

机械工程手册

第 42 篇 金属制作

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

H-62

/42

机械工程手册

第 42 篇 金属制作

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

金属制作习惯上又称冷作，是一种对板材、管材、型材进行综合加工的工艺过程。本篇以介绍锅炉、容器、换热器等受内压产品所特有的成形工艺为主，并介绍了部分重要零部件的冷作划线和装配技术。

第42篇 金属制作

(试用本)

哈尔滨锅炉厂 主编

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 6 · 字数 163 千字

1980年7月北京第一版·1980年7月北京第一次印刷

印数 00,001—26,500 · 定价 0.48 元

*

统一书号: 15033·4649

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

（五）为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

（六）本篇是《机械工程手册》第42篇，由哈尔滨锅炉厂主编，参加编写的有上海锅炉厂、一机部第二设计院、兰州石油化工机器厂、东方锅炉厂、武汉锅炉厂、四川汽车厂等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册
编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明

常用符号表

第1章 概 述

第2章 矫 正

- 1 矫正方法.....42-6
- 2 板材矫平——辊矫.....42-7
 - 2.1 辊矫原理.....42-7
 - 2.2 矫正条件.....42-7
 - 2.3 特殊情况的矫平.....42-8
 - 2.4 矫板机.....42-9
- 3 管材及型材矫正.....42-11
- 4 矫正力.....42-13

第3章 划线和下料

- 1 划线.....42-15
 - 1.1 划线方法.....42-15
 - 1.2 大圆弧线.....42-15
 - 1.3 筒体基准线.....42-15
 - 1.4 切割间隙和划线公差.....42-17
- 2 坯料尺寸的确定.....42-18
 - 2.1 接管.....42-18
 - 2.2 筒节.....42-18
 - 2.3 90°压制弯头.....42-19
 - 2.4 过渡锥体.....42-19
 - 2.5 整体封头.....42-19
 - 2.6 分瓣压制椭圆形封头.....42-20
 - 2.7 球瓣.....42-20
 - 2.8 分瓣压制球形封头.....42-21
- 3 下料和边缘加工.....42-21

第4章 压 制

- 1 整体封头压制.....42-23
 - 1.1 变形状况.....42-23
 - 1.2 压边界限及拉延次数的确定.....42-23
 - 1.3 压制工艺.....42-24

- 1.4 拉延力和压边力的计算.....42-26
- 2 瓦片压制.....42-27
- 3 其它工件的压制.....42-27
- 4 模具.....42-28
 - 4.1 工件的热压收缩与冷压回弹.....42-28
 - 4.2 封头压模.....42-29
 - 4.3 瓦片压模.....42-31
 - 4.4 瓜瓣压模.....42-31
- 5 润滑.....42-32
- 6 缺陷的产生及其防止.....42-32
 - 6.1 封头.....42-32
 - 6.2 瓦片.....42-33
 - 6.3 瓜瓣.....42-33
 - 6.4 翻孔件.....42-33
- 7 其它压制技术.....42-34
 - 7.1 封头旋压.....42-34
 - 7.2 锥体旋压翻边.....42-34
 - 7.3 多头压制法.....42-34

第5章 卷 板

- 1 卷板工艺.....42-35
 - 1.1 分类.....42-35
 - 1.2 卷板过程.....42-36
 - 1.3 锥体卷制.....42-37
- 2 卷板质量.....42-40
 - 2.1 外形缺陷.....42-40
 - 2.2 表面压伤.....42-40
 - 2.3 卷裂.....42-41
- 3 工艺参数计算.....42-41
 - 3.1 卷板力.....42-41
 - 3.2 回弹.....42-46
 - 3.3 进给次数.....42-46
 - 3.4 反压力.....42-46
 - 3.5 设备能力.....42-46
- 4 卷板设备.....42-48
 - 4.1 型式与特点.....42-48
 - 4.2 典型结构.....42-50
 - 4.3 扩大卷板机使用范围的途径.....42-52

