

板带轧制过程中板厚控制与板形缺陷分析
实验指导书

实验一 液压弯辊技术及板形缺陷的分析

一、实验目的

通过理论学习和实验实践，使轧钢专业学生熟悉四辊轧机的结构和工作原理，理解液压弯辊技术在轧制过程中的作用，理解板形的概念，掌握基本的板形测绘手段和板形缺陷改善方法，提高动手和团队协作能力。

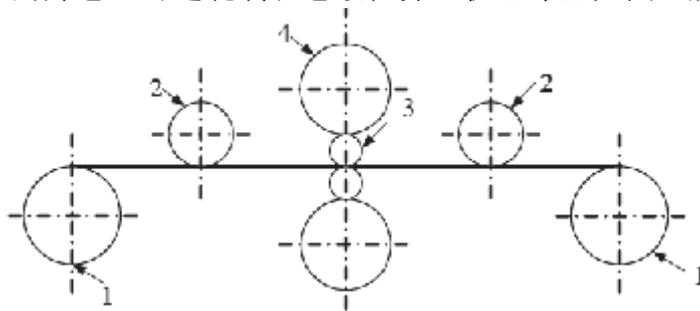
二、实验设备

四辊可逆式冷轧机	1 台
十辊矫直机	1 台
游标卡尺	1 支
千分尺	1 支
0.7×1000×2000mm 的铝板坯料	1 张

三、实验原理

1、四辊可逆式冷轧机

300 mm 四辊可逆式冷轧机是一套比较完整的轧制设备，经过数字化改造后，现已具备自动轧制功能。它主要由以下三部分构成：机械系统、液压系统、电器传动及其控制系统。机械部分包括轧机本体和左右卷取部分，实现轧制过程中的开卷、可逆轧制和卷取任务，机组布置如图 1 所示。



1、卷取机 2、导向辊 3、工作辊 4、支承辊

图 1 300 四辊轧机机组布置示意图

2、板形的概念与测量

所谓板形是指带材的平直度，其实质是指轧后带材中残余应力的横向分

布。

根据带钢翘曲的情况，可将四辊轧机板形缺陷分为以下类型，如图 3 所示。

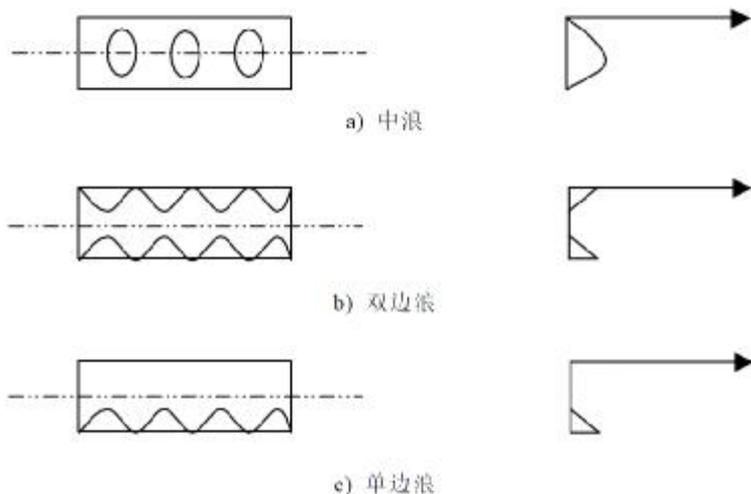
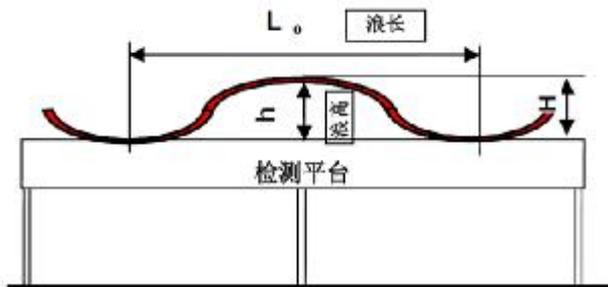


图2 板形缺陷的种类

3、离线板形测量方法

最简单的离线板形测量方法是將轧带放在一平台上进行检测。在没有张力作用的情况下，板形会出现波浪或弯曲。板形可以由平直度和急峻度表征，常用公式：



平直度计算公式，单位I。
$$\text{平直度} = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{h}{L_0}\right)^2 \times 10^5 \text{ (I)}$$

急峻度计算公式，单位%。
$$\text{急峻度} = \frac{h}{L_0} \times 100\%$$

波浪长度测量：工具采用卷尺或钢尺；浪高测量：用直尺测量钢板上表面最大变形的部位与检测平台之间的距离 H，然后再减去钢板的实际厚度 t。
计算公式： $h=H-t$

