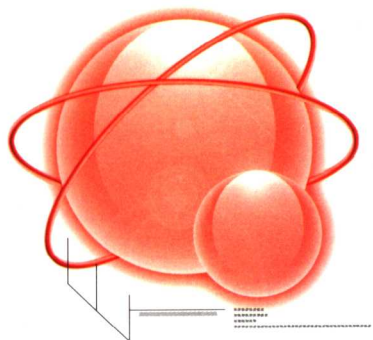


7
高等学校教材·材料科学系列

MATERIAL SCIENCE TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION

Material Science

金属塑性加工学



庞玉华 主编

西北工业大学出版社

高等学校教材·材料科学系列

金属塑性加工学

主 编 庞玉华

副主编 杜忠泽 张 郑

西北工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属塑性加工学/庞玉华主编. —西安:西北工业大学出版社,2005.3

ISBN 7-5612-1888-5

I. 金… II. 庞… III. 金属压力加工—塑性变形—高等学校—教材 IV. TG301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 014843 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:西安东江印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:24.75

字 数:600 千字

版 次:2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

定 价:30.00 元

前 言

《金属塑性加工学》是金属压力加工、金属材料工程、材料成型与控制等材料学科相关专业的重要专业课教材。全书分轧制理论、型材生产、板带材生产、管材生产以及挤压与拉拔等五篇共 21 章。该书包括钢及有色金属材料的塑性成形基本原理以及现代塑性加工工艺技术等内容。为了帮助读者理解和运用教材中所讲述的一些原理、原则和计算公式,适当地给出了一些例题,并配置了适量的复习思考题。在编写过程中,编者力求做到理论联系实际,内容充实,剪系统性强,反映学科前沿发展,适应高等学校教学改革的要求。

本书由西安建筑科技大学庞玉华负责统稿并担任主编,杜忠泽及张郑任副主编,参加编写的还有王庆娟及王敬忠。第一篇中的第 1 章及第 6 章由王敬忠编写,第一篇中的第 2~5 章及第五篇由杜忠泽编写,第二篇由张郑编写,第三篇中的第 11~13 章由王庆娟编写,第三篇中的第 14 章及第四篇由庞玉华编写。

本书在编写过程中得到西安建筑科技大学冶金学院赵西成教授、王成刚教授以及材料加工研究所全体教师的关心和帮助,在此表示感谢!

由于编者水平和经验所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

2004 年 12 月

目 录

第一篇 轧制原理

第 1 章 概述	1
1.1 产品及应用	1
1.2 产品标准和技术要求	4
1.3 轧材生产方法	5
1.4 轧制工艺流程	6
1.5 轧制车间平面布置.....	14
第 2 章 轧制过程的建立	15
2.1 简单轧制过程.....	15
2.2 变形区主要参数.....	15
2.3 轧制过程建立条件.....	19
第 3 章 轧制时金属变形规律	22
3.1 沿轧件断面高向的变形分布.....	22
3.2 轧制过程中的纵向变形——前滑与后滑.....	23
3.3 连轧原理.....	29
3.4 轧制过程中的横向变形——宽展.....	31
第 4 章 轧制压力	42
4.1 计算轧制单位压力.....	42
4.2 轧制压力的工程计算.....	47
第 5 章 传动轧辊力矩	60
5.1 传动力矩的组成.....	60

5.2	轧制力矩的确定	61
5.3	附加摩擦力矩的确定	66
5.4	空转力矩的确定	67
5.5	静负荷图	67
5.6	可逆式轧机的负荷图	69
5.7	电动机的校核及功率计算	70
第6章	不对称轧制	72
6.1	异步轧制	72
6.2	异径轧制	75
6.3	材料性能不对称的轧制	79
复习思考题		81

第二篇 型材生产及孔型设计

第7章	型材生产	83
7.1	概述	83
7.2	大、中型型材生产	89
7.3	小型型材生产	98
7.4	型材轧制技术的发展	106
第8章	孔型设计基本知识	111
8.1	概述	111
8.2	孔型设计步骤	112
8.3	孔型分类	115
8.4	孔型基本组成和各部分的作用	116
8.5	孔型在轧辊上的配置	118
第9章	延伸孔型设计	121
9.1	延伸孔型系统	121
9.2	延伸孔型系统的设计原则	131
9.3	设计实例	133
第10章	型钢孔型设计	141
10.1	成品孔型设计的一般原则	141

