

高合金钢丝线

唐锡世 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高合金钢丝线

唐锡世 编著

北 京

冶金工业出版社

2008

内 容 简 介

高合金钢丝线具有电阻高、耐高温、抗氧化、精密灵敏的特点,属高、精、尖产品,而且应用非常广泛。

本书共包括5篇21章,其内容涉及高电阻电性高合金钢丝,高电阻精密电阻合金,高电阻电热合金,电热合金生产工艺与技术,电热合金丝选用。

本书适合从事冶金工程、材料工程科研、生产的工程技术人员和大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高合金钢丝线/唐锡世编著. —北京:冶金工业出版社,
2008.5

ISBN 978-7-5024-4471-6

I. 高… II. 唐… III. 高合金钢—钢丝 IV. TG142.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第039544号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 郭庚辰 美术编辑 张媛媛 版式设计 张 青

责任校对 侯 璐 责任印制 丁小品

ISBN 978-7-5024-4471-6

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008年5月第1版,2008年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;28印张;680千字;428页;1-3000册

75.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
材料组织结构转变原理	刘宗昌	32.00
金属固态相变教程	刘宗昌	30.00
合金相与相变(第2版)	肖纪美(院士)	37.00
超细晶钢——钢的组织细化理论与控制技术	翁宇庆	188.00
新材料概论	谭毅 李敬锋	89.00
现代材料表面技术科学	戴达煌	99.00
电子衍射物理教程	王蓉	49.80
有序金属间化合物结构材料物理金属学基础	陈国良(院士) 等	28.00
超强永磁体——稀土铁系永磁材料(第2版)	周寿增 董清飞	56.00
材料的结构	余永宁 毛卫民	49.00
薄膜材料制备原理技术及应用(第2版)	唐伟忠	28.00
金属材料学	吴承建	32.00
金属学原理(第2版)	余永宁	53.00
材料学方法论的应用——拾贝与贝雕	肖纪美(院士)	25.00
材料学的方法论	肖纪美(院士)	15.60
2004年材料科学与工程新进展	中国材料研究学会	238.00
多孔材料检测方法	刘培生 马晓明	45.00
铝阳极氧化膜电解着色及其功能膜的应用	[日]川合慧 著 朱祖芳 译	20.00
金刚石薄膜沉积制备工艺与应用	戴达煌 周克崧	20.00
金属凝固过程中的晶体生长与控制	常国威 王建中	25.00
复合材料液态挤压	罗守靖	25.00
陶瓷材料的强韧化	穆柏春 等	29.50
超磁致伸缩材料制备与器件设计	王博文	20.00
Ti/Fe复合材料的自蔓延高温合成工艺及应用	邹正光	16.00
金属电磁凝固原理与技术	张伟强	20.00
连续挤压技术及其应用	钟毅	26.00
材料评价的分析电子显微方法	[日]进藤大辅 及川哲夫 著 刘安生 译	38.00
材料评价的高分辨电子显微方法	[日]进藤大辅 平贺贤二 著 刘安生 译	68.00
粉末冶金摩擦材料	曲在纲	39.00
金属基复合材料及其浸渗制备的理论与实践	王玲	45.00
材料环境学	潘应君	30.00
金属塑性加工有限元模拟技术与应用	刘建生	35.00
陶瓷腐蚀	[美]罗纳德 著 高南 张启富 译	25.00
金属材料的海洋腐蚀与防护	夏兰廷 等	29.00
陶瓷基复合材料导论(第2版)	贾成厂	23.00
陶瓷-金属复合材料	李久荣	69.00
未来 创新发展——第7届北京冶金青年优秀论文集	北京金属学会	99.00
NiTi形状记忆合金在生物医学领域的应用	杨大智 等	33.00

