

• 高等学校教学用书 •

# 轧钢机械 理论与结构设计

(上册)

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

# 轧钢机械理论与结构设计

(上册)

北京科技大学邹家祥 施东成 主编

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

高等学校教学用书  
**轧钢机械理论与结构设计**  
(上册)  
北京科技大学邹家祥 施东成 主编

\*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街芮院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

北京桦星电脑应用部激光照排

北京昌平环球科技印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张32 字数764千字

1993年4月第一版 1993年4月第一次印刷

印数 00,001 ~ 1,500 册

ISBN 7-5024-1147-X  
TF·271 (课) 定价8.15元

## 前 言

《轧钢机械理论与结构设计》是与《轧钢机械》(修订版)配合使用的教学参考书,以便于在学习和阅读《轧钢机械》(修订版)时加深理解教学内容和拓宽相关知识。

多年的教学实践使我们体会到,学习轧钢机械这样的专业课,仅仅囿于教科书上的那些知识是不够的,需要往深度和广度方面掘取,而浩瀚的文献资料又分散在众多的书刊之中,在现有的条件下,往往又难以查索。因此,我们编写了《轧钢机械理论与结构设计》这样一本参考书,希望能弥补这一不足。

本书的结构基本上与《轧钢机械》(修订版)有关章节相对应,考虑到配套使用,凡是教科书上已详细说明了的内容,本书不再赘述,只做进一步的扩展或细化。考虑深度和广度方面需要,增加了轧钢工艺,数学模型,轧钢机的扭振及垂振,钢管轧机参数及设备,轧钢机及其辅助设备的电力驱动,连续作业精整机组等内容。

本书分上、下两册。上册主要介绍轧钢生产工艺及设备配置、轧制工艺参数及力能参数、轧钢机主机座和主传动的主要零部件结构与计算方法、轧钢机机座刚度、厚度自动控制与板型控制、轧钢机的扭转振动及垂直振动、钢管设备。下册主要介绍轧钢机械电力驱动、剪切机械(剪切机、锯切机和飞剪机)、矫正机、卷取机、运输翻转及收集捆扎机械、连续作业精整机组。

参加上册编写的人员有:北京科技大学邹家祥(第一章、第四章一、五节)、施东成(第六章)、高永生(第四章二、三、四节);武汉钢铁学院李世品(第五章第一~五节)、何光远(第八章);天津大学冶金分校戴近渊(第二章、第三章);冶金部冶金设备研究所陈仲明(第五章第六节);冶金部北京钢铁设计研究总院高荣元(第七章);南方冶金学院齐鸿恩、朱正暘、陈显勇、欧阳镇堂(第九章)。

参加下册编写的人员有:北京科技大学陈力(第十章)、施东成(第十一章、第十三章及第十章部分)、邹家祥(第十二章);东北工学院崔甫(第十四章);冶金部北京钢铁设计研究总院丛书和(第十五章);上海冶金专科学校蒋维兴(第十六章、第十七章)。

