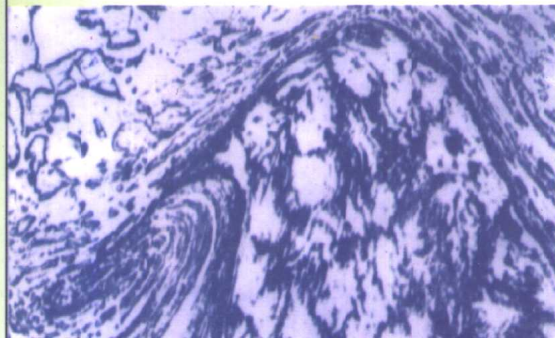
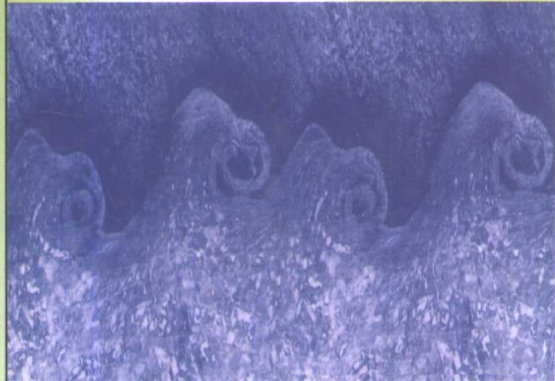


EXPLOSIVE WELDING AND METALLIC COMPOSITE AND THEIR ENGINEERING APPLICATION

爆炸焊接和金属复合材料 及其工程应用

郑远谋 著

中南大学出版社



EXPLOSIVE WELDING AND METALLIC COMPOSITE AND THEIR ENGINEERING APPLICATION

爆炸焊接和金属复合材料 及其工程应用

郑远谋 著

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

爆炸焊接和金属复合材料及其工程应用/郑远谋著.
长沙:中南大学出版社,2002.1
ISBN 7-81061-356-1

I. 爆... II. 郑... III. ①爆炸焊接—基本知识
②金属复合材料—基本知识 IV. ①TB456.6②TB331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005873 号

爆炸焊接和金属复合材料及其工程应用

郑远谋 著

-
- 责任编辑 刘石年 李宗柏
 出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8829482
电子邮件:csuebs @ public. cs. hn. cn
 经 销 湖南省新华书店
 印 装 中南大学印刷厂
-

- 开 本 787×1092 1/16 印张 59.625 字数 1521 千字 插页 2
 版 次 2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷
 印 数 0001—2000
 书 号 ISBN 7-81061-356-1/TB·012
 定 价 180.00 元
-

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、迅速和坚固地焊接在一起。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。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，全面和系统地论述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，并提供大量的金属爆炸复合材料的生产工艺、组织性能及其应用方面的资料。

本书图文并茂，通俗易懂，集理论和实践、研究与应用、以及实用于一体。供在爆炸加工、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）、材料保护、工程机械、机器制造、能源技术、舟艇船舶、交通运输、冶金建筑、电工电子、仪表家电、农药化肥、食品轻工、环境保护、超导材料、低温构件、海洋工程、国防军工、航空航天和原子能等学科及领域从事理论研究或工程应用方面工作的科研及工程技术人员、企业家、工人和大专院校师生参考。

Brief Introduction

Metallic explosive welding is a boundary science between metallophysics, explosion physics and welding technology science, and is yet a very useful advancing high tech for metals welding and metallic composite production by using explosives as energy resource. The most characteristic of explosive welding lies in that identical, especially variable and arbitrary metals combination can be strengthened and tight bonded together simply and instantaneously. The greatest application of explosive welding is fabricating different dual/poly metal composites with variable metal combination, variable shape, variable dimension and different usage. This technique is also an advanced surface engineering technique, whose product is also a kind of widely used surface engineering material.

The present book describes the technology and theorem of the explosive welding completely and systematically based on metallophysics view and a volume of practical experiences, research results and information data at home and abroad, aiming at establishing a packaged metallophysics theory for explosive welding, and providing the production technology, structure/property and other useful data of a large number of explosive metal-composites.

