

# 冷轧带钢生产

下

W. L. 罗伯茨

冶金工业出版社

5  
-2

(京)新登字036号

内 容 提 要

《冷轧带钢生产》是作者W.L.罗伯茨以他自己多年来的大量生产实践数据为基础编写的一本全面反映现代带钢冷轧技术的专门著作。内容包括十二章：轧制的历史，冷轧机的各种型式，冷轧机的组成部件，轧辊及其轴承，冷轧机的仪表装置与自动控制，冷轧润滑，冷轧过程的热行为，钢的物理性质和变形性能，轧制力的数学模型，转矩方程与连轧机的控制模型，板形的测量与控制，带钢的性能及进一步加工。

中译本分上下两册出版，上册（已于1985年出版）包括前七章，下册包括后五章。本书下册第八章由王力平、张士彦翻译，第九章由王廷溥翻译，第十、十一章由潘大炜翻译，第十二章由田异翻译。

本书曾于美国和墨西哥作为冷轧和轧制润滑教材，在我国可作为金属压力加工专业大学生和研究生的参考书，也适用于培训冷轧操作人员和技术管理人员。

336.33

冷 轧 带 钢 生 产

下 册

W.L.罗伯茨 著

王廷溥 潘大炜 田 异 等译

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张24 1/2字数 583 千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0846-0

TF·196 定价17.60元

## 下册目录

### 第八章 钢的物理性质和变形

性能	389
8-1 引言	389
8-2 铁及其性能	389
8-3 板带轧制中所用各种型号的钢	393
8-4 钢在冷轧前的加工处理	398
8-5 结晶方向和晶面(密勒指数)	402
8-6 晶体点阵的结构缺陷	405
8-7 晶粒结构	410
8-8 晶粒内的亚晶界和晶胞	413
8-9 铁的合金	415
8-10 铁-碳平衡相图	417
8-11 奥氏体	419
8-12 奥氏体的分解	422
8-13 珠光体和贝氏体	424
8-14 马氏体	425
8-15 不锈钢	427
8-16 磁性合金	431
8-17 应力	433
8-18 应变	435
8-19 弹性应力-应变的关系	437
8-20 塑性变形中的物理机制	441
8-21 bcc和fcc结构中的滑移面和滑移方向	443
8-22 钢中轧制组织的形成	444
8-23 塑性变形的应力-应变关系	445
8-24 滑移线场理论	446
8-25 工件的条件屈服强度	447
8-26 低应变速率下屈服应力的测定	448
8-27 温度对屈服强度的影响	451
8-28 显微组织对屈服强度的影响	453
8-29 应变速率对屈服强度的影	

响	455
8-30 高应变速率下屈服强度的测量	458
8-31 动态屈服的理论状况	459
8-32 应力-应变(加工硬化)曲线	461
8-33 剪应力与结晶方向的关系	465
8-34 加工硬化的理论问题	467
8-35 变形能	468
8-36 储能及其释放	469
<b>第九章 轧制力的数学模型</b>	<b>471</b>
9-1 引言	471
9-2 有关轧制润滑的假设	472
9-3 冷轧中的应变速率	473
9-4 变形轧件的特性	474
9-5 工作辊的弹性压扁	474
9-6 接触弧长度和变形后轧辊直径的希契科克表达式	477
9-7 希契科克方程的可用性	482
9-8 研制轧制模型时常用的假设	486
9-9 压力沿接触弧的分布(卡尔曼方程)	487
9-10 卡尔曼方程的史密斯解和采利可夫解	489
9-11 卡尔曼方程的纳达依解	495
9-12 奥罗万理论	498
9-13 布兰德和福特的近似理论	503
9-14 乔特纳的分析	507
9-15 基于乔特纳理论的更复杂的模型	510
9-16 单位轧制力的直接计算方法	516
9-17 假定单位压力沿接触弧长均匀分布的简单模型	520
9-18 简化的摩擦峰模型	524

9-19	平整轧制的近似理论	528
9-20	根据塑流动力润滑建立的轧制模型	531
9-21	轧件被认为是运动中的一种粘性物质	539
9-22	平板轧制的剪切平面理论	542
9-23	轧制力模型应用中的经验	546
9-24	斯通的最小厚度公式	550
9-25	最小厚度的其他公式	555
<b>第十章</b>	<b>转矩方程与连轧机控制模型</b>	<b>559</b>
10-1	引言	559
10-2	预报轧机所需功率的经验方法	560
10-3	用力臂法计算轧制功率	562
10-4	由接触弧上的摩擦应力计算转矩	564
10-5	布兰德与福特的解	565
10-6	希尔解法	569
10-7	西姆斯图解法	572
10-8	通过分解作用在带材上的力确定转矩	573
10-9	由轧制过程的能量平衡计算转矩	575
10-10	按剪切平面理论推导转矩	577
10-11	当轧件为粘性体时的转矩	578
10-12	平整轧制时的转矩	579
10-13	轧制过程的效率	583
10-14	带材的前滑	585
10-15	在接近最小摩擦条件下的前滑	589
10-16	轧机所需驱动功率的计算	593
10-17	轧机主电动机的选择	597
10-18	卷取机电动机的选择	600
10-19	连轧机诸工作参数的相互关系	601
10-20	扰动方程组中诸系数的求值	603
10-21	二机架轧机方程	607
10-22	三机架轧机方程	609

10-23	五机架式机组方程	613
10-24	美坂的连轧机控制方程	617
10-25	连轧机动态特性的分析	634

## 第十一章 板形的测量与控制

	<b>制</b>	<b>646</b>
11-1	板形的含义和重要性	646
11-2	标准厚度、旁弯和平直度公差	646
11-3	热轧带坯的板形	648
11-4	鼓起缺陷	650
11-5	冷轧产品中的残余应力及其对板形的影响	652
11-6	变形不均及其对板形的影响	654
11-7	板形缺陷的各种不同形式	654
11-8	打卷或翘曲	656
11-9	瓦形与勾边	658
11-10	拧劲儿	659
11-11	中部浪瓢	659
11-12	边浪、二肋浪与凹兜儿	660
11-13	旁弯或镰刀弯	661
11-14	带材波形度的定量化	663
11-15	板形缺陷的监测	664
11-16	皮尔逊的板形测量法	665
11-17	BISRA机械式板形仪	666
11-18	一种光学板形检测系统	669
11-19	用辊子直接测量拉应力的方法监测板形	670
11-20	应力计	673
11-21	磁力板形监测仪	676
11-22	冷轧中的板形控制	681
11-23	厚度和板形的分别控制	683
11-24	工作辊弯辊	685
11-25	支持辊弯辊	687
11-26	工作辊弯辊和支持辊弯辊的效能比较	692
11-27	采用挠性工作辊和背衬支承轴承的平直度控制	693
11-28	利用一个工作辊的水平弯曲控制平直度	694
11-29	其他板形控制方法	696
11-30	板形控制的自动化系统	698
11-31	轧制后得到的平直度	700

