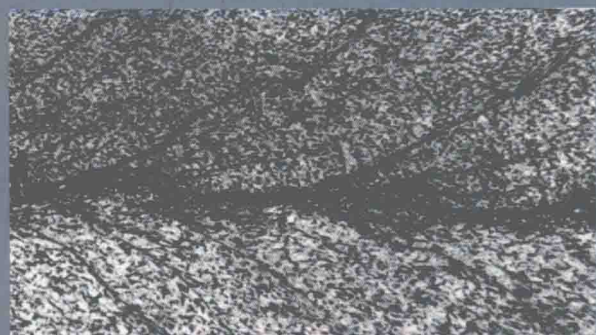
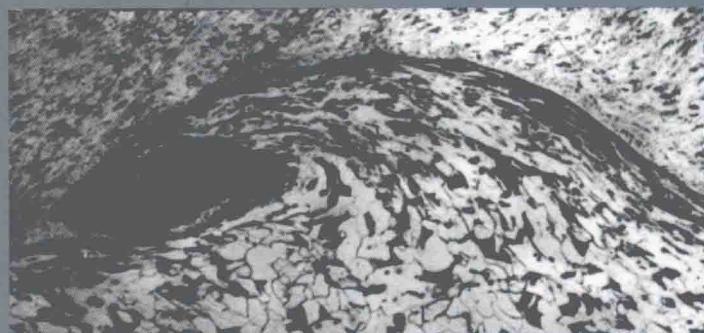


爆炸焊接和爆炸复合材料

Explosive Welding and
Explosive Composite Material

郑远谋 著

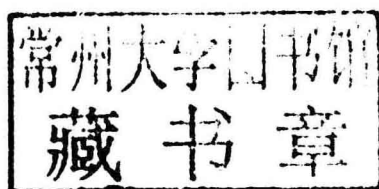


国防工业出版社
National Defense Industry Press

爆炸焊接和爆炸复合材料

左铁镛 题

郑远谋 著



(本页书名由全国政协常委、中国工程院院士, 中国科协副主席、北京工业大学校长左铁镛教授题写)

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

爆炸焊接和爆炸复合材料/郑远谋著. —北京:
国防工业出版社, 2017. 4
ISBN 978 - 7 - 118 - 10723 - 4

I. ①爆… II. ①郑… III. ①爆炸焊 ②爆炸复
合—复合材料 IV. ①TG456.6 ②TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 086783 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/16 插页 1 印张 60 $\frac{3}{4}$ 字数 1972 千字
2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 298.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

**Explosive Welding
and
Explosive Composite Material**

Zheng Yuanmou

National Defense Industry Press

• Beijing •

Explosive Welding and Explosive Composite Material /by Zheng Yuanmou/
ISBN:978 - 7 - 118 - 10723 - 4.

Copyright © 2017 by National Defense Industry Press.

National Defense Industry Press

No. 23, Zizhuyuan South Road, Haidian District, Beijing 100048, P. R. China

All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the copyright owner.

内 容 简 介

金属爆炸焊接是介于金属物理学、爆炸物理学和焊接工艺学之间的一门边缘学科,爆炸焊接又是用炸药作能源进行金属间焊接和生产金属复合材料的一种很有实用价值的高新技术。它的最大特点是在一瞬间能将相同的、特别是不同的和任意的金属组合,简单、迅速和牢固地焊接在一起。它的最大用途是制造大面积的各种组合、各种形状、各种尺寸和各种用途的双金属及多金属复合材料及其制品(复合板材、复合带材、复合箔材、复合管材、符合棒材、复合线材、复合型材、复合粉末和复合锻件,以及用它们制作的复合零件、复合部件和复合设备)。这种技术还是一种先进的表面工程技术,这类材料也是一类应用广泛的表面工程材料。

