

# 项目一

## 型钢生产概述



### 项目导入

在我们生活和工作的环境中,经常会看到、用到型钢产品。这些产品被广泛应用于国防、机械制造、铁路、桥梁、船舶制造、建筑、农业及民用等各个部门。如导弹的零件、铁道的钢轨、高压线塔、桥梁的主体结构等,如图 1-1 所示。那么,你能想到这些产品对我们社会和生活多么重要吗?你想到过这些产品是怎么生产出来的?你知道型钢有多少品种吗?你了解型钢都有哪些用途吗?



(a) 导弹的零件



(b) 铁道的钢轨



(c) 高压线塔



(d) 桥梁的主体结构

图 1-1 型钢在各行业的应用

## 任务一 型钢产品的认知



### 学习目标

- 熟悉常见型钢产品分类、规格及用途。
- 了解型钢的生产方式。

- 了解型轧机的布置方式及生产特点。
- 能说出常见型钢产品的形状及规格。
- 能分析典型型钢产品所采用生产方式的原因。



## 任务描述

通过日常生活工作环境中的见闻总结型钢的用途,熟悉常见型钢产品的类别、规格及用途。了解型钢生产的方式、生产特点及型钢轧机的布置形式。



## 相关知识

国民经济各部门所需的各种金属轧材达数万种之多。这些金属轧材按金属与合金种类的不同,可分为各种钢材以及铜、铝、钛等有色金属与合金轧材;按轧材断面形状尺寸的不同,又可分为各种规格的板材、带材、型材、线材、管材及特殊品种轧材等。

### 一、型钢的产品种类

型钢的品种很多,按其断面形状可分为简单断面和复杂或异型断面型钢。按生产方法又可分为轧制型钢、弯曲型钢、焊接型钢等,见图 1-2。

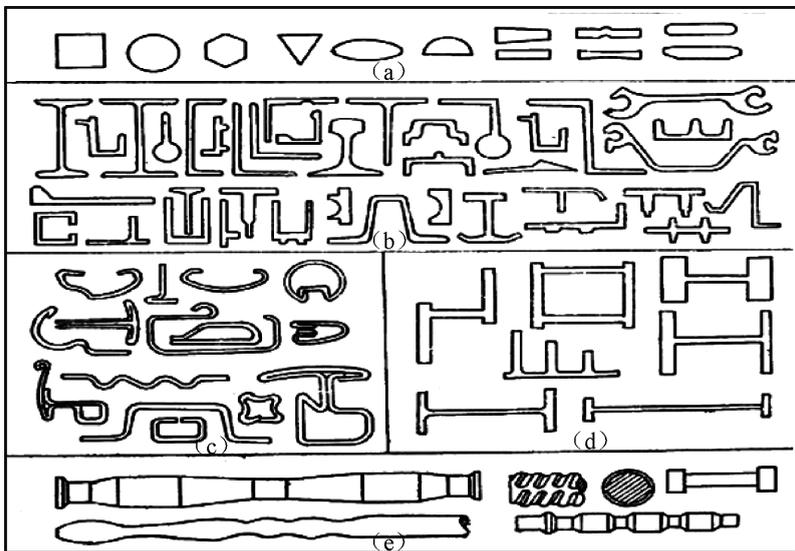


图 1-2 各种型钢示例

a—简单断面型钢;b—复杂断面或异型断面型钢;  
c—弯曲型钢;d—焊接型钢;e—特殊断面型钢

#### 1. 按断面形状分类

- (1) 简单断面型钢 有方钢、圆钢、扁钢、六角钢、三角钢、弓形钢、椭圆钢等。
- (2) 复杂断面型钢 有工字钢、槽钢、丁字钢、钢轨等及异型断面型钢。

(3) 特殊端面型钢 有螺纹钢、竹节钢、犁铧钢、车轴、变断面轴、钢球、齿轮、丝杠、车轮和轮箍等。

## 2. 按生产方法分类

(1) 轧制型钢 通过轧制方法生产的型钢,断面一般不宜复杂。

(2) 弯曲型钢 在冷状态下把带钢逐步进行弯曲成型,用这种方法生产的钢材称为冷弯型钢,它既能生产简单断面又可生产复杂断面。

(3) 焊接型钢 用焊接方法把成型的钢材焊在一起,多为复杂断面。

## 二、型钢的生产方式

热轧型钢具有生产规模大、效率高、能耗少和成本低等特点,故热轧型钢生产是主要的方式。型钢的轧制方法有以下数种:

### 1. 普通轧法

即在一般二辊或三辊轧机上进行的普通轧制方法。

### 2. 多辊轧法

多辊轧法的特点是:孔型由三个以上轧辊轧槽组成,从而减少了闭口槽的不利影响,辊径差亦减小,可轧出凸缘内外侧平行的经济断面型钢。

### 3. 热弯轧法

它的前半部是将坯料轧成扁带式接近成品断面的形状,然后在后继孔型中趁热弯曲成型。

### 4. 热轧—纵剖轧法

它的特点为:将较难轧的非对称断面产品先设计成对称断面,或将小断面产品设计成并联形式的大断面产品,以提高轧机生产能力,然后在轧机上或冷却后用圆盘剪进行纵剖。

### 5. 热轧—冷拔(轧)法

这种方法可生产高精度型材,其产品机械性能和表面质量均高于一般热轧型钢,精度可达3~4级,表面光洁度可达5~7级,可直接用于各种机械零件。

### 6. 热冷弯成型法

以热轧和冷轧板带钢为原料,使其通过带有一定槽形而又回转的轧辊,使板带钢承受横向弯曲变形而获得所需断面形状的钢材。

## 三、型钢轧机的布置及生产特点

型钢轧机一般以轧辊的名义直径来命名。型钢轧机按结构又可分为二辊式、三辊式及万能式轧机;按轧机的排列和组合方式分为横列式、顺列式(跟踪式)、棋盘式、连续式及半连续式等。

## 四、型钢生产的特点

### 1. 产品断面比较复杂

除方、圆、扁简单断面的产品外,大多数都是异型断面的产品,这就给金属在孔型内的变形带来了如下影响:

(1) 在轧制过程中存在严重的不均匀变形,孔型各部存在明显的辊径差;非对称断面在孔型内受力,变形不均,断面各分支部分接触轧辊和变形的非同时性;某些产品在轧制过程

中存在热弯变形等,从而使孔型内金属变形规律复杂化,由于孔型的限制展宽和强迫展宽作用,使展宽量难以精确计算。由于轧件各部温度、变形量、与辊面的相对速度差的不同,使前滑、力能参数的计算要比板钢困难得多。轧机调整、导卫装置设计和安装亦较为复杂。目前有许多方面仍靠经验去做,但有许多问题需要从理论上加以分析解决。为便于掌握型钢受力和变形特点,可将异型断面型钢按其轴对称性质分类。

(2) 由于断面复杂,轧后冷却收缩不均,造成轧件内部残余应力和成品形状、尺寸的变化。如何防止冷却不均造成的弯曲和扭曲,如何防止切断过程中轧件端部的走形、控制矫直质量及矫正侧向弯曲,如何实现成品机械化包装等都是应注意解决的问题。

(3) 由于断面复杂,在连轧时,不能像带钢和线材那样产生较大的活套,亦不能用较大的张力进行轧制,否则断面形状和尺寸将难以保证,由于断面各部尺寸不一,较难以在轧制过程中连续测量和连续探伤,故不易实现连轧。

### 2. 产品品种多

除少数专业化型钢轧机外,大多数轧机都进行多品种规格的生产。因此,轧辊储备量大,换辊较频繁,管理工作比较复杂。如何调配生产计划,实现快速换辊,加强孔型和设备的共用性,如何使后部工艺流程合理,使各种产品精整线互不干扰,这些都是发展型钢生产必须重视的问题。

### 3. 轧机类别多

采取哪种轧机、生产方式和布置方式,需视生产品种、规模及产品技术条件而定。一般将轧机分为大批量、专业化轧机和小批量、多品种轧机两类,以便发挥各类轧机之所长。专业化轧机可包括 H 型轧机、重轨轧机、线材轧机以及特殊型钢轧机等。这几种轧机由于产品专业化,批量大,其配套需用专用设备,其优点有:轧机作业率和设备利用率较高,技术容易熟练,易于实现机械化、自动化,对提高产品产量、质量、劳动生产率、降低成本均有好处。专业化轧机一般可采用连续式或半连续式轧机。

## 任务实施

学生收集整理生活、工作环境中见到、用到的型钢范例。利用网络搜索整理各种型钢的规格和用途,感受型钢对我们社会的重要性。通过型钢生产视频感受型钢生产的工艺流程,试着分析型钢生产的特点和生产方式。

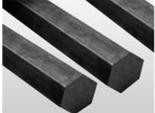
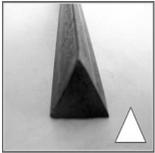
### 一、讨论型钢的品种及规格

简单断面型钢的品种、规格及用途见表 1-1。

表 1-1 简单断面型钢的品种、规格及用途

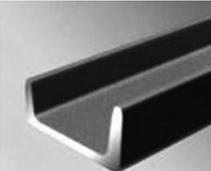
品 种	规 格	用 途
 方钢(断面形状为正方形)	其规格以断面边长尺寸的大小来表示。边长一般为 5~250 mm,个别情况还有更大的	用于制造各种设备的零部件、铁路用的道钉等

