

专业技术培训讲义

重有色金属管材生产

周宜森 编著

江苏省有色金属行业协会

• 南 京 •

专业技术培训讲义

重有色金属管材生产

周宜森 编著

江苏省有色金属行业协会

南 京

编 首 语

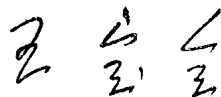
近几年来，我省有色金属行业有了较大的发展。全省有色金属无论在产品产量、品种和质量上均有较大的增长和提高。目前，仅铜管加工企业就有60余家，年产量15000吨以上。但从总体上看，我省有色金属工业还属较为年轻的行业，职工队伍的技术素质还不能很好地与生产、管理和经营的技术要求相适应。因此，加强技术培训工作，推动企业技术进步，是我省有色行业管理的主要任务之一。

1987年1月成立了江苏省有色金属行业协会。该协会系全省有色金属矿山、冶炼、加工企业和有色金属研究、设计及经营单位自愿组成的社会经济团体，现有85个会员单位。积极开展技术培训、努力协助企业提高职工队伍的技术素质，是协会经常性的重点工作之一。为此，我们特请周宜森高级工程师，根据他30多年来从事有色金属压力加工的教学、生产和科研工作中，所掌握、积累和某些创建的专业基础理论和丰富的实践经验，编写了这册《重有色金属管材生产》职工培训讲义，现铅印出版，奉献给有色管材生产、科研战线的同行。

《重有色金属管材生产》讲义，系统地阐明了有色金属压力加工的基本理论；全面地、有针对性的对有色金属的熔炼、铸锭、挤压、拉拔等管材生产工艺，以及产品质量检测和保证方面，作了较为详尽的叙述。特别是作者广泛收集了大量的技术资料和生产实践经验；真实可靠，数据准确，层次清楚，逻辑性强，深入浅出，通俗易懂，具有较强的实用价值，是有色金属管材生产企业开展职工技术培训的一本好教材。

祝愿《重有色金属管材生产》讲义，在提高职工技术水平和指导生产实践中，发挥出应有的积极作用。

江苏省有色金属工业公司经理
江苏省有色金属行业协会副会长



一九八九年元月三十日

前 言

这本讲义是为培训江苏省重有色金属管材生产厂家的技术人员和工人而编写的。起点较低，只要有初中以上文化程度就能够接受所讲的基本内容。讲义着重阐明定性的概念，启发读者自己去思考问题，以便回厂后能够独立去解决一些工艺技术问题。为此，讲义中还提供了比较完整的工艺数据，供大家参考和选用。

在内容上，尽量按江苏省的现有实际情况有针对性地选取；对省内暂时没有的或少用的设备和工艺，则尽量少选或不选，以利节约篇幅和授课时间。设备方面的内容，取材较少，拟通过现场教学解决。由于编写时间紧迫，有些内容可能取舍不当，内容和标题不相称，请大家批评、指正。

本讲义全部内容计划在100学时内讲完，学时大致分配见右表。

这本讲义前后贯穿着不均匀变形这根主线，它是作者的一次尝试，企图在最短时间内让读者掌握全部金属压力加工中的主要问题。不当之处，衷心希望大家多提改进意见。

章次	名 称	学时
1	金属压力加工概况	20
2	熔炼和铸锭	16
3	金属挤压	16
4	金属拉拔	12
5	管材生产工艺	24
6	产品质量检测和保证	10

江苏省冶金研究所
高级工程师

周 宜 森

1988.11.于南京

重有色金属管材生产

目 次

第一章 金属压力加工概论 1	1.5.2 引起不均匀变形的原因.....13
1.1 概 述..... 1	1.5.3 不均匀变形的普遍性.....13
1.1.1 金属压力加工几种主要方法... 1	1.6 不均匀变形的规律性.....14
1.1.2 有色金属在国民经济中的作用 1	1.6.1 不均匀变形总规律.....14
1.1.3 当前重有色金属管材加工的国 内外水平..... 2	1.6.2 副变形和副应力.....14
1.2 金属及合金的组织结构..... 3	1.6.3 金属塑性变形的过程.....16
1.2.1 纯金属和合金..... 3	1.7 不均匀变形规律性的应用.....17
1.2.2 晶粒和晶格、晶界..... 3	1.7.1 不均匀变形的分类及其特点...17
1.2.3 结晶和再结晶..... 4	1.7.2 不均匀变形的后果.....18
1.2.4 相变和热处理..... 5	1.7.3 控制和克服不均匀变形有害影 响的措施.....19
1.3 金属的性能..... 5	1.7.4 观察不均匀变形的的方法.....21
1.3.1 金属材料特性..... 5	1.7.5 应用举例.....21
1.3.2 机械性能..... 5	1.8 压力加工过程中的外摩擦和润 滑.....21
1.3.3 物理性能..... 5	1.8.1 特点和重要性.....21
1.3.4 化学性能..... 5	1.8.2 工艺润滑剂.....22
1.3.5 特殊性能..... 5	1.8.3 加入工艺润滑剂的方法.....23
1.4 金属的变形..... 6	1.8.4 工艺润滑剂举例.....23
1.4.1 弹性和塑性..... 6	1.9 工艺参数的确定.....23
1.4.2 作用力和反作用力..... 6	1.9.1 压加过程中的主要工艺参数...23
1.4.3 力和弹性变形..... 6	1.9.2 选取工艺参数的依据.....24
1.4.4 外力和内力..... 6	1.9.3 工艺参数的配套性.....25
1.4.5 单位压力和应力..... 7	1.9.4 工艺参数的测试和制订.....25
1.4.6 弹性变形和塑性变形..... 8	作业题和思考题.....25
1.4.7 线变形和角变形..... 9	第二章 熔炼和铸锭27
1.4.8 拉力试验和断口分析.....10	2.1 概 述.....27
1.4.9 塑性指标和塑性图.....12	2.1.1 重要性和必要性.....27
1.4.10 体积不变条件.....12	2.1.2 对熔铸的要求.....27
1.5 金属塑性变形的不均匀性.....13	2.2 熔炼过程.....27
1.5.1 现象和概念.....13	

