

宽幅铝板热轧过程中轧制压力异常抖动问题分析



案例制作：林高用 教授

中南大学材料科学与工程学院

内容提纲

- ◆ 案例来源与背景
- ◆ 案例分析
- ◆ 解决方法
- ◆ 案例引申思考



1、案例来源与背景

➤ 案例来源：国内某铝业公司

➤ 案例背景：

铝及铝合金板带材热轧变形过程非常复杂，宽幅铝板则更难控制（宽度 $\geq 1600\text{mm}$ ）。实际生产过程中常出现板厚不均匀、厚差超标、板型不良等问题，严重时造成整卷报废，给企业造成巨大的经济损失。造成这种现象的主要原因可能为坯料尺寸或性能不佳，或者轧制速度、张力控制不合理，润滑不当以及轧辊辊型、轧机刚度匹配不良等。

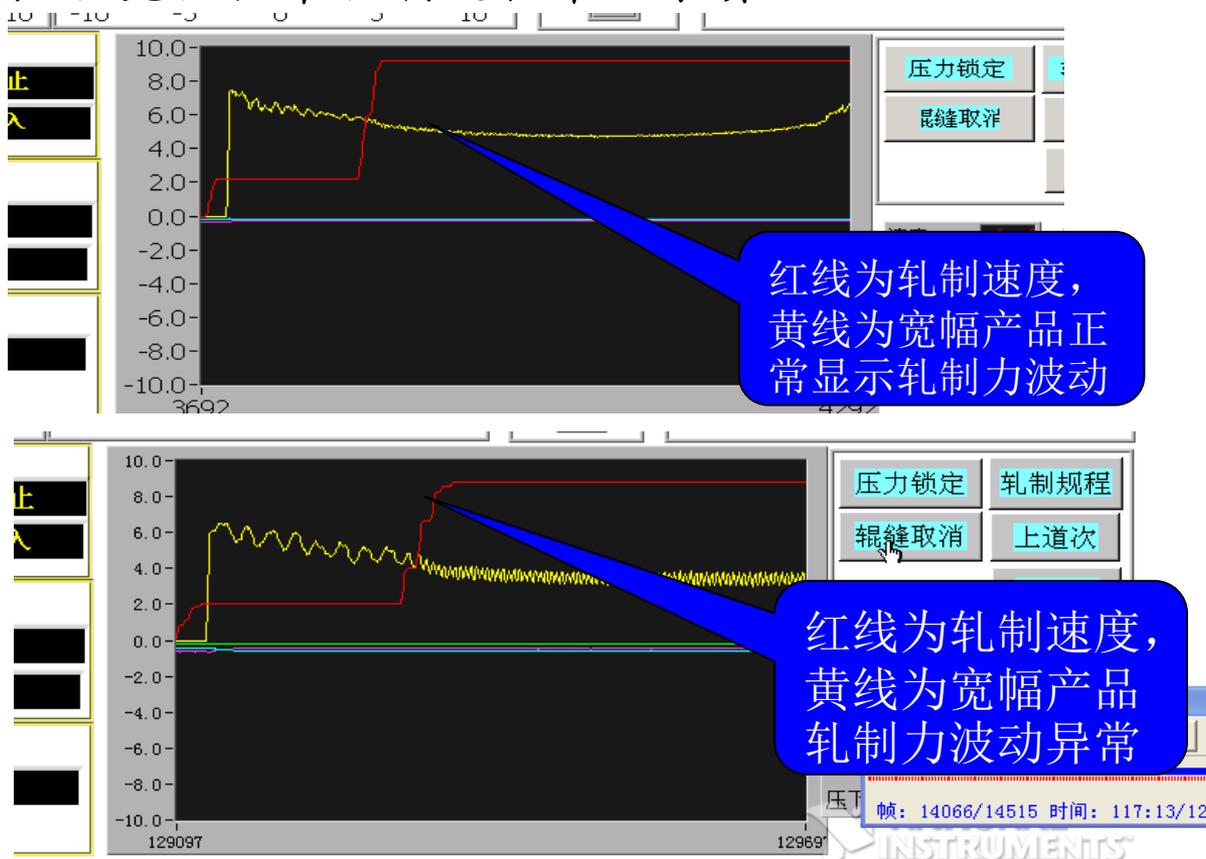
通常，为了提高板带材纵向厚度和板型精度，必须不断提高轧机刚度和轧机制造精度；当轧机刚度一定时，必须保证来料厚度和均匀性；保持轧制时张力和润滑条件的稳定。但实际情况很复杂，各种影响因素的作用相互交叉，完全保证以上情况非常困难。因此，在轧制过程中，必须根据各因素的变化，对板厚进行快速、精确的控制。



