

实用 钣金操作技法

钟翔山 等编著

融合传统与现代技术 突出实用操作技能



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实用钣金操作技法

钟翔山 等编著



机械工业出版社

本书针对钣金加工的工作性质,围绕钣金操作加工的技术与方法,对钣金构件的加工特点与工艺流程、钣金的放样、矫正等基本操作,以及钣金件的下料、成形、装配、连接、质量检验、钣金数控加工等方面的内容进行了系统、全面的介绍。本书在内容编排上注重实践,突出重点,简明扼要,坚持以实用为主,在介绍钣金基本操作技术与方法的基础上,注重专业知识与操作技能、方法的有机融合,着眼于工作能力的培养与提高。

本书可供钣金加工操作人员和技术人员使用,也可供从事钣金教学与科研的人员参考,还可作为高等学校相关专业的学生扩大专业知识或岗前职业技能的培训教程。

图书在版编目(CIP)数据

实用钣金操作技法/钟翔山等编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-111-40178-0

I. ①实… II. ①钟… III. ①钣金工—操作 IV. ①TG936

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第251972号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华

版式设计:闫玥红 责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2013年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·23.25印张·464千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-40178-0

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑(010)88379734

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

钣金加工是对金属板材、型材和管材进行冷、热态成形，装配，并以焊接、铆接及螺栓连接等连接方式制造金属构件的方法，涉及钳工、冲压、金属切削、焊接、热处理、表面处理、铆接、装配等多种专业工种，是一项传统的加工制造技术，在机械、冶金、航空、造船、化工、国防等行业应用非常广泛。据统计，市场上钣金零件占到全部金属制品的90%以上。

现代工业技术突飞猛进地发展，特别是在现代钣金制造业中大量先进的计算机应用技术、加工设备和工艺方法的融入，使钣金加工这个传统制造行业发生了巨大的变革。随着我国经济快速、健康、持续、稳定地发展，一方面研制、应用的机器设备种类越来越多，需求量越来越大，涉及的钣金构件品种越来越多、越来越复杂，对从事钣金加工人员的要求也越来越高；另一方面，随着全球新一轮产业结构的调整，从事钣金加工技术的中、高级技术工人又非常短缺。基于这种现状，为满足钣金加工技术人员的实际需要，我们编写了这本书。

全书共7章，第1章主要介绍了钣金加工的特点、基本理论、原材料及工艺流程，第2章主要讲述了钣金放样、矫正、孔及螺纹加工等基本操作方法，第3章至第6章主要介绍了钣金件的下料、成形、连接、装配等方面的操作技能与典型零件的加工方法，第7章主要介绍了钣金数控加工设备的操作及编程知识。

本书具有内容系统完整、结构清晰明了和实用性强等特点，在内容编排上注重实践，突出重点，简明扼要，坚持以实用为主，对基本理论部分以必需和够用为原则，做到基本概念清晰、突出实用技能。全书在讲解钣金基本知识和基本操作技能的基础上，注重专业知识与操作技能、方法的有机融合。全书着眼于当今钣金加工技术条件下工作能力的培养与提高，特别注重将钣金加工的传统技术与现代加工技术融合起来进行分析、讲解，以体现钣金操作技术的传统与现代性特点。

本书由钟翔山整理统稿，参加本书编写的人员有：钟翔山、钟礼耀、钟翔屿、孙东红、钟静玲、曾冬秀、周莲英、陈黎娟、李澎、彭英、周爱芳、欧阳拥、周建华、胡程英、周彬林、刘梅连、钟师源、孙雨暄、欧阳露、周宇琼。

本书在编写过程中，得到了同行、有关专家和高级技师的热情帮助、指导和鼓励，在此一并表示由衷的感谢。

由于作者水平有限，经验不足，难免有疏漏错误之处，热诚希望读者指正。

钟翔山

目 录

前言

第 1 章 钣金加工技术基础	1
1.1 钣金加工技术的特点及工艺流程	1
1.2 钣金加工的基本理论	3
1.2.1 金属的塑性变形	3
1.2.2 金属塑性变形的基本规律	6
1.3 钣金加工常用材料	7
1.3.1 钢铁材料	8
1.3.2 非铁金属材料	14
1.4 钣金用钢材的品种及规格	19
1.5 金属材料的加工性能	25
1.5.1 金属材料的加工工艺性	25
1.5.2 常用钣金材料的工艺性能	28
第 2 章 钣金基本操作	32
2.1 放样	32
2.1.1 放样的工具	32
2.1.2 基本图形的作法	36
2.1.3 放样的操作技巧及注意事项	45
2.2 手工矫正	49
2.2.1 薄钢板手工矫正的操作技法	49
2.2.2 非铁金属手工矫正的操作技法	51
2.2.3 厚钢板手工矫正的操作技法	54
2.2.4 型材手工矫正的操作技法	56
2.3 机械矫正	65
2.3.1 机械矫正的方法及适用范围	66
2.3.2 板料的矫正	67
2.3.3 型材的矫正	70
2.4 火焰矫正	71
2.4.1 火焰矫正的操作方法	72
2.4.2 火焰矫正操作注意事项	74
2.5 孔加工	75
2.5.1 孔加工的设备及工具	75
2.5.2 钻孔的操作技法	77
2.6 螺纹加工	82
第 3 章 钣金下料	89