11-32 辊式矫直·····	700		
11-33 连续拉伸矫直·····	702		
11-34 张力矫直·····	704		
11-35 其他形式的矫直机·····	705		
11-36 各种矫直技术对带材的 宽度和表面状况的影响·····	706		
<b>第十二章 带钢的性能及进</b>			
<b>一步加工····· 708</b>			
12-1 冷轧对带钢性能及后步加 工的影响·····	708		
12-2 轧制润滑液残留物及其去 除·····	708		
12-3 所轧带钢的显微组织·····	710		
12-4 轧制的结晶织构·····	711		
12-5 带钢的加工硬化·····	712		
12-6 回复·····	713		
12-7 退火与常化·····	714		
12-8 退火和正火设备·····	716		
12-9 淬火时效·····	722		
12-10 退火后的结晶织构·····	723		
12-11 合金元素对退火结晶织 构的影响·····	724		
12-12 塑性应变率及其测量·····	724		
12-13 结晶织构与塑性应变率 之间的关系·····	726		
12-14 平整·····	728		
12-15 应变时效·····	730		
12-16 薄板标准·····	732		
12-17 带钢的表面缺陷·····	733		
12-18 二次冷轧·····	737		
12-19 箔材生产·····	737		
12-20 剪切、切边和纵切·····	739		
12-21 板带的涂镀·····	742		
12-22 镀锡工艺·····	743		
12-23 镀铬板带钢的生产·····	747		
12-24 镀锌工艺·····	749		
12-25 镀铅锡合金·····	751		
12-26 带钢的连续镀铝·····	752		
12-27 带钢涂漆与涂有机材料·····	754		
12-28 板带压花·····	757		
12-29 冷弯成型·····	759		
12-30 电工硅钢薄板·····	760		
12-31 不锈钢带的生产·····	761		
12-32 表面光洁度及其对可成 形性和最终外观的影响·····	763		
12-33 成形润滑剂在钢铁产品 中的应用·····	764		
<b>下册参考文献·····</b>			<b>765</b>

## 第八章 钢的物理性质和变形性能

### 8-1 引言

为了从理论上恰当地论述轧制过程，特别是关于轧制力和所需能量以及预测工件在轧制后的物理状态，最好尽可能全面地了解工件性能如何随变形应力而改变。因而本章专门研究各种钢的相应的物理性能和这些性能受冷轧影响而发生的变化。

从本质上看，金属的物理特性取决于它所含的元素、组成原子的结晶排列、在晶格内产生的缺陷的性质和它的显微组织。由于钢中所含的主要元素是铁，所以我们首先讨论铁元素及其性能，它的同素异形体的结晶学特点和它的显微组织通性。

钢中最主要的是碳钢，所以我们详细地讨论碳钢。实质上，所有冷轧后的碳钢在加工的某一阶段都曾经以奥氏体的形态存在过，钢的这种形态在低于 $A_3$ 线的温度下通常是不稳定的（见图8-40及第8-10节），因而我们讨论关于这种钢的结晶形态及其分解的产物。

铬合金钢（不锈钢）在经济重要性方面仅次于碳钢，它们将在第8-15节和第12-31节中讨论；各种磁钢放在第8-16节中叙述；较为重要的硅钢（晶粒取向电工钢板）将在第12-30节中讨论。

关于轧制过程中带钢的弹性和塑性变形问题，最好复习一下应力和应变的概念及其在塑性变形和弹性变形中的相互关系。这些将在第8-17至第8-23节中同与塑性变形有关的物理现象，特别是晶格滑移和织构的形成一起讨论。

从轧制观点来讲，材料的屈服强度为其主要性能，所以，对这一参数将在第8-25和第8-33节中做更为详细的讨论，不仅涉及到在各种应变速率下对屈服强度的测量，而且将涉及到各种因素，例如温度和显微组织对于屈服强度值的影响。

在本章最后一节中，不仅从理论上而且还联系到实际测量来对加工硬化进行讨论。观察到低碳钢在承受高速变形的同时没有明显的加工硬化，而关于此种效应在箔材工业生产中的重要性将在第9章讨论。最后讨论变形能和储能，特别是关于回火及退火时储能的释放。

### 8-2 铁及其性能

铁元素在周期表中居第26位（图8-1），其最常见的同位素具有56克的原子重量。这一金属与钪、钛、钒、铬、锰、钴、镍一起统称为过渡族元素。铁原子的特征就是在原子核中有26个质子（每个重 $1.67252 \times 10^{-27}$ 公斤），在原子核周围的电子层中有26个电子（每个重 $9.1091 \times 10^{-31}$ 公斤），并且最常见的同位素中，原子核内有30个中子（每个重 $1.67482 \times 10^{-27}$ 公斤）〔317〕。

在原子核周围的26个电子中，有两个在K层（离原子核最近），8个在L层，14个在M层和2个在N层。根据能量，在表8-1中表示出电子的量子数，其相对能量示意地表示

于图8-2中。

在表8-1中，括号内的数字表示主量子数，字母  $s$ 、 $p$  或  $d$  是第二量子数，而标在括号右上角的数字是与前面提到的两种量子数有关的电子数。在化学上，铁元素能以二价的形式起反应，生成二价铁化合物，以三价的形式反应生成三价铁化合物。

1	H 1																	He 2	
2	Li 3	Be 4	B 5											C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	
3	Na 11	Mg 12	Al 13											Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
6	Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86	
7	Fr 87	Ra 88	Ac 89	104 105		类 I (金属)						类 II (过渡)		类 III (非金属)					
	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VI A	VII A	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	0

