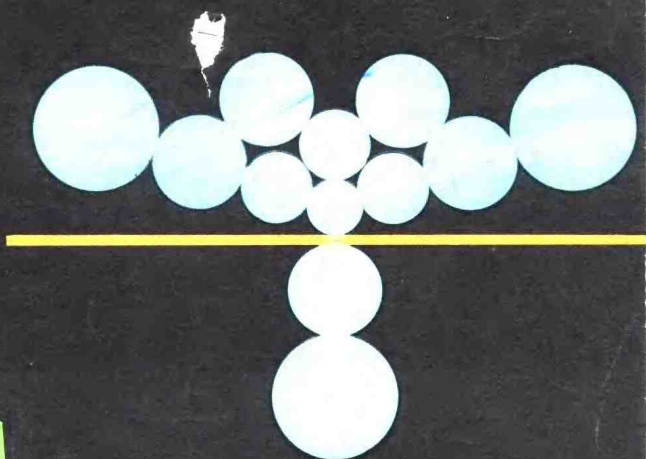


板带钢 生产工艺学

宋佩苑 韦光 编



西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书叙述了中厚板、叠轧板、热连轧带钢、冷轧板带钢从原料到成品的生产工艺过程和特点,着重介绍了板带钢生产工艺制度的制定方法以及为保证产品质量的辊型控制、板型控制、厚度控制、张力控制和性能控制等。此外还对现代化车间的生产过程自动化作了一般介绍。

本书可作为大学本科轧钢专业的专业课教材,也可供从事轧钢工作的专业人员参考。

板带钢生产工艺学

宋佩范 书 光 编

责任编辑 杨 玲

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安电子科技大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经营

开本 787×1092 1/16 印张 14 插页 1 字数 342千字

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数: 1—1500册

ISBN 7-5605-0074-9/TG·9

定价: 2.90元

前 言

钢板及带钢的生产水平已不仅仅是钢铁工业生产发展水平的一个标志，它已成为一个国家工业发展水平的标志之一。它在钢材生产总产量中所占的比例不断上升，许多国家早已超过50%，目前我国也已超过30%。板带钢产量的增加是工农业生产水平及人民生活水平不断提高的必然结果，它作为重工业、轻工业、农业等部门的重要原料，近来又在旅游、服务业等第三产业中获得了广泛的用途。

板带钢由于其外形特征，因而在生产及工艺上较其他产品更易于实现高速、连续、自动化、大批量生产。产品需求量的增加，要求生产技术不断创新。近年来先进的机械、电气设备的使用，尤其是计算机控制的引入，促使板带钢生产在工艺及理论方面有了新的突破。鉴于此，本书选用了板带钢作为轧钢生产的典型产品，板带钢生产工艺作为轧钢生产的典型工艺进行“轧钢工艺学”专业课的教学。

由于轧钢生产工艺学的研究对象是轧制产品——钢材，因而这门课程是以怎样能够得到高产、优质、多品种、低消耗的钢材为教学目的的。所以，在课程内容组织上首先是在第一章介绍钢材的外形尺寸及内部性能的各项生产指标、具体交货标准及制定这些指标和标准的依据。同时本章还讲述了原料种类及不同原料对产品的产量及质量的影响。第二章着重介绍了各类成品钢板的生产方法，以使读者能够根据产品要求及原料条件合理配置轧钢机，组织生产工序及生产流程线。第三章具体介绍了如何制定生产工艺制度，以保证产品的质量和产量。第四章着重介绍了如何根据产品的品种及产量的要求，组织钢铁联合企业中的轧钢生产系统。目前现代化建设的需要，对钢材品种、质量提出了更高的要求，在第五章、第六章分别对产品的高精确度、高性能控制作了较详细的介绍，最后在第七章介绍了轧钢生产过程全面实现计算机自动化控制的指导思想及主要内容。

综上所述，可见本书介绍的是一门应用技术方面的学科，它应用性强，知识面广，又具有强烈的生产实践性，因此在本书的编写中特别着重强调实践第一的观点，注意培养学生理论联系实际分析问题、解决问题的能力。书中引用的数字、资料，大部分都是作者在长期深入生产实践中收集整理起来的。

本书是在北京钢铁学院轧钢专业“板带钢生产工艺及原理”专业课教学讲义的基础上重新编写而成的，书中第一、二、五、七章由宋佩莲编写，第三、四、六章及参考资料由书光编写。由于水平有限。书中不完善之处还望读者给予指正。

编 者

1987年

目 录

第一章 产品及原料	
第一节 产品	1
第二节 原料	7
第二章 各类成品钢板的生产	
第一节 中厚板生产	14
第二节 叠轧薄板生产	20
第三节 热连轧带钢生产	23
第四节 冷轧板带钢生产	39
第三章 轧钢工艺制度的制定	
第一节 变形制度	53
第二节 温度制度	59
第三节 速度制度	68
第四节 轧钢机主电动机型式的选择及容量计算	78
第五节 能耗曲线在生产中的应用	89
第六节 工艺制度制定的步骤	95
第四章 轧钢生产流程线和轧钢生产系统	
第一节 生产流程线的组织	97
第二节 轧钢生产系统的组成	100
第五章 板带钢的高精度轧制	
第一节 钢板轧机轧辊辊型及辊型设计	103
第二节 板型及板型控制	114
第三节 厚度自动控制	124
第四节 连轧机组的张力控制	144
第六章 板带钢的性能控制	
第一节 热轧板带钢的性能	155
第二节 控制板带钢性能的途径	158
第七章 轧钢生产过程自动化	
第一节 计算机控制系统	169
第二节 数学模型的设定	171
第三节 计算机对轧钢生产过程进行控制的主要方法与特点	175

