

A large industrial ladle is shown pouring molten metal in a steel mill at night. The scene is illuminated by bright orange and yellow light from the molten metal, contrasting with the dark background of the industrial structure. The ladle is suspended by a crane, and the metal is being poured into a mold below.

# 现代 连铸工艺 与实践

朱立光 王硕明 编著  
张彩军 王书桓

河北科学技术出版社

# 现代连铸工艺与实践

朱立光 王硕明 张彩军 王书桓 编著

河北科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

现代连铸工艺与实践/朱立光等编著. —石家庄: 河北  
科学技术出版社, 1999  
ISBN 7-5375-2157-3

I. 现… II. 朱… III. 连续铸造 IV. TG249.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 39474 号

2000

## 现代连铸工艺与实践

朱立光 王硕明 张彩军 王书恒 编著

---

河北科学技术出版社出版发行 (石家庄市和平西路新文里 8 号)

河北新华印刷一厂印刷 新华书店经销

---

850×1168 1/32 10.125 印张 254000 字 2000 年 9 月第 1 版  
2000 年 9 月第 1 次印刷 印数: 1—3000 定价: 15.00 元

# 前 言

钢铁工业现已发展成为世界经济的支柱产业，我国钢铁年产量已突破 1 亿吨，居世界首位。但我国钢铁生产在工艺技术、设备装备、节能降耗、品种质量等方面与发达国家仍存在较大差距，以连铸为例，连铸比低、浇铸钢种少、生产效率不高、技术水平落后，这些因素严重制约了我国钢铁工业高效、优质、低耗的发展进程。为此，“九五”期间国家开展了连铸高效化建设和改造，以期提高连铸设备利用率，优化工艺流程，提高相关技术水平，改善铸坯质量并降耗节能。高速连铸是高效连铸的核心，是国外 80 年代中后期与连铸坯热装工艺匹配而发展起来的，由于其高的生产效率和低的成本、低的能源消耗，在国际上逐步得到重视。日本钢管公司福山厂、新日铁公司名古屋厂、英国的 Foseco 公司、美国的内陆钢厂、韩国的浦项公司光阳厂都已成功地实现了拉速达  $2.0 \sim 2.5\text{m/min}$  的高速连铸，生产的板坯全部用于热装轧制。住友金属工业公司钢铁研究所开发的高速连铸技术已使连铸低碳铝镇静钢的最高拉速达  $5\text{m/min}$ 。

与国外相比，我国的连铸机拉速则比较低，大部分仍停留在  $1.0\text{m/min}$  左右，即使小方坯，拉速一般也不超过  $2.0\text{m/min}$ 。为了实现 2000 年连铸比达 80% 的目标，必须加速提高铸机的生产水平，向国际先进水平看齐。为此，国家将高效连铸技术的开发列入“九五”重大科技攻关项目。高拉速技术作为高效连铸技术的核心内容更是引起了国内广大冶金工作者的高度重视。

我们广泛搜集国内外现代连铸技术的资料并结合自身多年来实践经验及科研成果编成此书，以期为我国现阶段连铸技术的进步提供一些帮助，尤其对于解决现场中的某些技术难题提供有益的参考。但由于现代连铸技术发展很快，且有许多技术尚处于研究改良之中，加之作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请专家、学者予以批评指正。

编 者  
1999 年 2 月

# 目 录

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 第一章 现代连铸技术发展概述        | ( 1 )   |
| 第二章 连铸基础理论            | ( 7 )   |
| 第一节 连铸坯凝固传热特点         | ( 7 )   |
| 第二节 连铸坯凝固过程热平衡        | ( 9 )   |
| 第三节 结晶器传热与凝固          | ( 10 )  |
| 第四节 二冷区的传热与凝固         | ( 32 )  |
| 第五节 连铸坯凝固结构           | ( 38 )  |
| 第六节 凝固与传热的工艺控制        | ( 42 )  |
| 第三章 连铸钢水的准备           | ( 78 )  |
| 第一节 高速连铸对钢水的工艺要求      | ( 78 )  |
| 第二节 钢水冶炼过程工艺控制        | ( 88 )  |
| 第三节 连铸钢水的炉外精炼         | ( 111 ) |
| 第四章 无氧化保护浇注           | ( 117 ) |
| 第一节 钢液二次氧化的特点         | ( 117 ) |
| 第二节 防止钢液二次氧化的浇注方法     | ( 118 ) |
| 第三节 钢液与耐火材料的作用        | ( 121 ) |
| 第五章 中间包冶金             | ( 124 ) |
| 第一节 中间包加热技术           | ( 124 ) |
| 第二节 促进夹杂物分离技术         | ( 130 ) |
| 第六章 结晶器冶金             | ( 137 ) |
| 第一节 连铸工艺对结晶器结构设计的基本要求 | ( 137 ) |
| 第二节 方坯高速结晶器           | ( 139 ) |