图 8-1 元素周期表

表 8-1 铁原子中的电子构形

层 或 组	电 子 数	构 形
K	2	(1s) <sup>2</sup>
L	8	(2s) <sup>2</sup> (2p) <sup>6</sup>
M	14	(3s) <sup>2</sup> (3p) <sup>6</sup> (3d) <sup>6</sup>
N	2	(4s) <sup>2</sup>

铁能够以体心立方晶格 (bcc) 或面心立方晶格 (fcc) 的形式存在，如图 8-3 所示。伴随着铁由体心立方晶格转变为面心立方晶格，自由能的变化  $\Delta F^\circ (\alpha \rightarrow \gamma)$  示于图 8-4 中。由此图可以看出，在 910~1400°C (1670~2552°F) 温度范围内，铁的稳定形态 (相当于最低的自由能) 是  $\gamma$  同素异形体 (或 fcc)，而在此温度范围之外， $\alpha$  形态 (或 bcc) 是稳定的。有趣的是若注意到如果没有磁力现象，则  $\gamma$  铁在所有的温度下都是稳定的。并且  $\gamma$  铁同素异形体的稳定范围大，是由与两种同素异形体有关的两种相当大的自由能的微小差异所造成的。由于合金元素的存在影响着两种形式的自由能的大小， $\gamma$  铁的稳定性能很容易受这种元素的影响。

在 21°C 温度下，体心立方晶格中点阵参数是 2.86 埃，最近邻原子的距离是 2.48 埃，密度为 7.87 克/厘米<sup>3</sup> (4.91 磅/英尺<sup>3</sup>)，在 982°C 温度下，面心立方结构的晶格参数是 3.65 埃，

最近邻原子的距离是2.58埃，密度是7.42克/厘米<sup>3</sup>（463磅/英尺<sup>3</sup>）。

在常规的工业生产中，得不到完全纯的铁，然而为了特殊的用途，可以获得纯度为99.99%的电解铁和羰基铁。工业纯铁中，含有大约0.1%的各种杂质（大约含碳

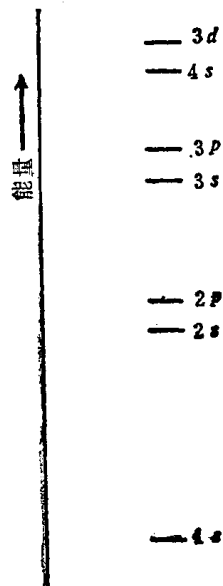


图 8-2 铁中相对电子能量示意图

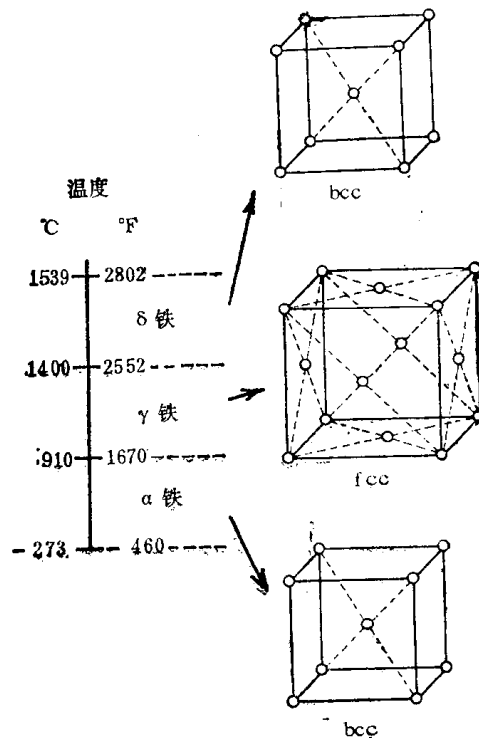


图 8-3 平衡状态下同素异形铁存在的温度范围

表 8-2 工业纯铁的性能

比重	7.864
密度	7.868克/厘米 <sup>3</sup>
熔点	1535°C (2795°F)
沸点	3000°C (5432°F)
比例极限，经退火后，压缩	132兆帕 (19200磅/英寸 <sup>2</sup> )
屈服强度，退火后，压缩	142兆帕 (20600磅/英寸 <sup>2</sup> )
热轧后，拉伸	179~248兆帕 (26000~36000磅/英寸 <sup>2</sup> )
水淬后，拉伸	210兆帕 (30300磅/英寸 <sup>2</sup> )
抗拉强度，室温下	
热轧后，拉伸	290~331兆帕 (42000~48000磅/英寸 <sup>2</sup> )
冷加工后，拉伸	689兆帕 (100000磅/英寸 <sup>2</sup> )
水淬后，拉伸	324兆帕 (47000磅/英寸 <sup>2</sup> )
延伸率，热轧后，拉伸	22~28% (标距203毫米 (8英寸))
水淬后，拉伸	36% (标距50.8毫米 (2英寸))
断面收缩率，热轧后，拉伸	65~78%
水淬后，拉伸	70%
硬度，热轧后，布氏	82~100
洛氏 (B)	39~55
疲劳强度，退火后，反复弯曲	179兆帕 (26000磅/英寸 <sup>2</sup> )
冲击，热轧后，缺口V型	12.4公斤·米 (90英尺·磅) (纵向)
	7.74公斤·米 (56英尺·磅) (横向)
电阻率	11 × 10 <sup>-4</sup> 欧·米



