



# 第二章

# 钢的宏观检验技术

CONTENTS

# 目录

前言

宏观检验技术的定义和应用

第一节

钢的低倍酸蚀检验

第二节

钢材断口检验

# 前言 宏观检验技术的定义和应用

## 定义

- 低倍检验，又称宏观检验；
- 通过肉眼或放大镜（20倍以下）来检验钢及其制品的宏观组织和缺陷的方法。

## 优点

- 面积大、视域宽、范围广；
- 检验设备简单；
- 较快、较全面反映材料品质。

## 应用

疏松

气泡

缩孔  
残余

非金属  
夹杂物

偏析

白点

裂纹

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 酸蚀试验的定义

- 利用酸液对钢铁材料各部分侵蚀程度的不同，来显示钢铁的低倍组织及其缺陷。
- 主要用于显示钢铁中存在的裂纹、夹杂、疏松、偏析及气孔等缺陷。
- 参照国家标准GB/T 226-2015《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》进行；根据需要也可参加ASTM E381《圆钢、钢坯、钢锭和锻钢的低倍检验方法》进行。



# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 宏观检验主要操作步骤

样品制备

酸侵蚀

冲洗吹干

缺陷评定

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 试样的选取及制备

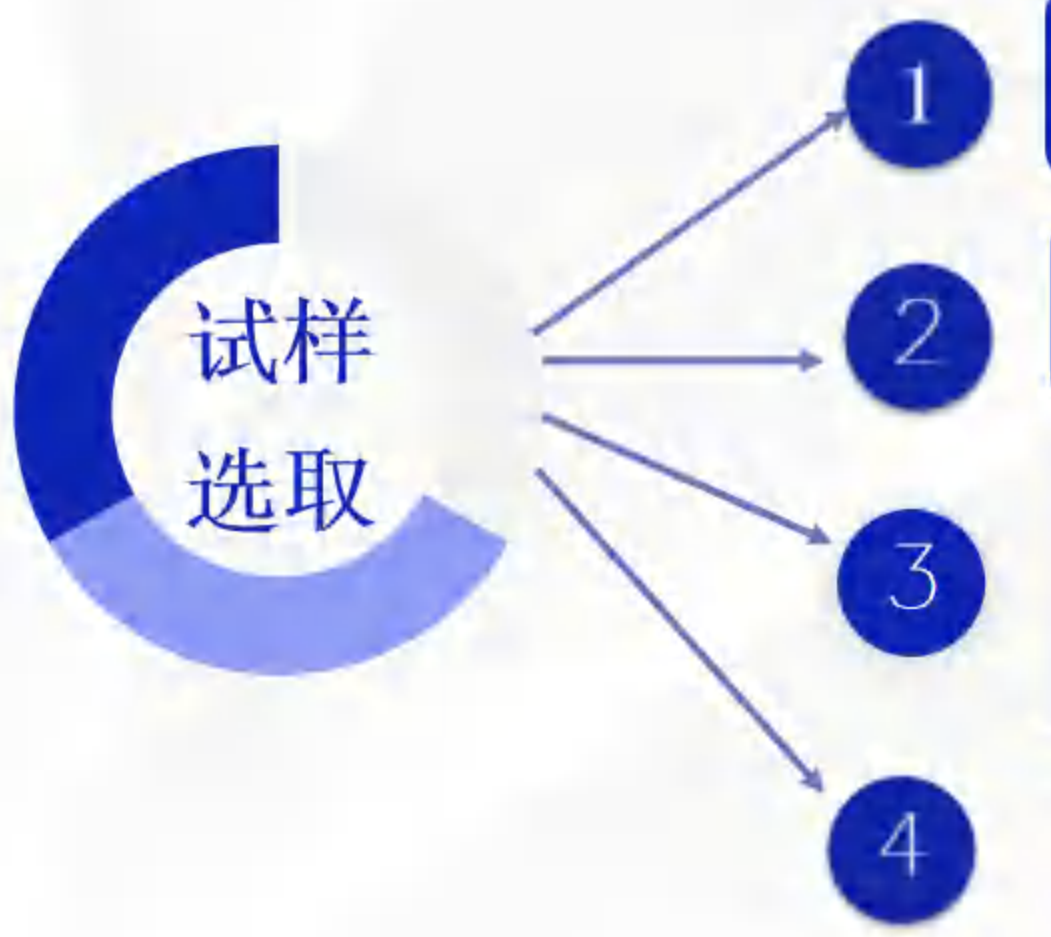
易发生缺陷的部位

试样选取原则

应能代表全体

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 试样选取



1

检验钢材表面缺陷时（如淬火裂纹、磨削裂纹等），选取外表面进行酸蚀试验。

2

检验钢材质量时（如钢锭等），应在钢材的两端分别截取试样。

3

在解剖钢锭及钢坯时，应选取一个纵向剖面（显示纤维流线，条带组织等）和两个或三个横截面试样（显示白点、偏析、疏松，皮下气泡等）。

4

在做失效分析或缺陷分析时，除了在缺陷处取样外，应在具有代表性的其他部位选取一个试样，进行比较。

## 第一节 钢的低倍酸蚀检验



### 试样制备

- ◆ 必须除去由取样造成的变形和热影响区以及裂缝等加工缺陷；
