

● 试验与研究

# 水平连铸小圆坯缺陷对热穿孔毛管的影响

夏尚华 黄 杰 段蓓蓓 刘义波 张大秋

(成都无缝钢管厂)

通过对水平连铸坯的各种缺陷分析,阐述了缺陷产生的原因及解决措施,为建立水平连铸坯的评定标准提供了依据。

**关键词** 水平连铸坯 热穿孔管 缺陷

## NEGATIVE EFFECT BY DEFECTS OF SMALL HCC STEEL ROUND ON QUALITY OF HOT-PIERCED SHELL

Xia Shanghua Huang Jie Duan Beibei

Liu Yibo Zhang Daqiu

(Chengdu Seamless Steel Tube Plant)

Based on analysis of various defects of the HCC rounds, the causes are found and proper measures are taken, which provides evaluation criteria basis of HCC. bloom quality.

**Key words** HCC bloom Hot-pierced shell Defect

### 1 前言

随着连铸技术的进步,采用连铸坯(弧形连铸坯或水平连铸坯)直接生产无缝钢管已成为钢管生产的一个发展方向。但是,连铸坯质量直接关系到钢管质量,用什么质量的连铸坯才能生产出符合技术标准的钢管是生产和使用单位共同关心的问题。受冶金部科技司委托,我们参加了水平连铸(简称HCC)圆坯质量标准(缺陷图谱)的起草工作,结合这一工作,研究了HCC坯质量及其对热穿孔毛管的影响。

### 2 试验

#### 2.1 试样

采集了1989年生产的5个炉号的HCC坯,每个炉号在连铸初期、中期、后期各取1支HCC坯,随后在其他炉号的HCC坯中选4支有典型外表缺陷的坯,总共采集19支HCC坯。前5个炉号的15支坯的编号为5~19号,后

4支坯的编号为1~4号。每支HCC坯长1300~1600mm。在HCC坯的两端切取低倍试样,再定尺切取穿孔试验坯。穿孔试验坯的定尺长度为1200mm,两端均为氧割面。穿孔毛管的分析试样按常规位置和缺陷位置取样。试样化学成分见表1、2。1号和5~19号样为20钢,2~4号样为45钢。相关试样的工艺流程为:电炉炼钢→水平连铸(Φ90mm坯)→穿孔加热→斜轧穿孔。

#### 2.2 穿孔

穿孔试验在Φ100mm二辊斜轧穿孔机上进行。穿孔坯加热在斜底式三段连续加热炉中进行,加热曲线见图1,出炉温度为1220℃。穿孔毛管规格为Φ89mm×7mm,穿孔参数为:

辊速(r/min)	108
辊倾角(°)	10
辊距(mm)	74
导板距(mm)	86

表1 HCC 试验坯的化学成分(%)

坯号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
5~7	0.22	0.30	0.52	0.025	0.026	0.04	0.04	0.11
8~10	0.24	0.35	0.53	0.015	0.012	0.04	0.04	0.12
11~13	0.23	0.32	0.53	0.018	0.024	0.04	0.05	0.08
14~16	0.22	0.33	0.51	0.020	0.018	0.05	0.07	0.11
17~19	0.20	0.29	0.45	0.009	0.024	0.04	0.06	0.09

表2 重组批 HCC 坯的化学成分(%)

坯号	C	Si	Mn	P	S	Al <sub>总</sub>	Al <sub>酸</sub>	Al <sub>2</sub>
1	0.210	0.266	0.486	0.0263	0.021	0.053	0.005	0.058
2	0.470	0.358	0.682	0.0200	0.022	0.012	0.004	0.016
3	0.466	0.313	0.669	0.0207	0.024	0.013	0.004	0.017
4	0.466	0.356	0.690	0.0207	0.023	0.012	0.004	0.016