续表

品 种	规 格	用 途
 圆钢(断面形状为圆形)	其规格以断面直径的大小来表示。圆钢的直径一般为5~200 mm,在特殊情况下可达350 mm	不同直径的圆钢用途不同。 5.5~9 mm的圆钢(线材):用于拔制钢丝,制造钢丝绳、金属网、电焊条焊芯、弹簧、钉子等。10~25 mm的圆钢:用于制造建筑钢筋、螺栓等;30~200 mm的圆钢:用于机械零件;50~350 mm的圆钢:作为无缝钢管的坯料
 扁钢(断面形状为矩形)	其规格以厚度和宽度来表示。通常轧制的扁钢厚度为4~60 mm,宽度为10~200 mm	多用于薄钢坯和焊管坯,还用于机械制造业
 六角钢(断面形状为六边形)	其规格以六边形内接圆的直径尺寸来表示。通常轧制的六角钢的内接圆直径为7~80 mm	多用于制造螺母和工具
 三角钢(断面形状为三角形)	其规格用边长尺寸来表示,一般为9~30 mm	多用于制作锉刀
 椭圆钢(断面形状为椭圆形)	其规格用其长轴和短轴尺寸来表示,其长轴为10~26 mm,短轴为4~10 mm	多用于制作锉刀
 等边角钢  不等边角钢	等边角钢的规格用其边长与边厚度尺寸来表示,边长一般为20~200 mm,边厚度为3~20 mm。 不等边角钢的规格分别以长边和短边的边长来表示,最小规格的长边为25 mm,短边为16 mm;最大规格的长边为200 mm,短边为125 mm	多用于金属结构、桥梁、机械制造和造船工业,常作为结构的加固件

复杂断面型钢的品种、规格及用途见表 1-2。

表 1-2 复杂断面型钢的品种、规格及用途

品 种	规 格	用 途
 工字钢	工字钢的规格用其高度尺寸来表示。一般的工字钢的型号为 10~63, 即高度为 100~630 mm	用于建筑业或其他金属结构中
 槽钢	槽钢的规格用其高度尺寸来表示。一般槽钢的型号为 5~40, 即其高度为 50~400 mm	用于工业建筑、桥梁和车辆制造等
 钢轨	钢轨的断面形状与工字钢类似, 不同的是其断面形状不对称。钢轨的规格用每米长度的质量来表示。普通钢轨的质量范围是 5~75 kg/m, 通常 24 kg/m 以下的称为轻轨, 在此以上的称为重轨	用于制造铁路用轨、电车用轨和起重机用轨, 也可用于制造工业结构部件
 T 字钢	分为腿部和腰部两部分, 其规格以腿部宽度和腰部高度来表示	用于金属结构、飞机制造及其他特殊用途
 Z 字钢	其规格以其高度表示	用于结构件、铁路

## 二、观看型钢生产视频, 讨论型钢生产方式及其优缺点

### 1. 普通轧法

普通轧法即在一般二辊或三辊轧机上进行的普通轧制方法。孔型由两个轧辊的轧槽所组成, 可生产一般简单、异型和纵轧周期断面型钢。当轧制异型断面产品时, 不可避免地要用闭口槽, 此时轧槽各部存在明显的辊径差(见图 1-3), 因此无法轧制凸缘内外侧平行的经济断面型钢; 而且轧辊直径还限制着所轧型钢的凸缘高度, 辊身限制着可轧的轧件高度。

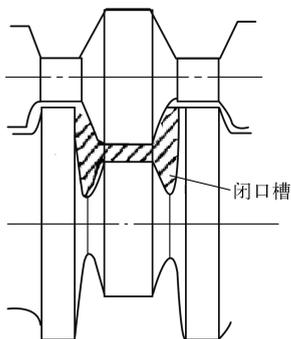


图 1-3 闭口槽和辊径差

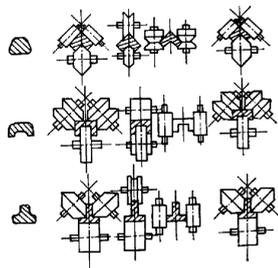


图 1-4 多辊轧法示意图

因此,轧制 60 号以上的工字钢和大型钢桩等感到困难。由于辊径差及不均匀变形的存在,引起孔型内部各金属的相对附加流动,从而使轧制能耗增加,孔型磨损加速,成品内部产生较大的残余应力,影响轧材质量。这种轧制方法设备比较简单,故目前大多数型钢轧机仍然采用。

## 2. 多辊轧法

多辊轧法的特点是:孔型由三个以上轧辊轧槽组成,从而减少了闭口槽的不利影响,辊径差亦减小,可轧出凸缘内外侧平行的经济断面型钢,轧件凸缘高度可以增加,还能生产一般轧制法不能生产的异型断面产品。轧制精度高,轧辊磨损、能量消耗、轧件残余应力均减少,其中 H 型钢属于这一类。图 1-4 为采用多辊轧法轧制角、槽、丁字钢的示意图。

## 3. 热弯轧法

它的前半部是将坯料轧成扁带式接近成品断面的形状,然后在后继孔型中趁热弯曲成型。可在一般轧机或顺列水平—立式轧机上生产,并可轧制一般方法得不到的弯折断面型钢。

## 4. 热轧—纵剖轧法

它的特点为:将较难轧的非对称断面产品先设计成对称断面,或将小断面产品设计成并联型式的大断面产品,以提高轧机生产能力,然后在轧机上或冷却后用圆盘剪进行纵剖(图 1-5)。

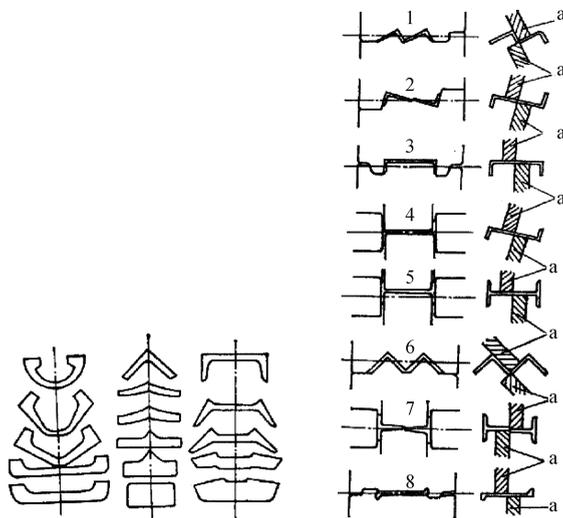


图 1-5 热轧纵剖法

a—圆盘剪

### 5. 热轧—冷拔(轧)法

这种方法可生产高精度型材,其产品机械性能和表面质量均高于一般热轧型钢,精度可达3~4级,表面光洁度可达5~7级,可直接用于各种机械零件。此法可提高工效,减少金属消耗,特别适用于改造旧有轧机的方法,进行小批量多品种的生产。其方法为:先热轧成型,并留有冷加工余量,然后经酸洗、碱洗、水洗、涂润滑剂、冷拔(轧)成材。

### 6. 热冷弯成型法

以热轧和冷轧板带钢为原料,使其通过带有一定槽形而又回转的轧辊,使板带钢承受横向弯曲变形而获得所需断面形状的钢材。

## 三、讨论型钢轧机的布置发展的原因及生产特点

随着工艺技术和生产技术的不断进步,轧机的布置出现了很多方式,如图1-6所示。

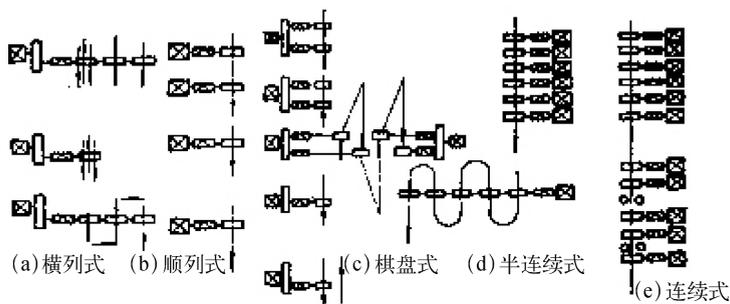


图1-6 各种型钢轧机的布置形式

#### 1. 横列式

分为一列式、二列式、三列式等。

其优点有:设备简单、造价低、建厂快,产品品种灵活。由于无张力影响,而便于生产断面较复杂的产品,其操作比较简单,适用性强。中小型轧机采用双层辊道,可实现上下轧制线交叉轧制,在电机和轧辊强度允许的条件下,同架或同列轧机可实现数道同时过钢或多根并列轧制,小型轧机还可采用围盘实行活套轧制。

横列式缺点有:①产品尺寸精度不高,品种规格受限制。由于横列布置,换辊一般由机架上部进行,故多采用开口式或半闭口式机架。由于每架排孔数目较多,辊身较长, $L/D$ 值可达3左右,故整个轧机刚性不高,不但影响产品精度,而且难以轧制宽度很宽的产品。②间隙时间长,轧件温降大,轧件长度和壁厚均受限制。③不便于实现自动化。

#### 2. 顺列式

其优点为:每架速度可单独调整,使轧机能力得以充分发挥。先进的大型型钢轧机采用这种布置,年产量可达160万吨以上;由于每架只轧一道,轧辊 $L/D$ 值在1.5~2.5的范围之内,且机架多采用闭口式,故轧机刚度大,产品尺寸精度高;由于各架轧机互不干扰,故机械化、自动化程度较高,调整亦比较方便。

其缺点为:①轧机温降仍然较大,不适于轧小型或壁薄的产品。②机架数目多,投资大,建厂较慢。为弥补上述之不足,近来的H型钢轧机多采用顺列布置、可逆轧制,从而减少机架数和厂房长度。

