

采用推轧穿孔法轧制高精度 无缝钢管的新工艺

〔日本〕 S.yoshiwara等*

无缝钢管作为开发能源之用的材料，其需求量正日益增加。由于能源开发是在恶劣环境中进行，这就要求无缝钢管的硬度高、强度高、尺寸精确，足以经受苛刻的工作条件。辊式穿孔机与芯棒式轧管机相结合以及辊式穿孔机与自动轧管机相结合这两种工艺正普遍用于成批生产外径 $\leq 5\frac{1}{2}$ 英寸的小尺寸无缝钢管和外径为6~16英寸的中等尺寸无缝管。近几年来，这些传统工艺已逐渐引入电子计算机控制系统，效果良好，但仍需进一步改善产品的尺寸精度，特别是降低耗电量。

本文将提供一种称之为电子束标记法

的新方法，用以分析管坯热轧过程中金属变形的结果；还介绍一种根据电子束标记法分析数据而研究出的轧制新工艺，用以成批生产高精度无缝管。

用电子束标记法对钢 进行变形分析

采用硫印法观察钢中硫的分布是众所周知的一种方法。我们发现，用电子束(EB)穿透硫含量 $\geq 0.010\%$ 的钢时，它所穿透的区域在硫印上呈现白色，与邻近区域有着明显的区别。尔后，我们又注意

* 本文曾由作者于1981年10月在宾法尼亚州匹兹堡召开的第23届机械加工及钢材加工会议上宣读。

长度约17米的低合金圆钢，先进行矫直后在剥皮机加工清除表面缺陷。圆钢要加热到轧光温度，不同于芯棒只是进入循环前的予热。加热的圆钢经过除氧化铁皮进入轧光机，轧光温度相当低（约 300°C 左右）使芯棒表层强化和表面硬化，轧光后再次除去铁皮，以清除轧光过程中出现的二次铁皮。芯棒冷却后在车床加工端部，经检查测量并组成与名义直径公差最小的一组。一根芯棒平均可新轧400根左右钢管。磨损的芯棒重新在轧光机上轧光，直至其

直径变小为止。

结 语

在波德普列佐瓦市斯维尔莫夫钢铁厂使用的顶管机组生产线是该类型非常现代化的生产线。在生产线的设计和结构主要采用霍姆托夫厂顶管机组的生产经验，可以预料，生产线将是连续的并在很短时间内达到设计指标。

何立宪 译自《Hutnik》，1979，№3
张世明 技校

到,用其它焊接法熔化的金属急剧凝固时,凝固的金属可通过硫印区分出来。然而,就标记形状与性能的一致性而论,EB标记法是最适用的。电子束是具有高能量密度的热发射电子流,可用EB焊枪将其集中地穿入钢中。表1给出所采用的EB焊枪的主要数据。该EB焊枪将电子束穿入钢中的深度为150mm。

EB焊枪数据 表1

焊室尺寸	宽×高×长= 1,000×1,000×2,300mm
最大输出	40KW(100KV×400mA)
焊接速度	100~2000mm/分
真空	≤5×10 ⁻⁴ 托
抽空时间	≤7分—5×10 ⁻⁴ 托
最大穿透深度	150mm
行程	X轴: 1,000mm Y轴: 300mm Z轴: 旋转

表2示出低碳镇静钢为EB穿透时的化学成份变化。锰含量从1.00%略微下降至0.92%,其它元素几乎没有变化。尤其是硫含量的变化是微不足道的,尽管硫的任何变化在硫印上都会显示出来。图1为用电子探针微区分析法(EPMA)对同钢种所进行的线性分析。在EB的作用下,碳、硫、锰的含量无变化,但硫化锰含量却有所减少。光学显微镜观察证实,EB穿透法将硫化锰尺寸急剧减至≤5μ,硫化锰颗粒的数量也大大下降。表3示出钢为EB穿透时的变形抗力的变化。在室温为1,200°C的温度范围内,基体金属和为EB所穿透的金属可视为具有相同的变形抗力。EB穿透的金属经7小时加热至≤1,300°C时,硫印上便呈现白色。我们找到一种可在钢中产生条状标记的方法,有助于断定EB所穿透的金属与其周围金属