0.01%)<sup>①</sup>。尽管它们相对说来较贵，仍大量用于需要较高的可锻性、防腐性、导电性或导磁性的场合。工业纯铁的物理性能在表8-2中列出。

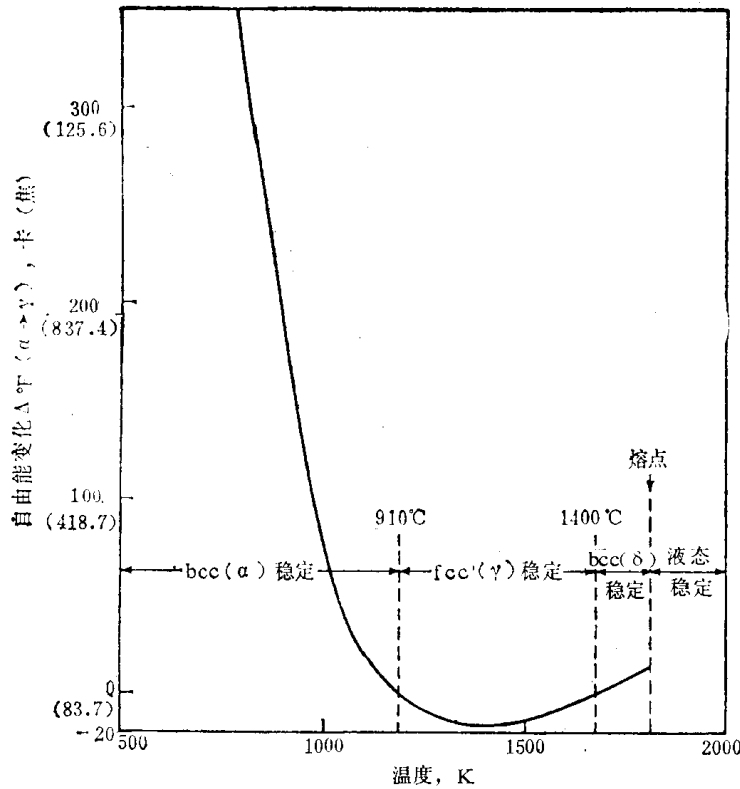


图 8-4 伴随铁由体心立方到面心立方的转变而引起的自由能的变化

一般说来，铁及其合金是呈多晶体状态存在的。即为由晶界互相分离的晶粒构成的物质（见图8-5）。每一晶粒表示一个具有定向晶轴的固相部分，并且由一晶粒到邻近晶粒，其取向越过晶粒边界产生陡然的改变。起初，人们认为晶界为非晶材料区，但在近二三十年中，已证明晶界是由位错排列形成的，并且十分细薄（虽然在显微镜下可见其腐蚀形象），这些晶界具有储存的弹性能量，高温下对金属的再结晶起着驱动作用。

晶粒的平均尺寸取决于铁的前期历史，尤其是关于变形和热处理的历史；而在铁合金的情况下，还取决于它们的成分。晶粒大小影响金属的综合冶金性能（例如它的屈服强度和再结晶速度）及其变形后的表面状态。晶粒大小由ASTM晶粒号数 $N_0$ 规定，其表达式为：

$$n = 2^{N_0 - 1} \quad (8-1)$$

这里  $n$  是在放大100倍后所看到的样品中每平方英寸的晶粒数目。钢的奥氏体晶粒尺寸的通常范围在 1 和 9 之间，所对应的放大100倍后的晶粒数列于表8-3。

① 典型的工业纯铁可含锰约0.017%，磷约0.005%，硫约0.025%和微量硅（痕迹）。



图 8-5 工业纯铁中晶粒的形貌 (×100)

表 8-3 ASTM晶粒度号数

ASTM 晶粒度号数	放大100倍后每平方英寸的晶粒度数
1	1
2	2
3	4
4	8
5	16
6	32
7	64
8	128
9	256

### 8-3 板带轧制中所用各种型号的钢

铁易于与许多其他元素形成各种合金，其中很多是经济上颇为重要的钢。铁与碳形成各种普通钢，与硅形成电工钢，与铬、镍和其他元素形成各种不锈钢。所有这些材料在生产中通常都是冷轧的，由于这一原因，下面将作更详细的讨论。

图8-6所示为铁碳平衡图，在图中表示出各种不同的相。钢根据含碳量分成如图8-7所示的几类：低碳钢含碳量最高为0.2%，中碳钢含碳量在0.2~0.5%范围内，而高碳钢含碳量高于0.5%。另一方面，钢又可分为亚共析钢（含碳量低于0.8%），共析钢（含碳量0.8%）和过共析钢（含碳量高于0.8%），亚共析钢包含先析铁素体和珠光体，而过共析钢则由先析渗碳体和珠光体组成。

冷轧低碳钢带是以连续板带形式生产的，通常最高含碳量约为0.25%（按桶样分析）。这样使用的钢可以按其制造方法称为碱性平炉钢、碱性氧气转炉钢、酸性平炉钢或酸性转炉钢。目前碱性平炉钢产量占优势，并且可以是沸腾钢、半镇静钢或全镇静钢。这种钢的AISI标准成分范围在表8-4中给出。

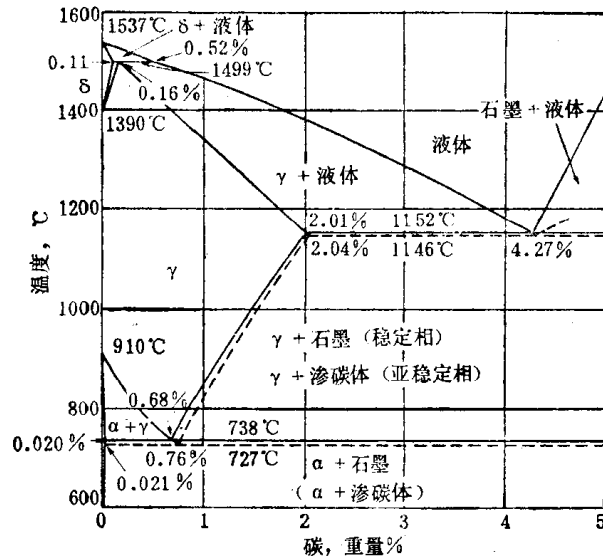


图 8-6 铁碳平衡图

含碳量, %	一般分类
<0.2	低碳钢
0.2~0.5	中碳(亚共析)钢
0.5~0.8	高碳(亚共析)钢
0.8	高碳(共析)钢
>0.8	高碳(过共析)钢

图 8-7 钢按含碳量的分类

中碳钢和高碳钢带（含碳量高至约1.3%）也是冷轧而成的，虽然由于变形阻力增加，钢带宽度通常比较窄。

电工钢含碳量低，含硅量范围大约是0.5~4.8%（见表8-5）。在这种钢中，铁的高导电性是靠硅来增强的，而其相当高的电阻率使铁芯损失降低。图8-8所示为三元铁-硅-碳平衡图的截面图，图8-8a为含碳量在0.01~0.02%之间，图8-8b为含碳量在0.05~0.08%之间。