前 言

高合金钢丝线有很多种，本书所涉及的高电阻、耐高温、抗氧化、高稳定、精密灵敏的高合金钢丝线只是其中特殊的一簇，属高、精、尖产品。它的应用领域既广泛且前沿，例如高空、深水、高速、强振、强冲击、强辐射、多种应力、无线电信号、高低温急冷急热、催化燃烧、抗蚀净化的精密线绕电阻、应变栅、发射块、催化燃烧网、抗蚀矫形、各种电热元件等。与国计民生关系甚密，市场前景非常看好。

本书所涉及的高合金钢丝线在国外研发已有一个世纪，在国内也已有半个多世纪。人们谙熟其电热特性，深知其特殊功能，军用民用都不可缺少。用途既重要又非神秘。它的生产工艺难度大，要求严格，如铁铬铝合金及其丝线等，是20世纪60年代，北京钢丝厂在北京钢铁学院柯俊、朱觉教授以及清华大学冶金系、北京冶金所等单位的帮助下，研制成功的。

作者1962年毕业于武汉钢铁学院冶金系，在北京钢丝厂（特殊钢企业）工作40多年，参加工作后不久在厂科研室和葛清泉同志一起负责铁铬铝微细丝（ $\phi 0.01\text{mm}$ ）（军工科研项目）研制工作。1965年初成功制成 $\phi 0.008\text{mm}$ 样品并完成 $\phi 0.01\text{mm}$ 试制任务，并代表厂于1966年4月在上海科学会堂召开的全国力学科技大会开幕式上专题发言，受到与会代表的热烈关注。从此便与高电阻、精密灵敏的高合金钢丝线结下不解之缘。前后参与本书中部分科研项目、现场跟踪试验，技术改革，工装改造，工艺技术管理和车间生产技术、厂技术质量及合资公司副总等实践活动。亲自操持部分产品工艺性研试探索，参与一些国产高合金材料、创企业产品品牌等技术工艺攻关项目。多次经历从备料、冶炼、锻轧、拔制和冷热处理，直至微细丝线成品检测入库的全过程，幸得同事、同行、大专院校、科研院所长年合作，亲身感受，受益颇多。

本书既是同科研机构、院校、企业长年结合、协作所取得丰硕成果的一个缩影，又是对该厂长期坚持内外三结合搞科研，以科技和管理创产品名牌的一

种纪念。

受冶金工业出版社编辑之约，趁退休闲暇，整理多年资料，为加深认识和反映本行业概貌，源引同行、同事部分图片、资料、精品佳作，如袁康老师的拉丝基础，于仁伟老师的拉丝模与润滑，吴惠然老师的拉丝润滑剂等内容，提供比照佐证。其内容丰富，资料数据翔实，对指导高、中、低合金钢、不锈钢的生产，科研，教学等方面都有较高参考价值。

由于作者水平有限，书中虽示出成功的经验，也道出失败教训，但局限于当时当地技术手段和认识水平，因此所列之案例仅供参考。对所源引之作
者在此一并表示衷心感谢！如有谬误和不足，恳请读者赐教，以便修正，免
误他人。

编著者 唐钊世

(原首钢康太尔公司副总经理、
原北京钢丝厂技质部部长、
轧钢(制品)高级工程师)

2008年2月

目 录

第1篇 高电阻电性高合金钢丝

1 概述	3
1.1 丝与钢丝	3
1.2 钢丝的分类	3
1.2.1 按化学成分区分	4
1.2.2 按横截面形状划分	4
1.2.3 按尺寸(直径)划分	4
1.2.4 按最终热处理(交货状态)划分	4
1.2.5 按力学性能(抗拉强度)划分	4
1.2.6 按表面状态划分	5
1.2.7 按塑性变形种类划分	5
1.2.8 按用途划分	5
1.3 金属与合金的电阻	5
1.3.1 电导与电阻	5
1.3.2 金属导电的物理本质	6
1.3.3 影响金属导电性能的因素	7
2 电性高合金钢细丝表面绝缘层	14
2.1 涂料与油漆	14
2.2 涂料的组成	14
2.2.1 主要成膜物质(黏结剂)	14
2.2.2 次要成膜物质(颜料)	14
2.2.3 辅助成膜物质(溶剂)	15
2.3 涂料的分类命名	15
2.4 油漆的编号原则	16
2.5 漆包线用绝缘漆	16
2.6 关于聚酯漆包线烘漆	17
2.6.1 酯交换反应和聚酯单体制备	17
2.6.2 缩聚反应	18
2.6.3 聚酯漆在漆包线涂制过程中的成膜变化	18