全书由邹家祥、施东成任主编;戴近渊进行了审校。

本书图稿由李秀荣、张红旗、白凤春进行了系统整理。在此向这些同志表示感谢。

由于编者水平所限,书中不足之处,恳请读者不吝指正。

编 者

1992年10月

# 目 录

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| <b>第一章 轧钢生产工艺及设备配置</b> .....    | (1)  |
| 第一节 轧钢生产系统及轧制工艺.....            | (1)  |
| 一、轧钢生产系统.....                   | (1)  |
| 二、轧钢生产工艺流程及基本工序.....            | (3)  |
| 第二节 钢坯生产工艺及初轧机.....             | (5)  |
| 一、初轧生产工艺.....                   | (5)  |
| 二、初轧机类型及特点.....                 | (8)  |
| 第三节 型钢及线材生产工艺及设备.....           | (11) |
| 一、型钢生产工艺流程及设备配置.....            | (11) |
| 二、线材生产工艺及设备配置.....              | (16) |
| 三、冷弯型钢生产.....                   | (18) |
| 第四节 板带钢生产工艺及连续式板带轧机.....        | (21) |
| 一、板带钢生产特点.....                  | (21) |
| 二、中厚板生产工艺及轧机布置.....             | (23) |
| 三、热轧板带钢生产.....                  | (25) |
| 四、冷轧板带钢生产.....                  | (32) |
| 参考文献.....                       | (36) |
| <b>第二章 轧制工艺参数及力能参数</b> .....    | (37) |
| 第一节 轧制工艺参数的确定.....              | (37) |
| 一、轧制温度.....                     | (37) |
| 二、压下规程.....                     | (38) |
| 三、轧制速度.....                     | (42) |
| 四、张力制度.....                     | (47) |
| 第二节 轧制时接触弧上的平均单位压力.....         | (49) |
| 一、轧制力学理论发展简况.....               | (49) |
| 二、卡尔曼及奥罗万微分方程.....              | (50) |
| 三、布兰德-福特的轧件单位宽度轧制压力公式.....      | (55) |
| 四、西姆斯平均单位压力公式.....              | (64) |
| 五、其他著名的平均单位压力计算公式.....          | (68) |
| 第三节 轧制总压力及轧制力矩.....             | (71) |
| 一、轧制时变形区内接触面积的计算.....           | (71) |
| 二、轧制总压力的方向及轧制力矩.....            | (74) |
| 第四节 轧制过程的数学模型及轧制力计算机程序.....     | (90) |
| 一、冷、热板带轧制过程的能耗模型及能耗(负荷)分配法..... | (91) |
| 二、冷、热板带轧制过程的压力模型.....           | (96) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 三、弹跳方程、前滑模型及温降模型 .....       | (107) |
| 四、带钢热连轧机精轧机组的设定模型 .....      | (111) |
| 参考文献 .....                   | (114) |
| <b>第三章 轧辊及轧辊轴承</b> .....     | (115) |
| 第一节 轧辊的类型与结构设计 .....         | (115) |
| 一、轧辊的基本尺寸 .....              | (115) |
| 二、轧辊的分类与结构型式 .....           | (117) |
| 三、轧辊的常用材料 .....              | (119) |
| 第二节 轧辊设计的精确计算方法 .....        | (127) |
| 一、四辊板带轧机轧辊变形计算 .....         | (127) |
| 二、工作辊与支承辊间的接触应力 .....        | (134) |
| 三、空心轧辊的计算特点 .....            | (136) |
| 第三节 轧辊用滚动轴承 .....            | (139) |
| 一、轧辊用滚动轴承 .....              | (139) |
| 二、滚动轴承寿命计算 .....             | (140) |
| 第四节 轧辊动压轴承设计计算 .....         | (142) |
| 一、动压轴承的工作原理 .....            | (143) |
| 二、动压轴承几何参数的选择 .....          | (145) |
| 三、动压轴承的计算 .....              | (149) |
| 参考文献 .....                   | (156) |
| <b>第四章 轧辊调整与平衡机构</b> .....   | (158) |
| 第一节 轧辊调整机构 .....             | (158) |
| 一、轧辊调整机构的作用及分类 .....         | (158) |
| 二、轧辊手动调整装置的改进 .....          | (159) |
| 三、快速电动压下装置及阻塞事故 .....        | (161) |
| 四、板带轧机电动压下装置 .....           | (166) |
| 第二节 压下机构的设计计算 .....          | (169) |
| 一、压下螺丝螺纹上的压力分布 .....         | (169) |
| 二、压下螺丝和螺母的参数选择 .....         | (172) |
| 三、压下螺丝轴向载荷分布的弹性接触有限元分析 ..... | (174) |
| 四、压下螺母形状的优化 .....            | (178) |
| 第三节 压下系统最佳速比的确定 .....        | (179) |
| 一、压下系统速比设计原则 .....           | (179) |
| 二、转矩最小的最佳速比 .....            | (180) |
| 三、加速度最大的最佳速比 .....           | (180) |
| 四、行程时间最短的最佳速比 .....          | (181) |
| 五、按电机的发热条件确定最佳速比 .....       | (183) |
| 第四节 液压压下系统及控制 .....          | (188) |
| 一、液压压下装置的特点 .....            | (188) |