2.2.1 高温反应	27	3.1.3 挤压生产概况	45
2.2.2 参加高温反应的对象	28	3.2 挤压变形过程	45
2.2.3 熔体耗损形式	28	3.2.1 理想流动过程	45
2.2.4 熔炼操作过程	29	3.2.2 对网格法结果的分析	45
2.3 配料计算	31	3.2.3 不均匀变形总规律的应用	46
2.3.1 配料原则	31	2.2.4 缩尾问题	47
2.3.2 配料计算举例	31	3.2.5 对制品外部表现的分析	48
2.3.3 补料和冲淡	32	3.3 挤压设备	48
2.4 熔炼设备	33	3.3.1 分类	48
2.4.1 分类	33	3.3.2 整套设备组成	49
2.4.2 有铁芯低频感应电炉	33	3.3.3 卧式挤压机结构	49
2.4.3 保温炉	35	3.3.4 穿孔系统结构	50
2.5 浇铸过程	35	3.4 挤压工具	51
2.5.1 金属凝固过程	35	3.4.1 模子	51
2.5.2 锭模浇铸	36	3.4.2 穿孔针	51
2.5.3 立式连续浇铸	36	3.4.3 垫片	52
2.5.4 卧式连续浇铸	38	3.4.4 挤压轴	52
2.5.5 浇铸工艺参数	38	3.4.5 挤压筒	52
2.6 浇铸设备和工具	39	3.4.6 材料及热处理	52
2.6.1 坩埚炉浇铸工具	39	3.5 挤压工艺	54
2.6.2 立式连铸机	40	3.5.1 各种因素对金属流动的影响	54
2.6.3 卧式连铸机	40	A. 金属性质的影响	54
2.6.4 连铸工具	41	B. 挤压条件的影响	55
2.7 铸锭缺陷分析	41	C. 挤压方法的影响	56
2.7.1 化学成分废品	41	3.5.2 挤压工艺参数的确定	56
2.7.2 裂纹	41	3.5.3 挤压废品分析	57
2.7.3 夹渣和夹杂	42	3.6 挤压力计算	59
2.7.4 气孔	42	3.6.1 基本公式的推荐及其分析	59
2.7.5 偏析	42	3.6.2 基本公式的推广	60
2.7.6 缩孔与疏松	42	3.6.3 挤压力计算举例	61
2.7.7 冷隔	42	3.6.4 影响挤压力大小的因素	63
2.7.8 其他缺陷和废品	43	3.6.5 挤压力的测定	63
作业题和思考题	43	作业题和思考题	63
第三章 金属挤压	44	第四章 金属拉拔	65
3.1 概述	44	4.1 概述	65
3.1.1 挤压方法分类	44	4.1.1 拉拔方法	65
3.1.2 挤压方法的优缺点	44	4.1.2 拉拔法的优缺点	65

4.1.3 拉拔法生产概况	66	5.3.6 其他工序	82
4.2 拉拔变形过程	66	5.4 工艺参数	82
4.2.1 理想变形情况	66	5.4.1 加热	82
4.2.2 对网格法的分析	66	5.4.2 挤压	82
4.2.3 不均匀变形总规律的应用	67	5.4.3 夹头制作	83
4.3 管材拉拔设备	68	5.4.4 拉拔	83
4.3.1 分类	68	5.4.5 退火	83
4.3.2 管材链式拉拔机	68	5.4.6 酸洗	84
4.3.3 管材圆盘拉拔机	69	5.4.7 矫直	85
4.4 管材拉拔工具	69	5.5 工艺流程设计和计算	85
4.4.1 分类	69	5.5.1 工艺流程设计原则	85
4.4.2 模子	69	5.5.2 工艺流程参数的计算和选取	86
4.4.3 固定芯头	70	5.5.3 工艺流程简介	86
4.4.4 游动芯头	71	5.6 废品分析	87
4.4.5 工具材料	71	5.6.1 化学成分不合格	87
4.5 金属拉拔工艺	71	5.6.2 机械性能不合格	87
4.5.1 各种因素对拉拔管质量的影响	71	5.6.3 尺寸公差不合格	88
4.5.2 拉拔工艺参数的确定	72	5.6.4 表面质量不合格	88
4.5.3 管材拉拔废品分析	72	5.7 游动芯头拉管	88
4.6 管材拉拔力计算	74	5.7.1 游动芯头拉管的工艺特点	88
4.6.1 基本公式推荐	74	5.7.2 各种游动芯头结构和尺寸	89
4.6.2 基本公式推广	74	5.7.3 拉拔工艺流程的编制	89
4.6.3 管材拉拔力计算举例	76	5.7.4 工艺流程计算举例	91
作业题和思考题	77	5.7.5 拉拔力计算	92
第五章 管材生产工艺	78	5.7.6 拉管工艺操作	93
5.1 概述	78	5.7.7 废品分析	94
5.1.1 管材用途	78	5.7.8 在游动芯头拉管方面的新进展	94
5.1.2 国内外生产水平	78	5.8 空拉圆管壁厚计算及型管配模	
5.2 生产方案的选择	78	工艺	95
5.2.1 选择生产方案的意义	78	5.8.1 空拉圆管壁厚计算公式推荐	95
5.2.2 几种生产方案简介	79	5.8.2 基本公式的推广	96
5.3 辅助工序及其设备	80	5.8.3 计算举例	97
5.3.1 矫直	80	5.8.4 空拉管的优点、工艺参数和壁	
5.3.2 锯切	81	厚计算的意义	100
5.3.3 夹头制作	81	5.8.5 空拉型管配模工艺	101
5.3.4 退火	81	5.9 直缝焊管生产简介	102
5.3.5 酸洗	81	5.9.1 概述	102
		5.9.2 直缝焊管工艺	103

