



中南大学

《有色金属材料工程案例集》 教学讲义 No. 9

# 铝箔暗面亮点缺陷形成的原因 及其预防措施

案例制作：林高用 教授

中南大学材料科学与工程学院





# 目 录

- 1 案例背景与来源
- 2 实验方案
- 3 检测分析结果
- 4 缺陷产生原因及解决方案
- 5 总结与思考



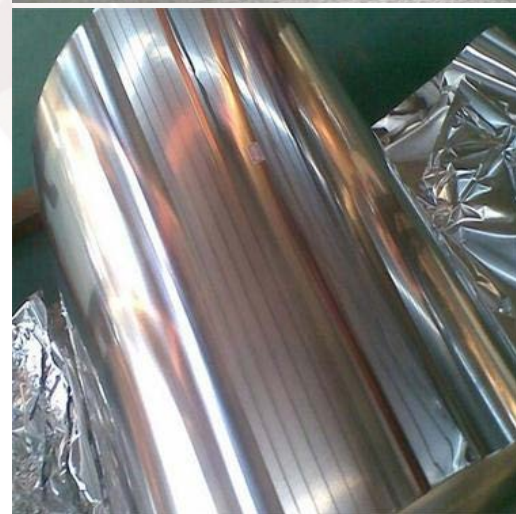
# 案例背景



## ■ 电缆铝箔及其生产技术

铝箔具有优良的特性，广泛应用于包装、电解电容器、建筑、车辆、船舶、房屋等领域。电缆铝箔要求表面带油量少，无孔洞，具有较高的力学性能，一般选用1235铝合金和8079铝合金。

电缆用铝箔常常需要进行**双合轧制**，但双合轧制后铝箔经常出现**暗面亮星**缺陷，不仅降低了铝箔表面质量，还对后续工序产生不利的影响。暗面亮星问题一直是电缆箔生产上的一大难题。



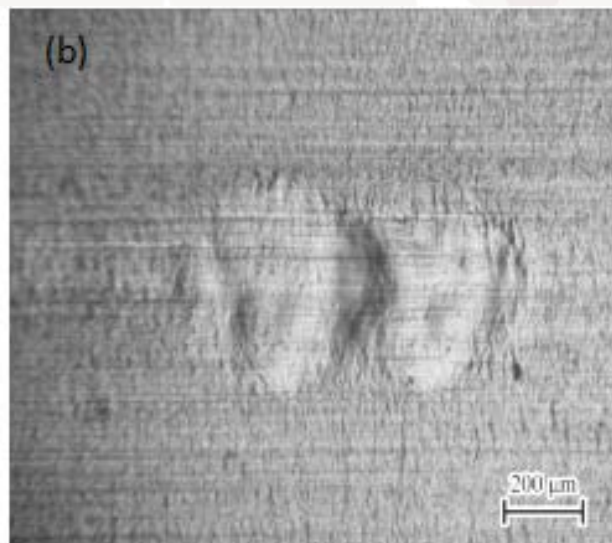
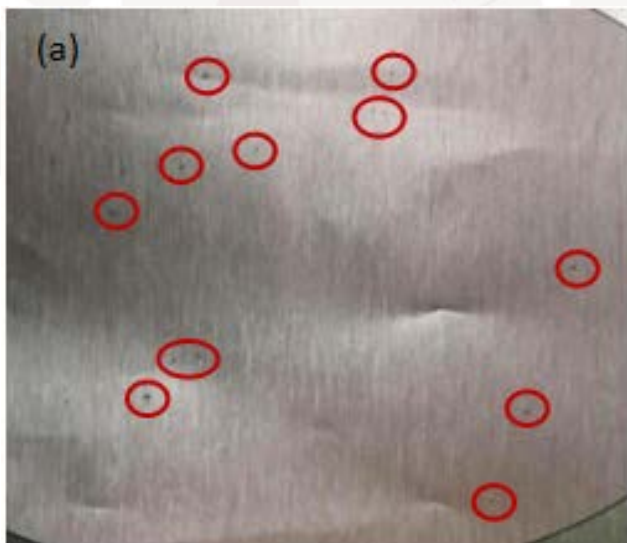


