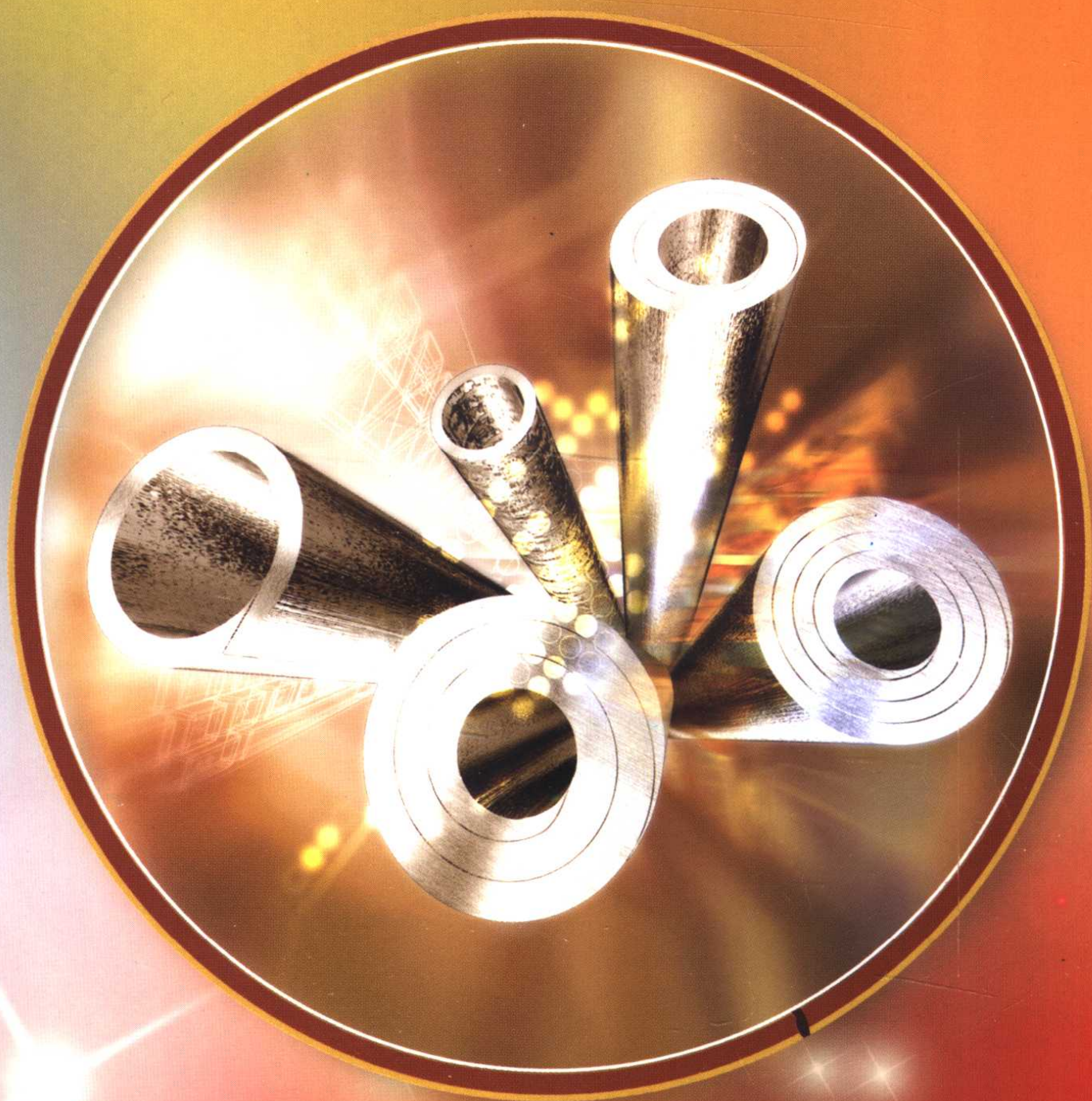


焊管机组的研究与进展

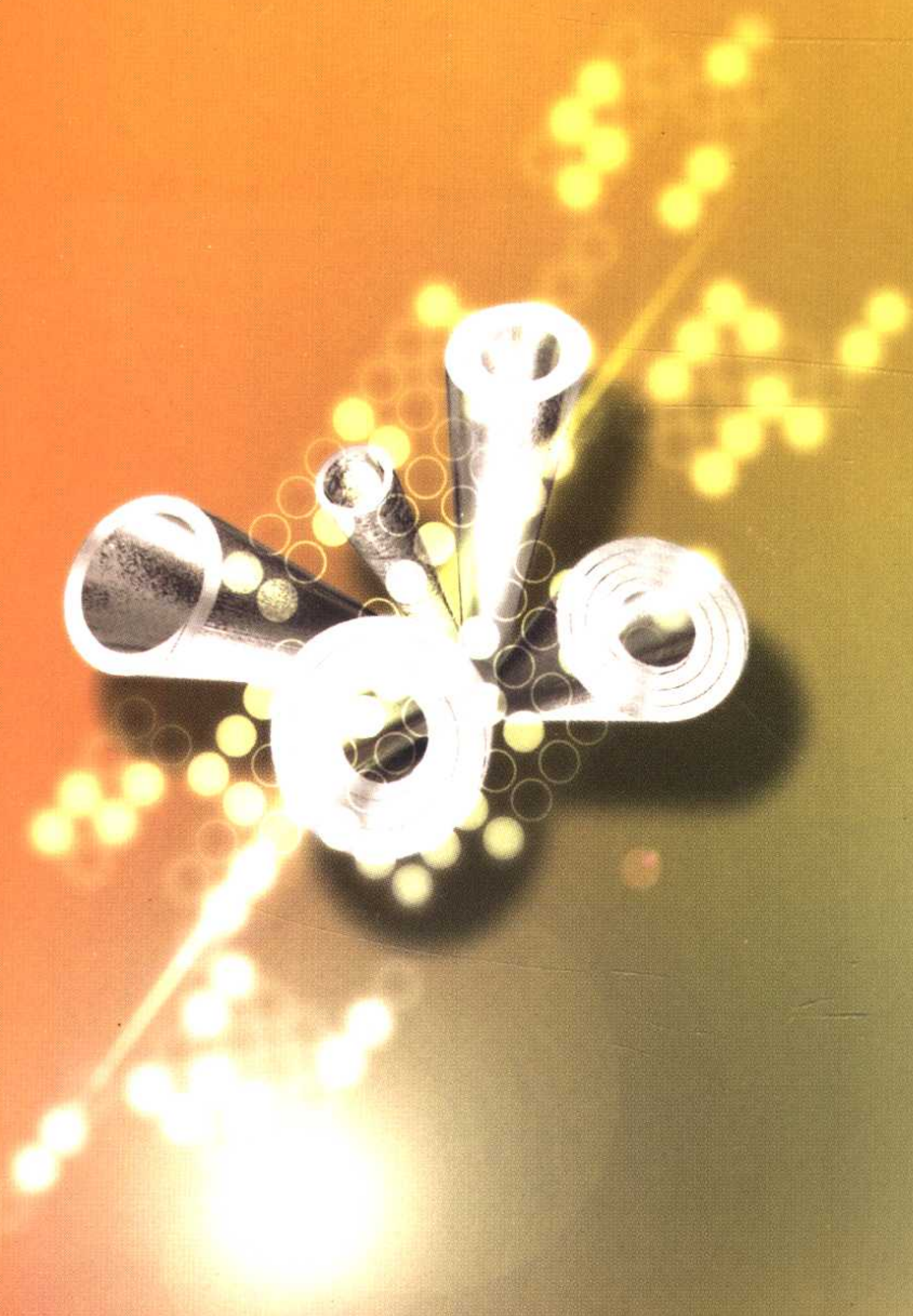
赖明道 吴学礼 著
于恩林 吴 坚



国防工业出版社

National Defense Industry Press

责任编辑：白天明 tmbai@ndip.cn
文字编辑：贾 艳
责任校对：钱辉玲
封面设计：李 珊 sli@ndip.cn



— 上架建议：焊管技术 —

<http://www.ndip.cn>

ISBN 7-118-04624-8



9 787118 046243 >

ISBN 7-118-04624-8/TG · 210

定价：38.00 元

焊管机组的研究与进展

赖明道 吴学礼 著
于恩林 吴 坚

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书着重对多年来焊管生产中所存在的部分重要问题,进行理论阐述并介绍试验研究结果。其中第1章、第2章是关于高频直缝焊管机组的力能参数分析和焊接过程的参数优化及闭环控制系统;第3章、第4章是关于双层和多层卷焊管机组的理论分析和生产实践;第5章是关于高频对接螺旋焊管机组成型焊接部分的理论分析和工业试验;第6章是关于内螺纹管机组关键部分的理论分析和实验;第7章是对于焊管成型这种大挠度弹塑性的双重非线性问题的有限单元法和有限条元法分析。

