

· 高等专科学学校教学用书 ·

# 板带钢生产

赵家骏 编

G AODENG

ZHUANKE

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

5

44

高等专科学校教学用书

# 板带钢生产

上海冶金高等专科学校

赵家骏 编

冶金工业出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

板带钢生产/赵家骏编. —北京:冶金工业出版社, 1999. 6 重印  
高等学校教学用书  
ISBN 7-5024-1057-0

I. 板… II. 赵… III. 钢板轧制-高等学校-教学参考资料  
IV. TG335.5  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 10486 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)  
北京市东茶坞印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销  
1992 年 8 月第 1 版, 1999 年 6 月第 2 次印刷  
787mm×1092mm 1/16; 9.5 印张; 224 千字; 147 页; 2501~4500 册  
14.00 元  
冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64013877  
冶金书店地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081  
(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 目 录

绪言	1
1. 中厚板生产	4
1.1 中厚板轧机的型式及其布置	4
1.2 中厚板生产工艺过程	10
1.3 中厚板轧机工艺制度的制定	15
2. 叠轧薄板、炉卷轧机和行星轧机热轧带钢生产	30
2.1 叠轧薄板生产	30
2.2 炉卷轧机热轧带钢生产	36
2.3 行星轧机热轧带钢生产	37
3. 热连轧带钢生产	39
3.1 热轧带钢生产过程及其设备	39
3.2 热带钢连轧机车间简介	60
3.3 热带钢连轧机轧制规程设定	64
4. 热轧板带的控制轧制工艺	73
4.1 控制轧制概念	73
4.2 轧制工艺参数的控制	81
5. 冷轧板带钢生产	87
5.1 冷轧板带生产工艺特点	87
5.2 冷轧工艺过程	90
5.3 冷轧板带钢轧制规程制定	112
6. 板带钢轧制中的厚度控制	119
6.1 板带钢厚度波动的原因	119
6.2 厚度自动控制的工艺基础	120
6.3 热轧板带钢厚度控制	125
6.4 冷轧板带钢厚度控制	129
7. 板带钢的板形控制	132
7.1 板形与横断面厚差	132
7.2 辊型设计	134
7.3 板形检测与辊型控制	142
参考文献	147

# 绪 言

随着国家四化建设的发展,国民经济各部门对板、带材的需要量愈来愈大,如造船、建筑、汽车工业、化工、机械、电器制造、军工、轻工及食品工业等部门都大量使用板带钢。另外,板、带材还是生产焊接钢管、焊接型钢及冷弯型钢的原料。

在工业比较发达的几个主要产钢国,板带钢在轧制钢材中所占比重已达50~60%,板带钢的生产技术水平及在轧材中所占的比例,可作为衡量一个国家轧钢生产发展水平的标志之一。随着国民经济的迅速发展,对板带材的品种规格、尺寸精度及性能等都提出了严格的要求。

## 一、板带钢的品种

板带钢按厚度一般可分为厚板(包括中板、厚板及特厚板)、薄板和极薄带材等三大类。我国一般称厚度在4.0mm以上的为中厚板(其中4~20mm者为中板,20~60mm者为厚板,60mm以上者为特厚板),4.0~0.2mm的为薄板,0.2mm以下为极薄带材或箔材。目前,箔材最薄可达0.001mm,而特厚板可厚至500mm以上。最宽可达5000mm。热轧板带钢的厚度和宽度范围见表0-1。

板带钢按钢种可分为普通碳素钢板、优质碳素钢板、低合金结构钢板、碳素及合金工具钢板、电工硅钢薄板、不锈钢板、耐热及耐酸钢板、高温合金板及双金属复合钢板等。

板带钢按用途可分为造船板、锅炉板、桥梁板、压力容器板、汽车板、镀层板、(镀锌、镀锌板等)、电工钢板、屋面板、深冲板、焊管坯、航空结构钢板、复合板及不锈钢、耐热等特殊用途的钢板等。有关板带钢的品种规格可参看国家标准。

表 0-1 热轧钢板的分类

分 类	厚度范围, mm	宽度范围, mm
特 厚 板	>60	1200~5000
厚 板	20~60	600~3000
中 板	4.0~20	600~3000
薄 板	0.2~4.0	500~2500
带 材	<6	20~1500

## 二、板带钢的技术要求

板带钢的技术要求(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),是为了满足使用上的需要而提出的,它体现为产品的标准。产品标准一般包括有品种(规格)标准、技术条件、试验标准及交货标准等方面的内容。产品标准以国家标准为主,个别产品还有部颁标准或企业标准。轧钢工作者的任务是按产品标准组织生产,并不断提高生产技术水平以满足用户更高的要求。

### 1) 尺寸精度

板带钢的尺寸精度主要是厚度精度和宽度精度,它不仅影响使用性能,而且厚度偏差

对节约金属影响很大。故在板带钢生产中一般应力争高精度轧制和按负公差轧制。板带钢的板形要平直，无浪形瓢曲。板带愈薄，则对不均匀变形的敏感性愈大，要保持板带良好的板形的困难也就愈大。板形的好坏与厚度精确度也有着直接的关系。

## 2) 表面质量

板带钢的表面质量直接影响到钢材的使用性能和寿命。故必须保证板带的表面质量。无论是厚板或薄板，其表面都不得有气泡、结疤、拉裂、刮伤、折叠、裂缝、夹杂和压入氧化铁皮，因为这些缺陷不仅损害板制件的外观，而且往往败坏性能或成为产生破裂和锈蚀的主要原因，成为应力集中的薄弱环节。例如，硅钢片表面的氧化铁皮和表面光洁度就直接败坏磁性；深冲钢板的表面氧化铁皮会使冲压件表面粗糙甚至开裂，并使冲压工模具迅速磨损；至于不锈钢板等特殊用途的板带材，还需对它们提出特殊的技术要求。