参考资料

参考文献

第一章 产品及原料

第一节 产 品

一、板带钢产品的特点

板带钢外形扁平， B/H 大（ B 为带宽度， H 为板带厚度），面极大，这使板带钢的生产具有以下特点。

（1）板带从辊缝中轧出，而不是从孔型中轧出，虽有辊型要求，但是改变产品规格较之型钢、钢管等类型的产品要简单，容易实现。因而具有易于调整，便于改变产品规格的特点。

（2）带钢形状扁平，可以成卷生产，这样就可以使轧制速度大大提高。目前热连轧带钢的轧制速度超过了30m/s，而冷连轧带钢可达40m/s。

由于板带钢适于高速、连续、自动化、大批量的生产，所以有利于降低成本、提高质量。这一点是板带钢产品获得发展的关键性因素。

板带钢产品的外形特点使其在使用上有以下特色。

（1）表面积大，因此包容、覆盖能力强，在化工、建筑、金属制品、金属结构等方面有着广泛的用途。

（2）能冲压、弯曲，制成各类轻型薄壁钢材及各类日用品。在汽车、造船及拖拉机制造等部门占有十分重要的地位。

（3）可焊接成各类大型复杂断面的工字梁、槽钢等结构件，如全焊桥、大型螺旋钢管等。既避免了复杂大型钢材的生产，又方便了运输（可在施工现场根据需要就地焊成）。因而灵活性大、成本低、使用方便。

二、产品分类

可按产品的尺寸规格及用途进行分类。

1. 产品按尺寸规格分类(见表1-1)

我国是以4.0mm为薄板与中厚板的分界线，这与我国目前采用的生产方法有关。随着生产方法的改进，这种分类原则可能要加以改变。

2. 产品按用途分类(见表1-2)

无论是中厚板还是薄板，在不同的用途下它们都有各自不同的使用要求。因此在按尺寸规格分类的同时，还必须按用途进行分类。

此外，还可以按钢的化学成分、品质进行分类，分类方法与其他类型的钢材相同。

表 1-1 产品按尺寸规格分类

类 别			厚度范围, mm	宽度范围, mm
热轧板	中板	厚板	4.0—20	
			20—60	600—3000
		特厚板	(≥60)—166	1200—3800
冷轧板	薄板	板	1.0—(<4.0)	800—2500
	薄板	板	0.2—(<4.0)	600—2500
	箔材		0.02—(<0.2)	200—600

表 1-2 产品按用途分类

类 别		使用最多的规格, mm
中 厚 板	造船钢板	4—32
	锅炉钢板	8—32
	桥梁钢板	8—20
	容器钢板	4—25
	运输钢板	8—25
	焊 管 坯	4—36
	装甲板及特殊用途板	按订货要求规定
薄 板	汽车拖拉机板	0.9—4
	硅 钢 片	0.1—0.5
	马 口 铁	0.22—0.55
	酸洗板、屋面板及一般用途板	0.25—0.3
	焊 管 坯	0.15—4.0

三、产品要求

产品的交货要求应符合国家标准(G B)或部颁标准(Y B), 或根据用户要求经协商确定的标准。这些标准所规定的要求基本上可分为几何尺寸与形状、化学成分、机构性能三个方面, 这些是生产的法规

表 1-3 GB 790-65 热轧厚钢板品种规格表

厚 度 mm	宽 度, mm									
	600 —1200	>1200 —1500	>1500 —1600	>1600 —1700	>1700 —1800	>1800 —2000	>2000 —2200	>2200 —2500	>2500 —2800	>2800 —3000
	最 大 长 度, m									
4.5—5.5	12	12	12	12	12	6	—	—	—	—
6—7	12	12	12	12	12	10	—	—	—	—
8—10	12	12	12	12	12	12	9	9	—	—
11—15	12	12	12	12	12	12	9	8	8	8
16—20	12	12	12	10	10	9	8	7	7	7
21—25	12	11	11	10	9	8	7	6	6	6
26—30	12	10	9	9	9	8	7	6	6	6
32—34	12	9	8	7	7	7	7	7	6	5
36—40	10	8	7	7	6.5	6.5	5.5	5.5	5	—
42—50	9	8	7	7	6.5	6	5	4	—	—
52—60	8	6	6	6	5.5	5	5.5	4	—	—