3 电性高合金钢丝线标准与要求	20
3.1 合金钢丝通用标准与技术要求	20
3.2 对高电阻精密电阻合金基本要求	20
3.3 精密线绕电阻器总技术条件 (SJ153—)	22
3.3.1 产品标准	22
3.3.2 产品型号命名方法	22
3.4 高电阻精密电阻合金丝材料的技术条件标准	25
3.4.1 裸线技术条件	26
3.4.2 漆包线技术条件	27
3.5 高电阻、高灵敏应变电阻合金及要求	29
3.5.1 对应变电阻合金性能的基本要求	29
3.5.2 应变灵敏系数	30
3.5.3 影响弹性模量 (E) 的因素	31
3.5.4 线 [膨] 胀系数	32
3.6 高电阻电热合金和标准	32
3.6.1 电热合金的标准及牌号	33
3.6.2 部分国家电热合金的技术标准特点	35

第 2 篇 高电阻精密电阻合金

4 高电阻精密电阻合金概况	39
4.1 精密电阻合金的用途要求和分类	39
4.1.1 精密电阻与合金材料	39
4.1.2 精密电阻的用途	40
4.1.3 对精密电阻合金材料的期望和要求	40
4.1.4 精密电阻合金的分类	41
4.2 贵金属系精密电阻合金	42
4.3 铜-镍系合金与铜-镍系精密电阻合金	44
4.3.1 铜-镍系合金	44
4.3.2 铜-镍系精密电阻合金	45
4.4 铜-锰系精密电阻合金	46
4.4.1 Cu-Mn 二元合金的相结构与性能	46
4.4.2 锰-铜合金	48
4.4.3 Cu-Mn 系其他精密电阻合金	53
5 镍-铬系高电阻精密电阻合金	56
5.1 前人的工作简况	56

5.2 合金元素对改良型 Ni-Cr 合金性能的影响	59
5.2.1 铬的影响	59
5.2.2 Al 的影响	59
5.2.3 Mn 的影响	60
5.2.4 Si 的影响	60
5.2.5 Mo 的影响	60
5.2.6 Fe 的影响	60
5.2.7 Cu 的影响	61
5.2.8 Ti 的影响	61
5.2.9 Y、Ge、Zr、Ce 的影响	61
5.3 不同成分的不同电学性能	61
5.4 热处理对 Ni80Cr20 合金电阻的影响	64
5.5 加工度和热处理的影响	65
5.6 Ni-20Cr-3Al-1.5Mn-1.2Si 精密电阻合金	66
5.6.1 化学成分对 α 的影响	66
5.6.2 细拔工艺对 NiCrAlMnSi 合金 α 的影响	68
5.6.3 退火工艺对 NiCrAlMnSi 合金 α 的影响	70
5.6.4 回火工艺对 NiCrAlMnSi 合金 α 的影响	72
5.7 精密电阻的稳定性	75
5.7.1 稳定性含义及界定	75
5.7.2 精密电阻不稳定的原因分析及措施	76
6 高电阻应变合金	80
6.1 应力的测量和对材料要求	80
6.1.1 物体受力后应力测量的意义	80
6.1.2 对常温应变片用丝材的要求	80
6.1.3 中高温应变片对丝材性能的要求	81
6.2 应力测量原理和所用材料	81
6.3 高阻铁铬铝应变合金	82
6.3.1 Fe-Cr-Al 成分与 α - t 的关系	84
6.3.2 Fe-Cr-Al 合金冷拔态电阻与时效 $t(^{\circ}\text{C})$ 的关系	85
6.3.3 热处理对 Fe-Cr-Al 合金微细丝的 α 及 E_{Cu} 的影响	86
6.3.4 热处理对 Fe-Cr-Al 合金微细丝的强度和塑性的影响	89
6.3.5 热处理对 Fe-Cr-Al 合金高温应变片的热输出及热滞后的影响	90
6.3.6 良好的高温应变材料性能	92
6.3.7 对 Fe-Cr-Al 应变片实测部分结果的列示及说明	95
6.3.8 热循环对应变灵敏系数、电阻稳定性的影响	96
7 镍铬改良型应变合金	103
7.1 张力传感器用镍铬改良型应变丝的条件	103