10.2	方钢孔型设计	142
10.3	圆钢孔型设计	146
10.4	角钢孔型设计	153
10.5	工字钢孔型设计	162
10.6	H型钢孔型设计	168
10.7	连轧孔型设计	169
复习思考题		171

第三篇 板带材生产

第 11 章	概述	173
11.1	分类方法	173
11.2	产品技术要求	173
11.3	板带轧制技术的发展	174
第 12 章	热轧板带材生产	179
12.1	中厚板生产	179
12.2	热连轧薄板带钢的生产	193
12.3	热轧板带组织与性能控制	208
第 13 章	冷轧板带材生产	210
13.1	冷轧机的类型及特点	210
13.2	冷轧工艺特点	211
13.3	冷轧的主要工艺流程及车间布置	215
13.4	冷轧典型产品的生产工艺	217
13.5	冷轧板带钢轧制规程的制定	222
13.6	冷轧板带的不对称轧制	228
第 14 章	板带高精度轧制及自动控制	232
14.1	板厚高精度控制轧制	232
14.2	板形高精度控制轧制	237
复习思考题		252

第四篇 管材生产

第 15 章 管材主要加工形式和基本工艺流程	254
15.1 管材分类及用途.....	254
15.2 管材技术要求.....	255
15.3 管材主要生产方法.....	256
15.4 管材生产基本工艺流程.....	274
第 16 章 热轧管材塑性成形原理	278
16.1 斜轧穿孔原理.....	278
16.2 管材纵轧原理.....	293
16.3 管材定减径原理.....	305
16.4 轧制表计算.....	310
第 17 章 冷轧管材塑性成形原理	315
17.1 周期式轧管法塑性成形原理.....	315
17.2 冷轧变形区应力分析.....	318
17.3 二辊周期式冷轧管作用力计算.....	320
17.4 二辊周期式冷轧管机孔型设计.....	321
复习思考题	325

第五篇 挤压与拉拔

第 18 章 挤压成形原理	327
18.1 概述.....	327
18.2 挤压金属的流动.....	329
18.3 挤压力.....	336
18.4 挤压生产缺陷及控制.....	338
第 19 章 挤压工具设计理论基础	340
19.1 模具设计基本原则.....	340
19.2 模子结构及尺寸.....	341

19.3	多孔棒材模设计.....	342
19.4	普通型材模设计.....	343
19.5	空心型材模设计.....	350
第 20 章	挤压工艺制度	355
20.1	金属的可挤性.....	355
20.2	挤压工艺参数.....	357
第 21 章	拉拔工艺理论	361
21.1	概述.....	361
21.2	拉拔应力与变形.....	362
21.3	游动芯头拉拔.....	365
21.4	滚动模拉伸.....	368
21.5	拉拔配模设计.....	371
21.6	拉拔润滑.....	379
	复习思考题.....	380
	参考文献.....	382

第一篇 轧制原理

第1章 概述

金属材料的产量和技术含量是一个国家国民经济实力的重要标志,是工业、农业、国防和科学技术现代化的基础。在金属材料的总产量中,只有一小部分成品是采用铸造和锻造等方法直接生产的,而90%以上都是经过轧制成形的。

1.1 产品及应用

随着经济的发展,轧制产品应用范围不断扩大,品种规格达数万种之多。按其用途可分为建筑用材、结构用材、机械制造用材等多种轧制产品;按其材质可分为钢材、铜、铝和钛等有色金属及合金材料;按其断面形状特征可分为板带材、型线材、管材及其他特殊轧材等。轧制工艺的突出特点表现在产品断面形状的多样性,并习惯以此为标准对轧材进行分类。