不锈钢（在第8-15节中更详细讨论）一般有四类：1）体心结构的铁素体不锈钢；2）面心结构的奥氏体不锈钢；3）体心四方体结构的马氏体不锈钢；4）沉淀硬化型或半奥氏体不锈钢。这些钢的化学成分极值和范围在表8-6中列出。就冷轧而论，只有铁素体（AISI400系列中的某些钢为代表）和奥氏体（AISI200和300系列为代表）不锈钢是主要的。

表 8-4 AISI标准, 碱性平炉碳钢的成分范围

AISI №	化学成分极限, %				相当于 SAE №
	C	Mn	P (max)	S (max)	
C1005	0.06max	0.25max	0.040	0.050	—
C1006	0.08max	0.25~0.40	0.040	0.050	1006
C1008	0.10max	0.25~0.50	0.040	0.050	1008
C1010	0.08~0.13	0.30~0.60	0.040	0.050	1010
C1011	0.08~0.13	0.60~0.90	0.040	0.050	—
C1012	0.10~0.15	0.30~0.60	0.040	0.050	1012
C1013	0.11~0.16	0.50~0.80	0.040	0.050	—
C1015	0.13~0.18	0.30~0.60	0.040	0.050	1015
C1016	0.13~0.18	0.30~0.60	0.040	0.050	1016
C1017	0.15~0.20	0.60~0.90	0.040	0.050	1017
C1018	0.15~0.20	0.60~0.90	0.040	0.050	1018
C1019	0.15~0.20	0.70~1.00	0.040	0.050	1019
C1020	0.18~0.23	0.30~0.60	0.040	0.050	1020
C1021	0.18~0.23	0.60~0.90	0.040	0.050	1021
C1022	0.18~0.23	0.70~1.00	0.040	0.050	1022
C1023	0.20~0.25	0.30~0.60	0.040	0.050	—
C1024	0.19~0.25	1.35~1.65	0.040	0.050	1024
C1025	0.22~0.28	0.30~0.60	0.040	0.050	1025
C1026	0.22~0.28	0.60~0.90	0.040	0.050	1026
C1027	0.22~0.29	1.20~1.50	0.040	0.050	1027
C1029	0.25~0.31	0.60~0.90	0.040	0.050	—
C1030	0.28~0.34	0.60~0.90	0.040	0.050	1030
C1031	0.28~0.34	0.30~0.60	0.040	0.050	—
C1032	0.30~0.36	0.60~0.90	0.040	0.050	—
C1033	0.30~0.36	0.70~1.00	0.040	0.050	1033
C1034	0.32~0.38	0.50~0.80	0.040	0.050	—
C1035	0.32~0.38	0.60~0.90	0.040	0.050	1035
C1036	0.30~0.37	1.20~1.50	0.040	0.050	1036
C1037	0.32~0.38	0.70~1.00	0.040	0.050	—
C1038	0.35~0.42	0.60~0.90	0.040	0.050	1038
C1039	0.37~0.44	0.70~1.00	0.040	0.050	1039
C1040	0.37~0.44	0.60~0.90	0.040	0.050	1040
C1041	0.36~0.44	1.35~1.65	0.040	0.050	1041
C1042	0.40~0.47	0.60~0.90	0.040	0.050	1042
C1043	0.40~0.47	0.70~1.00	0.040	0.050	1043
C1044	0.43~0.50	0.30~0.60	0.040	0.050	—
C1045	0.43~0.50	0.60~0.90	0.040	0.050	1045
C1046	0.43~0.50	0.70~1.00	0.040	0.050	1046
C1048	0.44~0.52	1.10~1.40	0.040	0.050	1048
C1049	0.46~0.53	0.60~0.90	0.040	0.050	1049
C1050	0.48~0.55	0.60~0.90	0.040	0.050	1050
C1051	0.45~0.56	0.85~1.15	0.040	0.050	—
C1052	0.47~0.55	1.20~1.50	0.040	0.050	1052
C1053	0.48~0.55	0.70~1.00	0.040	0.050	—
C1054	0.50~0.60	0.50~0.80	0.040	0.050	—

AISI №	化学成分极限, %				相当于 SAE №
	C	Mn	P (max)	S (max)	
C1055	0.50~0.60	0.60~0.90	0.040	0.050	1055
C1060	0.55~0.65	0.60~0.90	0.040	0.050	1060
C1065	0.60~0.70	0.60~0.90	0.040	0.050	1065
C1069	0.65~0.75	0.40~0.70	0.040	0.050	—
C1070	0.65~0.75	0.60~0.90	0.040	0.050	1070
C1075	0.70~0.80	0.40~0.70	0.040	0.050	—
C1078	0.72~0.85	0.30~0.60	0.040	0.050	1078
C1080	0.75~0.88	0.60~0.90	0.040	0.050	1080
C1084	0.80~0.93	0.60~0.90	0.040	0.050	—
C1085	0.85~0.93	0.70~1.00	0.040	0.050	1085
C1086	0.82~0.95	0.30~0.50	0.040	0.050	1086
C1090	0.85~0.98	0.60~0.90	0.040	0.050	1090
C1095	0.90~1.03	0.30~0.50	0.040	0.050	1095

- 注: 1. 硅——需要含硅时, 对于标准的碱性平炉钢通用的含硅范围如下: C1015以下的钢, 最大0.1; C1015~C1025的钢, 最大0.1, 0.1, 0.2, 或0.15, 0.30; C1025以上的钢硅0.1, 0.2或0.15, 0.30。
2. 铜和铅——当需要时, 铜和铅规定为对标准钢的添加元素。
3. 热轧碳钢棒材和半成品断面不超过200英寸<sup>2</sup> (0.129米<sup>2</sup>)。
4. 材料来源: “Carbon-Steel Semifinished for Forging”, “Hot-Rolled and Cold-Finished Carbon-Steel Bars”, “Wire and Rod, Carbon Steel” (美国钢铁学会编)。