7.2 微细丝材制备	103
7.2.1 真空双联冶炼工艺简要	103
7.2.2 锻造与轧制工艺简要	104
7.2.3 合金的冷拔与热处理工艺简要	105
7.2.4 真空回火（即低温时效处理）工艺条件	106
7.2.5 性能测试方法和条件	106
7.3 工艺条件对合金性能的影响	107
7.3.1 冷变形量对同一成分合金性能的影响	107
7.3.2 冷拔变形量对改良型 Ni-Cr 合金物理性能的影响	111
7.3.3 热处理对合金性能的影响	111
7.3.4 回火（低温时效）对合金性能的影响	114
7.4 分析总结	120
7.5 问题的探讨	121
7.6 合金细丝电学性能的均匀性探索	121
7.6.1 新旧钻石拉丝模拉丝对比	124
7.6.2 回火炉炉膛温度均匀性实验	124
7.7 关于合金微细丝的织构问题	126
7.8 高电阻应变合金性能的稳定性探讨	128
7.8.1 前提条件	128
7.8.2 影响因素	128

第3篇 高电阻电热合金

8 概论	137
8.1 对高电阻电热合金的要求、分类及其特点	137
8.1.1 对高电阻电热合金的要求	137
8.1.2 高电阻电热合金的分类	137
8.1.3 高电阻电热合金的特点	137
8.2 在国民经济中的作用	139
8.2.1 电热元件	140
8.2.2 高、中温电阻元件	140
8.2.3 应力测量元件	140
8.2.4 特殊构件	140
8.3 国内外现状	140
8.4 发展趋势和展望	141
9 镍基电热合金	142
9.1 镍铬合金的相	142

9.1.1 合金状态图 (相图)	142
9.1.2 镍铬合金相图	142
9.2 合金元素在镍基电热合金钢中的作用	143
9.2.1 常用物理、化学数据	143
9.2.2 合金元素与 γ 相区的关系	144
9.2.3 合金元素在镍基合金中的作用	145
9.2.4 镍铬合金的抗拉强度	148
9.2.5 镍基电热合金的抗氧化性能	149
9.2.6 合金元素对寿命的影响	152
9.3 镍基合金的电阻特性	155
9.3.1 Ni-Cr 的电阻与温度的关系	155
9.3.2 改良型 Ni-Cr 精密电阻材料	155
9.3.3 应变计电阻丝材	156
9.4 氢对镍铬系电热合金的影响	158
9.5 氮对镍铬系电热合金的影响	159
10 镍基电热合金的成形与加工	161
10.1 镍基合金的热加工	161
10.1.1 镍基合金坯料的外观质量	161
10.1.2 影响镍基合金加工的内在因素	161
10.1.3 Ni-Cr 合金的加热制度	161
10.1.4 Ni-Cr 合金的热加工	163
10.2 Ni-Cr 合金的冷加工	166
10.2.1 拔丝冷加工工艺流程	166
10.2.2 碱浸	166
10.2.3 酸洗	167
10.2.4 白化 (钝化)	168
10.2.5 涂层	168
10.2.6 润滑剂	168
10.2.7 镍基电热合金钢丝的拉拔	168
11 Fe-Cr-Al 铁基电热合金	169
11.1 铁铬铝合金的相	169
11.1.1 铁铬铝合金相图	169
11.1.2 合金元素的影响	170
11.1.3 Fe-Cr-Al 的熔度图	170
11.1.4 铁铬单边空间平衡图	171
11.1.5 Fe-Cr-Al 三元合金组织结构的变化	171
11.2 合金元素的作用	173

