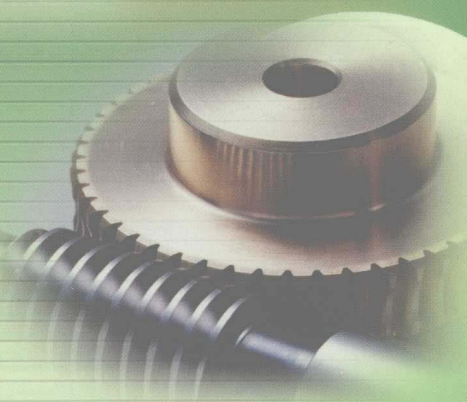




高等学校实验实训规划教材

材料成型及控制工程 综合实验指导书

赵 刚 胡衍生 主编



冶金工业出版社

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

高等学校实验实训规划教材

材料成型及控制工程 综合实验指导书

赵 刚 胡衍生 主编

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 提 要

本实验教材是根据材料成型及控制工程专业(本科)系列课程实验的教学要求编写的,内容包括材料科学基础(金属学)、材料成型原理、材料成型力学、物理冶金学基础、材料力学性能、材料成型工艺学、材料成型设备、材料成型计算机控制、材料加工工程、材料加工模具设计、检测技术及机电控制、激光加工技术、材料研究方法、金属材料及热处理等课程的常规实验,涉及到专业基础课、专业模块课及专业选修课等不同类别课程。根据本学科专业发展的需要,本实验教材中特别安排了以培养学生实验研究能力、创新能力为目的的“三性”实验,即综合性、设计性与研究创新性实验。每个实验既介绍了实验目的、基本原理与实验内容,又说明了实验仪器设备、实验步骤与方法,同时提出了对实验的要求,旨在为本专业课程的实验教学提供指导。

本实验教材可作为材料成型及控制工程专业系列课程实验的教材,也可供本专业研究生、有关教师及相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成型及控制工程综合实验指导书/赵刚,胡衍生主编.
—北京:冶金工业出版社,2008.8
高等学校实验实训规划教材
ISBN 978-7-5024-4527-0

I. 材… II. ①赵… ②胡… III. 工程材料—成型—实验
—高等学校—教学参考资料 IV. TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 054739 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 朱华英 美术编辑 张媛媛 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4527-0

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 8 月第 1 版,2008 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.75 印张; 286 千字; 156 页; 1-3000 册

22.00 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)

前 言

教学实验是实践教学及实现素质教育和创新人才培养的一个重要环节，对学生实验技能、创新能力和综合研究能力有着不可替代的作用。材料成型及控制工程专业要求培养的学生既有深厚的理论知识，又有多方面的动手实验研究能力，因而实验教学越来越受到重视。为了使实验教学既与课程相关联，又有实验教学的独特性和针对性，并能满足开放实验室对教学的要求，我们编写了本教材。

本实验教材以材料成型及控制工程专业典型的实验为基础，主要包括材料科学基础（金属学）、材料成型原理、材料成型力学、物理冶金学基础、材料力学性能、材料成型工艺学、材料成型设备、材料成型计算机控制、材料加工工程、材料加工模具设计、检测技术及机电控制、激光加工技术、材料研究方法、金属材料及热处理等课程的常规实验，以专业基础课、专业模块课为主，以专业选修课为辅。根据本学科专业发展的需要，本实验教材中特别安排了以培养学生实验研究能力、创新能力为目的的“三性”实验，即综合性、设计性与研究创新性实验。

本实验教材由武汉科技大学赵刚教授和胡衍生教授级高工任主编，武汉科技大学材料与冶金学院材料成型及控制工程系的部分教师和实验室人员参与了编写，第1章到第8章主要介绍了材料成型的基本理论，第9章到第12章为具体的实验指导，参加编写的人员有赵刚（第1章~第4章），胡衍生（第9章第4节，第10章第1节~第3节和第7节），余驰斌（第5章和第6章），常庆明（第7章，第11章第1节），陈长军（第8章，第11章第5节，第12章第5节），吴志方（第9章第1节~第3节，第12章第8节和第9节），熊九朗（第11章第2节），张诗昌（第11章第4节），阎文清（第11章第3节），潘成刚（第11章第6节），张敏（第12章第6节和第7节），林希峰（第10章第4节和第12章第4节），孙瑞峰（第10章第5节和第6节），唐力