|             |                       |              |
|-------------|-----------------------|--------------|
| 第三节         | 板坯高速结晶器·····          | (148)        |
| 第四节         | 结晶器振动·····            | (156)        |
| 第五节         | 结晶器检测与控制技术·····       | (166)        |
| 第六节         | 结晶器的冶金作用·····         | (179)        |
| <b>第七章</b>  | <b>连铸保护渣·····</b>     | <b>(183)</b> |
| 第一节         | 连铸保护渣成分设计·····        | (183)        |
| 第二节         | 连铸保护渣物理化学特性·····      | (189)        |
| 第三节         | 连铸保护渣在结晶器中的行为·····    | (201)        |
| 第四节         | 连铸保护渣与连铸坯表面质量·····    | (204)        |
| 第五节         | 高速连铸保护渣的研制及应用·····    | (207)        |
| <b>第八章</b>  | <b>钢水覆盖剂·····</b>     | <b>(216)</b> |
| 第一节         | 钢水覆盖剂的发展及分类·····      | (216)        |
| 第二节         | 覆盖剂的理化性能及影响因素·····    | (219)        |
| 第三节         | 覆盖剂的使用性能及影响因素·····    | (223)        |
| <b>第九章</b>  | <b>铸坯典型缺陷及预防·····</b> | <b>(227)</b> |
| 第一节         | 小方坯脱方·····            | (228)        |
| 第二节         | 连铸坯纵裂·····            | (234)        |
| 第三节         | 中心偏析·····             | (240)        |
| 第四节         | 方坯横裂·····             | (245)        |
| <b>第十章</b>  | <b>连铸新工艺·····</b>     | <b>(251)</b> |
| 第一节         | 连铸坯热装和直接轧制·····       | (251)        |
| 第二节         | 近终形连铸·····            | (268)        |
| <b>第十一章</b> | <b>铸坯质量检测与预报·····</b> | <b>(283)</b> |
| 第一节         | 漏钢预报原理及设备·····        | (283)        |
| 第二节         | 铸坯质量检测与预报·····        | (291)        |
| 第三节         | 铸坯质量诊断专家系统·····       | (304)        |
| <b>参考文献</b> | ·····                 | <b>(313)</b> |

# 第一章 现代连铸技术发展概述

连铸技术的开发与应用是钢铁工业继氧气转炉之后又一次重大的技术革命。目前，许多国家连铸比已达 70% 以上，连铸比高达 100% 的国家已超过 20 个。连铸比的高低在一定程度上代表一个国家钢铁工业的发展水平。进入 90 年代，连铸技术呈现出更加强劲的发展态势，生产过程的高效化、铸坯洁净化、产品近终形、操作自动化以及与后续工艺衔接上的连续化代表了世界现代连铸的发展方向。我国也于近期广泛开展了对现有铸机的技术改造，并注重新建铸机合理性和先进性的结合，试图在今后几年内使国内连铸生产水平产生一个飞跃。

## 一、高效连铸的发展及主要工艺措施

高效连铸的技术特征包括：高的铸机作业率、高的单机生产能力、高的拉坯速度和高的连浇炉数。

(1) 高的铸机作业率。国外新建铸机作业率均在 80% ~ 90%，有些铸机作业率已超过 90%，如名古屋厂的板坯铸机作业率达到 94.7%，君津厂铸机作业率达 92%，意大利塔兰托厂铸机作业率为 90%。这些厂的经验表明，为充分发挥铸机的作用，提高铸机作业率，必须对铸机设备进行改造，包括提高铸机热负荷承受能力，实现零部件的快速更换和离线检修，提高控制水平，实现自动化控制，提高检修水平和精度。