3.1 常用的下料方法及其应用	89
3.2 剪切	91
3.2.1 手工剪切的操作技法	91
3.2.2 手工剡切的操作技法	95
3.2.3 机械剪切的操作技法	98
3.3 冲裁	104
3.3.1 冲裁加工的生产要素	105
3.3.2 冲裁主要参数的确定	109
3.3.3 冲裁模安装时压力机的调整	113
3.3.4 冲裁模的安装与调整	117
3.3.5 冲裁操作注意事项	120
3.3.6 冲裁件常见缺陷及解决措施	120
3.4 气割	121
3.4.1 气割的设备及工具	121
3.4.2 气割的操作技法	123
3.4.3 低碳钢材的气割	125
3.4.4 气割操作注意事项	127
第4章 钣金成形	131
4.1 手工弯曲的操作技法	131
4.1.1 小型、薄板件的手工弯曲	131
4.1.2 卷边的操作	135
4.1.3 天圆地方管的手工槽制	138
4.1.4 小圆锥台的手工槽制	141
4.1.5 管料的手工弯制	146
4.1.6 型材的手工弯曲	149
4.2 折弯	151
4.2.1 折弯的设备和工具	151
4.2.2 折弯的操作技法	152
4.3 滚弯	155
4.3.1 滚弯的设备及其操作	155
4.3.2 圆筒的滚弯操作技法	156
4.3.3 圆锥台的滚弯操作技法	163
4.3.4 螺旋件的滚弯操作技法	167
4.3.5 型材的滚弯操作技法	168
4.4 压弯	171
4.4.1 压弯的设备与工具	171
4.4.2 压弯工艺参数的确定	172
4.4.3 弯曲模的安装与调整	176
4.4.4 典型钣金压弯件的操作	177
4.4.5 弯曲件常见缺陷及解决措施	181

4.5 板料的拉深	183
4.5.1 拉深的设备与工具	183
4.5.2 拉深工艺参数的确定	184
4.5.3 拉深模的安装与调整	189
4.5.4 典型钣金拉深件的操作	190
4.5.5 拉深件常见缺陷及解决措施	195
4.6 放边与收边的操作	197
4.7 冷拱曲的操作	200
第5章 钣金连接	203
5.1 焊条电弧焊	203
5.1.1 加工设备与工具	203
5.1.2 焊接参数的选择	205
5.1.3 焊接接头的坡口形式	207
5.1.4 焊条电弧焊的操作技法	209
5.1.5 焊接操作的安全保护	213
5.2 CO ₂ 气体保护焊	214
5.2.1 加工设备与工具	215
5.2.2 焊接参数的选择	215
5.2.3 CO ₂ 气体保护焊的操作技法	216
5.2.4 CO ₂ 气体保护焊的安全保护	219
5.3 氩弧焊	221
5.4 常用金属材料焊接方法的选用	223
5.5 铆接	225
5.5.1 铆钉种类与用途	225
5.5.2 铆接的操作要点及操作注意事项	226
5.6 咬接	230
5.6.1 咬接的结构形式	230
5.6.2 咬接的操作方法及注意事项	231
5.7 螺纹连接	233
5.7.1 螺纹连接的形式	233
5.7.2 螺纹连接的操作	234
5.8 胀接	236
第6章 钣金装配	239
6.1 装配的方法	239
6.2 装配用工具	243
6.3 装配的测量	245
6.4 典型钣金装配件的操作	250
6.4.1 大型圆筒件装配的操作技法	250
6.4.2 球缺套入圆筒件的组装	256
6.4.3 储罐螺旋盘梯的组装	258

6.4.4 球罐的组装	261
6.5 装配的检验	266
第7章 钣金数控加工	268
7.1 数控转塔冲床加工	268
7.1.1 数控转塔冲床的分类	268
7.1.2 数控转塔冲床的基本构成	269
7.1.3 数控转塔冲床的操作基础	272
7.1.4 数控转塔冲床手工编程基础	280
7.1.5 数控转塔冲床的自动编程	290
7.2 数控激光切割	305
7.2.1 激光切割机的种类	305
7.2.2 数控激光切割机操作基础	306
7.2.3 数控激光切割机手工编程基础	312
7.2.4 数控激光切割机的自动编程	316
7.3 数控板料折弯加工	320
7.3.1 数控液压板料折弯机的分类	321
7.3.2 数控液压板料折弯机的基本构成	321
7.3.3 板料数控折弯的工作原理	324
7.3.4 数控液压板料折弯机操作基础	328
7.3.5 数控板料折弯手工编程基础	330
7.3.6 数控板料折弯自动编程基础	335
附录	340
附录 A 标准公差数值	340
附录 B 钣金常用金属板材的规格尺寸	341
附录 C 常用金属材料的力学性能	348
附录 D 型钢的规格尺寸及重心距位置	350
附录 E 结构用无缝钢管的外径和壁厚允许偏差	358
附录 F 常见钣金构件的展开计算	358
参考文献	363