本书可供从事焊管的生产和研究人员使用,也可供高等院校的教学科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊管机组的研究与进展 / 赖明道等著. —北京:国防工业出版社, 2006. 10

ISBN 7-118-04624-8

I. 焊... II. 赖... III. 焊管机-研究
IV. TG431

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 074804 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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 331 千字

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764



赖明道，1928年8月生，重庆人。

1949年毕业于中央工业专科学校，1957年毕业于哈尔滨工业大学研究生班。曾历任东北重机学院、燕山大学系主任和研究所所长、教授和博士生导师。并曾兼任河北省金属学会常务理事及钢管委员会主任，和中国金属学会焊管委员会委员。主要从事超薄带轧制和焊接钢管方面的研究，曾获得多项省部级科技成果奖，在国内外发表了30多篇论文，并获得国务院特殊津贴。



吴学礼，黑龙江省齐齐哈尔市人。现任河北省政协委员，河北科技大学电气信息学院院长、教授、燕山大学博士生导师，兼任中国自动化学会青年工作委员会副主任委员，河北省自动化学会副理事长。1983年毕业于东北重型机械学院工业自动化专业，获学士学位；1988年毕业于燕山大学控制理论与控制工程专业，获硕士学位；2005年毕业于华中科技大学控制理论与控制工程专业，获博士学位。长期从事焊管工艺与焊接过程综合自动控制、智能控制理论与应用和实战射击综合自动化的研究工作。主持和完成10余项省部级以上科研项目，并获得全军科技进步一等奖1项，河北省科技进步二、三等奖各1项，获专利1项。发表学术论文70余篇，其中有20余篇被SCI等三大索引收录。

序 一

此书的内容是作者将近 20 多年来,教学与生产结合创新研究的成果,多次获得部级奖励,还先后获两项国家发明专利,并以之应邀参加了国际学术会议,达到了国内先进水平和国际水平。在同业界具有较好的参考价值,是国内外焊管业界可以借鉴的内容。

其中,焊管机组参数优化与自动控制,对于提高焊管质量的成材率起到了一定作用。特别是对于高档焊管生产,更是不可缺少的技术。作者们研制的国产双层管,为我国焊管业的发展做出了贡献。生产研制的三层管和高频对接螺旋管是我国的发明专利,其实施将会为我国国内经济的发展,提供优质低成本的新品种焊管。

