

钢管生产与研究

第一集

冶金部钢铁研究院加工室

1976年

目 录

1	自动轧管机顶头在轧制过程中温度变化的测定	1
2	氧气顶吹转炉钢管坯的质量	7
3	氧气顶吹转炉钢经连续铸锭生产无缝钢管坯的试验与研究	14
4	轧管机应用球形顶头轧制的几个问题	21
5	氧化皮对热作工具的保护作用——对穿孔机顶头使用寿命的初步分析	28
6	自动轧管机顶头材质结构性能的一些分析	39
7	984合金穿孔的分层缺陷	49
8	三辊穿孔工艺	56
9	近十多年来国外自动轧管机组上钢管生产与研究的近况	66
10	穿孔机挖潜的一项重要措施——关于大送进角穿孔问题	84
11	连续轧管机的孔型设计	95
12	连续轧管机的工艺润滑问题	105

自动轧管机顶头在轧管过程中 温度变化的测定

第一专题组

一 问题的提出

自动轧管机的顶头，是自动轧管机轧制无缝钢管的重要工具之一。穿孔后的毛管套在它的上面，在一对圆孔型的轧辊压轧下，按轧制表的要求，轧制成所要求的壁厚尺寸。所以顶头是在高温高压条件下承受着复杂的应力作用的，如图 1。因此在轧制过程

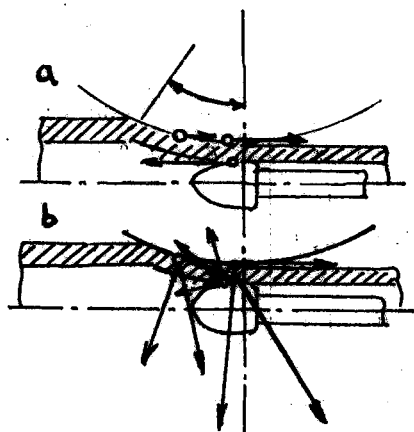


图 1

中，顶头表面的温升也是很高的。促使表面温度升高的热量来源有三个方面，即：传热、变形热和辐射热。一般说来，前两种是主要的。由于这几种热量的作用，虽然在几秒钟的（一般 2-3 秒）轧制时间里，顶头表面温度迅速升高。因而要求顶头有足够的红硬性、良好的导热性和耐冷热疲劳的性能，以保证顶头首先是顶头表面具有相当的综合性能，因为顶头表面的好坏，直接影响着成品

钢管的内表面质量，轧机的作业率和钢管的生产成本。

顶头通常采用高碳高铬钢制成，经过铸造、机加工和热处理等工序，在顶头材质确定之后，正确地选择热处理制度就显得十分重要了。一般的热处理制度是采用正火和回火制度。回火温度直接地决定着顶头使用的最终性能，因为它关系到使用状态下的高温红硬性。否则将会出现因顶头的高温硬度不够，使顶头强烈地磨损而报废。实践表明：顶头在使用状态下表层的红硬性和它的常温硬度远不是一回事。而正确地选择回火温度以获得顶头的高温红硬性，就显得尤为重要了。

准确地选择回火温度，必须预先知道在轧制时顶头表面的温升。本文介绍现场测定自动轧管机顶头表面在轧制过程中的温升和在实验室内模拟测定轧管机顶头在轧制过程中从表面向内部温度的变化情况。

二 顶头表面温度的现场测定

毛主席教导我们：“无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于（实践于）那个事物的环境中，是没有法子解决的。”遵照毛主席的教导，我们分别在包钢无缝厂和鞍钢无缝厂与工人师傅和技术人员一道分别对上述两厂的 400 自动轧管机组和 140 自动轧管机组的轧管机顶头进行了实际测量。

1. 包钢 400 自动轧管机组轧管机顶头表面温度测量

1) 实验参数: 轧管机轧辊直径为 1200 毫米; 二次穿孔后毛管尺寸为 $\phi 230 \times 11 \sim 12$ 毫米; 轧制成品管尺寸为 $\phi 219 \times 10$ 毫米; 顶头直径为 $\phi 201 \sim 202$ 毫米; 顶头材质为 $Cr_{12}MoV$; 顶头热处理制度为 $1020 \sim 1040^{\circ}C \times 2$, 空冷 $400 \sim 430 \times 2$, 空冷。

2) 测量方法: 钢管轧完第一道后, 由后台方气缸将顶杆和顶头一起送出, 用 WREA—891M 型表面温度计测量顶头表面的温度。轧后 (方气缸送出顶杆和顶头) 到开始测量间隔约 8-9 秒。测得结果见表 1。顶头表面温升与纯轧时间的关系见图 2

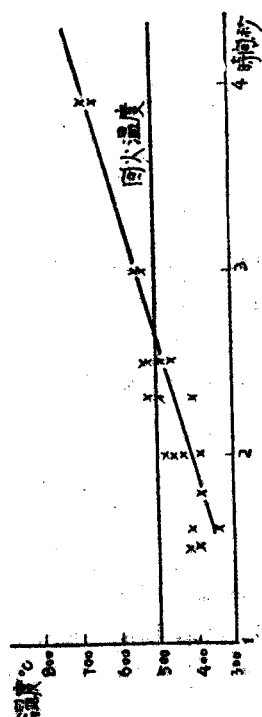


图 2 顶头表面温升与纯轧时间的关系

包钢 400 自动轧管机顶头表面测温 表 1

No	轧制时 温度 ($^{\circ}C$)	纯轧 时间 (秒)	轧辊转数 (转/分)	顶头表面 温度 ($^{\circ}C$)	备 注
1	1000	3.9	70	680	卡后再轧
2	"	"	"	660	
3	"	4.3	"	760	
4	"	2.5	95	520	
5	"	2.4	"	400	新顶头
6	"	"	"	540	
7	"	2.2	"	550	
8	"	2.3	"	500	
9	940	3.0	70	540	新顶头
10	—	"	"	550	
11	930	2.5	"	530	
12	950	"	"	510	
13	"	2.0	"	440	新顶头
14	915	2.5	"	480	
15	920	2.3	"	360	
16	—	2.0	95	430	
17	—	"	"	390	新顶头
18	950	1.9	"	240	
19	920	2.0	"	380	
20	"	"	"	490	
21	950	1.6	"	400	新顶头
22	1020	2.0	"	480	
23	1040	1.6	"	340	
24	1000	"	"	420	
25	990	1.5	"	430	新顶头
26	—	1.7	"	380	
27	950	1.5	"	200	
28	1050	"	"	400	
29	920	1.7	"	400	新顶头
30	1050	2.3	"	480	