(2) 高的单机产量，实现连铸机大型化。国外大板坯连铸机的单流年产能力均超过 100 万 t，美国内陆厂单流年产能力达



140 万 t，日本君津厂两台板坯连铸机月产超过 45 万 t。国外大多数小方坯连铸机的单流年生产能力在 6~10 万 t，而国内小方坯连铸一般为 5 万 t。

(3) 高的拉坯速度。提高拉坯速度是提高铸机生产效率的有效措施。由于其高的生产效率和低的能量消耗，加之连铸坯热送热装工艺的日趋成熟，高速连铸机在国际上逐步得到广泛采用。目前国外已经成功地开发了最大拉速达 5m/min 的高速板坯连铸机，全日本钢铁企业板坯连铸机的平均拉速达 2m/min 以上。

高速连铸与常速连铸比较，有着明显不同的冶金特点，如表 1-1 所示。

表 1-1 高速连铸的冶金特点

|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| 坯壳变薄   | 由于拉速提高，结晶器内原来的热平衡被打破，结晶器内钢水温度升高，出结晶器下口坯壳减薄，容易造成鼓肚和漏钢 |
| 液面波动严重 | 由于拉速提高，水口供应钢水的流量增大，使钢液面波动剧烈，易造成卷渣，恶化表面质量             |
| 润滑条件恶化 | 拉速提高，渣耗量降低，流入气隙的液渣难于满足结晶器润滑的要求                       |
| 传热状况不良 | 渣耗急剧下降，渣膜不均，造成润滑及传热不均，影响坯壳均匀生长                       |
| 裂纹焊合不利 | 拉速提高，坯壳在结晶器内滞留时间短，先期出现的微小裂纹，在结晶器内没有足够的时间愈合           |

为了实现高拉速条件下的稳定浇注，必须有与之冶金特点相适应的工艺措施作保证。表 1-2 为日本住友金属工业公司高速连铸采取的技术措施。

表 1-2 住友金属工业公司高速连铸技术措施

| 措施类别    | 措施内容                         |
|---------|------------------------------|
| 结晶器润滑技术 | 开发低黏度、低熔点保护渣，采用非正弦波形振动，使浇注稳定 |

续表

| 措施类别      | 措施内容                                                                  |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| 结晶器液面控制技术 | 采用涡流水平计, 使高速连铸时能大容量稳定地供应钢水                                            |
| 结晶器传热控制技术 | 开发低散热性保护渣, 使结晶器对铸坯冷却缓和、均匀, 改善了铸坯表面质量, 中碳钢采用 2.0m/min 的铸速时, 可生产出无纵裂的铸坯 |
| 二冷技术      | 通过大流量喷雾喷嘴的开发, 并采用小径组合辊缝防止板坯的内裂                                        |

(4) 多炉连浇。多炉连浇不仅提高钢水收得率和稳定工艺过程, 而且可以提高铸机的作业率, 增加铸机的有效作业时间, 提高铸机的年生产能力。川崎板坯连铸的连浇记录是 806 炉, 历时 30 天 17h, 浇注板坯 24 万 t, 铸坯总长度为 17 万 m。提高连浇炉数, 减少事故中断, 需要采取各种有效的精炼和钢水再加热措施, 如钢包炉、铝氧加热、中间罐等离子加热、感应加热、电渣加热等, 以保证浇注过程中钢水温度适宜, 炼钢—连铸生产节奏稳定和谐调。

## 二、洁净钢连铸技术以及相关的工艺措施

连铸比模注具有无可比拟的优越性, 但由于连铸的特殊条件, 欲获得夹杂物含量极低的洁净铸坯比模注存在更大的困难。所以只有在适当地组织浇注并且在钢包至结晶器之间使钢流得到充分保护、增大中间罐内夹杂物上浮机会, 连铸的优越性才能得以实现, 以克服钢流暴露时间长、钢流与耐火材料(中间罐内衬)接触多带来的弊端。

### 1. 无氧化保护浇注

连铸浇注时间长, 钢液暴露于空气中的面积大(经中间罐浇注环节), 从而大大地增加了钢液二次氧化的可能性。据研究, 铸坯中 70% 的氧化物夹杂源于钢液的二次氧化。目前, 无氧化