的变形相同。因为,如前所述,EB所穿透的基体金属与周围的基体金属具有相同的变形抗力。这种新方法称之为电子束标记法,业已用于变形分析。

采用EB法的化学成份变化 表2

	基体金属	EB法穿透的金属
C	0.16	0.15
Si	0.23	0.24
Mn	1.00	0.92
P	0.016	0.016
S	0.015	0.014
Ni	0.015	0.015
Cr	0.014	0.014
T.AL	0.038	0.036

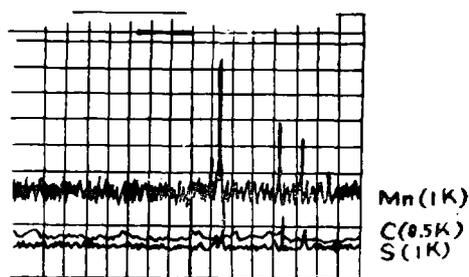


图1 EB边界的EPMA

采用圆柱形坐标系(r, θ, D)极易于分析轧管过程中所产生的剪力变形。先用EB沿图2所示方向对空心管坯试样进行穿透,然后运用工程力学的定义在三个方向对剪力变形φ_r、φ_θ、φ_I进行测定。管坯试样外表面应进行修整,以避免EB标记的干扰。在预先确定EB焊接条件的情况下,使用形状和材质都相同的管坯试

样，从而使电子束标记的宽度狭小而又均匀。

用EB标记法时变形抗力K的变化 表3

	室温	800 °C	1,000 °C	1,200 °C
基体金属	50.5	12.9	6.9	3.8
EB 穿透的金属	43.1	12.6	6.5	3.7

$K = \text{张力} / \text{原横截面积} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$

$\theta = 0.7 \text{秒}^{-1}$

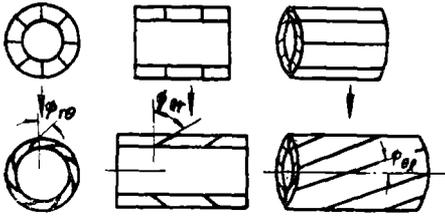
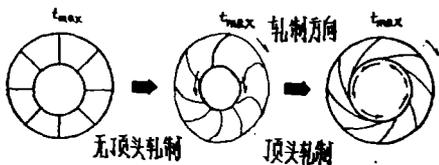


图2 EB标记法及剪力变形

图3(略)所示系延伸过程中EB标记法显示出来的金属流动。此实例中，将直径为80mm、平均壁厚为20mm、偏心度为40%的空心管坯延伸成直径为84mm、壁厚为11.5mm的毛管。左边照片为轧制前空心管坯的横截面疏印，中间照片为管坯在压缩区与顶头接触前的横截面疏印。白线为EB标记，表示EB在包括最大壁厚和最小壁厚处的8个位置上穿入空心管坯的内圆中心。中间的照片上，外径减小，外表面上EB标记之间的间隔比不变，内表面里金属从厚壁区流向薄壁区，因而薄壁区的厚度有所增加。图4以图解法表示



无顶头轧制 顶头轧制

图4 延伸过程中的金属流动

这些疏印。金属在内表面的流动大，且与轧制成相反方向流动。这种趋势在顶头轧制后依然明显。中等壁厚空心坯在传统的延伸机上轧制的壁厚与直径之比约为0.125时，可以观查到无顶头轧制时薄壁区的壁厚首先增大。这种趋势对薄壁管坯的影响不大。图5示出直径为80mm、壁厚为10mm、偏心度为40%的空心坯延伸成直径为84mm、壁厚为46mm的毛管时，EB标记法所显示出来的金属流动。横截面1为轧制前的截面；横断面2—4为斜轧的截面，表示在内表面区域里金属是从厚壁区流向薄壁区，因而薄壁区的壁厚增大。横截面5在斜轧与顶头之间轧制，金属的流动方向与轧制的方向相反。空心管坯的壁厚减至横断面7，并在横断面9和10中形成真正的圆周。底部图形为轧制后管子的纵截面。它显示出管子纵向上也产生了剪力变形。