## 案例背景



### ■ 什么是铝箔暗面亮星缺陷？

亮星缺陷一般是表现为比铝基体颜色深但发亮闪光的点状样，**暗面亮星**的缺陷实际形貌及其光学显微形貌如图所示。

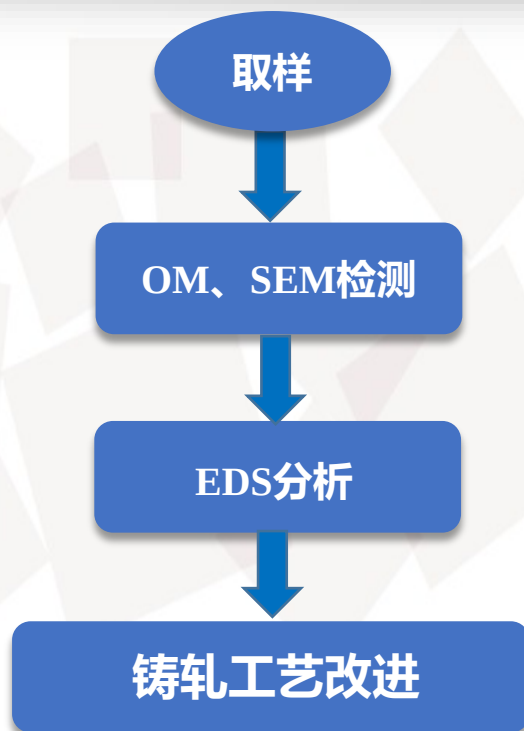


## 2

# 铝箔暗面亮点缺陷形成原因



本案例结合企业所急，利用OM、SEM微观组织观察手段和EDS能谱分析方法，从铝箔产品及其**上游产品铸轧板**等产品的微观组织形态和元素分布入手，以期探明铝箔暗面亮星的产生原因，结合双合轧制的变形特点进行分析，获得一系列的解决办法。