2. 鞍钢 140 自动轧管机顶头表面温度测量。

1) 实验参数: 坯料为 20 号钢 $\phi 130 \times$

1300毫米;毛管尺寸为 $\phi 165 \times 10 \times 5300$ 毫米;
成品管尺寸为 $\phi 159 \times 5 \sim 6 \times 9900$ 毫米;
顶头尺寸为第一道 $\phi 144$ 毫米;第二道 $\phi 146$
毫米;顶头材质为 $\text{Cr}_{17}\text{Ni}_2$;顶头热处理制
度为 $890 \sim 920^\circ\text{C}$,保温2小时,随炉冷却;
轧辊直径为 $D = 642$ 毫米;孔型高度为 $h =$
 642 毫米;椭圆系数为 $\xi = 1.06$;马达转数为

750转/分。
2)测量方法:第一道(或第二道)轧
完后,用人工将顶头夹出放到地上用
 $\text{WREA}-891\text{M}$ 型表面温度计测量表面温
度。轧后到开始测温间隔约5-6秒,测得结
果见表2。

鞍钢 140 自动轧管机顶头表面温度测量 表 2

No	顶头温度 ($^\circ\text{C}$)	纯轧时间 (秒)	荒管温度 ($^\circ\text{C}$)	马达负荷 (A)	用于道次	备 注
1	800	2.35	1080	最高	第一道	
2	700	"	1060	1400	"	
3	710	2.55	1080	最低	"	
4	750	2.45	1070	1200	"	
5	830	2.35	1060	"	"	
6	900	2.30	1070	1250	"	
7	580	2.35	"	1300	"	
8	700	2.30	1060	1250	"	
9	740	2.55	1080	1200	"	
10	750	"	1060	1250	"	
11	670	2.65	1000	950	第二道	
12	300	2.85	1010	1000	"	
13	610	2.95	1020	1050	"	
14	720	2.75	"	1100	"	
15	800	2.85	1030	1050	"	连用未冷
16	540	2.90	"	1000	"	
17	600	"	"	"	"	
18	340	2.95	"	"	"	
19	380	"	1020	1050	"	
20	390	2.65	1010	—	"	

从测定的结果看

- 1) 纯轧时间 愈长(即:荒管愈长,轧
辊转数愈低)顶头表面温度愈高(如表1中
1号,2号)。
2) 鞍钢测定第一道 顶头 表面温度平均
为 $650 \sim 670^\circ\text{C}$ 第二道顶头表面温度平均 $550 \sim$

650°C 即第一道比第二道高约 100°C ,这是由
于第一道比第二道压下量大。
3) 顶头表面 冷却条 件好坏,对顶头表
面温升有很大影响,如连轧三根不冷却,顶
头表面温度达 $830 \sim 900^\circ\text{C}$ (见表2中5号,6
号)。

4) 采用新顶头轧制时, 顶头表面温度平均450-480℃。

5) 两个厂测定的温度比实际的温度都要低一些(包钢在约8-9秒后, 鞍钢在约5-6秒后才测定)。

三、顶头表面温升模拟实验

毛主席教导我们: “感觉到了的东西, 我们不能立刻理解它, 只有理解了的东西才更深刻地感觉它。”通过现厂顶头温升实际测量, 顶头的表面工作温度并不是一般所估计的 200-300℃, 也不是 400-500℃ 而是更高。究竟多高还需要进一步确定。实践还使

我们联想到, 虽然顶头表面温度很高, 但从表面到中心必然会出现温度的变化, 然而其变化的规律如何, 尚需进一步证实。这对于合理地选择回火温度是有直接关系的。为此, 我们做了如下的顶头测温模拟实验。

实验设备: 将二辊式普通轧机进行改装, 试验轧机的参数为: 轧辊转数, 46 转/分; 轧辊直径, $\phi 180$ 毫米; 孔型高度, $h = 35$ 毫米; 椭圆系数, $\xi = 1.085$; 坯料为钢研 102, $\phi 38.5 \times 5.5 \times 600$ 毫米; 顶头材质为高温合金。测温用的顶头见图 3, 测温装置见图 4。