表 1-4 GB 708-65 轧制薄钢板品种规格表

厚度,mm	宽 度 , mm												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500
长 度 , mm													
0.35,0.4		1200		1000									
0.45,0.5	1000	1500	1000	1500	1500		1500	1500					
0.55,0.6	1500	1800	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
0.7,0.75	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
0.8,0.9				1500	1500	1500	1500	1500					
	1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
	1500	1420	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
1.0,1.1				1000			1000						
1.2,1.25	1000	1200	1000	1500	1500	1500	1500	1500					
1.4,1.5	1500	1420	1420	1800	1600	1700	1800	1900	1500				
1.6,1.8	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000				
2.0,2.2							1000						
2.5,2.8	500	600	1000	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2200	2500	2800	
	1000	1200	1420	1800	1600	1700	1800	1900	2000	3000	3000	3000	3000
	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	4000	4000	4000	4000
3.0,3.2				1000			1000					2800	
3.5,3.8				1500	1500	1500	1500	1500	2000	2200	2500	3000	3000
4.0	500	600	1420	1800	1600	1700	1800	1900	3000	3000	3000	3500	3500
	1000	1200	2000	2000	2000	2000	2000	2000	4000	4000	4000	4000	4000
0.2,0.25		1200	1420	1500	1500	1500							
0.3,0.4	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000				
0.5,0.55		1200	1420	1500	1500	1500							
0.6	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000				
0.7,0.75		1200	1420	1500	1500	1500							
	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1500		1500				
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	1800		2000				
0.8,0.9		1200	1420	1500	1500	1500							
	1000	1800	1800	1800	1800	1800	1800		1500	2000	2000		
	1500	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500		
1.0,1.1	1000	1200	1420	1500	1500	1500						2800	2800
1.2,1.4	1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800			2000	2000	3000	3000
1.5,1.6	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000		2000	2200	2500	3500	3500
1.8,2.0													

续上表

厚度, mm	宽 度 , mm												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500
	长 度 , mm												
2.3, 2.5	500	600											
2.8, 3.0	1000	1200	1420	1500	1500	1500							
3.2, 3.5	1500	1800	1800	1800	1800	1800	1800		2000				
3.8, 4.0	2000	2000	2000	2000	2000	2000							

注: ① 本标准适用于厚度等于或小于 4.0mm 的热轧和冷轧薄钢板

② 钢板的厚度、宽度和长度应符合表的规定

③ 经供需双方协议, 由连轧机轧成的钢板允许成卷交货

表 1-5 GB709-65 热轧厚钢板厚度偏差允许值

钢 板 厚度, mm	钢 板 宽 度 , mm										
	600 —1000	1001 —1200	1201 —1500	1501 —1700	1701 —1800	1801 —2000	2001 —2300	2301 —2500	2501 —2600	2601 —2800	2801 —3000
	厚 度 偏 差 , mm										
4.5—5.5	+0.3 —0.5	+0.4 —0.5	±0.5	±0.5	+0.7 —0.5	—	—	—	—	—	—
6—7	+0.3 —0.6	+0.4 —0.6	+0.4 —0.6	+0.5 —0.6	+0.7 —0.6	+0.9 —0.6	—	—	—	—	—
8—10	+0.2 —0.8	+0.3 —0.8	+0.3 —0.8	+0.4 —0.8	+0.6 —0.8	±0.8	+0.9 —0.8	+1.0 —0.8	—	—	—
11—25	+0.2 —0.8	+0.3 —0.8	+0.3 —0.8	+0.4 —0.8	+0.6 —0.8	±0.8	+0.9 —0.8	+1.0 —0.8	+1.2 —0.8	+1.3 —0.8	+1.4 —0.8
26—30	+0.2 —0.9	+0.3 —0.9	+0.3 —0.9	+0.4 —0.9	+0.6 —0.9	+0.9 —0.9	±0.9	+1.0 —0.9	+1.2 —0.9	+1.3 —0.8	+1.4 —0.9
32—34	+0.3 —1.0	+0.3 —1.0	+0.4 —1.0	+0.5 —1.0	+0.6 —1.0	+0.8 —1.0	±1.0	+1.1 —1.0	+1.3 —1.0	+1.4 —1.0	+1.5 —1.0
36—40	+0.4 —1.1	+0.4 —1.1	+0.5 —1.1	+0.6 —1.1	+0.7 —1.1	+0.9 —1.1	+1.0 —1.1	+1.2 —1.1	+1.3 —1.1	+1.4 —1.1	+1.5 —1.1
42—50	+0.5 —1.2	+0.6 —1.2	+0.8 —1.2	+0.8 —1.2	+0.9 —1.2	+1.1 —1.2	±1.2	+1.4 —1.2	+1.5 —1.2	+1.6 —1.2	+1.7 —1.2
52—60	+0.7 —1.3	+0.8 —1.3	+0.9 —1.3	+1.0 —1.3	+1.1 —1.3	±1.3	+1.4 —1.3	+1.5 —1.3	+1.6 —1.3	+1.7 —1.3	+1.8 —1.3