第 1 章

钣金加工技术基础

1.1 钣金加工技术的特点及工艺流程

钣金加工是对金属板材、型材和管材进行冷、热态成形，装配，并以焊接、铆接及螺栓连接等连接方式制造金属构件的方法，主要涉及钳工、冲压、金属切削、焊接、热处理、表面处理、铆接、装配等多种专业工种。

1. 钣金加工技术的特点

钣金加工大多是在基本不改变金属板材、型材和管材等断面特征的情况下，对原材料进行冷、热态分离及成形的冲压加工，与切削加工方法相比较，冲压加工是被加工金属在再结晶温度以下产生塑性变形，不产生切屑，但在变形金属内会产生加工硬化。钣金加工的原材料多为塑性好的金属板材及型材，以及胶木板、橡胶板和塑料板等非金属材料。所用的设备多为压力机，所用的工具主要是各种形式的冲模，是依靠冲模对材料塑性变形加以约束，并直接使材料变成所需的零件。因此，钣金加工具有以下特点：

1) 在材料消耗不大的前提下，制造出的零件重量轻、刚度好、精度高。由于在冲压过程中材料的表面不受破坏，使得制件的表面质量较好，外观光滑美观，并且经过塑性变形后，金属内部的组织得到改善，机械强度有所提高。

2) 在压力机的简单冲击下，一次工序即可完成由其他加工方法所不能或难以制造完成的较复杂形状零件的加工，生产率高，每分钟一台冲压设备可生产零件从几件到几十件，高速压力机的生产率每分钟可高达数百件甚至一千件以上。

3) 制件的精度较高，且能保证零件尺寸的均一性和互换性，不需进一步的机械加工即可以满足一般的装配和使用要求。

4) 原材料是冶金厂大量生产的廉价的轧制板材或带材，可以实现零件的少切屑和无切屑加工，材料利用率一般可达 75% ~ 85%，可大量节约金属材料，制件的成本相应地比较低。

5) 节省能源。冲压时可不需加热，也不像切削加工那样将金属切成碎屑而需要消耗很大的能量。

6) 在大批量的生产中，易于实现机械化和自动化，进一步提高劳动生产率。

7) 操作简单，对操作人员的技术要求不高。当生产发展需要时，新手通过短期培训即可上岗操作。

8) 冲压加工一般需要有专用的模具。模具制造周期长、费用高，因此，只有在大批量生产条件下，冲压加工的优越性才能更好地显示出来。

由于在钣金结构制造过程中，需将组成结构的各个零件按照一定的位置、尺寸关系

和精度要求，采用焊接、铆接、咬接或胶接等连接方法组合装配成构件，因此，钣金加工又具有以下特点：

1) 相对于锻、铸件的生产加工，钣金构件具有重量轻，能节省金属材料，加工工艺简单，能降低生产成本，节省生产费用等优点。

2) 经过焊接加工的钣金构件，大多加工精度低，且焊接变形大，因此，焊后变形与矫正量较大。

3) 由于焊接件为不可拆卸连接，难以返修，因此，需采取合理的装配方法与装配程序，以避免或减少废品。对大型或特大型常要进行现场装配的产品，出厂前应先在厂内试装，且试装时宜用可拆卸连接临时代替不可拆卸连接。

4) 装配过程中，常需经选配、调整与多次测量、检验才可保证产品质量。

2. 钣金加工的应用

由于钣金加工具有生产效率高、质量稳定、成本低及可加工复杂形状工件等一系列优点，因此，在机械、汽车、飞机、轻工、国防、电机电器、家用电器以及日常生活用品等行业应用十分广泛，占有非常重要的地位。据统计，汽车中钣金件占整个汽车制造件的60%~70%；飞机中钣金件占整个飞机零件总数的40%以上；机电及仪器、仪表中钣金件占生产零件总数的60%~70%；市场上日用品的钣金件占到全部金属制品的90%以上。