### 3. 棋盘式

它介于横列式和顺列式之间,前几架轧件较短时顺列式,后几架精轧机布置成两横列,各架轧机互相错开,两列轧辊转向相反,各架轧机可单独传动或两架成组传动,轧件在机架间靠斜辊道横移。这种轧机布置紧凑,适于中小型型钢生产。

### 4. 半连续式

它介于连轧和其他型式轧机之间。常用于轧制合金钢或旧有设备改造。其中一种粗轧为连续式,精轧为横列式;另一种粗轧为横列式或其他型式、精轧为连续式。其设备布置比较紧凑,调整较为方便。此种轧机往往采用多根轧制,故产量亦较高。其缺点为:由于多根轧制,辊跳不一,产品精度难以提高,轧件经正围盘转向 $180^{\circ}$ ,使轧制速度提高受到限制。

### 5. 连续式

轧机纵向紧密排列为连轧机组。可用单独传动或集体传动,每架只轧一道。一根轧件可在数架轧机内同时轧制,各架间遵循秒流量相等的原则。其优点为:轧制速度快、产量高、轧机紧密排列,间隙时间短,轧件温降小,对轧制小规格和轻型薄壁产品有利,由于轧件长度不受机架间距限制,故在保证轧件首尾温差不超过允许值的前提下,可尽量增大坯料重量,使轧机产量和金属收得率均可提高。这种轧机一般采用微张力轧制,要求自动化程度和调整精度高,机械、电气设备较为复杂,投资较大,且品种比较单一。目前有的厂已成功地实现了H型钢连轧、小型钢材的连轧。中小型型钢连轧机的年产量可分别达150万吨和120万吨。无疑型钢连轧将是今后型钢生产发展的方向之一。

由于同类轧机辊径变化范围较大,布置方式较多,因而生产效果亦不相同,为了全面反映轧机特点和生产能力,应对某具体车间标明全称以示区别。

## 任务二 型钢生产工艺过程制定的依据

- 了解型钢轧制工艺过程制定的任务及依据。
- 了解钢材产品标准及技术要求的主要内容。
- 能说出国家标准的主要内容组成。
- 能简单分析钢种特性对工艺制定的影响。



### 任务描述

同一规格产品的用途不同,对产品的质量和性能要求不同,产品的生产工艺可以不同。本任务分析型钢生产工艺制定的影响因素有哪些?如何影响?



### 相关知识

轧钢生产的工艺流程是从原料到轧成具有一定规格和性能的成品,中间经过的一系列

加工工序的组合。

规格指产品断面形状和尺寸的总称。

## 一、型钢生产工艺制定的总任务和总依据

组织轧钢生产工艺过程首先是为了获得合格的,即合乎质量要求或技术要求的产品。也就是说,保证产品质量是轧钢生产工作中的一个主要奋斗目标。因此拟定某产品的生产工艺过程,就必须以该产品的质量要求或技术要求作为主要依据。

组织轧钢生产工艺过程的另一任务是,在保证质量的前提下努力提高产量。这一任务的完成不仅取决于生产工艺过程的合理性,还取决于时间和设备充分利用程度,此外还是提高企业经济效益的重要途径。因而如何做到优质、高产、低消耗地生产出合乎技术要求的钢材,乃是制定轧钢生产工艺过程的总任务和总依据。

如何制定好钢材产品技术标准,我们必须充分了解各种钢的内在特性,尤其是加工工艺特性及组织性能变化特性,即钢种的固有内在规律。然后,利用这些规律,方能正确地制定生产工艺过程及采取有效的工艺手段,来达到生产出合乎技术要求的产品目标。

另外,还要考虑现场的工艺和设备条件,如吊车吨位、剪机能力、加热炉尺寸、推钢机能力、轧机强度、移钢机位置、辊道速度、精整能力等。

## 二、碳素钢生产工艺过程

它一般可分为四个基本类型:

(1) 采用连铸坯做原料 其特点是不需要大的开坯机,无论是生产型钢还是生产钢板一般都是一次加热轧成成品。这种先进的生产工艺,正在日益广泛迅速地得到发展。

(2) 采用热锭的大型生产系统的工艺过程 其特点是需要有能力强大的初轧机或板坯初轧机,热锭重量大,钢材一般是经二次或三次加热轧制而成。

(3) 采用冷锭(重 1~4 t)的中型生产系统的工艺过程 其特点是需用直径 650~900 mm 的二辊或三辊开坯机,通常采用二次加热轧成成品。这种系统也常用来生产合金钢材。

(4) 采用小钢锭的小型生产系统工艺过程。

## 三、合金钢的生产工艺过程

它可分为冷锭和热锭以及正在发展的连续铸坯三种作业方式。由于按产品标准对合金钢成品钢材的表面质量和物理机械性能等的技术要求比普通碳素钢更高,并且钢种特性也较复杂,故其工艺过程一般也比较复杂。除各工序的具体工艺规程会因钢种不同而不同以外,在工序上比碳素钢多出了原料准备中的退火、轧制后的退火、酸洗等工序以及在开坯中有时要采用锻造来代替轧钢等。

## 四、钢材的冷加工生产工艺过程

它包括冷轧和冷拔,其特点是必须有加工前的酸洗和加工后的退火相配合,以组成冷加工生产线。



## 任务实施

### 一、钢材产品标准及技术要求

钢材的技术要求就是为了满足使用上的需要对钢材提出的必须具备的规格和技术性能,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方面的要求。

钢材技术要求系由使用单位按用途的要求提出,再根据当时实际生产技术水平的可能性和生产的经济性来制定的。它体现为钢材的产品标准。钢材的产品标准是生产单位和使用单位在交货和收货时的技术依据,也是生产单位制定工艺和制定产品质量的主要依据。钢材的产品标准对于保证产品质量的提高,合理发展品种,合理利用资源和节约原材料以及使用维修等方面都起到积极的作用。钢材的产品标准及技术要求有一定范围,并随着生产技术水平的提高这种要求为满足需要也在不断提高。轧钢工作者的任务就是不断提高生产技术水平来尽量满足使用上的更高要求。

由于各种钢材使用的范围不同,有的钢材使用范围广泛,有的钢材使用范围小,因而产品标准相应地可分成国家标准(GB)、冶金部标准(YB),此外还有地方标准和企业标准。

国家标准是对于使用范围很广而且较多厂生产的钢材,根据产品的使用要求和生产条件制订出适用于全国各生产厂、共同遵守的标准。部颁标准是指国家标准中暂时未包括的产品标准和其他技术规定或者只适用于本专业范围的技术标准,在一定时期内起着国家标准的作用。地方标准是指仅适用于某一些地区通用的产品而制定的产品标准,企业标准是几个企业之间根据使用要求和生产条件相互协商制订的标准,它仅适用于参与协商或承认该协议的各企业。

国家标准主要由五个方面内容组成。

#### 1. 品种(规格)标准

主要是规定钢的断面形状和尺寸精度方面的要求,它包括钢材几何形状、尺寸允许的偏差、截面面积和理论重量等。有特殊要求的在其相应的标准中单独规定。形状要正确,不能有断面歪扭、长度上弯曲不直和表面不平缺陷。尺寸精确度是指可能达到的尺寸偏差的大小,它不仅会影响到使用性能,而且与节约金属材料也有很大关系。所谓负公差轧制,是在负偏差范围内的轧制,实质上就相当于对轧制精确度的要求提高了一倍,这样自然要节约大量金属,并且还能使金属结构的重量减轻。但应该指出,有些轧材(例如工具钢)在使用时还要经过加工处理工序,则常要按正偏差交货。

#### 2. 性能标准(技术条件)

它规定各钢种的化学成分、机械性能、工艺性能、表面质量要求、组织结构以及其他特殊要求,有时还包括某些试验方法和试验条件等。

产品表面质量直接影响到轧材的使用性能和寿命。产品要求表面缺陷少、表面平整平坦而洁净。最常见的表面缺陷有表面裂纹、结疤、重皮和氧化铁皮等。造成表面缺陷的原因是多方面的,与铸锭(坯)、加热、轧制及冷却都有很大关系。因此要在整个生产过程中加以注意。

轧材性能的要求主要是对轧材的力学性能、工艺性能(弯曲、冲压、焊接性能等)及特殊

物理化学性能(磁性、抗腐蚀性能等)的要求。其中最常见的是机械性能(强度性能、塑性和韧性等),有时还要求硬度及其他性能。这些性能可以由拉伸试验、冲击试验及硬度试验来确定。

抗拉强度 $\sigma_b$ 代表材料在破断前强度的最大值,而屈服点或屈服强度( $\sigma_s$ 或 $\sigma_{0.2}$ )表示开始塑性变形的抗力。这是用来计算结构强度的基本参数。屈强比值( $\sigma_s/\sigma_b$ )对于钢材的用途有很大意义。此比值愈小,则当应力超过 $\sigma_s$ 时钢材的使用可靠性愈高,但太小则又使金属的有效利用率较低;若此比值很高,则说明钢材塑性差,不能作很大的变形。根据经验数据,随结构钢用途的不同,屈强比一般在0.65~0.75之间。