表 1-6 轧制薄钢板厚度偏差允许值 mm

钢 板 厚度, mm	高级精度 A	较高精度 B	普通精度 C	
	冷轧优质钢板	优质和普通钢板		
		冷轧和热轧	热 轧	轧
	全 部 宽 度		宽度<1000 mm	宽度≥1000 mm
0.20—0.40	± 0.03	± 0.04	± 0.06	± 0.06
0.45—0.50	± 0.04	± 0.05	± 0.07	± 0.07
0.55—0.60	± 0.05	± 0.06	± 0.08	± 0.08
0.70—0.75	± 0.06	± 0.07	± 0.09	± 0.09
0.80—0.90	± 0.06	± 0.08	± 0.10	± 0.10
1.0—1.1	± 0.07	± 0.09	± 0.12	± 0.12
1.2—1.25	± 0.09	+ 0.11	± 0.13	± 0.13
1.4	± 0.10	± 0.12	± 0.15	± 0.15
1.5	± 0.11	± 0.12	± 0.15	± 0.15
1.6—1.8	± 0.12	± 0.14	± 0.16	± 0.16
2.0	± 0.13	± 0.15	+ 0.15 - 0.18	± 0.18
2.2	± 0.14	± 0.16	+ 0.15 - 0.19	± 0.19
2.5	± 0.15	± 0.17	+ 0.16 - 0.20	± 0.20
2.8—3.0	± 0.16	± 0.18	+ 0.17 - 0.22	± 0.22
3.2—3.5	± 0.18	± 0.20	+ 0.18 - 0.25	± 0.25
3.8—4.0	± 0.20	± 0.22	+ 0.20 - 0.30	± 0.30

注：宽度及长度允许偏差范围的规定在此从略

产品在交货时，要有一定的几何尺寸（见表 1-3、1-4、1-5、1-6）及外形。然而除了这四个表内提出的产品长度、宽度、厚度、尺寸偏差等要求外，在几何形状方面还对产品有板型的要求，另外对表面质量也有要求。

板型指的是波浪度和瓢曲度。对于中厚板每米长度上的波浪度和瓢曲度规定为优质钢板不得大于 10 mm，普通钢板不得大于 15 mm。薄板的规定是优质板 I 组每米长度上不大于 6 mm，II 组不大于 10 mm，III 组不大于 15 mm，IV 组不大于 20 mm；普通板不大于 20 mm。（优质薄板按表面质量分为四组，分组标准参看 GB 710-65）。

对于优质板还有表面质量的要求：钢板表面不得有气泡、裂缝、结疤、拉裂和夹杂。同时钢板不得有分层。

有些特殊用途的钢板还有一些的特殊要求。

普通钢板在产品交货时，产品按化学成分、机械性能的不同，可分为三大类：

- (1) 甲类钢——只保证机械性能；
- (2) 乙类钢——只保证化学成分；

(3) 特类钢——既保证化学成分，又保证机械性能。

一般来说，要求低的以乙类钢交货，要求高的以甲类钢交货，少数产品以特类钢交货。而对优质钢板一律都要求保证机械性能和化学成分。

钢板的化学成分和机械性能同样由国家标准或部颁标准规定。表 1-7、1-8、1-9 摘要列出了造船用钢板机械性能、工艺性能及化学成分的要求。

表 1-7 GB 712-80 造船用薄钢板机械性能和工艺性能

钢 号	抗 拉 强 度 σ_b (Pa)	伸长率 δ_{10} , %			冷 弯 试 验 180° $b = 2a$
		厚度, mm			
		2—2.5	3—3.5	3.8—4.0	
		不 小 于			
2 C	≥ 40.2	14	15	16	$d = 2a$

表 1-8 GB712-90 造船用厚钢板的机械性能和工艺性能

钢 号	交 货 状 态	厚 度 mm	屈 服 点 σ_s Pa	抗 拉 强 度 σ_b Pa	伸 长 率 δ_s %	V 型冲击试验			窄 冷 弯 $b = 2a$ 180°	宽 冷 弯 $b = 5a$
						温 度 °C	平均冲击功 A_k, Nm			
							横 向	纵 向		
不 小 于						不 小 于				
2C	热 轧	<12—20	23.6	40.2—49.1	22	—	—	—	$d = 2a$	—
		21—50							$d = 3a$	
3C	热 轧	<12—20	23.6	40.2—49.1	22	0	19.62	27.46	$d = 2a$	$d = 3a$
		21—50							$d = 3a$	$d = 3a$
4C	热 轧 或 正 火	<12—20	23.6	40.2—49.1	22	-20	19.62	27.46	$d = 2a$	$d = 3a$
		21—50							$d = 3a$	$d = 3a$
5C	正 火	<12—20	23.6	40.2—49.1	22	-40	19.62	27.46	$d = 2a$	$d = 3a$
		21—50							$d = 3a$	$d = 3a$

表 1-9 GB712-80 造船用碳素钢及其化学成分

钢 号	化 学 成 份 含 量 %				
	C	Mn	Si	P	
				不 大 于	
2C	≤ 0.22	≥ 0.50	0.10—0.35	0.045	0.050
3C	≤ 0.21	0.6—1.00	0.10—0.35	0.040	0.040
4C	≤ 0.21	0.6—1.10	0.10—0.35	0.040	0.040
5C	≤ 0.18	0.70—1.20	0.10—0.35	0.040	0.040