随着科技的发展及加工技术的进步，一大批钣金计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助工艺设计（CAE）等新技术及大量的数控下料、成形、焊接等新设备（如激光切割、等离子切割、水切割、数控回转头压力机及数控折弯、焊接机械手、焊接机器人等）在各行各业得到广泛运用。目前，钣金加工技术正努力朝着高速、自动、精密、安全等方向发展，各种高速压力机，具备自动加工、自动搬运和储料等功能的冲压柔性制造系统（FMS），以及各种数控钣金加工用压力机相继得到开发与发展。可以预见，钣金加工技术水平将会得到进一步地提高，钣金构件的应用领域将会越来越广泛，应用数量将会越来越多。

3. 钣金加工的工艺流程

钣金加工的工艺流程是指生产过程中，按一定顺序逐渐改变零件形状、尺寸、材料性能，直至制造出合乎形状及尺寸要求的钣金件所进行的加工全过程。对于一个较复杂的结构件，其生产加工一般要经过材料准备、展开放样、切割坯料、成形及装配等诸多工序才能完成。钣金加工的工艺流程如图1-1所示。

工艺流程是指导整个零部件加工流程，组织和管理生产加工的重要技术文件。对于不在一个车间甚至一个工厂内完成加工的零件，它又是各车间工序流转、分工协作、相互衔接配合的重要依据。由于工艺流程是对构件中的每一个零部件从原材料到整个构件完成所规定通过的整个路线，所以也称为工艺路线。

4. 钣金加工的工艺规程

工艺流程规定了零件的加工流程，而具体的加工内容则是由工艺规程进行指导和控制的。

通常，钣金加工的基本工序有原材料矫正、放样、下料、切割、成形、连接装配

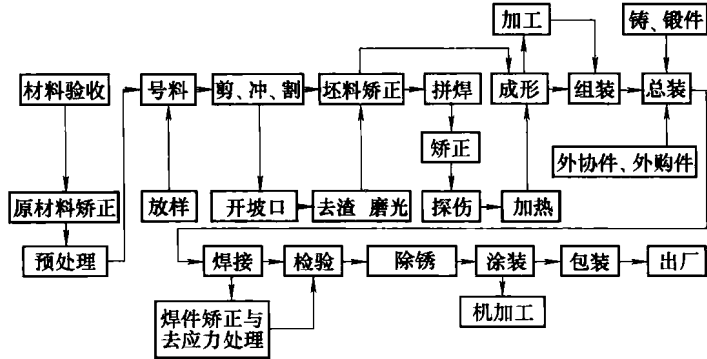


图 1-1 钣金加工的工艺流程

(包括焊接、铆接、咬接及螺纹连接等)等,按工序性质可分为备料、放样、加工成形和装配连接四大部分。工艺规程是工艺技术人员根据产品图样的要求和该工件的特点、生产批量以及本企业现有设备和生产能力等;在拟订出的几种可能工艺方案中进行周密的综合分析与比较之后,优选出的一种技术上可行、经济上合理的最佳工艺方案,它是指导零件生产过程的技术文件。在技术文件中,明确了该零件所用的毛坯和它的加工方式、具体的加工尺寸,各道工序的性质、数量、顺序和质量要求,各工序所用的设备型号、规格,各工序所用的加工工具(如辅具、刀具、模具等)形式,各工序的质量要求和检验方法等。一般说来,一个大型复杂的钣金结构件,钣金工往往需要在电焊工、起重工等专业工种的配合下来完成。对于采用压力加工(如压力机、油压机等)直接完成的加工工艺,往往称为冲压工艺;对于采用焊接进行构件组装的加工工艺,往往称为焊接工艺;对于组装加工中既要进行机械加工,又需要焊接、铆接等加工工艺组成时,则直接称为装配工艺。

需要注意的是,工艺规程不是一成不变的,在生产实践中要不断改进和完善,针对不同的企业、不同的生产工况,甚至不同的操作工人技术水平,其合理性也是不同的。但一个总的原则是,编制工艺规程应保证技术上的先进性、工艺上的可行性、经济上的合理性,同时保持良好的劳动条件。

1.2 钣金加工的基本理论

钣金加工包括切割分离和成形两种方式,切割是利用剪切、冲切或气割等加工工艺手段而获得工件毛坯的分离工序,而成形则是利用塑性变形,将金属板料或毛坯冲压成为所需形状的变形工序。金属的塑性变形规律是钣金加工的基本理论基础。

1.2.1 金属的塑性变形

固体材料受到外力作用,如果发生形状和尺寸的变化,这种现象称为变形,使物体产生变形的力称为变形力。变形力去除后,能恢复原状的变形称为弹性变形;变形力去除后,不能恢复原状的变形称为塑性变形。金属材料在变形力的作用下,既能产生弹

性变形，又能从弹性变形发展到塑性变形，它是一种具有弹、塑性的工程材料。一般说来，金属体在弹性变形时，其内部的原子位置发生变化，表现为原子的间距有微小的改变，从而引起了物体尺寸和形状的变化，变形力去除后，原子回到原来的平衡位置，该金属体就完全恢复了原来的形状和尺寸。当金属体受力较大，使原子偏离其原来的稳定平衡位置，而达到邻近的稳定平衡位置，在变形力去除后，原子就不再回到其原来位置，而是停留在邻近的稳定平衡位置上，其变形就成为不可恢复的永久变形，这就是金属的塑性变形。