顶伸量(mm) 66

顶前压缩率(%) 8.6

延伸系数 3.52

除15号坯出现穿孔轧卡外,其余均穿孔顺利。

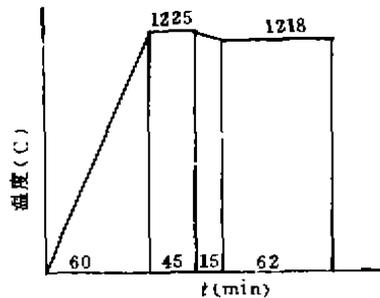


图1 HCC 坯穿孔加热曲线

### 3 水平连铸坯缺陷分类

低倍试验表明,HCC 坯缺陷分表面和内部两类缺陷。

#### 3.1 表面缺陷

这类缺陷包括纵裂、横裂、热点裂纹、冷隔裂纹、结疤等,它们分布在铸坯表面。

#### 3.2 内部缺陷

这类缺陷主要是内部裂纹(尤其是中间裂纹)和中心疏松。

内部裂纹一般分为中心裂纹、中间裂纹和表层裂纹(或称皮下裂纹)。我们将 HCC 坯标称半径从外表向内约25%区域内出现的裂纹称为表层裂纹。这一区域包含了全部外

层等轴晶区和小部分柱状晶,穿透了外表的裂纹不属此列。由 HCC 坯中心点向外在其标称半径30%区域内出现的裂纹称为中心裂纹,其余在标称半径45%区域内出现的裂纹称为中间裂纹。如果内裂纹的主体(即裂纹长度的大部分)在本区域内,但有小部分伸延至其他区域则称为扩展内裂纹,如表层内扩裂纹、中间外扩裂纹、中间内扩裂纹、中心外扩裂纹等。裂纹只要达到坯的中心点,不管向外扩展的长度多少都称为中心外扩裂纹。

中心疏松和缩孔按 GB1979-80 标准评定。由于 GB1979-80 标准中只有3个级别,因而2.0级的缩孔就是高级别的了。

### 4 HCC 坯表面缺陷对热穿孔毛管的影响

对热穿孔后的毛管逐支进行检查,其缺陷对穿孔毛管的影响如下。

#### 4.1 椭圆度

从穿孔结果看,5mm 左右的椭圆度对热穿孔毛管没有损害。

#### 4.2 纵裂

HCC 坯表面纵裂如产生在2、3、4号试轧坯上,经过穿孔后的毛管外表面对应出现了大螺旋外折(见图2)。

#### 4.3 横裂

只有3号 HCC 坯前端产生了横裂。穿孔后毛管外表面前端出现舌状外折(见图3)。

#### 4.4 结疤

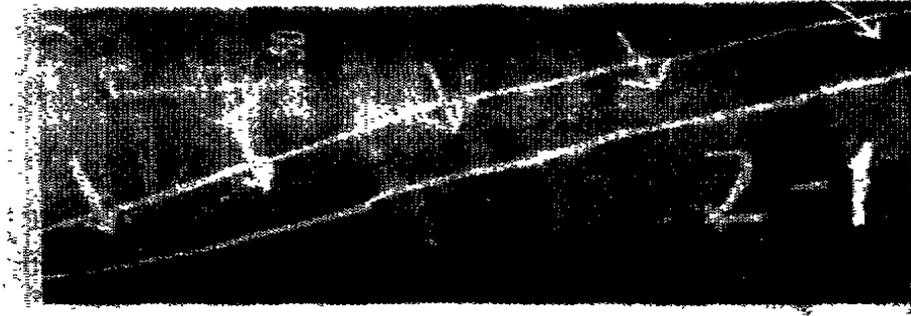


图2 穿孔毛管外表面的螺旋外折(未酸洗)