机械性能、工艺性能的要求一般可分为两类。第一类称为基本保证项目，如表 1-7 及 1-8 中列出的、即抗拉强度 σ_b 、屈服强度 σ_s 、伸长率 δ (δ_5 或 δ_{10})、常温冲击功 A_k 及 180° 冷弯试验。第二类是附加项目。对于某些要求较高的产品，根据用途又在标准中规定了一些特殊保证项目。如低温冲击韧性、高温强度、疲劳强度等。这些项目的检验方法在有关标准中都有规定。为了保证钢板的机械性能和工艺性能，在生产中必须注意如下几点。

(1) 合理的化学成分是保证性能的最基本的条件。碳是钢中最基本的元素，含碳量增高，钢的强度虽提高了，但脆性却要增加。一般来说，钢板多作为结构件使用，因而大多有焊接、弯曲等加工工艺性能的要求，所以一般钢板都属于低碳钢。而强度方面的要求，可以用锰等其他元素进行调节。

与此相应，钢中的气体、夹杂等的数量、分布也与性能有密切的关系，这些均应在标准中作出规定。

(2) 合理的加工工艺制度的制定。轧钢前钢坯的加热，轧制中的变形制度、温度制度、速度制度以及轧后的冷却制度都与成品钢板的最终性能有密切关系。这些必须在轧钢工艺中作出合理的规定。

(3) 进行必要的热处理。某些性能要求较高的钢板，还必须进行热处理。例如高牌号的硅钢，为获得良好的磁性甚至要进行两次热处理。但是一般钢种，为了降低成本，应尽量避免进行热处理。目前板带钢生产中广为使用的控制轧制和控制冷却的新工艺就是把形变和相变过程在轧钢生产线上有机地结合了起来，从而提高了热轧板带钢的综合机械性能或取代了某些钢材的热处理工序。

第二节 原 料

原料的合理选用是获得高产、优质产品的前提。从冶金生产的总过程来看，钢水先被浇铸成钢锭或连铸坯，然后钢锭或连铸坯再被轧成钢材。可见，生产钢材的原料是钢锭或连铸坯。

但是从组织轧钢生产过程的角度来看，成品钢材直接由钢锭或连铸坯轧成只是一种生产过程，而另一种生产过程是先把钢锭轧成钢坯，然后再把钢坯轧成钢材。前一种生产过程称为一个阶段生产，后一种称为两个阶段生产。这两种不同的生产过程在整个生产组织的规模、生产水平、产品产量、质量以及各项消耗指标方面都有极大的差别。所以从成品生产的角度来看，轧制成品所采用的原料有三种：钢锭、钢坯和连铸坯。

原料的选用就是要解决选用哪一种原料，不同种类的钢锭——镇静钢锭、沸腾钢锭、半镇静钢锭怎样选择，以及它们对产品的产量、质量有何影响等问题。下面分别按不同的原料加以论述。

一、钢锭

(一) 钢锭的分类

按钢水的脱氧程度，钢锭可分为镇静钢锭，沸腾钢锭和半镇静钢锭，如图 1-1、1-2、1-3、1-4 所示。

镇静钢锭——强脱氧，浇铸时镇静地凝固，钢锭形状上大小，有保温帽、缩孔。

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。钢锭形状上大小，不带保温帽，无缩孔。



图 1-1 镇静钢锭

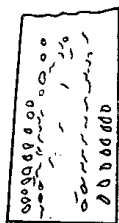


图 1-2 沸腾钢锭



图 1-3 半镇静钢锭



图 1-4 用绝热板代

替保温帽的镇静钢锭

半镇静钢锭——有限的脱氧剂的使用使脱氧程度介于沸腾钢与镇静钢之间，浇铸时钢水在钢锭模内沸腾，但析出的气体较沸腾钢少。钢锭形状同沸腾钢锭。

用绝热板代替保温帽可用沸腾钢锭模浇铸上小下大的镇静钢锭，既节省了金属消耗，又简化了整模脱模工序。

(二) 钢锭的结晶特点

脱氧程度的差别使各种钢锭有不同的结晶特点。

镇静钢的结晶分三带，如图 1-5 所示。

第一带(1)——位于钢锭外表面，其厚度 5—20mm。这一带晶粒细小，称为表皮壳层带。由于表层钢水受到强烈的冷却，因而获得了较大的过冷度，所以这一带钢水的形核率远大于晶粒成长率，因而形成大量细小的等轴晶粒。