5.9.3 直缝焊管设备.....	104	✓JB. 涡流检测.....	118
5.9.4 技术经济上的分析.....	104	6.4 管材工艺试验.....	119
5.10 斜轧穿孔工艺简介.....	105	✓6.4.1 金属管液压试验.....	119
5.10.1斜轧穿孔过程.....	105	6.4.2 金属管扩口试验.....	119
5.10.2斜轧穿孔工艺.....	105	6.4.3 金属管缩口试验.....	120
5.10.3斜轧穿孔废品.....	106	6.4.4 金属管卷边试验.....	120
5.11 冷轧管工艺简介.....	107	6.4.5 金属管压扁试验.....	121
5.11.1冷轧管过程.....	107	6.4.6 其他试验.....	122
5.11.2冷轧管工艺.....	109	6.5 压加过程测试和控制技术...	122
5.11.3冷轧管废品.....	109	6.5.1 概 述.....	122
5.12 工艺卡片编制.....	110	6.5.2 压加过程测试技术.....	122
5.12.1工艺卡片的组成及其意义...	110	6.5.3 压加过程控制技术.....	123
5.12.2工艺卡片的编制.....	113	6.6 产品质量保证.....	124
5.12.3定额的确定.....	113	6.6.1 全面质量管理.....	124
作业题和思考题.....	114	6.6.2 质量保证体系.....	124
第六章 产品质量检测和保证.....	116	6.6.3 质量管理常用统计方法.....	125
6.1 概 述.....	116	作业题和思考题.....	129
6.2 产品标准及技术要求.....	116	参 考 文 献.....	129
6.2.1 产品标准.....	116	〔附录〕 ₁ 计算挤压力用的图表...	130
6.2.2 技术要求.....	117	〔附录〕 ₂ 讲义上编号公式索引...	131
6.3 产品质量检测.....	118	〔附录〕 ₃ 讲义上引用的表的索引...	133
6.3.1 常规检测.....	118	〔附录〕 ₄ 希腊字母表.....	133
6.3.2 无损检测.....	118		
A. 超声波检测.....	118		

第一章 金属压力加工概论

1.1 概 述

1.1.1 金属压力加工几种主要方法

有色金属压力加工的十大产品（板、带、条、箔、管、棒、线、型、锻件和冲压件），一般是用五种主要方法——锻、轧、挤、拉（拔）、冲生产的（见图1.1—1）。有的产品用单一的加工方法就能生产出来，有的产品得用几种加工方法结合起来才能生产出来，而且同一种产品可以用许多种组合方案进行生产。这就需要对有色金属压力加工过程进行认真的分析研究。

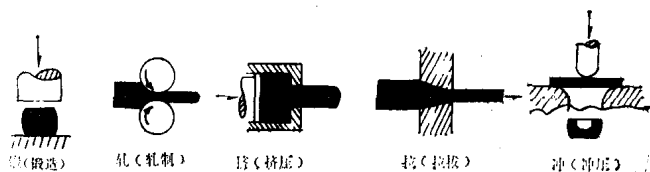


图1.1—1 五种主要加工方法

1.1.2 有色金属在国民经济中的作用

金属材料通常分为黑色金属（钢铁）和有色金属两大类。在有色金属中，生产量大，应用较广的常用有色金属系指铜、铝、镍、铅、锌、锡、钨、钼、钛、锑、汞、镁等。重有色金属一般指比重在4.5以上的有色金属，其中铜、镍、铅、锌、锡是最常用的重有色金属。在这五种重有色金属中，铜及其合金产量居首位，应用最广泛，其工艺技术具有一定代表性，它是我们要介绍的重点。

重有色金属材料在国民经济中占有十分重要的地位。根据它的特性，每种重有色金属在各工业部门中都具有其独特的应用范围和作用。就其主要用途而言，铜是电力、电子、仪表和军工不可缺少的基础材料之一，铅在化工用耐酸设备、蓄电池、射线屏蔽等方面有着广泛应用；锌、锡主要用于钢材镀层，因而与钢铁工业密切相关；镍是制造高温合金、不锈钢和电工合金的重要合金元素。

