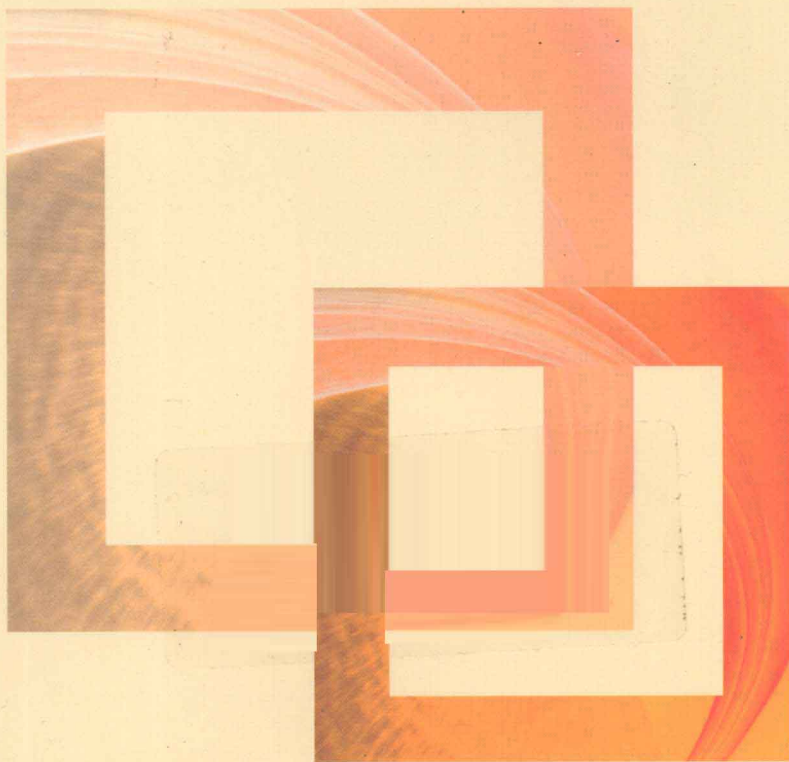




高等学校“十二五”实验实训规划教材

金属压力加工原理及 工艺实验教程

主编 魏立群 柳谋渊



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



高等学校“十二五”实验实训规划教材

金属压力加工原理及工艺 实验教程

主编 魏立群 柳谋渊
参编 付 斌 经晓蓉

北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

本书共分3篇。第1篇为实验数据的处理基本方法和回归分析,主要介绍实验数据的基本处理方法、误差分析、实验数据的回归分析、实验数学模型的建立方法等。第2篇为金属压力加工原理实验,主要介绍金属轧制变形、轧制基本参数、轧制力能参数、挤压变形参数和挤压力、拉伸变形参数和拉伸力等实验方案设计和实验结果分析等。第3篇为金属压力加工工艺实验,主要介绍型材轧制中的变形参数、孔型调整、板带轧制中压下规程设计、轧制的组织性能控制和管材轧制中孔腔形成原理、管材空心轧制变形规律、管材冷拔过程中的变形规律以及复合板轧制、等通道挤压等新加工方法实验方案设计和实验结果分析等。每一个实验都设有实验思考习题,以便学生自主学习。

本书可作为高等学校金属压力加工本科专业的教学用书,也可以作为金属压力加工专科学生和冶金企业技术人员的培训教材,教材适用50~60学时。

图书在版编目(CIP)数据

金属压力加工原理及工艺实验教程/魏立群,柳谋渊主编. —北京:冶金工业出版社,2011.8

高等学校“十二五”实验实训规划教材

ISBN 978-7-5024-5645-0

I. ①金… II. ①魏… ②柳… III. ①金属压力加工—理论—高等学校—教材 ②金属压力加工—实验—高等学校—教材 IV. ①TG3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第149534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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 陈慰萍 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5645-0

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011年8月第1版,2011年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13印张;306千字;191页

28.00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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