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 二、液压控制系统的品质指标及压下系统的参数设计 .....        | (190)        |
| 三、液压压下装置的控制方式 .....                  | (193)        |
| 第五节 轧辊的平衡装置 .....                    | (196)        |
| 一、平衡装置的作用及型式 .....                   | (196)        |
| 二、平衡力的选择与计算 .....                    | (198)        |
| 参考文献 .....                           | (201)        |
| <b>第五章 轧钢机工作机座 .....</b>             | <b>(202)</b> |
| 第一节 轧钢机架的类型与结构 .....                 | (202)        |
| 一、机架的类型 .....                        | (202)        |
| 二、机架的结构 .....                        | (203)        |
| 三、机架的设计特点 .....                      | (205)        |
| 第二节 机架的结构设计与制造 .....                 | (208)        |
| 一、机架的结构参数 .....                      | (208)        |
| 二、机架的制造 .....                        | (211)        |
| 第三节 机架的强度与刚度计算 .....                 | (212)        |
| 一、应用材料力学方法计算机架强度与刚度 .....            | (213)        |
| 二、应用弹性力学有限单元方法计算机架强度与刚度 .....        | (221)        |
| 三、机架的优化设计 .....                      | (222)        |
| 第四节 机架的研究与实验 .....                   | (230)        |
| 一、分析研究 .....                         | (230)        |
| 二、实验研究 .....                         | (236)        |
| 第五节 机架的安装 .....                      | (244)        |
| 一、底座的安装 .....                        | (245)        |
| 二、机架的安装 .....                        | (245)        |
| 第六节 换辊装置 .....                       | (248)        |
| 一、换辊装置的基本类型 .....                    | (248)        |
| 二、工作辊快速换辊装置 .....                    | (254)        |
| 三、快速换辊装置的分析比较 .....                  | (276)        |
| 四、支承辊换辊装置 .....                      | (281)        |
| 参考文献 .....                           | (288)        |
| <b>第六章 轧钢机机座刚度、厚度自动控制与板形控制 .....</b> | <b>(290)</b> |
| 第一节 机座的弹塑曲线 ( $P-H$ 图) .....         | (290)        |
| 一、机座弹性变形曲线与弹跳方程 .....                | (290)        |
| 二、机座的弹塑曲线及其应用 .....                  | (294)        |
| 第二节 厚度自动控制基本原理 .....                 | (303)        |
| 一、产生厚差的原因 .....                      | (303)        |
| 二、厚度自动控制系统的控制原理和基本型式 .....           | (304)        |
| 第三节 板形控制 .....                       | (313)        |
| 一、板形与板凸度 .....                       | (313)        |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 二、板形控制的基本原理和基本方法 .....         | (317) |
| 三、板形控制新技术和新型轧机 .....           | (323) |
| 参考文献 .....                     | (330) |
| <b>第七章 轧钢机械的传动系统</b> .....     | (331) |
| 第一节 联轴器 .....                  | (331) |
| 一、联轴器在轧钢机械上的应用 .....           | (331) |
| 二、轧钢机主传动用大型齿式联轴器 .....         | (333) |
| 三、安全联轴器 .....                  | (336) |
| 第二节 联接轴 .....                  | (341) |
| 一、轧钢机械用联接轴的设计特点 .....          | (341) |
| 二、滑块式万向接轴 .....                | (341) |
| 三、十字轴式万向接轴 .....               | (349) |
| 四、弧形齿接轴 .....                  | (353) |
| 第三节 齿轮传动和主减速机 .....            | (354) |
| 一、冶金重载圆柱齿轮承载能力计算 .....         | (354) |
| 二、主减速机 .....                   | (363) |
| 第四节 齿轮座 .....                  | (372) |
| 一、齿轮座的类型 .....                 | (372) |
| 二、齿轮座的结构 .....                 | (373) |
| 三、齿轮座的基本参数 .....               | (375) |
| 四、提高齿轮座人字齿轮轴使用寿命的措施 .....      | (376) |
| 第五节 飞轮 .....                   | (378) |
| 一、飞轮的应用 .....                  | (378) |
| 二、飞轮的尺寸和结构 .....               | (378) |
| 三、飞轮的强度计算 .....                | (380) |
| 参考文献 .....                     | (381) |
| <b>第八章 轧钢机的扭转振动及垂直振动</b> ..... | (383) |
| 第一节 轧钢机的扭转振动 .....             | (383) |
| 一、轧钢机扭转振动的力学模型 .....           | (383) |
| 二、轧钢机扭转振动固有频率及主振型 .....        | (386) |
| 三、阻尼 .....                     | (392) |
| 四、轧制力矩载荷谱 .....                | (393) |
| 五、轧制过程的瞬态响应 .....              | (394) |
| 六、轧制冲击和打滑——非线性扭转振动 .....       | (398) |
| 七、轧钢机扭振引起电机升高片共振 .....         | (410) |
| 第二节 轧钢机的垂直振动 .....             | (411) |
| 一、影响轧件厚度的轧机垂直振动 .....          | (411) |
| 二、轧钢机的高频垂直颤振 .....             | (415) |
| 参考文献 .....                     | (417) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第九章 轧管设备</b> .....      | (418) |
| <b>第一节 钢管生产</b> .....      | (418) |
| 一、热轧无缝钢管生产 .....           | (420) |
| 二、焊接钢管生产 .....             | (427) |
| 三、钢管冷加工生产 .....            | (429) |
| <b>第二节 斜轧机</b> .....       | (431) |
| 一、斜轧机的分类 .....             | (431) |
| 二、斜轧力能参数计算 .....           | (433) |
| 三、工作机座 .....               | (437) |
| 四、前台设备 .....               | (452) |
| 五、后台设备 .....               | (452) |
| <b>第三节 钢管纵轧设备</b> .....    | (455) |
| 一、钢管纵轧时作用力与力矩计算 .....      | (456) |
| 二、自动轧管机 .....              | (464) |
| 三、连续轧管机 .....              | (469) |
| 四、定、减径机和张力减径机 .....        | (473) |
| <b>第四节 周期式轧管机</b> .....    | (482) |
| 一、工作原理 .....               | (482) |
| 二、周期式轧管机工作机列 .....         | (483) |
| 三、工作机座 .....               | (484) |
| 四、喂料装置 .....               | (485) |
| <b>第五节 二辊周期式冷轧管机</b> ..... | (489) |
| 一、二辊周期式冷轧管机的工作原理 .....     | (489) |
| 二、二辊周期式冷轧管机的组成和要求 .....    | (490) |
| 三、二辊周期式冷轧管机的工作机座 .....     | (491) |
| 四、工作机座的平衡机构 .....          | (494) |
| 五、回转送进机构 .....             | (495) |
| 六、轧辊与芯棒 .....              | (499) |
| 参考文献 .....                 | (501) |

# 第一章 轧钢生产工艺及设备配置

## 第一节 轧钢生产系统及轧制工艺

学习和掌握轧钢机械的基本原理和设计内容，需要了解轧钢生产的工艺过程及轧制工艺对机械设备提出的要求。

轧制在冶金工业，特别是钢铁工业中是最主要的加工方法，目前轧制的产品已有上万种，占钢材生产总量90%以上。按轧材断面形状尺寸的不同，轧制产品分为板材、带材、型材、线材、管材及特殊品种材料等。

### 一、轧钢生产系统

从生产过程来说冶金企业包含着很多复杂的工序，由开采矿石到生产出钢材，须要经过炼铁、炼钢和轧钢等主要阶段。轧钢产品一般由钢锭或连铸坯在加热炉加热后轧出方坯、扁坯或板坯等半成品，这些半成品再次加热、轧制成型钢、板带钢、钢管等成品。为了改善轧材的质量，有的产品需要经过冷轧。图1-1表示由冶炼到轧钢的生产过程。