轧材使用时还要求有足够的塑性和韧性,其中伸长率包括拉伸时均匀变形和局部变形两个阶段的变形率,其数值依试样长度而变化,而断面收缩率为拉伸时的局部最大变形程度,可理解为在构件不致破坏的条件下金属所能承受的局部变形能力,它与试样的长度及直径无关,因此,断面收缩率能更好地表明金属的真实塑性,故不少学者建议按断面收缩率来测定金属的塑性。在实际工作中由于测定伸长率较为简便,迄今伸长率仍然是最广泛使用的指标,有时也要求给出断面收缩率指标。材料的冲击韧性( $a_k$ 值及脆性转变温度)以试样折断时所耗之功表示之,它是对金属内部组织变化最敏感的质量指标,反映了高应变率下抵抗脆性断裂的能力或抵抗裂纹扩展的能力。金属内部组织的微小改变,在静力试验中难以显出,而对冲击韧性却有很大影响。当变形速度极大时,要想测得应力—应变曲线非常困难,因而往往采用击断试样所需的能量来综合地表示高应变率下金属材料的强度和塑性。必须指出,促使强度提高的因素往往不利于塑性和韧性,欲使材料强度和韧性都得到提高,即提高其综合机械性能,就必须使材料具有细小晶粒的组织结构。

轧材性能主要取决于轧材的组织结构及化学成分,因此,在技术条件中规定了化学成分的范围,有时还提出金属组织结构方面的要求,例如,晶粒度、轧材内部缺陷、杂质形态及分布等。生产实践表明,钢的组织是影响钢材性能的决定因素,而钢的组织又主要取决于化学成分和轧制生产工艺过程,因此通过控制工艺过程和工艺制度来控制钢材组织结构状态,通过对组织结构状态的控制来获得所要求的使用性能,是我们轧制工作者的重要任务。

### 3. 试验标准

它规定取样部位、试样形状和尺寸、试验条件以及试验方法。

### 4. 交货标准

对不同钢种及品种的钢材,规定交货状态,如热轧状态交货、退火状态下交货、经热处理及酸洗交货等。冷加工交货状态分特软、软、半软、低硬、硬等几种类型。

另外还规定钢材交货时的包装和标志、涂色和打印、方法以及重量、证明书的内容等。

### 5. 特殊条件

某些合金钢和特殊的钢材还规定特殊的性能和组织结构等附加要求以及特殊的成品试验要求等。

各种钢材根据用途的不同都有各自不同的产品标准或技术要求,由于各种钢材的不同技术要求,再加上不同的钢种特性,便带来它们不同的生产工艺过程和生产工艺特点。

## 二、金属与合金的加工特性

为了正确制定轧材的生产工艺过程和规程,必须深入了解轧材的加工特征,即其固有的

内在规律。首先必须熟悉铁—碳平衡状态图,才可谈得上对以下合金钢和碳素钢相比较时几点值得注意的主要钢种特性的初浅认识(图 1-7),下面以钢为主分别叙述与生产工艺过程和规程有关的加工特性。

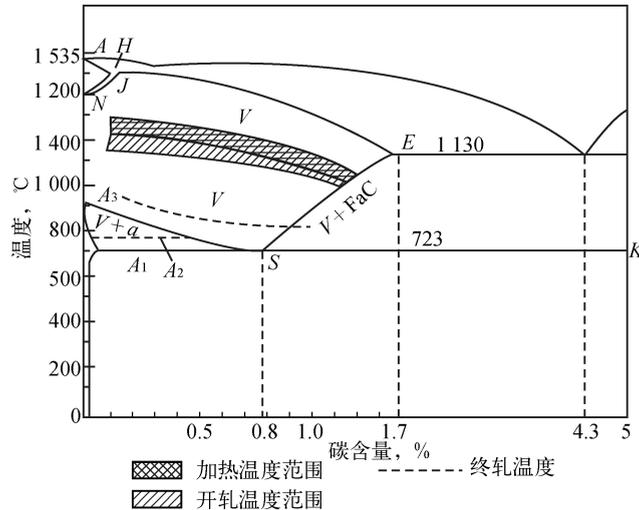


图 1-7 铁碳平衡相图

### 1. 塑性

纯金属和固溶体有较高的塑性,单相组织比多相组织的塑性高,而杂质元素和合金元素愈多或相数愈多,尤其是有化合物存在时,一般都导致塑性降低(稀土元素等例外),尤其是硫、磷、铜及铅铋等易熔金属更为有害。因此,一般纯铁和低碳钢的塑性最好,含碳愈高,塑性愈差;低合金钢的塑性也较好,高合金钢一般塑性较差。钢的塑性一方面取决于金属本身,这主要是与组织结构中变形的均匀程度,即与组织中相的分布、晶界杂质的形态与分布等有关,同时也与钢的再结晶温度有关,再结晶开始温度高,再结晶速度慢,往往使钢的塑性变差。另一方面,塑性还与变形条件,即与变形温度、变形速度、变形程度及应力状态有关,其中变形温度的影响最大,故必须了解塑性与温度的变化规律,掌握适宜的热加工温度范围。此外,在较低的变形速度下轧制,或采用三向压应力较强的变形过程,如采用限制宽度和包套轧制等,都有利于金属塑性的改善。

### 2. 变形抗力

一般地说,有色金属及合金的变形抗力比钢的要低,随着含碳量及合金量的增加,钢的变形抗力将提高。由加工原理已知,凡能引起晶格畸变的因素都使变形抗力增大。合金元素尤其是碳、硅等元素的增加使铁素体强化。合金元素,尤其是形成稳定碳化物的元素,在钢中一般都能使奥氏体晶粒细化,使钢具有较高的强度。合金元素还通过影响钢的熔点和再结晶温度与速度,通过相的组成及化合物的形成,以及通过影响表面氧化铁皮的特性等来影响变形抗力。在这里还要指出,当高温时,由于合金钢一般熔点都较低,因而合金钢的高温变形抗力可能大为降低,例如,高碳钢、硅钢等在高温时甚至比低碳钢还要软。

### 3. 导热系数

随着钢中合金元素和杂质含量的增多,导热系数几乎没有例外地都要降低。碳素钢

的导热系数一般在  $0^{\circ}\text{C}$  时为  $\lambda_0 = 35 \sim 52 \text{ kcal/m} \cdot \text{h}$ , 合金钢  $\lambda_0 = 13 \sim 35 \text{ kcal/m} \cdot \text{h}$ , 高合金钢  $\lambda_0 < 20 \sim 22 \text{ kcal/m} \cdot \text{h}$ 。由此可见, 随着合金元素增多使导热系数显著地降低。钢的导热系数还随温度而变化, 一般是随温度升高而增大, 但碳钢在大约  $800^{\circ}\text{C}$  以下是随温度升高而降低的。铸造组织比轧制加工后的组织的导热系数要小。故在低温阶段, 尤其是对钢锭铸造组织进行加热和冷却时, 应该特别小心谨慎。此外, 合金钢的导热系数愈低, 则在铸锭凝固时冷却愈加缓慢, 因而使枝晶愈加发达和粗大, 甚至横穿整个钢锭, 这种组织称为柱状晶或横晶。这种柱状晶组织可能本身并不十分有害, 但由于不均匀偏析较重, 当有非金属夹杂或脆性组织成分存在时, 则塑性降低, 轧时易开裂, 故在制订工艺规程时应加以注意。

#### 4. 摩擦系数

合金钢的热轧摩擦系数一般都比较, 因而宽展也较大, 是因为合金钢中大都含有铬、铝、硅等元素。含铬高的钢形成黏固性的氧化铁皮使摩擦系数增大, 宽展加大; 含少量铬的钢则具有中等的宽展, 同样含铝、硅的钢的氧化铁皮也较软而黏, 因而摩擦系数也较大。但与此相反, 含铜、镍和高硫的钢则使摩擦系数降低。合金钢的摩擦系数和宽展的这种变化, 在拟定生产工艺过程和制定轧下规程及孔型设计时必须加以考虑。

#### 5. 相图形态

合金元素在钢中影响相图的形态, 影响奥氏体的形成与分解, 因而影响到钢的组织结构和生产工艺过程。例如, 铁素体钢和奥氏体钢都没有相变, 因而不能用淬火的方法进行强化, 也不能通过相变改变组织结构, 而且在加热过程中晶粒往往容易粗大。碳素钢及普通低合金钢一般皆属于珠光体钢, 不可能是马氏体、奥氏体或铁素体钢。其实碳素钢也可以说是一种合金钢, 碳也有升高相图中  $A_1$  点和降低  $A_3$  点的作用, 所以高碳钢的生产工艺特性一般相近于合金钢, 而低合金钢则与碳素钢相接近。由此可见, 了解一种相图变化规律和特点, 是制订该钢种生产工艺过程及规程的基础。

#### 6. 淬硬性

合金钢往往较碳素钢易于淬硬或淬裂。除 Co 以外, 合金元素 Mn、Si、Cr、Ni、Mo、Al 等一般皆使奥氏体转变曲线往右移, 亦即延缓奥氏体向珠光体的转变, 降低钢的临界淬火速度, 甚至如马氏体钢在常化的冷却速度下也可得到马氏体组织。这样对于塑性较差的钢也就很容易产生冷却裂纹(冷裂或淬裂)。由于合金钢容易淬硬和淬裂, 因而在生产过程中便时常采取缓冷、退火等工序, 以消除应力及降低硬度, 以便于清理表面或进一步加工。