1. 板带材

这是一种宽度(B)与厚度(H)比值很大的扁平断面钢材,包括板片和带卷,是应用最为广泛的轧制产品。在发达国家,板带材占钢材的比例多达50%~60%以上。

板带产品的分类如表1-1所示。按轧制方法可分为热轧板带和冷轧板带;按产品尺寸规格可分为中厚板、薄板、带材、箔材等;按用途可分为造船板、汽车板、锅炉板等。各种板带宽度与厚度的组合达5000余种,宽度对厚度的比值达10000以上。异型断面板、变断面板等新型产品不断涌现,铝合金变断面板材、筋壁板等在航空工业中广为应用。板带钢不仅作为成品钢材使用,也可用以制造弯曲型钢、焊接型钢和焊接管等产品。

表 1-1 板带产品的分类

轧制方法	按尺寸规格分类(板厚/mm)			按用途分类
	中厚板	中板 厚板 特厚板	4~20 20~60 >60	
热 轧				造船板、焊管板、锅炉板、装甲板、桥梁板、 容器板、运输工具板、其他用途板
冷 轧		薄板 带材 箔材	1~4 0.2~4 <0.2	汽车、电机、变压器、仪表、外壳、家用电器 精密仪器、绝热和防水板

2. 型材

型材的品种繁多,主要用轧制方法生产,一般占钢材总量的30%~35%,俄罗斯和我国的产量占到50%以上。按型钢应用范围可分为常用型钢(方钢、圆钢、扁钢、角钢、槽钢和工字钢、H型钢等)及专用型钢(钢轨、T字钢、球扁钢、窗框钢等),如表1-2所示。按型钢的断面形状可分为简单断面型钢和复杂断面型钢(见图1-1(a),(b))。常用有色金属及其合金的熔点和变形抗力一般较低,对尺寸和表面要求较严,故绝大多数采用挤压方法生产,仅在生产批量较大,尺寸和表面要求较低的中、小规格棒材、线坯和简单断面型钢线材时采用轧制方法。

表 1-2 部分热轧型钢分类

按应用 分类	按断面形状分类			按用途 分类
	名称	表示方法	规格范围	
常用 型钢	圆钢	直径	10~350	管坯,机械及冲锻零件
	线材	直径	4.6~12.7	钢筋,二次加工原料
	方钢	边长	4~250	机械制造及零件
	扁钢	厚×宽	(3~60)×(10~240)	薄板坯,焊管坯
	三角钢	边长	30~90	机械零件,锉刀
	六角钢	内接圆直径	7~80	螺帽,工具
	等边角钢	边长的1/10	No 2~No 25	金属结构件及
	不等边角钢	长边长/短边长的1/10	No 2.5/1.6~ No 2.5/16.5	建筑桥梁等
	工字钢	腰高的1/10	(80~630)8#~63#	建筑,金属结构等
	槽钢	腰高的1/10	(50~400)5#~40#	金属结构,车辆制造等
专用 型钢	钢轨	kg/mm	5~24,38~75,80~120	轻轨,重轨,吊车轨
	T字钢	腿宽	20~400	结构件,铁路车辆
	Z字钢	高度	60~310	结构件,铁路车辆
	球扁钢	宽度×厚度	(50×4)~(270×14)	造船用
	窗框钢	宽度+序号	3025	钢窗用

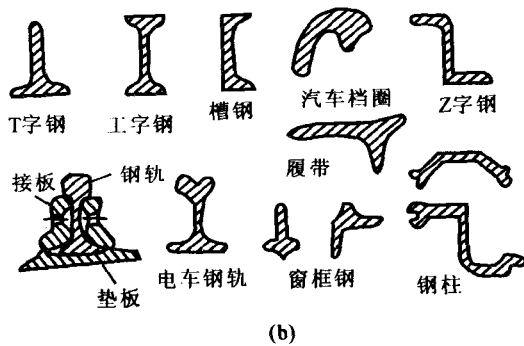
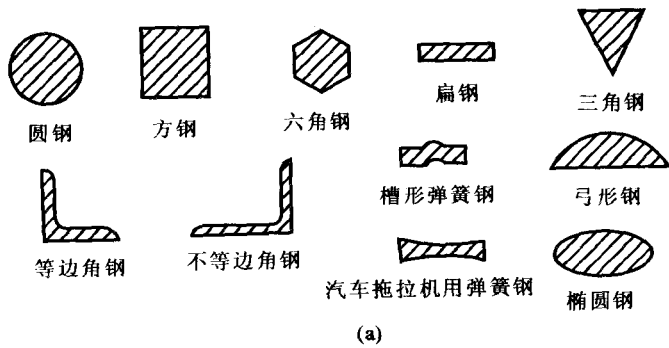