1. 金属的晶体结构

从金属学的观点来看，所有的固态金属都是晶体，且各种固态金属的晶体结构并不完全相同。工业上常用的金属中，除少数具有复杂的晶体结构外，最常见的金属晶体结构多为体心立方结构、面心立方结构和密排六方结构三种晶格类型，如图 1-2 所示。

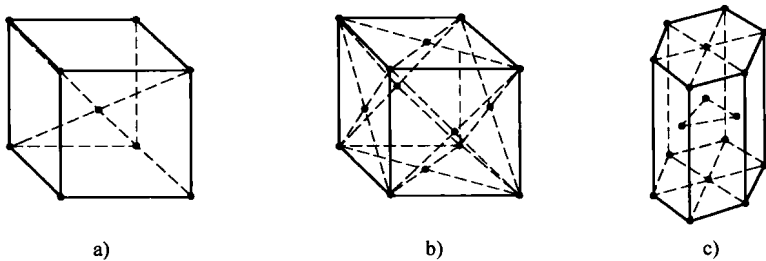


图 1-2 三种晶格类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格 c) 密排六方晶格

晶体中由原子组成的平面称为晶面，由原子组成的直线称为晶向，每种金属不同晶面上的原子密度和不同晶向上的原子间距是不同的。

2. 塑性变形的方式

研究表明，单晶体的塑性变形主要是通过滑移和孪生两种方式进行的。

塑性变形最常见的方式为滑移，即晶体一部分沿一定的晶面和晶向相对于另一部分产生滑移，这一晶面和晶向称为滑移面和滑移方向。一般说来，滑移面总是原子排列最密的面，滑移方向总是原子排列最密的方向，因为沿着原子分布最密的面和方向滑移阻力最小。一个滑移面及其面上的一个滑移方向组成一个滑移系。每一个滑移系表示晶体在产生滑移时可能采取的空间位向。当其他条件相同时，金属晶体的滑移系越多，则滑移时可能出现的滑移位向越多，塑性就越好。一般说来，面心立方和体心立方金属的滑移系较多，因此它们比密排六方金属的塑性好。

实际上，金属的滑移过程是比较复杂的。首先，滑移并非只是在一个单一的晶面上进行，同时参加滑移的有若干个平行的晶面——滑移层。滑移层的厚度可达 50nm 左右，滑移层与滑移层之间形成一种阶梯状。当变形程度很大时，两个滑移层间的阶梯可达 120nm 左右，如图 1-3a 所示。当塑性变形程度较大时，在金属表面上可以观察到滑移的痕迹，即无数互相平行的线条，这种线条通常称为滑移线。

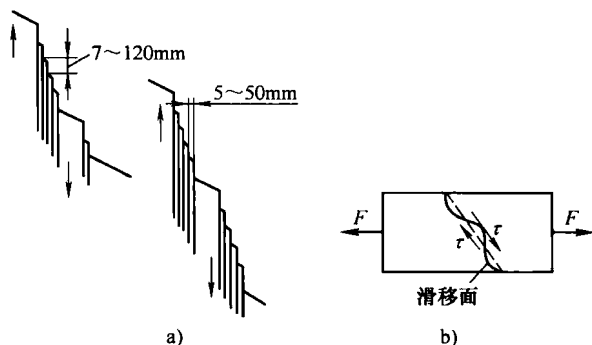


图 1-3 晶格的滑移

其次，在金属滑移过程中，由于滑移层内晶格逐渐破碎，附近的晶格逐渐畸变，使滑移面出现起伏歪扭，如图 1-3b 所示，于是晶体的滑移阻力即变形抵抗力逐渐加大。变形越严重，滑移面上的晶格紊乱碎块越多，继续滑移的阻力也就越大，这种现象称为冷作硬化或应变强化。