第二带(2)——随着钢锭表面激冷层的形成，未凝固钢水的散热能力降低，过冷度减小，新核形成困难，因而结晶前沿晶粒向锭心长大，形成了有一定方向的柱状晶带。

第三带(3)——散热能力的衰减使得柱状晶的长大减慢，最后在中心部位形成无一定方向的等轴晶带。

钢锭下部通常有一最致密的细晶组织，其形状为一锥体，称为底部结晶锥。钢锭头部有缩孔。

沸腾钢锭的结晶分五带，如图 1-6 所示。

第一带(1)——外层壳层带。为保证钢锭在均热炉内加热时不致因表面氧化而造成蜂窝气泡外露，要求外层壳层带厚度为 15—30mm。

第二带(2)——蜂窝气泡带。宽度一般为 30—70mm，分布在钢锭下部，其高度到钢锭高

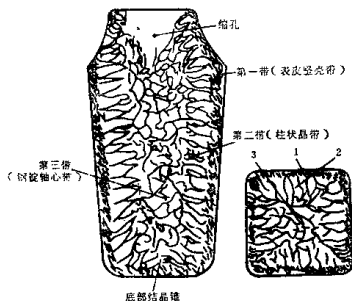


图 1-5 镇静钢锭的结晶

度的一半以上，气泡形状垂直于钢锭的头部。

第三带(3)——中间致密带。钢锭封顶时阻碍了气泡的长大和新气泡的形成，但结晶过程还在不断进行，因而形成无气泡的中间致密带。

第四带(4)——二次气泡带。由于钢液中 $[O]$ 、 $[C]$ 原子进一步富集以及钢锭内压力有所降低，因而导致再次促进发生 $[C]-[O]$ 反应从而形成球形的二次气泡。

第五带(5)——中心结晶带。锭心结晶时由于沸腾大体已停止，因而与镇静钢相仿，形成粗大等轴晶带。

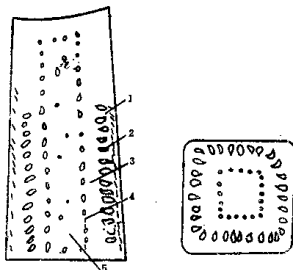


图 1-6 沸腾钢锭的结晶

正常的沸腾钢锭头部既不上涨也不下陷，或头部上涨不超过 100mm，钢锭头部没有集中缩孔。

半镇静钢凝固时有气体排出，虽没有沸腾钢激烈，但在凝固末期有大量气体产生，这样在钢锭的上半部就形成了较多的气泡。

(三) 钢锭的偏析

钢水在凝固过程中温度逐渐下降，以致在两相区以选分结晶的方式进行凝固，结果成分较纯的钢液先结晶，这样后结晶出来的固体中杂质含量就不断增加了。

偏析的含义就是钢锭内部的化学成分不均匀。一般认为钢液的化学成分是均匀的，所以以此作为标准成分定义正偏析为钢锭中某种元素成分高于标准成分，而负偏析为钢锭中某种元素成分低于标准成分。

镇静钢锭的偏析情况如下：

第一带(1)——冷却快，无偏析；

第二带(2)——柱状晶内部为负偏析，柱状晶之间为正偏析，平均可认为无偏析；

第三带(3)——下部凝固在先，上部凝固在后，形成杂质上浮，所以底部为负偏析，顶部为正偏析。

沸腾钢锭的偏析情况如下：

第一带(1)——无偏析；

第二带(2)——由于排气，杂质和气体被带到了上部去，产生负偏析；

第三带(3)——排气减弱，形成正偏析；

第四带(4)——偏析元素的浓度逐渐增高，在此带元素的浓度最高。

总之，偏析由表层向里层，由底部向顶部加重，在钢锭头部形成正偏析。一般认为在距顶部 10—20% 的高度处，有最大的正偏析。

由沸腾钢的结晶过程可见，由于沸腾造成了化学成分不均匀，因此使得偏析较镇静钢更为严重。

(四) 依据成品的要求决定所选用钢锭的种类

镇静钢锭有保温帽，因而切损大，金属消耗高，冶炼成本高，然而钢质好。因此一般中碳钢、高碳钢、合金、低合金钢以及性能要求高的低碳钢均浇铸成这种钢锭。

沸腾钢锭无保温帽，冶炼成本低，金属消耗少，钢锭表面组织致密，内部柔软，但其钢质不如镇静钢锭。低碳钢适合浇铸成沸腾钢锭。一般含碳量小于0.27%时应尽量浇铸成沸腾钢锭。沸腾钢锭多用于轧制深冲薄板、各类低碳钢板。目前国外钢水中有60%左右为沸腾钢。但由于沸腾钢锭浇铸技术难度大，我国目前许多工厂还没有掌握好，因此还不得不多浇铸些镇静钢锭。

半镇静钢锭兼有镇静钢锭及沸腾钢锭的优点，但国内浇铸技术还未掌握好，一些工厂正处于探索阶段。

(五) 钢锭的断面形状、高度、重量

钢锭断面的基本形状有方形、扁形及圆形。在基本形状的基础上还有各种改良形状(图1-7)。

形状设计考虑的原则是：对轧制产品，钢板用扁锭，型钢用方锭圆形、多边形各部分冷却均匀，圆锭利于剥皮，因此适合于浇铸合金钢，多边形是为了增大散热面积，但加工不方便，所以很少使用。一般常用的是方形、扁形及圆形断面的钢锭。

钢锭的高度主要用高宽比 Z 来衡量，： $Z=H/D$ ， H 为钢锭高度， D 为钢锭平均宽度， $D=\sqrt{F}$ (F 为钢锭横截面积)。

轧钢者希望钢锭细高(Z 大)，但是 Z 太大了不利于浇铸：钢锭过高，钢水静压力大，浇铸时钢锭外部易产生热裂纹；钢锭过高，上铸时钢水易飞溅，使钢锭表面结疤及皮下气泡增加；钢锭过高，会使镇静钢锭中心疏松、缩孔严重；钢锭过高，浇铸时非金属夹杂物上升困难，使钢锭内部夹杂较多。