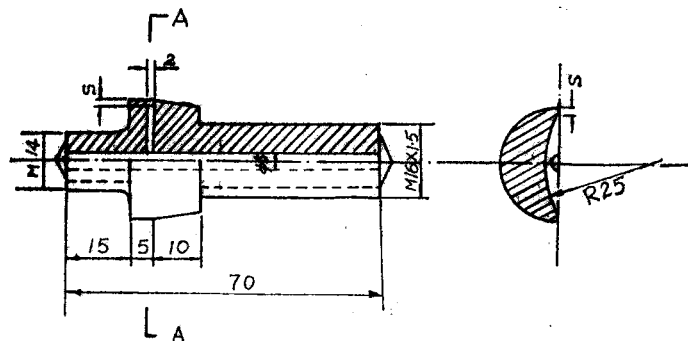


图 3 测温用顶头图

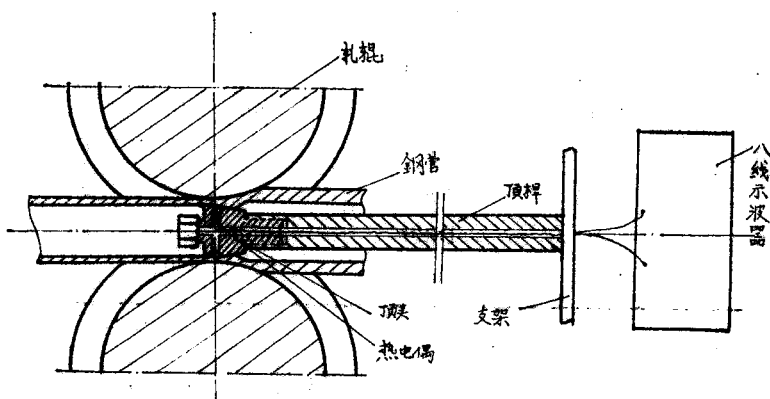


图 4 顶头测温装置

实验方法

从顶头表面到中心的不同厚度处焊上 $\phi 0.3$ 毫米镍铬镍铝热电偶, 测量在轧制过程

中顶头表面温升及其温度梯度。电偶丝经八线示波器记录示波图, 见图5。经图6标定曲线计算出不同厚度的温度。实验结果见表 3

和图7，图8。

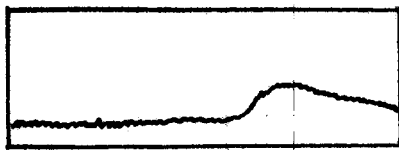


图5 八线示波器记录温度示波图

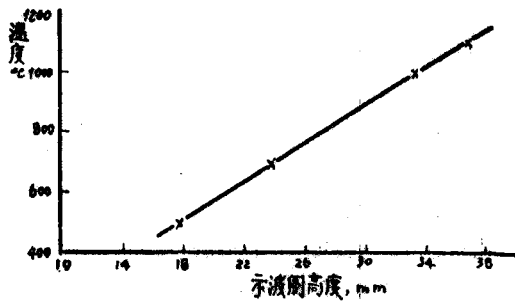


图6 顶头轧温标定曲线

顶头由表面到中心的不同距离的测定结果

表 3

No	开 轧 温 度 (°C)	由表面到 中心距离 (毫米 ³)	坯 料 长 度 (毫米)	轧 后 长 度 (毫米)	延伸 系数 (μ)	测定 温度 (°C)
1	1050 ~1100	0.25	600	725	1.21	940
2	"	"	"	710	1.18	890
3	"	"	"	740	1.23	1020
4	"	"	"	725	1.21	920
5	"	0.55	"	750	1.25	930
6	"	"	"	700	1.17	860
7	"	0.995	"	680	1.13	780
8	"	"	"	750	1.25	830
9	"	1.38	"	690	1.15	840
10	"	"	"	650	1.08	540
11	"	"	"	670	1.12	600
12	"	1.99	"	660	1.14	450
13	"	"	"	680	1.13	570
14	"	"	"	685	1.14	640
15	"	"	"	710	1.18	700

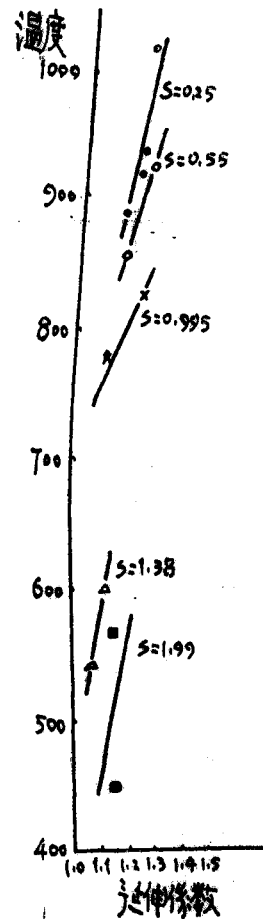


图7 距顶头表面不同距离的层的温度随延伸系数 μ 的增加而提高

从图8可以看出，由顶头表面到中心温度是递减变化，但都是随延伸系数 μ 的增加而温度升高。例如：在 $\mu = 1.23$ ， $S = 0.25$ 毫米处温度高达1020℃。图9是 $\mu = 1.15$ 时不同距离的温度变化，即从表面到中心是递减变化。

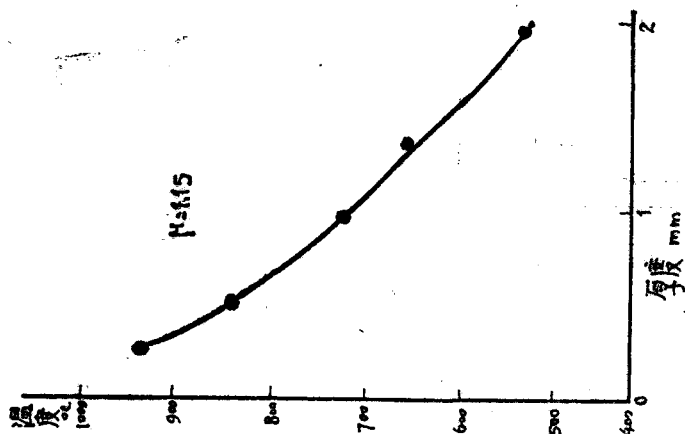


图 8

四、结 论

通过现场测定和实验室模拟实验可以得出:

1. 自动轧管机顶头在轧制瞬间表面温升很高, 而且这种温升实际上是轧制工艺参数的一个函数。即:

$$t = f(t_0, f, T, \Delta h, S, t_1)。$$

其中:

t ——管子轧后顶头表面温度

t_0 ——轧前顶头表面原始温度

f_1 ——摩擦系数

T ——纯轧时间

Δh ——绝对压下量

t_1 ——轧前荒管温度

S ——顶头表面到中心的不同距离

1) 纯轧时间 T 是影响顶头表面温升最主要的因素 (T 本身取决于荒管长度和轧辊转数)。纯轧时间愈长, 顶头表面温升愈高。如 (表 1 中 $1N_6$, $2N_6$)。