## 2

## 试验方案



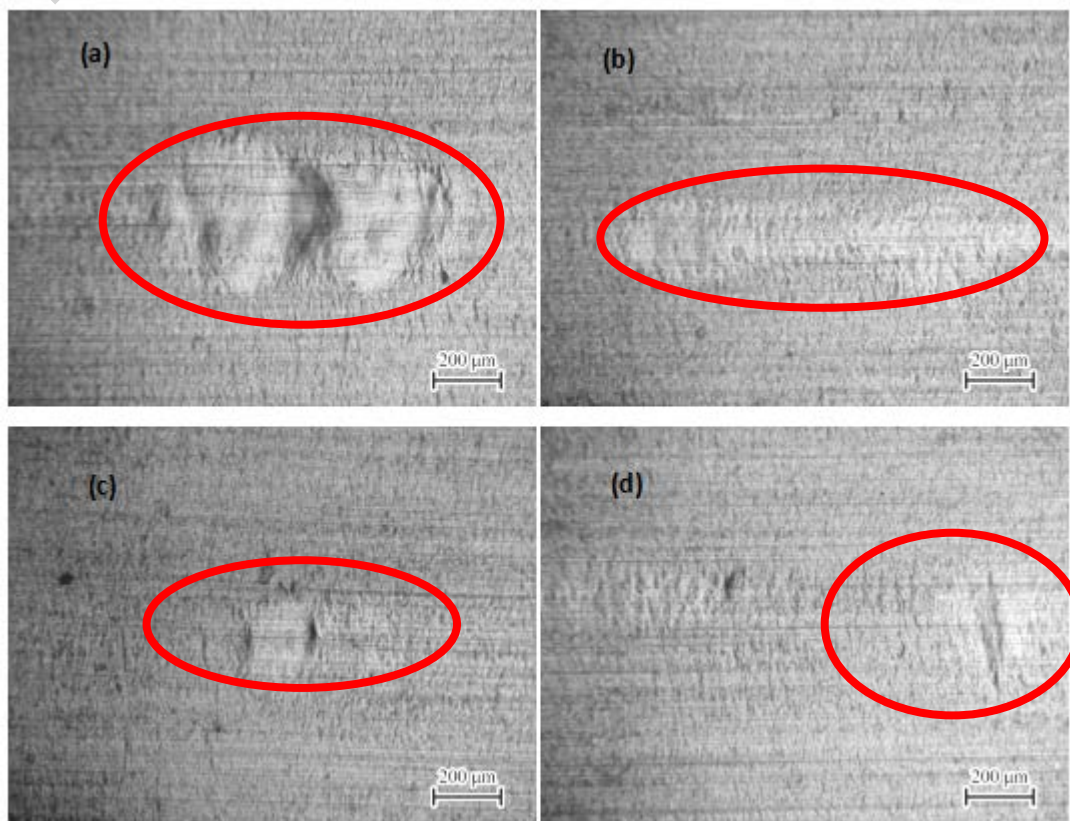
### 铸轧板中心线偏析



## 试样处理方法

对出现暗面亮星缺陷的铸轧板坯，采用机加工的方式切取试样，样品规格为 $6\times 10\times 20\text{mm}$ ，经镶样、粗磨、细磨、抛光后经金相腐蚀剂腐蚀后进行金相组织观察，腐蚀剂配比为： $\text{HF}(1\text{ml})+\text{HCl}(1.5\text{ml})+\text{HNO}_3(2.5\text{ml})+\text{H}_2\text{O}(95\text{ml})$ ，并采用EVO-MA10扫描电子显微镜对铸轧板坯缺陷进行显微组织观察和能谱分析。