本书从金属物理学的观点出发,在实践、研究和大量国内外资料的基础上,在本学科中首次清晰和准确地描述了爆炸焊接的全过程,全面和系统地论述了爆炸焊接的工艺及原理,从而建立起一整套爆炸焊接的金属物理学理论,并提供了大量的金属爆炸复合材料的生产工艺、组织性能及其工程应用方面的资料。

本书图文并茂和通俗易懂,集理论与实践、研究和应用,以及实用于一体,可供下列学科、行业和领域中,从事异种金属焊接和复合材料的研究、开发、生产、设计、管理或教学方面的科研及工程技术人员、企业家、工人和大专院校师生参考:爆炸加工、爆炸焊接(焊接)、金属复合材料(金属材料)、表面工程技术(表面工程材料)、炸药和爆炸物理(爆炸力学)、化工(石油化工)、工程爆破、材料保护、工程机械、机器制造、能源技术、环境保护、水利水电、冶金设备、舟艇舰船、地铁轻轨、交通运输、建筑装饰、腐蚀防护、摩擦磨损、致冷致热、高压输电、电力装备、电力金具、电工电子、电脑家电、电线电缆、电解电镀、仪器仪表、办公用品、体育器具、多层硬币、五金配件、消防器材、海水淡化、食品轻工、烹饪用具、厨房设备、家具用材、医药化肥、医疗器械、生物医学、切削刀具、油井钻探、油气管道、桥梁隧道、港口码头、市政建设、设备维修、农业机械、真空元件、耐磨材料、功能材料、超导材料、低温构件、海洋工程、国防军工、航空航天和原子能,以及金属材料资源的节约、综合利用和可持续发展……

全书图 1861 幅,表 841 张,数学式 220 条,参考文献 1709 篇,字数 1972 千字。

Brief Introduction

The metals explosion welding is an edge discipline between metals physics, the explosion physics and the welding process. It is also a kind of very practical hi – tech that makes use of the explosive to make the energy to carry on a welding of metals and produces the metals compound materials. The most important feature is that it is able to combine arbitrary metals including the same ones and the different ones especially by explosive welding, which is very simple, fast and compact. It is widely applied in production of large size bimetal composite and poly-metallic composite and related products such as composite plate, composite strip, composite foil, composite pipe, composite bar, composite wire, composite section, composite powder and composite forging with various metal combinations, and with various shapes, dimensions and uses. It is also an advanced surface technology; meanwhile, the metal composites are kinds of materials extensively applied in surface engineering.

The whole course of explosion welding is elucidated clearly and accurately from the point of view of metal physics for the first time, while, the process and mechanism of explosive welding are exposed systematically and overall in the book, which is based on practice and research and lots of domestic and abroad datum, so as to establish a complete theory of metal physics of explosion welding, and provide the massive materials for production process, structure property and engineering application of explosive composite material.

This book explains the profound in simple language with plenty of pictures, which is including theory and practice, as well as research and application. It can be referred by people who are engaged in following fields which are related to research, development, production, design, management and teaching of dissimilar metal welding and composite material as researchers, engineers, entrepreneur, workers and the teachers and students in colleges respectively: explosive working, explosion welding (welding), metallic composites (metal materials), surface engineering technology (surface engineering materials), explosive and explosive physics (explosion mechanics), chemical industry (petrochemical industry), engineering blasting, material protection, construction machinery, machine manufacturing, energy technology, environmental protection, water conservancy and hydropower, metallurgical equipment, boat and ship, metro light rail, traffic and transportation, architectural decoration, corrosion protection, friction and wear, refrigerating and heating, high voltage transmission, electric power equipment, electric power fittings, electric and electronics, computer and household appliances, wire and cable, electrolytic plating, instrument, office supplies, sports – wares, multilayer coin, hardware accessories, fire device, seawater desalination, food industry and light industry, cooking utensils, kitchen equipment, furniture material, medicine and fertilizer, medical device, biomedicine, cutting tool, oil drilling, oil and gas pipeline, bridge and tunnel, port terminals, municipal construction, equipment maintenance, agricultural machinery, vacuum elements, wear resistant materials, functional materials, superconducting material, cryogenic component, ocean engineering, defense and military, aero – spaceplane and fusion reactor wall, saving and comprehensive utilization and sustainable development of metal resources etc.