图 1-1 部分型钢示意图
(a) 简单断面型钢; (b) 复杂断面型钢

3. 管材

轧制方法主要用于生产无缝管材。无缝钢管被广泛应用于国民经济各部门,生产量大约占到钢材总产量的8%~16%。无缝管的断面一般为圆形,也有方形、矩形、椭圆形等多种异形管材及变断面管材(见图1-2)。按轧制制度的不同,可将其分为热轧无缝管和冷轧无缝管。热轧方法主要用于生产塑性较好,强度较低易变形金属管;冷轧方法主要用于生产塑性低,强度高难变形金属管。按无缝管的用途不同,可将其分为石油管、锅炉管、热交换管、轴承管以及一部分高压输送管道等;按管端状态可分为光管和车丝管;按外径和壁厚之比可分为特厚管、厚壁管、薄壁管和极薄壁管等。管材的规格一般用直径×壁厚表示,热轧法可生产 $\phi(80 \sim 600) \times (2.0 \sim 27)$ mm的管材;冷轧方法可轧出 $\phi(60 \sim 3\,000) \times (0.000\,1 \sim 0.2)$ mm的管材。

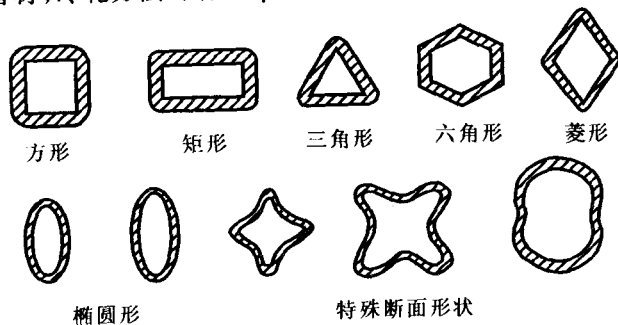


图 1-2 异形钢管示意图

4. 特殊形状轧材

特殊形状轧材是指用纵轧、横轧、斜轧等特殊轧制方法生产的各种周期断面及特殊形状轧材,如车轴、变断面轴、钢球、齿轮、丝杠、车轮和轮箍、内螺纹管以及双耳管等。

1.2 产品标准和技术要求

轧材的技术要求是为满足客户提出的使用要求而必须具备的规格和技术性能。体现为产品标准,例如形状、尺寸、表面状态、机械性能、物理化学性能、金属内部组织和化学成分等。由于各种轧材使用范围不同,产品标准也各不相同。如美国的 U. S. 标准、德国的 DIN 标准、日本的 JIS 标准及中国的 GB(国家标准)、YB(冶金工业标准)、企业标准等。有的标准应用较广泛,在国际上被广泛采用,称之为国际标准。当然也可以是由供需双方制定并认可的临时协议标准。轧材产品标准主要包括以下内容:

(1) 品种规格。它主要规定对轧材形状和尺寸精度的要求。形状方面要求形状规整,断面无歪扭,保证小于一定的不直度和表面不平度等;尺寸精度方面要求轧材轧后应满足的尺寸及偏差,是根据使用要求确定的,超过尺寸上限浪费材料,低于尺寸下限难以满足性能要求,并提倡负公差轧制,在满足使用要求的前提下,以节约金属,减轻金属结构的重量。但有些需进一步加工处理的钢材,常按正偏差轧制。

(2) 产品技术要求。产品技术要求根据轧材的不同而不同,一般有表面质量、组织结构、化学成分及性能等要求,同时还包括某些试验方法和试验条件。表面质量主要是指表面缺陷、表面光洁和平坦程度,如表面裂纹、结疤、重皮、氧化铁皮等。它们直接影响到轧材的使用性能和寿命;由于轧材性能主要取决于轧材的组织结构和化学成分,因此在技术条件上规定了化学成分,同时还提出诸如晶粒度、轧材内部缺陷、杂质形态及分布等金属组织结构方面的要求;轧材性能要求一般指轧材强度、塑性和韧性等机械性能以及弯曲、冲压、焊接等工艺性能,还有磁性、抗腐蚀性等特殊物理化学性能,有时还对硬度及其他指标有要求。通过拉伸试验、冲击试验及硬度试验可以确定这些性能指标。