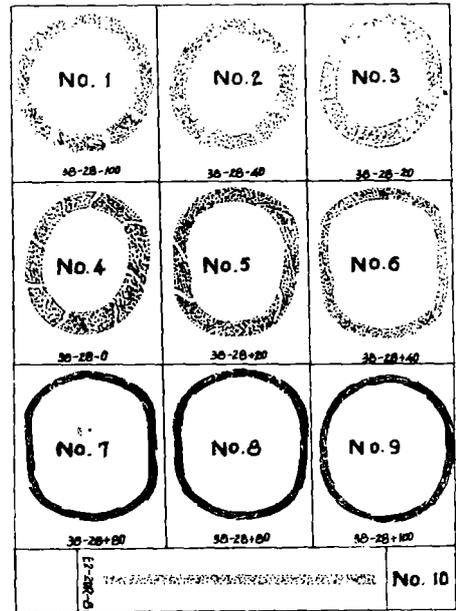


图5 延伸过程中的金属流动

改善偏心度的方法

改善延伸机上所产生偏心度的方法是通过采用模拟热轧机确立的。这些方法基于最大限度地利用上述标记法所发现的金属从厚壁区流向薄壁区这一现象。试样采用加工成不同偏心度、外径为80mm的低碳镇静钢管。下面介绍几种改善偏心度的方法。

管坯壁厚与直径之比的影响

图6示出无顶头斜轧的结果，采用的是平均壁厚和偏心度为40%的空心管坯。壁厚与直径之比愈大或者壁厚值愈大，则通过轧辊入口锥面的偏心度就愈易于改善。为了充分利用这种效应，需要采用壁厚与直径之比值大于0.20的厚壁空心坯，但据说这种管坯难于通过传统的斜轧穿孔机生产。

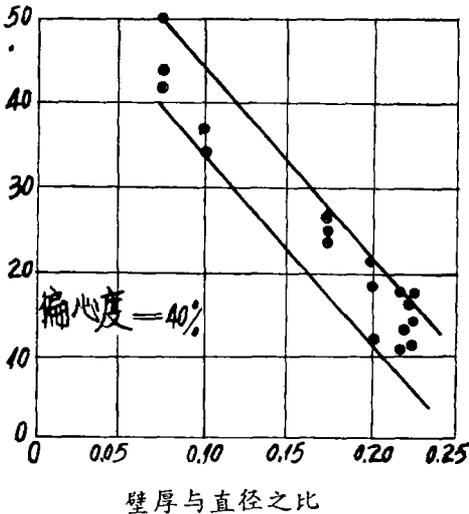


图6 空心管坯壁厚与直径之比的影响（无顶头轧制）

轧辊压下量的影响

图7表示无顶头轧制壁厚为20mm、偏心度为40%的空心坯的结果。当轧辊压下量 $[(D_{11}-\text{轧缝}G)/D_{11} \times 100 (\%)]$ 增大时，偏心度就更易于改善。

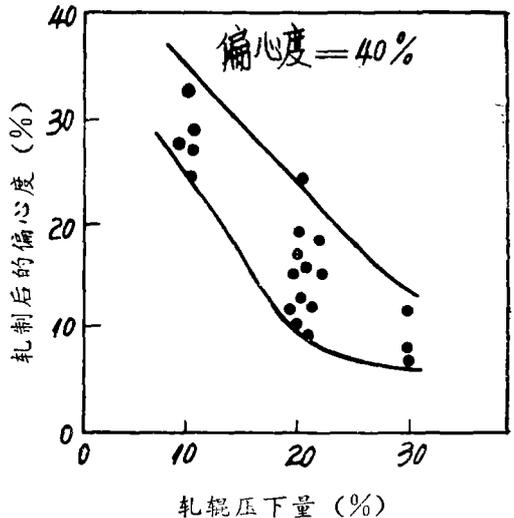


图7 轧辊压下量的影响
(无顶头轧制)