图 1-4 所示为晶格塑性变形的孪动过程，孪动是晶体的一部分相对另一部分沿着一定的晶面和方向发生的转动。

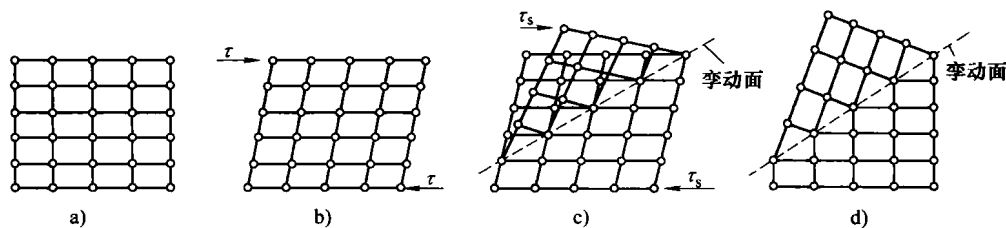


图 1-4 晶格的孪动过程

a) 平衡状态 b) 弹性畸变 c) 晶面发生转动 d) 永久变形

与滑移相比，孪动的主要特点是：

1) 滑移过程是渐进的，而孪动过程是突然发生的。例如金属锡孪动时，可听到一种清脆的声音，称为“锡鸣”。其他的金属孪动时，也可听到类似的声音。由于孪动进行得非常迅速，因此从试验中很难了解其详细过程。目前一般认为六方与体心立方晶格在低温与冲击载荷下易于产生孪动。

2) 孪动时，原子位置不能产生较大的错动，因此晶体取得较大永久变形的方式主要是滑移作用。

3) 孪动后晶体内部出现空隙，易于导致金属的破裂。

就理想的晶体结构而言，全部原子都是规则地排列在晶体的晶格点上。然而实际晶体总是存在着各种缺陷（这些缺陷包括位错、空位、间隙原子和置换原子等，晶界更是缺陷集中的区域），引起晶格的畸变以及原子排列的不规则，最明显的是多晶体。研

究表明：有些缺陷对金属塑性变形有很大的影响，如晶体的滑移变形就是在切应力的作用下通过滑移面上的位错运动来进行的。一个位错移到晶体表面形成一个原子间距的滑移量，同一个滑移面上许多位错移到晶体表面便形成明显的滑移线，许多滑移线在一起形成滑移带。这种滑移带常可在拉伸变形后的金属试样上观察到。

工业上用于塑性成形的金属都是多晶体，组成多晶体的各个晶粒类似于单晶体，它们的大小、形状、位向不同，晶粒之间又有晶界相连，因而多晶体的变形比单晶体要复杂得多。

多晶体的变形，就其中每个晶粒的变形来讲，不外乎滑移和孪生两种晶内变形方式，但就总体变形而言，多晶体内还存在着晶粒之间的相对滑动和转动。这种晶粒之间的变形称为晶间变形，所以多晶体的变形实质上是晶内变形和晶间变形综合作用的结果。

3. 塑性变形的影响

由于晶粒是靠原子间的吸引力和晶粒间的机械连锁力互相连接的，因此，晶间变形比较困难。晶粒间的滑动非常微小，很容易引起晶界处的结构破损，从而导致金属的断裂。晶粒间的转动过程相当复杂，这是由于多晶体中不同位向的各个晶粒既有向有利于晶内滑移的方向转动的趋势，又受到相互牵制的缘故。晶粒转动的现象在粗晶粒的板料冲压成形后可以观察到，这就是冲压件表面显出凹凸不平的所谓“橘皮”现象。

多晶体的塑性变形还受到晶界的影响。晶界内晶格畸变更甚，晶界的存在使多晶体的强度、硬度比单晶体高。多晶体内晶粒越细，晶界区所占比例也就越大，金属的强度、硬度也就越高。此外，晶粒越细，变形越易分散在许多晶粒内进行，因此变形更为均匀，不易出现应力集中而导致金属破坏，这就是一般的细晶粒金属不仅强度、硬度高，而且塑性也较好的原因。

在金属塑性变形过程中，金属的性能和组织都会发生变化，其中最重要的是加工硬化，即随着变形程度的增加，变形阻力增大，强度和硬度升高，而塑性、韧性下降。此外，由于变形不均匀，晶粒内部和晶粒之间会存在不同的内应力，作为变形后残余应力保留在金属内部，使经冷变形后的零件在放置一段时间后，可能自动发生变形甚至开裂。金属塑性变形后的性能变化是其组织发生变化的结果。多晶体变形时各晶粒沿其变形最大的方向伸长，在变形程度很大时，则显著伸长，形成纤维组织。晶内变形会使晶粒破碎，形成许多小晶粒，即亚晶粒；晶间变形则在晶界造成许多破损。另外，在变形程度很大时，多晶体内各个晶粒的位向会因滑移面的转向而逐渐趋向一致，形成变形织构。变形织构的形成，使轧制后的板料出现各向异性，即使退火一般也难以消除，用这种材料冲出的工件厚薄不均，沿口不齐，会使拉深成形的杯形件口部形成凸耳。