(3) 验收规则。验收规则指验收时应遵循的一些规定。比如需要进行的试验内容、取样部位、试样形状和尺寸、试验条件及方法等;轧材交货时的包装、标志方法以及质量证明书的内容等;某些特殊轧材还规定了特殊的成品试验要求。

须要指出,技术条件是钢厂组织生产的法规,国际标准、部颁标准等只是说明某种产品的一般要求或最低要求。为了加强企业产品的竞争能力,在企业内部往往有内控标准,企业采用某种工艺使产品在某一方面达到更高的水平,从而使用户更满意,提高企业的声誉,扩大市场,取得更好的经济效益。随着产品要求和生产技术水平的提高,标准也在不断修改、补充和提高。

1.3 轧材生产方法

轧制过程是指被轧制的金属体(轧件)借助旋转轧辊与其接触摩擦的作用,被曳入轧辊的缝隙间,在轧辊压力作用下,使轧件在长、宽、高3个方向上完成塑性成形的过程。简而言之,是指轧件由摩擦力拉入旋转轧辊之间,受到压缩或展宽进行塑性变形的过程。通过轧制,使轧件具有一定的形状、尺寸和性能。根据轧件长度方向与轧辊轴向的关系,轧制方法大致可分纵轧、斜轧和横轧等方法。

(1) 纵轧,就是轧件在相互平行且旋转方向相反的平直轧辊或带孔槽轧辊缝隙间进行的塑性变形的过程,轧件的前进方向与轧辊轴线垂直(见图1-3(a))。常见的机型有二辊轧机、三辊轧机、四辊轧机、六辊轧机、多辊轧机、万能轧机等。纵轧广泛用于生产钢坯、板带材和型材。

(2) 斜轧,就是轧件在同向旋转且轴线相互成一定角度的轧辊缝隙间进行塑性变形的过程。轧件沿轧辊交角的中心线方向进入轧辊缝隙,在变形过程中,轧件除绕其轴线作旋转运动外,还作沿其轴线方向的前进运动(见图1-3(b))。常见的机型有二辊和三辊斜轧穿孔机、轧管机等。斜轧广泛用于无缝管材生产。

(3) 横轧,就是轧件在同向旋转且轴线相互平行的轧辊缝隙间进行塑性变形的过程。在横轧过程中,轧件轴线与轧辊轴线平行,金属只有绕其自身轴线的旋转运动,故仅在横向受到加工(见图1-3(c))。常见的机型有齿轮轧机。

(4) 特殊轧制。所谓特殊轧制就是不能简单地用上述三种方法描述的轧制方式。比如周期性轧管机,虽然它近似于纵轧,但与一般纵轧不同的是轧辊在作旋转运动的同时,还有在水平方向上的移动,因而轧件的曳入方向与轧辊旋转方向相反,且轧制是周期性的。常见的特殊轧制方法有车轮及轮箍轧制、周期断面轴轧制、钢球轧制等。