- ◆ 加工后试面的表面粗糙度应  $\nabla 1.6\mu\text{M}$ ，冷酸浸法应  $\nabla 0.8\mu\text{M}$ 。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

试面距切割面的参考尺寸

热切时

✧ 20(M)(M)

冷切时

✧ 10(M)(M)

烧割时

✧ 20(M)(M)

## 试样尺寸要求

- ◆ 横向试样厚度一般为20(M)(M)，试面垂直钢材（坯）延伸方向；
- ◆ 纵向试样长度一般为边长或直径的1.5倍；
- ◆ 钢板试样一般长为250(M)(M)，宽为板厚；
- ◆ 检验表面缺陷时取毛面。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

GB/T 226-2015  
《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》

热酸  
侵蚀法

冷酸  
侵蚀法

电解  
腐蚀法

仲裁检验时，若技术条件无特殊规定，以热酸侵蚀法为准。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 热酸蚀 试验

酸液配方  
(表2-1)

常用：1:1  
工业盐酸水溶  
液

作业温度  
 $60^{\circ}80^{\circ}\text{C}$

## 冷酸蚀 试验

酸液配方  
(表2-2)

由于反差对比  
度比热蚀效果  
差，评定时要  
比热蚀法低1  
级。



# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 热酸蚀试剂和试验规范

钢种	酸蚀时间/min	酸液成分	温度/℃
易切削钢	5-10	1: 1工业盐酸 水溶液	60-80
碳素结构钢, 碳素工具钢, 硅 锰弹簧钢, 铁素体型、马氏体 型、复相不锈钢、耐热钢	5-20		
合金结构钢、合金工具钢、轴 承钢、高速工具钢	15-20		
奥氏体型不锈钢、耐热钢	20-40	盐酸10份, 硝酸1份, 水10份	60-70
	5-25		
碳素结构钢、合金钢、高速工 具钢	15-25	盐酸38份, 硫酸12 份, 水50份	60-80