The present book is rich in both graph and literal, is popular and understandable, and is integrated the theory, practice, research, application and so on into one book. It could be used or referred by scientific researchist, engineering technician, enterprise manager, technic worker, and both teachers and students of university/college, those are engaging in theoretical research or engineering application, etc, in the following fields, such as explosion working, explosive welding(welding), metallic composite/material, surface engineering technique/material, explosives and explosion physics/mechanics, chemical/petroleum-chemical industry, material protection, engineering machine, machinery manufacture, energy resource technique, boat manufacturing, metallurgy, architecture, communication/transportation, electrical/electronic engineering, instrument/meter, household electrical apparatus, food process, light industry, environmental protection, superconducting material, low temperature structural component, oceaneering, national defence industry, aerospace, atomic energy, agricultural medicine and chemical fertilizer, and so on.

前 言

PREFACE

早在参加爆炸焊接研究之初(1970年),我就指出:“喷射”只是爆炸焊接过程中的一种物理现象,不是其本质。1972年,我在研制 Zr_2 +不锈钢管接头的时候,提出结合区原子的扩散是金属爆炸焊接的原因和机理。1975年后,在实践、认识、研究和大量资料的基础上,逐渐形成结合区金属的塑性变形、熔化和扩散即为金属间爆炸焊接的原因和本质的金属物理学观点及理论。由此,对当时盛行的爆炸焊接的流体力学理论从怀疑到否定,逐步地建立了一套自己的观点和理论。

为了总结和提高,特别是为了将上述观点和理论记录下来,30年前我就计划写一部书,当年还拟定了书名和写作提纲。但是由于那个年代的关系,计划未能实现。然而,我一直未曾放弃过这个既定目标——这个目标不仅是一部书,而且是一整套理论。为此,自那时以来,我为我的目标付出了辛勤的劳动:在30多年的实践和研究中,积累了数百万字的文字资料和千余张图片资料,写了百多篇数十万字的论文草稿,发表了一百多篇论文。为此付出了巨大的代价。现在这部书写成和出版了,终于实现了我30年前的愿望。

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作出的如下主要贡献: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转换、传递、吸收和分配的全过程;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……这一切从金属物理学的角度出发,为这门学科提出了一整套全新的理论。此外,30多年来,特别是后15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做了大量的工作。这部书出版后,我希望能对我国金属材料、焊接和表面工程以及其他众多学科的发展起一点作用,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大量的新工艺和新技术,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,并为后文论述这个本质提出问题 and 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转换、吸收、传递和分配的全过程。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)。第四篇讨论所有爆炸复合材料中共同的和特有的宏观及微观的金属物理学问题,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),形成爆炸复合材料学。第五篇介绍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,希望读者能一书在手,融会贯通,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作出自己最大的贡献。

最后说明几点:

1. 本书篇幅很大,内容很多。在目录中按内容分类,除导言外,共分五篇,篇、章、节编排参照GB1.1国家标准,除篇号用了汉字外,内中编排均用数字表示,如1.1.1,即第一篇第1章第1节;但在文内需要索引时,为方便起见加了一个§符号,如§1.1.1。

2. 本书图、表和公式很多。为了清晰地表明它们在书中的位置和序号,其编号以4位数表示,前三位表示图、表和公式所在的篇、章、节,第4位为它们的序号。

3. 本书金属组合的表示方法:在通常情况下用“-”连接两种或多种金属材料组元,如钛-钢、不锈钢-钢和钛-钢-不锈钢等。在少数情况下,例如金属材料组元中有下标和连字符“-”存在时,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,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。统一了的见本书末附录,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。为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名字,在此特向他们致歉。

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。这一切都使本书更加完善、完美和锦上添花。

7. 本书是第二稿。第一稿于1998年7月在广州火车站附近随行李被盗。作者百折不挠,用2年时间又将其写了出来。现在“书”终于出版了,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。