表 8-5 完全处理后的电工钢板的典型机械性能

品 级	厚度 毫米	大约含Si量 %	大约电阻率 微欧/厘米 <sup>2</sup>	纵向屈服点 兆帕	纵向抗拉强度 兆帕	纵向延伸% (标距50.8 毫米)	洛氏硬 度 B	杯突值 毫米	弯曲 次数
电工 (CR)	0.635	1.6	31	255	386	28	72	—	21
电动机 (CR)	0.635	2.8	45	352	469	24	80	7.0	10
发电机 (CR)	0.47	3.25	50	379	476	16	82	5.4	10
变压器72 (CR)	0.47	3.25	50	407	469	16	84	5.2	9
变压器65(HR)	0.35	4.00	58	407	455	12	70	4.0	7
变压器58(HR)	0.35	4.25	61	414	425	4	75	3.5	5
变压器52(HR)	0.35	4.50	64	414	479	2	74	2.7	3
晶粒取向 变压器60 (CR)	0.35	3.25	50	332	383	10	77	—	—

注: (CR) 表示冷轧产品; (HR) 表示热轧产品。

铁及各种钢的近似密度在表8-7中列出, 这些对计算钢卷的尺寸及轧机的产量是有用的。

表 8-6 美国钢铁学会对不锈钢标准型号、化学成分的限制范围

型号	化 学 成 分, %							
	C	Mn, max	Si, max	P, max	S, max	Cr	Ni	其他元素
201	0.15max	5.50~7.50	1.00	0.060	0.030	16.00~18.00	3.50~5.50	N: 0.25max
202	0.15max	7.50~10.00	1.00	0.060	0.030	17.00~19.00	4.00~6.00	N: 0.25max
301	0.15max	2.00	1.00	0.045	0.030	16.00~18.00	6.00~8.00	
302	0.15max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	8.00~10.00	
302B	0.15max	2.00	2.00~3.00	0.20	0.15min	17.00~19.00	8.00~10.00	
303	0.15max	2.00	1.00	0.20	0.06	17.00~19.00	8.00~10.00	Mo: 0.60max <sup>①</sup>
303Se	0.15max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	8.00~10.00	Se: 0.15min
304	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	18.00~20.00	8.00~12.00	
304L	0.03max	2.00	1.00	0.045	0.030	18.00~20.00	8.00~12.00	
305	0.12max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	10.00~13.00	
308	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	19.00~21.00	10.00~12.00	
309	0.20max	2.00	1.00	0.045	0.030	22.00~24.00	12.00~15.00	
309S	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	22.00~24.00	12.00~15.00	
310	0.25max	2.00	1.50	0.045	0.030	24.00~26.00	19.00~22.00	
310S	0.08max	2.00	1.50	0.045	0.030	24.00~26.00	19.00~22.00	
314	0.25max	2.00	1.50~3.00	0.045	0.030	23.00~26.00	19.00~22.00	
316	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	16.00~18.00	10.00~14.00	Mo: 2.00~3.00
316L	0.03max	2.00	1.00	0.045	0.030	16.00~18.00	10.00~14.00	Mo: 2.00~3.00
317	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	18.00~20.00	11.00~15.00	Mo: 3.00~4.00
321	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	9.00~12.00	Ti: 5×C, min
347	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	9.00~13.00	Nb-Ta: 10×C, min
348	0.08max	2.00	1.00	0.045	0.030	17.00~19.00	9.00~13.00	Nb-Ta: 10×C, min
403	0.15max	1.00	0.50	0.040	0.030	11.50~13.00		Ta: 0.10max, Co: 0.20max
405	0.08max	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~14.50		Al: 0.10~0.30
410	0.15max	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~13.50		
414	0.15max	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~13.50	1.25~2.50	
416	0.15max	1.25	1.00	0.06		12.00~14.00		Mo: 0.60max <sup>①</sup>
416Se	0.15max	1.25	1.00	0.06		12.00~14.00		Se: 0.15min
420	0.15以上	1.00	1.00	0.040	0.030	12.00~14.00		
430	0.12max	1.00	1.00	0.040	0.030	14.00~18.00		
430F	0.12max	1.25	1.00	0.06	0.15min	14.00~18.00		Mo: 0.60max <sup>①</sup>
430FSe	0.12max	1.25	1.00	0.06	0.06	14.00~18.00		Se: 0.15min
431	0.20max	1.00	1.00	0.040	0.030	15.00~17.00	1.25~2.50	
440A	0.60~0.75	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00~18.00		Mo: 0.75max
440B	0.75~0.95	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00~18.00		Mo: 0.75max
440C	0.95~1.20	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00~18.00		Mo: 0.75max
446	0.20max	1.50	1.00	0.040	0.030	23.00~27.00		N: 0.25max
501	0.10以上	1.00	1.00	0.040	0.030	4.00~6.00		Mo: 0.40~0.65
502	0.10max	1.00	1.00	0.040	0.030	4.00~6.00		Mo: 0.40~0.65