## 3) 板形

板形是板带钢的重要质量指标。无论是使用还是为了便于后道工序的生产，都要求有良好的板形，即要求板带平直，每米长度上的浪形、瓢曲、侧弯均不得超过允许的数值。板形不良是由于沿宽度上不均匀变形引起的，当轧制薄带钢时，其不均匀变形的敏感性大，故要求在生产技术上保证其板形良好。生产中要采取措施以减小轧制压力及其波动的影响，在轧制中要特别注意板形和辊型的控制。

## 4) 性能要求

板带钢的性能要求主要包括机械性能、工艺性能和某些钢板的特殊物理或化学性能。一般结构钢板只要求具备较好的工艺性能，如冷弯和焊接性能等，而对机械性能的要求不很严格。对甲类钢板，则要求保证一定的强度和塑性。重要的结构钢板，则要求有较好的综合性能，既要有良好的工艺性能又要保证有一定的强度和塑性，还要保证一定的化学成分及良好的焊接性能和常温或低温冲击韧性或一定的冲压性能、一定的晶粒组织及各方向组织均匀性等。诸如造船板、桥梁板、锅炉板、高压容器板、汽车板、低合金结构钢板以及优质碳素钢板等都属于这一类。它们的综合性能要求较严格。各种特殊用途的钢板（如高温合金板、不锈钢板、硅钢片、复合板等），它们或要求特殊的高温性能、低温性能、耐酸耐碱耐腐蚀性能，或要求一定的物理性能（如电磁性能等）及其他特殊性能。

随着生产技术的不断提高，用户对板带材的质量要求日趋严格，也对轧制、精整及热处理等生产工艺不断提出更高的技术要求。

# 三、板带钢轧机类型及其发展

## 1) 轧机类型

板、带热轧机型式繁多，通常可分特厚板轧机（或宽厚板轧机）、中厚板轧机、中板轧机、叠轧薄板轧机、炉卷轧机、行星轧机、窄带钢热轧机和热带钢连轧机等。从轧制工艺来说，有单张轧制和成卷轧制之分，除特厚板和厚板轧机外，现代化热轧机大多趋向于成卷轧制工艺，以提高生产率和成品质量。

板、带冷轧机一般都采用四辊冷轧机，有单机座可逆式和4~6机座串列式连轧机。此外，还有多辊式冷轧机，这些轧机可生产厚度小于0.1mm的极薄带材。一些特殊型式的轧机，如泰勒式轧机、摆式轧机、异步轧机和Z型冷轧机等也是生产薄带材的冷轧机，这些轧机各有特点，但尚未得到广泛推广应用。

## 2) 板带钢生产技术的发展

### (1) 大型化

国外中厚板轧机大都是3000mm以上轧机，可轧制宽3000~5000mm的宽厚钢板。目前，热带钢和冷带钢连轧机已采用2000mm以上的轧机。增大板卷单重，热连轧带卷由单重20~30t增大到45t。冷连轧带卷最大单重达60t。

### (2) 连续化和高速化

冷热薄板及带钢大都采用连轧机生产。轧机的轧制速度不断提高。热带连轧机的轧制速度已达30m/s；冷带连轧机已达到41m/s。随着轧制速度不断提高，质量要求日趋严格，则轧机的自动化程度也更趋完善。

### 3) 提高产品质量和追求节能

提高产品质量主要是尺寸精度、板形和组织、性能等方面。在板带厚度精度方面普遍采用了厚度自动控制系统（AGC），提高了带钢的厚度精度。在改善板形方面，采用HC轧机、VC轧辊、CVC技术、双交叉辊（PC）轧制等各种板形控制技术，显著地改善了板形。在提高板带钢的组织 and 性能方面，现已广泛应用了控制轧制和控制冷却技术，以提高板带钢的综合机械性能。

节能方面，目前大力应用板坯热装炉和直接轧制技术，采用板卷箱和保温罩、热轧润滑等节能技术，使能耗大大降低。板带钢生产技术的发展情况将在以后章节中分别详述。

# 1. 中厚板生产

近代由于船舶制造、桥梁建筑、石油化工等工业的迅速发展，钢板焊接构件、焊接钢管及型材的广泛应用，需要大量宽而长的优质厚板，使中厚板生产得到很快发展。中厚板生产日益趋向合金化和大型化。轧机亦日趋重型化、高速化和自动化。3m以上的四辊宽厚板轧机已成为生产中厚板的主流设备。在全世界260余台厚板轧机中，约120台轧机为1960年以后新建的，新建的中厚板厂年产量高达200~240万吨。

## 1.1 中厚板轧机的型式及其布置

中厚板轧机从机架结构来看有二辊可逆式、三辊劳特式、四辊可逆式、万能式和复合式等几种型式；从机架布置来看，有单机架、顺列或并列双机架及多机架连续式或半连续式轧机之别。

### 1.1.1 中厚板轧机

1.1.1.1 二辊可逆式轧机 二辊可逆式轧机如图1-1a所示，轧辊直径一般为800~1300mm，辊身长度达3000~5500mm，这种轧机的主要优点是轧辊可以变速可逆运转，因此可采用低速咬入、高速轧制以增大压下量来提高产量，并可选择适当的轧制速度以充分发挥电机的潜力，并且由于它具有初轧机的功能，故对原料种类和尺寸的适应性较大；但这种轧机辊系的刚性较差，而且不便于通过换辊来补偿辊型的剧烈磨损，故轧制精度不高。一般用作粗轧机或开坯机。

