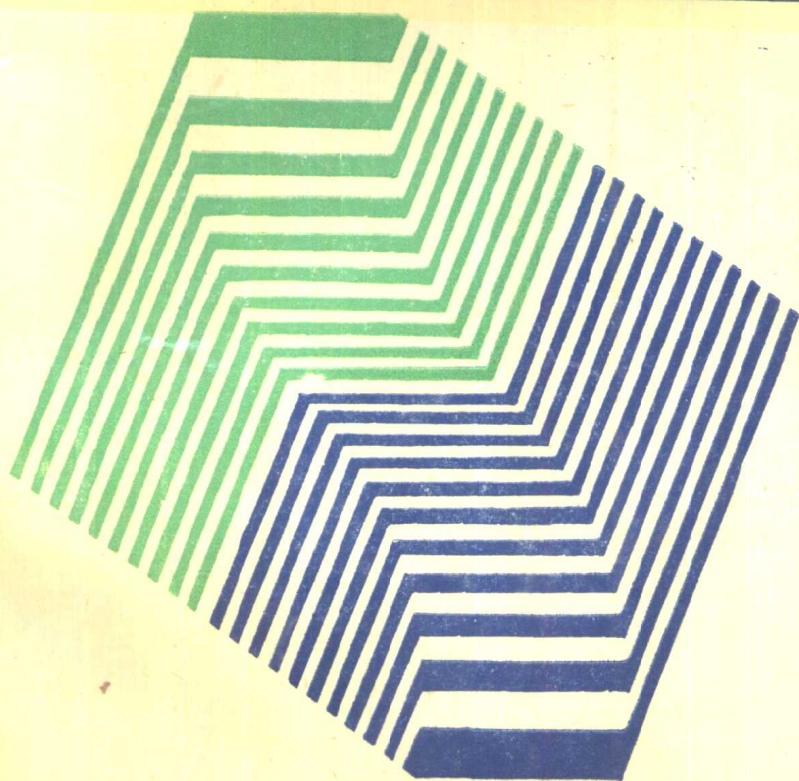


轧钢机状态监测 与故障诊断

虞和济 寇惠 原培新等 编著



冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 简 介

本书对轧钢机的状态监测和故障诊断,从原理、方法到工业用的装置都作了全面地叙述;重点地介绍了轧钢机状态监测系统的构造和机理,及其在轧钢生产中的重要作用;详细地阐述了操作方法及监测系统本身的故障诊断和排除方法。本书适用于在冶金企业中从事设备管理和维修工作的工程师或技术人员,也可作为高等学校本科生、研究生和教师的参考书。

轧钢机状态监测与故障诊断

虞和济 寇 惠 原培新等 编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北海沿大街嵩祝院北巷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

*

850×1168 1/32 印张 9.25 字数 240 千字

1993年8月第一版 1993年8月第一次印刷

印数 00,001~3000册

ISBN 7-5024-1167-4

TG·157 定价8.30元

序 言

东北工学院设备诊断技术研究所，从1985年开始研制轧钢机在线监测系统，1986年第一台轧钢机在线监测系统在唐山钢铁公司二轧厂650轧机上安装调试并投入生产。几年来，已先后研制出四代产品。第一代产品——650轧机轧制力矩在线监测系统，于1988年通过冶金部部级鉴定，1989年获沈阳市科技进步二等奖和冶金部科技进步三等奖，这台装置已在生产中安全运行六年，累计经济效益达1380万元；第二代产品——650轧机工作状态监测系统，于1989年通过冶金部部级鉴定，鉴定会专家认为在轧制力矩和轧制压力间接监测上属国内外首创，其监测效果达80年代国际先进水平；第三代产品——1150万能板坯轧机工作状态监测系统，于1990年通过冶金部部级鉴定，1991年获沈阳市科技进步二等奖和辽宁省科技进步二等奖；第四代产品——中板轧机工作状态和工艺状态监测系统，于1991年秋安装调试，到目前为止已在国内唐山钢铁公司、本溪钢铁公司、承德钢厂、抚顺钢厂、抚顺钢铁公司、大连钢厂、新余钢铁公司、湘潭钢铁总厂等钢铁企业推广了十五套轧机在线监测系统。这些钢铁企业，安装轧机监测装置后获得的总经济效益达3500万元以上。这套监测系统可以在线监测轧机的力参数、电参数、工艺参数、振动、温度、作业率等能反映轧机工作状态和工艺状态的各种参数，可实现实时显示、报警、超限打印、跟踪打印、存贮打印和报表统计，能使轧机在安全运行的条件下发挥其最大潜力，为新产品试轧和工艺的优化提供科学依据，可以预报和识别故障，促进了设备维修制度的改革和生产管理的现代化。这套系统被现场称为轧钢机的电子眼睛，已成为厂长管理和领导生产不可缺少的工具。当前，这套系统正向综合监测、故障诊断和控制的方向发展。这套系统在轧钢机上的安装