第6章 管子与型材的弯曲

1 管子弯曲时的变形和常用 弯管方法	42-53
2 管子冷弯(回弯)	42-55
2.1 有芯冷弯	42-55
2.2 无芯冷弯	42-56
2.3 工艺参数的计算	42-57
3 管子热弯	42-58
3.1 选择热弯的原则	42-58
3.2 热弯旋转力矩 M_r	42-58
3.3 中频弯管和火焰弯管	42-59
4 急弯头 ($R_x < 1.5$) 制造	42-60
4.1 型模压制法	42-60
4.2 型模挤弯法	42-61
4.3 芯棒挤弯法	42-62
5 特种管件弯制举例	42-63
5.1 圆形螺管弯卷	42-63
5.2 腰圆盘管弯制	42-64
5.3 排管弯制	42-64
6 弯管机	42-65
6.1 分类	42-65
6.2 几种弯管机简介	42-65
7 型材弯曲	42-68

7.1 轧制型材弯曲时的变形及最小

弯曲半径 42-68

7.2 型材弯曲方法 42-70

第7章 装 配

1 工艺要点	42-71
1.1 金属制作中装配工作的特点	42-71
1.2 定位基准与找正	42-71
1.3 预防焊接变形措施	42-72
2 典型部件装配	42-73
2.1 筒体	42-73
2.2 球体	42-74
3 常用工装及专用装备	42-76

第8章 胀 接

1 影响质量的因素和胀紧程度的控制	42-81
1.1 影响因素	42-81
1.2 胀紧程度的控制	42-81
2 机械胀接	42-81
2.1 分类、组成及应用实例	42-81
2.2 胀管器	42-83
2.3 胀管缺陷	42-85
3 其它胀接方法	42-85
参考文献	42-87

常用符号表

b ——工件宽度	mm
D ——工件中径	mm
D_n ——工件内径	mm
D_p ——坯料直径	mm
D_w ——工件外径	mm
E ——弹性模量	kgf/mm ²
f ——滚动摩擦系数	mm
h ——型钢弯曲截面高度	mm
K_1 ——截面形状系数 (表42·2-14)	
K_0 ——相对强化系数 (表42·5-4)	
M_r ——旋转力矩	kgf-mm
M_w ——弯曲变形力矩	kgf-mm
P ——力	kgf
p_0 ——工作压力	kgf/mm ²
R ——截面中心层弯曲半径 (回弹后)	mm
R' ——截面中心层弯曲半径 (回弹前)	mm

 R_x ——相对弯曲半径 mm钢板 $R_x = R/S$ 管子 $R_x = R/D_w$ 型钢 $R_x = R/h$ r ——管子平均半径 mm

$$r = \frac{D}{2} = \frac{D_w - S}{2}$$

 S ——管子壁厚、板材厚度 mm S_x ——相对厚度 $S_x = \frac{S}{D_w}$ t ——温度 °C W ——弯曲截面系数 mm³ Δ ——加工余量 mm μ ——滑动摩擦系数 σ_b ——抗拉强度 kgf/mm² σ_b^t ——高温抗拉强度 (表42·4-5) kgf/mm² σ_s ——屈服限 kgf/mm²

第1章 概 述

金属制作习惯上又称“冷作”，是一种将金属板材、管材及型材在基本不改变截面特征情况下加工成各种制品的综合工艺。一般包括备料、成形、装配、接合及修正等基本工序，并与切削、焊接、热处理、表面处理等工艺以及探伤、试验技术密切配合，形成完整的产品制造过程。在蒸汽锅炉、核能装置、石油化工设备、压力容器、管道、船舶、桥梁、起重运输设备以及建筑构架的制造中应用最广。

金属制作以现成截面的轧材为坯料，故可简化加工工艺，缩短制造周期，减轻产品重量，降低产品成本；在提供具有一定精度的大型产品方面亦有其独特的优点。

金属制作主要工艺属于塑性变形范畴，要求被加工金属具有较高的延性和韧性、较低的屈强比和时效敏感性，一般要求碳素钢延伸率 $\delta \geq 16\%$ 、屈强比 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \leq 70\%$ ，低合金高强度钢 $\delta \geq 14\%$ 、 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b} \leq 80\%$ 。否则制作性能较差，需采取一定的工艺措施。金属制作的基本原理参见第41篇。