1.1.1.2 三辊劳特式轧机 它是由二辊式轧机发展而来，一般上、下轧辊直径为800~850mm，中辊直径为500~550mm，辊身长度为1800~2300mm，传动功率为1500~3000kW。这种轧机的主要优点是：1) 采用交流感应电动机传动以实现往复轧制而无须大型直流电动机，并采用飞轮来减小电机容量，这样就大大降低了建设投资；2) 可以显著降低轧制压力和能耗，并使钢板更易延伸；3) 由于中辊易于更换，因此便于采用不同凸度的中辊来补偿轧辊的磨损，以提高产品精度和延长轧辊使用寿命。但三辊劳特式轧机因中辊是从动辊而降低了其咬入的能力，轧机前后升降台等机械设备也较笨重复杂，且辊系刚性也不够大。所以这种轧机不适于轧制精度要求高或厚而宽的产品，过去常用以生产4~20mm的中板，现在由于四辊轧机的发展，此种轧机一般已不再兴建。但由于其投资少、建厂快，故在中小型企业中仍在继续使用。三辊劳特式轧机的轧辊配置如图1-1b所示。

1.1.1.3 四辊可逆式轧机 它是现代应用最广泛的中厚板轧机。它集中了二辊轧机和三辊劳特式轧机的优点，既降低了轧制压力，又大大增强了轧机刚性。因此这种轧机适合于轧制各种尺寸规格的中厚板，尤其是适合轧制宽度、精度和板形要求较严的厚板。但这种轧机造价较高，故为节省投资我国有些工厂只用作精轧机。

四辊可逆式轧机有直径相等的上下工作辊和上下支承辊（图1-1c），其直径各在700~1200和1100~2400mm范围，辊身长度为1200~5500mm，轧机大多驱动工作辊，轧机转速0~60~120rpm。



1.1.1.4 万能式轧机 万能式轧机是在机前或机后具有一对或两对立辊的可逆式轧机（二辊式或四辊式），其轧辊布置如图1-1d。万能式轧机的优点是能轧制出齐边钢板，轧出的成品不需剪边，故降低了金属消耗，提高了成材率。

实践证明：立辊轧边只是对于轧件宽厚比 $\left(\frac{B}{H}\right)$ 值小于60~70时，例如，热连轧带钢粗轧阶段的轧制情况起作用，而对于宽厚板轧机，则由于轧件宽厚比均大于60~70，立辊轧边时钢板容易产生纵向弯曲，这样不仅起不到轧边的作用，反而使操作复杂，容易造成事故；并且立辊与水平辊又难以实现同步运行（即满足金属秒流量相同），要实现同步又必须增加电气控制装置并使操作复杂。

1.1.1.5 复合式轧机 它是一种既能轧制中厚板又能轧制板坯，甚至既能用作四辊又能用作二辊的复合式轧机，它适用于产量不大而品种多样的工厂。但其结构复杂，投资效果差，故发展不大。

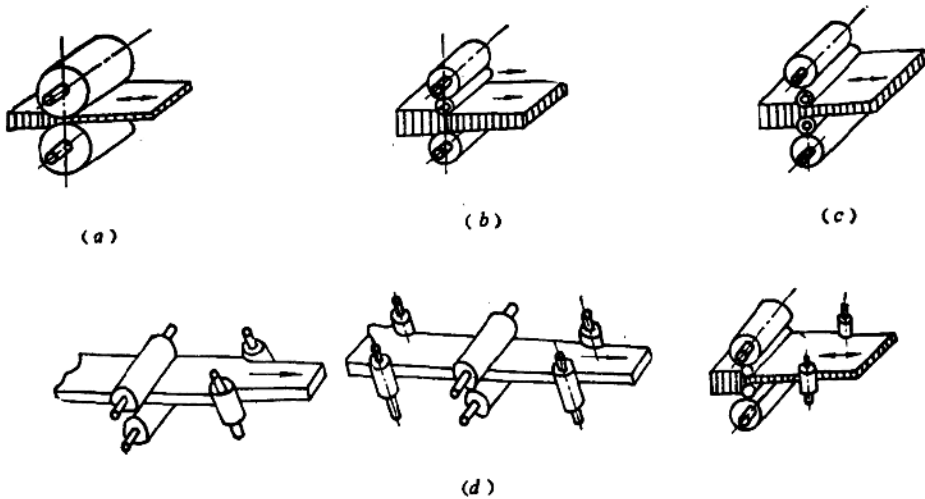


图 1-1 各种中厚板轧机

a—二辊可逆式轧机；b—三辊劳特式轧机；c—四辊可逆式轧机；d—万能式轧机

表1-1为六十年代和七十年代所建厚板轧机特性的比较，从中可看出轧机的发展情况。新的厚板轧机的特点是：轧辊直径大、轧制压力极高、轧机刚性大、电机容量大、轧制剪速度高、轧制宽板的精度高等。

### 1.1.2 中厚板轧机的布置

早期的中厚板轧机均为单机架，其后发展为双机架、多机架布置。

1.1.2.1 单机架轧机 单机架布置的中厚板车间具有投资省、建厂快，适用于产品品种广且生产规模不大的中型钢铁企业。在当前中厚板生产中，单机架轧机仍有一定的数量。

2300中板车间在我国较多，轧机为三辊劳特式，轧辊尺寸为 $\phi 850/\phi 550/\phi 850 \times 2300$  mm，由一台带飞轮的2000kW交流电机经人字齿轮座驱动上下轧辊，轧制速度为2.62m/s，允许最大轧制压力为15000kN，允许最大轧制力矩为1200kN·m。轧件在轧机上由粗轧到