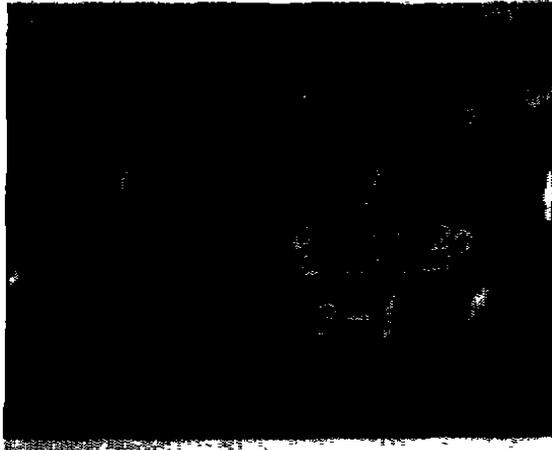


图3 穿孔毛管外表面的舌状外折  
1号 HCC 坯前端产生了一大块结疤,穿

孔后毛管前端也相应出现延伸的结疤。由于结疤距毛管端头很近,因此毛管前端也受结疤的影响而被穿裂。

1.5 冷隔裂纹

冷隔裂纹由于深度很浅,所以对穿孔毛管及外表面质量没有影响。

1.6 热点裂纹

所取试样的 HCC 坯上存在着程度不同的热点裂纹,其间距大致在30~40mm 之间,宽深比都很小,两侧及底部基体组织都是呈魏氏组织状态的铁素体。较严重的热点裂纹在热穿孔后都以横向外折形式遗留在毛管表面(见图4)。



图4 穿孔毛管的横向外折

5 HCC 坯内部缺陷对热穿孔毛管的影响

5.1 夹渣(含渣孔)

夹渣只在20钢1号 HCC 坯的前后端出现,呈渣堆形式,坯前端因渣的脱落而形成渣孔,渣堆及渣孔距坯外表面4mm,渣堆长32mm,宽18mm,渣孔长17mm,宽3mm。渣堆及渣孔处未见到硫偏析,将渣孔放大观察,渣

孔内壁还有残留的一薄层渣。渣的成分见表3。

表3 渣的化学成分(%)

Mg	Al	Si	Ca	Cr	Mn	Fe
28.58	13.82	19.61	1.22	10.03	3.94	22.81

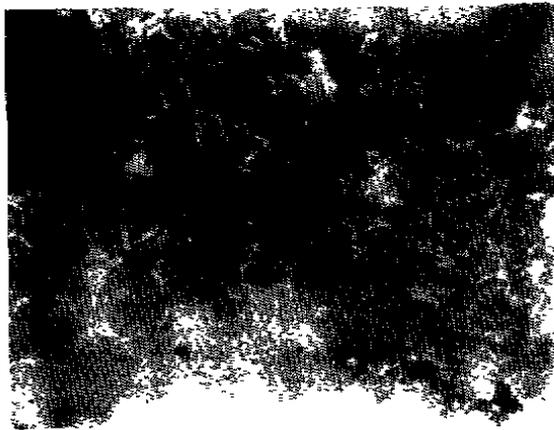
由渣的化学成分可知,渣的来源是耐火

材料,这是在浇铸过程中,钢水冲刷中间包的耐火衬,将耐火材料带入结晶器中而夹杂于钢坯中造成的。

热穿孔后毛管前端渣孔相应部位出现了夹层,这是由于渣孔内仍有一薄层渣而不可能焊合的缘故。

### 5.2 中心疏松

中心疏松的产生系由于结晶器内对浇铸的钢液强制冷却,使铸坯外层很快结晶,柱状晶快速向心部长大,形成孔洞。由于锭坯心部最后凝固,气体夹杂物聚集较多而形成心部组织疏松,因此中心疏松不可避免,但能减轻



a. 30x未浸蚀

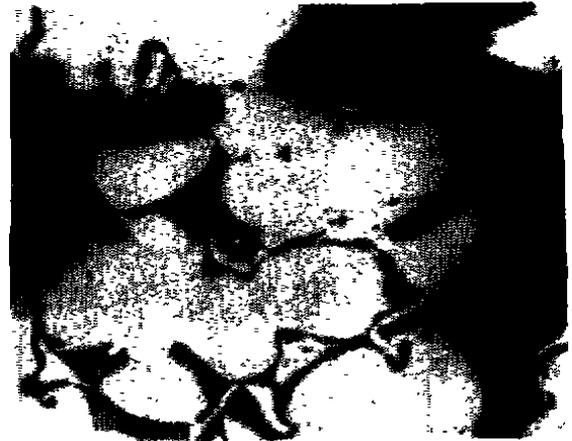
其产生。

中心疏松对轧管的影响不大,只是当缺陷较为严重、分布较宽时才会在热穿孔毛管内壁一薄层区域内产生疏松。

### 5.3 缩孔

缩孔就是指在 HCC 坯中心部位出现的不规则的空洞。将缩孔放大发现,在中心空洞的周围还有连成网状的空洞(见图5)。在缩孔附近有少量 MnS 和  $Al_2O_3$  夹杂。若缩孔和中心裂纹相连,则缩孔附近主要是氧化铁及少量的 MnS、 $Al_2O_3$  和 Si 夹杂。