应用，是以微电子技术改造传统的轧钢工业；在引进的新轧机上安装应用，是以微电子技术对引进轧钢技术的改进和创新，符合“八五”和“九五”期间我国的科技发展方向。

本书是我们研制轧机在线监测系统和推广这套系统的初步总结，以此将经验介绍给读者，尤其是轧钢厂的工程师和技术人员。

本书的第2章由寇惠教授编写，第3章由李沈讲师编写，第4章由韩庆大讲师编写，第5章由原培新副教授编写，第6章由孟超工程师编写，第1、7章由虞和济教授编写，全书由虞和济主编。

由于编著者水平有限，加之轧机在线监测系统正在不断发展，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

编著者

1992年5月

目 录

1 概论	1
1.1 轧钢机在冶金工业生产中的作用	1
1.1.1 冶金工厂生产流程简介	1
1.1.2 轧钢厂生产流程	1
1.1.3 轧钢机在冶金企业中的地位	3
1.2 轧钢机分类	5
1.2.1 轧钢机的工作原理	5
1.2.2 轧钢机分类	7
1.2.3 初轧机	15
1.2.4 厚板轧机	15
1.2.5 热连轧机	16
1.2.6 冷连轧机	17
1.2.7 型钢轧机	17
1.3 轧钢工艺概述	17
1.3.1 轧制工艺过程	18
1.3.2 轧制工艺过程的设计与实施	19
1.3.3 工艺过程的自动控制	27
1.4 轧钢机的各种故障	31
1.4.1 主轧机的各种故障	31
1.4.2 轧机主电动机故障	33
1.4.3 轧机附属设备的各种故障	35
1.5 轧钢机状态监测	35
1.5.1 轧机在线监测的重要意义	36
1.5.2 轧钢机运行状态和工艺过程的在线监测	37
1.5.3 轧机在线监测的典型系统	38
2 轧钢机状态监测理论基础	39
2.1 轧钢机主要力参数的分析与计算	39

2.1.1	650轧机主要零部件强度校核	39
2.1.2	轧制力矩的分析与计算	45
2.1.3	轧制压力的分析与计算	52
2.2	轧钢机传动系统的动态特性	54
2.2.1	轧钢机传动系统的扭转振动	54
2.2.2	扭矩放大系数	59
2.2.3	打滑现象分析	59
2.2.4	飞轮的动态特性	60
2.3	轧钢工作状态下力能参数的间接监测原理	63
2.3.1	轧制过程的力矩方程式及数学模型	64
2.3.2	轧制过程的轧制压力方程式及数学模型	65
2.4	间接监测的数学模型	69
2.4.1	回归分析的基本原理	69
2.4.2	实际数学模型的建立与检验	86
3	轧钢机工艺状态在线监测	93
3.1	轧前轧后温度在线监测	93
3.1.1	温度监测的目的和意义	93
3.1.2	温度监测方法与原理	94
3.2	轧件形状与尺寸在线监测	97
3.2.1	形状与尺寸监测的目的与意义	97
3.2.2	形状与尺寸监测的方法与原理	97
3.3	压下量在线监测	104
3.3.1	压下量在线监测的目的与意义	104
3.3.2	压下量监测的方法与原理	107
3.4	轧制速度在线监测	111
3.4.1	轧制速度监测的目的与意义	111
3.4.2	轧制速度监测的方法与原理	114
3.5	轧制工艺状态在线监测系统	116
4	轧钢机在线监测用仪器仪表	119
4.1	在线监测用传感器	119
4.1.1	力矩传感器	120
4.1.2	测力传感器	121