精轧一次轧成钢板。2300单机座中厚板车间平面布置见图 1-2，车间年产量可达 20 万吨。2300 单机中厚板车间为我国 1971 年的通用设计，供各省市用。

表 1-1 厚板轧机特性比较

特 性	六十年代建造的轧机	七十年代建造的轧机
工作辊直径, mm	900~1000	1000~1200
支持辊直径, mm	1500~1800	2000~2400
牌坊断面, cm <sup>2</sup>	6500~8000	约10000~11000
牌坊重量, t	180~205	250~450
最大轧制压力, kN	30000~50000	45000~100000
最大轧制力矩, kN·m	4000~5000	6000~8000
最大轧制速度, m/s	4~5	5~7.5
主传电动机功率, kW	6000~9000	17900(24000马力)
最大轧件长度, m	30	60
除鳞高压水压力, MPa	10~12	14.5~18
厚度控制、辊型控制	—	AGC、液压弯辊
自动化	可能有压下程序控制	计算机全面自动控制
标准厚度公差, mm	0.25~0.30	0.10~0.15
标准宽度公差, mm	40~50	10~15
生产能力(双机架), 万t/年	100~120	180~240

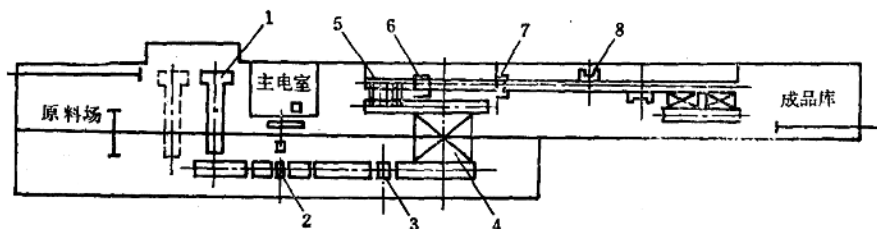


图 1-2 2300 中板车间平面布置图

1—加热炉；2—轧钢机；3—11 辊矫直机；4—冷床；5—翻板机；6—划线小车；  
7—横切侧刀剪；8—纵切侧刀剪

4200 宽厚板轧机是我国自行设计、制造的。4200 轧机采用 8.5~40t 钢锭作原料，轧机是一台四辊万能式轧机，立轧辊尺寸为  $\phi 1000 \sim \phi 900 \times 1100 \text{mm}$ ，最大开口度为 4200mm，最小开口度为 800mm，允许最大轧制压力为 7000kN；四辊轧机工作辊尺寸为  $\phi 950 \times 4200 \text{mm}$ ，支承辊为  $\phi 1800 \times 4200 \text{mm}$ ，允许最大轧制压力为 42000kN，最大轧制力矩为  $2 \times 2300 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，由两台 2300kW 的双电枢直流电机驱动工作辊，轧辊速度为 0—2—4m/s，可轧制的产品厚度为 8~250mm、宽 3900mm，最长达 27m 的各种宽厚钢板。此外，它也可用钢锭作原料进行开坯生产，以满足本厂的板坯需要（见图 1-3）。

4200 轧机轧出的钢板，经侧刀剪剪去头尾部后，送至布置于辊道两侧的二台侧刀剪组成的切边剪处，同时按要求剪去两边，该剪最大开口度为 4200mm。然后在冷床上进行在线冷却，当冷却至 300℃ 以下时，经翻板检查后，进行精整加工，它可以在线对钢板进行常化处理，即由移送台架将钢板送入常化炉处理作业线，也可以采用离线进行热处理加工。

该车间的设计能力为40~60万吨。该轧机的轧制方法和压下规程见1.3.2。

1.1.2.2 双机架轧机 双机架轧机布置是现代中厚板轧机的主要型式。它把粗轧和精轧两个阶段的不同任务和要求分到两台机架上去完成。其主要优点是：不仅轧机产量高，而且产品表面质量、尺寸精度或板形都比较好，并延长了轧辊使用寿命，减少了换辊次数等。双机架轧机的粗轧机可采用二辊可逆式、三辊劳特式或四辊可逆式；精轧机采用四辊可逆式。目前，我国以二辊粗轧加四辊精轧的型式和在原有三辊劳特式轧机的基础上扩建四辊精轧机的改造方案为较普遍。美国、加拿大采用二辊加四辊的型式较多，而欧洲和日本则大多采用四辊粗轧加四辊精轧的型式，它优点是：粗、精轧道次分配较合理，产量高；使进入精轧机的来料断面较均匀，质量好；粗轧可以单独生产，较灵活。但粗轧采用四辊轧机，为保证咬入稳定和传递扭矩，须加大工作辊直径，因而轧机结构笨重而复杂，投资也增大。故究竟何种型式合适，须视具体情况而定。日本自1967年以后兴建及改建的六个厚板厂皆为四辊粗轧加四辊精轧的型式。

图1-4为日本住友金属鹿岛制铁所厚板工厂的平面布置。该厂设有两座步进式连续加热炉和室状加热炉。轧机性能见表1-2。该轧机采用四辊粗轧机加四辊精轧机的双机架布置，另有四辊可逆式热矫直机、步进式冷床、自动检查划线装置和打印机等设备。全厂面积137780m<sup>2</sup>，年产量为192万t。