#### 7. 对某些缺陷的敏感性

某些合金钢比较倾向于产生某些缺陷, 如过烧、过热、脱碳、淬裂、白点、碳化物不均等。这些缺陷在中碳钢和高碳钢中也都可能产生, 只不过是某些合金钢由于合金元素的加入对于某些缺陷更为敏感罢了。例如, 不同成分及用不同方法冶炼的钢的过热敏感性也不相同。一般说来, 钢中合金元素增多, 可在不同程度上阻止晶粒长大, 尤其是铝、钛、铌、钒、锆等元素有强烈抑制晶粒长大的作用, 故大多数合金钢比碳素钢的过热敏感性要小。但是, 碳、锰、磷等由于能扩大奥氏体区, 却往往有促使晶粒长大的趋势。又如含碳较高的钢, 其脱碳倾向性也较大。钢中含少量的铬有利于阻止脱碳, 但硅、铝、锰、钨却起着促进脱碳的作用。所以通常在硅钢片生产中能利用脱碳退火的方法来降低含碳量, 而在生产弹簧钢 60Si2Mn 时则更要注意防止脱碳。白点是分布在钢材内部的一种特殊形式的

微细裂纹。碳素钢只有在钢材断面较大(如重轨、轮箍等)且含锰、碳量较高时,才易形成白点。通常对白点敏感性大的钢种多为中合金钢,尤其是合金元素质量含量在8%左右的钢,由于氢的扩散聚集条件适中,钢的组织应力也大,故白点生成的几率较大。必须注意,白点不是在轧制时形成的,而是在冷却时产生的,甚或冷却后当时尚不能发现,要到存放一定时间后才出现。任何能促使钢中氢气析出扩散的工序,例如长期的加热、退火、缓冷等,都会减轻或防止白点形成。

以上只是列举几种值得注意的主要钢种特性。实际上各种钢的具体特性都不相同,故在制定其生产工艺过程时,必须对其钢种特性作详细调查或实验研究,求得必要的参数,作为制订生产工艺规程的依据。

### 三、比较普通碳素钢与合金钢的生产工艺流程的不同

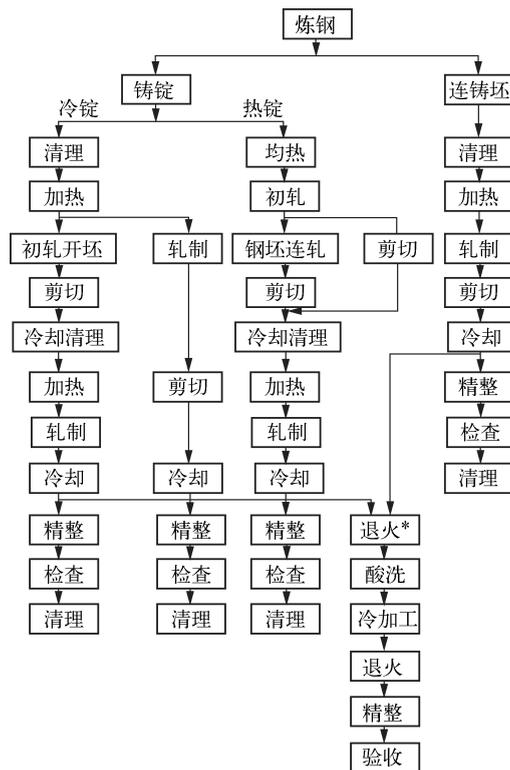


图 1-8 碳素钢和低合金钢的一般生产工艺过程(带\*号的工序有时可以略去)

从图 1-8 中可以看出,不管是哪一种生产类型,不管几次加热和轧制,其基本工序是:原料准备→清理→加热→轧制→冷却、精整、清理。

而合金钢生产中,由于按产品标准对合金钢成品钢材的表面质量和物理机械性能等的技术要求比普通碳素钢更高,并且钢种特性也较复杂,故其工艺过程一般也比较复杂。除各工序的具体工艺规程会因钢种不同而不同以外,在工序上比碳素钢多出了原料准备中的退火、轧制后的退火、酸洗等工序以及在开坯中有时要采用锻造来代替轧钢等。

如图 1-9 为合金钢一般生产工艺流程。

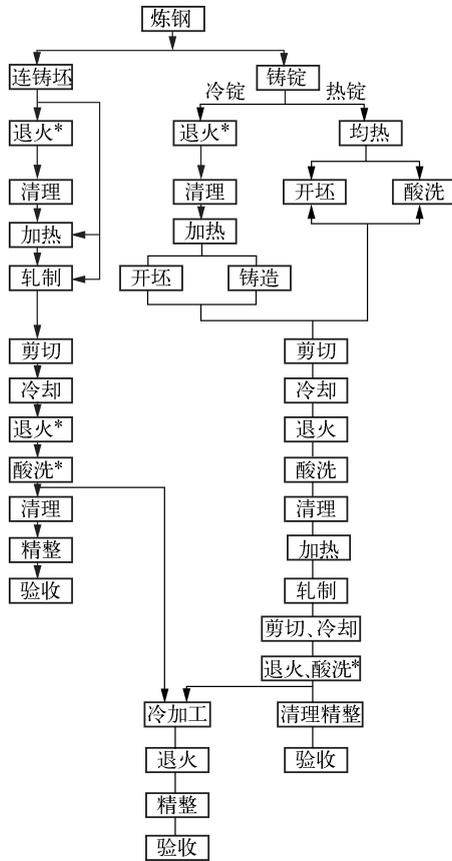


图 1-9 合金钢一般生产工艺流程

## 任务三 型钢生产各基本工序的作用及要点



### 学习目标

- 熟悉常见型钢生产各基本工序的作用及要点。
- 能简单说出型钢轧制生产各基本工序的作用。



### 任务描述

热轧型钢生产四大基本工序的作用及要点的简单理解与描述。联系金属材料与热处理和轧制原理理解四大基本工序的作用及要点。



### 相关知识

联系金属材料与热处理、塑性变形与轧制原理知识分析型钢生产各基本工序,也可以说

是这些知识和理论在轧制生产中的综合应用。

## 任务实施

通过观看热轧型钢视频,分析归纳热轧生产的四大基本工序。逐一分析各个工序的作用及要点。

虽然根据产品的主要技术要求和合金的特性所确定的各种轧材的生产工艺流程各不相同,但其最基本的工序都不外是原料的清理准备、加热、轧制、冷却与精整和质量检查等工序。

步骤一,观看热轧生产视频,归纳出热轧生产的四大基本工序为:原料的清理准备、加热、轧制、冷却与精整和质量检查。

步骤二,基于生产过程分析各热轧各基本工序的作用和要点。

### 一、原料的选择及准备

原料种类、尺寸和重量的选择,不仅要考虑其对产量和质量的影响(例如考虑压缩比及终轧温度对性能质量及尺寸精度的影响),而且要综合考虑生产技术经济指标的情况及生产的可能条件。

一般轧制生产常用的原料有铸锭、轧坯及连铸坯三种,有时中、小型企业还采用压铸坯。各种原料的优劣比较如表 1-3 所示。通过比较可知,采用连铸坯是发展的方向,现正在迅速推广;而以钢锭作为原料的老方法,除某些钢种以外,已处于淘汰之势。

表 1-3 轧(钢)材所用各种原料的比较

原 料	优 点	缺 点	适用情况
铸 锭	不用初轧开坯,可独立进行生产	金属消耗大,成材率低,不能中间清理,压缩比小,偏析重,质量差,产量低	无初轧及开坯机的中小型企业及特厚板生产
轧 坯	可用大锭,压缩比大并可中间清理,故钢材质量好;成材率比用扁锭时高;钢种不受限制,坯料尺寸规格可灵活选择	需要初轧开坯,使工艺和设备复杂化,使消耗和成本增高,比连铸坯金属消耗大得多,成材率小得多	大型企业钢种品种较多及规格特殊的钢坯;可用横轧方法生产厚板
连铸坯	不用初轧,简化生产过程及设备;使成材率提高或金属节约 6%~12% 以上;并大幅度降低能耗及使成本降低约 10%;比初轧坯形状好,短尺少,成分均匀,坯重量可大,生产规模可大可小;节省投资及劳动力;易于自动化	目前尚只适用于镇静钢,钢种受一定限制,压缩比也受一定限制,不太适于生产厚板;受结晶器限制规格难灵活变化,连铸工艺掌握较难	适于大、中、小型联合企业品种较简单的大批量生产;受压缩比限制,适于生产不太厚的板带钢
压铸坯	金属消耗小,成坯率可 95% 以上;质量比连铸坯还好,组织均匀致密,表面质量好;设备简单,投资少,规格变化灵活性大	生产能力较低,不太适合于大企业大规模生产,连续化自动化较差	适于中小型企业及特殊钢生产

采用连铸坯也是近代无缝钢管生产技术的重要发展趋势。用连铸坯直接轧管可使钢管成本降低 15% 以上。生产实践和专门试验证实,连铸坯的内部质量是较好的,内部非金属夹杂、化学成分偏析和铸造组织缺陷比用普通钢锭轧成的管坯少。连铸坯直接轧管的主要技术问题是如何解决钢管外表面质量问题,目前主要是从提高冶炼和连铸技术,改进穿孔方法及加强管坯质量检查和表面清理等几方面着手。

原料表面存在的各种缺陷(结疤、裂纹、夹渣、折叠等),如果不在轧前加以清理,轧制中必然会不断扩大,并引起更多的缺陷,甚至影响钢在轧制时的塑性与成型。因此,为了提高钢材表面质量和合格率,对于轧前的原料和轧后的成品,都应该进行仔细的表面清理,特别是对合金钢要求就更加严格。因而合金钢在铸锭以后一般是采取冷锭装炉作业,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。至于碳素钢和低合金钢则为了尽量采用热装炉,或在轧前利用火焰清理机进行在线清理,或暂不作清理而等待轧制以后对成品一并进行清理。