工程院院士

殷国茂

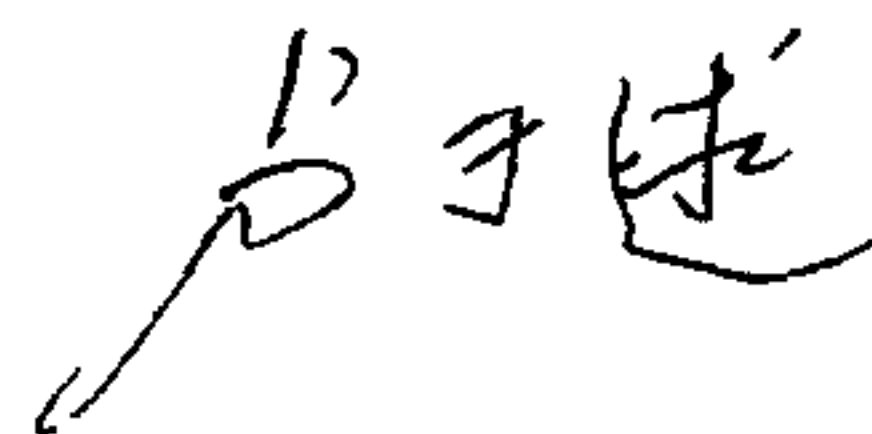
2006 年 9 月

序 二

焊管是一种国民经济中广泛采用的经济型材,其年产量达钢管总产量的1/2以上,然而国内外在这方面的理论研究工作,却甚为滞后。作者与其同仁主持并指导研究生做了大量的创新研究,其中成型机组的力能参数计算、有限元分析以及机组参数优化与控制等,获得了原机械工业部科技进步三等奖,达到了国内先进水平;其中的三层卷焊管和高频对接螺旋管已获得我国发明专利,镀锌涂塑双层卷焊管、三层管获得了河北省科技进步二等奖,达到国际水平。

本书全面论述了焊管轧制中各个生产环节的关键技术,既有深入的理论分析,又有具体工程实践经验的总结,贴近工程实践需要。其明显的特点是理论与实践紧密结合,各项研究都有很强的实践基础,这为进一步创新研究奠定了良好的理论基础,是焊管方面的研究者和工程技术人员的重要参考著作。

教授、博士生导师



2006年9月

前 言

我国焊管工业,始于20世纪50年代,并于70年代末开始发展。自20世纪80年代以后,随着经济的增长,其在数量、规格、品种等方面都有了迅猛的发展。我们在这一发展过程中,顺应形势,配合工业发展的需求,进行了大量的实验研究和理论分析工作,并尽力将其推广应用于生产实践中。

本书就是我们结合教学与生产,并组织师生共同开展学术研究和科研工作,将在各个阶段发表的部分研究成果加以收集和系统整理而成。全书共分7章:

第1章介绍了有关高频直缝焊管机组方面的研究成果。主要包括成型机组的力能参数计算与实验研究,以及与优质焊接有关的焊接温度、挤压力、合缝角等的分析。由赖明道、王海儒教授执笔完成。

第2章介绍了高频直缝焊管机组焊接过程的微机综合自动控制系统研究、主要工艺参数的检测与优化研究等。由吴学礼、吴坚教授执笔完成。

第3章介绍了有关双层卷焊管机组方面的成果。主要包括生产工艺研究与孔型设计方法;成型质量的理论分析与实验研究;钎焊过程的理论分析与实验研究;镀锌涂塑工艺研究及生产线的研制等。由于恩林教授执笔完成。