4.1.3	转速测量传感器	127
4.1.4	温度测量传感器	132
4.1.5	电涡流传感器	140
4.1.6	加速度传感器	142
4.2	各种信号的变送	145
4.2.1	动态电阻应变仪	145
4.2.2	电荷放大器	148
4.2.3	滤波器	151
4.2.4	转速测量变送电路	155
4.2.5	温度测量变送电路	155
4.2.6	电信号的变送电路	155
4.3	测量与信号处理技术	163
4.3.1	轧制力矩的测量和信号处理	164
4.3.2	轧制压力的测量和信号处理	168
4.3.3	转速的测量和信号处理	170
4.3.4	压下量的测量和信号处理	171
4.3.5	钢锭温度的测量和信号处理	172
4.3.6	轴承温度测量和信号处理	174
4.3.7	电参数的测量和监测	176
4.3.8	轴心位置测量和信号处理	178
5	轧钢机状态监测计算机应用	181
5.1	概述	181
5.2	计算机硬件系统的总体结构	181
5.2.1	微处理器	181
5.2.2	寄存器	182
5.2.3	总线	184
5.3	状态监测中的计算机选择	184
5.3.1	单板机的基本配置及其性能	184
5.3.2	单片机的基本配置及其性能	189
5.3.3	STD—总线制工业控制机的基本配置及其性能	193
5.3.4	Industrial-PC机的基本配置及其性能	203
5.4	计算机选择及主要监测器适配	212

5.5	轧钢机监测系统计算机故障排除及简单维护	213
5.5.1	“死机”现象	213
5.5.2	打印机故障	214
5.5.3	监测系统的误报	215
5.5.4	CRT不显示	216
5.5.5	监测系统无信号	216
5.5.6	监测参数浮动	217
5.5.7	脉冲量读数失真	218
6	典型轧钢机监测系统	219
6.1	典型监测系统的构成	219
6.1.1	以单板机为主机的监测系统	219
6.1.2	以单片机为主机的监测系统	219
6.1.3	以STD总线制工业控制机为主机的监测系统	221
6.1.4	Industrial-PC为主机的监测系统	222
6.2	650轧钢机工作状态监测系统	223
6.2.1	监测系统的构成及功能	223
6.2.2	以单板机为主机的监测系统	224
6.2.3	以工业控制机为主机的监测系统	225
6.3	1150万能板坯初轧机工作状态监测系统	233
6.3.1	监测系统的构成	233
6.3.2	监测系统的功能	234
6.4	中板轧机工艺、工作状态监测系统	241
6.4.1	监测系统的构成	242
6.4.2	监测系统的功能	242
6.5	700初轧机工作状态监测系统	248
6.5.1	监测系统的构成	248
6.5.2	监测系统的功能	249
6.5.3	监测系统的软件设计	254
6.6	轧钢机工作状态监测系统的安装与调试	254
6.6.1	拖动电动机电信号的联接	254
6.6.2	传感器的安装与调试	256
6.6.3	力能参数的测试与标定	257