2) 绝对压下量 Δh 直观反应在延伸系数 μ 上。 Δh 愈大, μ 就愈大, 顶头表面温升就愈高。

3) 轧前顶头表面原始温度 t_0 对于轧后顶头表面温升的影响也很大, t_0 愈高, 轧后顶头表面温升就愈高, 即与轧制两根钢管之

间的顶头冷却程度有关, 冷却充分或用新顶头轧管后顶头表面温升就低。

4) 顶头从表面层到中心温度变化是遵循递减变化规律。随着顶头表面到中心的距离 S 的增大而温升减小。

5) 轧管前荒管的温度 t_1 也影响轧后顶头表面的温升, 荒管温度高, 轧后的顶头表面温升就低, 这是因为毛管温度高, 金属的屈服极限低, 变形热少的原因。

2. 通过实验和以上分析, 可以找出现场提高顶头使用寿命的途经。即: 提高轧制速度, 减少纯轧时间; 提高轧制温度, 减少变形热; 顶头使用前必须给予充分冷却, 降低顶头原始温度; 加强润滑, 减少摩擦生热。同时因顶头在轧制过程中表面温升很高, 如模拟实验中看到的纯轧时间 1.5 秒, μ 为 1.23 时, 距离表面 0.25 毫米处的一层温度高达 1020°C , 一般现场的纯轧时间是在 2-3 秒范围内、 $\mu > 1.23$, 可以设想顶头表面温度不会低于上述温度, 因此在条件允许的情况下, 尽量提高顶头热处理的回火温度, 增加顶头表面高温稳定性, 提高顶头的高温红硬性, 建议用回火马氏体钢做顶头时, 回火温度要在 600°C 以上。

参加本工作的有邢维基和王世英等同志, 由邢维基同志执笔。

氧气顶吹转炉钢管坯的质量

第二专题组

$\phi 76$ 毫米自动轧管机组群所用的碳钢管坯，一直是用电炉和平炉冶炼。因此，只能由少数工厂供应。无论目前或以后，都不适应我国钢管工业生产的急需和发展。鉴于我国很多省市均有氧气顶吹小转炉和 650 开坯机，为了从根本上扭转 $\phi 76$ 毫米自动轧管机组群管坯供不应求的局面，使我国钢管产量大幅度地提高，根据冶金部指示，安阳钢铁厂、北京钢铁学院和北京钢铁研究院于一九七四年二月在安阳钢铁厂开展了“氧气顶吹转炉钢制管工艺”的研究工作。

在冶金部以及三单位的党委领导和亲切关怀下，参加试验的广大工人、干部和技术人员急国家所急，为了尽快地把我国迫切需要的短线产品——钢管的产量搞上去，他们发扬了不怕疲劳和连续作战的作风。到目前为止，仅用了一年半的时间，按下述工艺在安阳钢厂做了三个周期的实验：经 15 吨氧气顶吹转炉冶炼后，铸成 11 吋（ $266/230 \times 1200$ 毫米）镇静钢锭，经 650 轧机轧制 17 道后成 $\phi 75$ 毫米管坯，经 76 无缝机组和冷拔机制成 $\phi 51 \times 3$ 毫米、 $\phi 43 \times 7$ 毫米、 $\phi 35 \times 5.5$ 毫米钢管。

三个周期共炼管坯钢 15 炉，20 号钢 11 炉，10 号钢 4 炉，共 225 吨。

三个周期的实践表明： $\phi 75$ 毫米管坯的

低倍质量是氧气顶吹转炉制管工艺可靠性的主要关键，而管坯的表面质量则是影响这一工艺成材率的重要因素。

本文根据安阳钢铁厂所进行的三周期实验的结果，对转炉钢管坯的质量问题进行初步的讨论。

一 $\phi 75$ 毫米管坯的内部质量

1. 三周期管坯内部质量情况

在“YB187—65 碳素钢圆管坯”标准中，对于管坯的内部质量，主要以管坯的低倍质量进行考核，所以下面着重对管坯的低倍情况以及管坯的机械性能加以论述。

1) 管坯的低倍：（见表 1）从表 1 管坯的低倍情况可看出，第一、二周期管坯低倍都不符合标准要求，第三周期除三个炉次不符合标准要求外，其余七炉均符合标准要求；而且，第一周期管坯低倍上出现的残余缩孔（图 1）、翻皮（图 1），在第二周期管坯低倍上都未发现，第三周期在大多数炉次的管坯低倍上，不但看不到第一周期管坯低倍上的翻皮、残余缩孔，而且也未发现第二周期管坯低倍上的皮下夹杂（图 2）。这说明，从管坯低倍来看，安阳钢铁厂顶吹转炉钢的质量，第二周期的优于第一周期，而第三周期的优于第二周期。

炉 号			钢种号	一般疏松(级)	中心疏松(级)	一般偏析(级)	皮下气泡 (级)
第一 周 期	217	头	10	0.5	0.5	0.5	1.5~4
		尾		"	"	"	0
	228	头		"	"	"	1~2
		尾		"	1	"	0.5
	238	头		"	0.5~1	"	1~2
		尾		"	1	"	0
第二 周 期	171	头	20	0.5~1	0.5	0.5	0.5~1
		尾		0.5	1~1.5	"	"
	191	头		0.5~1	0.5	"	"
		尾		0.5	0.5~1	"	1~4
第三 周 期	1960	头		"	0.5	"	0
		尾		"	"	2 (方形偏析)	"
	1977	头	10	"	"	0.5	"
		尾		"	1.5	"	"
	1979	头	20	"	0.5	"	0.5
		尾		"	"	"	"
	1984	头		"	"	"	"
		尾		"	1	"	"
	1986	头		"	0.5	"	0
		尾		"	1.5	"	0.5
	1987	头		"	0.5	"	"
		尾		"	1	"	0
YB187—35碳素圆管坯标准				≤ 3	≤ 3	≤ 3	皮下气泡和皮下 夹杂深度不得大于 2毫米。