科学技术的不断发展,特别是金属压力加工新技术的不断涌现,对金属材料的轧制成形、挤压成形、拉伸成形等技术和工艺提出了更高的新的要求。为满足现代金属压力加工专业人才培养和工程技术人员培训的需求,特别是应用型本科学生的学习需求,需要编写一本与《金属压力加工原理》和《金属压力加工工艺学》相配套的实验教材。本书就是在这样的背景下编写的。

本书从介绍实验数据处理分析、实验数据模型回归分析等基本实验技能入手,以设计性综合实验为主线,从金属压力加工原理(轧制、挤压和拉伸等)到金属压力加工工艺(型材轧制、板带轧制和管材轧制等)系统设计实验项目,积极引导学生正确使用实验设备仪器、科学设计实验过程、深入分析实验结果、探索发现科学问题,以达到培养学生对所学的知识的理解和提高学生的科学研究和创新能力的目的。

全书共分3篇。第1篇为实验数据分析方法,主要介绍实验数据的误差分析和实验数据的回归分析方法。第2篇为金属压力加工原理实验,主要介绍金属轧制过程建立、轧制变形、轧制基本参数(如摩擦系数、轧件塑性系数、轧机刚度系数等)、轧制力能参数、挤压变形参数和挤压力、拉伸变形、拉拔力和拉伸安全系数分析等的实验方法及分析。第3篇为金属压力加工工艺实验,主要介绍板材、管材和型材生产工艺中的变形制度、孔型的调整、板形问题、轧制的组织性能、孔腔形成机理、附加变形规律、轧制稳定性问题等实验方法及分析。每个实验都设有实验思考题和实验分析要点等,以便学生自主学习。全书内容充分体现“理论教学,实验教学,科学研究”相统一的原则,教材体系充分反映传统与现代、理论与实际、传承与创新相结合的特色。

本书可作为高等学校金属压力加工本科专业的教学用书,也可以作为金属压力加工专科学生和冶金企业工程技术人员的培训教材,教材适用50~60学时。

本书由上海应用技术学院魏立群、柳谋渊任主编,付斌和经晓蓉参编。具体编写分工为:付斌编写第1篇、魏立群编写第2篇、经晓蓉编写第3篇实验13至实验19、柳谋渊编写第3篇实验20至实验33,全书由魏立群、柳谋渊统稿。

另外，本书的编写工作得到了“上海市冶金工艺和设备检测技术服务平台(课题编号 No. 09DZ2292800)”的资助，作者在此深表感谢。

由于本书涉及金属材料的轧制、挤压和拉拔原理和金属板管型轧制工艺等实验设计和应用，内容比较广，限于编者知识水平，书中的错误或不当之处，望读者不吝指正。

编 者

2011 年 5 月于上海

目 录

第 1 篇 实验数据分析方法

实验 1 误差理论及误差分析	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验原理	1
1.2.1 误差的基本概念	1
1.2.2 实验误差的来源及分类	2
1.2.3 实验数据的精准度	2
1.2.4 随机误差的检验	2
1.2.5 系统误差的检验	3
1.3 实验方法与步骤	4
1.3.1 各类误差的计算	4
1.3.2 χ^2 检验	6
1.3.3 F 检验	6
1.3.4 t 检验	9
1.4 思考与讨论	12
实验 2 实验数据的回归分析	13
2.1 实验目的	13
2.2 实验原理	13
2.2.1 一元线性回归及回归效果的检验	13
2.2.2 多元线性回归及回归效果的检验	15
2.2.3 非线性回归	17
2.3 实验方法与步骤	17
2.3.1 一元线性回归	18
2.3.2 非线性回归	21
2.3.3 多元线性回归	23
2.4 思考与讨论	24