6.6.4	软件的调试与数学模型的建立	258
6.7	轧钢机工作状态监测系统在企业管理中的应用	259
6.7.1	监测系统在企业管理中的应用	259
6.7.2	监测系统在设备管理中的应用	260
6.7.3	监测系统在技术管理中的应用	262
6.7.4	设备综合管理	263
7	轧钢机状态监测与故障诊断专家系统	265
7.1	国内外动态	265
7.1.1	轧钢机状态监测的发展过程	265
7.1.2	轧钢机状态监测与故障诊断的现状与发展前景	265
7.2	轧钢机故障诊断专家系统	266
7.2.1	专家系统简介	267
7.2.2	轧钢机故障诊断知识库	267
7.2.3	故障诊断的模糊推理	271
7.2.4	故障诊断的灰色推理	274
7.3	轧钢机扭振监控	275
7.3.1	扭振对轧钢机的危害	275
7.3.2	扭振起因分析	276
7.3.3	扭振控制	278
7.4	轧钢机综合优化控制	282
7.4.1	轧钢机综合优化控制的总体思路	282
7.4.2	轧钢机的综合监测诊断和优化控制	283
	参考文献	284

1 概 论

轧钢机在冶金工业生产中的地位和作用是十分重要的，因此轧钢机综合在线监测系统具有重大的社会意义和经济价值。

1.1 轧钢机在冶金工业生产中的作用

1.1.1 冶金工厂生产流程简介

钢铁工业是重要的基础工业，现在以钢铁工厂为例来阐述冶金工厂的生产流程。钢铁厂的原料是矿石，产品是各种钢材，其生产流程是采矿→选矿→精矿运输→炼铁→炼钢→轧钢。一般情况下，我国把钢铁工业的流程分为两段，前段为矿山公司，包括采矿和选矿，产品为精矿；后段为钢铁公司或钢铁厂，包括炼铁、炼钢和轧钢，产品为各种钢材。典型钢铁厂的总图布置如图1-1所示，高炉炼铁需要烧结矿、焦炭和石灰，有三个备料系统；炼钢有转炉和电炉，分连铸和钢锭浇铸两种工艺型式；轧钢则分初轧、厚板轧制、热连轧和冷连轧，对应图1-1的生产流程图如图1-2。由流程图可以看出，轧钢厂是最后出产品，也就是出各种钢材的重要环节。

1.1.2 轧钢厂生产流程

轧钢厂的轧钢生产流程依轧钢工艺过程而定，连铸连轧工艺过程和先铸锭再轧制（简称钢锭轧制）工艺过程不同，其生产流程也不相同。这里仅举两个钢锭轧制的生产流程来说明轧钢厂的生产流程概貌，一个是单机座布置如图1-3，一个是双机座布置如图1-4。

单机座布置时，荒轧与精轧在同一轧机上进行，由于设备条件的限制，产品规格范围受限制，产品质量较差。原料是钢锭或钢坯，用两台连续加热炉，加热好的钢锭或钢坯出炉后在除鳞机上清除氧化铁皮，然后进入轧机轧制，轧机采用劳特式轧机，轧

辊尺寸800/550/800mm，主电机为2000kW交流电动机，设计轧制速度2.62m/s，最大轧制压力 $1470 \times 10^4 \text{N}$ ，最大轧制力矩 $117.6 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$ 。轧出的钢板在矫直机上矫直，在大型冷床上冷却到 $100 \sim 260^\circ \text{C}$ ，然后进行翻板检查、划线，并在剪断机上切头和切边。设计产量为12万t(一个炉)或20万t(二个炉)。