同时,用扫描电镜观察缩孔可看到中心



b. 80x未浸蚀

图5 扫描电镜图像

处凝固时钢水收缩形成的“乳突”状自由表面。在缩孔附近某些基体中还可发现形成的树枝状晶。这是 HCC 坯中最后凝固的地方。缩孔与中心偏析共生。这是因为 HCC 坯是从环周进行强制冷却而形成单方向凝固,即向中心凝固。因此,在凝固将要结束的中心部位聚集了浓化的钢液,从而造成了中心偏析。如果浇铸温度过高,柱状晶可一直生成至坯中心,这种柱状晶内的树枝状晶(或最后的等轴晶)界面的突出部分彼此搭“桥”,而其下被封闭起来的未凝固钢液又因凝固收缩形成缩孔并产生共生偏析,此时缩孔内部未氧化。

这种缩孔和中心偏析的 HCC 坯经过穿

孔后,毛管内壁和管壁内部未发现有因铸坯缩孔而导致的缺陷,也未发现管内壁区的偏析(宏观状态)存在。这种缩孔并不象非连铸锭缩孔那样夹杂有大量氧化物,故穿孔时未发现缩孔对毛管内表面质量有何影响。

## 6 内部裂纹对热穿孔毛管的影响

HCC 坯中凡未穿透外表面的裂纹都称为内部裂纹。在内部裂纹中,最多的是中间裂纹,其次是表层裂纹和中心裂纹。

### 6.1 中间裂纹

中间裂纹在圆断面(横向)上呈放射状分布,硫印检验发现中间裂纹附近硫的偏析较

高,将铸坯中间裂纹放大观察发现,裂纹都呈或大或小的锯齿状(见图6),由图6可知,中间

裂纹在微观状态下是间距很短的断续的多条裂纹,其两端及延伸部分有较多的MnS夹



图6 中间裂纹形貌

杂,用扫描电镜和能谱分析表明,在中间裂纹的两端延伸方向有条状和颗粒状硫化物夹杂,中间裂纹在向中心部位扩展的方向上夹杂物要多些。中间裂纹中硫偏析较高(0.74%),两边缘硫偏析最高(达1.71%)。

中间裂纹的特点是:细小,酸洗前看不见,高倍形态是断续呈锯齿状,裂纹处硫偏析较高,存在较多的硫化物夹杂,而该硫化物夹杂就是中间裂纹的裂纹源。中间裂纹在柱状晶区沿晶间扩展。

中间裂纹产生的主要原因是钢水过热度大,浇铸温度过高。这样得到的柱状晶粗大,形成发达的树枝状晶,树枝状晶的枝晶和晶轴间流动性已变差的母液补缩条件也变差,钢液在凝固过程中处于固液状态时,已凝固的薄枝晶间隙只需很小的收缩力就能使其破坏,这就使钢的抗热裂性变差。钢液温度过高,铸坯中间部分结晶较慢,而且晶间易于富集夹杂(特别是硫化物夹杂),由此形成热脆裂纹源。在应力作用下,由裂纹源处开裂并扩展,就产生中间裂纹。

中间裂纹对热穿孔毛管的影响主要有以下两方面:

(1)中间裂纹深度较大,热穿孔毛管出现内折;

(2)中间裂纹深度较小,即没有向中心区域扩展,或只向边缘扩展,这类中间裂纹对热穿孔毛管内外表面质量没有影响。

对毛管内部质量的影响研究表明,热穿孔毛管中内裂纹与HCC坯中的中间裂纹有对应关系。毛管内裂纹经横向高倍观察,其形态呈断续状或成串孔洞状;纵向观察,裂纹尾端尖锐。HCC坯中间裂纹的夹杂越多,相应热穿孔毛管内裂纹处夹杂也越多。HCC坯中间裂纹越深,热穿孔毛管内裂纹也越长。由此可以确定毛管内裂纹是由于HCC坯中间裂纹在热穿孔时未焊合造成的。