根据原料、产品种类及生产规模的不同，将初轧机或连铸机与各种成品轧机配套设置，组成各种轧钢生产系统。按生产规模可分为大型、中型、小型生产系统；按产品种类可分为板带钢、型钢、合金钢及混合生产系统。各种生产系统的车间组成、设备配置及具体的生产工艺又是各不相同的。

#### 1. 板带钢生产系统

板带生产的范围很广，厚度4~20mm为中板，20~60mm为厚板，60~500mm为特厚板，这些产品要求组成中厚板生产系统。热轧及冷轧薄板厚度0.2~4mm，可成卷供应或剪切成定尺供货。极薄带或称箔材，一般厚度为0.2~0.001mm，一般成卷供应。

近代所采用的连续式轧制方法，较单片生产或单机座生产方式具有连续、高速、自动化等特点，生产规模由年产20万t发展到300~600万t。采用连铸坯作为轧制板带钢的原料是今后发展的趋势，连铸坯经切断后可以经过冷却清理再进行加热和轧制，或不经冷却即进行热装炉加热和轧制，也可以只经辊道保温及补偿均热而直接进行轧制(CC-DR)，以大幅度节约热能。这些技术在国外已较普遍采用。近几年发展起来的连铸连轧技术，或称连铸-直接轧制工艺，无疑也是一种成功的生产系统。

#### 2. 型钢生产系统

型钢生产系统主要完成由钢坯或小钢锭轧制成型材的工艺。型钢的品种虽然有上万种，但按其断面形状可分为简单断面型钢（方钢、圆钢、扁钢、角钢等）和复杂断面型钢（槽钢、工字钢、钢轨等），按其生产方法又可分为轧制型钢、弯曲型钢、焊接型钢等。型钢生产系统就生产规模又分为大型、中型和小型三种生产系统，一般年产100万t以上的可称为大型型钢生产系统；年产30~100万t的为中型型钢生产系统；而年产30万t以下的称为小型型钢生产系统。