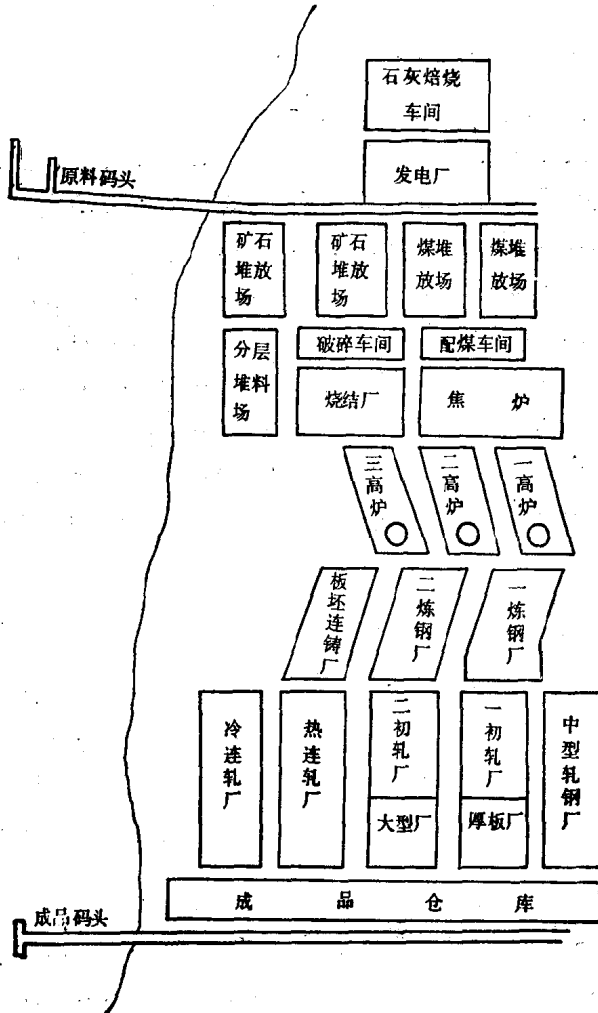


图 1-1 典型钢铁厂总图布置

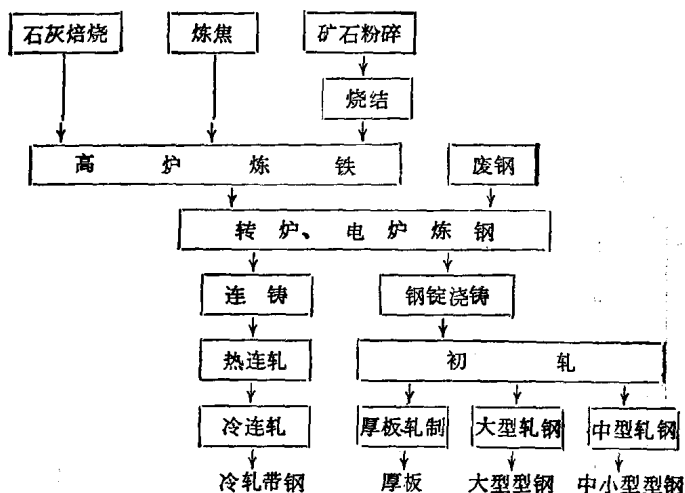


图 1-2 某钢铁厂生产流程

双机座布置时，一台轧机荒轧，另一台精轧，既可生产大规格产品，又提高了产品质量和产量。荒轧机可采用二辊、四辊可逆式或劳特式，用得较多的是二辊或四辊可逆式；精轧机可采用四辊可逆式或劳特式，以四辊可逆式较普遍。板坯或扁锭从加热炉出来后，被大立辊轧机轧边破鳞和高压水同时除鳞，然后先进入荒轧再进入精轧。

从上面介绍的轧钢生产流程中可以看出轧钢机是轧钢生产设备中的关键设备。

1.1.3 轧钢机在冶金企业中的地位

钢铁厂的最终产品是由各种轧钢机轧制出来的各种钢材，钢材的品种、质量和产量标志这个钢铁企业的实力和水平。所以轧钢机是轧钢设备的核心。

在许多钢铁厂或钢铁公司中，初轧机被称为咽喉设备，在没有连铸的工厂中，所有后续工序的轧钢厂的原料都由初轧机来供应，初轧机轧出的产品的质量和产量直接影响到整个钢铁厂或钢铁公司的产量和质量。像鞍钢二初轧厂的1150初轧机、本钢的1150万能板坯轧机等关键设备都被列为冶金工业部的部控设备，由冶金

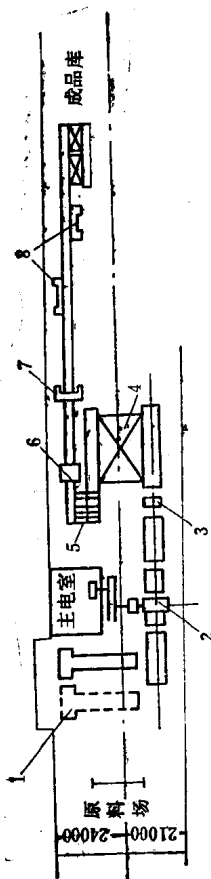


图 1-3 2300单机座中厚板轧钢厂平面图 (1971年通用设计)