原料表面清理的方法很多。对碳素钢一般常用风铲清理和火焰清理;对于合金钢,由于表面容易淬硬,一般常采用砂轮清理或机床刨削清理(剥皮)等。根据情况某些高碳钢和合金钢也可采用风铲或火焰清理,但在火焰清理前往往要对钢坯进行不同温度的预热。每种清理方法都有各自的操作规程。

## 二、原料的加热

在轧钢之前,要将原料进行加热,其目的在于提高钢的塑性,降低变形抗力及改善金属内部组织和性能,以便于轧制加工。这就是说,一般要将钢加热到奥氏体单相固溶体组织的温度范围内,并使其具有较高的温度和足够的时间以均化组织及溶解碳化物,从而得到塑性强、变形抗力低、加工性能好的金属组织。一般为了更好地降低变形抗力和提高塑性,加工温度应尽量高一些好。但是高温及不正确的加热制度可能引起钢的强烈氧化、脱碳、过热、过烧等缺陷,降低钢的质量,甚至导致废品。因此,钢的加热温度主要应根据各种钢的特性和压力加工工艺要求,从保证钢材质量和产量出发进行确定。

加热温度的选择应依钢种不同而不同。对于碳素钢,最高加热温度应低于固相线 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ ;而钢种不同,化学成分不同,加热温度也不同,与钢的特性、组织有直接关系。很多钢种的加热温度由实验取得。加热温度的下限理论上应高于  $\text{Ac}_3$  线  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

不正确的加热制度会导致许多加热缺陷,如:过热、过烧、裂纹、氧化、脱碳、黏钢等。过热是钢在炉内加热温度过高或在高温阶段停留时间过长,使钢的内部形成粗大的晶粒,显著降低晶粒间的结合力,造成钢的机械性能变坏。过热的钢轧制时,表面会产生裂纹(特别是棱角部位),使成品钢材的机械性能特别是冲击韧性降低。过共析钢严重过热,则会形成渗碳体的网状组织。高合金钢的过热,可能在轧制一开始就产生龟裂。钢中的锰元素使钢的过热倾向增大,也就是随着钢中含碳量及某些元素的增多,则过烧的可能性亦增大。

过烧也是由于钢在炉内加热温度过高,或在高温阶段停留时间过长,钢的内部不仅形成粗大晶粒,而且晶界间的低熔点物质开始熔化,同时,炉气侵入使晶界氧化,破坏了晶间的结合,这种缺陷称为过烧。钢锭(坯)的过烧首先发生在棱角部位。过烧的钢无法挽救,只能报废。过热与过烧敏感性最大的是铬合金钢、镍合金钢及铬镍合金钢。

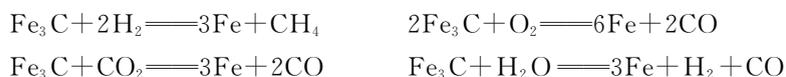
表 1-4 某些钢的加热与过烧的理论温度

钢 种	加热温度/℃	过烧温度/℃	钢 种	加热温度/℃	过烧温度/℃
碳素钢 1.5%C	1 050	1 140	硅锰弹簧钢	1 250	1 350
碳素钢 1.1%C	1 080	1 180	镍钢 3%Ni	1 250	1 370
碳素钢 0.9%C	1 120	1 220	8%镍铬钢	1 250	1 370
碳素钢 0.7%C	1 180	1 280	铬钒钢	1 250	1 367
碳素钢 0.5%C	1 250	1 350	高速钢	1 280	1 380
碳素钢 0.2%C	1 320	1 470	奥氏体镍铬钢	1 300	1 420
碳素钢 0.1%C	1 350	1 490			

产生过热和过烧的主要原因有加热温度过高、加热时间过长和氧化性气氛等。为了防止过热、过烧,必须对加热温度和加热时间加以严格限制,适当减少炉内的过剩空气量。如停轧时炉子必须降温。

黏钢是指加热温度过高或加热时间过长所引起钢锭或钢坯表面的熔化,使钢坯(锭)之间黏上称为黏钢。在推钢机进料的连续式加热炉中,由于熔化的氧化铁皮(熔点 1 300~1 350℃)流入钢坯之间的缝隙,在推钢机推力的作用下,最后造成黏钢。特别是钢坯进入均热后,温度下降,氧化铁凝固,钢坯便牢牢地黏在一起,造成严重的黏钢事故。防止黏钢的主要方法是控制好加热温度、加热时间和减少炉内的过剩空气。

钢的脱碳是指炉气中氧化性气体与钢的表面上碳的作用,降低表面层含碳量的现象。脱碳过程的反应如下:



含碳高的钢最容易脱碳,如高碳钢、工具钢、弹簧钢和滚珠钢。脱碳会降低钢材的表面硬度。高速钢脱碳,会失去其红硬性;弹簧钢脱碳会降低弹性和缩短使用寿命。防止的方法是采用专门的保护气体,避免加热温度过高、保温时间过长,在高温区快速加热炉气保持中性或还原性气氛,避免空气吸入炉内。

氧化是指炉气中氧化性气体( $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{SO}_2$ )使钢锭或钢坯的表面氧化而形成氧化铁皮。引起的原因是加热时间长、加热温度高,特别是 900~1 000℃以后,氧化也越激烈,炉气中氧化性气体的浓度越大,氧化也越严重。钢中某些合金元素如铬、镍、铜等对氧化有一定的抑制作用。防止方法是采用快速加热的方法。使高温集中在加热段,采用微正压操作,减少冷空气从出钢口吸入,在均热段要采取减少空气量,造成不完全燃烧,以获得还原性或中性气氛,这部分没有完全燃烧的炉气进入加热段后,与加热段的过剩空气混合进行燃烧,促使加热段温度集中而均匀。

钢的加热温度不均表现为:钢的上下面温度不均匀,钢的表面与中心温度不均匀和钢在长度或宽度上温度不均匀。而造成原因有加热和均热时间不足、燃料分配不当、操作不当和炉子结构不良等。

为了防止以上加热缺陷产生,加热温度要考虑钢种、原料种类(锭或坯)及断面尺寸大小

等。如钢锭的加热温度比钢坯的加热温度适当地高些,可改善钢锭的组织,使钢锭中的偏析与杂质得到一定的扩散。还必须考虑轧制工艺的要求,如:当轧制道次多,轧制温降大时可适当提高加热温度;锻造开坯时,因加工时间较长,应尽量提高加热温度;还须考虑钢种和规格大小,大规格适当提高加热温度。

除了加热温度保证外,还必须有正确的加热制度。加热制度指原料在加热炉中所经历的温度升高过程。加热制度主要取决于原料的钢种尺寸和形状,当然也与加热炉的构造有一定的关系。钢在轧制前加热的工业炉分为连续式加热炉和均热炉两种。钢种、规格不同加热温度也不同,见表 1-5。

表 1-5 一些钢种的加热温度(°C)

钢种	钢号	原料	种类(温度)	
		钢锭	大型钢坯	小型钢坯
碳素结构钢	10~50	1 260	1 220	1 200
碳素工具钢	T <sub>7</sub> 、T <sub>8</sub>	1 180	1 100	1 060
	T <sub>9</sub>	1 150	1 080	1 060
	T <sub>10</sub> 、T <sub>12</sub>	1 100	1 060	1 040
合金工具钢	Cr 12、Cr 12Mo	1 140	1 140	1 140
	CrW <sub>5</sub>	1 160	1 140	1 140
	7Cr1、2CrSi、85CrV	1 220	1 160	1 120
	CrMn	1 180	1 120	1 060
	CrWMn	1 200	1 150	1 120
	3Cr2、3Cr2W8	1 220	1 200	1 150
高速切削钢	W 18Cr4V、W9Cr2V2	1 200	1 200	1 200
滚珠轴承钢	Cr 12	1 200	1 200	1 200
合金结构钢	65Mn	1 200	1 180	1 160
	38CrA、35CrMnSiA、30CrMnSiA	1 220	1 200	1 180
	38CrMoAlA	1 180	1 150	1 100
	30CrMoA	1 220	1 200	1 160
磁钢	CCr2、CCr2、CW2	1 220	1 200	1 200
铬不锈钢	ICr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13、Cr17	1 200	1 180	1 150
耐酸及耐热不锈钢	ICr18Ni9、ICr18Ni9Ti	1 230	1 220	1 200
	Cr18Ni22Si12	1 160	1 140	1 140
硅铬合金钢	Cr9Si2、Cr19Si2Mo	1 220	1 220	1 180
高欧姆电阻钢	Cr13Ni20、Cr20Ni20	1 200	1 200	1 180

对连续加热炉可按炉内温度分为:一段式加热制度只有一个加热阶段。二段式加热制度由加热和均热两个阶段组成。三段式加热制度由预热、加热和均热三个阶段组成。多段式加热制度一般是由预热段、第一加热段、第二加热段、…、均热段组成。对于要求有高生产能力、加热断面大的轧钢车间,多段式加热炉比较适用。按加热后出钢口位置不同可分为端