#### 3. 混合生产系统

在一个钢铁企业中可同时生产板带钢、型材或钢管时，称为混合系统。无论在大型、中

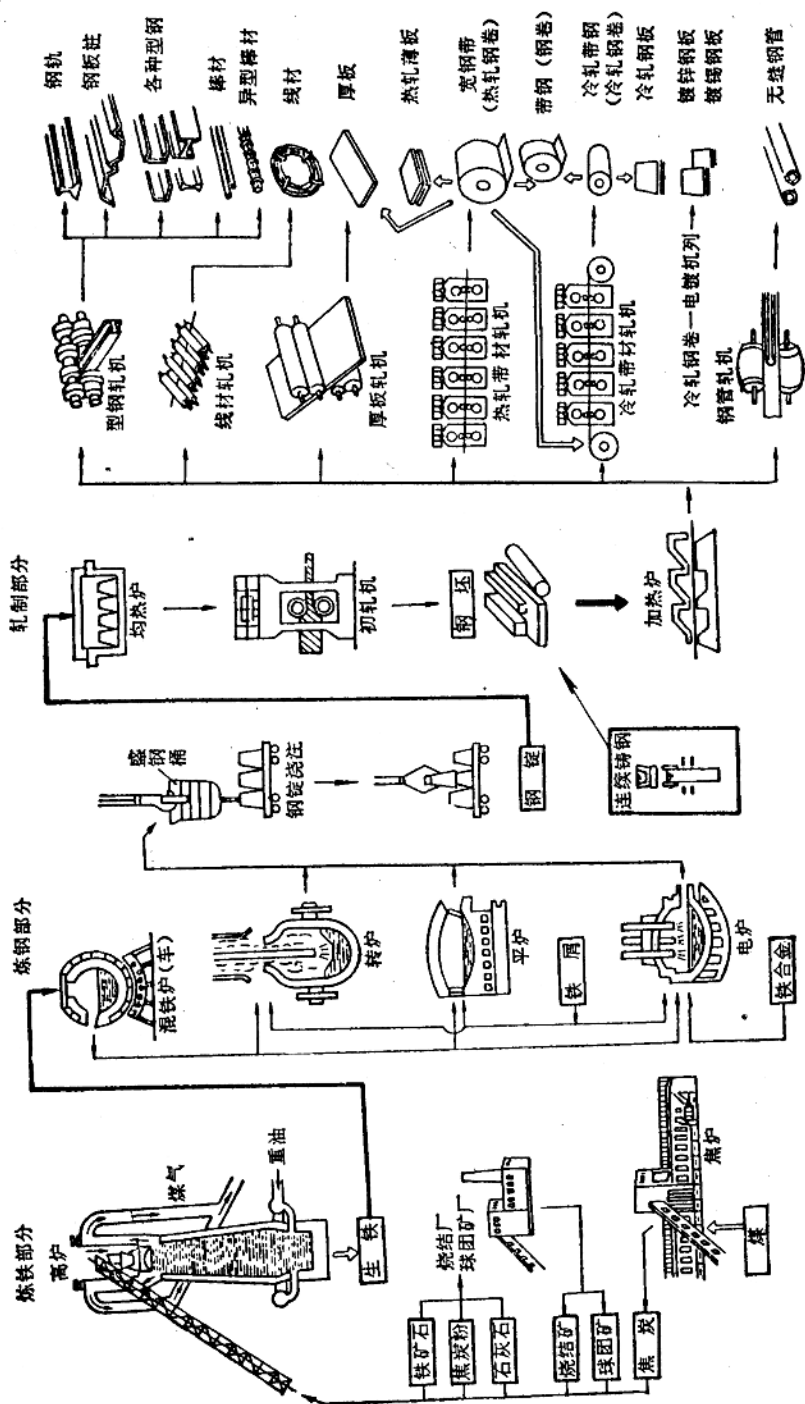


图 1-1 由冶炼到轧钢生产过程简图

型或小型的企业中，混合系统都比较多，其优点是可以满足多品种的需要。但单一的生产系统却有利于产量和质量提高。

#### 4. 合金钢生产系统

由于合金钢的用途、钢种特性及生产工艺都比较特殊，材料较为稀贵，产量不大而产品种类繁多，故常属中型或小型的型钢生产系统或混合生产系统。由于这些合金钢塑性较低，故开坯设备除轧机以外，还经常采用自由锻或连续锻压机。

### 二、轧钢生产工艺流程及基本工序

#### 1. 轧钢生产工艺流程

由钢锭或钢坯轧制成具有一定规格和性能的钢材的一系列加工工序的组合，称为轧钢生产工艺过程或工艺流程。工艺过程设计的合理与否，会直接影响产品的质量、产量及设备利用率，工艺配置也直接关系着产品的成本。

轧钢车间机械设备的形式及数量是由工艺条件为前提来确定的，在进行机械设备设计时，首先对工艺要求应有全面的了解。

碳素钢和合金钢的基本典型生产工艺流程，如图 1-2 及图 1-3 所示。

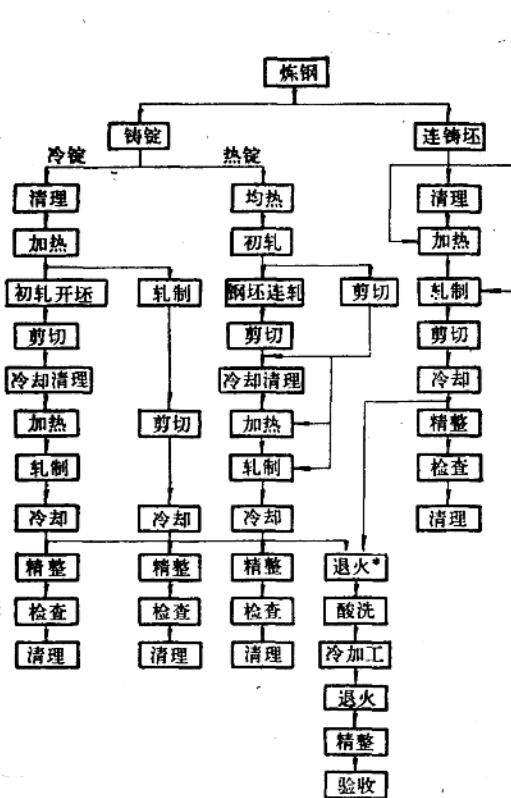


图 1-2 碳素钢和低合金钢的一般生产工艺过程  
(带 \* 号的工序有时可以略去)

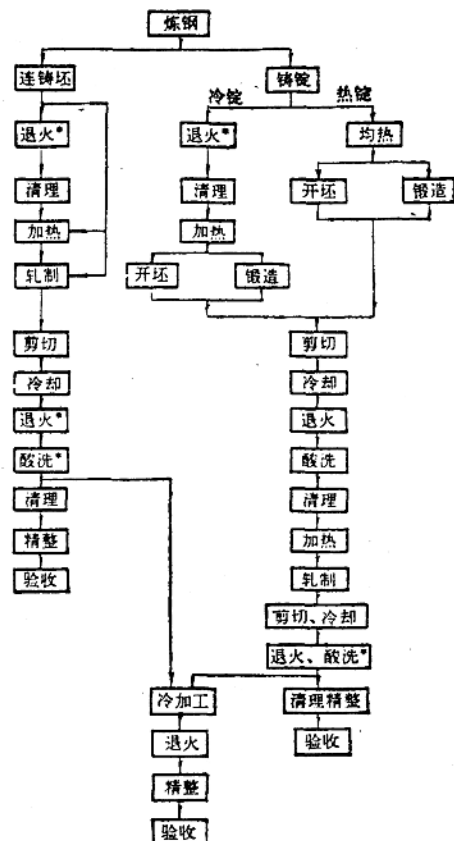


图 1-3 合金钢的一般生产工艺过程  
(带 \* 号的工序有时可以略去)

碳素钢的生产工艺流程(图 1-2)一般可分四种基本类型:1)采用连铸坯的工艺流程,其特点是不需要大的开坯机,无论是钢板或型钢,一般多是一次加热轧出成品,或由连铸坯不经加热直接轧出成品;2)采用铸锭的大型生产系统的工艺流程,应用初轧机或板坯轧机,需用二次或三次加热;3)采用铸锭的中型生产系统的工艺流程,用 650~900 二辊或三辊开坯机,采用冷锭作业及二次加热轧制;4)采用铸锭的小型生产系统的工艺流程,通常在中小轧机上用冷锭(坯)经一次加热轧制成材。