在金属材料中，铜及其合金的应用范围仅次于钢铁，在有色金属中，铜的产量和耗用量仅次于铝。重有色金属材料在国民经济各部门中的应用，可概括地分如下几个方面：

1. 在电力及电子工业中的应用：铜的导电率仅次于银，而比铝大1.6倍，在电力和电子工业中应用最广、用量最大。据统计，在铜的总消耗量中有50%左右用于电气工业部门，如电线、动力电缆、通讯导线、电子管及真空器件、导波管、继电器、整流子、灯头、电极材料、发电机组、电动机、电极、电话、电视、计算机、电工仪表等。

2. 在机械及仪表工业中的应用：铜及其合金在机械、仪表工业中应用也很广泛，如轴

承、齿轮、开关、油管、阀门、螺栓、接头、弹簧等机械零件和仪表元件等。铅主要用来制造耐磨合金、轴承合金及易熔铅基焊料等。

3. 在建筑及交通运输业中的应用：铜在现代建筑工程中用量较大，制作管道及配件，具有美观、耐用、不需经常维修等优点。铜对交通运输业十分重要，在汽车、铁路、航海、造船及海洋工业中应用广泛，如汽车散热器，船舶热交换器冷凝管板，螺旋桨轴和耐蚀用零件等。

4. 在轻工及日用品方面的应用：铜在轻工、纺织、化工、医药、钟表、装饰及日用五金等方面应用十分广泛，如钟表元件、乐器零件及自行车、缝纫机、电风扇、洗衣机、电冰箱、空调器、太阳能利用及医疗器械用零件等。在印刷业中广泛采用照相锌板和铅铋合金字模。

5. 在军事工业中的应用：铜属于战略物资之一。它是制作弹壳、雷达、飞机、军舰、核潜艇、核反应堆等不可缺少的材料。铅比重大，多用来制弹头。用镍等金属配制的高温耐热合金是宇航工业中火箭和高速喷气机重要部件的基础材料。

1.1.3 当前重有色金属管材加工的国内外水平

远在十五世纪以前，我们祖先开创的炼铜和加工技术就世界上遥遥领先。可惜以后未能很快发展。到解放前，工业发达的长江流域每年也只产铜材1600多吨（职工总数约2200人，固定资产总计约260万元）；解放后，获得了大发展，特别是最近十多年来，发展更为迅速。1985年长江流域县以上的铜加工企业约有35家，总的年产量已达12万吨左右（约占全国铜材总量的30%），拥有职工约2.3万人（电线、电缆行业除外）。

在1985年中据不完全统计，铜加工材总产量约40万吨，其中集体所有制的地方中小企业的产量约为8万多吨，占全国总量20%多。这是一支不可小看的力量，它们有以下一些特点：①具有强烈的市场观念；②实行比较灵活的劳动报酬制度；③投资少，回收快；④办事效率高，生产指挥灵活；⑤重视技术投资等等。可以预料，它们将为我国铜加工事业作出应有的贡献。

当前存在的主要问题，有以下几个方面：①合金牌号品种少。我国1986年前正式纳入标准系列的合金不到90个，而美国同期纳入的变形铜及铜合金就有304个。②产品质量低，主要表现在尺寸公差和表面状态方面。③产品综合成品率低。国外综合成品率普遍为70~80%，而国内只有40~50%。④劳动生产率低，平均只5吨/人·年，而国外可达50吨/人·年左右。⑤各项消耗大，如原材料、动力和工模具等均比国外的指标高1倍左右。为了缩短对国外的差距，我们必须抓好现有企业技术改造这一环。

美国1982年生产铜加工材92万吨（110万吨线材除外），其中紫铜管约25万吨，铜合金管3万吨（我国同期铜材管年产量仅为3.1万吨）。国外铜加工工业大体向以下几个方面发展：①向专业化和大型化发展。国外大型铜加工企业年生产能力5~15万吨，中小企业年生产能力0.5~3万吨。②重视技术开发，采用以大型、高速、连续、自动、省力为特征的先进技术。③70年代以来，着重于发展优质、节能、省料、无公害等新技术和新材料，以利推动经济发展。

关于国外技术方面的具体水平，将穿插在以后各章各节中介绍。

1.2 金属及合金的组织结构

1.2.1 纯金属和合金

各种纯金属都有自己的个性和特点，有的纯金属适合单独使用，有的就不适合单独使用。所以常常需要互相“取长补短”，把两种或多种纯金属，通过熔铸或粉末冶金的办法，使之均匀混合后再使用。这种混合后的东西，称“合金”。通常所指的“金属”，是“纯金属”和“合金”的通称。

合金，有的是机械地混合在一起的，但是有的还起了物理和化学的变化，除了互相取长补短的作用，还产生了新的特点和新的性能。专门研究这方面变化的学问，有“金属学”。

例如黄铜，就是铜和锌的合金。铜是玫瑰色的，锌是青灰色的，混合以后就变成金黄色了，同时它强度比铜或锌都提高许多。普通的软钢，也是合金，只不过是碳（非金属）和铁的合金，它的强度比纯铁也提高许多。

1.2.2 晶粒和晶格、晶界

无论是纯金属或合金，在一定的高温下都会熔化成象水一样的东西，即金属液体，例如在高处，就会自动地往低处流散。但是冷下来以后，液体金属凝成固体，它就不象冰那样，在性能上均匀一致，里面看不出有什么颗粒东西，而是象混凝土块那样，里面有石子、砂子和水泥浆子等类似的东西结合成固体(块)。