斜辊角度的影响

图8示出无顶头轧制与上述相同的空心坯的结果。斜辊角度小时，偏心度便大大改善。然而，斜辊角度小时，轧制速度便减慢，因而必须单独采取措施以避免产量下降。

轧辊入口面角度的影响

图9示出轧制过程中空心坯被一对入口角 ϕ_1 为 3° 的轧辊和另一对入口角 ϕ_1 为 6° 的轧辊停轧时，管坯在入口区与压缩区之间最大及最小壁厚的变化。 ϕ_1 为 3° 时，压缩区的壁厚差较小。

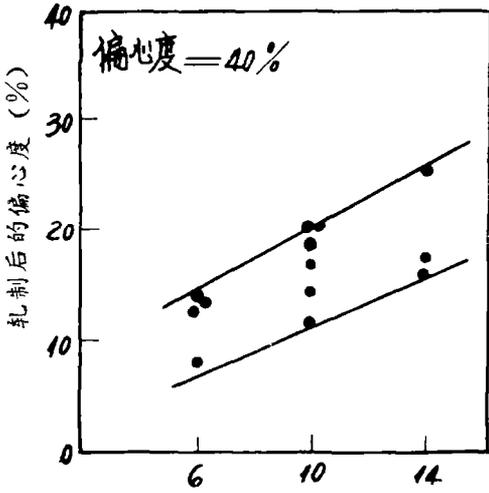


图8 斜辊角度的影响(无顶头轧制)

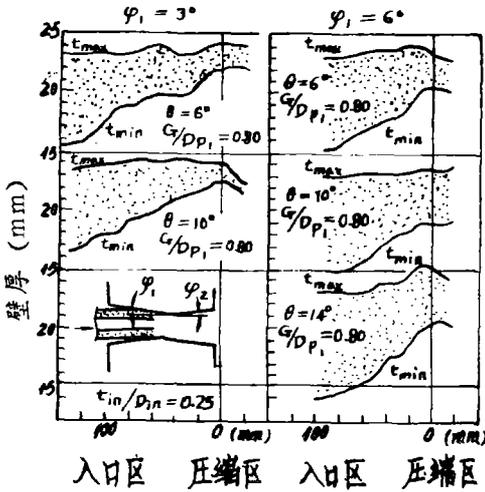


图9 轧辊入口面角度的影响

带顶头轧制的影响

空心管还在延伸机上被轧辊夹住，然后旋转前进，在轧辊和顶头之间受到轧制。空心管在与顶头前端接触前，其偏心率便得到了改善。图10示出直径为80mm、壁厚为20mm、偏心率有所不同（在压下量为14%、轧辊斜角为6°、入口角为3°、延伸率即毛管长度与管坯长度之比为2.5的情况下）的空心坯的轧制结果。图中

A线表示无顶头轧制的结果。在轧制过程中停轧的空心坯上所得出的测量数据是：顶头开始轧制前的偏心率如B区所示。此时的偏心率比A线所表示的偏心率有较大程度的改善，因为使用顶头减低了入口侧的轧制速度，所以空心坯在到达压缩区之前所受到的轧制比A线所示出的更轻微，更频繁。C区所示系顶头轧制后的偏心率。从B区的偏心率来看，其改善程度不很大。一般说来，如果顶头设计和轧机布置不当，那么偏心率便会恶化。图11表示延伸率对偏心率的影响。