(第12章第1节~第3节)。杨海林硕士研究生对本书的文字及图表进行了整理和校对。

本实验教材在编写过程中,参考了武汉科技大学材料与冶金学院金属材料工程系所使用的实验指导书、兄弟院校的实验教材以及相关的著作。本教材的出版得到了武汉科技大学材料与冶金学院的大力支持,谨此一并深表谢意。

由于编者水平所限,书中不妥之处,恳请广大读者指正。

编 者

2008年3月于武汉科技大学

目 录

1 金属压力加工的基本知识	1
1.1 金属和金属的成型方法	1
1.2 金属压力加工过程的实质及主要方法	2
1.2.1 轧制	2
1.2.2 锻造	3
1.2.3 冲压	3
1.2.4 拉拔	3
1.2.5 挤压	4
1.3 金属压力加工在国民经济中的作用及其发展	4
2 金属材料的性能	7
2.1 金属材料的力学性能	7
2.1.1 强度	7
2.1.2 塑性	8
2.1.3 硬度	9
2.1.4 冲击韧性	10
2.1.5 刚度	10
2.2 金属材料的物理性能和化学性能	11
2.2.1 金属材料的物理性能	11
2.2.2 金属材料的化学性能	12
2.3 金属材料的工艺性能	12
2.3.1 焊接性能	12
2.3.2 淬透性能	13
2.3.3 加工性能	13
2.3.4 铸造性能	13
3 金属压力加工的金属学基础	14
3.1 金属的塑性变形机构	14
3.1.1 单晶体塑性变形	14
3.1.2 多晶体的塑性变形	15
3.2 加工过程中的硬化和软化	17
3.2.1 加工硬化过程	17
3.2.2 加工软化过程	18

3.3 金属的冷变形和热变形	20
3.3.1 冷变形	20
3.3.2 热变形	20
4 金属压力加工的力学基础	22
4.1 塑性加工时所受的力	22
4.1.1 作用力	22
4.1.2 约束反力	22
4.2 原子间的作用力和能	23
4.3 内力、应力、应力集中	24
4.3.1 内力	24
4.3.2 应力	25
4.3.3 应力集中	26
4.4 应力状态及应力图示、变形图示	26
4.4.1 一般概念	26
4.4.2 应力图示	26
4.4.3 变形图示	30
5 金属的塑性与变形抗力	33
5.1 金属塑性的概念及测定方法	33
5.1.1 金属塑性的基本概念	33
5.1.2 金属塑性的测定方法	33
5.1.3 塑性图	36
5.2 影响塑性的因素及提高塑性的途径	37
5.2.1 金属的自然性质	37
5.2.2 变形温度对塑性的影响	38
5.2.3 变形速度对塑性的影响	39
5.2.4 变形力学条件对塑性的影响	40
5.2.5 其他因素对塑性的影响	42
5.2.6 提高塑性的途径	43
5.3 变形抗力	43
5.3.1 变形抗力的概念	43
5.3.2 测定方法	44
5.3.3 变形抗力的确定	45
5.4 影响变形抗力的因素	47
5.4.1 化学成分与组织结构的影响	47
5.4.2 变形温度的影响	48
5.4.3 变形速度的影响	48
5.4.4 变形程度的影响	49

5.4.5 应力状态的影响	49
5.4.6 其他因素的影响	50
5.5 降低变形抗力常用的工艺措施	50
5.5.1 合理选择变形温度和变形速度	50
5.5.2 选择最有利的变形方式	51
5.5.3 采用良好的润滑	51
5.5.4 减小工具、模具与变形金属的接触面积	51
6 轧制变形的基本问题	52
6.1 简单轧制与非简单轧制	52
6.1.1 简单轧制	52
6.1.2 非简单轧制	52
6.2 变形区主要参数	53
6.2.1 变形区的概念	53
6.2.2 变形区主要参数的确定	53
6.3 轧制过程的三阶段	55
6.3.1 咬入阶段	55
6.3.2 稳定轧制阶段	55
6.3.3 甩出阶段	55
6.4 轧制变形的表示方法	56
6.4.1 绝对变形量	56
6.4.2 相对变形量	56
6.4.3 变形系数	57
6.4.4 总延伸系数、部分延伸系数与平均延伸系数	58
6.5 平均工作直径与平均压下量	59
6.5.1 平均工作直径	59
6.5.2 平均压下量	60
6.6 变形速度、轧制速度及其计算	60
6.6.1 变形速度及其计算	60
6.6.2 轧制速度及其计算	62
7 液态金属成型基本原理	63
7.1 液态金属成型的概念	63
7.2 液态金属的充型过程	63
7.2.1 流动性对液态金属的充型能力的影响	64
7.2.2 其他条件对液态金属的充型能力的影响	64
7.3 液态金属的凝固	64
7.3.1 凝固方式	65
7.3.2 凝固中的收缩	65