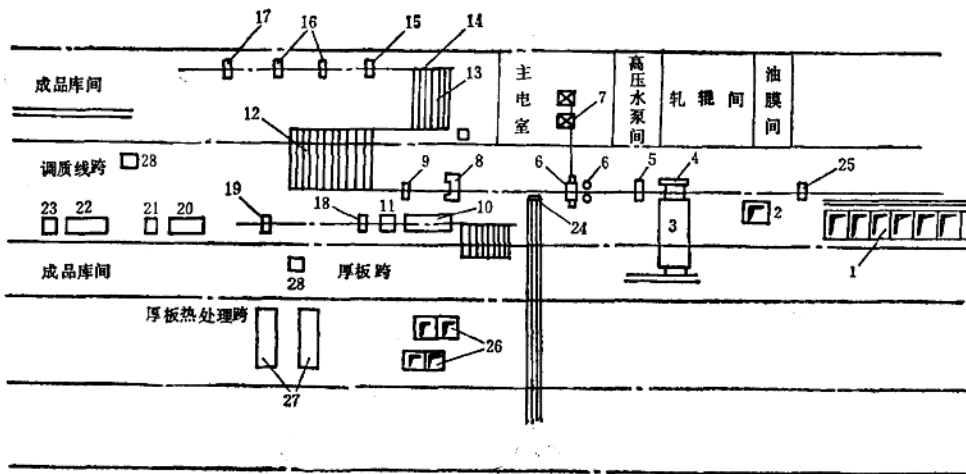


图 1-3 单机座4200轧机特厚板车间图

- 1—均热炉；2—车底式炉；3—连续式炉；4—出料机；5—高压水除鳞箱；6—4200万能式钢板轧机；7—发电机-电动机组；8—热剪；9—热矫机；10—常化炉；11—无压力淬火机；12—冷床；13—翻板机，检查修磨台架；14—辊道；15—双边剪；16—一定尺剪；17—打印机；18—热矫直机；19—冷矫直机；20—淬火炉；21—淬火机；22—回火炉；23—淬火机；24—收集装置；25—运锭小车；26—缓冷坑；27—外部机械化炉；28—翻板机

2800双机座中厚板车间（图1-5）为我国所采用，该车间设计年产量为56万吨/年，产品规格为4~50×1000~2600×~18000mm的碳素及合金中厚板，所用坯料为115~250×1000~1550×1500~2500mm，单重为750~7500kg的初轧坯。该车间有四段式连续端进

表 1-2 我国中厚板轧机

序号	厂名	投产年代	轧机		轧机水平, 年代	生产能力 10 <sup>4</sup> t
			型式	尺寸, mm		
1	舞钢	1978.9	4h	4200	50	40
2	武钢	1966.8	2h + 4h	2800	50	80
3	鞍钢半连轧厂	1958.7	2h + 4h + 4h × 6	2800 × 2 + 1700 × 6	50	20
4	鞍钢一中板	1936	3h	2300	30~40	23
5	重钢五厂	1965.12	2h + 4h	2350 + 2450	50	20
6	上钢三厂	1959	3h + 4h	2350 + 2350	50	30
7	天钢中板	1958	3h	2300	30~40	15
8	昆钢	1971.5	3h	2300	30~40	15
9	营口中板	1972.6	3h	2300	30~40	10
10	安钢	1974.11	3h	2300	30~40	12
11	韶钢	1971.12	3h	2300	30~40	12
12	广钢	1958	3h	1700	30~40	5
13	上钢一厂	1972.7	2h + 4h + 4h × 5	2300 × 2 + 1200 × 5	50	20
14	南京钢厂	1977.10	4h	2300	50	12
15	马钢	1975.4	4h	2300	50	15
16	邯钢	1971.12	3h	2300	30~40	12
17	太钢五轧	1966.10	2h + 4h + 炉卷	2300 × 2 + 1700	50	10
18	柳钢	1974.9	3h	2300	30~40	15
19	临钢	1974.11	3h	2300	30~40	12
20	济钢	1960.5	3h	2300	30~40	12
合计						412

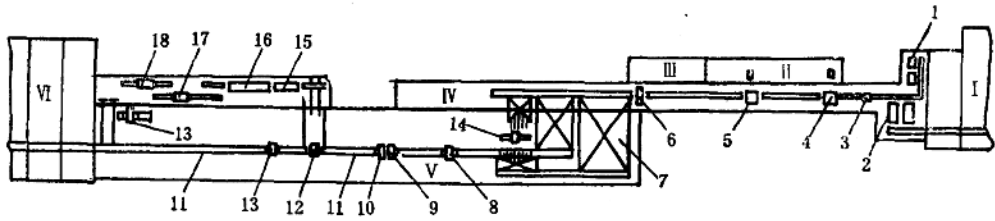


图 1-4 日本住友金属鹿岛制铁所厚板工厂平面布置

I—板坯场, II—主电室, III—轧辊间, IV—轧钢跨, V—精整跨, VI—成品库  
 1—室状炉, 2—连续式炉, 3—高压水除鳞机, 4—粗轧机, 5—精轧机, 6—矫直机, 7—冷床, 8—一切头剪, 9—双边剪, 10—纵剪, 11—堆垛机, 12—端剪, 13—超声波探伤设备, 14—压力矫直机, 15—淬火机, 16—热处理炉, 17—涂装机, 18—喷砂设备

端出加热炉三座, 并预留有第四座加热炉的位置。炉宽6.15m, 炉长30.3m, 采用高压喷射式烧嘴和高炉焦炉混合煤气。板坯出炉后, 先经大立辊轧机 ( $D \times L \approx 1000 \times 600$ ) 轧边破鳞, 同时用高压水 (100大气压) 除鳞, 然后进入二辊可逆式粗轧机轧制 ( $D \times L = 1150 \times 2800$ )。该轧机电机功率为  $2 \times 3500$  马力, 转速为  $0-30-60$  rpm。粗轧机轧到所需厚度后进入精轧机轧制。精轧机为四辊可逆式轧机, 工作辊直径为800mm, 支承辊直径为1400mm, 辊身长度为2800mm, 电机功率7500马力, 转速为  $0-60-120$  rpm。钢板经精轧后即送入热矫直机及冷床进行矫直和冷却, 1号矫直机为9辊式矫直机, 可矫直4~