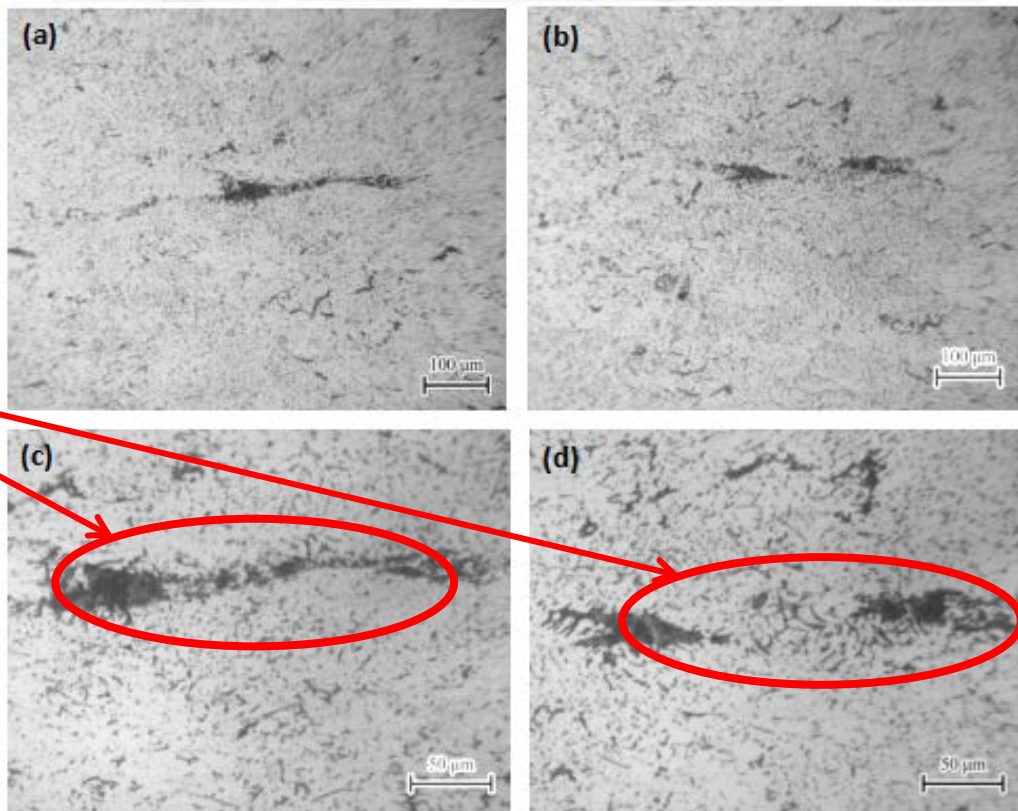
### 铝箔金相组织观察



(a)马蹄状；(b)扁长状；(c)小马蹄状；(d)轻微扁长状

### ■ 铸轧板金相组织观察

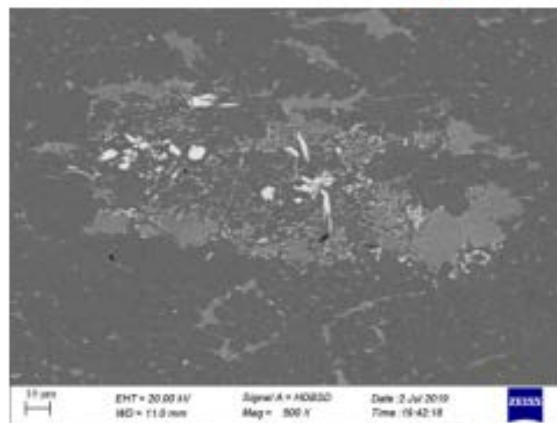
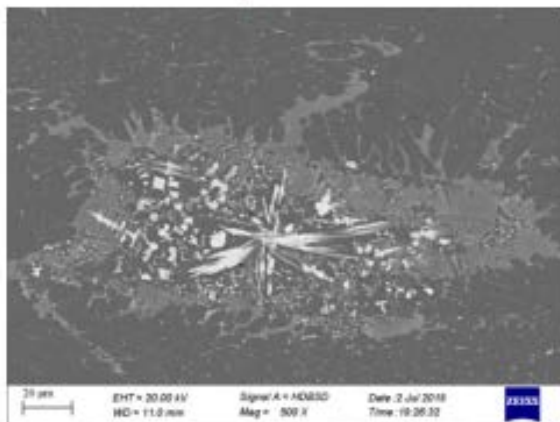
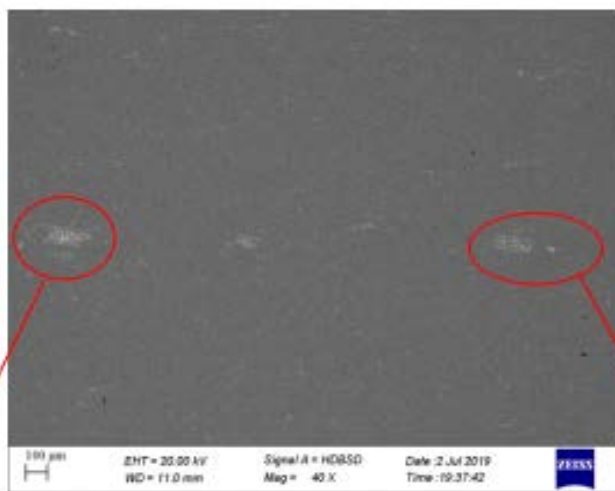
偏聚区