① 随生产者的意, 只是当有意添加时才如此。

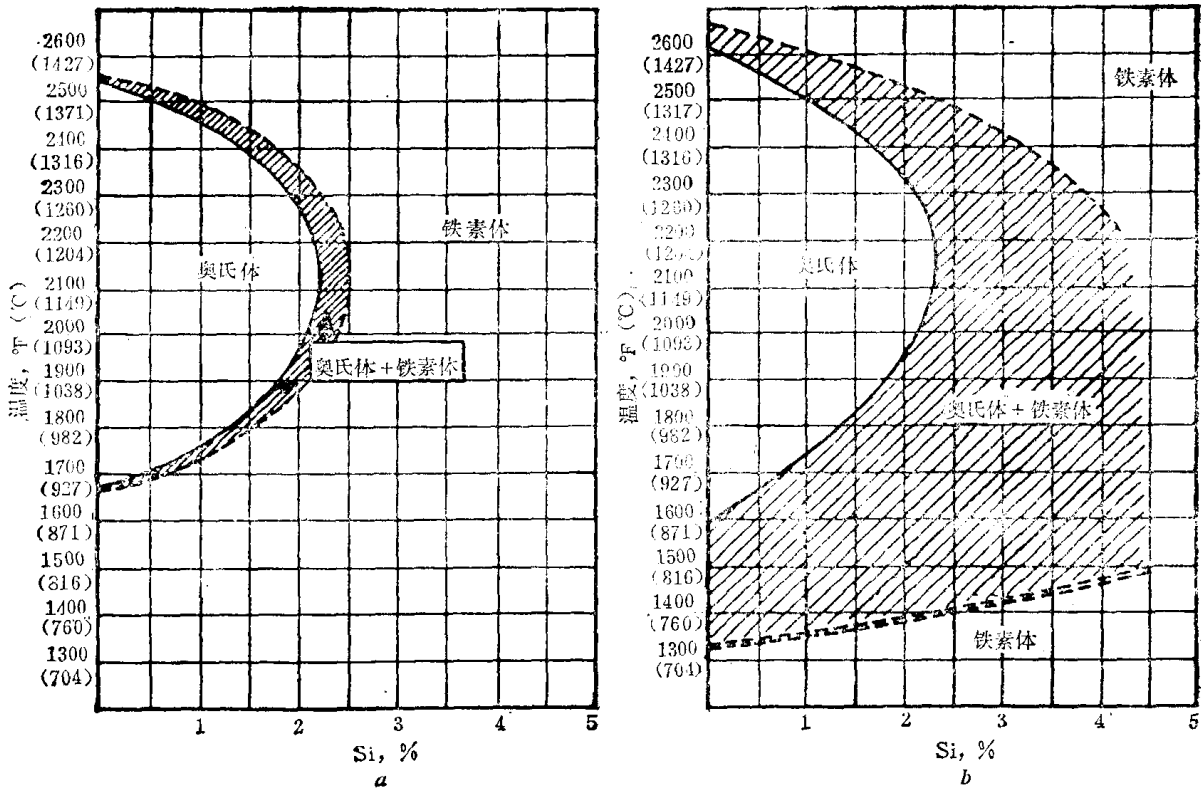


图 8-8 铁-硅-碳三元状态图的截面图  
 a—含碳0.01~0.02%时; b—含碳0.05~0.08%时

表 8-7 铁及各种钢的密度(近似值)

材 料 (锻压件)	密 度 (60°F, 15.5°C时)		
	克/厘米 <sup>3</sup>	磅/英寸 <sup>3</sup>	磅/英尺 <sup>3</sup>
纯 铁 (99.9%Fe)	7.86	0.284	491
软 钢 (0.06%C)	7.87	0.284	491
碳 钢 (0.40%C)	7.84	0.283	489
不锈钢 (17%Cr, 0.12%C)	8.03	0.28	484
不锈钢 (18%Cr, 8%Ni)	7.75	0.29	501
不锈钢 (27%Cr, 0.35%C)	7.47	0.27	467

#### 8-4 钢在冷轧前的加工处理

必须冷轧的钢卷已在热带轧机上受过相当大的预先变形, 这一加工过程与后来的酸洗和涂油操作一起, 显著地影响冷轧过程中钢的性能以及新轧产品的性能和质量。由于这一原因, 重温一下冷轧前的各种加工作业是有益的。

当今, 钢是在氧气炼钢炉、平炉、电炉和近时不常用的贝塞麦转炉中炼出的, 不久以前, 所有生产的钢都被铸成钢锭, 但在六十年代引用了连续铸钢机, 首先生产方坯, 然后接着生产板坯, 用以轧成热轧产品。

当生产钢锭时，将钢锭由锭模中脱出，进行“均热”（即再加热到合理的均匀的温度）并在初轧机上轧成板坯（或其他半成品），然后再加热并在热带轧机或钢板轧机上轧制。然而在连续铸钢时，铸件被切成板坯或其他半成品，这样绕过了初轧阶段。如此生产出的板坯，以后的加工方式，基本上与常规铸锭轧成的板坯的加工方式相同。

在板坯轧成带钢以前，必须把它均匀地加热到热轧的温度。用来加热的炉子的炉膛结构，允许炉料在加热过程中或停留于炉中固定的位置，或进行移动。前一种型式的炉膛的例子，就是普通的分批或进出料的室式加热炉。后一种普通类型炉有辊底式加热炉和连续炉。在辊底式加热炉中，炉料随着构成炉床的一系列辊子转动而移动；在连续炉中，炉料在滑轨上被连续推动。室状炉特别适用于加热厚度超过8英寸（203毫米）的混合规格和长度的钢坯。连续炉用于加热大批量的长度和厚度划一的板坯或方坯，而车底式炉则用于各种形状和规格的钢材的退火。

逆流式加热炉如图8-9所示。在这种炉子中，要加热的钢可以从炉子的端部或侧炉门装入，在这两种情况下都是通过加料端的推料机装入钢坯并把钢坯推过炉子。当每一块冷料推入炉中就有一块加热好的钢坯被推出。加热好的坯料出炉或者借重力经过炉门落到辊道上，再由辊道送入轧机，或者用适当的人工或机械设施由侧炉门推到轧机辊道上。