## 钢的低倍组织评定国家标准

GB /T 1979-2001 《结构钢低倍组织缺陷评级图》

评级图一°评级图六

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 疏松

钢锭在冷凝过程中由于体积收缩或其它原因所引起的细小孔隙被称为疏松。包括一般疏松和中心疏松。

形成原因：

- ◆ 钢液中的杂质和气体聚积所引起；
- ◆ 与钢锭的冷凝速度有着很大的关系。一般疏松是冷凝较快，分散分布；中心疏松是冷凝较慢，中心分布。



中心疏松



一般疏松

3 级

危害：容易引起锈蚀、降低致密性。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 偏析

偏析是指在钢中化学成分的不均匀性。

形成原因：

钢锭在凝固过程中，由于钢中的合金元素(如碳、氮、镍、铬)和杂质元素(如硫、磷等)的扩散(即运动)速度大不相同而形成的化学成分不均匀现象。



锭型偏析



斑点状偏析

危害：造成钢材中化学成分的不均匀性；  
将导致钢材的机械性能、物理性能的降低。

## 第一节 钢的低倍酸蚀检验

**硫偏析：**能破坏金属的连续性，锻造和轧制时会引起热脆而开裂。

**磷偏析：**会造成冷脆，并促进钢的回火脆性。

**碳和合金元素偏析：**会使钢的淬透性下降，造成零件热处理后的组织和硬度不均匀，而且容易产生淬火裂纹。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 白点

在含镍、铬、锰等合金元素的钢材或零件的纵向断口上出现的表面光滑的、形状近似圆形或椭圆形的银白色斑点，同时在经酸洗后的横向截面中心和其附近区域呈现短小的、不连续的，一般呈辐射状分布的发丝状裂纹被称为白点。

形成原因：氢含量高，经热加工变形后在冷却过程中析出氢分子产生巨大的内应力而产生的裂缝。

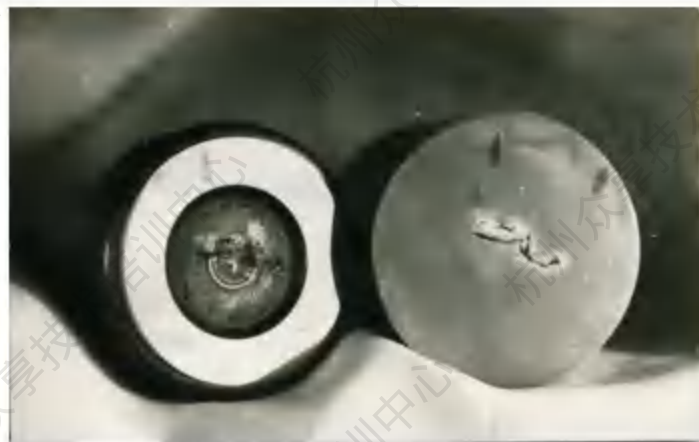


大型套圈中的白点裂纹  
(横截面及其纵截面)

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 残余缩孔

钢锭在浇铸后的冷凝过程中，由于体积的收缩而在钢锭的中心上部形成管状、喇叭状或分散孔洞，称为缩孔



← 滚子心部的残余缩孔

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 发纹

- ◆发纹是一种存在于钢材表面或表皮下层看似细小裂纹状的缺陷；
- ◆主要存在偏析区。

### 形成原因：

在钢锭中的皮下气泡和非金属夹杂物，经轧制变形后存在于材料的表层或表皮下层，沿轧制方向呈断续的分布，有的单独一条，有的数条。



## 第一节 钢的低倍酸蚀检验

### 宏观检验常见缺陷评定原则

缺陷类型	评定原则
一般疏松	根据分散在整个截面上的暗点和空隙的数量、大小及分布状态，并考虑树枝晶的粗细而定，分4级。
中心疏松	以暗点和空隙的数量、大小及密集程度而定，分4级。
锭型偏析	根据框形区域的组织疏松程度和框带的宽度加以评定。
斑点状偏析	以斑点数量、大小和分布状况而定。
中心偏析	根据中心暗斑的面积大小及数量来评定。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

宏观检验常见焊接缺陷



图 A.1 坡口未熔合 (一)



图 A.2 坡口未熔合 (二)



图 A.3 坡口未熔合 (三)