(a)低倍；(b)低倍；(c)高倍；(d)高倍

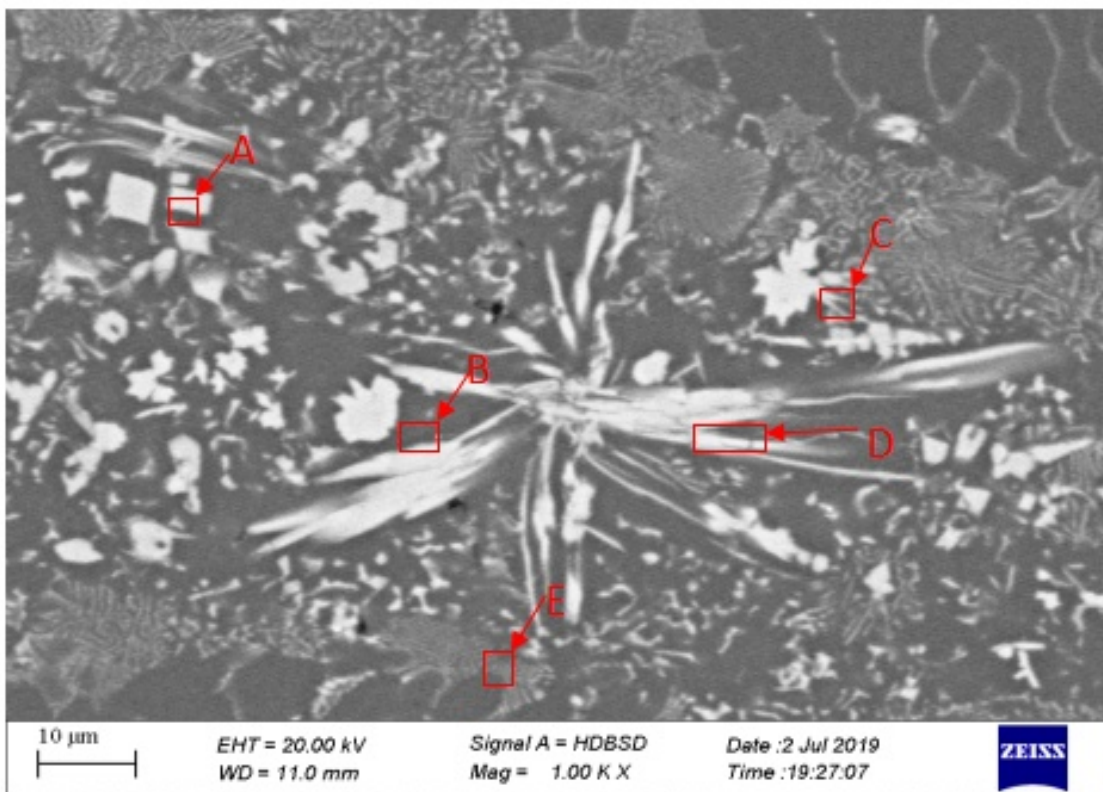
铸轧铝板出现较为严重的**中心线偏析**，偏析线断续，呈暗黑色一字形；进一步放大观察可发现偏析区周围存在较多的短小不连续的黑色线条；越靠近偏析区，黑色线条越多。