出料与侧出料;按金属在炉内的移动方式可分为:推进式(带推钢机)加热炉、转底式环形加热炉、链底式加热炉及步进式加热炉。

钢的加热制度中重要因素之一是加热速度,这直接关系着钢的轧制质量及产量。如何确定加热速度这与钢种有关,不同钢种其导热性不同、规格大小不同而加热速度也不一样。

下面介绍一下加热制度中的预热段加热段和均热段。

### 1. 预热段(温度应力期)

金属入炉后,在加热到 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ 以前以较慢的速度加热。钢的加热温度低于 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 的加热段称为预热阶段。钢锭(坯)在预热阶段表面与中心温度差较大而产生很大的热应力,见图1-10,因加热钢表面的温度高,热膨胀较大,中心的温度低,热膨胀较小,而表面与中心是一块不可分割的金属整体,所以膨胀较小的中心部分将限制表面的膨胀,使金属表面部分受到压应力;同时,膨胀较大的表面部分将强迫中心部和它一起膨胀,使中心受到拉应力。这种应力叫“温度应力”或热应力,当加热速度愈大,内外温度差愈大,产生的温度应力也愈大,当温度应力(热应力)在钢的弹性极限内时,对钢的质量没有影响,因为随着温度差的减小和消除,应力会自然消失;当温度应力超过钢的弹性极限时,则金属将发生塑性变形,在温度差消除后所产生的应力将不能完全消失,即生成“残存应力”,当热应力大得超过了钢的强度极限时,造成钢的内裂。当然应力与钢锭(坯)原有的铸造应力和组织应力叠加而超过金属的强度极限时,则产生裂纹。钢锭(坯)的断面越大,导热系数越小,加热速度越快,则热应力越大,产生裂纹的危险性也越大。因此,导热性较差的合金钢或断面很大的冷钢锭在预热段的加热速度不宜加快。加热导热性和塑性都差的钢种,如高碳工具钢、高锰钢、滚珠轴承钢、高速钢、高硅钢等,它们在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 以下塑性就很差,如果加热速度不放慢会引起内部的“穿孔”开裂,故称为响裂或炸裂缺陷,使钢报废。故预热阶段把加热速度放慢为宜。

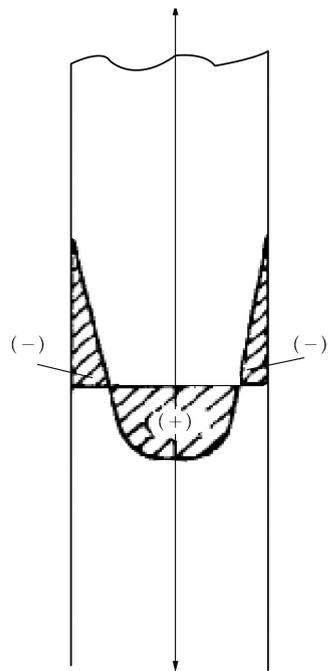


图1-10 金属加热时断面上的温度应力分布

(+)—拉应力 (-)—压应力

### 2. 加热阶段

温度大于 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 时的加热阶段称为加热阶段。钢锭(坯)的温度大于 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ 时,其塑性显著提高,预热性也大多有所改善,不再会由于热应力而形成裂纹。因此,加热阶段应采用快速加热,以提高炉子的产量和减少钢的氧化。

### 3. 均热阶段

均热阶段的炉温略低于加热段,由于钢锭(坯)在加热段进行快速加热,形成较大的内外温度差,这在轧制时使轧制压力增大,而且由于不均匀变形(如钢坯弯曲和附加内应力)可能导致轧卡和内裂。因此必须通过均热阶段,使轧件断面温度分布趋于均匀,它能改善合金钢的质量。例如偏析的硫化物可以得到一定的溶解和扩散,所以有较合理的加热制度对提高钢轧制的质量、产量和节约能源消耗意义十分重大。

在钢加热缺陷中提到了加热时间,如加热时间过长会导致过热、过烧等。但加热时间与

很多因素有关,如原料装炉前的温度、钢种、断面大小、加热设备的性能等,在保证质量的前提下加热时间越短越好,这样可提高加热炉能力,减少金属的烧损如脱碳、防止过热、过烧和黏钢。

加热时间可通过理论计算,也可以用经验公式作初步估算。在连续式加热炉内加热时间的经验公式是:

$$T=K \cdot D$$

式中:  $T$ —加热时间(h);

$D$ —钢锭或钢坯断面的直径或边长(cm);

$K$ —考虑到钢的成分及其他因素影响的系数值,见表 1-6。

表 1-6 加热各种钢的  $K$  值

钢 种	$K$ 值
碳素钢	0.1~0.15
合金结构钢	0.15~0.20
高合金结构钢	0.20~0.30
高合金工具钢	0.30~0.40

### 三、钢的轧制

轧制工序的两大任务是精确成型及改善组织和性能,以及保证表面质量符合标准,因此轧制是保证产品质量的一个中心环节。

#### 1. 在精确成型方面

要求产品形状正确、尺寸精确、表面完整光洁。对精确成型有决定性影响的因素是轧辊孔型设计(包括辊型设计及压下规程)和轧机调整;轧制条件(温度和速度)的稳定性和设备与工具的刚度、耐磨性与加工精度也直接影响成型的质量。

目前轧制条件中,特别是温度的波动,引起辊跳值的变化,从而影响产品精度。只有通过生产过程的自动化,实现自动检测、自动调节和计算机控制才能最大限度地保持轧制条件的稳定,以获得最佳的轧制过程,从而获得尺寸精确的轧件。

#### 2. 在钢材的组织 and 性能方面

热轧钢材的组织 and 性能决定于变形程度、变形温度和变形速度。所谓变形程度主要体现在压下规程和孔型设计中,而变形程度与应力状态对产品组织性能影响很大。一般说来变形程度越大,三向压应力状态越强,对改善钢的组织性能越有利。这是因为变形程度大、应力状态强有利于破碎合金钢锭的枝晶偏析及硫化物,即有利于改变其铸态组织。对某些合金钢的莱氏体组织才能得到充分击碎,从而得到硫化物均匀分布、组织细密的钢材。因此对一般钢种也要保证一定的总变形程度,即保证一定的压缩比(即压下系数  $H/h$ )。例如重轨的总压缩比必须超过 50,钢板要在 5~12 以上。此外,每一道次的变形量在塑性允许的条件下也应尽量增大。组织改善后,性能也就得到了充分的保证。但在这里,重要的是要考虑钢种再结晶的特性,如果是要求细致均匀的晶粒度,就必须避免落入使晶粒粗大的临界压下量范围内。

变形温度对钢材组织 and 性能的影响很大,轧制温度要根据有关塑性、变形抗力和钢种特

性的资料来确定,以保证产品正确成型,不出现裂纹,碳化物均匀分布,晶粒细化和力求消耗最低。轧制温度主要指正确地确定开轧和终轧温度。开轧温度应在不产生加热缺陷(如过热、过烧、氧化、脱碳等)情况下尽量提高。开始轧制时必须在单相奥氏体范围内进行,还要保证在要求的终轧温度前完成轧制过程。

钢材生产往往要求一定的组织性能,故要求一定的终轧温度。因而,开轧温度的确定必须以保证终轧温度为依据。一般来说,对于碳素钢加热最高温度常低于固相线  $100\sim 200^{\circ}\text{C}$  (图 1-7),而从开轧到轧制终了需要有温降,而从加热炉到开轧也需要有温降,这应与实际生产设备、机械化、自动化情况有关,我们可以模拟制定一种参考有关资料相近的车间及某钢种开终轧温度。

终轧温度因钢种不同而不同,它主要取决于产品技术要求中规定的组织性能,特别是轧后不进行热处理的产品,终轧温度的选择必须以获得要求的组织性能为依据。对亚析钢来说,其终轧温度应高于  $\text{Ar}_3$  线  $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ,以保证轧后迅速冷却到相变温度,得到细晶粒组织;如果低于  $\text{Ar}_3$  线时就会出现加工硬化,降低钢材的延伸率;如采用控制轧制或进行相变热处理,其终轧温度可以大于  $\text{Ar}_3$  到低于  $\text{Ar}_3$ ,甚至低于  $\text{Ar}_1$ ,这主要取决于钢种特性。终轧温度应比  $\text{Ar}_3$  高出多少,在其他条件相同的情况下主要取决于钢种特性和钢材品种,对于含 Nb、Ti、V 等合金元素的低合金钢,一般终轧温度可提高(即可大于  $950^{\circ}\text{C}$ )。对过共析钢来说,其终轧温度一般在  $\text{Acm}$  与  $\text{Ac}_1$  之间,也就是不高于  $\text{ES}$  线而高于  $\text{PSK}$  线  $50\sim 100^{\circ}\text{C}$  为宜,如果终轧温度过高,网状碳化物得不到破碎;反之,如果过低,不仅变形抗力增加,而且由于组织应力的出现,促进石墨析出,使钢材机械性能下降。终轧温度过低,低于  $\text{PSK}$  线,则易于析出石墨,呈现黑色断口,这因为渗碳体分解形成石墨需要两个条件:一是缓慢冷却以满足渗碳体分解所需时间;一是钢的内部有显微间隙或周围介质阻力小,以满足石墨形成和发展时钢的密度减小和体积变化的要求。因此过共析钢的终轧温度应比  $\text{PSK}$  线高出  $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。在制订工艺规程时一般是先确定终轧温度,考虑了轧制过程的温降后,即可确定开轧温度。

变形速度或轧制速度主要影响到轧机的产量,因此,提高轧制速度是现代轧机提高生产率的主要途径之一。但是,轧制速度的提高受到电机能力、轧机设备结构及强度、机械化自动化水平以及咬入条件和坯料规格等一系列设备和工艺因素的限制,要提高轧制速度,就必须改善这些条件。轧制速度或变形速度通过对硬化和再结晶的影响也对钢材性能质量产生一定的影响。另外,轧制速度的变化通过摩擦系数的影响,还经常影响到钢材尺寸精确度等质量指标。总的来说,提高轧制速度不仅有利于产量大幅度提高,而且对提高质量、降低成本等也都有益处。