这种方法对测定板形的总体趋势有效，不能得出完全准确的钢带板形的测量值。主要是因为钢带的内应力没有被完全分离，而是被分布到了钢带的邻近区域。

4、弯辊技术

用机械力弯曲轧辊辊身，以控制带钢凸度(见板凸度)和平直度(见平直度控制)的技术。通常以液压为动力，故也称液压弯辊。液压弯辊自 20 世纪 60 年代初期出现以来，发展十分迅速，目前液压弯辊装置已成为各种板带轧机上必不可少的设备。液压弯辊技术可分为工作辊弯辊和支承辊弯辊两种类型。当工作辊辊身长度 L 与直径 D 之比 $L/D < 3.5$ 时，采用工作辊弯曲的方式；当 $L/D \geq 3.5$ 时，常采用支承辊弯曲的方式。两种弯辊方式中都有正弯和负弯之分。所谓正弯是指弯辊力使轧辊产生的弯曲方向与轧制力引起的弯曲方向相反，即弯辊时工作辊凸度增大。而负弯是指弯辊力引起轧辊弯曲方向与轧制力引起的弯曲方向相同，即弯辊时工作辊凸度减小。

四、实验内容

- 1、了解四辊可逆冷轧机的结构形式与功能；
- 2、在四辊冷轧机上观察液压弯辊和液压倾辊的作用，理解其对板形的影响；

五、实验步骤

- 1、对四辊轧机的组成、结构、用途、特点有一个初步了解；
- 2、坯料准备，用剪板机将整张的铝板剪切成实验所需坯料 0.7*200*500mm 铝板 6 块备用；
- 3、将四块坯料在入口侧对其编号；
- 4、在其它条件相同情况下，在四辊轧机上分别不加弯辊、加弯辊、加倾辊三种条件下进行轧制，观察液压弯辊、液压倾辊对调整板形的作用；
- 5、离线测量板形，在实验报告中绘制出各种情况下板形示意图；

六、实验要求

把实验目的、实验原理及实验过程写入实验报告。重点包括：

- 1、简要说明一下四辊轧机的结构形式与功能，画出 300 四辊轧机机组布

置示意图。

2、阐述板形的概念并通过观察实验结果描述液压弯辊、液压倾辊对板形的影响。

3、记录离线测量板形数据，并绘图；

4、分析不同情况下板形缺陷的形态及其产生的原因并通过所学知识简要说明改善板形的一些可行的方法。

实验二 板带轧制过程的设计及分析

一、实验目的

通过理论学习和实验实践，使轧钢专业学生熟悉冷轧板带设备结构，了解压下规程的设计方法和轧制基本过程，独立设计压下规程并得到合格的产品。理解和认识板厚偏差、板凸度、板形的概念和控制影响因素，掌握基本的测绘手段和数据处理方法，提高动手和团队协作能力。

二、实验设备

实验二辊轧机成套设备	1 套
游标卡尺	1 支
千分尺	1 支
2×1000×2000mm 的铝板坯料	1 张

三、实验原理

1、制定压下规程

压下规程制定，就是要确定由板坯到成品的轧制道次和每道次的压下量大小。影响压下规程的因素可分为设备能力和产品质量两大方面。在保证产品质量的前提下，充分发挥设备能力，是一个好的压下规程的标志，即可达到优质高产。

设备能力对压下量的限制条件包括三个方面：咬入条件、轧辊强度和电机功率。一般首先故居咬入条件和轧辊强度确定压下量，然后再校验电机的过载和发热。

a、咬入条件

对二辊和四辊轧机，咬入条件所决定的最大允许压下量 Δh_{\max} 计算如下：

$$\Delta h_{\max} = D(1 - \cos \alpha)$$

式中，D——轧辊直径，mm

α ——最大允许咬入角，(°) $\alpha = \arctan \mu$

μ ——轧件与轧辊间的摩擦系数。

轧制时轧件咬入能力随轧制速度、轧制温度、轧件及轧辊材质、辊面及

其冷却润滑状况的不同而不同。通常，增加轧制速度则使轧机的咬入能力降低。对于可逆轧机或薄板轧制，咬入条件几乎都可以满足，不是压下量的主要限制条件。

b、轧辊强度

金属对轧辊的压力必须小于轧辊强度所决定的最大允许压力，即，

$$P = pb\sqrt{R\Delta h} \leq P_y$$

所以轧辊强度所决定的最大许用压下量 Δh_{\max} 为：

$$\Delta h_{\max} = \frac{1}{R} \left(\frac{P_y}{pb} \right)^2$$

式中 p ——平均单位压力， N/mm^2 ；

b ——钢板宽度， mm

R ——轧辊半径， mm ；

Δh_{\max} ——最大许用压下量， mm ；

P_y ——由轧辊强度决定的最大许用压力， N 。

c、电机功率

在设计轧钢机时，电机功率是按产品的大纲、给出合理的压下规程进行选择，因此，新轧机的电机都能保证发挥轧机能力，不是限制压下量的主要因素。

在分配各道次的具体压下量时，要考虑轧件的塑性条件和产品质量要求。如：第一道次轧制材料的塑性好，后面的轧制道次会出现加工硬化，因此第一道次用比较大的压下量，以后逐道次减少，使各轧制道次的负荷大致相同。