第4章介绍了有关三层和四层卷焊管机组方面的孔型设计和直热钎焊工艺等。由李云江、赖明道教授执笔完成。

第5章介绍了高频对接螺旋焊管机组成型焊接部分的特殊要求和技术成果。由吴坚、操圣祥教授执笔完成。

第6章介绍了内螺纹管机组关键设备的研究成果。由于恩林教授执笔完成。

第7章介绍了弹塑性有限元法和有限条元法在焊管成型分析中的初步应用。由于恩林、陈少杰教授执笔完成。

全书由赖明道、吴学礼教授进行统稿,并由四位作者教授共同审定。

所有各项研究工作都是在燕山大学钢管研究室的组织指导下,并在有关工厂科技人员和学校实验室同志的帮助下完成的。参加本书编写的还有孙凤文、

刘兴阁、郑延才、李桂云、于凤琴、张平等同志,在此一并表示我们的衷心谢意;尤其是燕山大学卷焊管厂的稳定生产为试验研究提供了良好生产基础,特对有关同志表示衷心感谢。

由于我们的条件有限,不足之处在所难免,敬请有关专家不吝指正。

作 者
2006 年 9 月

目 录

第 1 章 高频直缝焊管机组	1
1.1 成型机组的力能参数分析及计算	1
1.1.1 孔型设计的力学特点	1
1.1.2 弹塑性变形抗力的确定	3
1.1.3 成型力的计算	4
1.1.4 成型功率的计算	6
1.1.5 定径力的计算	7
1.1.6 定径功率的计算	10
1.1.7 成型机组电机功率选择	11
1.1.8 实验研究及测定值与计算值的比较	11
1.2 成型机组力能参数的实验与分析	12
1.2.1 实验测定	12
1.2.2 实验分析	18
1.2.3 有关计算方法的评述	20
1.3 成型机组滚动直径的计算	23
1.3.1 影响滚动直径的因素	23
1.3.2 按最小摩擦功率损耗设计辊型	25
1.3.3 压力分布函数	26
1.3.4 按最小摩擦功率损耗计算滚动直径位置	29
1.3.5 在 $\phi 165$ 机组上测得的滚动直径数值	31
1.4 焊接温度的计算	31
1.5 开口角的计算及其对加热过程的影响	37
1.5.1 开口角的计算	37
1.5.2 开口角对加热过程的影响	43
1.6 挤压辊顶锻力的计算	45
1.6.1 基本假定	45
1.6.2 顶锻力的计算	46

1.6.3	顶锻力对焊缝质量的影响	50
1.6.4	算例	52
1.7	开口孔型的接触压力	53
1.7.1	水平辊轧制负荷及其分布	54
1.7.2	立辊的轧制负荷	57
	参考文献	60
第2章	焊接过程的综合自动控制	62
2.1	焊接过程主要工艺参数的微机实时监测	62
2.1.1	改进后的焊接温度与挤压力微机实时监测系统	62
2.1.2	焊接速度微机实时监测的实现方法	65
2.2	焊接挤压力的微机自动控制	69
2.2.1	油马达微机自动控制系统的设计	70
2.2.2	功率步进电机微机自动控制系统的设计	75
2.3	焊接温度的单变量功率自动控制	78
2.3.1	焊接过程的工艺分析	79
2.3.2	控制方案的形式	79
2.3.3	输出功率调节装置的实现方法	80
2.3.4	被控对象的数学模型和控制方案的确定	81
2.3.5	单变量自适应控制算法	81
2.3.6	焊接温度单变量功率控制的微机实现	84
2.4	焊接温度的多输入前馈自动控制	86
2.4.1	多输入前馈控制方案	86
2.4.2	焊接温度的速度控制方案	90
2.4.3	控制方案的微机实现	93
2.5	高频直缝焊管挤压力的检测	94
2.5.1	主要参考数据	95
2.5.2	检测方案及其装置的选择和设计	95
2.5.3	检测方法	97
2.5.4	检测结果分析	100
2.6	焊管生产中的速度检测装置	102
2.6.1	常用的测速仪和方法	102
2.6.2	新式转角脉冲发生器测速装置及工作原理	103
2.7	高频直缝焊接主要工艺参数的优化	105
2.7.1	实验条件	106