2、案例分析

某公司进行5182铝合金宽幅板热轧生产过程中，轧制压力出现波动异常，该波动达到一定幅值时在后期冷压延轧制时会造成厚差超标整卷报废。

下图是热轧宽幅铝带轧制过程中的录屏。



低速咬入阶段：
轧制压力较大

高速稳态轧制
阶段：轧制压力
降低

出现轧制压力
抖动（波动）
时：平均轧制
压力下降

图1 热轧宽幅轧制过程中的录屏



2、案例分析

在宽幅板热轧过程中出现轧制压力抖动时的具体现象：

现象一：每次宽幅轧制在开始轧制1-4块产品时一般不出现抖动现象，随后继续轧制，抖动问题出现；停止轧制，轧辊降温后再开始轧制1-4块产品时一般也不出现抖动现象，继续轧制，该问题又出现。

现象二：在同期轧制时，出现波动时轧制压力水平有一定幅度的下降。

现象三：出现轧制压力波动时产品同时伴随表面质量较差。

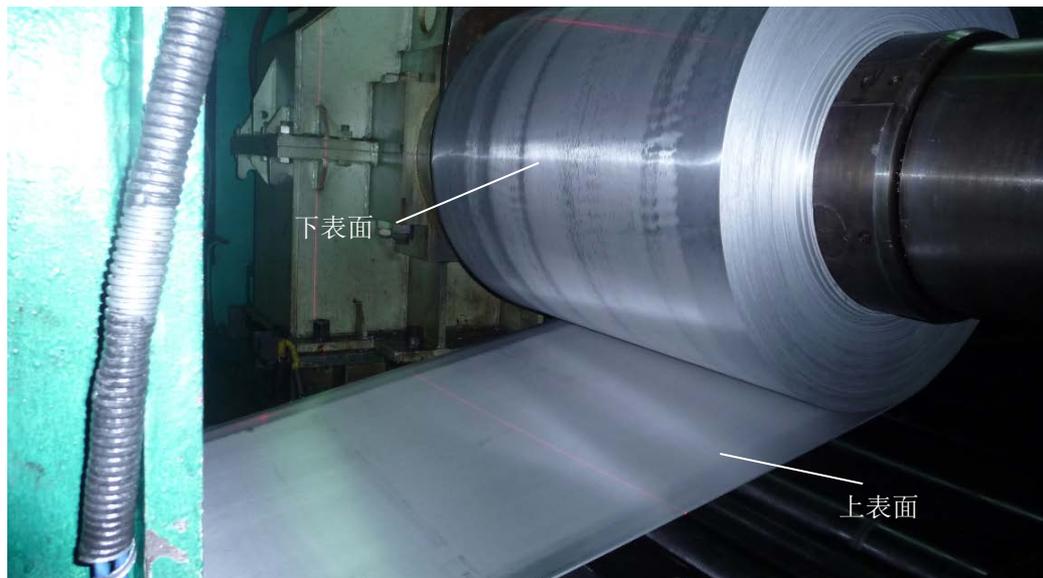


