	一般注意事项	197
7.4.2	管类构件	198
7.4.3	管件和容器类构件的外表面镀锌	199
7.4.4	容器	199
7.5	钢结构件	200
7.5.1	基材、基材厚度、应力	200
7.5.2	表面准备	201
7.5.3	搭接	201
7.5.4	自由孔和流孔	202
7.6	钢板和钢丝	203
7.6.1	钢板制品	203
7.6.2	钢丝制品	205
7.7	热浸镀锌钢构件半成品	205
7.7.1	要求	206
7.7.2	处理	207
7.8	扭曲和裂纹的避免	207
7.8.1	协调性	207

7.8.2 预防和补救	208
7.8.3 减小大型钢构件的扭曲和开裂	209
7.9 热浸镀锌前后的焊接	211
7.9.1 热浸镀锌之前的焊接	211
7.9.2 热浸镀锌之后的焊接	213
7.10 小件的热浸镀锌	215
7.10.1 方法	215
7.10.2 哪些零件是小件	216
7.10.3 外观和表面质量	216
7.10.4 产品	216
7.11 镀件的返工和镀锌层的修补	217
7.11.1 锌瘤、流痕	217
7.11.2 螺栓和铰链	218
7.11.3 缺陷和损伤	218
7.12 铸件的热浸镀锌	219
7.13 不镀锌部位的防护	220
7.14 标准和指南	221
7.14.1 DIN EN ISO 1461 及其补充 1 (注释)	221
7.14.2 DIN EN ISO 14713	223
7.14.3 其他标准	223
7.15 缺陷及其避免	224
7.15.1 外部锈蚀	224
7.15.2 磨削火花	224
7.15.3 工件的开裂	225
7.15.4 钢基体表面的杂质层	226
7.15.5 热影响	226
7.15.6 矫正时发生的损坏	226
7.15.7 夹杂空气造成的镀锌层缺陷	227
7.15.8 未进行防腐处理的紧固件	227
参考文献	228
第 8 章 热浸镀锌企业的质量管理	230
8.1 质量管理的必要性	230
8.2 重要的标准	231
8.3 按 DIN EN ISO 9001/2000 规定的 QM 体系结构	233
8.4 QM 要素第 4~8 部分的简单描述	233
8.4.1 文件要求 (第 4 部分)	233