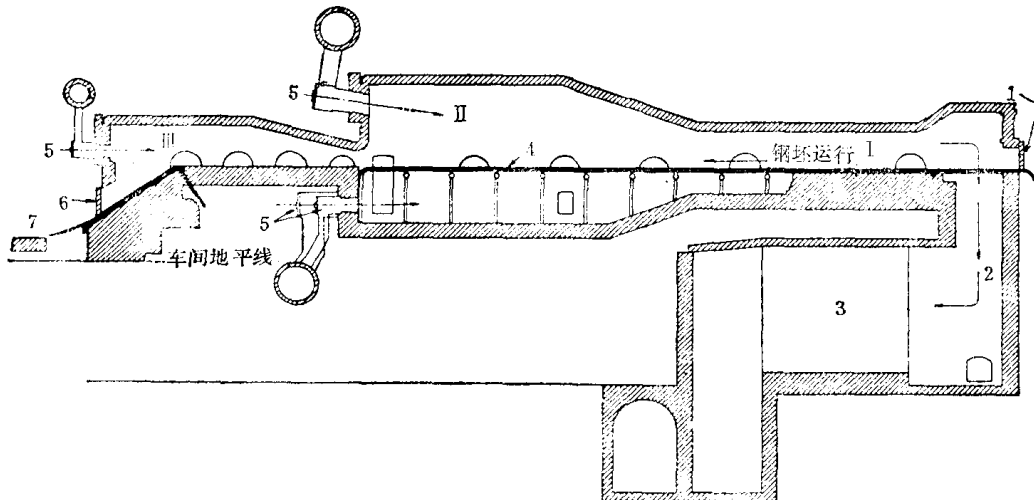


图 8-9 逆流式连续加热炉的纵切面图

- 1—装料门；2—热废气；3—金属换热器；4—水冷滑轨；5—烧嘴；6—出料门；  
7—轧机辊道  
I—预热带；II—加热带；III—均热带

典型的轧机机组（见图8-10）包括一台粗除鳞机，四台四辊式粗轧机，一台精除鳞机和六台四辊式精轧机。驱动的辊道把钢由加热炉运送到轧机并在轧机之间转运，如果轧机要生产带钢、钢板或比现有板坯最大宽度还要宽的粗轧板坯料，则第一台粗轧机是一台展宽机，在其上横轧一道使板坯宽度增加。在这种情况下，必须在此轧机的前后配备拨转板坯的回转台。在展宽机之后还须有一台板坯齐边压力机。后面三台粗轧机通常在每台轧机前面备有整体立式轧边机。延缓辊道把粗轧机组和精轧机组分开，而精轧机组是由除鳞机和六架精轧机组成的组合紧凑的连轧机。

清除热板坯铁鳞的高压水力喷嘴位于两台除鳞机之后，并且还可能设置在各架粗轧机上，由合适的高压泵向喷嘴供水。



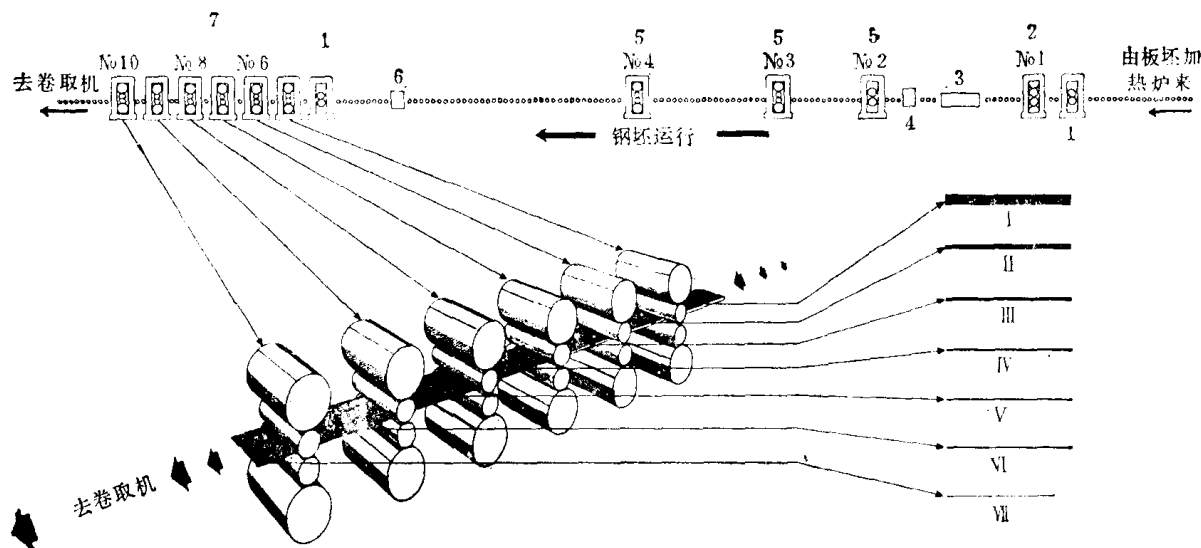


图 8-10 热带轧机精轧机组每道的典型压下量

1—破鳞机；2—4 辊展宽机；3—齐边压力机；4—热剪；5—粗轧机；6—切头剪；  
7—精轧机列

I—入精轧机列厚度28毫米；II—第1架精轧机后厚度14毫米（压下50%）；III—第2架精轧机后厚度8.4毫米（压下40%）；IV—第3架精轧机后厚度5.1毫米（压下40%）；  
V—第4架精轧机后厚度3.3毫米（压下35%）；VI—第5架精轧机后厚度2.8毫米（压下15%）；VII—第6架精轧机后厚度2.54毫米（压下10%）

在最末的精轧机之后，通常有一台飞剪，如果需要，可用以将所轧产品剪成定尺。钢由轧机出来被传送经过一组由单独驱动的辊子组成的长输出辊道。在此辊道中安置了两台或更多的卷取机，当需要生产很长的钢带时，用以卷取钢带。如果钢带经飞剪切成单张，则卷取机停止操作，钢越过飞剪并进入到辊道端头的垛板机上。也可以安装与中央输出辊道平行的附加辊道，备有适当的运送机，将板带移到附加辊道上，此种装备主要是在轧制较厚规格时使用。

精轧机组必须小心操作，以获得优质的精轧产品。在轧机设计中已经包括了各种自动控制元件，以帮助操纵工生产出均匀的高质量带材。表面、厚度、宽度、精轧温度以及产品断面形状都需要满足依该材料最后的用途或随后的处理而定出的标准。例如，在冶金性能方面，当轧制某一特殊规格（厚度和宽度）的钢材时，需要一定的终轧温度。带钢卷取之前在输出辊道上停留的时间、精轧机组轧制时所用除鳞喷嘴的数目、精轧机组的速度以及压下的分配，都影响到终轧温度，并且为了满足需要，可由操纵工随意变化。所轧钢材的表面缺陷，如果在初轧板坯中不明显，那么通常就是由精轧机工作辊的表面缺陷造成的，应立即通过更换新加工的工作辊来改正。影响热轧成品总尺寸的主要因素包括有，工作辊和支持辊在装辊时具有的轮廓形状、工作辊和支持辊因中间受热及冷却而使形状发生的变化、压下分配（即相继各道的压下量）以及各种厚度和宽度的产品的轧制次序。使热轧带钢规格（厚度）产生变化的因素也包括了带钢离开最后一架粗轧机的速度和第一架精轧机的速度变化，从而引起沿带钢长度的温度变化，并包括了机组间施加于带钢的张力的波动。其中许多影响产品质量的因素是有可能实行自动控制的，并通过尽量减少需用人工控制的元