金属制作按成形时的温度情况分为冷作、热作和温作，取决于材料种类、厚度、曲率半径、热处理、强度、延性和设备能力等，同时应考虑材料的原始热处理状态和最终使用场合。

冷作 金属在常温下的成形。优点为：不需加热，无氧化皮，成形正确，操作方便，费用较低。

金属在冷态下制作时，将出现冷作硬化——塑性指标降低、变形抗力增大。变形程度愈大，冷作硬化愈甚，严重时使金属失去进一步变形能力。变形程度用变形率 ε 表示，通常按外部纤维伸长率计算：

对圆柱体

$$\varepsilon = \frac{50S}{R} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \%$$

对球形、碟形表面

$$\varepsilon = \frac{65S}{R} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \%$$

式中 R_0 ——截面重心层原始曲率半径 mm，平板

$$\text{时 } R = \infty, \frac{R}{R_0} = 0。$$

在锅炉和容器的受压壳体制造中，当碳素钢板 $S \leq 20$ ，或虽 $S > 20$ ，但 $\varepsilon \leq 5\%$ 时，以及当合金钢 $\varepsilon \leq 3\%$ 时，均可冷作，超出此范围需作中间消除应力处理，或用热作和温作。

为防止脆断，冷作应在脆性转变温度以上进行。对厚板及无延性转变温度（NDT）较高的材料尤应注意冷作环境温度。一般认为碳素钢在 20°C 以上冷作，当受力端面没有缺陷时并无致裂危险；对超厚钢板一般应先经正火处理。冬天较冷时，应将金属加热至 $60 \sim 150^\circ\text{C}$ 后成形。

为了消除冷作的不利影响，如降低韧性和延性的应变时效、使屈服限下降的包辛格效应（见第2章2·1）、造成受压容器位能损失的应力腐蚀裂纹等，必要时应在冷作后作消除应力处理。

热作 金属在再结晶温度以上成形。优点为：再结晶作用可消除内应力，避免冷作硬化，增加材料延性，降低屈服限，减少设备动力消耗。

热作温度范围见表42·1-1。

表42·1-1 常用材料热作温度范围 $^\circ\text{C}$

材 料 牌 号	热 作 温 度	
	加 热	终 止 (不低于)
A3, A3R, 15, 20, 20g, 22g	900~1050	700
16Mn, 16MnR, 15MnV, 15MnVR, 15MnTi, 14MnMoV, 18MnMoNb, 18MnMoNbR, 15MnVN, 15MnVNRE	950~1050	750
Cr5Mo, 12CrMo, 15CrMo	900~1000	750
14MnMoVRE, 12MnCrNiMoVCu	1050~1100	850
14MnMoNbB	1000~1100	750
0Cr13, 1Cr13	1000~1100	850
1Cr18Ni9Ti, 12Cr1MoV	950~1100	850
黄铜H62, H68	600~700	400
铝及其合金L2, LF2, LF21	350~400	250
钛	420~560	350
钛合金	600~840	500

对要求正火的材料,正火处理可结合热作同时进行,此时热作的加热温度应相当或不过多超过正火温度。对要求退火或淬火加回火处理的材料,则必须在热作后另行热处理。

热作后可加冷矫工序。

温作 金属介于冷作和热作之间成形。优点为:加热时间短,氧化皮少,模具压痕小,脆断危险小。

温作温度通常在金属的再结晶温度以下至蓝脆温度以上。

如热处理钢在温作后不再奥氏体化,则温作应限制在焊后热处理的温度,但此时应将温作加热时间与焊后热处理时间相加,作为材料在该温度下的总时间来考核对机械性能的影响。

如温作后尚需热加工,则可在低于焊后热处理的温度下成形。

温作后可加冷矫工序,必要时应先消除应力以恢复延性,防止缺口产生裂纹。

金属制作产品按结构形式可分三大类:

(1) 受压容器

由板材制成的筒形和球形结构件。包括锅炉汽包,压力容器、石油化工塔器及换热器的壳体,球形贮罐等。

(2) 金属结构

一般指由板材和型材制

成的大型梁柱、框架构件、焊制机壳和座架等。

(3) 管子制件 由各种管材制成的构件。如锅炉受热面管系,换热器管束,各种管道,连接弯头等。

一些代表性金属制作产品及零、部件的典型工艺流程见图 42·1-1 至图 42·1-4。

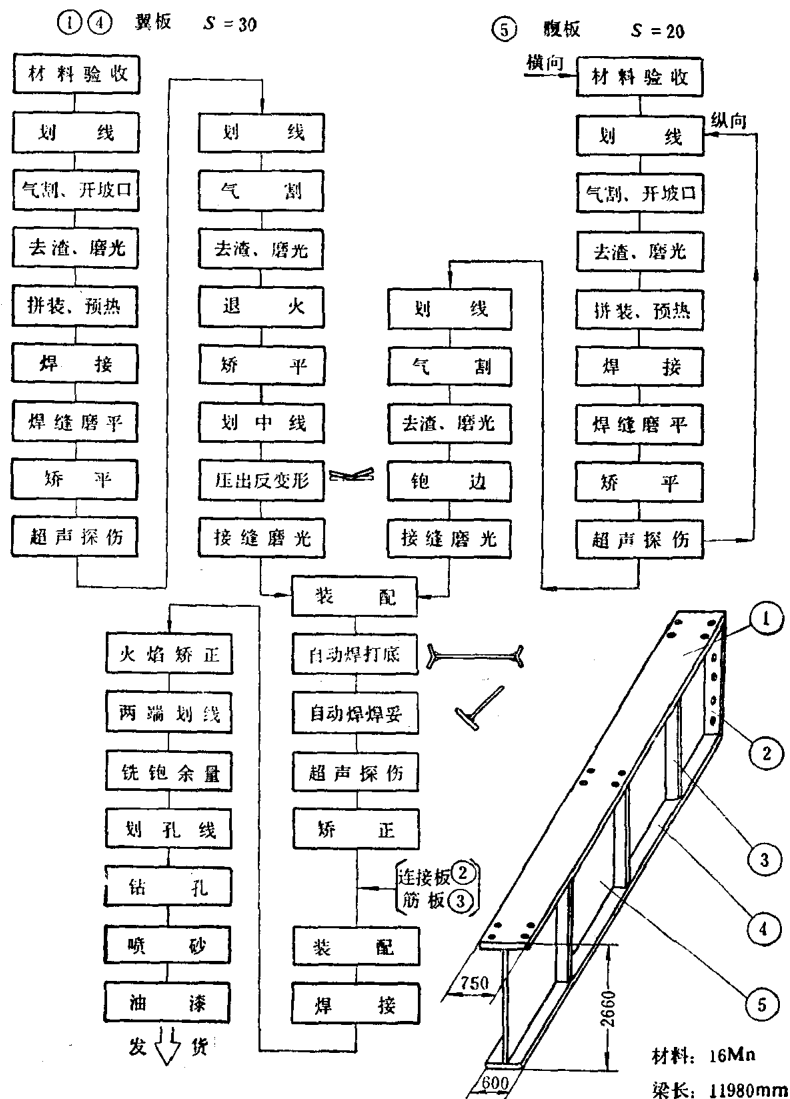


图 42·1-1 实腹板梁制造工艺流程

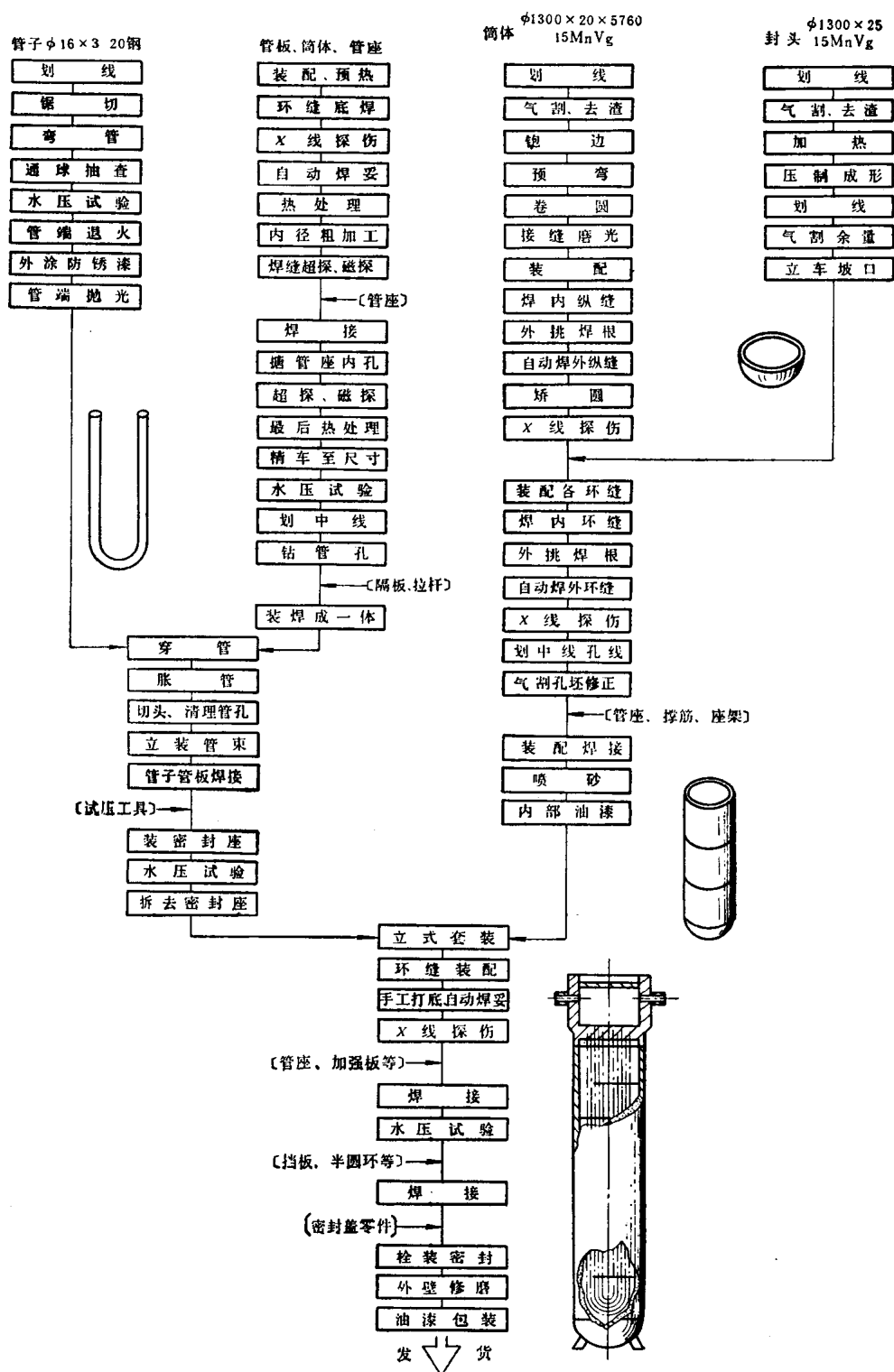


图42-1-3 高压水加热器制造工艺流程

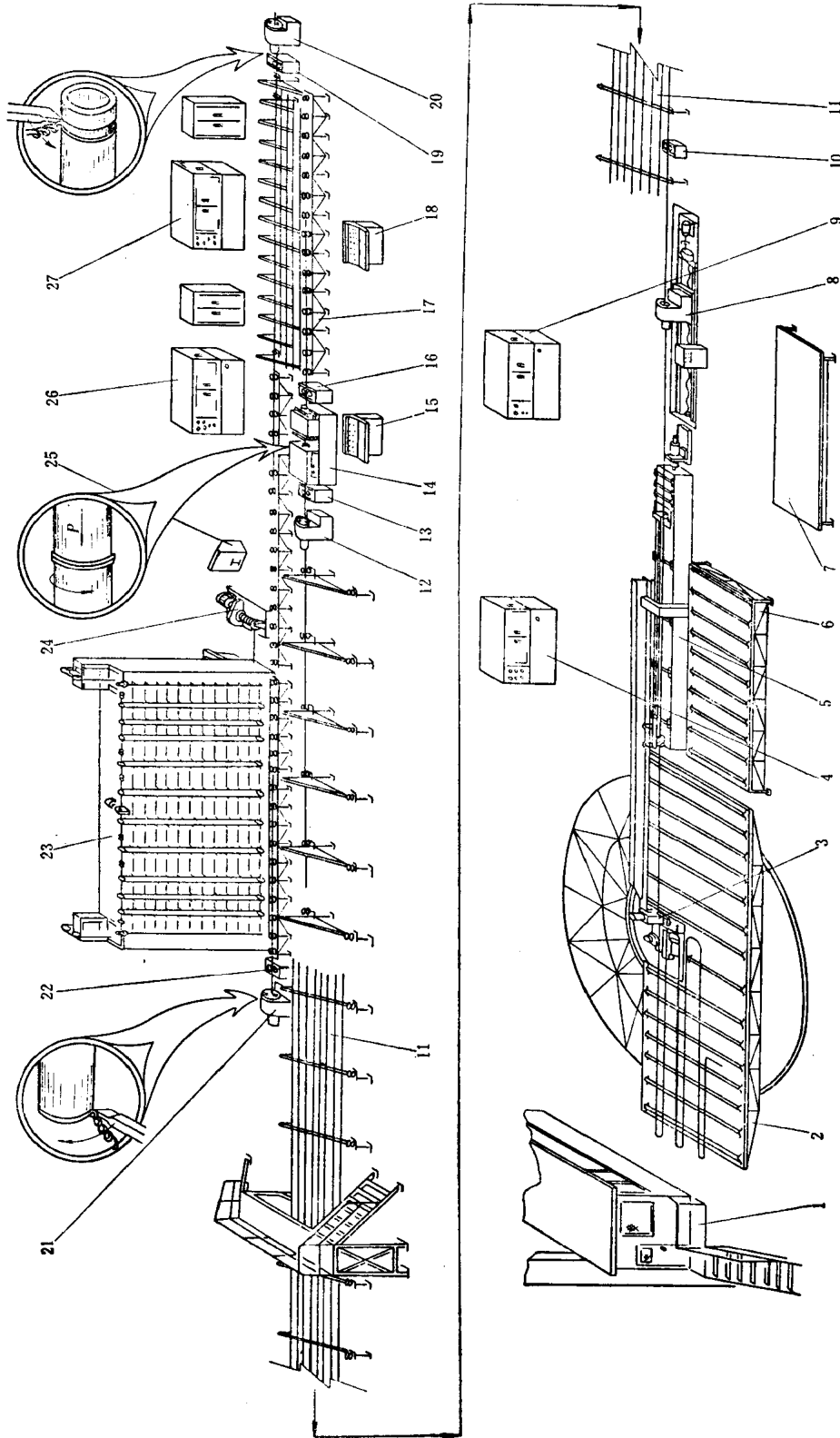


图42-1-4 蛇形管流水生产线

- 1—控制室 2—大车 3—液压弯管机 4—弯管机组液压箱 5—数控送料装置 6—卸料台 7—放样平台 8—移动切管机
9—数控送料液压箱 10—光控强迫送管器 11—长料架 12—切管机 13—强迫送管器 14—摩擦焊机 15—摩擦焊机
组操作台 16—强迫送管器 17—摩擦焊机料架 18—备料机组操作台 19—强迫送管器 20—切管机 21—切管角角机
22—强迫送管器 23—13层料架 24—加料升降台卷扬机 25—料架操作箱 26—摩擦焊机液压箱 27—备料机组液压箱