表 1-3 国外某些厚板轧机的性能

项 目 \ 工 厂		西德迪林根钢铁公司	日本水岛制铁 所第二厚板厂	美国钢铁公司巴敦厂	
				粗 轧 机	精 轧 机
轧机型式 (建成年月)		单机四辊可逆 (1971)	单机四辊可逆 (1976)	二辊可逆 (1970)	四辊可逆 (1970)
轧辊尺寸, mm 工作辊/支承辊		φ1100/2160 × 4300	φ1200/2400 × 5490	φ1345 × 4060	φ990/1830 × 4096
牌坊	断面, cm <sup>2</sup>	10625			
	重量, t	450	380		
最大轧制压力, kN		90000	80000		
电机容量, kW		9200 × 2	8000 × 2	2240 × 2	4490 × 2
轧辊转速或线速 r/min, m/s		<110 ~6.1	3.14~7.54	30/60	40/100 5.18
除鳞方式		高压水16.85, MPa		高压水11.25, MPa	
年产量, 万t		100		>100	
其他 (原料等)		计算机控制AGC装置 弯辊装置	全面计算机控制		

项 目 \ 工 厂		苏联亚速钢铁厂		日本住友公司鹿岛厂		英国达尔策耳厂 (预应力机架)
		粗 轧 机	精 轧 机	粗 轧 机	精 轧 机	
轧机型式 (建成年月)		四辊可逆 (1971)	四辊可逆 (1971)	四辊可逆 (1974)	四辊可逆 (1970)	单机四辊可逆 (1969)
轧辊尺寸, mm 工作辊/支承辊		φ1130/1805 × 3610	φ1030/1805 × 3610	φ1005/2005 × 5340	φ1005/2005 × 4725	φ1000/1840 × 4340
牌坊	断面, cm <sup>2</sup>	8700	8700	10000	10000	
	重量, t	250	250			186
最大轧制压力, kN		46000	46000	90000	83000	60000
电机容量, kW		7010 × 2	8950 × 2	4490 × 2	5000 × 2	
轧辊转速或线速 r/min, m/s		40/80	40/70 5.96	40/80	50/100 5.18	0-40-80 ~4.2
除鳞方式		高压水16.85MPa		高压水17.0MPa		高压水
年产量, 万t		188		180		44
其他 (原料等)		计算机控制、AGC、液压弯辊				计算机控制、AGC、 液压弯辊

25mm的钢板, 2号矫直机为7辊矫直机, 矫直15~50mm的钢板。矫直机前后有喷水冷却装置。经翻板检查后钢板根据不同规格分别进入两条精整加工线, 厚度4~25mm钢板

经圆盘剪剪边，25~50mm的钢板则由铡刀剪切边。为了生产合金及优质钢板，车间还设有热处理区，该区有辊底式常化炉、压力淬火机及罩式炉等。

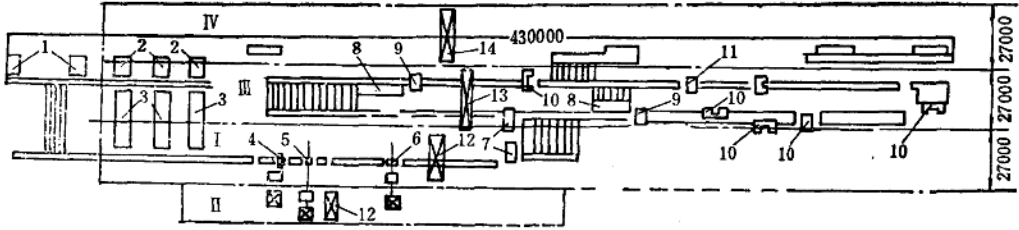


图 1-5 2800轧机设备布置

- I—主跨，II—主电室，III—精整跨，IV—成品库  
 1—上料装置；2—推钢机；3—加热炉；4—立辊轧机；5—二辊可逆式轧机；6—四辊万能式轧机；7—矫直机；8—翻板机；9—划线机；10—铡刀剪；11—圆盘剪；  
 12—75/15t吊车；13—20/15t吊车；14—15t吊车

国内外中厚板轧机的型式和性能如表1-2和表1-3所示。

## 1.2 中厚板生产工艺过程

中厚板生产工艺过程包括原料准备、加热、轧制和精整等工序。

### 1.2.1 原料准备和加热

轧制中厚板所用的原料可分扁钢锭、初轧板坯、连铸板坯和压铸坯四种。扁钢锭缺陷很多，金属消耗大，压缩比小，轧制钢板的质量差，因此只在轧制特厚板或某些特殊钢时，以及在得不到板坯原料时才用扁钢锭。压铸坯的应用尚不普遍。初轧板坯因可进行中间清理，且压缩比大，故钢板质量好。连铸坯正得到迅速推广，其总的金属消耗小，使轧材成材率比初轧坯高2~4%。原料种类、尺寸和重量的选择，不仅要考虑它对产量和钢板质量的影响（例如，考虑压缩比和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和生产的可能性。

从保证钢板具有合格的组织和性能来看，连铸坯的总压缩比应该高些好，这不仅可以提高性能，而且可以改善表面质量。生产实践表明，采用厚150mm的连铸坯生产厚度12mm以下的钢板较为理想。实际上，对一般用途的钢板，压缩比取6~8以上；重要用途钢板，取8~10以上。连铸坯厚度一般为180~300mm，宽度为800~2000mm，长度则取决于加热炉宽度和钢板所需的重量。目前，板坯宽度可达2500mm，单重达45t。