保护浇注技术已在国外连铸机上得到普遍应用，技术上包括5个方面的内容：①大包内钢水的保护；②大包至中间罐钢水的保护；③中间罐内钢水的保护；④中间罐至结晶器钢水的保护；⑤结晶器内钢水的保护。其中大包、中间罐和结晶器内钢水分别采用钢水覆盖剂和结晶器保护渣，大包至中间罐钢流使用保护套管法、高压厢法或气幕法，中间罐至结晶器钢流采用整体式或分段式浸入水口进行保护浇注。

## 2. 中间罐夹杂物分离技术

在中间罐内设置各种形式的挡渣墙能有效地使钢水中的夹杂物上浮分离。挡渣墙的高度、位置和数量对夹杂物的去除有很大的影响，研究指出，多重挡渣墙具有良好的分离夹杂物的效果，神户制钢公司在6流圆坯连铸30t矩形中间罐内设置了挡渣墙，取得了如下效果：①提高了钢的洁净度；②使中间罐内钢液流场均匀；③增大了钢水滞留时间；④增大了钢—渣相互作用时间；⑤减少了水口堵塞。

为了进一步提高钢的洁净度，防止和减少水口堵塞，近年来，美国、日本相继开发了钢水过滤技术。

新日铁广畑厂、釜山厂使用石灰石质过滤器（CaO93%，MgO7%）浇注Si—Al镇静钢，团块状 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 减少约1/3，单体 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 减少约1/2。神户制钢公司采用含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 50.5%的多孔耐火材料套管，钢水流过孔隙时 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 夹杂物被吸收。

奥斯基里冶金公司设计了原理新颖的过滤精炼系统——钢水自动净化过滤器。该过滤器的工作区不是使夹杂物沉淀而是使之凝聚、上浮。

## 三、近终形连铸

近终形连铸（Near Net Shape Casting）是当代钢铁工业发展中一项重大的高新技术，分为薄板坯连铸、薄带坯连铸、喷雾成

型三类。传统的热轧薄钢板的生产是将 150~300mm 厚的板坯热轧成薄板。薄板坯连铸连轧工艺是将钢水浇注成 15~20mm 的板坯，均热后直接热轧成薄板；薄带坯连铸工艺则是取消热轧工艺，钢水直接连铸成 2~5mm 厚的钢板；喷雾成型工艺则是利用喷雾沉积原理将雾化钢水沉积成型。这些技术与传统工艺相比：流程短、设备简单、建设投资省、能耗低、成材率高、生产成本低。目前真正工业化的近终形连铸只有薄板坯连铸。

### 1. CSP——紧凑式薄板坯生产工艺

目前，世界上应用较为成功的薄板坯连铸工艺主要有西马克 (Schloemann-siemag) 开发的 CSP (Compact strip production) 和德马克 (Mannesmann demag) 开发的 ISP (Inline strip production)。

第一台 CSP 铸机于 1987 年 7 月在美国 Nucor 公司顺利投产，浇注 50mm 厚、1200mm 宽的薄板坯。其主要特点为采用一个漏斗形的结晶器使坯壳在结晶器内产生较大的变形，由中部最厚的 150mm 减薄到 50~60mm，目前世界上已有 12 套 CSP 铸机建成投产，另有 11 套正在建设或计划建设。

CSP 是目前最为流行的薄板坯连铸工艺，它的基本概念是通过一个均热炉将一台新型薄板坯铸机与现代化轧机直接连接起来，这种工艺具有极高的生产率，生产表明，从钢水注入结晶器到以热轧带卷的形式离开地下卷取机，所需时间不足 0.5h。

### 2. ISP——在线薄板坯生产工艺

ISP (Inline strip production) 是德马克为采取铸轧技术后，将铸坯在铸机内进行连续轧制（压缩变密）的一种新设备。世界上第一台 ISP 生产线于 1992 年在意大利的 Arvedi 公司投产，其与 CSP 生产线最根本的区别是结晶器形状不一样，ISP 生产线采用平行结晶器，结晶器内腔厚度仅为 60~80mm，采用扁平形浸入式水口，最后提供的薄板坯厚度为 15~25mm，宽度为 650~