最后,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。书中观点和文字难免片面和错漏之处,敬请国内外专家学者批评指正。



作者简介

郑远谋(ZHENG Yuanmou), 男, 1942年11月生, 湖北咸宁人, 高级工程师。1966年毕业于中南工业大学材料科学与工程系, 现任广东省鹤山市新技术应用研究所所长, 中国有色金属学会会员, 中国复合材料学会会员, 中国汽车工程学会会员, 中国工程爆破协会会员, 联合国(TIPS)中国广州局专家顾问委员会专家。自1970年起从事金属爆炸焊接高新技术的研究和金属复合材料的生产, 30多年来, 取得了大量的理论、物质和技术成果, 并在爆炸焊接的金属物理学原理的探讨中有精深研究和独到见解。先后主持和参与了多个课题的研究并获得国家科技进步奖和省部级科技成果奖等多项, “爆炸焊接铝合金复合钎料的制造方法”获国家发明专利。多次参加全国性和地区性的爆炸加工、焊接、复合材料、相图及理化检验等学术会议。主要著述有专著《爆炸焊接和金属复合材料及其工程应用》; 参编《焊接手册》和《焊接词典》两书中“爆炸焊”一章; 发表论文100多篇。

目 录

CONTENTS

导 言	(1)
0.1 爆炸加工	(1)
0.2 爆炸焊接	(2)
0.2.1 爆炸焊接的发展	(2)
0.2.2 爆炸焊接的特点	(7)
0.2.3 爆炸焊接的展望.....	(10)
第一篇 爆炸焊接金属物理学原理	(13)
1.1 金属爆炸焊接.....	(14)
1.1.1 爆炸焊接过程.....	(14)
1.1.2 爆炸焊接实质.....	(15)
1.1.3 爆炸焊接的定义.....	(16)
1.2 爆炸焊接与聚能效应.....	(17)
1.2.1 金属焊接的一般原理.....	(17)
1.2.2 聚能效应的现象和本质.....	(17)
1.2.3 爆炸焊接与聚能效应的区别.....	(19)
1.2.4 模糊与混乱.....	(20)
1.3 爆炸焊接的研究课题和发展方向.....	(22)
1.3.1 理论研究方面.....	(22)
1.3.2 实践应用方面.....	(25)
第二篇 爆炸焊接能源和能量基础	
炸药与爆炸	(27)

2.1 爆炸焊接能源	(28)
2.1.1 炸药与爆炸.....	(28)
2.1.2 爆炸焊接中的炸药.....	(44)
2.1.3 爆炸焊接中炸药的爆炸.....	(53)
2.1.4 爆轰波.....	(55)
2.1.5 爆炸产物.....	(58)
2.1.6 爆热.....	(60)
2.1.7 爆炸焊接中炸药的爆速及其测定与影响因素.....	(61)
2.1.8 几种混合炸药爆速的探针法测定及结果分析.....	(74)
2.2 爆炸焊接能量	(84)
2.2.1 爆炸焊接静态参数.....	(84)
2.2.2 爆炸焊接动态参数.....	(84)
2.2.3 爆炸焊接过程中覆板的抛掷.....	(90)
2.2.4 爆炸焊接工艺参数的选择和计算.....	(92)
2.2.5 爆炸焊接模型律.....	(94)
2.2.6 爆炸焊接半圆柱法工艺参数试验.....	(96)
2.2.7 爆炸焊接台阶法工艺参数试验.....	(102)
2.2.8 爆炸焊接小角度法工艺参数试验.....	(105)
2.2.9 爆炸焊接电阻丝法工艺参数试验.....	(106)
2.2.10 计算机在爆炸焊接工艺参数设计中的应用.....	(108)
2.2.11 爆炸焊接“窗口”.....	(113)
2.2.12 结合区压力的计算和测量.....	(119)
2.2.13 结合区温度的计算和测量.....	(124)
2.3 爆炸焊接过程的能量分析和能量平衡	(138)
2.3.1 爆炸焊接过程的能量分析.....	(138)
2.3.2 爆炸焊接过程的能量平衡.....	(140)
2.4 爆炸焊接边界效应及其力学-能量原理	(141)
2.4.1 爆炸焊接边界效应现象.....	(141)
2.4.2 金属板上炸药爆轰过程的力学-能量分析.....	(142)
2.4.3 金属管内炸药爆轰过程的力学-能量分析.....	(144)
2.4.4 爆炸焊接边界效应的力学-能量原理.....	(144)
2.4.5 爆炸焊接边界效应的预防.....	(149)
第三篇 爆炸焊接工艺和技术基础 爆炸复合材料	(151)
3.1 爆炸焊接工艺	(152)
3.1.1 爆炸焊接工艺流程.....	(152)
3.1.2 爆炸焊接工艺参数.....	(153)
3.1.3 爆炸焊接中的间隙.....	(156)
3.1.4 爆炸焊接金属待结合面的净化处理.....	(159)