我们把有的固体金属表面磨光，放在显微镜下观察，样子就如图1.2—1那样。大块儿的，就好象混凝土块里面的石子；我们称之为“晶粒”；小块儿的(在图1.2—1用黑色表示的)，就好象混凝土块里面的砂子，我们也称之为“晶粒”，只不过是另一种晶粒而已；晶粒与晶粒之间很细的线，就好象混凝土块里面的水泥浆子，我们称之为“晶界”或“晶界物质”。

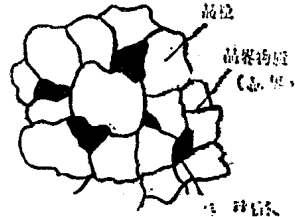


图1.2—1 两相金属组织示意图

我们为了区分大块儿晶粒和小块儿晶粒，一般就分别称它为：“ α 相晶粒”和“ β 相晶粒”。用普通话说，就是：“1号相晶粒”和“2号相晶粒”。“相”的意思，大致上就是“相貌”的意思，也含有“亮相”中“相”字的意思。一般，不同相的晶粒，不单是凭它们的外形大小来区分的，而是由晶格常数来区分的。不同相的晶粒，可以有不同的化学成分和不同的性能。因此，不同的晶粒，其实就是不同属性的晶粒。

纯金属及某些合金，在显微镜下面只能见到一个相的晶粒。这就好比是水泥砂浆一样，只有砂子，没有石子。当然，砂子还是大小不同的，形状各异的，但毕竟是同一种东西。同样一个相的晶粒，也是有大有小的，形状各不相同。有的合金由许多纯金属组成，则晶粒就不止两相；这就好象混凝土中的石头是采用卵石和毛石等一样。这种合金的组织就称作“多相组织”，它由许多相的晶粒所组成。

不过，合金和混凝土在结构性能上还是不相同的。混凝土块里的砂子和石子，互相是不会再变了；但合金里面的“ α 相晶粒”和“ β 相晶粒”，有的可以随温度的变化而互相转化：或“吞并”，即金属学中称的“溶解”；或“分裂”，即金属学中称的“析出”。

例如，含铜62%、锌38%的62黄铜，在常温下是 α 相晶粒（也称“ α 相组织”），温度

升到700℃时则出现了β相晶粒（或称“α + β两相组织”），温度达850℃时则又全部变为β相晶粒（或称“β相组织”）。

各个相的晶粒，它们的机械性能、物理性能和化学性能都互相不同，这对压力加工过程及制品质量都有影响。所以我们要了解和掌握各个相组织的“脾气”（即规律性）。金属学就是研究它们规律性的一门科学，也是我们金属压力加工专业要学的一门课程。

金属原子在晶粒中不是乱糟糟地挤在一起的，而是象排着的队伍一样，有行有列，很整齐。这种按照一定规则排列的东西，称“晶格”（也称“点阵”），大致可理解为“晶粒的格子”（见图1.2-2）。

一种金属或一种合金，如有不同相的晶粒出现时，则它们的晶格规格（金属学中称“晶格常数”）也就不同。这就象田里插秧，不同品种的稻秧，采用不同的株距、行距一样。各种相的晶粒都有自己特定的晶格型式及规格，而与晶粒的大小、形状无关。这好象对同品种的稻秧，在插秧时只要掌握相同的株距和行距就行，而与水田的形状、大小无关。再举一个日常例子来作比喻：金属锌的晶格是一种六方晶格，锌原子在晶粒中的排列有点象蜂窝，大家都知道，蜂窝的结构都呈正六边形，而与蜂窝的大小、形状无关。

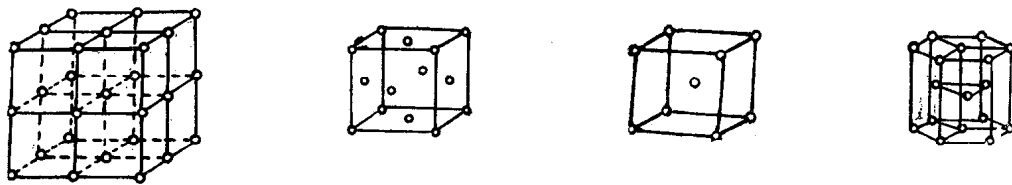


图1.2-2 空间晶格 图1.2-3 体心立方晶格 图1.2-4 面心立方晶格 图1.2-5 六方晶格（密集型）

金属晶格最常见的有三种：体心立方晶格（图1.2-3），面心立方晶格（图1.2-4）和六方晶格（图1.2-5）。前面提到的62黄铜，α相是面心立方晶格，β相则是体心立方晶格。

由晶粒构成的物体称为“晶体”。晶体仅仅由一个晶粒构成，就称“单晶体”；由多个晶粒构成，则称“多晶体”。常用的金属材料都属多晶体。多晶体能够成为一个整体，与晶界（晶界物质）的媒介作用分不开。晶界在变形过程中也起着重要作用，它对制品的性能影响也很大。现在许多科研人员对它正在作深入研究。

1.2.3 结晶和再结晶

对金属不断加热，提高它的温度，达到熔点时金属就开始熔化。相反，对熔化后的液体金属不再加热，它的温度由于自身散热就不断下降；下降到凝固点温度时，就在液体金属中出现晶核。这种晶核随着时间的延续，不断增多，并不断长大。这个过程就称“结晶”或“结晶过程”。

金属经过压力加工后，金属体内原先的晶粒被压破了。这种内部的局部破坏（即微裂纹）如不及时消除，继续对它压力加工，就会使微裂纹发展，使金属体出现裂缝、裂边、断裂，甚至碎成许多小块，无法收拾。