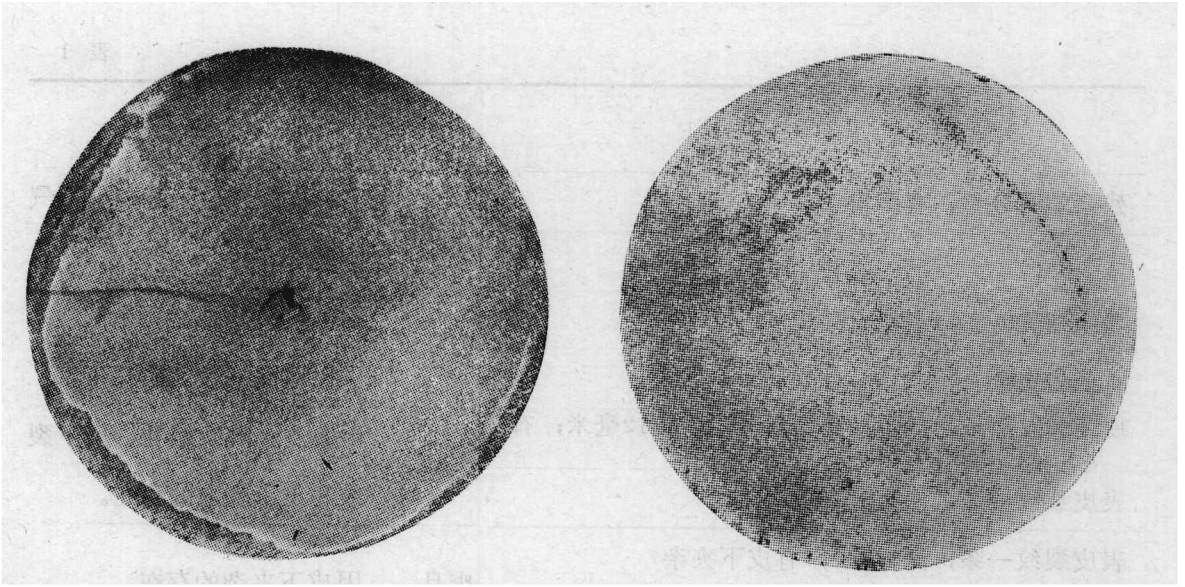
注：炉号为1958、1959、1985及1978四炉炉次的管坯低倍因都符合标准要求，故表中

表 1

备 注	废 品 及 原 因
残余缩孔 3 级, 有翻皮	废品。因翻皮、残余缩孔和皮下气泡的存在。
残余缩孔 0.5~1 级, 有翻皮	废品。因翻皮、残余缩孔和低倍夹杂以及皮下气泡的存在。
有低倍夹杂	
皮下裂纹数条, 其中最深为 5 毫米, 长 12 毫米, 有翻皮, 残余缩孔 0.5 级	废品。因翻皮、残余缩孔、皮下裂纹和皮下气泡的存在。
表皮裂纹一条, 深 1.5 毫米	
表皮裂纹一条, 深 1 毫米, 有皮下夹杂	废品。因皮下夹杂的存在。
表皮裂纹数条, 最深 1~3 毫米	
结疤一块, 压下断面深 1 毫米, 有皮下夹杂	废品。因皮下夹杂、皮下气泡的存在。
表皮裂纹数条, 最深 1~3 毫米	
翻皮 2.5 级	废品。因翻皮的存在。
翻皮 3 级	废品。因翻皮的存在。
皮下气泡深 2 毫米	
皮下气泡深 1.8 毫米	
皮下气泡深 1.8 毫米	
折叠一条深 1.5 毫米表皮裂纹一条深 1 毫米	
翻皮 2 级	废品。因翻皮的存在。
皮下气泡深 0.7 毫米	
皮下气泡深 6 毫米一条, 2 毫米一条	

圆管坯的低倍组织试样上不得有缩孔残余、气泡、分层、翻皮、裂缝和夹杂。YB803~70 锅炉用高压无缝管坯标准中, 皮下气泡的技术条件是: 未经清理的毛坯的低倍, 皮下气泡允许小于或等于 1 级。

未列入。



(a) 796 (228) 低倍

(b) 797 (238) 低倍

图1 管坯低倍上的残余缩孔、翻皮和皮下气泡

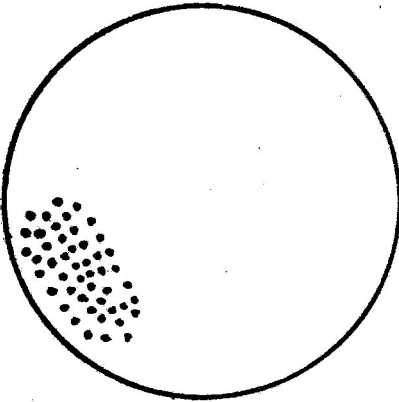


图2 管坯低倍上的皮下夹杂

2) 第三周期管坯低倍质量合格炉次管坯的机械性能 (见表2) :

从表2可以看出: 第三周期管坯低倍质量合格炉次管坯的机械性能均符合钢管标准中规定的性能指标。若将这些管坯制成钢管, 由于压缩比的增加, 钢管的机械性能将具有更大的富余量。

2. 对管坯几种低倍缺陷的分析

已发现的管坯低倍缺陷主要有: 翻皮、残余缩孔、皮下气泡 (图1) 和皮下夹杂。

1) 翻皮 (图1) :

(a) 翻皮形成的一般规律是: 钢水在

表 2

炉 号	1958	1959	1978	1979	1984	1985	1987	YB232—70 锅炉用无缝钢管标准
强度极限 σ_b (公斤/毫米 ²)	44	44	50	48.5	49	44.5	44.5	≥ 40
屈服极限 σ_s (公斤/毫米 ²)	27	25	30	28.5	27.5	28.5	28	≥ 25
延 伸 率 δ (%)	34.5	34.5	27.5	32	27	30	34.5	≥ 20