3.1.5	爆炸焊接中金属材料的表面保护	(163)
3.1.6	爆炸焊接过程中的排气	(164)
3.1.7	爆炸焊接的基础	(169)
3.1.8	爆炸焊接的必要条件	(171)
3.1.9	爆炸焊接场地和配套工序及设施	(173)
3.1.10	爆炸焊接工艺安装	(175)
3.1.11	爆炸焊接工艺的重复性和稳定性	(176)
3.1.12	爆炸焊接的安全与防护	(178)
3.2	爆炸焊接技术和爆炸复合材料	(179)
3.2.1	钛-钢复合板的爆炸焊接	(179)
3.2.2	不锈钢-钢复合板的爆炸焊接	(204)
3.2.3	铜-钢复合板的爆炸焊接	(223)
3.2.4	铝-钢复合板的爆炸焊接	(234)
3.2.5	铜-铝复合板的爆炸焊接	(247)
3.2.6	贵金属复合板的爆炸焊接	(252)
3.2.7	锆合金-不锈钢管接头的爆炸焊接	(260)
3.2.8	钼-不锈钢管接头的(热)爆炸焊接	(268)
3.2.9	铅复合板的(冷)爆炸焊接	(276)
3.2.10	镍-不锈钢复合板的爆炸焊接	(279)
3.2.11	镍-钛复合板的爆炸焊接	(282)
3.2.12	铜-钛复合板的爆炸焊接	(284)
3.2.13	钛-不锈钢复合板的爆炸焊接	(288)
3.2.14	铝-不锈钢复合板的爆炸焊接	(292)
3.2.15	钛-铝复合板的爆炸焊接	(298)
3.2.16	镍-钢复合板的爆炸焊接	(301)
3.2.17	锆-钢复合板的爆炸焊接	(304)
3.2.18	铌-钢复合板的爆炸焊接	(306)
3.2.19	钽-钢复合板的爆炸焊接	(309)
3.2.20	钼-铜复合板的爆炸焊接	(310)
3.2.21	锆-铜复合板的爆炸焊接	(311)
3.2.22	热双金属的爆炸焊接	(312)
3.2.23	减磨双金属的爆炸焊接	(317)
3.2.24	电真空用复合材料的爆炸焊接	(320)
3.2.25	超导复合材料的爆炸焊接	(321)
3.2.26	原子能复合材料的爆炸焊接	(328)
3.2.27	核燃料复合材料的爆炸焊接	(331)
3.2.28	复合装甲板的爆炸焊接	(332)
3.2.29	弹性复合材料的爆炸焊接	(334)
3.2.30	复合钎料的爆炸焊接	(335)