为了消除这种内部的用肉眼看不到的局部微小破坏（微裂纹），通常采用加热的办法。这个操作工序就是工厂里的“退火”工序（或叫“软化”工序）。

当变过形的金属被加热到一定温度（低于熔点温度）时，在金属体内会出现一种现象：在固态金属体内原子重新自动排列一次，出现新的一批晶粒。借用上面介绍过的结晶概念，把这种现象称作“再结晶”。

变过形的金属，在再结晶过程中会把原来内部的局部破坏（即微裂纹等）消除，这样就有利于我们对它继续进行压力加工。同时，金属体经过再结晶以后，强度和硬度显著地下降，对它压力加工就省力。因此我们常把这种退火工序叫作软化工序。

1.2.4 相变和热处理

前面我们提到的62黄铜的例子，金属体内的晶粒随着温度的升高，由一种相转变另一种相的晶粒，这种现象在金属学中称为“相变”。为了把只出现在高温下的某种相的晶粒，保存到常温，一般采用快速急冷的办法，使金属体内的高温相晶粒来不及转变为常温相晶粒。这种操作工序就是工厂中的“淬火”工序。这种加热和淬火的全过程就称作“热处理”过程。在有的书上，将“热处理”的含义扩大，还包括退火和均热等处理。在我们这里，以后均指狭义的热处理。有些金属（合金）经热处理后，性能大大提高，特别是与压力加工过程最佳地配合，效果更为显著，已成为国内外热门的一个课题——形变热处理。

1.3 金属的性能

1.3.1 金属材料的特性

金属材料的优越性，在于良好的塑性和较高的强度相结合。虽然玻璃丝的强度很大，金刚砂的硬度很高，沥青的塑性很好，橡皮的弹性很强，但是它们都不兼备大的塑性和高的强度。此外，金属材料还有较好的导电性和导热性，有的表面还有很美丽的光泽。因此黑色金属和有色金属在国民经济中起着巨大的作用。

1.3.2 机械性能

金属材料的机械性能有以下一些内容：①抗拉强度（ σ_b ）；②屈服强度（ $\sigma_{0.2}$ ）；③伸长率（ δ ）；④断面收缩率（ Ψ ）；⑤弹性模量（ E ）；⑥硬度（ HB 或 HR ）；⑦冲击韧性（ a_K ）；⑧疲劳极限（ σ_{-1} ）等等。不过对重有色加工材的要求，通常只有两项：抗拉强度 σ_b 和伸长率 δ 。这两项对制造最终使用的零件和器件影响很大。

1.3.3 物理性能

金属材料的物理性能有以下一些内容：①电阻率或导电率；②导热率；③线膨胀系数等等。这些项目只对专用材料才有具体要求，一般在产品出厂时不作这方面的检验。

1.3.4 化学性能

金属材料的化学性能有以下一些内容：①抗腐蚀性能；②高温抗氧化性能等等。一般重有色金属加工制品也不作这方面的检验。

1.3.5 特殊性能

专用的金属材料，大多要求特殊性能，例如比强度、比弹性、耐磨性、切削性、焊接性、低温强韧性、导磁性、光反射性、减振性等等。这些要求大多属于新材料开发的课题，它们除了本身的化学成分，大多还与金属压力加工全过程有很大关系。

1.4 金属的变形

1.4.1 弹性和塑性

我们拿一块洗澡用的长方形泡沫塑料，再拿一块同样大小的面团，然后用手分别压一下。泡沫塑料压扁后，又弹回来了，恢复原先的长方形；但面团压扁了，就再也不能复原了。我们简单地、直观地说：泡沫塑料具有“弹性”，面团具有“塑性”或“可塑性”。

我们搞金属压力加工这一行，就是利用金属具有“塑性”这个特点，才能把厚厚的铸锭轧成薄薄的带材，才能把很粗的圆锭挤压成很小的线坯。因此，有的国家把金属压力加工称为“金属塑性加工”。

这里顺便提一下：有关“塑性”的定义或概念，在许多参考书中都能找到，但作者认为，好多的写法是值得商榷的。这点在以后的内容中再作交待。

1.4.2 作用力和反作用力

对被加工物体作用的外力，称“作用力”。作用力一般是由机械作用产生的，并由相应的工具传给需要变形的金属物体。

在作用力的作用下，当加工物体的机械运动受到阻碍时，于是就发生“反作用力”，也就是说，加工物体对工具产生了反作用力。

作用力和反作用力是同时存在的，大小是相等的，但方向是相反的。

1.4.3 力和弹性变形

我们拿一个小弹簧，把它压得越扁，越费力；或者把它拉得越长，也是越费力。我们通常说，弹簧的弹力和弹簧的变形（压缩或伸长）成正比例。这就是弹性变形的“虎克定律”。

我们用手压弹簧的力，或者拉弹簧的力，就是“作用力”。弹簧由于变形（压缩或伸长）而产生的弹力，就是“反作用力”。当弹簧不再变形的时候，称之为“平衡状态”，此时作用力等于反作用力（即弹力）。