中厚板用的加热炉有连续式加热炉、室状炉和均热炉三种。室状炉和均热炉多用于加热特重、特厚及特短的钢锭和钢坯；连续式加热炉适用于品种少批量大的生产。近年来兴建的厚板连续式加热炉多为热滑轨式或步进式。

加热温度的确定，对不同的钢种其加热最高温度是不同的。最高加热温度是根据温度对金属塑性的影响以及可能出现过热、过烧等缺陷来确定的。但是，最高加热温度又受到终轧温度的限制。所以，一般最高加热温度较铁碳平衡图的固相线低100~150℃，终轧温度比奥氏体分解线高30~50℃；对于含碳量大于0.8%的过共析钢，终轧温度应低于奥氏体的分解温度线（ES线），以破碎二次渗碳体，改善和提高钢的机械性能。

## 1.2.2 轧制

中厚板轧制的任务是轧出尺寸符合规格要求的成品钢板。轧制过程大致可分为除鳞、粗轧和精轧三个阶段。

### 1.2.2.1 除鳞

完成加热的原料需清除其表面的氧化铁皮。目前,采用高压水除鳞箱及在轧机前后设置高压水喷嘴的除鳞方法都具有投资少、效果好的特点,它可以满足除鳞的要求因而被广泛采用。此外,还有投以竹枝、杏条、食盐等爆破除鳞的人工方法以及采用一台大立辊轧机轧边并加高压水除鳞的方法。高压水除鳞箱对普碳钢的喷水压力为12MPa,对合金钢则需17MPa以上,甚至高达20MPa。

### 1.2.2.2 粗轧

粗轧的任务是将板坯或扁锭展宽到钢板所需的宽度,并进行大压下延伸,使其尽快地轧至钢板精轧前的厚度。为此,粗轧阶段有几种轧制操作方法:

(1) 纵轧法 所谓纵轧是钢板延伸方向与原料(坯、锭)纵轴方向相一致的轧制方法。当板坯宽度大于或等于钢板宽度时,可采用纵轧法轧制。这种操作方法的轧机产量较高,但由于金属始终沿一个方向延伸,使钢中偏析夹杂等呈条状分布,造成钢板组织和性能的各向异性,使横向性能(如冲击韧性)不变坏。

(2) 横轧法 所谓横轧是钢板延伸方向与原料纵轴方向相垂直的轧制操作方法。当板坯长度大于或等于钢板宽度时可以采用此法。横轧法可以减少钢板组织和性能的各向异性。

(3) 横轧-纵轧法(即综合轧制法) 横轧-纵轧法是将板坯转90°进行横轧,将板坯宽度延伸至钢板所需的宽度,接着将板坯再转90°进行纵轧。这种操作方法又称为综合轧制法,是中厚板轧制最常用的方法。其优点是:板坯宽度与钢板宽度配合灵活,且可提高钢板横向性能,减少钢板的各向异性,因而它更适合于以连铸坯为原料的钢板生产;缺点是轧机产量有所降低。

(4) 角轧-纵轧法 所谓角轧是使板坯纵轴与轧辊轴线呈一定角度送入轧辊进行轧制的方法(图1-6)。采用角轧法轧制,使板坯宽度方向延伸到钢板所需宽度时,拨正轧件,使其轴线与轧辊轴线平行,沿轧件长度方向轧制到底。角轧的优点是可以改善咬入条件、提高压下量和减少咬入时的冲击;其缺点是需要拨钢操作,延长了轧制间隙时间,降低了产量,且拨钢操作难以正确控制钢板呈矩形,使切损增大,成材率有所降低,目前采用机械拨钢,难以实现自动控制。因此,在三辊劳特式轧机上,当板坯较窄时采用角轧展宽。

在角轧时,送入角 $\delta$ 一般在15~45°范围内。先第一对角线轧制1~2道次后,再将轧件拨至第二对角线的送入角进行轧制,使轧件延伸至钢板所需宽度并使其呈矩形。角轧后轧件宽度变化由下式求出:

$$b = \frac{B\mu}{\sqrt{1 + \sin^2 \delta (\mu^2 - 1)}}$$

式中  $B$ 、 $b$ ——轧制前、后钢板的宽度;

$\delta$ 、 $\mu$ ——该道送入角和延伸系数。

送入角 $\delta$ 根据轧制需要来选取。特定送入角下的计算式为

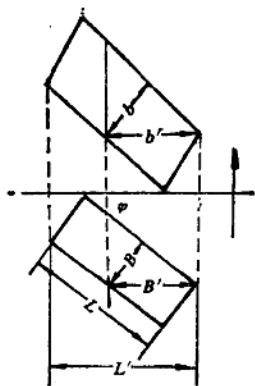


图 1-6 角轧

$$\delta = 45^\circ \quad b = \frac{1.4\mu B}{\sqrt{\mu^2 + 1}}$$

$$\delta = 30^\circ \quad b = \frac{2\mu B}{\sqrt{\mu^2 + 3}}$$

$$\delta = 20^\circ \quad b = \frac{2.9\mu B}{\sqrt{\mu^2 + 7.5}}$$

$$\delta = 15^\circ \quad b = \frac{3.86\mu B}{\sqrt{\mu^2 + 14}}$$

为简化计算，可将角轧宽度公式作成曲线，如图 1-7 所示。

角轧时钢板最大接触宽度为

$$\text{当 } \delta > \arctan \frac{B}{L} \text{ 时 } B' = \frac{B}{\sin \delta}$$

$$\text{当 } \delta < \arctan \frac{B}{L} \text{ 时 } B' = \frac{L}{\cos \delta}$$

角轧时轧件轮廓宽度  $L'$  为

$$L' = (B \cdot \sin \delta + L \cdot \cos \delta) \mu$$

角轧后轧件实际长度  $l$  为

$$l = \frac{H \cdot B \cdot L}{b \cdot h} = \frac{G}{\gamma \cdot h \cdot b}$$

式中  $G$ ——轧件重量， $t$ ；

$\gamma$ ——钢的比重，为  $7.8t/m^3$ 。

1.2.2.3 精轧 对双机架轧机，第一台称为粗轧机，第二台称为精轧机，此时两个机架的轧制负荷分配应该比较均匀。单机架轧机则开头几道次为粗轧阶段，最后3~5道次为精轧阶段。粗轧的任务是展宽（控制宽度）和大延伸；精轧的任务是控制钢板厚度、板形、性能和表面质量。