1.2.2 金属塑性变形的基本规律

在冲压过程中，材料的塑性变形都是冲模对材料施加的外力所引起的内力或由内力直接作用的结果。描述或表征金属塑性变形的的基本规律主要有以下几个方面。

1. 塑性变形体积不变定律

实践证明，物体在塑性变形中，变形前的体积等于变形后的体积，这就是金属塑性

变形体积不变定律。它是塑性变形工序中进行毛坯尺寸计算的依据。

2. 塑性条件（屈服准则）

所谓塑性条件就是金属在单向应力状态下，如果拉伸或压缩应力达到材料的屈服强度 σ_s ，便可以屈服，从弹性状态进入塑性状态，但对复杂应力状态就不能仅仅根据一个应力分量来判断一点是否已经屈服，而要同时考虑各应力分量的综合作用。在复杂应力状态下，各应力分量之间符合某种关系时，才能同单向应力状态下确定的屈服强度等效，从而使物体从弹性状态进入塑性状态，此时，应力分量之间的这种关系就称为塑性条件，或称为屈服准则。

塑性条件必须经过实验验证。经过实践验证并为大家公认的塑性条件有两种，即屈雷斯加（H. Tresca）屈服准则和密西斯（Von Mises）屈服准则。

（1）屈雷斯加屈服准则 1864年法国工程师屈雷斯加认为：材料中最大切应力达到一定值时开始屈服，即屈雷斯加屈服准则。设 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ （ σ_1 、 σ_2 、 σ_3 为变形材料上所截取的单元体的三个主应力），则其数学表达式为

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_s}{2} \text{ 或 } \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s$$

式中 σ_s ——材料的屈服极限。

（2）密西斯屈服准则 1913年德国学者密西斯提出：在一定的变形条件下，无论变形物体所处的应力状态如何，只要其三个主应力满足以下条件，材料便开始屈服，即密西斯屈服准则，其数学表达式为

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$$

3. 卸载软化现象

如果在冷塑性变形之后，再给材料反向加载，这时，材料的屈服强度有所降低，即反向加载时塑性变形更容易发生，这就是所谓的卸载软化现象。卸载软化现象对分析某些冲压工艺（如拉弯）很有实际意义。

4. 最小阻力定律

由于在塑性变形中破坏了金属的整体平衡而强制金属流动，当变形体的质点有可能沿不同方向移动时，则每个质点沿最小阻力方向移动，这就是最小阻力定律。坯料在模具中变形，其最大变形将沿最小阻力的方向。最小阻力定律在冲压工艺中有十分灵活和广泛的应用，能正确指导冲压工艺及模具设计，解决实际生产中出现的质量问题。

5. 加工硬化现象

常用的金属材料塑性变形时强度和硬度升高，而塑性和韧性降低的现象称为加工硬化或冷作硬化。加工硬化对许多冲压工艺都有较大的影响，如由于塑性降低，限制了毛坯进一步变形，往往需要在后续工序之前增加退火工序以消除加工硬化。加工硬化也有有利的一面，如提高局部抗失稳起皱的能力。

1.3 钣金加工常用材料

钣金生产加工的材料种类较多，规格多以板料、型材为主。常用的非金属材料主要

有纸板、胶木板、橡胶板、塑料板、复合板等。橡胶板具有良好的弹性、耐磨性、耐低温性和绝缘性，可用作弹性材料、密封材料和减振材料等。

由于工程塑料板具有较高的强度、良好的塑性、韧性和耐磨性，可代替金属制作钣金件，尤其是比强度（抗拉强度与密度的比值）很高，如玻璃纤维增强塑料可大大超过金属的比强度，广泛用于制作减轻自重的钣金结构件。

此外，大多数工程塑料对酸、碱、盐等介质具有良好的耐腐蚀能力，其中聚四氟乙烯和硬质聚氯乙烯还具有优良的耐强酸、强碱腐蚀性，故可用于制作化工耐蚀零件和耐蚀衬里、热交换器零件、化工管道及弯头等。

表 1-1 给出了常见的非金属材料板的名称、牌号、性质及应用。

表 1-1 非金属材料板的名称、牌号、性质及应用

材料名称	牌号	性质及说明	应用
耐油石棉橡胶板	NBR	属丁腈橡胶合成板，具有良好的耐油性，厚度为 0.4~3.0mm	用于钣金制品密封衬垫，如输油管、储油箱的密封圈等
耐酸碱橡胶板	SBR2030 SBR2040	属于丁苯橡胶，具有耐寒、耐中温及耐老化性等	用于在 -30~60℃、体积分数为 20% 酸碱液中工作的密封垫圈
耐油橡胶板	NBR3001 NBR3002	属于丁腈橡胶板，具有良好的耐油性	用于在一定温度的机油、变压器油、汽油等有机溶液中工作的垫圈
耐热橡胶板	SBR4001 SBR4002	属于丁苯橡胶，具有耐寒、耐高温及耐老化性等	用于在 -30~100℃ 的、压力不大的热空气、蒸汽介质中工作的垫圈和隔热垫板
酚酞层压板	PF3302-1 PF3302-2	属于层压酚醛塑料，强度较高，耐冲击和耐磨性好	用作汽车制动片、电器开关盒、电话机壳体等结构件
聚四氟乙烯板	F-4-13	耐强酸、强碱腐蚀性好，减摩擦和自润滑性优良，能耐 250℃ 以下温度	用于装腐蚀介质的容器衬里、热交换器密封垫圈等
工业有机玻璃	PC	PC 为聚碳酸酯，被誉为“透明金属”，具有良好的电绝缘性能和耐候性等	用于在 -60~120℃ 温度下工作并需透明的有机玻璃仪器等
工业用平面毛毡	112-44 232-36	厚度为 1~40mm，112-44 表示白色细毡，232-36 表示灰色粗毡	用作钣金结构密封、防漏油、防振、缓冲等衬垫，按需要选用细毛、粗毛或半粗毛毡