2、弹跳方程

轧制过程中，受轧制力的作用，轧机的机架、轧辊及轴承等部分会产生弹性变形，变形引起的辊缝变化的总和称为轧机弹跳。钢板厚度 h 、空载辊缝 S 及轧机弹跳 f 之间的关系可用弹跳方程描述：

$$h = S + f = S + P/C$$

式中 h ——钢板厚度， mm ；

S ——轧机空载辊缝， mm ；

f ——机座弹性变形，弹跳值 mm ；

P——轧制力，kN；

C——轧机刚度系数，kN/mm。

弹跳方程对轧机的调整有重要意义。在实际操作时，要应用弹跳方程来确定轧辊原始辊缝。

3、板厚偏差、板凸度、板形

板厚偏差指板带材纵向厚度差，影响轧后轧件厚度的主要因素是轧辊原始辊缝 S ，以及轧制力。在同一轧机上轧制一定宽度的轧件时，机座刚度系数是不变的。

板材的凸度是指板带材的横向（宽度方向）厚度差。当板带材中部的厚度大于边部时为正凸度，反之为负凸度。如图 2 所示。

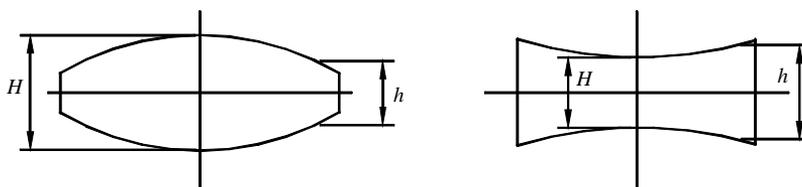


图 2 板凸度的表示

凸度的大小表示为：

$$\Delta H = H - h$$

比例凸度将凸度除以板带的平均厚度，即：

$$C_{hp} = \Delta H / h_{均}$$

要获得良好的平直度，轧前和轧后的比例凸度基本相等。

四、实验内容

- 1、设计冷轧铝板压下规程；
- 2、在二辊轧机上实现该轧制过程，得到合格的产品；
- 3、观察轧后的板厚偏差和板凸度；

五、实验步骤

- 1、坯料准备，用剪板机将整张的铝板剪切成实验所需坯料 1（1.7*40/45/50*150mm 铝板）1-2 块备用；
- 2、设计一套冷轧压下规程，将坯料 1 轧制成目标厚度的薄铝板，制定压

下规程设计表，如表 2；

3、测量坯料 1 纵向中部的厚度值 h' ，横向测量 3 个数据点，计算原始板凸度值与比例凸度，并把平均厚度作为原始轧前厚度；

4、开动二辊实验轧机并按设计的压下规程进行轧制，将轧制过程每道次的实验数据记录到表 3 中；

5、轧制完毕后，测量轧件出口纵向中部的厚度值，横向测量 3 个数据点，计算出出口板凸度与比例凸度，结果填入表 4；

6、二辊实验轧机操作部分完成，进行数据计算与处理，分析产生现象的原因。

表 1 二辊轧机的基本参数

轧辊直径 mm	130	最大轧制力 kN	150
辊颈直径 mm	70	电机功率 kW	4.5
轧机刚度 kN/mm	360		

表 2 压下规程设计表

道次	轧前厚度 H (mm)	轧后厚度 h (mm)	压下量 Δh (mm)	压下率 %	轧制力 kN
1					
2					
3					
4					

表 3 轧制过程记录表

道次	轧前厚度 H (mm)	轧后厚度(mm)				压下量 Δh (mm)	原始辊缝 S (mm)	弹跳值 f (mm)
		h_1	h_2	h_3	$h_{均}$			
1								
2								

3								
4								

表 4 轧制前后轧件比例凸度变化

	h_1'	h_2'	h_3'	凸度值	比例凸度
轧前					
轧后					

六、实验要求

把实验目的、实验原理及实验过程写入实验报告。重点包含以下几部分内容：

- 1、说明制定压下规程的一般办法，并以表格的形式列出本实验的轧制规程。
- 2、描述轧制过程，并将各道次测量后的数据以表 3、表 4 的形式记录下来。
- 3、理解板厚偏差与板凸度的概念，并结合教材分析产生的原因及消除缺陷的方法。