1330mm，铸机浇注速度可达 6m/min，经铸轧变形后出坯速度为 16m/min。由于从铸机出来的坯厚小于 30mm，薄板坯就有可能用卷取机将其成卷，然后进入均热炉保温，接下去是四架四辊精轧机，这种形式使铸机出口至地下卷取机距离很短，因此 ISP 系统的长度只有 150m 左右，而 Nucor 的 CSP 轧制线总长为 250m 左右。

#### 四、连铸操作的自动化、机械化

实现自动化、机械化是提高生产率的根本出路，钢水包与中间罐下渣判定、钢水连续测温、钢水重量检测、自动开浇和浇注结束技术、漏钢预报、结晶器液面测量及控制、铸坯缺陷预报技术等都将引入现代连铸机设备和工艺操作。随着设备的可靠性不断提高、过程控制智能化的实现，连铸的自动化、机械化程度将得到明显改善。

#### 五、工序衔接的连续化

连铸坯热送热装和直接轧制因其节能、提高成材率、简化工艺流程、节约基建投资、缩短生产周期等优点，一直是连铸技术的发展方向。实现上述工艺的前提条件是连铸车间提供高温无缺陷铸坯，因此，为了保证铸坯质量，应采取一系列质量保证技术，如钢水质量保证技术、无氧化浇注技术、结晶器及二冷区冷却技术等。

## 第二章 连铸基础理论

### 第一节 连铸坯凝固传热特点

钢液在连铸机中的凝固是一个热量释放和传递过程，也是把液体钢转变为固体钢的加工过程。在连铸机内，液体钢水转变为固体钢坯传输的热量包括过热、潜热和显热。①过热：由进入结晶器时钢水的温度冷却到钢的液相线温度放出的热量；②潜热：钢水从液相线温度冷却到固相线温度放出的热量；③显热：凝固的高温铸坯冷却至送出连铸机时所放出的热量。

在连铸机内，钢水热量的传输分别在一次冷却区、二次冷却区和三次冷却区进行。在一次冷却区，钢水在水冷结晶器中形成厚度足够且均匀的坯壳，以保证铸坯出结晶器不拉漏。在二次冷却区，喷（雾）水以加速连铸坯内部热量的传递，使铸坯完全凝固。在三次冷却区，铸坯向空中辐射传热，使铸坯内外温度均匀化。从结晶器到最后一个支撑辊之间，带液心的铸坯边运行、边放热、边凝固，直到完全凝固为止。铸坯中心热量向外传输包括了三种传热机制：①对流：中间罐注流进入结晶器，在液相穴内的强制对流运动而传递热量；②传导：凝固前沿与坯壳外表面形成的温度梯度，把液相穴内热量传导到表面；③对流+辐射：铸坯表面的辐射传热以及铸坯表面与喷雾水滴的热交换，把热量传给外界。

在液相穴内，特别是在钢液由中间包流入结晶器的区域内，

传热主要取决于钢液的流动状态以及凝固前沿与铸坯表面之间的温度梯度，且铸坯在铸机内的传热过程、拉坯速度、钢水过热度直接影响到液相穴的长短、铸机生产率、铸机尺寸及铸坯质量。

连铸坯凝固是在铸坯运行过程中，沿液相穴在凝固区逐渐将液体变为固体。在固液交界面的糊状区存在一个凝固脆化区，如图 2-1 所示，TDN 为断面收缩率  $\Psi=0$  的温度，称为零塑性温度，TRN 为强度  $\sigma=0$  的温度，称为零强度温度。一般地，TDN 和 TRN 温度区是一个裂纹敏感区，固—液交界面的糊状区晶体强度和塑性都非常小。有人认为，临界强度为  $1 \sim 3\text{N/mm}^2$ ，由变形至断裂的临界应变为  $0.2\% \sim 0.4\%$  ( $\epsilon = 1.3 \times 10^{-3} \sim 1.6 \times 10^{-3}/\text{s}$ )，当凝固壳受应力作用（如热应力、鼓肚力、矫直力）其变形超过上述临界值时，铸坯就在固—液交界面产生裂纹。铸坯在二冷区内产生线收缩，坯壳温度分布不匀以及受其他机械力的作用等也易使铸坯产生裂纹。另外，铸坯在连铸机里自上而下的运行过程中，坯壳内温度梯度的存在、冷却条件的变化等使坯壳中产生金属相变 ( $\delta \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ )，特别是在二冷区内，坯壳温度的反复下降和回升，使铸坯组织发生变化。同时，由于溶质元素的偏析作用，可能发生硫化物、氮化物质点在晶界