尽管非金属材料在钣金结构中得到较普遍的运用，但钣金生产加工中应用最多的还是金属材料，金属材料分钢铁材料和非铁金属材料两种。

1.3.1 钢铁材料

钢铁材料是以铁元素为基体的铁碳合金。一般情况下，碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁，碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金称为钢。钢铁材料主要包括碳素钢、合金钢、铸铁和铸钢。

钢的分类方法很多，既可按钢的冶炼方法、钢材品质、化学成分进行分类，也可依照金相组织和用途的不同进行分类，综合考虑上述因素，一般可按图 1-5 所示进行钢的

分类。

在钣金制品中应用最多的是低碳结构钢、低合金结构钢和特殊性能结构钢三大类，各类钢的成分、性能、规格和应用范围等介绍如下。

1. 低碳结构钢

低碳结构钢可简称为低碳钢，按其中含硫、磷有害杂质的质量分数不同，可分为普通低碳钢、优质低碳钢、高级优质低碳钢；按其轧制状态可分为热轧板和冷轧板；按其轧制后的处理状态又可分为普通低碳钢和镀膜低碳钢。低碳钢通常按成分及质量编号。

普通低碳钢 S 的质量分数 $\leq 0.055\%$ 、P 的质量分数 $\leq 0.045\%$ ，其牌号可反映出力学性能；优质低碳钢 S、P 的质量分数均 $\leq 0.040\%$ ；而高级优质低碳钢 S 的质量分数 $\leq 0.030\%$ 、P 的质量分数 $\leq 0.035\%$ ，其牌号可反映出碳的质量分数，并用两位数字表示碳的平均质量分数。低碳结构钢的分类及编号方法见表 1-2。

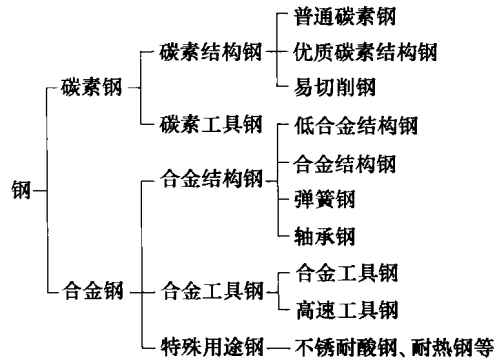


图 1-5 钢的分类

表 1-2 低碳结构钢的分类与编号方法

分类	举例	编号说明
普通低碳结构钢	Q235AF Q235B Q235C Q235D	“Q”为“屈”字的汉语拼音字首，后面的数字为屈服强度（MPa）。A、B、C、D 表示质量等级，从左至右，质量依次提高。F、b、Z、TZ 依次表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢，但镇静钢不标注，因此，质量等级后若没有字母标注，则均表示为镇静钢，如“Q235A”表示普通碳素结构钢， $\sigma_s = 235\text{MPa}$ ，质量为 A 级的镇静钢
优质低碳结构钢	08F、10F、15、20	两位数字表示碳的平均质量分数，以 0.01% 为单位，如 08F 表示碳的平均质量分数为 0.08% 的沸腾优质低碳结构钢；20 表示碳的平均质量分数为 0.20% 的优质低碳结构钢

(1) 普通低碳结构钢 普通低碳结构钢通常经过热轧后，在退火或正火状态下使用，一般不进行热处理，大多数是在热轧状态下或热轧后正火状态下使用，如有特殊需要时，也可以进行一些相应的退火、正火或淬火等热处理。常用普通低碳结构钢的主要成分、性能特性与应用见表 1-3。

表 1-3 常用普通低碳结构钢的主要成分、性能特性与应用

材料牌号	等级	w(C) (%)	w(Mn) (%)	$\sigma_s / \text{MPa} \geq$	$\sigma_b / \text{MPa} \geq$	$\delta_5 (\%) \geq$	性能特性与应用
Q195	—	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50	195	315 ~ 390	33	伸长率较高，具有良好的焊接性及韧性，主要用来制造要求不高的金属加工件、焊接件，如烟囱、屋面板、钢丝网等
Q215	A	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55	215	335 ~ 410	31	
	B						