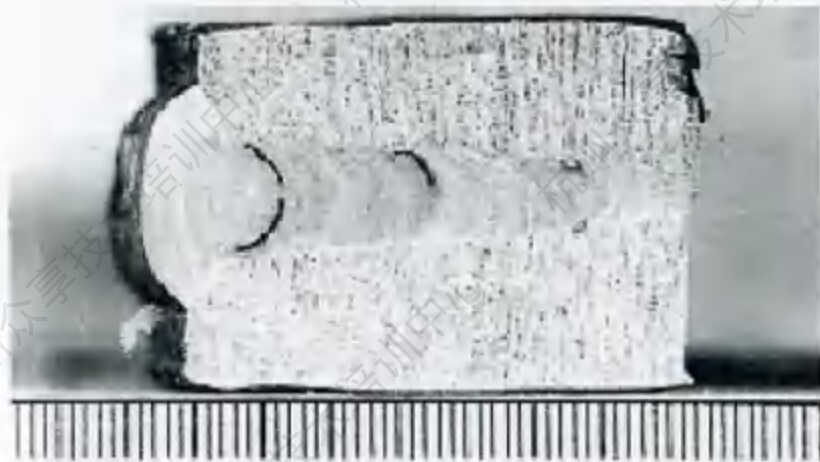


图 A.4 焊道间未熔合、夹渣

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

宏观检验常见焊接缺陷

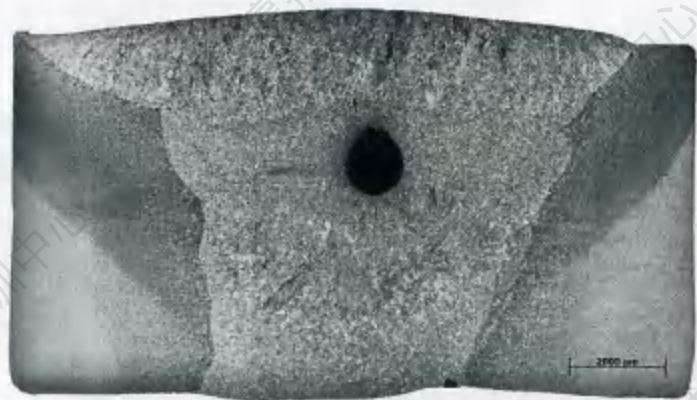


图 A.5 气孔 (一)

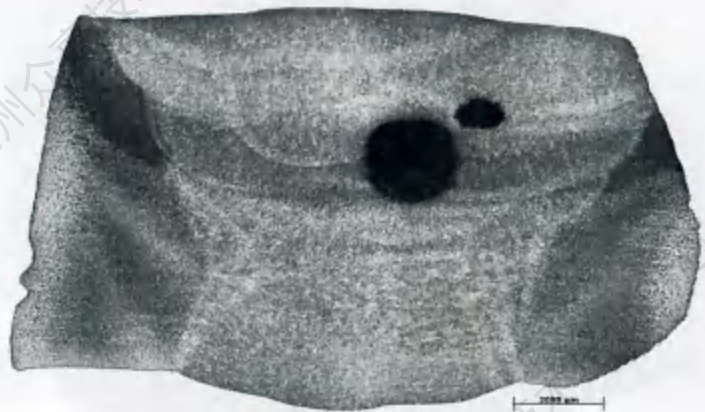


图 A.6 气孔 (二)