### 1.2.3 精整

厚板精整主要包括矫直、冷却、划线、剪切、检查及清理表面缺陷、热处理等工序。

中厚板在轧制后必须立即进行热矫直，使板形平直。热矫直机有七辊、九辊、十一辊等几种，现在逐渐采用带支承辊的热矫直机。

冷矫直机一般是离线布置的，它可用作热矫后的补充矫直和合金钢板热处理后的矫直。

钢板矫直后送到冷床进行冷却。中厚板冷却的目的，既要获得较好的机械性能和金属内部组织结构，又要使钢板具有良好的工艺性能，因此，选择合理的冷却方式极为重要。

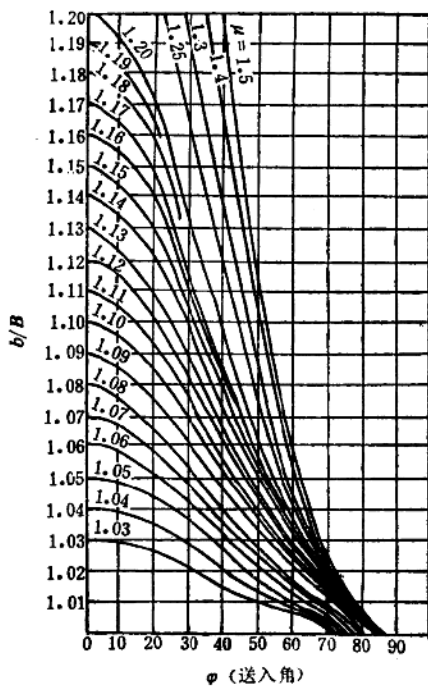


图 1-7 角轧计算图



中厚板的冷却方式有自然冷却和强迫冷却两种，大多数碳素钢板、低合金钢板多采用在线自然冷却或喷水强迫冷却。对高合金钢板和高碳钢板可将热钢板堆垛起来，在空气中缓慢冷却。

钢板用冷床有卡爪式、花辊式、托辊链式和步进式四种结构形式。卡爪式易使钢板与卡爪接触处发生弯曲变形，同时可能划伤钢板或产生黑印而造成冷却不均匀。步进式冷床最为理想，它保证钢板在前进中不会划伤，整块钢板冷却均匀。

经热矫冷却至150~200℃以下的中厚板，可进行检查、划线和剪切。翻板检查能对钢板上下表面进行检查，以判断钢板是否存在有划伤、压痕等缺陷。除表面检查外，还可采用钢板在线超声波探伤以检查钢板内部缺陷。划线可由人工划线和划线小车进行划线。安装在辊道上方，并可沿辊道方向滑行的划线小车下方安装两对可升降的画线轮，其中，一对辊轮画纵线，一对辊轮画横线，辊轮间距可随意调整，当划线时，将辊轮放下与钢板接触；小车沿辊道滑行，轮中的颜色粉即在钢板上划出线条。

中厚板车间常用的剪切机有侧刀剪和圆盘剪二种。随着生产规模的扩大，钢板剪切设备性能和布置也作了很大改进。横切剪型式由侧刀剪和摇摆剪改进为滚切剪；纵切剪由连续双圆盘剪所替代。在剪切线布置上，设置双边剪和横切剪的联合机组。

#### 1.2.4 中厚板热处理

热轧钢板热处理主要有常化、淬火加回火（调质处理）、退火及缓冷等。厚度为15~20mm以下的碳素钢板及低合金结构钢板多用常化处理，因为常化处理能得到较细小且均匀的铁素体晶粒及碳化物分布，故保证钢板具有较高的综合机械性能。钢板常化处理设备大多用辊底式常化炉。常化处理的生产率较高，成本低。部分结构钢板的常化热处理工艺列于表1-4。

表 1-4 部分低合金结构钢及碳素钢常化热处理工艺

钢种	处理方式	温度 ℃	时间, s/mm	冷却方式
15MnTi等	常化	1~2段950~960 3~5段910~930	1.5	空冷
20Cr	常化	880~900	2	空冷
40Cr	常化	860~880	2	空冷
10、15、20	常化	880~900	2	空冷
25、30、35	常化	860~880	2	空冷
40、45、50、55	常化	840~860	2	空冷
16Mn、15Mn、16MnRe	常化	880~900	2	空冷

淬火加回火的调质处理是厚板常用的热处理方式之一，它使厚板具有较高的机械性能，特别是低温韧性更高了，例如，在低温（-20℃、-40℃）条件下，A3钢板常化后的冲击值提高不大，而经淬火加回火处理后，从轧后-40℃冲击值的5N·m/cm<sup>2</sup>提高到46~60N·m/cm<sup>2</sup>。

某些合金钢中厚板为了消除白点、内应力和降低硬度，需进行退火、高温回火或缓冷处理。表1-5为某厂部分中厚板及卷板的退火、高温回火工艺制度。

#### 1.2.5 钢板质量检查

钢板质量检查根据国家、部颁或企业的产品技术标准和有关的生产协议进行，它包括