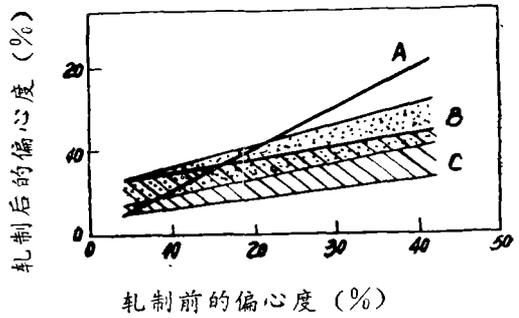


图10 顶头轧制的影响

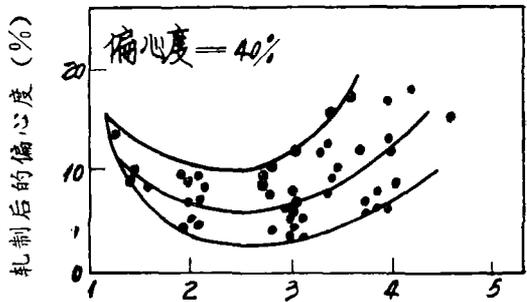


图11 延伸率的影响

延伸率的影响

为使上述方法具有实效，必须采用可生产大直径、厚壁空心管坯诸如推轧穿孔

机之类的穿孔机；还必须使用两台专门设计的延伸机，以便对直径96mm、壁厚24mm、偏心度40%的空心坯在穿孔后延伸时进行微减径。延伸率大约为2~3时，偏心度最小。如延伸机后接有自动轧管机，则应使延伸率最大为5。这种情况下，使用两台延伸机轧制可以改善偏心度。

讨论

在延伸机入口区改善偏心度的机械原理可做如下表述。最大和最小壁厚与图12A所示方向交叉时，薄壁区由于其横截面较小，所以它的内壁比其它部分较早受到圆周压应力。其结果是，距离缩短，而壁厚则增大。如图12C所示，最大和最小壁厚部分与轧辊接触时，最大壁厚区的内壁在圆周方向都受到压扁。这种现象可借助于连接在空心管坯内部的测力计来验证。然而，在实际生产中却会另外产生更为复杂的变形情况，导致如图3、4所示的复杂的金属流动。空心管坯在轧制过程中所产生的最大和最小壁厚变化可分为图13所示的三种类型。最常见的A型中，空心坯与轧辊接触后，最大和最小的两区域的壁厚都增大，然后又逐渐趋于相同。在传统的延伸机上，空心坯最大和最小壁厚区的壁厚还不相同之前，顶头轧制就开始了。图13B中，以较小的压下量对空心坯进行轧制，因而空心坯最大壁厚并不增大。图13C中，以更小的压下量对空心坯进行轧制，管坯最小壁厚区的壁厚有所增大；与此同时，最大壁厚区的壁厚则减小。这些情况实际上都存在。图14表示由生产性轧机所证实的壁厚与偏心度。直径为296mm、壁厚为74mm的空心坯管延伸成直径为296mm、壁厚为47.4mm的毛管

时，两者的最大壁厚与最小壁厚接近，平均壁厚的增大甚微。这一实例中，管坯偏心度原为17%，在压缩区减小到8%。顶头轧制产生壁厚差后，偏心度在顶头均壁段回复到8%。此后，由轧辊进行倒圆的过程中，出口区的偏心度减至大约6.5%。通过EB标记法观查到的空心坯的金属流动与前面所述在模拟轧机上分析出的金属流动相同。