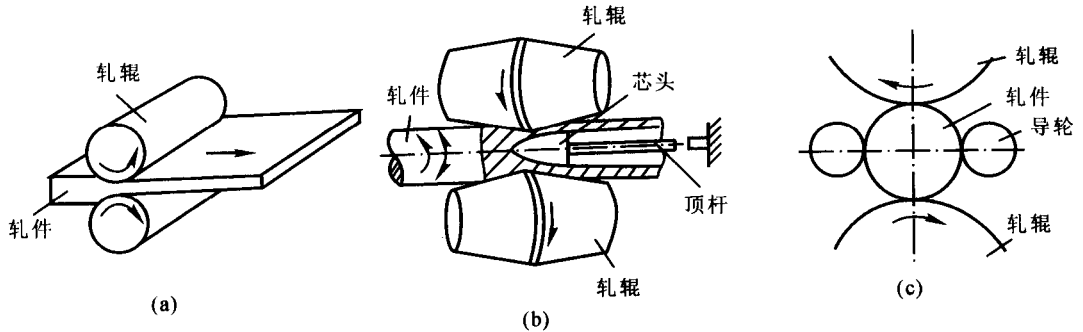


图1-3 轧制方式示意图

(a) 纵轧;(b) 斜轧;(c) 横轧

1.4 轧制工艺流程

把不同化学成分的钢锭或钢坯轧成具有一定断面形状和尺寸的钢材所经过的各种加工工序之总和称为轧制生产工艺流程。由于各种轧制产品的技术要求、工艺性能以及各生产厂具体情况不同,生产工艺流程也各种各样。

1.4.1 轧材生产的一般工艺流程

根据轧材材质的不同,轧材生产工艺主要有钢材轧制及有色金属轧制两大类。传统的轧钢工艺是以模铸钢锭为原料,用初轧机或开坯机将钢锭轧成各种形状的钢坯,再通过成品轧机轧成各种轧材。直到现在,这种传统工艺仍然在一些国家钢材生产中占有较重要的地位。近30年来,迅速发展起来的连续铸钢技术,将钢水直接铸成一定形状与规格的钢坯,省去了铸锭和初轧等许多工序,在很大程度上简化了钢材生产工艺流程。一般钢材生产工艺过程分为3种基本类型:碳素钢、合金钢及冷加工生产工艺流程。有色金属及合金材料中以铜、铝及其合金的轧材应用较广泛,其形式主要是板带材。

图1-4所示为碳素钢和低合金钢的一般生产工艺流程。采用连铸坯生产系统,其特点是不需要大的开坯机,无论是板带材或型材,一般都经一次加热轧出成品;采用铸锭的大型生产系统,其特点是需要大型的初轧机,钢锭重量大,一般采用热锭作业及二次或三次加热轧制的方式;采用铸锭的中型生产系统,其特点是一般有 $\phi 650 \sim \phi 900$ 二辊或三辊开坯机,通常采用冷锭作业及二次加热轧制的方式,锭重一般为 $1 \sim 4$ t,可以生产碳素钢和合金钢钢材;采用铸锭的小型生产系统,其特点是通常在中、小型轧机上用冷小钢锭经一次加热直接轧制成材。合金钢的一般生产工艺流程在工序上比碳钢复杂,包括铸坯的退火、轧制后的退火、酸洗等工序,有时采用锻造代替开坯轧制。钢材冷轧生产的一般工艺流程必须有轧制前的酸洗和退火相配合。

1.4.2 轧材生产基本工序及其对产品质量的影响

虽然各种轧材生产工艺流程不相同,各具特点,但它们都包含以下基本工序。

1. 原料的选择

轧制常用原料有钢锭、钢坯及连铸坯等。近年来,有些小企业已开始使用压铸坯,但由于生产能力较低,一般仅适用于小型企业及特殊钢生产线。

钢锭是用钢水铸成的锭坯,按钢水脱氧程度不同,可分为镇静钢锭、沸腾钢锭和半镇静钢锭。镇静钢锭是经强脱氧的,浇铸时镇静地凝固,形状上上下下小,有保温帽。由于保温帽的存在,切损大,消耗高,但钢质好。一般适用于中碳钢、高碳钢、优质钢、合金钢及低合金钢,如果低碳钢浇铸成镇静钢,会增加成本,影响经济效益。各种型钢、钢管等一般用镇静钢。沸腾钢锭脱氧不完全,浇铸时钢水在锭模内继续沸腾排出气体,形状上小下大,不带保温帽,无缩孔,金属消耗小,成本低,表皮致密,内部柔软,适合于浇铸低碳钢,用于生产深冲薄板、钢板等焊接性能要求高的轧材。半镇静钢兼有镇静钢和沸腾钢的优缺点,但浇铸技术较难,应用受到限制。钢锭的基本形状有方形、扁形和圆形。钢板用扁锭,型钢用方锭、圆形和多边形锭。须要指出,由于连铸