11.2.1 Fe 对合金电学性能等的影响	173
11.2.2 Cr 对合金电学性能的影响	173
11.2.3 Al 对合金电学性能的影响	175
11.2.4 不同成分 Fe-Cr-Al 合金的电阻温度特性	175
11.3 Fe-Cr-Al 合金的性能及影响因素	176
11.3.1 Fe-Cr-Al 合金的抗氧化性能	176
11.3.2 Fe-Cr-Al 合金的氧化机理	180
11.3.3 合金元素对 Fe 氧化速度的影响	187
11.3.4 合金元素对 Fe-Cr-Al 合金抗氧化性能的影响	188
11.3.5 铁铬铝电热合金的寿命	193
11.3.6 稀土残留量对 Fe-Cr-Al 电热合金寿命的影响	197
11.3.7 稀土元素对高温抗氧化性能的影响	199
11.3.8 稀土元素对蠕变性能的影响	200
11.3.9 夹杂物对 Fe-Cr-Al 合金寿命的影响	202
11.3.10 减少非金属夹杂物的措施	208
11.3.11 铁铬铝合金的力学性能	210
11.3.12 铁铬铝合金的低温脆性	218

第 4 篇 电热合金生产工艺与技术

12 铁铬铝合金冶金质量	225
12.1 Fe-Cr-Al 合金的成形	225
12.1.1 Fe-Cr-Al 合金的 4 种成形路线	225
12.1.2 不同成形路线的质量	226
12.2 双极旋转电渣重熔合金质量	234
12.2.1 电极形状	235
12.2.2 重熔 20kg 锭数据	235
12.2.3 重熔 50kg 锭数据	235
12.2.4 节能细晶锭低倍组织	236
12.2.5 节能细晶锭成分分布	236
12.2.6 节能细晶电渣钢中非金属夹杂物	236
13 三相有衬电渣炉冶炼铁铬铝合金	239
13.1 电渣炉冶金	239
13.2 三相自耗电极有衬电渣炉炼钢概况	239
13.2.1 发展过程及工艺简述	239
13.2.2 主要冶金化学反应	240
13.3 三相有衬电渣炉工艺与操作概要	242

13.3.1	工艺参数确定	242
13.3.2	工艺操作要点	245
13.4	有衬电渣炉冶金质量	246
13.4.1	冶金质量比较	246
13.4.2	结论	247
13.5	有衬电渣炉的设备结构	247
13.5.1	主设备结构	247
13.5.2	装钢水的钢包	248
13.6	有衬电渣炉炼钢对原材辅料要求	249
13.6.1	金属料	249
13.6.2	非金属材料	250
14	电渣重熔铁铬铝合金	252
14.1	对熔渣的要求	252
14.1.1	对渣系的要求	252
14.1.2	常用熔渣的渣系组分和主要特性	253
14.2	电渣重熔原理简介	255
14.2.1	金属熔滴形成与脱落	255
14.2.2	钢锭的形成过程	255
14.3	电渣重熔工艺参数	256
14.3.1	结晶器和自耗电极断面尺寸	256
14.3.2	极间距及内圆斜度选择	256
14.3.3	填充比的选择	256
14.3.4	工作电压选择	257
14.3.5	工作电流选择	257
14.3.6	电渣重熔钢锭结晶状态	258
14.3.7	冷却水温度控制	258
14.4	电渣重熔钢锭主要缺陷及防止	259
14.4.1	钢锭顶部缩孔	259
14.4.2	锭身出现波浪形螺纹	259
14.5	电渣重熔冶金质量	260
14.6	脱氮	262
14.6.1	氮在钢及合金中的溶解度	262
14.6.2	减少氮化物和夹杂物途径的探索	264
14.6.3	稀土氧化物渣在电渣双联法降夹杂物效果	267
14.7	提高电渣重熔稀土回收率措施	269
14.7.1	采用变更的工艺	269
14.7.2	供电制度对稀土还原度的影响	270
14.7.3	稀土还原度对合金快速寿命值的影响	271