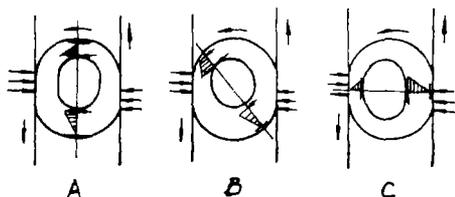


图12 无顶头延伸时的应力

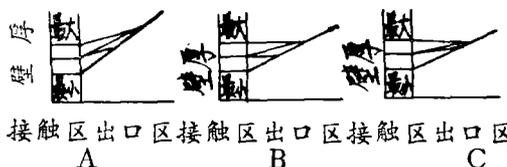


图13 无顶头延伸时壁厚变化的类型

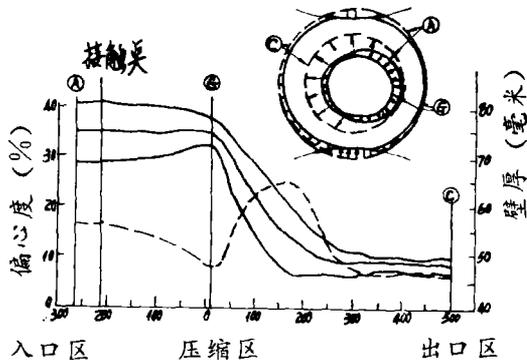


图14 延伸过程中的壁厚与偏心度

图15表明，使用两台这种类型的延伸机改善偏心度的结果。在N0.1延伸机入口侧，壁厚空心坯的最小壁厚增大，最大壁厚减小，壁厚差随之而降低。在尔后的

顶头轧制过程中，该壁厚差增大，但当空心坯离开顶头时，壁厚差又略有降低。在N0.2延伸机的入口侧，壁厚差略微减小。然后，空心坯由长顶头进行较小压下量的轧制。空心坯离开顶头并由轧辊倒圆时，壁厚差略有减小。传统的延伸工艺与在N0.2延伸机上进行短尺寸轧制的工艺是一致的。由于采用延伸新工艺轧制延空心坯，空心坯的偏心度在长轧辊与长顶头的作用下得到了改善。因而N0.2延伸机轧

成的毛管的偏心度是很小的。

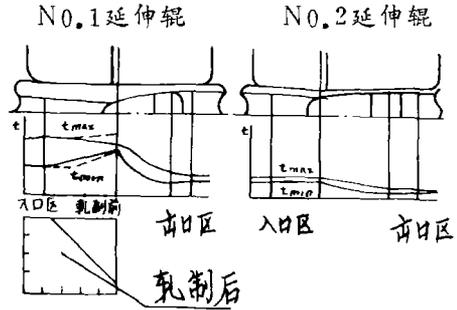
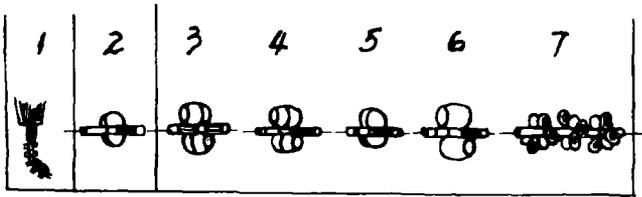


图15 延伸机上的均衡效应



1—连铸机 2—压力穿孔机 3—1号延伸机 4—2号延伸机 5—自动轧管机
6—均整机 7—定径机

图16 由两台推轧穿孔机和两台延伸机组成的无缝钢管轧制新工艺

轧制新工艺

日本八幡钢铁公司采用轧制新工艺生产外径6~16英寸的无缝钢管。该工艺所使用的设备如图16所示，为1台推轧穿孔机、

两台延伸机、一台自动轧管机、两台均整机及一台定径机。图17所示系用该工艺所生产的无缝钢管，其平均偏心度为3~4%，最大偏心度为7~8%。这些偏心度优于传统工艺所生产无缝钢管的偏心度。

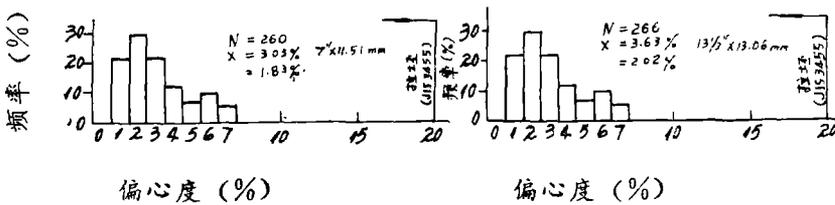


图17 成品偏心度实例

王荣生 译
李澄渠 校