第2篇 金属压力加工原理实验

实验3 轧制过程自然咬入与稳定轧制条件和摩擦系数确定的实验分析	27
3.1 实验目的	27
3.2 实验原理	27
3.2.1 轧制过程开始阶段的咬入条件	28
3.2.2 建成稳定轧制过程的条件	29
3.2.3 最大压下量和最大咬入角的计算	31
3.3 实验材料和设备	31
3.4 实验方法与步骤	32
3.5 实验数据处理	33
3.6 思考与讨论	33
3.7 实验报告要求	33
3.8 实验注意事项	34
实验4 轧制过程中影响轧件宽展变形规律的实验分析	35
4.1 实验目的	35
4.2 实验原理	35
4.3 实验材料和设备	36
4.4 实验方法与步骤	37
4.5 实验数据处理	38
4.6 思考与讨论	38
4.7 实验报告要求	39
4.8 实验注意事项	40
实验5 轧制过程轧件前滑变化规律的实验分析	41
5.1 实验目的	41
5.2 实验原理	41
5.2.1 轧制前滑理论计算公式	41
5.2.2 影响轧制前滑的主要因素	42
5.3 实验材料和设备	43
5.4 实验内容、步骤及结果	43
5.5 实验数据处理	43
5.6 思考与讨论	44
5.7 实验报告要求	44
5.8 实验注意事项	44

实验 6 单位轧制压力分布规律模拟的实验分析	45
6.1 实验目的	45
6.2 实验原理	45
6.3 实验材料和设备	48
6.4 实验方法与步骤	48
6.5 实验数据处理	48
6.6 思考与讨论	49
6.7 实验报告要求	49
6.8 实验注意事项	49
实验 7 影响轧制压力变化因素的实验分析	50
7.1 实验目的	50
7.2 实验原理	50
7.3 实验材料和设备	53
7.4 实验方法与步骤	53
7.5 实验数据处理	54
7.6 思考与讨论	57
7.7 实验报告要求	57
7.8 实验注意事项	57
实验 8 轧制过程中的弹塑性曲线建立的实验分析	59
8.1 实验目的	59
8.2 实验原理	59
8.2.1 轧机的弹性曲线和刚度系数的确定	59
8.2.2 轧件的塑性曲线	60
8.2.3 轧制时的弹塑性曲线	61
8.3 实验材料和设备	61
8.4 实验方法与步骤	62
8.5 实验数据处理	62
8.6 思考与讨论	63
8.7 实验报告要求	63
8.8 实验注意事项	64
实验 9 正向挤压金属流动和变形规律的实验分析	65
9.1 实验目的	65
9.2 实验原理	65
9.3 实验材料和设备	66

9.4	实验方法与步骤	67
9.5	实验数据处理	68
9.6	思考与讨论	68
9.7	实验报告要求	69
9.8	实验注意事项	69
实验 10	金属正向挤压时的挤压力变化规律的实验分析	70
10.1	实验目的	70
10.2	实验原理	70
10.3	实验材料和设备	71
10.4	实验方法与步骤	71
10.5	实验数据处理	72
10.6	思考与讨论	72
10.7	实验报告要求	72
10.8	实验注意事项	72
实验 11	拉伸变形时金属拉拔力变化规律的实验分析	73
11.1	实验目的	73
11.2	实验原理	73
11.2.1	拉伸变形的表示方法	73
11.2.2	影响拉拔力的因素	74
11.3	实验材料和设备	76
11.4	实验方法与步骤	76
11.5	实验数据处理	76
11.6	思考与讨论	77
11.7	实验报告要求	77
11.8	实验注意事项	77
实验 12	金属拔制时安全系数确定的实验分析	78
12.1	实验目的	78
12.2	实验原理	78
12.3	实验材料和设备	79
12.4	实验方法与步骤	79
12.5	实验数据处理	80
12.6	思考与讨论	81
12.7	实验报告要求	81
12.8	实验注意事项	82