浇注过程中，钢锭模内钢水表面有一层薄膜，随着钢水在模内的上升，这层薄膜逐渐变厚并扩大，当它和模壁相接触而粘附在模壁上时，就会被上升的钢水翻起，并卷入钢

水中而形成翻皮。在以后的热加工时，翻皮会造成钢材的开裂。

(b) 三个周期实验过程中，浇注工艺及出现翻波的情况见表3：

表 3

周 期	炉 次	有 无 翻 皮	钢 水 出 炉 温 度 (°C)	钢 水 静 时 间 (分 钟)	水 口 直 径 (毫 米)	浇 注 速 度 (毫 米/ 分)	锭 模 内 壁 涂 料	锭 模 温 度 (°C)	保 护 渣	发 热 剂	备 注
第一 周期	217					330	焦油·苯 = 1:1	冷模 >80	石 腊 木 框	NaNO ₃ 25% 焦炭粉40% 矽铁粉35% 1~1.5 公斤 / 只锭	238炉，锭模内壁未 涂油，浇铸前在钢 锭模内加入 0.3 公 斤/只锭的CCl ₄ 。 采用稀流填充。
	228	有	1630	7 左右	φ 50	260					
	238					240					
第二 周期		无							柳毛石墨， 萤石粉，水 玻璃之比为 8:1:1 第二周期： 1.5~2公斤 /只锭 第三周期： 1.5公斤/只 锭	NaNO ₃ 20% 矿粉20% 焦炭粉10% 矽铁粉50% 1~1.5公斤/ 只锭	采用一股一股 地填充。
第三 周期		不 别 炉 次 有	1700	"	"			"			

(c) 翻皮形成原因的初步分析：第1周期实验用焦油、苯作为锭模内壁涂料，石腊木框保护浇注。实践证明，这些措施对防止锭模内钢水表面温降过大发生结膜，从而形成翻皮是不够的。第二周期因用了石墨保护渣(将近2公斤/只锭)浇注，锭模内的钢水被保护渣复盖良好，使钢水表面未结膜，第二周期实验消除了翻皮。第三周期虽然仍用第二周期的保护渣浇，但因炼钢时，为了充分脱氧，在钢包中，加入钢水中的铝量较大(第二周期0.5公斤/吨，第三周期1公斤/吨)，使钢水变稠，流动性变差，浇注时套眼，有的炉次浇注温度又低，使浇注速度低达180毫米/分，浇注时间增长，加之保护渣数量不足(1.5公斤/只锭)，结果，第三周期管坯低倍上又出现了翻皮。

2) 残余缩孔(图1)

a) 残余缩孔形成的一般规律：把钢水注入钢锭模后，钢水受模底和模壁的冷却作用，开始时，凝固成一层很薄的外壳，因钢水凝固时，体积会收缩，所以钢水水平面也不断下降，最后在钢锭上部形成漏斗状空隙，称为缩孔。由于补注不足，缩孔较大，缩孔不能全部包含在保温帽内，这样按正常的切头量(钢锭重量的12%)是不能全部切掉的，没有被切掉的缩孔，即称为残余缩孔。缩孔部份钢水最后凝固，所以在缩孔中聚集大量的偏析物和非金属夹杂，在轧制过程中不能被焊合，使钢材的性能降低。

(b) 三个周期实验中，残余缩孔形成的原因：三个周期均采用同一种钢锭模(266/230×1200毫米，锥度为1.5%)，而

残余缩孔只在第一周期管坯低倍上发现。这主要是因为第一周期所采用的发热剂（见表3）发热效果不好，补注又不足，使缩孔较深所致。改用发热效果好的发热剂（表3）后，在二、三周期中，缩孔深度大大减小。当然石墨保护渣的采用对消除缩孔残余也起到了重要作用。

3) 皮下气泡（图1）：

a) 皮下气泡形成的一般规律：①钢水浇注过程中，锭模内壁有飞溅时，上升的钢水和模壁上的溅钢接触后，钢水中的碳就会和盖在溅钢表面的氧化铁起作用（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}$ ），形成的气体留在钢锭的表皮就成为皮下气泡。②锭模内壁涂料若涂得不均匀或太厚，则涂料会在钢水表面以下才烧尽，这样将容易形成皮下气泡。③造成翻皮的钢水液面的薄膜是由氧化物所组成的，当它被上升的钢水卷入时，会和钢水中的碳起作用成为气泡—皮下气泡。④炼钢时脱氧不良，以及钢锭模潮湿或生锈也是引起皮下气泡的原因。

b) 三个周期实验中，皮下气泡形成的原因：

第一周期由于①锭模内壁涂料不均（成分见表3），②翻皮的出现，③锭模冷、潮湿（217号炉次明显）而引起了大量皮下气泡。第二周期，钢水在浇注时防止了飞溅和翻皮，锭模内壁也无涂料，按理皮下气泡应大大减少，但是，事实上并不少。从表1可看出，炉号191管坯尾部的皮下气泡高达4级。这主要与钢锭表面气孔和皮下夹杂有关，关于这一问题下面我们还要讨论。第三周期皮下气泡与翻皮、钢锭表面气孔和夹杂有关。

在评定管坯低倍上皮下气泡的级别时，往往是把管坯表面纵裂纹连在一起。一般，表面纵裂纹越多，皮下气泡的级别也越高。事实上，这不是十分合理的。因为不仅皮下气泡能够产生管坯表面纵裂纹（图3）钢锭表面气孔以及夹杂也均能产生管坯表面的

纵向裂纹。所以三个周期的皮下气泡，在相当程度上，把由钢锭表面的气孔以及夹杂所产生的表面裂纹都算在其上了。

4) 皮下夹杂（图2）：a) 皮下夹杂形成的一般规律是：钢水浇注时，由于浇注温度低，夹杂（熔渣或剥落到钢液中的炉衬和浇注系统内壁的耐火材料）来不及浮出而残留在钢锭中，造成钢锭的低倍夹杂。锭模内，靠近模壁部位的钢水比中心部位的钢水冷却速度快，夹杂不易上浮，所以钢锭内部的低倍夹杂多数是在钢锭皮下，这就是我们通常所说的皮下夹杂。b) 三个周期实验中，皮下夹杂形成的原因：第二周期管坯低倍上出现皮下夹杂。这主要是钢水浇注时，注温过低，钢水发稠，钢水凝固较快，使夹杂来不及浮出所致。