合金钢的生产工艺流程,可分为冷锭、热锭及连续铸锭三种作业方式。除原料准备、加热、轧制、冷却精整处理等基本工序外,在原料准备时还要退火,轧制后要热处理、酸洗等。

钢材的冷加工生产工艺,包括冷轧及冷拔,加工前后必须经酸洗及退火等工序。

2. 轧钢生产的基本工序

(1) 原料的准备及加热 轧钢常用原料为钢锭、钢坯及连铸坯三种。其优劣比较见表 1-1。

表 1-1 轧钢所用各种原料的比较

| 项 目      | 种 类                        |                           |                                      |
|----------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|          | 钢 锭                        | 初 轧 坯                     | 连 铸 坯                                |
| 成材率      | 低                          | 较低                        | 最高                                   |
| 设备费      | 不要特别设备                     | 需要初轧厂                     | 需要连铸设备                               |
| 原料规格形状   | 受铸型种类限制,形状也不良              | 厚度、长度可自由控制,宽度也可调整         | 厚度、宽度受结晶器限制,长度自由、形状最好                |
| 原料的钢种    | 适用于所有钢种                    | 几乎所有钢种可适用                 | 只适用于镇静钢                              |
| 表面质量     | 缺陷多                        | 良 好                       | 良 好                                  |
| 内部质量     | 头部、底部有缺陷,偏析严重              | 钢锭大,轧后便于切除缺陷部分            | 头部、底部缺陷部分所占比例很小,偏析少                  |
| 对质量的影响因素 | 加热、轧制生产能力降低,产品形状不好,故不宜大量生产 | 可从板厚要求选择合适的板坯,从厚板角度看提高了产量 | 板坯尺寸规格有限,难以按板厚要求选择合适的板坯,使加热、轧制生产能力降低 |

原料种类、尺寸和重量的选择,不仅要考虑对产品产量和质量的影响,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。为保证产品质量,原料应该完全满足成品要求的成分、机械性能、表面状态等技术要求。钢锭内部缺陷如偏析、气泡、缩孔、内部裂纹及非金属夹杂,表面缺陷如裂纹、结疤等。前者,需通过轧制和轧后处理等方式进行必要的消除,而表面缺陷在轧前必须清理,如进行火焰清理、电弧清理、风铲清理和砂轮磨削。

热轧前原料进行加热,以提高钢的塑性,降低变形抗力及改善金属内部组织和性能,便于轧制加工。

(2) 轧制制度的确定 轧制的任务是使轧件精确成型和改善金属性能。这两方面的任务,都与轧制制度(轧制规程)有关,即与变形温度、变形程度、张力制度及变形速度有关。

确定变形程度就是制定压下制度和进行轧辊孔型或辊型的设计。变形量包括总变形量和道次变形量，总变形量的大小对金属的组织及性能影响很大，要根据钢材成分及技术要求来选择；而道次变形量则要依据金属的塑性、咬入条件、机电设备承载能力、金属组织性能及成品尺寸的精度来确定。在轧制时考虑钢锭的铸造组织和咬入条件的限制，往往将开始道次的压下量取小些；当破坏了铸造组织后且咬入条件不再是主要限制条件时，应当利用高温塑性好的条件加大压下量；最后的道次要避开使晶粒粗大的临界变形量范围，以获得均匀细小的晶粒组织和尺寸精确的成品，则变形量不能太大。

变形速度或轧制速度主要影响轧机的产量，在设备及工艺条件允许的前提下应尽量提高。变形速度通过强化和再结晶的影响也将对钢材性能及轧制负荷产生影响。

60年代以来发展起来的“控制轧制”工艺，是严格控制非调质钢材的轧制过程，运用变形过程热动力学因素的影响，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，以获得具有良好综合性能的优质热轧钢材。

(3) 轧后冷却与精整 钢材热轧后，一般尚有800~900℃的温度，由此温度冷却到室温的过程中，钢材要继续再结晶，同时还要经历相变。不同的冷却方式和条件，对钢材的组织结构和性能有明显的影响。实际上，轧后冷却过程就是一种利用轧后余热进行热处理的过程。控制冷却过程就是控制冷却的速度。常用的冷却方式有空冷、水冷、缓冷、堆冷等。

钢材冷却以后，要进行一系列精整，例如切断、矫正、收集等。钢板可以根据供货要求卷成钢卷或冷切成定尺；钢管多用冷锯锯切，简单断面型材多用热剪或热锯锯切。钢材矫正多采用辊式矫正机，有时也采用压力矫补充矫直和用张力矫正机矫正板、型材。根据产品质量要求，有的产品还要酸洗、镀层，或进行必要的热处理和平整。此外，钢材的标记、包装、入库等生产管理性的工序，也属于精整范围内的作业。

(4) 钢材质量的检查 现代轧钢生产的检查工作可分为熔炼检查、轧钢生产工艺过程的检查和成品质量检查三种。检查手段及仪器都逐步实现专用化和现代化。检查皆应依据国家及专业标准来评判。