图2 制品表面质量



2、案例分析

现象四：出现轧制力波动时，同时轧辊辊系震动相对较大。

现象五：如图3所示，当出现轧制压力抖动时，轧制压力抖动频率与轧制速度成正比。

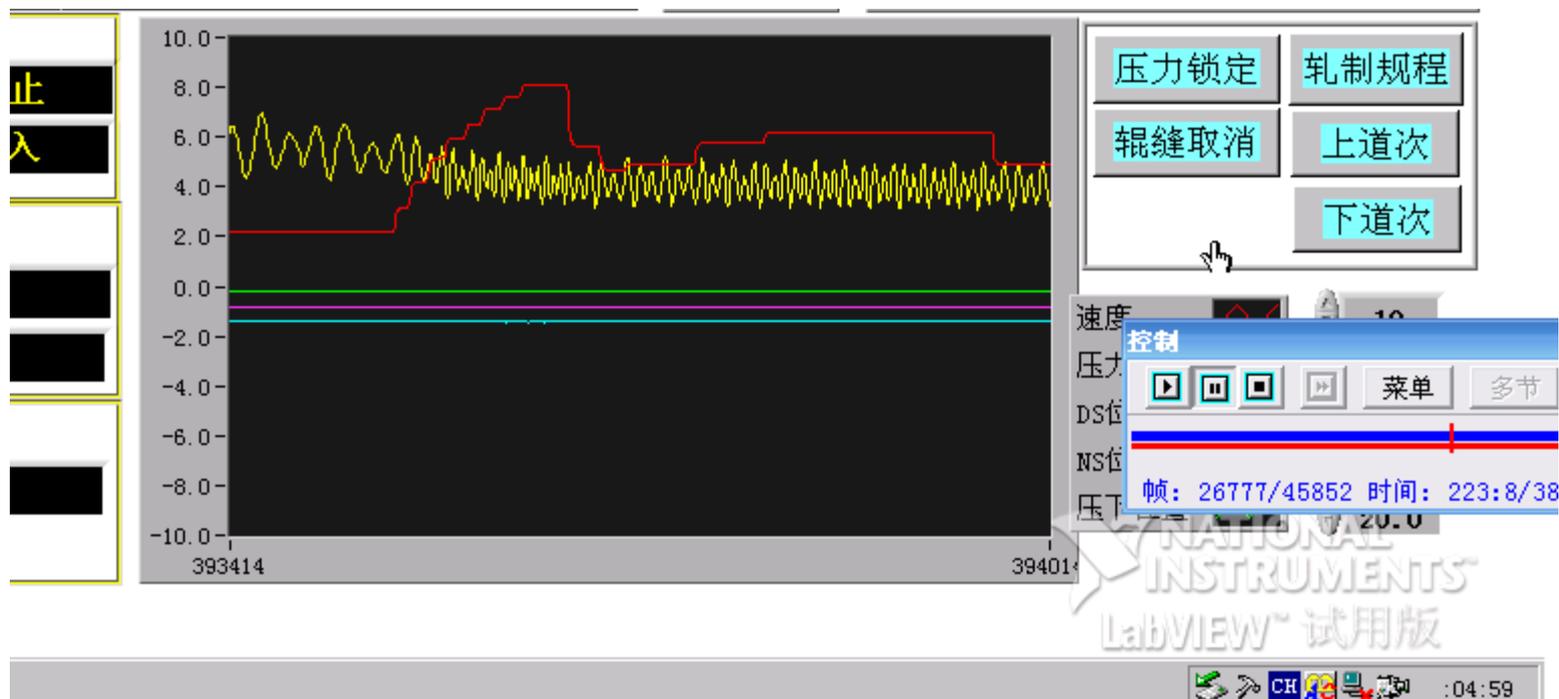


图3 热轧宽幅轧制过程中的压力曲线录屏



2、案例分析

现象六：出现抖动时测量轧辊辊面温度，发现变化异常：开轧前上下辊温均控制在 78°C - 80°C ，上下辊温度差基本在 2°C - 3°C ，但是经过一段时间的轧制后，轧辊温度变化较大，尤其是宽幅产品，最大可达到 20°C - 50°C ；且上下辊温度差越大，轧制压力波动越大。

现象七：当出现轧制压力抖动时，出现轧制压力水平下降现象，前期采用每轧制一卷做一次压靠，然后再进行轧制，发现，作完压靠后轧制压力有一定程度的升高，同时轧制力波动减小，但不明显。