- 1—加热炉, 2—轧钢机, 3—十一辊矫直机, 4—冷床, 5—翻板机, 6—划线小车, 7—横切钢刀式剪断机, 8—纵切钢刀式剪断机

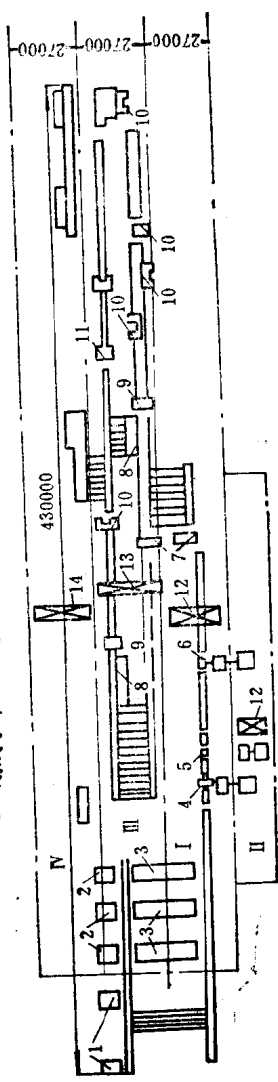


图 1-4 双机座2800轧机设备布置图

- 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—四辊万能轧机, 7—矫直机, 8—翻板机, 9—划线机, 10—斜刀剪, 11—圆盘剪, 12—吊车, 13—吊车, 14—吊车

工业部直接控制。

既然轧钢机在冶金工业中具有如此重要的作用，寻找一种能保证轧钢机在安全运行下发挥其最大生产潜力的措施，就具有十分重要的意义，为此，首先要了解轧钢机。

1.2 轧钢机分类

本章通过从各个角度对轧钢机进行分类来深入了解轧钢机的特性，首先应了解轧钢机的工作原理。

1.2.1 轧钢机的工作原理

轧钢机的种类繁多，其性能和用途也多种多样，其构造形式差异很大。但是不论多么复杂的轧机，其基本工作原理都是一对轧辊咬入被轧的工件而进行轧制的，如图1-5所示。现在通过理想的一般轧制过程来说明，首先假定：

- 1) 两个轧辊都由电动机通过传动系统驱动；
- 2) 两个轧辊直径相同；
- 3) 两个轧辊转速相同；
- 4) 轧件等速运动；
- 5) 轧件只受到轧辊的压力，没有受到前拉力和后推力；
- 6) 轧件为各向同性的均质材料，轧制温度和变形抗力一致。

满足这六个条件的这种轧制叫做简单轧制，在实际生产中没有这种理想的轧制状态。为了说明轧制过程中的各个因素，规定下列符号：

D ——轧辊直径；

$R = \frac{D}{2}$ ——轧辊半径；

h_0 ——轧前轧件高度；

h_1 ——轧后轧件高度；

b_0 ——轧前轧件宽度；

b_1 ——轧后轧件宽度；

l_0 ——轧前轧件长度;
 l_1 ——轧后轧件长度;
 α ——咬入角;
 $\widehat{AB}$ ——咬入弧 (接触弧);
 l ——咬入弧水平投影;
 n ——轧辊转速。

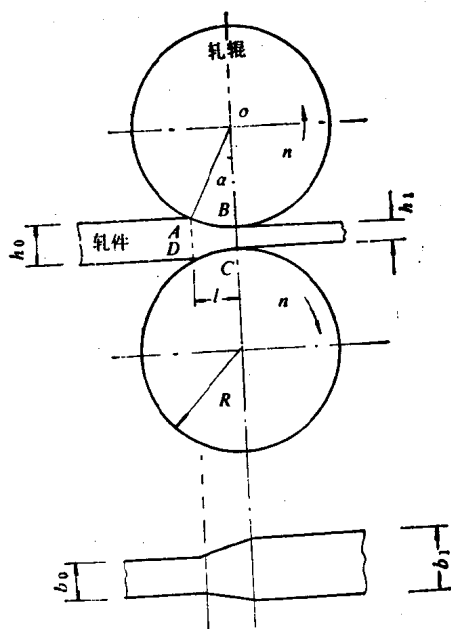


图 1-5 轧制过程示意图

这些符号如图1-5所示。

定义下列一些重要参数:

绝对变形

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

(1-1)

展宽

$$\Delta b = b_1 - b_0$$

(1-2)

延伸量

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

(1-3)

相对变形

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$$

(1-4)

$$\text{宽展率} \quad \beta = \frac{\Delta b}{b_0} \quad (1-5)$$

$$\text{延伸率} \quad \delta = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1-6)$$

高度方向上的真实变形为

$$\int_{h_1}^h \frac{dh_x}{h_x} = \ln \frac{h_0}{h_1} \quad (1-7)$$

宽度方向上的真实变形为

$$\int_{b_0}^{b_1} \frac{db_x}{b_x} = \ln \frac{b_1}{b_0} \quad (1-8)$$

长度方向上的真实变形为

$$\int_{l_0}^{l_1} \frac{dl_x}{l_x} = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad (1-9)$$

$$\text{压缩系数} \quad a = \frac{h_0}{h_1}$$

$$\text{宽展系数} \quad b = \frac{b_1}{b_0}$$

$$\text{延伸系数} \quad c = \frac{l_1}{l_0}$$

一个理想的轧制过程可以用这些因素来描述。

1.2.2 轧钢机分类

下面从各种不同的角度对轧钢机进行分类。

1.2.2.1 轧钢机按用途分类

按用途分类也就是按产品的特点分类，可分为半成品轧机和成品轧机两类：

1) 半成品轧机包括：各种初轧机、钢坯连轧机及中小型开坯机，一般用轧辊直径 D 表示其大小。

2) 成品轧机包括：各种型钢轧机（轨梁、大、中、小型和线材轧机），钢板轧机、钢管轧机及特殊用途轧机（如轮箍轧机）等。型钢轧机用 D 表示其大小。钢板轧机用轧辊辊身长度表示其

表 1-1 轧钢机按用途分类

轧机名称	轧辊尺寸, mm		产 品 范 围
	名义直径	辊身长度	
方坯初轧机	750~1350		120×120~400×400mm初轧坯
板坯初轧机	1100~1350		厚75~200mm, 宽400~1550mm的板坯
中小型开坯机	450~750		40×40~150×150mm的钢坯
轨梁轧机	750~950		38kg/m以上的重轨 20号以上的工字钢、槽钢
大型轧机	550~650		直径为80~150mm的圆钢, 12~20号的工字钢、槽钢、18~24kg/m的钢轨
中型轧机	350~500		40~80mm圆钢、方钢, 12号以下工、槽钢, 18kg/m钢轨
小型轧机	250~300		8~40mm方、圆钢, 异形断面钢材, 小角钢和小扁钢等
线材轧机	250以下		5~9mm线材
三辊钢板轧机		1800~2300	厚度为4~32mm的钢板
连续、半连续宽带钢轧机		1200~2300	厚1.2~8mm、宽800~1500mm
炉卷轧机		1200~1700	厚1.5~6mm、宽~1000mm
行星轧机		700~1200	厚1.8~4.5mm、宽~1250mm
叠轧薄板轧机		950~1200	厚0.35~4mm、宽750~1000mm
冷轧带钢轧机			
四辊连续三机座		1200~2300	厚0.6~3.0mm、宽600~2500mm
四辊连续五机座		1200	厚0.18~0.8mm、宽600~1000mm
四辊可逆式轧机			厚0.4mm、宽~1000mm
多辊(6~20)			厚0.01~0.005mm
自动式钢管机组	76~400		直径75~400mm, 壁厚2~60mm
钢管冷轧机			直径75mm, 壁厚0.75~0.15mm