## 第二节 钢坯生产工艺及初轧机

### 一、初轧生产工艺

钢坯是生产型钢、板带钢和钢管等成品轧材的半成品，目前钢坯的生产方法主要有三种，即轧制法、锻压法和连铸法。轧制法是在初轧机或开坯轧机上把钢锭轧成各种断面形状的钢坯，是钢坯生产中最主要的一种方法。锻压法是用锻锤或水压机把钢锭锻制成各种钢坯，这种方法多用于合金钢开坯上。连铸法直接把钢水浇铸成各种断面形状和尺寸规格的钢坯，因为连铸法生产钢坯不仅可省掉模铸钢锭的许多工序，还可以省掉复杂的初轧设备，而且在节能、提高金属收得率、降低生产成本等方面具有显著的效果，有取代初轧机生产的趋势。

#### 1. 初轧生产工艺流程

初轧是位于炼铁、炼钢、初轧、成品材轧制生产流程的中间环节，其生产工序主要分为钢锭的均热、初轧轧制、剪切及钢坯精整。初轧生产的一般工艺流程如图1-4所示。各工

序的任务简略列于表 1-2。

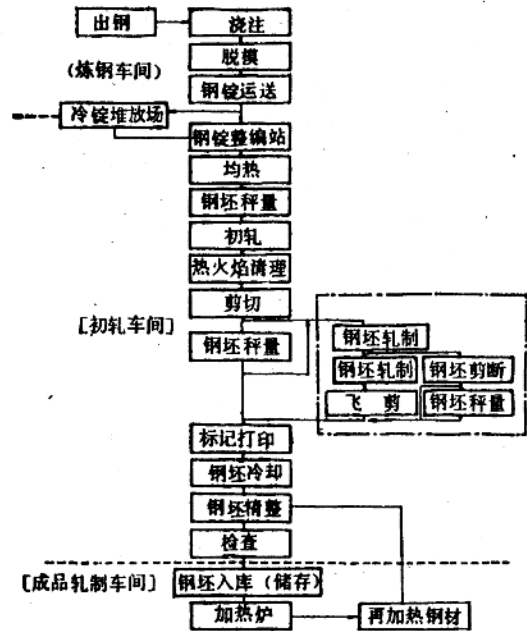


图 1-4 初轧生产的一般工艺流程

表 1-2 初轧生产各工序的作用

| 工 序          | 作用 简 要                                           | 生 产 要 点                                                                               |
|--------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 均热炉      | 以最短的时间，最少的燃料将钢锭加热至合适的温度开轧，并使钢锭内外温度均匀一致           | 要缩短和正确控制送锭时间，要使炉内温度分布均匀，要防止上部过热和底部低温，要保护好炉子，防止钢锭产生氧化铁皮，要制定最合适的装炉、出炉计划                 |
| (2) 初轧       | 以最少的轧制道次，最短的时间将钢锭轧制成规定的尺寸及优质高精度的坯材               | 在不产生裂纹的范围内，尽可能增大压下量，确定合适的钢锭与钢坯的尺寸关系，轴承的安装维修和轧辊的调整精度要高。要使轧辊充分冷却，但要防止钢坯降温，正确的孔型设计，操作要熟练 |
| (3) 热坯火焰清理   | 将热钢坯的表面缺陷按规定的深度除去                                | 控制清理速度及氧气压力与清理深度的关系。要缩短预热时间，要确保初轧的终轧温度，喷嘴的维修、安装，要谨防回火事故                               |
| (4) 剪切       | 将轧制后的钢坯头尾部产生的鱼尾及内外部的缺陷切除，并按规定的长度切断。同时要做到经济，不浪费材料 | 正确地保持刀刃的间隙，最经济、最合理、最少量地进行切头。要谨防伤痕、疵点的遗漏，要确保定尺机的精度，切断要迅速                               |
| (5) 钢锭和钢坯的称量 | 实测钢锭重量用于计算生产量和销售率的管理                             | 称量机的精度标准，缩短周期时间                                                                       |

| 工 序      | 作 用 简 要                                                                | 生 产 要 点                             |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| (6) 冷却   | 以许可的冷却速度进行高效率冷却,直至能运送和精整处理的温度                                          | 防止发生瓢曲、弯曲、氢扩散和热应力所引起的裂纹             |
| (7) 打印   | 对每块坯材打印编号,品种代号,以防止混钢种,供生产管理用                                           | 打印的字码要求清晰、不消失、没有错误                  |
| (8) 钢坯清理 | 检验钢坯,对钢坯的表面缺陷、断面残留缩孔、外形尺寸按标准分类。合格的即可出厂。不合格的经修磨清理后成为合格品,即用火焰清理或砂轮进行表面精整 | 订立检验标准,正确地检测出缺陷,要有熟练的精整技术。严格全面的劳动管理 |

初轧轧制工序的作用是用轧制方法改善钢锭表面层气泡、树枝状组织及中心缩孔,使其压合,轧制成规定的形状和尺寸。初轧轧制时主要特点为变形不均匀,开始几个道次,由于变形区长度  $l$  和轧件平均高度  $h_m$  之比 ( $l/h_m$ ) 很小,轧制变形在变形未扩展到轧件中心便停止了,因此轧件沿高度方向变形是不均匀的。图 1-5 示出了  $l/h_m$  与变形深度的关系。