7.3.3 凝固中的缩孔、缩松	66
7.3.4 铸造应力、变形和裂纹	66
7.3.5 偏析	67
7.3.6 铸件中的气孔和合金的吸气	67
8 激光加工的基本原理	69
8.1 激光产生原理	69
8.2 激光加工技术	71
8.2.1 激光（相变）淬火和激光熔敷	71
8.2.2 激光快速成形	71
8.2.3 激光切割	72
8.2.4 激光焊接	72
8.2.5 激光雕刻	72
8.2.6 激光打孔	72
8.2.7 激光蚀刻	73
8.2.8 激光手术	73
8.2.9 激光武器	73
8.2.10 激光能源	73
9 专业基础课实验	74
9.1 实验一 金相显微镜的使用及金相试样制备	74
9.1.1 实验目的	74
9.1.2 实验内容	74
9.1.3 实验仪器、设备及材料	74
9.1.4 实验原理	74
9.1.5 实验步骤	83
9.1.6 实验报告要求	83
9.1.7 实验注意事项	83
9.1.8 思考题	83
9.2 实验二 铁碳合金平衡组织的观察	83
9.2.1 实验目的	83
9.2.2 实验内容	84
9.2.3 实验仪器、设备及材料	84
9.2.4 实验原理	84
9.2.5 实验步骤	88
9.2.6 实验报告要求	88
9.2.7 实验注意事项	88
9.2.8 思考题	89
9.3 实验三 金属的塑性变形与再结晶	89

9.3.1	实验目的	89
9.3.2	实验内容	89
9.3.3	实验仪器、设备及材料	89
9.3.4	实验原理	89
9.3.5	实验步骤	91
9.3.6	实验报告要求	92
9.3.7	实验注意事项	93
9.3.8	思考题	93
9.4	实验四 用平面压缩变形法测定金属的冷变形流动应力曲线	93
9.4.1	实验目的	93
9.4.2	实验内容	93
9.4.3	实验仪器、设备及材料	93
9.4.4	实验原理	94
9.4.5	实验步骤设计要求	94
9.4.6	实验报告要求	94
9.4.7	实验注意事项	95
9.4.8	思考题	95
10	轧钢（专业模块一）实验	96
10.1	实验五 前滑值的确定	96
10.1.1	实验目的	96
10.1.2	实验内容	96
10.1.3	实验仪器、设备及材料	96
10.1.4	实验原理	96
10.1.5	实验步骤	96
10.1.6	实验报告要求	97
10.1.7	实验注意事项	97
10.1.8	思考题	97
10.2	实验六 各工艺参数对轧制力的综合影响	98
10.2.1	实验目的	98
10.2.2	实验内容	98
10.2.3	实验仪器、设备及材料	98
10.2.4	实验原理	98
10.2.5	实验步骤	99
10.2.6	实验报告要求	102
10.2.7	实验注意事项	102
10.2.8	思考题	102
10.3	实验七 型钢延伸孔型系统参数的测定	102
10.3.1	实验目的	102