15 感应炉冶炼电热合金	273
15.1 感应炉基础知识	273
15.1.1 感应加热	273
15.1.2 工频感应炉冶炼设备	276
15.1.3 中频感应炉冶炼设备	277
15.1.4 高频感应炉冶炼设备	279
15.1.5 真空感应炉冶炼设备	279
15.2 感应炉冶炼电热合金	283
15.2.1 感应炉冶炼特点	283
15.2.2 感应炉冶炼主要物理化学反应	283
15.3 感应炉冶炼电热合金的原材辅料	287
15.3.1 金属料	287
15.3.2 渣料	289
15.3.3 感应炉冶炼配料举例	289
15.4 感应炉坩埚制作要点	293
15.5 中频感应炉冶炼	293
15.5.1 碱性坩埚冶炼工艺要点	294
15.5.2 中频感应炉冶炼用渣	295
15.6 高频感应炉和真空感应炉冶炼	296
15.6.1 高频感应炉冶炼	296
15.6.2 真空感应炉冶炼	296
16 真空电渣炉和电弧炉—VOD 精炼铁铬铝合金	299
16.1 真空电渣炉冶炼铁铬铝合金	299
16.1.1 真空电渣炉简介	299
16.1.2 冶炼操作要点	299
16.2 电弧炉—VOD 冶炼铁铬铝简介	300
16.2.1 钢材现状质量与差距	300
16.2.2 各种炉外精炼的效果	301
16.3 电弧炉—VOD 双联冶炼	303
17 铁铬铝合金的热加工	308
17.1 合金钢锭锻造	308
17.1.1 锻造设备	308
17.1.2 加热设备	308
17.1.3 Fe-Cr-Al 合金钢锭的锻造开坯	309
17.2 Fe-Cr-Al 合金方坯的热轧加工	311
17.2.1 轧制设备	311

17.2.2 Fe-Cr-Al 合金轧制前的加热	312
17.2.3 电热合金钢锭的热轧开坯工艺	313
17.2.4 电热合金的热轧	314
17.2.5 热轧铁铬铝合金盘条部分问题讨论	314
18 Fe-Cr-Al 合金丝的冷加工	323
18.1 Fe-Cr-Al 合金粗拔加工流程与热处理	323
18.1.1 Fe-Cr-Al 盘条的热处理	323
18.1.2 热处理用退火炉	324
18.2 碱浸、酸洗	324
18.2.1 碱浸	324
18.2.2 酸洗工艺	325
18.2.3 白化工艺	325
18.2.4 涂层工艺	325
18.2.5 去涂层及中和	327
18.3 合金盘条和粗丝拉拔设备	327
18.3.1 单次拉丝机	327
18.3.2 活套式连续拉丝机	329
18.4 电热合金拉丝用模	331
18.4.1 摩擦及其影响因素	331
18.4.2 钢丝拉拔时的外摩擦	332
18.4.3 拉丝模的磨损	334
18.5 硬质合金拉丝模	335
18.5.1 模芯	335
18.5.2 电热合金钢丝用硬质合金拉丝模	336
18.6 金刚石拉丝模	337
18.6.1 金刚石拉丝模用坯料	337
18.6.2 金刚石拉丝模的结构及孔型	338
18.6.3 金刚石拉丝模标准	339
18.6.4 金刚石拉丝模研磨及修复	340
18.7 拉丝模孔的测量	342
18.7.1 直径测量仪	342
18.7.2 高倍立体显微镜	343
18.8 制模、修模主要设备	343
18.8.1 立式单头研磨打孔机	343
18.8.2 电解扩孔机	344
18.8.3 激光打孔机	344
18.8.4 超声波研磨抛光机	344
18.8.5 精密线抛光机	345