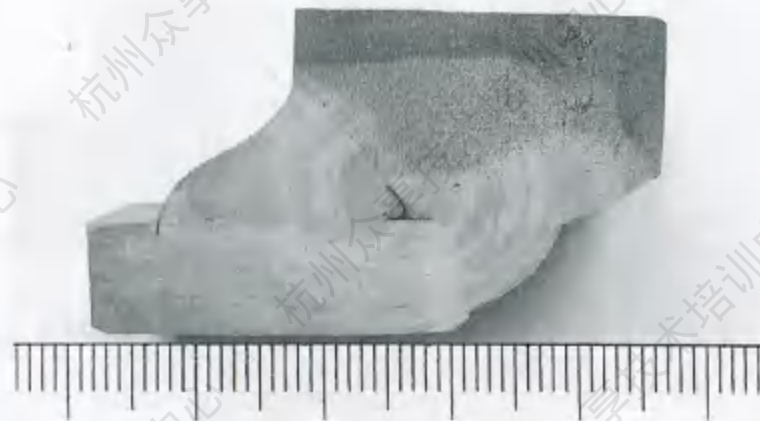


图 A.9 坡口未熔合、气孔、过热区裂纹

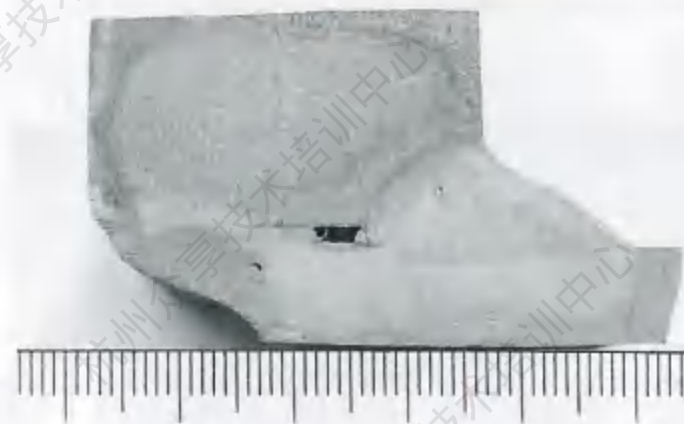


图 A.10 焊缝根部未焊透、气孔、坡口未熔合

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

宏观检验常见焊接缺陷

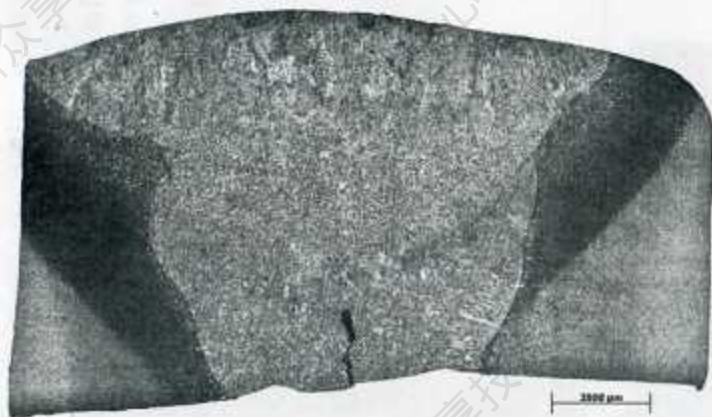


图 A.11 根部裂纹 (一)

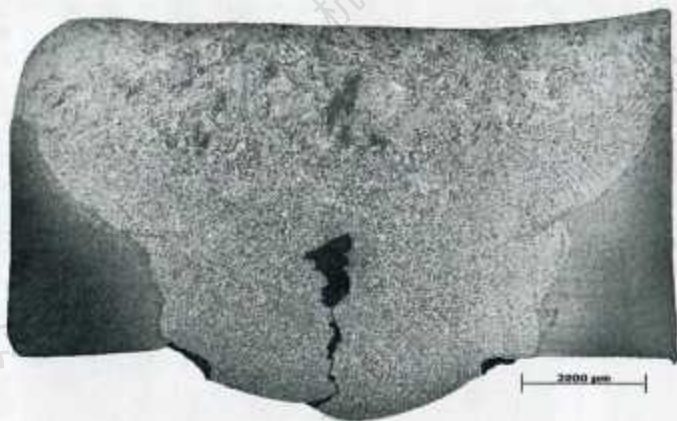


图 A.12 根部裂纹 (二)