There is a total of 1861 figures, 841 tables, 220 formal, 1709 references and 1972 thousands words in the book.

爆炸焊接是焊接技术的一大发展和生产复合材料的一种高新技术，爆炸复合材料是材料科学及其工程应用的一个新的发展方向。

董伯云

(中南大学校长、教授 中国工程院院士)

二〇一四年十一月十八日

爆炸焊接大有可为
复合材料前程似锦

周廉

二〇一四年四月

(本页题词由中国工程院院士、西北有色金属研究院院长周廉教授题写)

大力开展爆炸焊接工作，
大量生产各种金属复合材料，
满足各项机械工程的需要，
促进我国机械工业的发展。

——贺郑远谋同志的专著《爆炸焊接和爆炸复合材料》出版。

中国机械工程学会
副理事长兼秘书长、教授



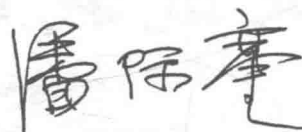
2014年10月18日

序 一

郑远谋同志用毕生精力完成的专著《爆炸焊接和爆炸复合材料》是全面和系统地讨论爆炸焊接理论及其应用的一本好书。这本书不仅阐述了不同于流体力学的爆炸焊接的金属物理学原理，而且指出了爆炸焊接的最大用途是制造各种金属复合材料。这些复合材料广泛地应用在生产和科学技术的各个方面，从而显示出爆炸焊接技术的神奇性和不可估量的应用价值。

爆炸焊接是焊接技术的一个大发展，爆炸复合材料是材料科学的一个新的发展方向。爆炸焊接大有作为和任重道远，爆炸复合材料意义深远，前程似锦，值得一切有志于这方面工作的人们奋发努力。

中国科学院院士
清华大学教授



2014年4月26日

(曾任国际焊接学会副主席、中国焊接学会理事长、
清华大学副校长、南昌大学校长)

序 二

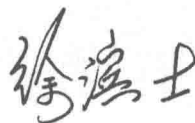
郑远谋先生的著作《爆炸焊接和爆炸复合材料》是讨论爆炸焊接工艺、原理和应用的一部专著,是作者毕生研究和实践爆炸焊接技术的结晶,同时又为读者汇集了国内外爆炸焊接方面的研究成果。该书论述严谨、结构新颖、内容丰富,为爆炸焊接技术设计和生产应用提供了大量翔实的宝贵数据。理论紧密联系实际、对生产实践指导作用强是该书的最大特色。

爆炸焊接可以实现多种材料、多种性能的复合,能将不同物理、力学或化学性能的常用材料或稀有材料与普通钢材强固地焊接在一起,表面材料和本体材料的厚度及其厚度比可以任意选择,面积可达数十平方米,用它们制造的设备可达数百吨。爆炸焊接还可以与各种压力加工和机械加工工艺相结合,生产出更长或更短、更大或更小、更薄或更厚,以及异形的表面工程材料及其零部件。爆炸焊接是一种先进的表面工程技术,用爆炸焊接技术生产的金属复合材料是一类用途广泛的表面工程材料。

与某些表面工程技术相比,爆炸焊接具有工艺设备投资少、操作简单、质量好和成本低等优点。用爆炸焊接制备的表面工程材料结合强度高、面积大、品种多、适应性强,并且由于爆炸硬化和爆炸强化,使表面材料的某些性能,如强度、耐蚀性和耐磨性等还会有附加的提高。书中的大量事例说明,用爆炸焊接技术生产的各种各样的金属复合材料已构成了工程结构新的表面材料体系,丰富了表面工程的内涵,其应用前景十分广阔。