3.2.31	金属与陶瓷、玻璃和塑料的爆炸焊接	(336)
3.2.32	热交换器破损传热管的爆炸焊接堵塞	(339)
3.2.33	复合刀具的爆炸焊接	(341)
3.2.34	双金属蜗轮叶片的爆炸焊接	(344)
3.2.35	蜂窝结构的爆炸焊接	(346)
3.2.36	平面双金属管板的爆炸焊接	(346)
3.2.37	异形双金属管板的爆炸焊接	(347)
3.2.38	多层复合板的爆炸焊接	(349)
3.2.39	箔材的爆炸焊接	(354)
3.2.40	纤维增强复合材料的爆炸焊接	(355)
3.2.41	金属粉末与金属板的爆炸焊接	(364)
3.2.42	短复合管的爆炸焊接	(367)
3.2.43	长复合管的爆炸焊接	(376)
3.2.44	管道与管道的爆炸焊接	(378)
3.2.45	管与管板的爆炸焊(胀)接	(379)
3.2.46	复合棒材的爆炸焊接	(386)
3.2.47	复合异形件的爆炸焊接	(389)
3.2.48	金属板的搭接、对接和斜接接头的爆炸焊接	(391)
3.2.49	金属管的搭接、对接和斜接接头的爆炸焊接	(391)
3.2.50	点状、线状和局部爆炸焊接	(394)
3.2.51	对称碰撞爆炸焊接	(396)
3.2.52	利用冲击器爆炸焊接	(400)
3.2.53	加盖炸药罩爆炸焊接	(401)
3.2.54	水下爆炸焊接	(402)
3.2.55	宇宙中的爆炸焊接	(403)
3.2.56	在爆炸洞中爆炸焊接	(405)
3.2.57	架空电力线接头的爆炸焊接	(407)
3.2.58	钢筋混凝土电杆接头的爆炸压接	(410)
3.2.59	修理中的爆炸焊接	(412)
3.2.60	其他复合材料的爆炸焊接	(413)
3.2.61	相同材料的爆炸焊接	(420)
3.3	爆炸复合材料的压力加工	(425)
3.3.1	爆炸复合材料压力加工的特点	(425)
3.3.2	爆炸复合板的轧制	(426)
3.3.3	爆炸+轧制复合板结合区的微观组织	(432)
3.3.4	爆炸+轧制复合板的力学性能	(434)
3.3.5	爆炸+轧制复合板的厚度参数	(443)
3.3.6	爆炸复合板轧制机理探讨	(450)
3.3.7	爆炸复合板轧制过程中的一些问题	(451)

3.3.8	爆炸复合材料其他形式的压力加工	(453)
3.3.9	爆炸复合材料压力加工技术展望	(454)
3.4	爆炸复合材料的热处理	(455)
3.4.1	爆炸复合材料热处理的特点	(455)
3.4.2	爆炸复合板的退火	(455)
3.4.3	退火后复合板结合区的微观组织	(456)
3.4.4	退火后复合板的力学性能	(468)
3.4.5	爆炸复合材料其他形式的热处理	(483)
3.5	爆炸复合材料的焊接	(484)
3.5.1	爆炸复合材料焊接的特点	(484)
3.5.2	钛-钢爆炸复合板的焊接	(486)
3.5.3	不锈钢-钢爆炸复合板的焊接	(491)
3.5.4	铜-钢爆炸复合板的焊接	(498)
3.5.5	铝-钢爆炸复合板的焊接	(502)
3.5.6	镍-钢爆炸复合板的焊接	(508)
3.5.7	锆-钢爆炸复合板的焊接	(509)
3.5.8	钼-钢爆炸复合板的焊接	(510)
3.5.9	不锈钢-钢爆炸+轧制复合薄板的焊接	(512)
3.6	爆炸复合材料的机械加工	(515)
3.6.1	爆炸复合材料机械加工的特点	(515)
3.6.2	爆炸复合材料的切割加工	(515)
3.6.3	爆炸复合材料的切削加工	(517)
3.6.4	爆炸复合材料的校平和校直加工	(518)
3.6.5	爆炸复合材料的成形加工	(518)
3.7	爆炸复合材料废料的处理	(523)
第四篇	爆炸焊接金属学和金属物理学基础 爆炸复合材料学	(525)
4.1	爆炸焊接结合区	(526)
4.1.1	结合区的基本形态	(526)
4.1.2	结合区的物理特性	(527)
4.1.3	结合区的化学特性	(528)
4.1.4	结合区的意义	(529)
4.2	爆炸焊接结合区中金属的塑性变形	(531)
4.2.1	结合区塑性变形的一般情况	(531)
4.2.2	结合区塑性变形的特点	(531)
4.2.3	结合区塑性变形的起因	(533)
4.2.4	结合区塑性变形程度的测定	(534)
4.2.5	结合区塑性变形的影响因素	(535)
4.2.6	结合区塑性变形的意义	(536)