10.3.2	实验内容	102
10.3.3	实验仪器、设备及材料	103
10.3.4	实验原理	103
10.3.5	实验步骤	103
10.3.6	实验报告及要求	103
10.3.7	实验注意事项	103
10.3.8	思考题	104
10.4	实验八 咬入角的测定	105
10.4.1	实验目的	105
10.4.2	实验内容	105
10.4.3	实验仪器、设备及材料	105
10.4.4	实验原理	105
10.4.5	实验步骤	105
10.4.6	实验报告要求	106
10.4.7	实验注意事项	106
10.4.8	思考题	106
10.5	实验九 原料厚度改变对出口厚度的影响	107
10.5.1	实验目的	107
10.5.2	实验内容	107
10.5.3	实验仪器、设备及材料	107
10.5.4	实验原理	107
10.5.5	实验步骤设计要求	107
10.5.6	实验报告要求	107
10.5.7	实验注意事项	108
10.5.8	思考题	108
10.6	实验十 压下量改变对出口厚度的影响	108
10.6.1	实验目的	108
10.6.2	实验内容	108
10.6.3	实验设备	108
10.6.4	实验原理	108
10.6.5	实验步骤	108
10.6.6	实验报告要求	109
10.6.7	实验注意事项	109
10.6.8	思考题	109
10.7	实验十一 轧机刚度测定	109
10.7.1	实验目的	110
10.7.2	实验内容	110
10.7.3	实验仪器、设备及材料	110
10.7.4	实验原理	110

10.7.5	实验步骤	110
10.7.6	实验报告要求	112
10.7.7	实验注意事项	112
10.7.8	思考题	112
11	材料加工（专业模块二）实验	113
11.1	实验十二 非稳态传热试验	113
11.1.1	实验目的	113
11.1.2	实验内容	113
11.1.3	实验仪器、设备及材料	113
11.1.4	实验原理	113
11.1.5	实验步骤设计要求	114
11.1.6	实验报告要求	115
11.1.7	实验注意事项	115
11.1.8	思考题	115
11.2	实验十三 凝固过程温度场测定及凝固速度对铸件微观组织的影响	115
11.2.1	实验目的	116
11.2.2	实验内容	116
11.2.3	实验仪器、设备及材料	116
11.2.4	实验原理	116
11.2.5	实验步骤	116
11.2.6	实验报告要求	117
11.2.7	实验注意事项	117
11.2.8	思考题	117
11.3	实验十四 细丝 CO ₂ 气体保护焊熔滴过渡工艺	117
11.3.1	实验目的	117
11.3.2	实验内容	117
11.3.3	实验仪器、设备及材料	117
11.3.4	实验原理	118
11.3.5	实验步骤	120
11.3.6	实验报告要求	120
11.3.7	实验注意事项	121
11.3.8	思考题	121
11.4	实验十五 变质处理对 Al-Si 合金组织的影响	121
11.4.1	实验目的	121
11.4.2	实验内容	121
11.4.3	实验仪器、设备及材料	121
11.4.4	实验原理	121
11.4.5	实验步骤	122

11.4.6	实验报告要求	122
11.4.7	实验注意事项	122
11.4.8	思考题	122
11.5	实验十六 脉冲氩弧焊	122
11.5.1	实验目的	122
11.5.2	实验内容	123
11.5.3	实验仪器、设备及材料	123
11.5.4	实验原理	123
11.5.5	实验步骤	126
11.5.6	实验报告要求	126
11.5.7	实验注意事项	126
11.5.8	思考题	126
11.6	实验十七 冲杯实验	126
11.6.1	实验目的	126
11.6.2	实验内容	127
11.6.3	实验仪器、设备及材料	127
11.6.4	实验原理	127
11.6.5	实验步骤	128
11.6.6	实验报告要求	128
11.6.7	实验注意事项	129
11.6.8	思考题	129
12	专业选修课实验	130
12.1	实验十八 测试系统的调整与静态分析	130
12.1.1	实验目的	130
12.1.2	实验内容	130
12.1.3	实验仪器、设备及材料	130
12.1.4	实验原理	130
12.1.5	实验步骤	130
12.1.6	实验报告要求	131
12.1.7	实验注意事项	132
12.1.8	思考题	132
12.2	实验十九 等强度梁标定	132
12.2.1	实验目的	132
12.2.2	实验内容	132
12.2.3	实验仪器、设备及材料	132
12.2.4	实验原理	132
12.2.5	实验步骤	132
12.2.6	实验报告要求	134