该书的出版发行,必将促进我国爆炸焊接和表面工程技术的研究与应用,为我国国民经济建设和国防建设作出重要贡献。

中国工程院院士
装甲兵工程学院教授



2014年5月8日

序 三

爆炸焊接是爆炸加工高科技领域的重要新工艺和新技术之一。爆炸焊接经过几十年来的研究、应用和发展,已成为爆炸加工领域中使用炸药最多、产量最大、应用最广、迄今前景最好和最活跃的一个分支。

爆炸复合材料是材料科学及其工程应用的一个新的发展方向。爆炸复合材料的品种和数量庞大,形状和类型很多,性质和用途很广。它们为充分发挥和综合利用及增强和提高金属材料的化学、物理与力学性能展现了一幅无限广阔的前景。

《爆炸焊接和爆炸复合材料》一书,全面和系统地总结了作者几十年来,在爆炸焊接研究和金属复合材料生产中的理论及实践。

书中合金相图在爆炸焊接中的应用和界面上大量金属物理学课题的研究成果,很是深刻和很有见地。它们为将爆炸焊接的理论建立在金属物理学的基础上提供了依据。

郑远谋同志早就计划写这部书了。作为作者的老师,对该书的出版和他所取得的成果十分高兴和欣慰。俗话说,有志者事竟成。祝愿那些不畏艰险和勇敢攀登的人们,登上科学技术的高峰。

中国科学院院士
中南大学教授

金展鹏

2014年11月8日

序 四

爆炸焊属于特种焊的范畴，郑远谋同志在他执著研究和丰富实践经验的基础上写成的这部约 200 万字的专著中对爆炸焊涉及各个领域，从爆炸焊接的基础理论，金属物理基础到各种工艺，产品结构和接头性能，进行了详尽的论述。对于从事爆炸焊的工作者既是一本教科书又是一本手册，对于涉及这个领域的工程技术人员也是一本很好的参考书。

爆炸焊不仅是一种先进实用的焊接技术，而且是一种用途广泛的金属复合材料的生产工艺。这种工艺技术具有重要的经济和技术价值。本书的出版必将促进这种工艺技术的发展。

中国机械工程学会焊接学会理事长
甘肃工业大学副校长、教授



2014 年 4 月 29 日

致 敬

值此本书出版之际,作者以个人的名义,向我国爆炸加工(爆炸焊接)事业的开拓者和奠基人郑哲敏院士(中国科学院力学研究所)、陈火金教授(大连爆炸加工研究所)、邵丙璜教授(中国科学院力学研究所)、张凯教授(大连理工大学)、张振远教授(洛阳船舶材料研究所)、薛鸿陆教授(长沙国防科技大学)、陈勇富教授(长沙矿冶研究院)和章仕表教授(南昌洪都机械厂)等致以崇高的敬意。

此外,还要向北京有色金属研究总院院长李东英院士致敬。早在20世纪60年代初,他在为原冶金部宝鸡902厂拟写的设计任务书中,就明确地提出了在该厂开展稀有金属材料的爆炸加工课题的研究工作。正是由于和有了这个具有重大科技及历史意义的远见卓识和独具慧眼,以及后来该厂有关领导的英明决策和全力支持,才有了今天西北有色金属研究院和宝钛集团内的爆炸焊接研究与爆炸复合材料生产工作欣欣向荣的局面,及其几十年来对我国本学科和本行业发展的影响与贡献。自然,与此同时也就有了今天的作者和本书自20世纪70年代初开始的筹划、写作,直到21世纪初至今的出版面世。

致 谢

感谢下列单位对本书出版工作的大力支持:

广东宏大爆破股份有限公司,广东明华机械有限公司连南分公司;
四川惊雷科技股份有限公司;
陕西宝钛集团金属复合板公司;
湖北帅力化工股份有限公司;
湖北金兰特种金属材料有限公司;
江苏南通太和机械集团。