### 6.2 中心裂纹

钢液凝固即将完成时,最后极少浓化钢液的结晶潜热从中心向外扩散,中心温度急降而引起收缩,此时周围已凝固的钢却束缚中心收缩,使中心形成张应力而产生中心裂纹。防止中心裂纹产生的关键是控制钢水过热度。

存在中心裂纹的HCC坯,热穿孔后毛管内表面出现对称螺旋内折,宏观上呈离层式片状。因为这种中心裂纹是通过中心两边向外扩展,并且扩展度较大,热穿孔过程中未能焊合。这种内折缺陷极易造成钢管废品,因此中心裂纹对热穿孔毛管的危害最大。

### 6.3 纵裂

纵裂是指贯通 HCC 坯外表面的一种锥形裂纹,虽然它不属于内裂范围,但为了分类方便,也将其列入本节中分析。

纵裂的高倍组织形态是在主裂纹两侧及尾端有一些断续细裂纹,宏观所见的纵裂深度都包含了这些断续细裂纹,而这些象撕开的裂纹是铸态应力裂纹的典型形貌,裂纹处的显微组织见图7。纵裂处有硫的富集,裂纹

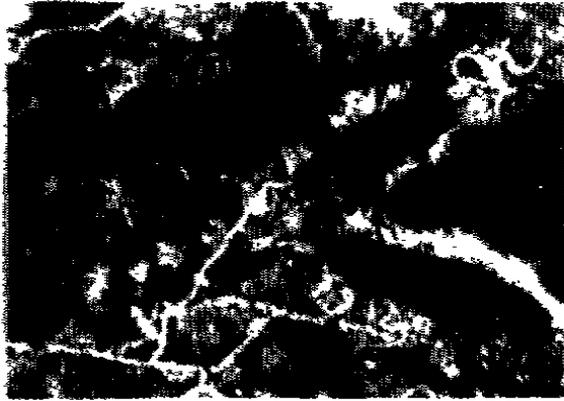


图7 纵裂显微组织形貌  
×40 I 标浸蚀

向深度发展的尾端及裂纹侧有非金属夹杂,主要成分是 MnS 及 Al 夹杂,这些夹杂均分布在组成晶界的网状铁素体中。研究表明,残余铝含量不是产生纵裂的主要因素。纵裂是在高温时就已产生,很可能在结晶器内就已产生,即坯壳受到的综合应力超过了初晶晶界的抗张强度时便导致了纵裂的产生和发展。有纵裂的 HCC 坯热穿孔后在毛管外表面形成大螺旋外折,分析其高倍特征更证实了外折缺陷来源于 HCC 坯的纵裂。

### 7 晶间沟槽对热穿孔毛管的影响

有的 HCC 坯的晶间,特别是柱状晶晶间出现了裂纹状凹陷,过去都在低倍检验时评为“柱状晶间裂纹”(柱裂),其高倍形态明显与裂纹不同,试样观察面用金相砂纸砂去极薄一层,抛光后在高倍下观察发现,柱裂底部露出沿柱状晶晶界的大量非金属夹杂,晶

间夹杂放大形貌见图8。经分析知,夹杂物系硫化物,另有部分 Al 夹杂,这些在晶界上分布的夹杂物经较长时间的盐酸腐蚀后脱落,并使晶界腐蚀扩宽而形成宏观可见的凹陷,即腐蚀沟槽。出现沟槽的 HCC 坯对穿孔毛管内部及内外表面质量未发现有害。

### 8 加热对 HCC 坯内裂的影响

不同下料方式的 HCC 坯,高温加热对内裂的影响是不相同的。将同一 HCC 坯取两段作试样,一段两端都用氧切割,另一端的一端用冷锯切割。两段试样同时放入电炉加热 90min,加热温度 1230℃,然后出炉空冷。经低倍组织检验,两种铸坯都有内裂纹(中间裂纹)。从裂纹处取高倍试样观察,其结果如下。

#### 8.1 氧割下料试样的裂纹状态

绝大多数裂纹内及其周围均未发现被氧化现象,只有一条裂纹局部区域有轻微氧化。所有未氧化的裂纹周围都没有脱碳现象,受轻微氧化的裂纹周围也没有明显的脱碳。该裂纹状态对轧管来说,除裂纹本身的有害性外,加热因素不会增加其危害性。