第3篇 金属压力加工工艺实验

实验 13 板带最小可轧厚度实验	83
13.1 实验目的	83
13.2 实验原理	83
13.3 实验材料和设备	84
13.4 实验方法与步骤	84
13.5 实验数据处理	84
13.6 思考与讨论	85
13.7 实验报告要求	85
13.8 实验注意事项	86
实验 14 冷轧压下规程实验	87
14.1 实验目的	87
14.2 实验原理	87
14.3 实验材料和设备	88
14.4 实验方法与步骤	89
14.5 实验数据处理	89
14.5.1 实验数据记录及处理	89
14.5.2 实验数据结果及讨论	89
14.6 思考与讨论	89
14.7 实验报告要求	90
14.8 实验注意事项	90
实验 15 轧制板材的冲压性能实验	91
15.1 实验目的	91
15.2 实验原理	91
15.2.1 板材冲压性能测定原理——拉伸实验法	92
15.2.2 板材冲压性能测定原理——杯突实验法	94
15.3 实验材料和设备	95
15.4 实验方法与步骤	96
15.4.1 拉伸实验法的实验步骤	96
15.4.2 杯突实验法的实验步骤	96
15.5 实验数据处理	96
15.5.1 拉伸实验法实验数据的处理	96
15.5.2 杯突实验法实验数据的处理	97
15.6 思考与讨论	97

15.7	实验报告要求	98
15.8	实验注意事项	98
实验 16	板带轧制各向异性实验	99
16.1	实验目的	99
16.2	实验原理	99
16.3	实验材料和设备	99
16.4	实验方法与步骤	100
16.5	实验数据处理	101
16.6	思考与讨论	101
16.7	实验报告要求	101
16.8	实验注意事项	101
实验 17	轧制组织织构分析实验	102
17.1	实验目的	102
17.2	实验原理	102
17.2.1	织构的种类与形成机理	102
17.2.2	织构测定方法和分析方法	104
17.3	实验材料和设备	106
17.4	实验方法与步骤	107
17.4.1	实验方法	107
17.4.2	实验步骤	107
17.5	思考与讨论	107
17.6	实验报告要求	107
17.7	实验注意事项	107
实验 18	板带材异步轧制及轧制压力分析实验	108
18.1	实验目的	108
18.2	实验原理	108
18.3	实验材料和设备	110
18.4	实验方法与步骤	111
18.4.1	实验方法	111
18.4.2	实验步骤	111
18.5	实验数据处理	111
18.6	思考与讨论	111
18.7	实验报告要求	112
18.8	实验注意事项	112

实验 19 复合板轧制变形规律实验	113
19.1 实验目的	113
19.2 实验原理	113
19.3 实验材料和设备	114
19.4 实验方法与步骤	114
19.4.1 实验方法	114
19.4.2 实验步骤	114
19.5 实验数据处理	114
19.6 思考与讨论	115
19.7 实验报告要求	115
19.8 实验注意事项	115
实验 20 管坯扭转性能实验	116
20.1 实验目的	116
20.2 实验原理	116
20.2.1 确定金属塑性最佳温度范围的意义	116
20.2.2 采用扭转法确定金属材料高温塑性的依据	116
20.2.3 热扭转法实验原理	116
20.3 实验材料和设备	118
20.4 实验方法与步骤	119
20.5 思考与讨论	120
20.6 实验报告要求	120
实验 21 孔腔效应实验	121
21.1 实验目的	121
21.2 实验原理	121
21.2.1 斜轧实心管坯时的变形和应力状态	122
21.2.2 斜轧实心管坯时中心撕裂的机理	123
21.3 采用 $\phi 50\text{mm}$ 二辊斜轧立式穿孔机的孔腔效应实验	124
21.3.1 实验材料和设备	124
21.3.2 实验方法与步骤	125
21.4 采用 $\phi 130\text{mm}$ 实验轧机的孔腔效应实验	126
21.4.1 实验材料和设备	127
21.4.2 实验方法与步骤	127
21.5 思考与讨论	127
21.6 实验报告要求	128