二 $\phi 75$ 毫米的管坯外表质量

在三个周期试验的实践中发现，11吋小钢锭被650轧机开坯成的 $\phi 75$ 毫米（压缩比12）管坯表面上的主要缺陷是纵向裂纹（图3），表面具有纵向裂纹的管坯制成的钢管，由于在表面产生外折缺陷（图4）而大量报废，使钢管的成材率大大降低。所以管坯表面的纵向裂纹自然就成为评价管坯表面质量的主要指标。

1. 管坯表面纵向裂纹形成原因的分析

从裂纹根底部发现，有的裂纹根底部有夹杂（图5a），有的有氧化铁（图5b），图5c是夹杂或氧化铁剥落后的裂纹根底。这种纵向裂纹主要是皮下夹杂、翻皮和皮下气泡在加热、轧制过程中暴露后的一种形态。这种裂纹的分布一般都没有明显的规则性和周期性。

钢锭表面气孔也是管坯表面纵向裂纹形成的因素之一。不过，由钢锭表面气孔形成的纵向裂纹，多分布在相当于钢锭尾部的管坯表面上。因为表面气孔多产生在钢锭的尾部。

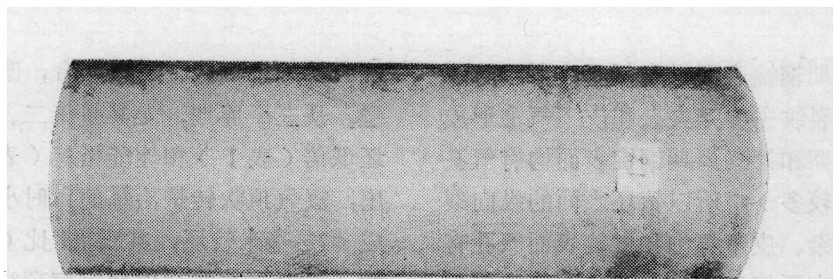


图 3 管坯表面的纵向裂纹

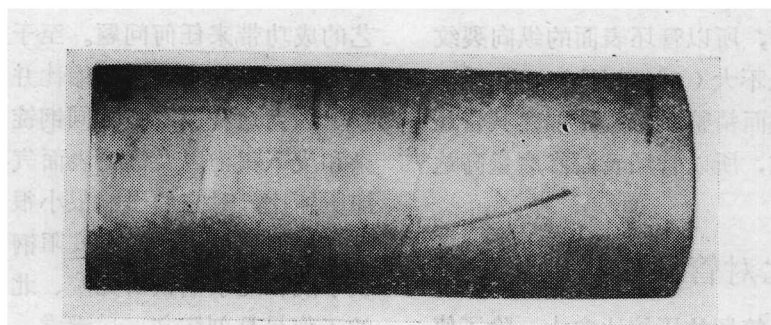
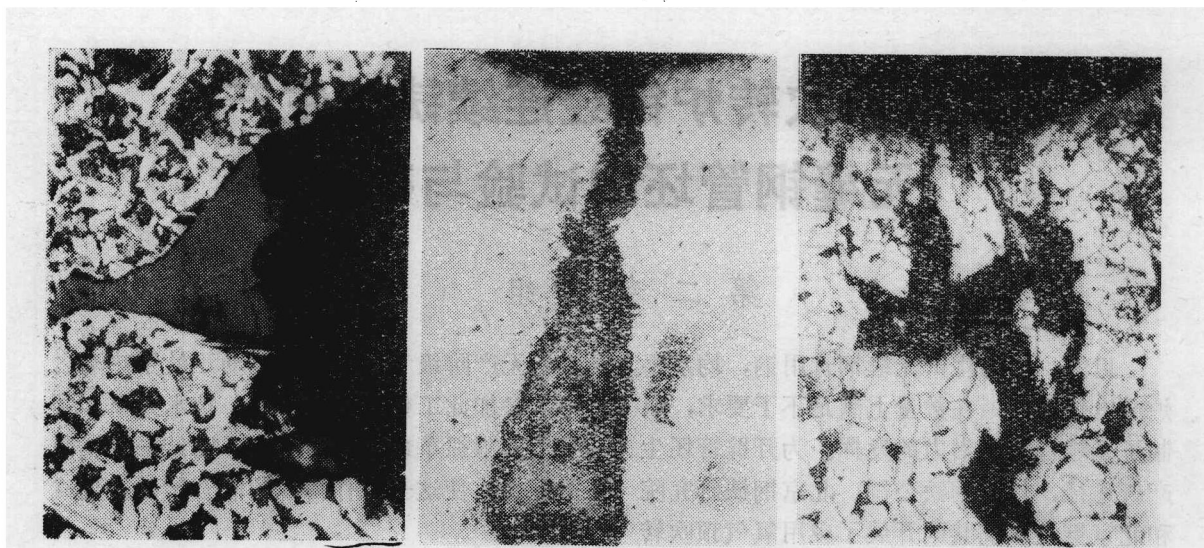


图 4 钢管外表面上的外折



(a) 裂纹根底部为夹杂 (b) 裂纹根底部为氧化铁皮 (c) 裂纹根底部没东西

图 5 管坯表面纵向裂纹的高倍照片 $\times 100$

2. 钢锭表面气孔形成原因的分析

气孔集中在钢锭中、下部表面上。从气孔中发现有石墨保护渣这一事实表明，钢水刚浇入锭模时，有一个与锭模底部的石墨保护渣混合过程，由于模壁较冷，与保护渣拌合的一部份钢水同冷模壁接触后，很快冷凝。尽管保护渣比重低，也来不及浮出，这

样就导致了钢锭表面气孔的形成。如果在钢水开浇时，采用平稳开棒，先慢后快的操作，或者保护渣采用其它的放置方式以及增加保护渣的流动性等措施，这都会有利于改善钢锭表面质量。