目前，钢锭高宽比的选用尺寸如表1-10所示。

钢锭的重量，原则上说，使用大钢锭有较好的产品质量及较高的产量。但具体还需与轧

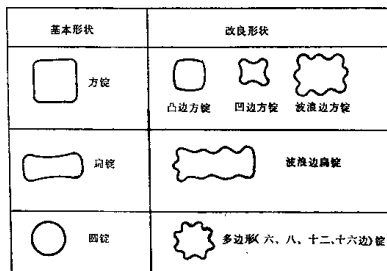


图 1-7 钢锭的断面形状

表 1-10 常用钢锭高宽比

钢 锭 重 量, t	一 般 资 料	我 国 现 用
0.1—0.3	5—6	5.5—13
<1 (沸腾钢锭)	5	5—6
1—5 (沸腾钢锭)	4	3—5
5—10 (沸腾钢锭)	2.5—3.5	2.5—3.5
>10 (沸腾钢锭)		2—2.5
<1 (镇静钢锭)	4—3.5	5—3.5
1—5 (镇静钢锭)	3.5—3	3.5—2.5
1—8 (镇静钢锭)	3—2.5	3—2.5
8—15 (镇静钢锭)	2.5—2	2.8—2
>15 (镇静钢锭)	2—1.5	2—1.5

机的规格及产品规格相适应。

(六) 钢锭缺陷对轧材质量的影响

钢锭的缺陷对轧材的质量有严重影响，常见的缺陷可分为内部缺陷及外部缺陷两种。

1. 内部缺陷

钢质不良 炼钢操作不良，钢水过氧化后含有大量的 FeO ，使铸成的钢锭金属晶界之间结合力微弱，导致轧制时的碎裂。

偏析严重 导致钢材各部分性能严重不均。

缩孔和疏松 缩孔以下部位，在钢锭凝固过程中，因钢液填充不足而形成疏松。缩孔及疏松部分，在轧成钢材后，必须切去，否则造成钢材内部分层或夹层。

气泡 沸腾钢的皮下气泡如未暴露，一般在轧制时能够焊合。若因浇铸技术不良，沸腾钢的表皮坚壳带过薄，则加热时因表面氧化烧损易造成皮下气泡外露，这样轧后钢材表面呈现出密集的小裂纹(称为“发裂”)。

白点 一般认为是在冶炼中因矿石、熔剂不够干燥带进的微量氢造成的，这使轧后钢材有裂纹。

非金属夹杂物 由于浇铸时钢中的钢渣或耐火材料未能浮出钢液表面而造成钢中非金属的夹杂物，轧后会产生轧材分层的缺陷。

2. 外部缺陷

裂纹 横裂是由于钢锭模内部不平，或锭模与铸锭盘之间有间隙，锭模与保温帽之间有间隙，造成的钢锭飞翅、悬挂等妨碍了钢锭表面正常的冷却收缩，从而形成很大的拉应力所导致的。纵裂是钢水静压力过大，钢锭外壳过薄而造成的压裂，它一般产生在钢锭外部。

结疤 浇铸时钢液飞溅于模壁，而经表面氧化，不能与后来浇铸的钢液凝为一体造成的。

重皮 钢液表面氧化膜被卷入钢锭内部造成的。

二、钢坯

钢锭先在初轧或开坯车间进行开坯轧制，轧成各种断面尺寸的钢坯，然后再在成品车间经再次加热轧成钢材。这样，钢坯即为轧成钢材的原料。这种轧钢生产过程，称为两个阶段生产。

两个阶段生产与用钢锭直接轧成钢材的一个阶段生产相比有如下优点。

(1) 产量高 近代大型炼钢炉的发展，使炼钢生产与轧钢生产在钢锭尺寸选择上形成了矛盾。因为炼钢厂必须浇铸大断面的大钢锭才能配合炼钢炉的生产周期；而轧钢机又必须根据轧机的能力及产品的要求选用钢锭，所选用的钢锭断面尺寸要使轧机能在一定的温度范围及一定的变形量条件下，一次轧成钢材，因此钢锭断面尺寸又不能太大。这一矛盾的解决办法就是在炼钢与成品轧机生产之间增加开坯生产环节。

大钢锭在大型初轧机上轧成各种尺寸规格、各种断面形状的钢坯，然后根据成品轧机的需要，选用不同的钢坯，如此，使炼钢生产及成品轧机的产量都获得了提高，这是近代轧钢生产的重要发展。

(2) 钢材质量好 钢坯轧成钢材时，由于钢锭经过开坯时已获得了较大的变形量，而钢坯再轧成钢材时又经过了较大的变形，所以总变形量较大。可用原始钢锭的断面大小与成品钢材断面大小之比来表示钢材的加工变形程度：

$$\mu = F_0 / F_n$$

式中 μ ——压缩比

F_0 ——原始钢锭的断面面积

F_n ——成品钢材的断面面积

压缩比 μ 增大时, 成品钢材在加工中经大变形后, 钢锭内部的铸造组织得到了充分的破碎, 夹杂物得以分散, 成分偏析减弱, 所以成品钢材的性能远 比小钢锭直接成材的钢材为好。此外, 钢坯在再加热前可经过表面质量检查和清理, 这也有利于钢材表面质量的提高。