#### 8.2 锯切下料试样的裂纹状态

所有裂纹均氧化,裂纹尾端有成串的氧化铁直通基体金属。裂纹两侧基体氧化严重,裂纹内也充满氧化铁,裂纹两侧脱碳极为严重,这种状态加热后,裂纹对轧管极为有害。

根据以上分析,氧割下料的氧割面熔化金属能够封闭铸坯的内部裂纹,加热对其无害。冷锯下料(任何冷切口)使铸坯的内裂纹暴露于大气中,加热对其危害极大,因此,HCC 坯应坚持以氧割方式下料。

### 9 结论

9.1 试轧的 HCC 坯没有所有的冶金缺陷。有的缺陷是我厂投产以来从未遇到过的(如气泡),有的缺陷(如黑色夹杂)也是极为罕见的,这些缺陷对钢管的质量均有影响。有的缺陷如集中在中心部位的暗色空隙,称为中心

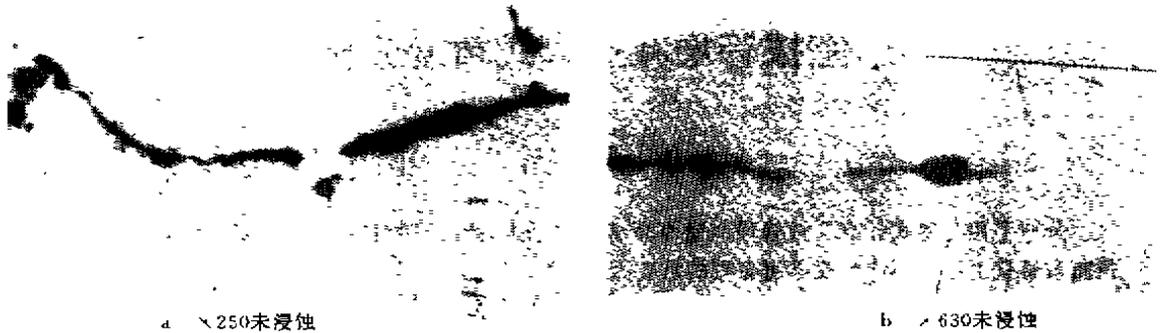


图8 晶间夹杂形貌

疏松;中心部位出现的无凹凸暗色斑点,称为中心偏析;中心出现的不规则空洞,称为缩孔。当然,中心疏松、中心偏析和缩孔也存在着成分不均匀性,但毕竟其成因各不相同,统称为中心偏析是欠妥的。

9.2 HCC 坯的外表缺陷对热穿孔毛管有程度不同的影响。外表缺陷较少且易于发现,内部缺陷不易发现。除了中、低级的缩孔对热穿孔毛管未发现有影响外,其余各种缺陷都对热穿孔毛管质量有害,特别是中间裂纹和表层裂纹的危害更大。要完全消除内裂缺陷虽然十分困难,但却是提高 HCC 坯质量的最重要任务。从分析 HCC 坯内部缺陷情况来看,消除内裂,提高 HCC 坯内部质量需要从

冶炼和浇铸两方面采取措施。冶炼方面应降低钢中硫含量和净化钢质;浇铸方面应严格控制钢液的过热度,浇铸温度不能过高。同时强化冷却,扩大等轴晶区,减小柱状晶区和柱状晶长度。

9.3 带有内裂的 HCC 坯热穿孔后,其内裂难以完全焊合。需要多大的压缩比才能使内裂完全焊合,需要进一步研究。

9.4 HCC 坯建立的评定标准应对内裂标准严格控制。

9.5 本次研究主要是从组织形貌学方面研究 HCC 坯和热穿孔毛管的缺陷,这将有利于 HCC 坯和钢管缺陷的分析和评定。

(收稿日期:1993-07-19)

## ●消息

### 宁波将建大直径钢管厂

#### LARGE SIZED STEEL TUBE FACILITY TO BE SET UP IN NINGBO

由宁波开发企业集团、宁波市经济建设投资公司、香港培利和菲律宾美亚钢管子公司三方合作投资2000万美元在宁波邱二村兴建一座年产9万t大直径钢管厂。产品主要用于城市地下水道、气道的扩建工程。

(宝钢档案处 李春宜供稿)