12.2.7 实验注意事项	134
12.2.8 思考题	134
12.3 实验二十 组桥、轧制力传感器的压力标定	134
12.3.1 实验目的	134
12.3.2 实验内容	134
12.3.3 实验仪器、设备及材料	134
12.3.4 实验原理	134
12.3.5 实验步骤	135
12.3.6 实验报告要求	137
12.3.7 实验注意事项	137
12.3.8 思考题	137
12.4 实验二十一 动态特性实验	138
12.4.1 实验目的	138
12.4.2 实验内容	138
12.4.3 实验仪器、设备及材料	138
12.4.4 实验原理	138
12.4.5 实验步骤	138
12.4.6 实验报告要求	140
12.4.7 实验注意事项	141
12.4.8 思考题	141
12.5 实验二十二 脉冲激光加工	141
12.5.1 实验目的	141
12.5.2 实验内容	141
12.5.3 实验仪器、设备及材料	142
12.5.4 实验原理	142
12.5.5 实验步骤	144
12.5.6 实验报告要求	144
12.5.7 实验注意事项	144
12.5.8 思考题	145
12.6 实验二十三 热处理对钢的组织 and 性能的影响	145
12.6.1 实验目的	145
12.6.2 实验内容	145
12.6.3 实验仪器设备及材料	145
12.6.4 实验原理	146
12.6.5 实验步骤	147
12.6.6 实验报告要求	147
12.6.7 实验注意事项	147
12.7 实验二十四 常见热处理显微缺陷的分析	148
12.7.1 实验目的	148

12.7.2	实验内容	148
12.7.3	实验仪器设备及材料	148
12.7.4	实验原理	148
12.7.5	实验步骤	149
12.7.6	实验报告要求	149
12.7.7	实验注意事项	150
12.8	实验二十五 X 射线衍射技术及单物相定性分析	150
12.8.1	实验目的	150
12.8.2	实验内容	150
12.8.3	实验仪器、设备及材料	150
12.8.4	实验原理	150
12.8.5	实验步骤	152
12.8.6	实验报告要求	152
12.8.7	实验注意事项	152
12.8.8	思考题	152
12.9	实验二十六 扫描电子显微镜结构与样品分析	153
12.9.1	实验目的	153
12.9.2	实验内容	153
12.9.3	实验仪器、设备及材料	153
12.9.4	实验原理	153
12.9.5	实验步骤	154
12.9.6	实验报告要求	154
12.9.7	实验注意事项	154
12.9.8	思考题	155
参考文献		156

1 金属压力加工的基本知识

1.1 金属和金属的成型方法

在自然界，金属一般是以氧化物、硫化物、碳酸盐等化合物的形式出现，也有以金属状态出现的，如金、铂等贵金属和铜，但数量极少。人们将矿石开采出来，通过冶炼提取金属，再进行加工使用。

众所周知，金属在常温下是固态结晶体（但也有例外，如水银），它除具有一定的形状外，还有坚硬性、延展性和特殊的光泽，是热、电的导体。人们正是利用金属加工后的各种形状和各种性能，来满足国民经济各个部门的需要。

把钢锭或连铸坯加工成各种形状的钢材，则需经过成型的过程。要得到所需的零部件或实用的制品，还要经过再成型的过程。

金属成型方法归纳起来有以下几种：

（1）减少质量的成型方法。即由大质量的金属上面去除一部分质量而获得一定形状及尺寸的工件。属于这种方法的有：车、刨、铣、磨、钻等金属切削加工；把金属局部去掉的冲裁与剪切、气割与电切割；把金属制品放在酸或碱的溶液中蚀刻成花纹等蚀刻加工。

其优点是能得到尺寸精确、表面光洁、形状复杂的产品；缺点是原料消耗多，能量消耗大，成本高，生产率较低，对金属结构和性质没有改善。

（2）增加质量的成型方法。即由小质量的金属逐渐积累成大质量的产品。属于这种方法的有铸造、电解沉积、焊接与钎接、烧结与胶结等。

其优点在于能获得形状更为复杂的产品，成型过程中除技术因素外没有产生废品的条件，原料消耗少，故较为经济；缺点是力学性能较低，且存在难以消除的缺陷，如铸件中存在组织及化学成分不均匀，有缩孔、砂眼、偏析及柱状结晶等缺陷。沉积法没有铸造缺陷，但沉积合金还不能广泛应用。

（3）质量保持不变的成型方法。即金属本身不分离出多余质量，也不积累增加质量的成型方法。这种方法是利用金属的塑性，对金属施加一定的外力作用使金属产生塑性变形，改变其形状和性能而获得所要求的产品。这就是所谓轧制、锻造、冲压、拉伸、挤压等金属压力加工的方法，其中轧制是金属压力加工中使用最广泛的方法。