此外,还有:

大连爆炸加工研究所;
大连理工大学爆炸复合材料研究中心;
西安天力金属复合材料有限公司;
洛阳双瑞金属复合材料有限公司;
南京三邦金属复合材料有限公司;
安徽弘雷金属复合材料有限公司;
南京宝泰特种材料股份有限公司;
辽宁华阳伟业装备制造公司;
太钢复合材料厂;
南京航空航天大学材料学院;
青岛海军潜艇学院防救系;
山东威海化工器械有限公司;
陕西富源凯达工贸有限公司;
陕西迈特金属科技发展有限公司;
南京昭邦金属复合材料有限公司;
无锡一加一金属制品有限公司;
广东阳江十八子集团刀具制品有限公司;
江西永固金属电力制品有限公司;
湖南长沙众诚机电科技有限公司;
舞钢神州重工金属复合材料有限公司。

前 言

1970年初,我有幸参加了爆炸焊接新技术的研究和爆炸复合新材料的生产工作。40多年来,我一边工作,一边学习和一边写作。因此,为了这本书,我干了40多年,学了40多年和写了40多年。现在,在经过3次改版之后,终于较为理想地完成了这个我为之奋斗了一生的光荣、艰巨而又意义重大的任务,甚为欣慰和感慨。

本书的出版,使我能够表述我在这门新兴的边缘学科和高科技领域所做出的如下主要贡献:提出了爆炸焊接中炸药和爆炸,即能源和能量在传统的爆炸物理学中许多不曾有过的观点及结论;揭示了爆炸焊接能量的传递、吸收、转换和分配的全过程;探讨了爆炸焊接的冶金过程和冶金结合,即结合区金属的塑性变形、熔化和扩散的起因、经过及结果;研究了结合区波形的形成原理;总结了爆炸焊接工艺和技术中几乎所有的理论及实践课题,并且提供了数百种爆炸复合材料的生产工艺、组织性能和工程应用方面的大量资料。这一切就从金属物理学的角度出发,几十年来在本学科中,第一次清晰和准确地描述了爆炸焊接的全过程,包括结合区波形成的全过程,全面和系统地论述了爆炸焊接及爆炸复合材料的原理与应用,从而为这门学科提出了一整套全新的和正确的理论及实践。此外,40多年来,我为这门新工艺和新技术及其产品在我国的推广与应用也做了大量的工作。这本书出版后,我希望能对我国金属材料、焊接和表面工程,以及“内容简介”中众多学科、行业和领域的发展起一点作用,能对我国与世界各国的学术交流并促进这门学科的发展起一点作用。

本书导言简要地介绍爆炸加工和爆炸焊接领域中大量的新工艺及新技术,介绍爆炸焊接的发展历史、特点和光明前景。第一篇提纲挈领地论述爆炸焊接的过程、爆炸焊接与聚能效应的原则和本质的区别,以及它的发展方向。由此简述爆炸焊接的金属物理学本质,并为后面论述这个本质提出问题和打下基础。第二篇介绍爆炸焊接的能源和能量,即炸药与爆炸方面的基本知识,讨论爆炸焊接能量的传递、吸收、转换和分配的全过程。第三篇在大量资料的基础上,以大量篇幅介绍大量的爆炸焊接的工艺和技术、用这些工艺和技术生产的数百种爆炸复合材料,以及它们的后续加工(如压力加工、热处理、焊接、机械加工和废料处理等)和工程应用。第四篇讨论所有爆炸复合材料中大量的共同和特有的宏观及微观的金属物理学课题,全面和系统地探讨爆炸焊接金属物理学的机理,以及结合区波形成的原理,从而建立起一整套完全不同于流体力学的金属物理学理论(包括波形成理论),构成一部较为完整的爆炸复合材料学。第五篇介绍在爆炸焊接和爆炸复合材料研究及工程应用中必要的工具资料。