技术的快速发展,以钢锭为原料是轧制的传统方法,除了某些钢种以外,已在淘汰之列。

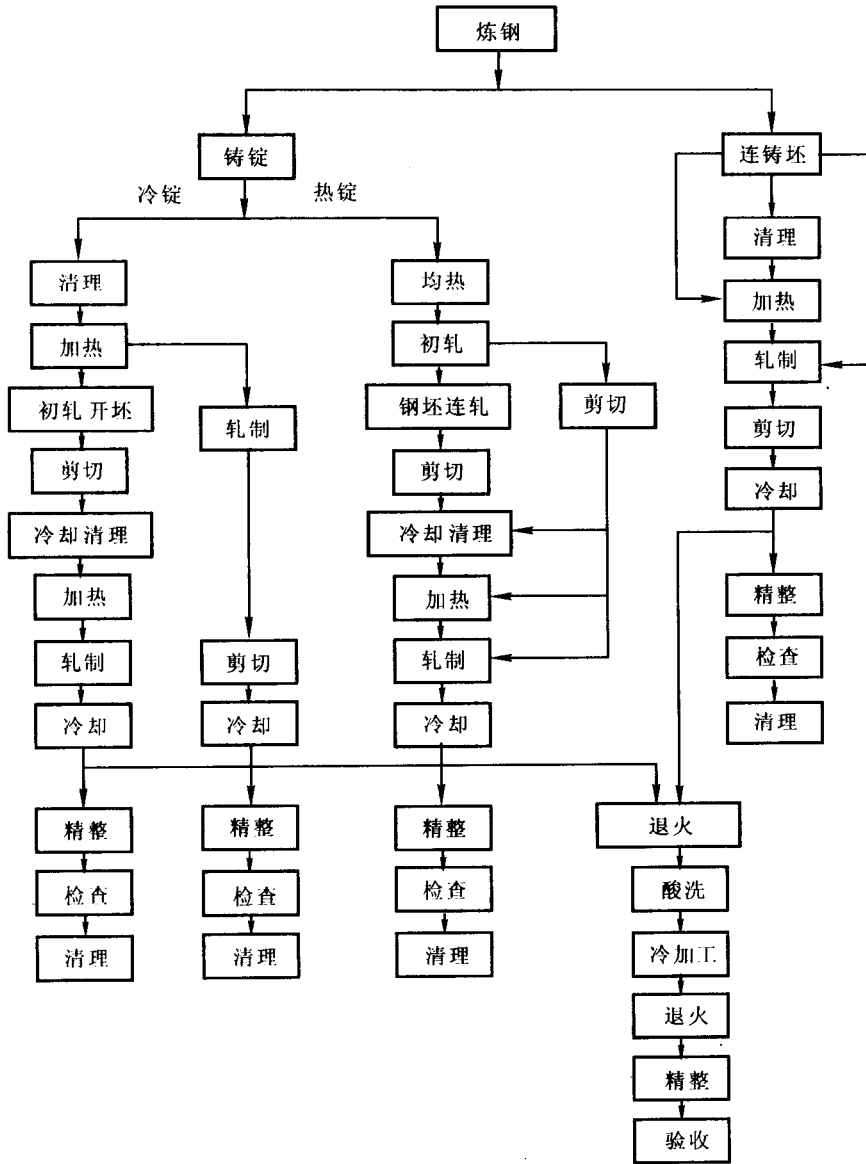


图 1-4 碳素钢和低合金钢的一般生产工艺流程

钢坯是把钢锭在初轧机或开坯机上进行开坯轧制,轧成各种形状及规格的半成品,作为进一步轧制的原料,称之为钢坯。钢坯的采用解决了炼钢生产与轧钢生产之间形成的钢锭形状选择的矛盾,可用大锭轧制,压缩比大,并可中间清理,钢材质量好,钢种不受限制,坯料尺寸规格可灵活选择;但需要初轧开坯,使消耗和成本增高。它适用于大型企业,钢种、品种较多,以及需要特殊规格钢坯的情况。