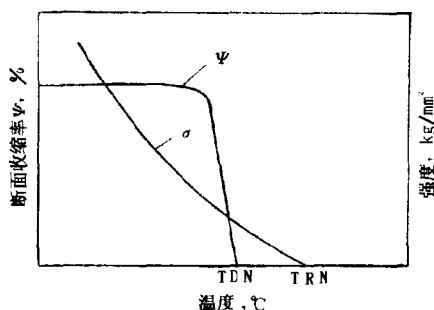


图 2-1 钢高温性能示意图

沉淀，影响钢的高温机械性能，即增加了钢的高温脆性，对铸坯质量有重要影响。

再有，连铸坯冷却强度大，连铸机上可安置电磁搅拌器，在相当大的程度上可控制铸坯结构。铸坯断面相对小，液相穴长，铸坯内钢水强制循环区小，自然对流也弱，夹杂物不易上浮，因而连铸钢水应更洁净。由于铸坯不断向下运动，铸坯的每一部分通过铸机时，外界条件基本相同。因此，除了头尾外，铸坯长度方向上结构比较均匀。

## 第二节 连铸坯凝固过程热平衡

连铸坯凝固过程热平衡包括如下四个方面内容：

(1) 从热平衡来看，钢水经过结晶器→二冷区→辐射区大约有 50% 的热量放出来铸坯才能完全凝固。这部分热量的放出速度决定了铸机生产率和铸坯质量。铸坯切割后大约还有 50% 的热量放出来，为了利用这部分热量，节约能源，我们成功地开发了连铸坯热装、连铸坯直接轧制工艺。

(2) 铸机范围内（铸坯切割前）主要依靠结晶器和二次冷却系统散热，其中二冷区散出热量最多。

(3) 通过结晶器在 1min 内要散出的热量，最高时可占总需要散热量的 20% 左右。保证结晶器有足够的冷却能力十分重要，它对初期坯壳的形成具有决定性影响。增加结晶器水流量、降低进水温度、增加冷却水进出温差可增加结晶器冷却能力，但这也受到一定限制。水缝面积一定时，很大的流量需提高流速来实现，而流速过高对水压和结晶器结构要求严格，且水速超过一定极限时，对传热影响甚小，也很不经济。故虽然结晶器冷却能力很重要，但只能达到一定的冷却程度。

(4) 二冷带走的热量约占总热量的 16% ~ 27%，其绝大部



分是由二冷水所吸收。二冷水量调节方便，它的冷却能力可以在很大范围内变化，坯壳在结晶器内形成以后，控制二冷强度是使整个铸坯完全凝固的关键。

### 第三节 结晶器传热与凝固

#### 一、结晶器内坯壳的形成

钢水浇到结晶器中，在钢水表面张力的作用下，钢水与铜壁接触形成一个半径很小的弯月面，如图 2-2 所示，弯月面半径  $r$  可表示为：

$$r = 5.43 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{\sigma_m}{\rho}} \quad (2-1)$$

式中  $\sigma_m$ ——钢水表面张力，N/m；

$\rho$ ——钢水密度，kg/m<sup>3</sup>。

在半径为  $r$  的弯月面根部附近，冷却速度很快（100℃/s），初生坯壳很快形成。随着冷却不断进行，坯壳逐步加厚。已凝固的坯壳开始收缩，企图离开结晶器的内壁，但这时坯壳尚薄，在钢水的静压力作用下仍紧贴于内壁。由于冷却不断地进行，坯壳进一步加厚，刚度增大，到其强度、刚度能承受钢水静压力时，坯壳开始脱离结晶器内壁，铜壁与坯壳之间形成气隙。随着坯壳下降，形成气隙区的坯壳在热流作用下温度回升，强度和刚度减小，钢水静压力使坯壳变形，形成皱纹或凹陷。同时，由于存在气隙，传热减慢，凝固速度减小，坯壳减薄，局部组织粗化，此处裂纹敏感性较大。上述过程反复进行，直到坯壳出结晶器。

结晶器坯壳厚度的生长决定于传热速率，而传热速率决定于结晶器内钢水热量传给冷却水所克服的热阻，结晶器热阻可分为：