这本书出版之后,希望读者一书在手能融会贯通和运用自如,并且在前人的基础上承前启后和推陈出新,为我国爆炸焊接和爆炸加工事业的发展做出自己最大的贡献。

以下说明几点:

(1) 本书篇幅很大和内容很多。在目录和正文中按内容分类,除导言外,共分五篇。篇、章、节编排参照GB 1.1国家标准。除篇号用了汉字外,其余内中编排均用数字表示,如1.1.1,即第一篇第1章第1节。

(2) 本书图、表和数学式很多。为了清晰地表明它们在书中的位置和序号,其编号以4个数位表示。前三个数位表示图、表和数学式所在的篇、章、节,第四个数位表示它们的顺序号。例如,图3.4.5.12表示该图是第三篇第4章第5节的第12幅图,如此类推。表和数学式的认知方法亦同。

(3) 本书金属组合的表示方法。在通常情况下用半字符“-”连接两种或多种金属材料的组元,如钛-钢、不锈钢-钢和钛-钢-不锈钢等。在少数情况下,如金属材料组元中有下标和连字符“-”时,则用“+”连接以示与它们相区别,如 Zr_2 +不锈钢, BFe30-1-1+921钢和BT1-1+钢3等,并且覆层在前和基层在后。

(4) 本书所用物理量的符号和单位采用法定符号及计量单位。爆炸焊接学科特有的符号和单位,能够统一的尽量统一。已统一的见本书附表D.2,未统一的将在文内相应位置标明。

(5) 为论证爆炸焊接的金属物理学原理,全书参阅了数以千计的国内外文献,在此特向所有文献的作者

们致谢。对一些多作者文献未能写出全部作者的名字,为此特向他们致歉。

(6) 感谢西北有色金属研究院的陈昆华同志为本书摄制了数百幅金相照片,也感谢该单位的许多同志为作者提供了大量的帮助。还要感谢国内主要从事爆炸焊接研究和生产的更多的单位及个人为本书提供了更多的产品和应用方面的图片。特别要感谢更多位资深的两院院士和专家教授为本书题名、题词和作序,共同推动爆炸焊接技术在我国的应用和发展。这一切不仅使本书更加完善、完美和锦上添花,而且使本书更好地成为向国内外宣传和展示 50 多年来我国在此科技领域所取得的成就的窗口。从而有力地证明,中国人不仅在理论和实践方面,而且在研究和应用中,都做了大量的工作。同时,向世界表明,为了这门学科的发展,中国人也做出了自己应有的贡献。

(7) 本书第一稿 1998 年 7 月在广州火车站附近随行李被盗。作者百折不挠,于 2000 年写出第二稿,并于 2002 年出版(实为第 1 版)。后经补充和修改,于 2007 年再版(实为第 2 版)。现在的书实为第 3 版。由于技术方面的原因,此三版书的书名有所不同,但全书的结构大同小异,而内容越来越丰富,理论和实践越来越扎实,以及越来越展现出我国在此科技领域所取得的巨大成就。甚为欣慰。以此凝结作者一辈子心血和期望的专著,献给从事和即将从事本学科工作的人们,并互勉。在此,作者希望有更多的有志者进入这个科技领域,并且人才辈出和硕果累累。在科学技术的发展中,无限风光在险峰。祝愿那些不畏艰险和勇敢攀登的人们登上科学技术的高峰。

(8) 借此机会,以本书向这么多年来给予我关心、同情、支持、帮助、爱护和保护的所有领导、同事及朋友们表示深深的谢意。

(9) 衷心感谢中南大学出版社对本书初稿(版)的审定、编辑和出版工作的宝贵支持及辛勤劳动。

最后,书中的学术观点和语言文字难免有片面及错漏之处,敬请国内外专家学者批评指正。

郑远谋

2014 年 11 月 8 日