## ■ 铸轧板中心层扫描电镜观察



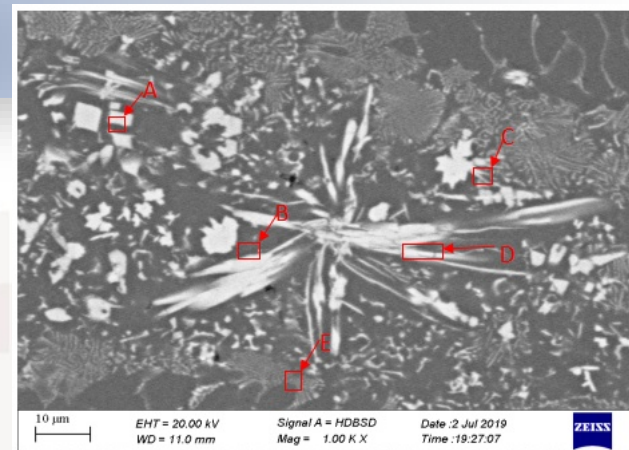
## ■ 铸轧板微区成分分析

微区选取位置：



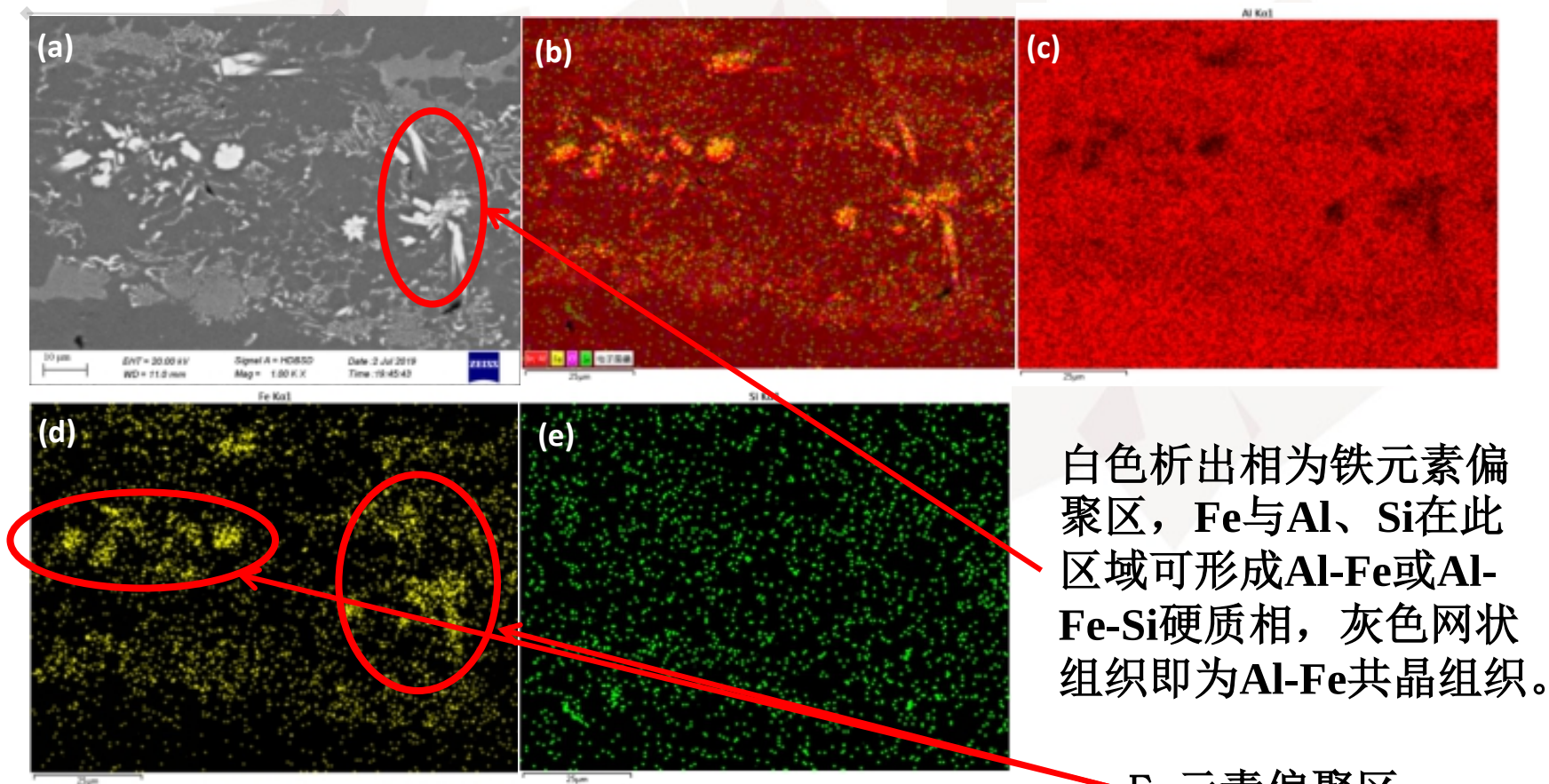
## 检测分析结果

## ■ 铸轧板微区成分分析



| 元素 | Al    | Fe    | Si   | Cu   | C     | O    | Mn   | Pb   | In   | Ti   |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| A  | 58.0  | 26.87 | 1.74 | 0.15 | 11.15 | 1.45 | 0.19 | —    | 0.22 | —    |
| B  | 56.63 | 30.80 | 0.23 | 0.21 | 11.50 | —    | 0.03 | 0.18 | —    | —    |
| C  | 60.45 | 32.24 | 0.07 | 0.36 | 3.05  | 3.06 | 0.21 | —    | —    | —    |
| D  | 60.60 | 26.85 | 0.50 | 0.41 | 5.71  | 5.25 | —    | 0.13 | 0.50 | 0.04 |
| E  | 78.80 | 4.34  | 0.69 | 0.46 | 12.41 | 2.69 | 0.02 | 0.39 | 0.03 | 0.08 |