18.9 流体动力润滑—压力模	346
18.9.1 流体动力装置	346
18.9.2 压力模的选择	348
18.10 拉丝润滑剂	348
18.10.1 对润滑剂性能的要求	348
18.10.2 拉丝润滑剂的分类与使用	349
18.10.3 对钢丝表面预处理	349
18.10.4 干式润滑剂	350
18.10.5 干式润滑剂的基本特性	352
18.10.6 干拉丝中的问题与对策	353
18.10.7 湿式(水溶性)润滑剂	354
18.10.8 拉丝润滑油	355
18.10.9 拉丝润滑剂的选择	357
18.11 Fe-Cr-Al 合金盘条和粗丝材的拔制	359
18.11.1 盘条椭圆度问题	359
18.11.2 夹杂物的影响	359
18.11.3 氢气的影响	359
18.11.4 总压缩比与再结晶温度的关系	360
18.11.5 拔制工艺的制定	362
18.11.6 粗拉丝和中拉丝配模举例	363
18.12 合金丝拉拔基础知识	365
18.12.1 拉拔力分析	365
18.12.2 拉拔时变形区内金属流动规律和应力分布	367
18.12.3 合金丝拉拔变形程度的表征及计算	374
19 合金细丝的冷加工	379
19.1 合金细丝的拉拔设备	379
19.2 Fe-Cr-Al 合金细丝的拔制生产	380
19.2.1 小规格丝的拔前表面准备	380
19.2.2 细小规格丝拉拔制度	381
19.2.3 实例	381
19.2.4 细丝成品的拉拔	381
19.2.5 细小规格 Fe-Cr-Al 丝的主要缺陷及防止	381
19.3 合金细丝的表面润滑剂及去除	383
19.3.1 过渡性润滑剂	383
19.3.2 拔丝的表面清洗和热处理	383
19.4 合金细丝热处理设备	384
19.5 氨分解保护气氛	385
19.5.1 氨分解气氛	385

19.5.2	制备原理	386
19.5.3	催化剂	387
19.5.4	液氨的蒸发	389
19.5.5	氨分解气的净化	389
19.6	新氨分解炉烘炉和净化剂再生制度	394
19.6.1	新氨分解炉烘炉制度	394
19.6.2	净化剂再生处理制度	394
19.7	合金细丝光亮连续退火工艺	395
19.7.1	Fe-Cr-Al 细丝退火工艺	395
19.7.2	6J15、6J20 和不锈钢细丝退火工艺	396
19.7.3	Ni-Cr-Al-Mn-Si 细丝退火工艺	396
19.8	精密电阻合金微细丝真空回火处理	397
19.8.1	真空回火设备	397
19.8.2	设备参数	397
19.8.3	真空度的单位与区域划分	398
19.8.4	真空气氛的纯度与特点	399
19.8.5	真空热处理条件下金属加热特点	400
19.8.6	精密电阻合金细丝的真空回火工艺制度	401
20	精密电阻合金微细丝的漆包	402
20.1	漆包特点	402
20.2	漆料的特性参数	402
20.2.1	漆的黏度	402
20.2.2	表面张力和湿润角	403
20.3	涂漆方法	406
20.4	漆包设备	409
20.4.1	微细漆包机	409
20.4.2	设备参数	409
20.5	漆包技术操作要点	410
20.5.1	技术操作标准	410
20.5.2	技术操作方法	410
20.5.3	操作定额及技术质量、消耗的指标	412
20.6	产品图示	412
第 5 篇 电热合金丝选用		
21	电热合金常用牌号化学成分、性能及选用	415
21.1	常用牌号化学成分和性能	415