3. 三个周期实验中，管坯表面纵向裂纹运动情况以及它产生的原因

第一周期钢锭表面没有气孔，所以管坯表面的纵向裂纹主要是夹杂和皮下气泡形成的。第二周期和第三周期钢锭表面均有气孔（中、下部较多），所以管坯表面的纵向裂纹主要与夹杂、皮下气泡和钢锭表面气孔有直接关系。由于第三周期钢锭表面精整质量高，其表面气孔几乎全部被修磨掉，加之管坯冶金质量较好，所以管坯表面的纵向裂纹也少，修磨量也不大（5%以下）。相反，第二周期钢锭表面精整质量差，加之其管坯皮下夹杂又严重，所以管坯表面修磨量高达30%左右。

三 压缩比对管坯质量的影响

众所周知，管坯的压缩比愈大，除了使钢锭的粗大晶粒得到充分破碎外，还会使钢

锭内部的小气泡、疏松焊合，改善其内部质量。从三个周期，尤其是第二、三周期的管坯低倍（表1）和性能指标（表2）可以看出，氧气顶吹转炉冶炼的11吋小钢锭被轧制成 $\phi 75$ 毫米管坯，其压缩比（12）是足够的。所以，在三个周期氧气顶吹转炉钢制管工艺中，并没有暴露因压缩比小，而给该工艺的成功带来任何问题。至于管坯表面的纵向裂纹，一般来说同压缩比并没有直接的关系。因为这种裂纹主要同钢锭中的翻皮、夹杂和皮下气泡以及钢锭表面气孔有关。而增加压缩比，对它们影响很小很小。

参加这项工作的有安阳钢铁厂、北京钢铁学院和北京钢铁研究院、北京钢研院参加的工作员是刘怀文、岳满堂、王永吉和李素清；本文由王永吉执笔。

氧气顶吹转炉钢经连续铸锭生产 无缝钢管坯的试验与研究

第二专题组

目前，国内生产无缝管用钢，均系平炉或电炉钢，但在数量上满足不了要求，限制了无缝管生产潜力的发挥。为开辟管坯生产新途径，首都钢铁公司、北京钢铁研究院和北京钢铁学院共同开展了应用氧气顶吹转炉钢经连续铸锭和轧制生产无缝钢管的研制工作。氧气顶吹转炉炼钢投资省、建设快、生产成本低、劳动生产率高，在我国各地得到迅速发展。另外尽管目前我国连续铸钢机尚不能普遍推广，从今后发展方向来看，这条工艺路线有其强大的生命力。从1973年12月底开始至1975年6月止共进行了两批试验，成品管已分别在北京锅炉厂、梧州锅炉厂等单位试用。

在试制工作中，伟大的批林批孔运动和

学习无产阶级专政理论的运动正处于热潮之中，参加此工作的广大工人、技术人员和领导干部狠抓革命、猛促生产、团结一致、紧密配合，使这一工作得以顺利开展并初见成效。

一、生产工艺流程

1. 冶炼和连续浇注

这两批试验共炼22炉20号钢（第一批2炉，第二批20炉）是在首钢试验厂5吨的氧气顶吹转炉上进行的。炉衬为焦油镁砖，采用拉瓦尔型喷头供氧，喉口直径为22.8毫米，出口直径29.9毫米，扩张角 8° ，氧气纯度99.7%，氧气管道压力16公斤/厘米²，冶炼工艺基本按冶炼3#钢操作，钢水冶炼条件

及化学成份见表1（以第二批的20炉为例）。

出炉钢水是在 双 流弧形 铸钢机上连铸成，铸坯断面为180×180毫米方坯，浇铸过

程中采用了浸入式水口（二 级 不 烧高铝材质），和6号熔渣保护。有关浇铸工艺参数如表2（以第二批的20炉为例）。

表 1

炉 号 顺 序	化 学 成 份 %					铁 水 装 入 量 (吨)	冶 炼 过 程						
	C	Si	Mn	S	P		出 钢 温 度 (℃)	镇 静 时 间 (分)	加 铝 铁 量 (公斤/ 炉)	矽 锰 (公斤/ 炉)	锰 铁 (公斤/ 炉)	矽 铁 (公斤/ 炉)	矽 钙 (公斤/ 炉)
1	0.21	0.23	0.55	0.028	0.016	9.5	1640~ 1660	2'40"	1.5		75	12	8
2	0.17	0.22	0.46	0.018	0.015	8.5	1755	6'50"	"	65		10	"
3	0.18	0.25	0.49	0.025	0.018	9.5	1770	7'20"	"		高C 75	30	9
4	0.17	0.31	0.62	"	0.014	9.0		6'40"	"		高C 75	15	"
5	"	0.26	0.55	0.018	0.018	9.5					80	30	8
6	0.19	0.20	0.60	0.016	0.016	"					"	"	"
7	0.17	0.27	0.45	0.021	"	"					"	"	"
8	0.21	0.31	0.55	0.014	0.023			4'	1		高C 80	"	9
9	"	0.30	0.59	0.010	0.019			"		30	高C 50	24	"
10	0.19	0.24	0.48	"	0.010						高C 80	28	"
11	0.18	0.29	0.61	0.021	0.029	"					80	30	8
12	0.22	0.28	0.65	0.018	0.031	"		4'35"		80		14	9
13	0.17	0.23	0.44	0.013	0.012	"		5'40"			高C 70	28	"
14	0.21	0.26	0.54	0.018	"	7.5		"			高C 65	24	8
15	"	0.20	0.51	0.016	"	8.0		4'			高C 70	"	"
16	0.19	"	0.46	0.015	0.007	9.3		3'					
17	0.17	0.21	0.50	0.033	0.019			4'25"					
18	0.18	0.24	0.47	0.021	0.013	7.5		5'			高C 60	22	"
19	0.17	0.25	0.54	0.017	"	9.5				80		16	9
20	0.19	0.23	0.53	0.021	0.010	"				80		"	"

将180毫米方坯切成 2.8~3.2 米定尺后
再进行开坯。在盛钢桶、中间包、连铸坯上
分别取样作金相夹杂分析，并在连铸坯上取

低倍、定氧、定氮及电解夹杂等试样进行分
析（数据略）。连铸坯在轧制之前对表面进
行目检，缺陷严重的进行清理。