4.3 爆炸焊接结合区中金属的熔化	(538)
4.3.1 结合区熔化的一般情况	(538)
4.3.2 结合区熔化的成因	(538)
4.3.3 结合区熔化参数的测定	(541)
4.3.4 结合区熔化参数的影响因素	(541)
4.3.5 结合区熔化的意义	(543)
4.4 爆炸焊接结合区中金属原子的扩散	(545)
4.4.1 结合区扩散的一般情况	(545)
4.4.2 结合区扩散的必然性	(545)
4.4.3 结合区扩散的显示方法	(547)
4.4.4 结合区扩散的测量和计算	(551)
4.4.5 结合区扩散的意义	(553)
4.5 爆炸复合材料的成分和组织	(554)
4.5.1 普通金相研究	(554)
4.5.2 定量金相研究	(555)
4.5.3 高温金相研究	(555)
4.5.4 电子探针研究	(564)
4.5.5 扫描电镜研究	(570)
4.5.6 透射电镜研究	(576)
4.5.7 X射线结构分析	(578)
4.5.8 其他研究	(580)
4.6 爆炸载荷下复合材料中基体金属的性能	(586)
4.6.1 爆炸硬化	(586)
4.6.2 爆炸强化	(589)
4.6.3 爆炸焊接条件下金属的动态屈服强度	(597)
4.6.4 爆炸焊接后金属物理性能的变化	(602)
4.6.5 爆炸焊接后金属化学性能的变化	(606)
4.6.6 爆炸复合材料的界面电阻	(620)
4.7 爆炸复合材料中的“飞线”——绝热剪切线	(626)
4.7.1 爆炸复合材料中的“飞线”	(626)
4.7.2 “飞线”产生的原因	(627)
4.7.3 “飞线”产生的条件	(628)
4.7.4 “飞线”的性质	(629)
4.7.5 “飞线”的实质	(630)
4.7.6 “飞线”的影响	(631)
4.7.7 “飞线”的预防、减少和消除	(632)
4.8 爆炸复合材料中的显微硬度	(633)
4.8.1 显微硬度分布的一般情况	(633)
4.8.2 显微硬度分布的一般规律	(633)

4.8.3 显微硬度分布曲线图	(634)
4.9 爆炸复合材料中的残余变形	(641)
4.9.1 爆炸复合板的残余变形	(641)
4.9.2 锆 ₋₂ 合金+不锈钢爆炸复合管的残余变形	(653)
4.9.3 锆2.5铌-不锈钢爆炸复合管的残余变形	(663)
4.9.4 另外几种爆炸复合管的残余变形	(664)
4.10 爆炸复合材料中的残余应力	(666)
4.10.1 爆炸复合材料中的残余应力	(666)
4.10.2 爆炸复合材料中残余应力的测定	(667)
4.10.3 爆炸复合材料中残余应力的分布	(668)
4.10.4 爆炸复合材料中残余应力的影响	(680)
4.10.5 爆炸复合材料中残余应力的消除	(681)
4.11 爆炸复合材料中的缺陷	(683)
4.11.1 宏观缺陷	(683)
4.11.2 微观缺陷	(686)
4.12 爆炸复合材料的破断	(688)
4.12.1 爆炸复合材料的破坏	(688)
4.12.2 爆炸复合材料的断裂	(689)
4.12.3 爆炸复合材料中“飞线”引起的破断	(691)
4.12.4 爆炸复合材料破断的应力波机制	(691)
4.13 爆炸复合材料的断裂力学	(692)
4.13.1 单金属材料的断裂力学	(692)
4.13.2 爆炸复合材料的断裂力学	(692)
4.14 相图在爆炸焊接中的应用	(698)
4.14.1 由相图估计对应金属组合结合区熔体内的组成	(698)
4.14.2 由相图估计对应金属组合的爆炸焊接性	(701)
4.14.3 由相图估计对应金属组合的相对结合强度	(702)
4.14.4 由相图估计后续热加工和热处理的影响	(702)
4.14.5 由相图制订工艺参数	(702)
4.15 爆炸焊接对金属力学性能的要求	(704)
4.15.1 爆炸焊接对金属力学性能的要求	(704)
4.15.2 金属的 α_k 值在爆炸焊接中的意义	(705)
4.16 爆炸焊接结合区波形成的原理	(709)
4.16.1 爆炸和爆炸焊接中的表面波形、界面波形和底面波形	(709)
4.16.2 爆炸焊接结合区波形成的金属物理学机理	(722)
4.16.3 结合区波形的形成条件	(729)
4.16.4 结合区波形的形成过程图解	(733)
4.16.5 结合区波形形状的变化规律和影响因素	(739)
4.16.6 结合区波形参数的影响因素	(765)