这种方法的优点是：

1) 因为是无屑加工，故可节省金属。除工艺原因所造成的废料以外（如切头尾、氧化铁皮等），加工过程本身是不会造成废料的。

2) 金属塑性变形过程中使其内部组织以及与之相关联的物理、力学等性能得到改善。

3) 产量高，能量消耗少，成本低，适于大量生产。

该法的不足之处有：

1) 对要求形状复杂，尺寸精确，表面十分光洁的加工产品尚不及金属切削加工方法。但由于压力加工方法的产量高、性能好、成本低，故对一些要求不特别高的工件有取而代之的趋势，如齿轮和简单周期断面工件的轧制、冲压和挤压等。

2) 该法仅能用于生产具有塑性的金属, 在成本上和形状复杂程度方面远不如铸造方法。大多数压力加工方法的设备庞大, 加工薄而细和批量少的产品, 成本也较高。

(4) 组合的成型方法。即上述几种成型方法的联合使用。如无锭轧制亦称液态铸轧方法, 是铸造与轧制方法的联合; 辊锻加工是轧制和锻造方法的联合。

1.2 金属压力加工过程的实质及主要方法

金属压力加工过程, 实质是金属塑性加工的过程。所谓金属压力加工, 是对具有塑性的金属施加外力作用, 使其产生塑性变形, 通过改变金属的形状、尺寸和性能而获得所要求产品的一种加工方法。

金属压力加工的主要方法有: 轧制、锻造、冲压、拉拔和挤压等。

1.2.1 轧制

轧制是金属压力加工中使用最广泛的方法。它借助于旋转的轧辊与金属接触摩擦, 将金属咬入轧辊缝隙间, 再在轧辊的压力作用下, 使金属在长、宽、高三个方向上完成塑性变形过程。简而言之, 是指金属通过旋转的轧辊缝隙进行塑性变形过程。

轧制的方式目前大致分为三种: 即纵轧、斜轧和横轧。

(1) 纵轧。即金属在相互平行且旋转方向相反的轧辊缝隙间进行塑性变形, 而金属的行进方向与轧辊轴线垂直 (图 1-1)。结果使金属厚度减小, 而长度、宽度增大, 其中长度增大最为显著。

金属无论在冷状态之下还是热状态之下皆可进行轧制, 这种方法在钢材的生产中应用得最为广泛, 如各种型材、板带材都用该法生产。

(2) 斜轧。斜轧是指金属在同向旋转且中心线相互成一定角度的轧辊缝隙间进行塑性变形 (图 1-2)。金属沿轧辊交角的中心线方向进入轧辊, 金属在变形过程中除了绕其轴线旋转运动外, 还有沿其轴线的前进运动。亦即既旋转又前进的螺旋运动。

此法常用以轧制管材及变断面型材。

(3) 横轧。横轧是指金属在同向旋转且中心线相互平行的轧辊缝隙间进行塑性变形, 如图 1-3 所示。在横轧中金属轴线与轧辊轴线平行, 金属只有绕其自身轴线旋转的运动, 故仅在横向受到加工。

这种方法用于生产齿轮、车轮和各种轴等回转体件。

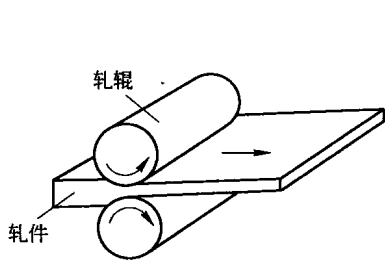


图 1-1 纵轧示意图

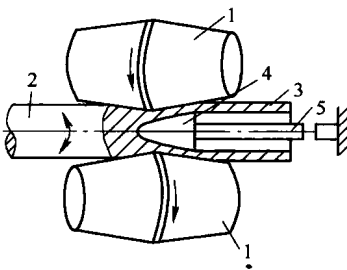


图 1-2 二辊斜轧简图
1—轧辊; 2—坯料; 3—毛管;
4—头头; 5—顶杆

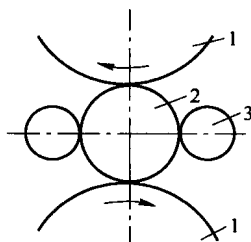


图 1-3 横轧简图
1—轧辊; 2—轧件; 3—支撑辊