图1.4-1表示弹簧的变形情况。

从上面的简单例子，说明了一些很重要的概念：

第一，弹力和弹簧的弹性变形是同时存在的；弹簧的弹性变形消失，弹力也就同时消失；

第二，弹力是弹簧弹性变形的内在表现，弹簧弹性变形是弹力的物质基础；

第三，弹力和弹簧弹性变形是一回事，只是叙述问题的角度不同而已；因为弹力不能离开自己的物质基础而单独存在。

1.4.4 外力和内力

从外部作用到需要加工金属上的力，称“外力”。

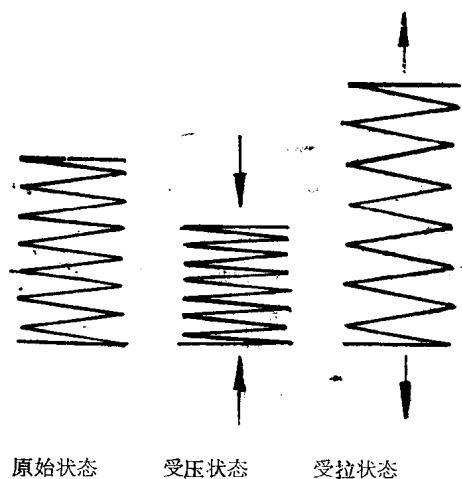


图1.4-1 弹簧变形情况

为了把一个具体的力说清楚，必须指出三点：①力的着力点或力的作用面；②力的作用方向；③力的大小。

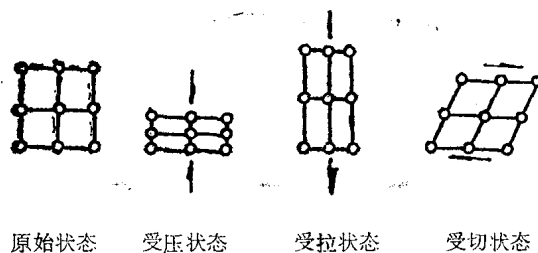


图1.4-2 晶格弹性变形示意图

与作用面相垂直的力，称“正压力”或“正拉力”，在一般情况下也经常简称“压力”或“拉力”。与作用面相平行的力，称“切力”，通常说的摩擦力就是一种切力。通常拉力用“+”号表示，不过为了简化起见，“+”号一般在具体数值前面是不写出来的；压力用“-”号表示，例如计算得“-50”公斤力，那就是指50公斤压力。

在需要加工的金属内部，用来平衡外力的力，称“内力”。这种内力也分拉力、压力和切力。

产生内力的物质基础，也是弹性变形，不过是金属晶格的弹性变形（见图1.4-2）。但是，前面得到的概念仍旧适用，即：

第一，内力和晶格的弹性变形同时存在；晶格弹性变形消失，内力也就消失；

第二，内力是晶格弹性变形的表现，晶格弹性变形是内力的物质基础；

第三，内力和晶格弹性变形是一回事，只是叙述问题的角度不同而已；因为内力不能离开自己的物质基础而单独存在；

第四，晶格弹性变形是体金属产生各种反作用力的物质基础。

1.4.5 单位压力和应力

我们在分析问题的时候，常常要有具体的数字，掌握好量变到质变的具体界限，这样我们才能变被动为主动。

为了比较各种变形过程中外力和内力的大小、强弱，经常用“单位压力”和“应力”来反映。这好象我们说，今年粮食丰收，光说收多少斤是不全面的，还必须说：亩产多少斤。它们之间的道理是一个样的。

单位面积上的作用力，称“单位压力”，常用“ p ”表示，单位：公斤力/毫米²。（注意：在拉拔时，单位面积上的拉力，习惯上也称“单位压力”。）

单位面积上的内力，称“应力”。与作用面垂直的应力，称“正应力”，常用“ σ ”表示，单位：公斤力/毫米²；与作用面平行的应力，称“切应力”，常用“ τ ”表示，单位：公斤力/毫米²。

在作用面上只有正应力，没有切应力，此时的正应力，特称为“主应力”。

我们可以证明：物体上一点受了从各个方向作用的许多力，总能把它们合并成三个互相垂直的力。同样，不管物体内某个点上的应力情况如何复杂，我们也总可以把它们合并成三个主应力；也就是说，物体各点的应力情况，都可以用各点的三个主应力把它们表示出来。

一般用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示三个主应力，其中 σ_1 是起主导地位的主应力，亦即三个主应力的绝对值中最大的那个主应力； σ_3 则表示绝对值中最小的那个主应力，而 σ_2 则是绝对值处于中间的那个主应力。

为了形象地把变形体内某个点的应力情况（状态）表示出来、表示清楚，我们常用一个小六面体来代表物体上的点，并在三个互相垂直的面上标出三个主应力的方向。箭头对着面的表示压主应力，箭头背着面的表示拉主应力。这种图示称“应力状态图示”或简称“主应力图”。

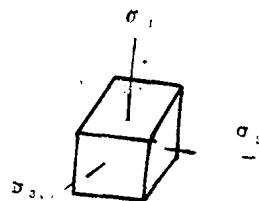


图1.4-3 锻粗时的主应力图

图1.4-3是金属锻粗时基本应力的主应力图，系一个“三向压应力图”。 σ_1 是由锻锤作用力引起的最大主应力（压应力），侧面两个压主应力是由锤头接触面上发生的摩擦力所引起的。

1.4.6 弹性变形和塑性变形

被加工的金属体，在外力作用下都要发生变形，也就是在不同的程度上改变它的形状和尺寸。

物体受外力作用，在内部产生内力，用以平衡外力，也就是内部各个晶粒的晶格都发生了变形。我们用尺，能够直接量出来的弹性变形量，可以认为是金属体内许多晶粒的晶格弹性变形量积累的结果。