4.16.7	结合区波形成的意义	(779)
4.16.8	评结合区波形成的流体力学理论	(782)
第五篇 爆炸焊接和爆炸复合材料研究及应用的工具资料		(787)
5.1	爆炸复合材料的检验	(788)
5.1.1	破坏性检验	(788)
5.1.2	非破坏性检验	(800)
5.2	爆炸复合材料的性能	(803)
5.2.1	剪切性能	(803)
5.2.2	分离性能	(807)
5.2.3	拉剪性能	(810)
5.2.4	拉伸性能	(812)
5.2.5	弯曲性能	(816)
5.2.6	疲劳性能	(817)
5.2.7	热循环性能	(822)
5.2.8	腐蚀性能	(824)
5.2.9	显微硬度分布	(826)
5.2.10	热处理和热加工性能	(835)
5.2.11	工艺、组织和性能	(840)
5.3	爆炸焊接金相技术和金相图谱	(847)
5.3.1	爆炸焊接金相技术的意义	(847)
5.3.2	爆炸焊接金相技术的特点	(847)
5.3.3	爆炸焊接金相样品的制备	(848)
5.3.4	爆炸焊接金相样品的使用	(851)
5.3.5	爆炸焊接金相图谱	(852)
5.4	爆炸焊接工艺和技术图集	(853)
5.5	爆炸焊接和爆炸复合材料的应用	(878)
5.5.1	爆炸焊接和爆炸复合材料的应用范围	(878)
5.5.2	爆炸焊接和爆炸复合材料的产品及应用实例	(881)
5.6	爆炸焊接金属组合选介	(894)
5.6.1	爆炸焊接金属组合图选	(894)
5.6.2	本书收录的爆炸焊接金属组合名录	(894)
参考文献		(901)
附 录 本书使用的计量单位和符号		(928)

CONTENTS

Introduction	(1)
0.1 Explosive Working	(1)
0.2 Explosive Welding	(2)
0.2.1 Development of explosive welding	(2)
0.2.2 Characteristic of explosive welding	(7)
0.2.3 Outlook of explosive welding	(10)
Chapter 1 Theorem of Metallophysics in Explosive Welding	(13)
1.1 Metallic Explosive Welding	(14)
1.1.1 Process of explosive welding	(14)
1.1.2 Inherent of explosive welding	(15)
1.1.3 Definition of explosive welding	(16)
1.2 Explosive Welding and Energy Aggregation Effect	(17)
1.2.1 General theorem in metallic welding	(17)
1.2.2 The phenomenon in energy aggregation effect and its inherent	(17)
1.2.3 The differentiation of explosive welding with energy aggregation effect	(19)
1.2.4 Fuzzy and confusable problems in explosive welding	(20)