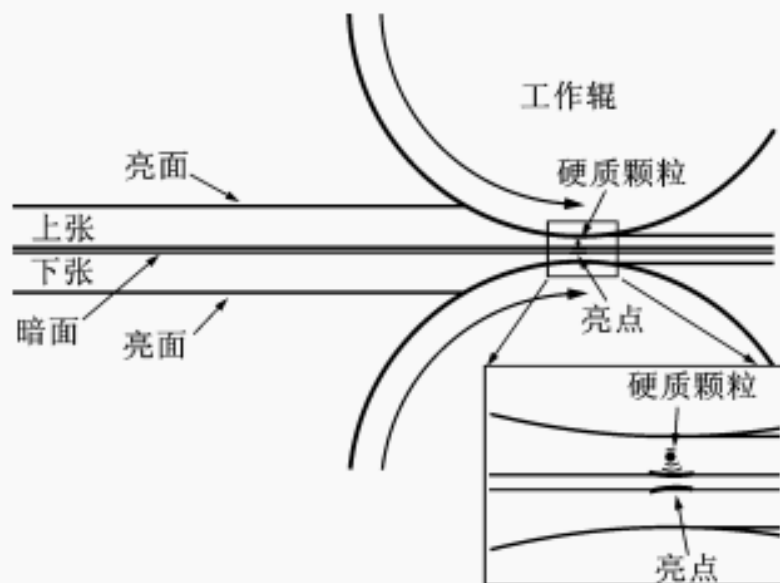
### 面扫元素分布



(a) 显微组织照片；(b) EDS面扫分析；(c) Al元素分布图；  
(d) Fe元素分布图；(e) Si元素分布图



## 亮斑产生原因



通过对1235铸轧铝板缺陷位置进行分析可知，铝板中心缺陷处主要为铁的偏聚区，铁与铝、硅等形成**硬质颗粒**团体。这些硬质颗粒（主要为 $\text{FeAl}_3$ ）在轧制过程中沿轧制方向延伸，因塑性低、硬度高，不能与铝基体协调变形，最终在铝箔暗面形成**亮斑缺陷**。



## 中心层偏析产生的原因

在轧辊压力下，富集合金元素的液态铝沿枝晶间隙从较冷区挤到中部较热区(即所谓孔道效应)，全部凝固后在中心部位形成**Al-Fe共晶组织**，即偏析层。



## 解决亮斑问题的方案

- (1) **降低铝熔体中Fe含量。**对铝熔体进行强化精炼和精细过滤。
- (2) **优化轧制速度。**当铸轧速度由850mm/min降低到700mm/min时，1235铝合金在铸轧后未产生中心线偏析。
- (3) **增加冷却水强度。**冷却水温度高时单位时间内铸轧辊带走的热量减少，导致铸轧过程冷却强度相对变小，而冷却强度减小使液态合金凝固时晶粒形核数量减少，从而导致晶粒粗大。当冷却水温度由50℃降低到35-45℃时，铸轧板材仅在中间位置及边部80mm处有间断性偏析孔出现，无肋部偏析孔。
- (4) 铸轧立板时，检测中心线偏析情况，**建立中心线偏析控制标准。**



1235铝箔暗面亮星缺陷主要是由**铸轧铝板中心层偏析**引起。铸轧铝板中心层存在铁元素偏聚区，铁与铝、硅等形成硬质颗粒团体，因塑性低、硬度高，不能与铝基体协调变形，轧制过程中阻碍铝基体变形，最终在铝箔暗面形成亮星缺陷。

针对铝箔暗面亮星缺陷产生原因，提出减少暗面亮星缺陷的措施，具体为：降低铝熔体中的**Fe含量**；优化轧制速度；增加冷却水强度；防止冷却强度不足造成中心偏析；建立中心线偏析控制标准。

**引申思考：**在本案例中，1235 铝箔暗面亮星缺陷是在接近成品工序的双合轧制时出现，但经检测分析后发现，其根本原因在源头，即铸轧过程中板坯因 Fe 元素偏聚而形成硬质颗粒团和中心层偏析。可见，在分析铝加工产品缺陷时，不能犯教条主义错误，只从问题出现的环节查找，而应综合分析，从源头寻找，尤其是从原材料和熔铸环节查找原因并找到解决措施。

**思考题：**（1）为什么亮星缺陷会影响铝箔产品质量？

（2）还有哪些措施可以防止铝合金铸轧板中心层偏析？



谢谢!