20 世纪 60 年代以来大力发展着所谓“控制轧制”工艺,它是严格控制非调质钢材的轧制过程。运用变形过程热动力因素的影响,使钢的组织结构与晶粒充分细化,或使在一定碳含量时珠光体的数量减少,或通过变形强化诱导有利夹杂沉淀析出,从而提高钢的强度和冲击韧性,降低脆性转变温度,改善焊接性能,以获得具有很好综合性能的优质热轧状态钢材。所谓“控制轧制”,是指比传统的热轧温度稍低的条件下,采用强化压下和控制冷却等工艺技术来提高钢材的强度和韧性等综合机械性能的一种轧制方法。表 1-7 是地质钻探管在不同轧制条件下的材料性能比较。

表 1-7 在“控制轧制”与一般轧制工艺条件下的材料性能比较

工艺 \ 性能	强度极限 $\sigma_b$ (MPa)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	相对延伸率 $\delta_b$ (%)	断面缩减率 $\varphi$ (%)	冲击韧性 $\alpha_k$ (N/cm <sup>2</sup> )	硬度 HRC
控制轧制工艺	1 000~1 030	785~835	12~14	38~46	60~75	31
一般轧制工艺	800~850	600~640	8	40~42	40~45	—

低塑性合金钢锭开坯除采用轧制方法以外,还往往采用锻造的方法,可使组织较致密,塑性也可提高,而钢锭经过锻造开坯以后,塑性有所提高,便于顺利地进行轧制。但锻造生产能力较低,劳动条件也差,这是众所周知的,如能轧制就不用锻造。

#### 四、钢材的轧后冷却与精整

##### 1. 轧后冷却

热轧钢材的终轧温度为 800~900℃,通过不同的速度或过冷度冷却到常温,会得到不同的组织结构和性能。所以冷却过程实质上是利用轧制余热的热处理过程,对钢材质量有很大影响。冷却速度或过冷度,对奥氏体转化温度及转化后的组织要产生显著的影响,例如,随着冷却速度的增加,奥氏体转变而来的铁素体—渗碳体混合物也变得愈来愈细,硬度也有所增高,相应地形成细珠光体、极细珠光体及贝氏体等组织结构。而选择不同的冷却速度对于不同的钢种和产品技术要求应选择不同的冷却方式,选择不当不但得不到要求的性能,还可能产生白点、裂纹等缺陷,甚至前功尽弃变为废品。

白点和冷裂的形成原因亦不完全相同,前者的形成虽然是钢中内应力(组织应力)的存在,但主要还是由于氢的析出和聚集,而后者却主要是由于钢中内应力的影响。钢的冷却速度愈大,钢的导热性和塑性愈差,内应力愈大,就愈容易产生裂纹。凡导热性差的钢种,尤其是高合金钢如高速钢、高铬钢、碳钢等都特别容易产生冷却裂纹,但却不容易产生白点。

(1) 空冷 这是最常用的一种冷却方法,凡是在空气中冷却不会由于热应力而产生裂纹和最终组织不是马氏体或半马氏体的钢种,均可采用。例如普碳钢、低合金结构钢、大部分碳素结构钢及奥氏体不锈钢等。钢材在冷床上的冷却速度一般可通过不同的气流(是否鼓风及风量大小)及排钢的疏密程度来调节,为了防止冷却不均匀,钢材在冷床上的放置方法也不一样。冷床多采用链式或步进式,以提高冷却质量,减少划伤。钢材在冷床上空冷时,热的传递主要靠辐射和对流,在高温时主要靠辐射,至 500~700℃ 以下时则主要靠对流。要精确计算各种钢材的冷却时间是困难的,往往只是利用各种钢材冷却时间的实测数据或经验公式进行估算。

(2) 水冷 水冷包括在冷床或辊道上进行喷水、喷雾、浸水和使钢材通过涡流流动的冷却器等几种方式,通常在下列情况下采用:

① 亚共析钢为了细化晶粒而采用,如 Q235 钢板喷水冷却可细化组织提高机械性能。

② 过共析钢为了消除网状碳化物,如对高碳工具钢,合金钢在热轧以后便需快速冷却,以免形成碳化物,但这种钢在冷却时又容易冷裂,故须在快速冷却到相变温度以下后还需进行缓冷,以减少内应力。

③ 对表面铁皮的消除要求很高时采用,例如薄板坯在热轧以后即可浸入水中,借急剧

的冷却使氧化铁皮从表面脱落。

(3) 堆冷及缓冷 对某些钢材为了获得具有较高的强度韧性和塑性等良好的综合机械性能,在冷床上冷却到一定温度后,可采用堆垛冷却或缓冷坑中冷却、炉冷及等温处理等方法。堆冷可减少冷床负担,更主要是为了减少内应力,以防止产生裂纹,并能提高其塑性和降低其硬度,以利于对表面缺陷的清理。对于某合金钢及高合金钢在冷却时易产生应力和裂纹,在空气中冷却或者堆冷仍会产生裂纹,所以必须采用极缓慢的冷却速度。同样,对于白点敏感性强的轴承钢,重轨及断面大并且含锰量较高的钢材也必须采取类似的缓冷或等温处理来防止白点产生。当然对这些钢材也可通过在 $650^{\circ}\text{C}$ 左右进行缓冷,使氢有足够的时间和条件扩散出去便可防止白点的产生。

## 2. 精整

钢材的精整是冷却、切断、矫直、酸洗、热处理、成品表面清理和检查等后部工序的总称。它是轧制工艺的重要组成部分,对产品质量也有很大的影响。例如切断、矫直等以保证正确的形状和尺寸。钢板的切断多采用冷剪,钢管多用锯切,简单断面的型材多用热剪或热锯,复杂断面多用热锯、冷锯或带异型剪刀的冷剪。

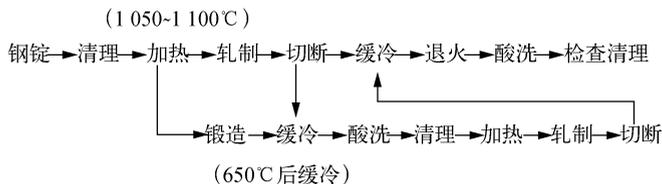
钢材矫直多采用辊式矫直机,少数也有采用拉力或压力矫直机。

钢材质量的检查,它包括生产工艺过程和成品质量两个方面的检查,对保证成品质量具有很重要的意义。现代轧钢生产的检查工作可分为熔钢检查、轧钢生产工艺过程的检查及成品质量检查。它们检查的依据是生产技术规程及产品标准。熔炼检查内容为:配料、冶炼、脱氧、出钢及铸锭的情况。轧制过程检查内容为原料的加热制度及压下规程与孔型设计及精整制度是否正确,而热轧工序主要检查开轧温度、终轧温度和压下规程等。

现代轧机的自动化、高速化和连续化使得有必要和有可能采用最现代化的检测仪器。例如,在带钢连轧机上采用X射线或 $\alpha$ 与 $\beta$ 射线对带钢厚度尺寸进行连续测量等,依靠这些连续检测信号和数学模型对轧机调整乃至轧件温度调整,实现全面的计算机自动控制。对钢材表面质量的检查予以很大注意,为此要按轧制过程逐工序地进行取样检查。为便于及时发现缺陷,在生产流程线上,近代采用超声波探伤仪及 $\gamma$ 射线探伤器等对轧件进行在线连续检测。

最终成品质量检查的任务是确定成品质量是否符合产品标准和技术要求。检查的内容取决于钢的成分、用途和要求,一般包括化学分析、机械性能检验、工艺试验、低倍组织及显微组织的检验等。

举例:滚珠轴承钢的生产工艺为:



## 项目小结

本项目主要让学生对型钢生产的产品、产品生产制定的依据和热轧型钢生产的基本工

序有一个大概的认知,使学生能简单描述型钢的种类及产品标准的主要内容,能简单描述热轧型钢生产各工序的作用及要点。

本项目的重点和难点在钢种特性的理解和热轧型钢四大基本工序的作用和要点,要求学生能联系金属材料与热处理和轧制原理的理论来分析,加深对知识的理解记忆。



## 项目测评

1. 按断面形状,型钢如何分类?
2. 举例说明生产中常用的复杂断面型钢。
3. 按生产方式如何对型钢进行分类?
4. 试述普通轧制法在轧制异型断面产品时存在的缺点。
5. 型钢轧机布置方式有哪几种?哪一种布置方式的生产率最高?
6. 型钢生产工艺制定的依据有哪些?
7. 国家标准包括哪些主要内容?
8. 什么叫做技术条件?
9. 试举例说明碳素钢和合金钢的钢种特性对制定轧钢工艺都有哪些影响。
10. 热轧生产一般包括哪四大基本工序?
11. 型钢轧制时的原料有哪几种,各有什么优缺点?
12. 钢坯加热的目的有哪些?
13. 钢坯加热工艺缺陷有哪几种,它们的产生原因是什么?
14. 轧制工序的两大基本任务是什么?
15. 热轧钢材的组织性能取决于什么轧制工艺参数?
16. 钢材的轧后冷却有几种方式?每种冷却方式的适用范围是什么?
17. 钢材的轧后精整一般包括什么工序?