通过观察，存在两类性质不同的变形：属于弹性性质的变形，称“弹性变形”，也就是说，去掉作用力后，金属物体能够恢复自己原先的形状和尺寸的那种变形，称“弹性变形”；属于塑性性质的变形，称“塑性变形”，也就是说，去掉作用力后，金属物体不能够恢复自己原先的形状和尺寸的那种变形，称“塑性变形”。

前面对内力的物质基础作了介绍，它实质上也是弹性变形的本质。现在利用这个概念，再来说明金属塑性变形的本质。不过这种说明还是粗浅的，有待进一步深化。

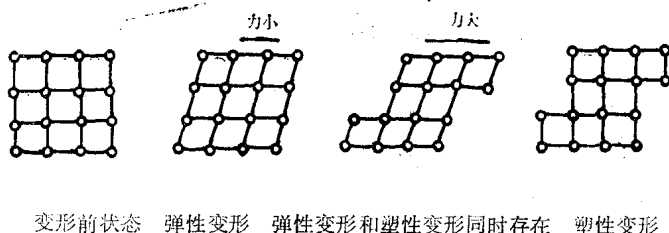


图1.4-4 晶格的弹性变形和塑性变形示意图

现以图1.4-4为模型来说明：塑性变形是上边两排金属原子正好移动了一个晶格的结果。这样只是这块晶粒的外形有了变化，但是晶格并没有变化。所以当外力去掉后，晶格也不存在任何变形（即歪扭等）或内力，于是晶粒的外形也就不能再恢复到原先的形状和尺寸了。晶粒不断塑性变形的过程，就是晶格一格一格地移动过去的过程。这种过程，通常称为塑性变形的“滑移过程”。

至于弹性变形就不是这样。各排的原子的位置有错动，晶格变斜（见图1.4-4），所以出现了内力，这种内力是用来平衡外力的，它“竭力想把变了形的晶格恢复到原来的样子或位

置”。因此,当外力去掉后,内力就把原子“推”或“拉”到原来的位置,回复原先的晶格,于是弹性变形也就消失了。

从上面的说明,我们得到一个很重要的概念:金属物体受力后,先发生弹性变形,随后才有可能发生塑性变形;或者说,在进行塑性变形的过程中,必定同时存在弹性变形。

1.4.7 线变形和角变形

从变形的形式来看,可以把变形分成另外两类:“线变形”和“角变形”。如图1.4—5,物体受压力,产生压缩变形;物体受拉力,产生拉长变形;物体受切力,产生切变形(歪斜变形)。这三种是变形的基本形式,由它们可以组合成各式各样的复杂变形。

压缩变形或拉长变形,虽然都没有使物体形状发生变化,变形前后都是矩形,但是矩形的边长有的缩短了,有的伸长了,这种使直线尺寸发生变化的变形,称“线变形”。切变形虽不使矩形的四条边长发生变化,但使原来的四个直角发生了变化,两只角变大了,另两只角变小了。所以将这种变形称为“角变形”。因此我们常说:线变形改变物体的尺寸,角变形改变物体的形状。

可是,无论线变形,还是角变形,都是变形体中质点位移的结果,所以线变形和角变形之间仍然存在一定的关系。

实际生产中见到的变形是很复杂的,物体各点上的变形,都是由线变形和角变形组合而成的。考虑到应力和变形间存在一定关系,因此物体上某一点的变形情况(状态),也可以用三个互相垂直的主变形来表示。三个主变形为 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 ,分别与三个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 相对应。为了表示变形体某一点的变形情况,与主应力图类似,采用“变形状态图示法”,简称“主变形图”。图1.4—6是镦粗时的主变形图。箭头对着面的表示压缩变形,箭头背着面的表示拉长变形。

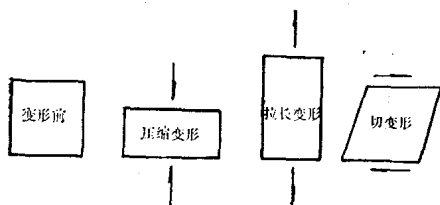


图1.4—5 物体变形的基本形式

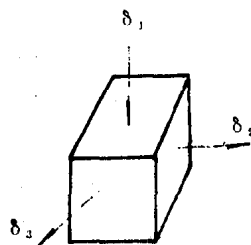


图1.4—6 镦粗时的主变形图

与图1.4—3比较,可知镦粗的主应力图是“三向压应力”,而主变形图则是“一向压缩二向拉长”它们之间不是一一对应的;对于塑性变形说,三个主变形不可能同号(“+”号表示拉长变形,“-”号表示压缩变形)。

采用主变形图的表示方法,是定性的。为了对变形进行分析和比较,还需要有定量的表示方法。后者可以分为两类:①绝对变

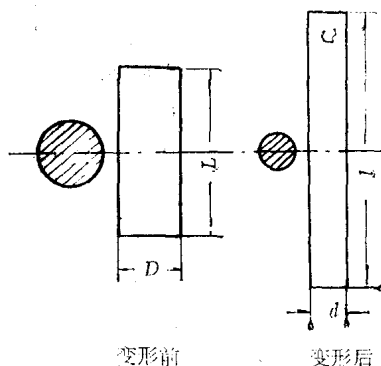


图1.4—7 确定圆棒的变形程度