第2章 矫正

轧制材料及金属制作半成品的瓢曲、弧弯、波浪形和扭曲等缺陷，应先矫正，才能划线、切割或转其它工序。一般轧制材料下料前的允许偏差见表42·2-1。

表42·2-1 一般轧材下料前的允许偏差值

mm		
偏差名称	图	允许值
钢板、扁钢的局部挠度		$S \geq 14: f \leq 1$
		$S < 14: f \leq 1.5$
角钢、槽钢、工字钢、管子的不直度		$f \leq \frac{L}{1000}$ > 5
角钢两肢的不垂直度		$\Delta \leq \frac{b}{100}$
工字钢、槽钢翼缘的倾斜度		$\Delta \leq \frac{b}{80}$

1 矫正方法

机械矫正是通过弯曲或拉伸完成的。主要用冷矫，当变形程度大或设备能力不足时用热矫。
对允许局部加热的材料，其局部变形可用火焰矫正（参见第43篇）。

机械矫正的分类及适用范围见表42·2-2，一些常用矫正机的矫正精度见表42·2-3。

表42·2-2 机械矫正的分类及适用范围

类别	图	适用范围
拉伸机矫正		1) 薄板瓢曲的矫正 2) 型材扭曲的矫正 3) 管材、带材、线材的矫直
压力机矫正		板材、管材、型材的局部矫正
辊式矫正机	正 	板材、管材、型材的矫正
	普通式 	圆截面管材、棒材的矫正
	回转式 	圆截面薄壁细管的精矫
	双辊式 	圆截面厚壁管、棒材的矫直

t 为辊距。 C 为与辊数 n 有关的常数，见下表。

辊数 n	5	7	9
C	1.17	0.90	0.80

一般板材需往复多次方可矫平，矫正次数决定于 α 的大小， α 愈大愈易矫平：

- 1) 当 $\alpha \leq 1$ 时，无法矫平；
- 2) 当 $\alpha = 4 \sim 6$ 时，需进行三次才能矫平；

3) 当 $\alpha > 6$ 时，只需一次就能矫平。

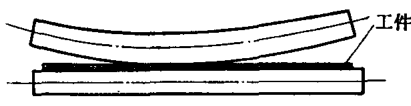
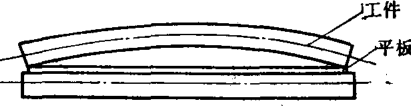
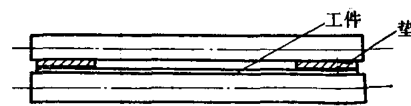
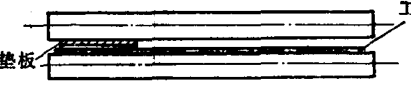
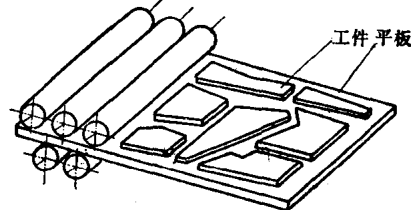
对于高强钢最好使 $\alpha \geq 10$ 。

由以上公式可知：辊数愈多、矫正曲率 $1/\rho$ 愈大，则 α 愈大，矫正质量愈高；板厚愈薄、材料屈服限愈高，则 α 愈小，愈难矫平。

2.3 特殊情况的矫平

板材有特殊变形情况时，需采取一定措施才能矫平。表 42·2-4 为几种特殊情况的矫平方法。

表42·2-4 几种特殊情况的矫平

钢 板 特 征	矫 平 方 法	
	简 图	说 明
松边钢板（中部较平，而两侧纵向呈波浪形）		调整托辊，使上辊向下挠曲
		在钢板的中部加垫板
紧边钢板（中部纵向呈波浪形，而两侧较平）		调整托辊，使上辊向上挠曲
		在钢板的两侧加垫板
单边钢板（一侧纵向呈波浪形，而另一侧较平）		调整托辊，使上辊倾斜
		在紧边一侧加垫板
小块钢板		将许多厚度相同的小块钢板均布于大平板上矫正，然后翻身再矫