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 案例

### 一般疏松



图 4-2-2

1×

图 号：4-2-2

材料名称：GCr15 钢

浸 蚀 剂：1+1 盐酸水溶液，70℃热蚀 20min

处理情况：热轧状态原材料

组织说明：横截面上分散分布的黑色小点即为一般疏松。按标准评定为 2.5 级，属不合格。

疏松主要是在钢液凝固时，因体积收缩形成树枝晶晶间空隙，未被钢液所填充而形成。导致组织不致密，破坏了钢材的连续性，从而降低了钢材的力学性能。这种不致密的疏松，在淬火时易产生裂纹，并在机械加工后影响零件的表面粗糙度，尤其是对超精加工的研磨表面来说，易出现黑色孔隙，且易受腐蚀而生成锈斑，相应地降低了轴承的使用寿命。

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 案例

### 中心疏松

图 号: 4-2-1

材料名称: GCr15 钢 [ $w(\text{C})$  0.95%~1.05%,  $w(\text{Mn})$  0.20%~0.40%,  $w(\text{Si})$  0.15%~0.35%,  $w(\text{Cr})$  1.30%~1.65%,  $w(\text{S}) \leq 0.020\%$ ,  $w(\text{P}) \leq 0.027\%$ ]

浸 蚀 剂: 1+1 盐酸水溶液, 70℃热蚀 20min

处理情况: 热轧状态原材料

组织说明: 钢材横截面中心处的黑色小点为中心疏松, 按标准评定属 1.5 级。

产生疏松的原因, 与缩孔大致相同, 也是由于金属凝固时的体积收缩所造成的, 因为疏松是最后凝固部分, 所以疏松区域的夹杂物比较集中。当疏松严重时, 将显著地影响钢材的力学性能。

疏松经热压力加工后, 可得到一定的改善。如果原钢锭中疏松较严重, 在热加工时压缩比不足或孔形设计不当, 则钢锭上的疏松孔隙, 经热加工后仍将存在于钢材中。因此, 提高压缩比和设计合适的孔形以及合理的切头率, 均可减少或改善疏松缺陷。