实验 22 压力穿孔实验	129
22.1 实验目的	129
22.2 实验原理	129
22.3 实验材料、模具和设备	130
22.4 实验方法与步骤	130
22.5 思考与讨论	130
22.6 实验报告要求	131
实验 23 斜轧滑动系数的测定	132
23.1 实验目的	132
23.2 实验原理	132
23.3 实验材料和设备	135
23.4 实验方法与步骤	135
23.5 思考与讨论	135
23.6 实验报告要求	136
实验 24 斜轧穿孔附加变形实验	137
24.1 实验目的	137
24.2 实验原理	137
24.2.1 扭转变形	137
24.2.2 纵向剪切变形	138
24.2.3 横向剪切变形	138
24.2.4 管壁反复塑性弯曲	139
24.3 实验材料和设备	139
24.4 实验方法与步骤	140
24.5 思考与讨论	140
24.6 实验报告要求	141
实验 25 管材空拔缩径变形规律	142
25.1 实验目的	142
25.2 实验原理	142
25.3 实验材料和设备	144
25.4 实验方法与步骤	144
25.5 思考与讨论	145
25.6 实验报告要求	145
实验 26 管材空心轧制的壁厚变化规律	146
26.1 实验目的	146

26.2	实验原理	146
26.2.1	应力状态分析	146
26.2.2	定减径时的变形	147
26.2.3	无张力定减径时壁厚变化量的确定	148
26.3	实验材料和设备	149
26.4	实验方法与步骤	149
26.5	思考与讨论	150
26.6	实验报告要求	150
实验 27	管材反挤压工艺实验	151
27.1	实验目的	151
27.2	实验原理	151
27.2.1	反挤压的流动与变形特征	153
27.2.2	反挤压的优点	153
27.2.3	反挤压的缺点	154
27.2.4	反挤压法的选择原则	154
27.2.5	反挤压的影响因素与测算	154
27.3	实验材料和设备	155
27.4	实验方法与步骤	155
27.5	思考与讨论	156
27.6	实验报告要求	156
实验 28	型材无槽轧制工艺实验	157
28.1	实验目的	157
28.2	实验原理	157
28.3	实验材料和设备	160
28.4	实验方法与步骤	160
28.5	思考与讨论	161
28.6	实验报告要求	162
实验 29	圆钢轧制孔型调整实验	163
29.1	实验目的	163
29.2	实验原理	163
29.3	实验材料和设备	165
29.4	实验方法与步骤	165
29.5	思考与讨论	167
29.6	实验报告要求	167
实验 30	等通道挤压变形和组织分析实验	168
30.1	实验目的	168

30.2	实验原理	168
30.3	实验材料和设备	171
30.4	实验方法与步骤	171
30.5	思考与讨论	172
30.6	实验报告要求	173
实验 31	旋压成形工艺实验	174
31.1	实验目的	174
31.2	实验原理	174
31.2.1	普通拉深旋压	175
31.2.2	锥形件强力 (剪切) 旋压	177
31.3	实验材料和设备	179
31.4	实验方法与步骤	179
31.5	思考与讨论	181
31.6	实验报告要求	181
实验 32	轧件稳定性实验	182
32.1	实验目的	182
32.2	实验原理	182
32.3	实验材料和设备	183
32.4	实验方法与步骤	183
32.5	思考与讨论	184
32.6	实验报告要求	184
实验 33	金属最小弯曲半径实验	185
33.1	实验目的	185
33.2	实验原理	185
33.2.1	弯曲时的应力应变状态和相对弯曲半径	185
33.2.2	影响最小相对弯曲半径的因素	186
33.2.3	最小相对弯曲半径的理论计算	187
33.3	实验材料和设备	188
33.4	实验方法与步骤	188
33.5	思考与讨论	189
33.6	实验报告要求	190
参考文献		191