(3) 消耗低 小钢锭作原料比大钢锭作原料的金属烧损大。对镇静钢来说小钢锭的保温帽所占的比重大、缩孔深、切渣大; 对沸腾钢来说小钢锭的浇铸质量不易保证。

钢坯作为成品生产的原料是在以钢锭为原料的基础上, 在生产上经过了一个较长时期的发展后形成的; 虽然用钢坯作原料比用钢锭作原料最少要多 一次 加热, 增加了能量消耗, 但从总体上看用钢坯作原料更为合理。

三、连铸坯

连铸坯可以作为中厚板及热轧带钢的原料, 连续浇铸就是把液体钢水从盛钢桶通过中间罐注入结晶器, 使钢水表面结晶, 然后再通过弧形辊道段, 使钢液内部逐步结晶, 成为固态板坯的过程(见图 1-8)。

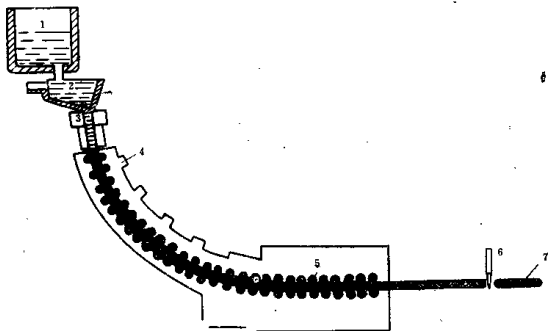


图 1-8 连续铸锭示意图

1——盛钢桶; 2——中间罐; 3——结晶器; 4——弧形辊道弧形半径 10,3mm;
5——多辊拉坯机; 6——火焰切割机; 7——连铸坯

连续浇铸作为铸锭的一种新方法或者加工部门的一种新原料, 无疑是继氧气炼钢之后, 钢铁工业最重要的进步之一。50 年代前后, 世界上几个主要产钢国家都先后组织了专门从事连铸技术研究和制造连铸设备的机构, 最近十几年内, 连铸发展迅速。1964 年在二十几个国家中有八十多台连铸机, 总的年生产能力为七百万吨, 1974 年在五十多个国家中, 连铸年生产能力已达到一亿四千多万吨。可见, 10 年内生产能力提高到原来的 20 倍。

由于连铸可以省掉铸锭和开坯两个工序, 因此它具有一系列技术和经济上的优点。加上连

铸本身所具有的某些冶金质量上的长处，因而使得它具有很强的生命力。其比较突出的优点如下。

(1) 提高金属收得率。从钢水到钢坯，连铸的收得率一般是96—99%，和铸锭后的开坯方式相比，比用镇静钢锭的收得率提高15%，比用半镇静钢锭的收得率提高7—10%。这对于成本昂贵的特殊钢(如不锈钢等)、合金钢来说，其意义无疑是非常大的。有人曾做过估计，连铸用钢占全部钢液的比例(连铸比)每增加1%，可使成材率增加2.1%。

(2) 节省能量消耗。由于省掉了加热炉内再加热的工序及开坯工序，故可使能量消耗减少 $1/4-1/2$ 。

(3) 机械化、自动化操作，劳动条件好。原来的铸锭工序环境恶劣，手工劳动繁重。从操作上来看，是钢铁生产过程中最落后的一个环节。特别是随着炼钢技术的进步，铸锭与炼钢生产不相适应的矛盾就更为突出。而连铸实现了机械化操作，从而使铸锭操作一改原来那种笨重落后的状态。

(4) 冶金质量好。连铸坯表面质量好，形状准确，尺寸精确，材质均匀，有利于在步进炉内加热及在连轧机上进行轧制。

然而连铸的断面尺寸有一定限制，操作技术较难掌握，钢水的冶炼条件要求严格，因此会产生某些与工艺、设备等有关的质量缺陷，目前还不能在各钢种中普遍采用。

与工艺有关的质量缺陷，就是指由于结晶过程的特点，使钢液中的夹杂物集中在钢坯中心(而模铸是分散在整个横断面上)，这样在成品钢板中易形成“分层”。

同时由于结晶过程的特点，以致现今未能成功地浇铸沸腾钢。而沸腾钢在整个钢种中占有较大的比例，因此就使连铸技术的发展受到了较大的限制。

我国从1958年就开始连铸生产，走过不少弯路，现在在中小型钢坯连铸机上已有较成功的应用，在大型板坯连铸机方面，也有一定的发展。在今后的建设中，连铸必定是我国钢铁工业发展中的一个战略重点，势必会投入更多的力量。

综上所述，在选择原料种类时应考虑以下两个方面。

(1) 所选原料要能保证产品的质量要求，如压缩比、材料强度、表面质量、规格尺寸等。

(2) 所选原料要有利于产品产量、收得率的提高及总能量消耗的降低。

目前钢锭用于生产大于60mm的厚板或用于无初轧机的场合；连铸坯用于生产强度极限在 $5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 以下的钢板，同时应保证压缩比大于4；板坯用于生产强度极限大于 $6 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的优质钢板。