由于疏松孔隙处夹杂较集中, 经热酸蚀后, 极易受腐蚀和发生溶解, 因而在低倍试片上出现颇多外形不规则的细小孔隙和孔穴, 肉眼观察时为黑色小点。

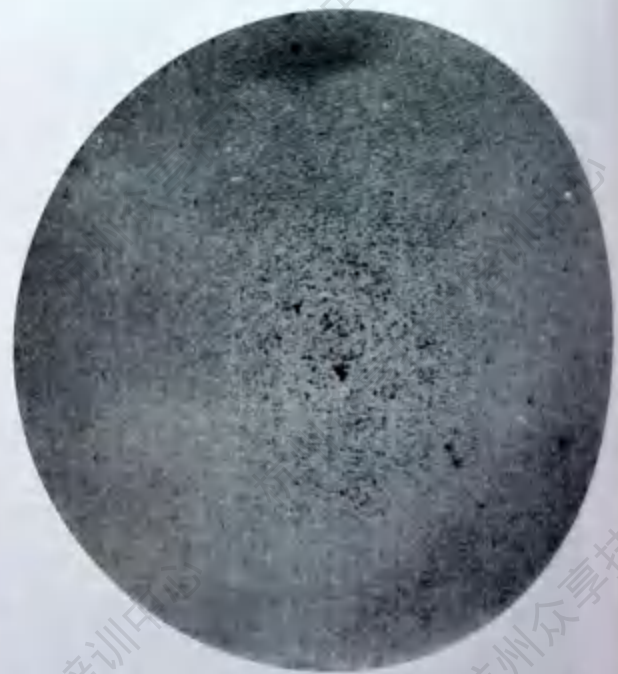


图 4-2-1

1x

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 案例

### 锭形偏析

图号：4-2-3

材料名称：GCr15 钢

浸蚀剂：1+1 盐酸水溶液，70℃热蚀 20min

处理情况：热轧状态的原材料

组织说明：热蚀后在钢材横截面上显示出由聚集分布的黑色小点所构成的方框形，即称为方框形偏析。按标准评定，大于 2 级，属不合格。

这种缺陷是钢液在凝固过程中形成的。按钢锭的一般结晶规律，在钢锭截面的中间部位为钢液的最后凝固部分，该处碳、合金元素以及硫、磷杂质较易富集，因此组织的致密度很差。钢锭经热压力加工时，钢锭中间部位存在的夹杂及合金成分偏析，将因钢锭表面的变形较大，心部及中间的变形极小，而以锭形（方框形）的形式存在于钢材中，由图中方框偏析分布位置可知，钢材在压力加工时表面的变形是不均匀的。