第 1 篇 实验数据分析方法

实验 1 误差理论及误差分析

1.1 实验目的

- (1) 了解误差的基本概念和表示方法。
- (2) 掌握误差的分类和来源。
- (3) 掌握利用 Excel 对实验数据进行误差分析的方法。

1.2 实验原理

1.2.1 误差的基本概念

(1) 绝对误差。实验值与真值之差称为绝对误差，即绝对误差 = 测得值 - 真值。一般所指的误差就是绝对误差。如果用 x 、 x_i 、 Δx 分别表示实验值、真值和绝对误差，则有：

$$\Delta x = x - x_i \quad (1-1)$$

(2) 相对误差。绝对误差与被测量的真值之比称为相对误差。因测得值与真值接近，故也可以近似用绝对误差与测得值之比值作为相对误差。如果用 E_R 表示相对误差，则有：

$$E_R = \frac{\Delta x}{x_i} \quad (1-2)$$

(3) 算术平均误差。如果用 x_i 表示实验值， $\bar{x}$ 表示算术平均值，则算术平均误差 Δ 可表示为：

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (1-3)$$

(4) 标准误差。当实验次数 n 无穷大时，标准误差也称为总体标准差，可表示为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1-4)$$

而在实际实验过程中，实验次数总是有限的，真值只能用最佳值代替，于是定义样本标准差，可表示为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

1.2.2 实验误差的来源及分类

根据误差产生的原因和性质,误差可分为系统误差、随机误差和过失误差(粗差)。

系统误差是指由某个或者某些因素按照某一确定规律所引起的误差。仪器本身、个人主观因素等因素都是产生系统误差的原因。

随机误差是由实验过程中的偶然因素引起的,是不可预知变化规律的误差。随机误差一般服从正态分布,可通过多次实验减小随机误差。

过失误差是一种显然与事实不符的误差,没有一定的规律,一般是由于实验人员的误操作所造成的。实验过程中;应当避免过失误差。

1.2.3 实验数据的精密度

误差的大小可反映实验结果的好坏,而误差可能是由于系统误差或随机误差单独产生的,也可能是二者共同作用的结果。因此,引入精密度、正确度和准确度三个重要概念。

(1) 精密度。精密度表示实验结果中随机误差大小的程度,是指在一定的条件下,进行多次、重复实验结果的符合程度。

(2) 正确度。正确度表示实验结果中系统误差大小的程度,是指在规定的条件下,测量中所有系统误差的综合。

(3) 准确度。准确度反映了系统误差与随机误差的综合,其表示实验结果与真值的一致程度。

1.2.4 随机误差的检验

1.2.4.1 χ^2 检验

χ^2 检验适用于一个总体方差的检验,即在总体方差 σ^2 已知的条件下,对实验结果的随机误差或精密度进行检验。

设有一组数据服从正态分布,则 $\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$ 服从自由度为 $df = n-1$ 的 χ^2 分布。对于给定的显著性水平 α , 比较 χ^2 值与临界值的大小,即可得出结论。

双边检验时,如果 $\chi^2_{(1-\frac{\alpha}{2})} < \chi^2 < \chi^2_{\frac{\alpha}{2}}$, 则该实验数据方差与原总体方差无显著差异,否则有显著性差异。

单边检验时,如果 $\chi^2 > \chi^2_{(1-\alpha)}(df)$, $\chi^2 < df$, 则该实验数据方差与原总体方差无显著减小,否则有显著减小;如果 $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}(df)$, $\chi^2 > df$, 则该实验数据方差与原总体方差无显著增加,否则有显著增加。

1.2.4.2 F 检验

F 检验适用于两组具有正态分布的实验数据之间的精密度比较。

设有两组数据都服从正态分布,且样本方差分别为 s_1^2 和 s_2^2 , 则 $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ 服从第一自由度为 $df_1 = n_1 - 1$ 、第二自由度为 $df_2 = n_2 - 1$ 的 F 分布。对于给定的显著性水平 α , 比较 F 值和临界值的大小,即可得出结论。

双边检验时,如果 $F_{(1-\frac{\alpha}{2})}(df_1, df_2) < F < F_{\frac{\alpha}{2}}(df_1, df_2)$, 则两方差无显著差异,否则