厚板。多辊矫板机的基本参数见表 42·2-6 至表 42·2-8 (参见 JB1465-75)。

下列各表中最大负荷特性

$$W_x = \sigma_s \times b_{\max} \times S_{\max}^2 \text{ kgf-m}$$

2·4 矫板机

2·4·1 型式及参数

常用多辊矫板机的型式与特点见表 42·2-5。通 式 中 $b_{\max}$, $S_{\max}$ ——设备名义最大矫正板宽及板厚 mm

表42·2-5 常用多辊矫板机的型式与特点

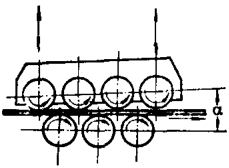
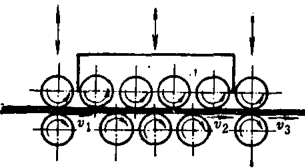
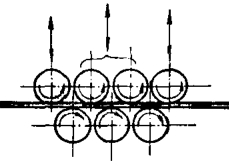
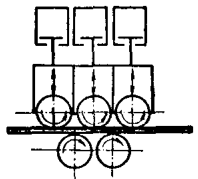
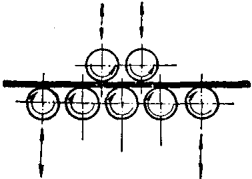
简 图	主 要 特 点	主 要 用 途
I 型 	α 角可调节; 可以产生附加拉力	薄板及屈服限高的板材
II 型 	成对边辊; $v_1 < v_2 < v_3$, 产生附加拉力	同 上
III 型 	上置边辊可按进料及出料的需要进行调节	中 厚 板
IV 型 	液压调节压下量, 退回较灵活	同 上
V 型 	下置边辊可按进料及出料需要进行调节, 进出料方便	同 上

表42-2-6 冷矫钢板宽度 1000mm 以上矫正机基本参数

组别	辊数 n	辊距 t mm	辊径 d mm	钢板最小厚度 S_{min} $\sigma_s \leq 40$ kgf/mm ² mm	辊身有效长度 l mm								最大矫正速度 v_{max} m/s	主电机最大功率 N_{max} kW	最大负荷特性 W_x kgf-m
					1200	1450	1700	2000	2300	2800	3500	4200			
					钢板宽度 b mm										
					1000	1250	1500	1800	2000	2500	3200	4000			
钢板最大厚度 S_{max} mm															
一	23	25	23	0.2	0.6								1	13	14.4
二	23	32	30	0.3	1.2	1	0.9						1	30	48.6
三	23	40	38	0.4	2	1.6	1.5	1.4					1	55	141
四	21	50	48	0.5	2.8	2.5	2.2	2	2				1	80	320
五	17 (21)	63	60	0.8	4	3.8	3.5	3.2	3				1	95 (110)	720
六	17	80	75	1	5.5	5	4.5	4	4				1	130	1280
七	13	100	95	1.5	8	7	7	6	6				1	155	2880
八	13	125	120	2		10	9	8	8				0.5	130	5120
九	11	160	150	3		15	14	13	12				0.5	130	11520
十	11	200	180	4			19	18	17	16			0.3	245	25600
十一	9	250	220	5					25	22	20		0.3	180	51200
十二	9	300	260	6					32	28	25		0.3	210	80000
十三	7	400	340	10						40	36	32	0.2	180	164000
十四	7	500	420	16						50	45	40	0.1	110	256000

表42-2-7 冷矫带钢宽度 600mm 以下矫正机基本参数

组 别	辊 数 n	辊 距 t mm	辊 径 d mm	钢板最小厚度 S_{min} $\sigma_s \leq 40$ kgf/mm ² mm	辊身有效长度 l mm		最 大 矫正速度 v_{max} m / s	主 电 机 功 率 N kW	最大负荷 特 性 W_x kgf-m
					500	800			
					钢板宽度 b mm				
					400	600			
					钢板最大厚度 S_{max} mm				
一	17	25	23	0.2	1	0.8	1	7.5	15.36
二	17	32	30	0.3	1.5	1.2	1	17	34.6
三	13	50	48	0.5	2.5	2	1	22	96.0
四	11	80	75	1	5	4	1	30	384
五	9	125	120	2	10	8	0.5	22	1540