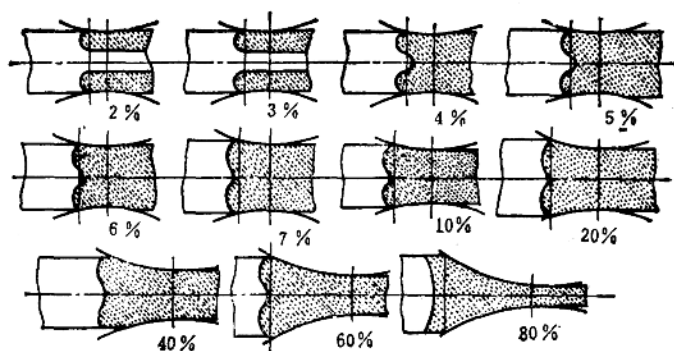


图 1-5  $l/h_m$  与变形深度的关系(当变形程度  $\varepsilon$  由 2% ~ 80% 时)

初轧机轧辊孔型均采用箱形孔型,孔型在轧辊上的布置有两种类型(图 1-6):一种是顺序式布置,另一种为对称式布置。顺序式布置的第一个孔型配置在轧辊辊身一侧,其余孔型顺序向另一侧排列,其优点是钢锭每从一个孔型轧出翻钢时,正好翻向下一个孔型,可以缩短移钢时间;其缺点是由于第一个孔型紧靠辊颈一端,使该侧轴承承载过大,且初生氧化铁皮易落入轴承内。顺序式布置多用于以轧制方坯为主的初轧机。对称式布置的第一个孔型配置在辊身中间,其余孔型分别布置在它的两侧。这种布置的优点是轧辊两端轴承承受负荷较均匀,氧化铁皮落入轴承的机会较少,缺点是轧件由一个孔型向下一个孔型横移所需时间较多。

## 2. 初轧车间平面布置及设备配置

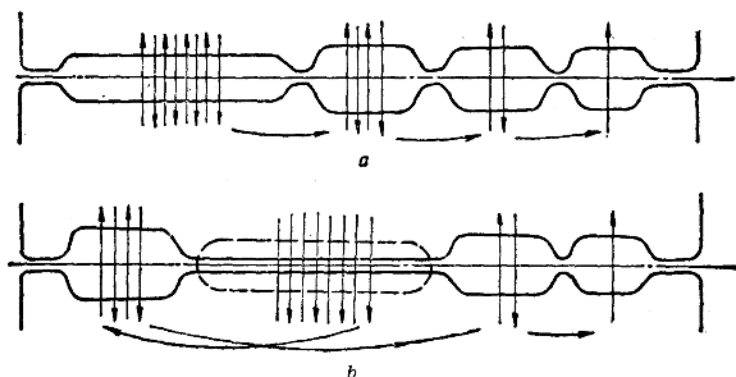


图 1-6 初轧机的孔型布置型式

a—顺序式；b—对称式

初轧车间平面布置必须根据生产品种、产量、占地面积、炼钢车间与成品轧钢车间的关系等方面来考虑。

均热炉与轧钢跨的配置影响钢锭装入均热炉与出炉到轧机的难易和轧机的运转率，其布置可分为直线型和 T 型。

图 1-7 为直线型布置的 1150 方-板坯初轧机的平面图。这类布置均热炉与初轧机成直线型，采用一台运锭车运锭，由于均热炉组数很多，运锭距离拉得很长，虽然运锭速度可达 5~7m/s，但仍难满足初轧机需要，故有的车间改用环形供锭方式。

图 1-8 为 T 型布置的 1300 方-板坯初轧机的平面图。这种布置均热炉与轧钢跨相互垂直，由一台（或两台）运锭车从两头向中间供锭，于是可使运锭车行程缩短一半，车间布置合理，操作方便，增设均热炉和轧钢设备容易，热锭输送方便。缺点是均热炉与初轧机的吊车不可共用。近年新建的现代万能板坯初轧机多采用这种布置型式。如 80 年代，我国新建的现代化双机架方-板坯初轧车间，设计年产量 350 万 t，有两台 1300 初轧机及六架单独传动的 V-H（立辊和水平辊交替布置）钢坯连轧机，全车间采用三台大型电子计算机自动控制，使用 6.4~28t 的钢锭，可生产方坯、板坯和无缝管坯。

## 二、初轧机类型及特点

初轧机按其产品可分为方坯初轧机及板坯初轧机，而按其结构型式可分为以下几种：

1) 二辊可逆式初轧机，可分为方坯、方-板坯初轧机。轧机大小以轧辊公称直径表示。方坯初轧机主要轧制方坯、矩形坯、异型坯和管坯。为扩大品种，提高生产能力，在方坯初轧机后面往往设 1~2 组钢坯连轧机。方-板坯初轧机既轧方坯又轧板坯，故辊身上刻有平轧孔和立轧孔，用立轧孔轧侧边，故上辊升降量（开口度）较大。

2) 万能板坯初轧机，为生产板坯的专用初轧机。它在水平方向上有两个轧辊，在垂直方向上还有两个立辊，在轧制过程中不用翻钢，从而使轧制效率大为提高。

3) 三辊开坯轧机，具有上、中、下三个轧辊，为不可逆式轧机。轧机前后配备摆动升降台输送轧件进入孔型。这类轧机主要用于中小型企业。

4) 钢坯连续式轧机，这种轧机一般是几台二辊式轧机的串联布置，所以轧辊转动的方向是不变的。另一种钢坯连续式轧机为水平辊和立辊组合的型式。这种轧机一般配置在初