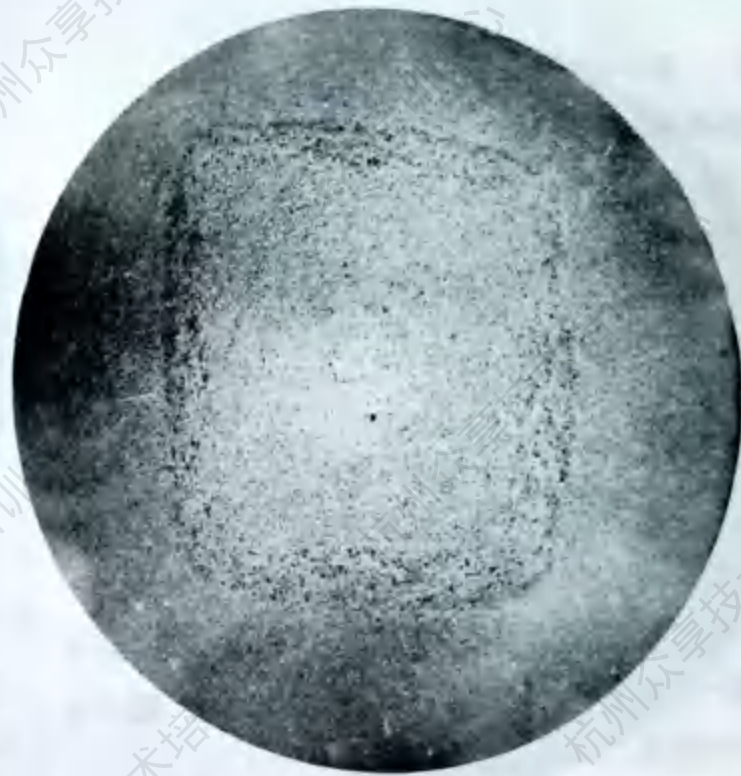


图 4-2-3

1x

# 第一节 钢的低倍酸蚀检验

## 案例

### 白点

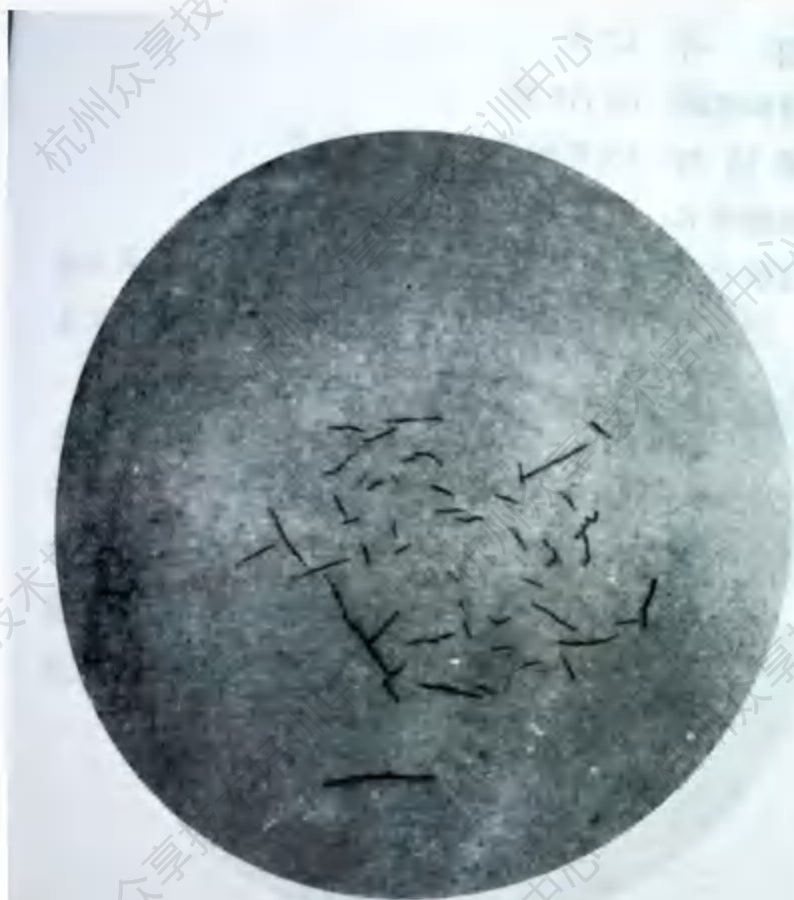


图 4-2-4

1×

图 号: 4-2-4

材料名称: GCr15 钢

浸 蚀 剂: 1+1 盐酸水溶液, 70℃热蚀 15min

处理情况: 热轧状态的原材料

组织说明: 热蚀后, 钢材横截面上近中心区域出现颇多细长条的开裂, 裂纹两侧呈锯齿形, 此乃典型的白点缺陷。

含铬轴承钢经轧制空冷后易出现白点缺陷。白点缺陷在低倍试块横截面上呈条状裂纹; 在纵向断口面上, 则呈现圆形或椭圆形的银白色明亮结晶斑点, 故称之为白点。

白点形成的原因, 主要是由于钢中的氢含量较高, 在冷却较快的情况下, 尤其是在 200℃左右时, 原子氢将向分子氢转变, 未逸出的氢存在于晶界间, 此时将产生极大的压力而出现裂纹。

白点缺陷若未暴露在空气中, 则可采用锻造方法使之焊合, 但锻后应缓冷, 不过此时钢材需改小尺寸。一般来说, 白点是钢中不允许存在的缺陷。

### 注意事项

- 1 试样粗糙度要保证，不得有油污和加工伤痕；
- 2 酸洗时温度和时间要适宜；
- 3 清洗时试样表面的腐蚀产物要刷干净，用热水喷淋后立即吸干或吹干；
- 4 酸洗之后样品尽可能立即评定；
- 5 对于酸洗不合格样品在重新酸洗之前，须重新进行磨加工，磨去腐蚀层。

## 第二节 钢材断口检验

**断口检验**可以发现钢材冶金缺陷及热工艺中存在大问题。  
执行标准 GB/T 1814-1979 《钢材断口检验法》

### 试样 选取

**纵向断口**，钢材直径或边长大于**40mm**、显示钢材中的偏析、非金属夹杂物及白点等缺陷时，应选取纵向断口。

**横向断口**，钢材直径或边长小于**40mm**的可取横向断口。

**失效件断口**，拉力、冲击试验破断后的断口也可直接进行断口检验。

## 第二节 钢材断口检验

钢材断口的分类及各种缺陷形态的识别



纤维状断口

结晶状断口

层状断口

白点断口

缩孔残余断口

气泡断口

非金属夹渣物及夹渣断口

黑脆断口

石状断口

萘状断口

瓷状断口

台状断口

撕痕状断口

内裂断口

异金属夹渣断口



# 感谢聆听!

杭州众享机械技术有限公司  
技术培训中心