分析：轧制压力与那些因素有关？轧制温度、道次变形率、轧制速度、摩擦阻力、轧机刚度、前后张力、轧辊辊型等到。

出现这种轧制压力抖动问题时，企业工程师很容易想到的原因是：润滑不均、轧辊粗糙度不均、来料厚度不均或加热温度不均等。



3、解决方法

针对案例中出现的问题，公司采取了以下措施：

- 1、对热轧机设备、轧辊、监控系统、轧制工艺参数、坯料参数等彻底进行排查，均未发现明显问题；
- 2、在专家指导下，重点针对热轧润滑系统进行排查。



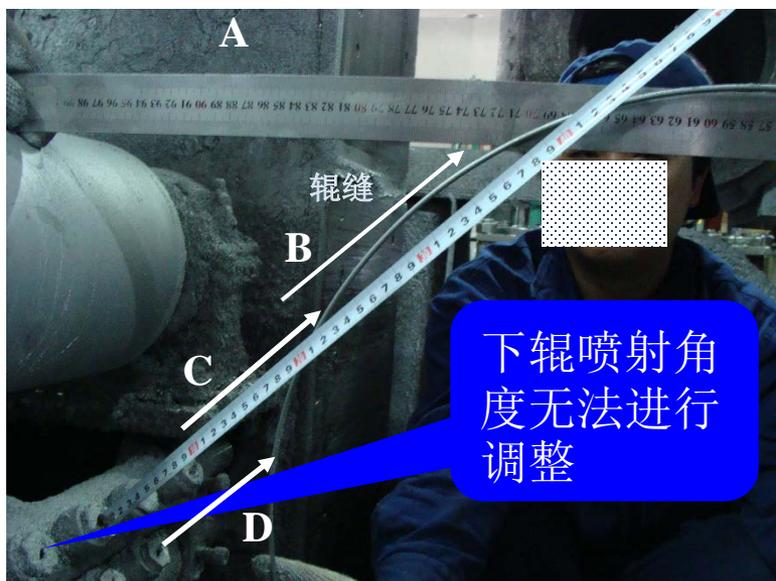
图4 热轧机上辊乳液喷射集管



3、解决方法

上辊喷射人为进行调整，且可直观地进行角度的调整，每次换辊后进行调整及试喷，以单侧上辊为例：上辊入口侧共计两排喷嘴，一排可以直接喷射到咬入区进行润滑，另一排直接喷射到轧辊表面进行冷却。

下辊与上辊喷嘴成对称分布。从上述照片看，下辊两排喷嘴的乳液喷射角度基本全部被轧辊遮挡，乳液难以进入轧制变形区，未起到润滑作用，基本只起冷却轧辊作用，使轧辊处于过冷却状态。



弧形铝杆代表下侧工作辊轮廓

卷尺代表上排喷嘴的乳液喷射角度

直尺代表轧件（侧面）

图5 热轧下辊喷射角度模拟照片



3、解决方法

- ◆ 上、下辊辊缝处的工艺润滑及冷却差异，导致在轧制过程中上、下辊温度变化较大，是造成轧制压力抖动的**根本原因**。
- ◆ 在实际轧制过程中上辊润滑较好，乳液（油水混合物）可以直接喷射到轧制区进行工艺润滑，但下辊因喷射角度问题，乳液不能喷射到轧制区，全部喷射到轧辊表面，导致下辊润滑较差，冷却较好，所以下辊温度低，轧件下表面质量差（铝粉大、亮道）。
- ◆ 由于上述原因，在轧制过程中轧制区的轧件下表面摩擦系数大（相当于Ra值大），摩擦力大；上辊因润滑较好，与轧件摩擦力小，轧件表面质量一致性好；同时，上辊参与冷却的乳液少，故上辊温度较高，在轧制过程中轧制区的板材上表面与轧辊摩擦系数小（相当于Ra值小）。



3、解决方法

- ◆ 在轧制过程中因上、下辊润滑差异，导致板材上、下表面摩擦力差异，形成**异步轧制**！
- ◆ 上、下辊润滑差异性越大，上、下辊温差越大，异步轧制效果越明显，轧制压力变化越大。
- ◆ 理论上异步轧制过程中由于变形区形成剪切变形（搓轧），因此，相对于对称轧制，**轧制压力降低**。这正好可以解释前面的第二个现象。
- ◆ 由于宽幅产品单卷质量较大，在轧制过程中释放的热能较多，与窄幅板热轧相比，热量更难释放，导致上、下辊温差增大，润滑差异性增强，所以异步轧制效果越明显，轧制力波动更显著。



3、解决方法

- ◆ 此案例技术难度较大。其关键难点是找出造成轧制压力异常抖动的根本原因。
- ◆ 因为开轧前几卷产品过程中，上、下辊温度都较低，温差较小，所以轧制压力抖动不明显；后续轧辊越轧越热，**异步轧制**效应就显现出来了。“**前几卷没问题**”的现象掩盖了一些真相，给问题的解决带来很大困惑，走了较多弯路。
- ◆ 一旦找到根本原因，解决措施就比较简单了，也就是将下辊两排喷嘴进行**结构改进**，使乳液喷射角度变为可调模式，能顺利喷射到辊缝处，达到润滑目的；并安装在线监控装置，实现实时监控。
- ◆ 公司按此方式处理后，热轧宽幅铝板时，轧制压力抖动问题得到圆满解决。