2.7.2	焊管参数综合测试	107
2.7.3	实验结果	109
2.7.4	分析及结论	112
2.8	高频焊管焊接过程的微机综合自动控制	113
2.8.1	控制方案	114
2.8.2	采用的主要设备及其技术性能	115
2.9	具有分级结构的模糊自适应控制	118
2.9.1	具有分级结构的模糊自适应控制算法	118
2.9.2	自适应调整级调整策略	120
	参考文献	122
第3章	双层卷焊管机组	123
3.1	焊管的工艺	123
3.1.1	带钢宽度的确定	123
3.1.2	带钢的镀铜	124
3.1.3	带钢的边缘处理	124
3.1.4	焊管的成型	125
3.1.5	焊管的焊接	128
3.1.6	质量检查	128
3.2	孔型设计方法	129
3.2.1	成型方法	129
3.2.2	成型底线	132
3.2.3	配辊设计	132
3.3	计算机在孔型设计中的应用	133
3.3.1	孔型的设计	134
3.3.2	利用计算机进行孔型设计计算	134
3.4	过盈成型的理论分析	137
3.4.1	极限过盈成型量的确定	137
3.4.2	过盈压力的确定	140
3.5	成型质量的理论分析及实验研究	141
3.5.1	影响层间焊合率的因素分析及控制	141
3.5.2	最大定径力的确定	144
3.6	定径辊减壁区轧制压力及腰鼓形芯棒轴向力的确定	146
3.6.1	腰鼓形芯棒减壁区单位轧制压力分布的确定	147
3.6.2	总轧制压力的确定	148

3.6.3	腰鼓形芯棒轴向力的确定	149
3.6.4	理论结果与实测值的比较和分析	149
3.7	定径辊减壁区轧制压力及锥柱形芯棒轴向力的确定	152
3.7.1	锥—柱形芯棒减壁区单位轧制压力分布的确定	153
3.7.2	总轧制力的确定	155
3.7.3	锥—柱形芯棒轴向拉力的确定	156
3.7.4	理论结果的对比及分析	157
3.8	连续感应焊的探讨	159
3.8.1	感应器设计	159
3.8.2	实验及分析	162
3.9	电阻直热钎焊设备及工艺	163
3.9.1	工作原理	163
3.9.2	钎焊方法的特点	164
3.9.3	钎焊设备	165
3.9.4	工艺方面的几个问题	166
3.10	套管式辐射钎焊炉的理论分析与实验研究	170
3.10.1	加热过程的理论分析	171
3.10.2	实验研究及分析	173
3.11	成型机组综合测试研究	175
3.11.1	综合测试的设备特点	175
3.11.2	测试结果及分析	176
3.12	镀锌涂塑工艺及其生产线	177
3.12.1	PVF 管生产工艺	178
3.12.2	自动化连续生产线	179
3.13	钎焊过程与预热过程模糊自适应温控系统	182
3.13.1	钎焊过程模糊自适应温度控制	182
3.13.2	镀锌涂塑双层卷焊管预热过程模糊自适应温度控制	184
	参考文献	188
第 4 章	三层和四层卷焊管机组	190
4.1	三层卷焊管的成型	190
4.1.1	结构与特征	190
4.1.2	几何参数计算	191
4.1.3	成型过程设计	191
4.1.4	辊式成型和钎焊实验	192

4.2	成型过程的综合实验研究	193
4.2.1	综合测试	193
4.2.2	测试结果和分析	194
4.3	钎焊过程分析	196
4.3.1	电阻直热钎焊过程	197
4.3.2	稳态分析	197
4.3.3	温度波动的控制方法	201
4.4	钎焊过程的动态分析	202
4.4.1	基本公式	202
4.4.2	横断面积和速度变化的数学模型	204
4.4.3	横断面积影响最小的研究	204
4.4.4	速度变化影响最小的研究	207
4.4.5	实验	208
4.5	成型过程的张力分析	208
4.5.1	张力分析的原理	209
4.5.2	张力分析的步骤	209
4.5.3	理论与实验的比较	211
4.5.4	理论分析结果	211
4.6	一次成型四层卷焊管的孔型设计与试验研究	214
4.6.1	一次成型四层卷焊管孔型设计	215
4.6.2	一次成型的四层卷焊管的试验研究	219
	参考文献	220
第5章	高频对接螺旋焊管机组	221
5.1	螺旋管的成型实验	221
5.1.1	对焊焊缝的实现	221
5.1.2	实验	222
5.2	螺旋焊管的成型理论	225
5.2.1	理想带钢的成型	226
5.2.2	具有恒定不变挠度的板材成型	228
5.2.3	工艺参数分析	230
5.3	成型机组板带递送机接触变形区参数的理论分析	232
5.3.1	理论推导	232
5.3.2	结果分析	237
5.4	高频对接螺旋焊管的工业试验研究	238
5.4.1	试验机组简介	238