连铸坯可以作为各种轧机的原料。连续浇铸是把液体钢水从盛钢桶通过中间罐流入到结晶器,使钢水表面结晶,然后通过弧形辊道段,使钢液内部逐渐结晶凝固,成为固态连铸坯。由

于连铸取代了铸锭和开坯两个工序,生产过程及设备得以简化;由钢水连续铸造成钢坯,金属收得率一般是 96% ~ 99%,与铸锭和开坯方式相比,对镇静钢来说,成材率可以提高 15%,对半镇静钢来说,可提高 7% ~ 10%,这对于成本昂贵的特殊钢和合金钢意义深远;由于省去了加热炉内再加热工序及开坯工序,可使能量消耗减少 25% ~ 50%。因此,扩大连铸坯比重对于缓解目前世界范围的能源紧张意义重大。与铸锭生产过程相比,连铸可以实现机械化操作,表面质量好,材质均匀;但连铸操作难于控制,对钢水的冶炼条件要求严格,目前还不能适用于全部钢种,断面尺寸也有限制。因此,连铸坯适用于大、中、小型联合企业,品种深度较小的大批量生产,受压缩比的限制,适用于生产小断面的轧材。

2. 原料的准备

原料表面可能存在结疤、裂纹、夹渣、折叠等各种缺陷,如果不在轧制前加以清理,轧制中将不断扩大,并引起更多的缺陷,甚至影响钢在轧制时的塑性与成形。因此,为了提高钢材表面质量和合格率,对于轧前原料及轧后成品都应该进行仔细的表面清理,特别是合金钢,要求更加严格。根据钢种、缺陷的性质与状态、产品质量的不同要求,采取的清理方法也不同。一般对碳素钢和合金钢局部清理采用人工火焰清理法,碳钢和部分合金钢大面积剥皮采用机械火焰清理法,碳钢和部分不能用火焰清理的局部缺陷采用风铲清理,合金钢及高硬度的高级合金钢采用砂轮清理,高级合金钢全面剥皮采用机床刨削清理。合金钢在铸锭以后一般是采用冷锭装炉作业,让钢锭完全冷却,以便仔细进行表面清理,在清理之前往往要进行退火处理以降低表面硬度。对于碳素钢和低合金钢则应尽量采用热装炉,或在轧制前利用火焰枪进行在线清理,或暂不作清理而等待轧制以后对成品一并进行处理。对各种方法的费用进行比较,砂轮清理是风铲清理费用的 3 倍,而机床和火焰清理费用仅为风铲清理费用的一半。

清理表面氧化铁皮的方法有机械法和化学法。机械清理如喷砂、弯折,金属损失少,不污染环境,但表面清理不够彻底;化学清理法表面清理彻底,质量好,但劳动条件差,污染环境。化学清理主要采用酸洗和碱洗方法。

当轧制高级合金钢时还须进行预先热处理,以消除内应力,防止开裂,均匀成分,消除某些合金钢的粗大树枝状结晶组织,防止白点产生等。

3. 原料的加热

绝大多数轧材均采用热轧的方法轧制。轧前进行加热,使原料具有足够的塑性,减小变形抗力,改善金属内部组织。把金属加热到单相奥氏体温度范围内进行轧制,原料内部既无组织应力,又有易于塑性变形的面心晶格。原料加热,尤其是钢锭的加热可使不均匀组织借助于扩散得到改善,有时甚至完全消除铸锭的缺陷;在高于再结晶温度时轧制,不存在加工硬化现象,变形抗力减小,能耗低;良好的加热质量能减少轧辊和其他设备的磨损,延长设备的使用寿命,并能采用较大的压下量,减少轧制道次,提高轧机生产率。但是不恰当的加热制度可能引起金属强烈氧化,严重脱碳、过热、过烧等缺陷,使钢质量降低,导致废品。所以,金属加热质量的优劣,对钢材的质量、产量、能耗等技术经济指标有很大影响,对轧制生产有着极其重要的意义。加热质量的好坏取决于加热温度、速度及时间的确定。

(1) 加热温度。加热温度的选择主要是确保在轧制时金属有足够的塑性。根据合金相图、塑性图及再结晶图,即所谓的“三图”定温的原则确定加热温度。对于碳素钢,必须充分考虑到过热、过烧、脱碳等加热缺陷产生的可能性,最高温度应低于固相线 NJE 线 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ (见图 1-5)。