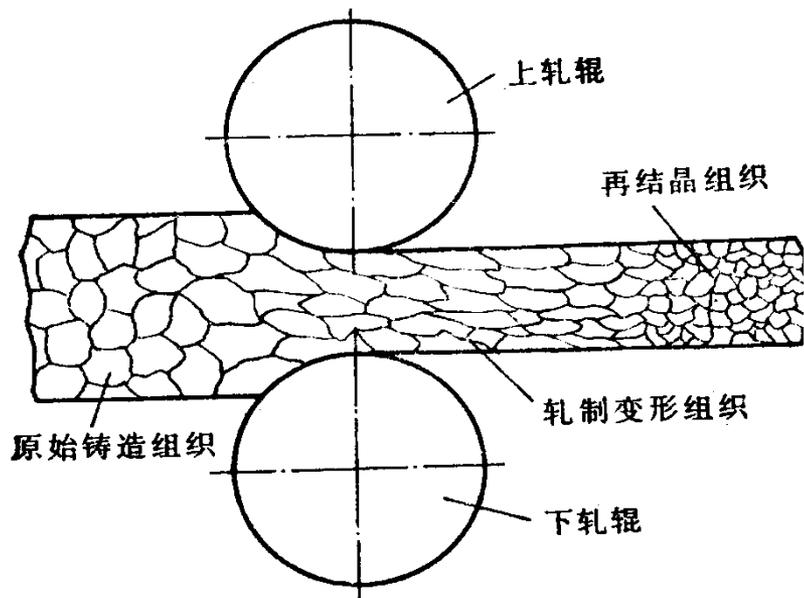
4、案例引申思考

- **准确描述问题：**在本案例分析和解决问题过程中，企业技术人员对案件的描述含糊不清，造成很大困惑。**表达能力差**，是目前我国企业技术人员的普遍现象！
- **周期性规律：**在有**旋转机械**情况下，问题或缺陷常常表现出周期性规律，这是我们技术人员应该理解的一种基本原理。本案例中轧制压力的抖动、表面质量等均表现出明显的周期性。从这些周期性规律中，我们要学会寻找问题的根源，由此寻求解决方案。

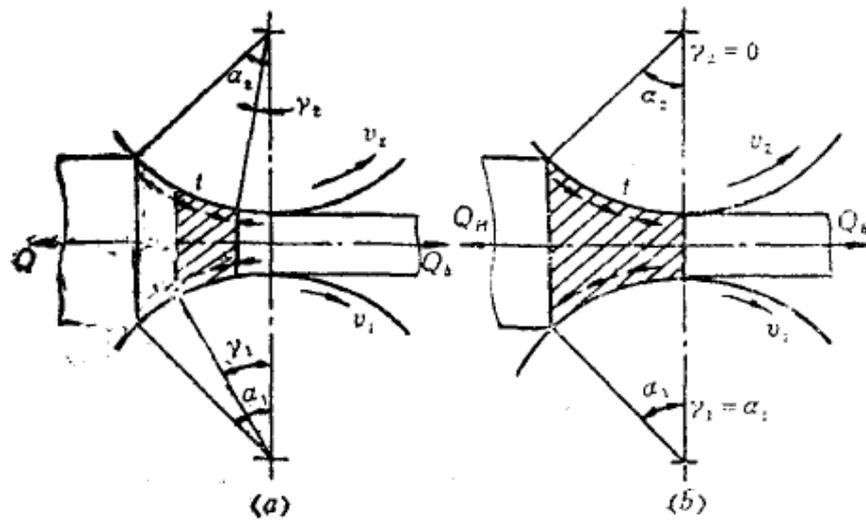


4、案例引申思考

- **非对称轧制**：异径、异速、异位等均将造成非对称的**异步轧制**现象。异步轧制有多种技术优势（**降低轧制力、细化晶粒、改变轧制织构**），当然也存在许多问题（**设备复杂、成本昂贵**）。本案例由于上、下辊温差造成润滑不均，使塑性变形区产生**搓轧**，也是异步轧制的一种形式，因此，也表现出异步轧制时轧制压力降低的特点。
- **异步轧制原理与应用**：搓轧变形规律、搓轧对合金组织与性能的影响、FEM分析、应用范围等
现已形成产业化的**异步轧制**技术，国外称之为Snake rolling（**蛇形轧制**），我们称为**龙形轧制**。广西南南铝就有一台进口的龙形轧机。



对称开坯轧制过程示意图



异步轧制变形区图示
(a) 部分搓轧区； (b) 全搓轧区



谢谢!