5.4.2	试验过程	239
5.4.3	试制管的检验	240
	参考文献	244
第6章	内螺纹管机组	245
6.1	内螺纹管拉拔生产及其参数分析	245
6.1.1	拉拔过程数学模型的建立	245
6.1.2	计算实例	249
6.2	管材内螺纹滚压成型及换热性能试验研究	250
6.2.1	管材内螺纹滚压成型及有限元分析	250
6.2.2	内螺纹管材换热性能试验	252
6.3	内螺纹双层卷焊管的轧制生产	254
6.3.1	理论分析	255
6.3.2	制造方法	256
6.3.3	影响换热性能的因素分析	257
	参考文献	258
第7章	弹塑性有限元法和样条有限条法的应用	259
7.1	直缝焊管成型的有限元素分析	259
7.1.1	直缝焊管成型的力学分析模型	260
7.1.2	直缝焊管成型的有限元素分析	260
7.1.3	有限元素法分析的计算实例及其结论	265
7.2	双层卷焊管成型过程的有限元分析	267
7.2.1	成型过程的有限元模拟及分析	268
7.2.2	试验研究	270
7.3	管材滚压剪切过程有限元分析	271
7.3.1	有限元分析的建模过程	271
7.3.2	数值模拟结果及分析	272
7.3.3	数值模拟结果与实验值比较	276
7.4	螺旋焊管成型过程的样条有限条法分析	277
7.4.1	有限条法三级离散模型	277
7.4.2	增量型有限条 U. L 法列式	277
7.4.3	螺旋焊管成型过程分析	279
7.5	正交试验法在单层钎焊管生产中的应用	281
7.5.1	用正交试验法选择生产工艺参数	281
7.5.2	试验结果分析	283
	参考文献	286

第1章 高频直缝焊管机组

我国的焊管工业发展较晚,研究工作极少开展,以致设计新机组时,缺乏对力能参数的计算选择方法。对于原机组生产新品种或新材料时,也缺乏对设备能力的预估。又由于对成型机理的认识不足,对生产操作和产品缺陷的分析,就不尽合理。因而不少单位提出了这方面的迫切要求。我们在几个有代表性的工厂进行了力能参数实测,并对该工艺操作和产品质量进行了分析,确认该成型原理是基于弹塑性弯曲,并受到操作因素的深刻影响。本章就分别介绍这方面的分析及计算。

1.1 成型机组的力能参数分析及计算^[1]

本节根据弹塑性弯曲变形的原理,分析了各直缝焊管成型机座的变形过程,从而提出了确定其力能参数的计算方法。又根据无限长管局部均布受压的物理模型,导出按定径量及弹复量确定钢管定径尺寸以及力能参数的计算方法。最后,按静负载和动负载,并参考电动机控制系统的完善情况,确定所选电动机的功率。

带钢弯曲成型和定径是生产电焊钢管的主要工序。认识和了解带钢弯曲成为管筒的成型过程及其力能参数计算,对于进行电焊钢管成型机组的设备设计和挖掘生产潜力,有一定的现实意义。然而,国内外在这方面的研究甚少,致使我们在设计时,深感资料缺乏。已查到的各种成型力计算,其计算结果相互间差距很大,难以作为根据。作者在国内外学者所进行的基本理论分析基础上,提出了直缝管成型机组力能参数计算方法,并进行了大量实验研究,确认两者之间是相当符合的。

1.1.1 孔型设计的力学特点

1. 成型机组轧辊的一般布置形式(图1-1)

从图1-1布置形式的比较,可以看出:日本为降低第四号水平机座的高度,改用立辊是较为有利的;中国在带切入垫圈的水平辊间放置立辊,似无必要。