

设计参考资料

热轧带钢专辑

4

2001

北京首钢设计院

设计参考资料

(4)

2001年4月

热轧带钢专辑

目 录

CSP 技术产品的发展现状和未来·····	1
革新的带钢生产技术·····	14
沙特哈地特钢铁公司带钢生产新设备·····	37

CSP 技术产品的发展现状和未来

Gunter Flemming

CSP 紧凑式带钢生产，是一种高产出、高质量、低成本的带钢生产技术。

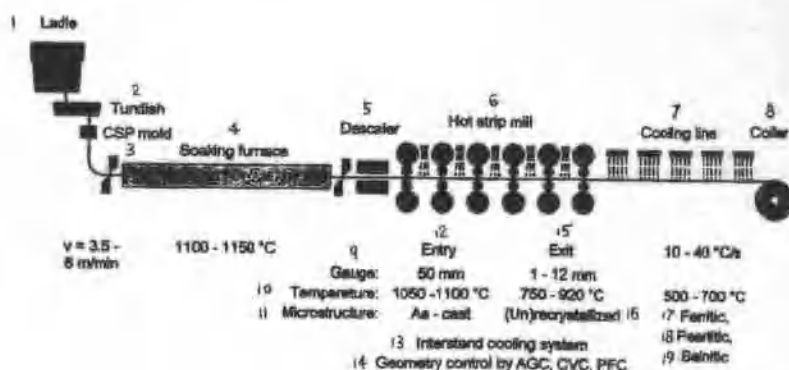


图 1 CSP 技术原理图

- 1 钢水包 2 中间罐 3 CSP 铸模 4 均热炉 5 除鳞机
6 热带轧机 7 冷却线 8 卷取机 9 厚度 10 温度 11 显微构造
12 进入 13 中间机座冷却系统 14 通过 AGC、CVC、PFC 几何控制
15 出口 16 (非)再结晶 17 铁素体 18 珠光体 19 贝氏体

1 热轧带钢的应用

自第一套 CSP 在位于印第安娜的克劳福兹维的纽柯公司投产以来，全世界用 CSP 工艺生产了 4000 万 t 的热轧带钢。

不同的钢厂在日常生产条件下生产的钢材类型、等级和产品。见表 1。

表 1 CSP 热轧带钢的应用类型

钢 种	钢 号	应 用
低碳钢		
冷成形	Stw24(+B)	纵向梁
二次轧制	St24	带卷捆扎材料
结构钢和高强度低合金钢		
普碳钢	St52-3	结构钢管
具有良好可成形性的高强度低合金钢	AstE550TM	轮缘、支撑件
焊接用细晶粒结构钢	StE500	汽车框架件
	WStE420	带卷捆扎材料
	TstE500, EStE500	丙烷气瓶
耐候钢	WstE52-3	板柱
亚磷合金钢	—	半成品
管线钢	StE480.7, X70	管线
热处理钢		
C	CK50	捆扎、垫圈
C-Cr	41Cr4	离合器板

续表

钢 种	钢 号	应 用
C-Mn	28Mn6	管材
C-Mn-B	(30MnB5)	冲压件, 支架结构
C-Cr-Mo	42CrMo4	制动件(航空)
C-Cr-Mo-V	(30CrMoV4)	转向柱组件控制杆
弹簧钢		
非合金	CK67	板簧盘簧
合金	50CrV4	规尺
工具钢		
碳素工具钢	C70W	剪刀
	C85W	梨片
	C100W	锉刀
合金工具钢	75Cr1	木锯
	56NiCrMoV7	齿条支承板
	75NiCrMo553	锯片
耐磨钢	90Mn4	耙、耕作机
电工钢		
无取向与晶粒取向	Si=1.2-3.2	电动机、发电机、变压器
不锈钢		
铁素体	X6Cr17	逆变器壳体
奥氏体	X5NiCr1810	在开发

1) 低碳钢-非合金化热轧带钢是 CSP 的第一种产品。目前已发展的产品包括, 如变形性能良好的硼化特殊钢。

2) 结构钢和高强度低合金钢-现在用高强度结构钢生产的热轧带钢受到广泛重视。用热轧方法轧制的低碳微合金钢已达到了强度和韧性的高度统一, 并受到关注, 此类热轧带钢用于建筑厂房、制造机器和交通工具。目前, 所谓包晶钢也被广泛生产。

3) 管线钢-用于生产焊接管线的热轧带钢的生产, 对 CSP 工厂和传统热轧生产厂的挑战是同样巨大的。通过保持均匀一致的化学成份和加工处理条件, 相关的冶金原理对此类材料的严格要求已得到满足。另外, 特别是在低温条件下, 继续开发具有高强度和高韧性, 及可保持焊缝强度的钢种。

4) 热处理钢、弹簧钢、工具钢和耐磨钢-最近生产高碳合金化热轧带钢的兴趣较高, 弹簧钢、工具钢、耐磨钢产量增加。所有这些钢种都在 CSP 工厂稳定地进行生产, 并且被客户广泛接受。

5) 电工钢-电工钢的导磁性(小磁性高磁化强度)和较低的磁滞损失得到保障。经过冷轧和最终退火的无取向硅钢薄板用于发电机, 具有特殊结晶组织的电工薄带钢, 主要用于制造变压器的铁芯。二次重结晶过程是通过 MnS 特殊相实现的。有效地控制这些相对薄板坯连铸和直接热装来说是十分重要的。这方面技术要继续开发并且其未来的发展前景

十分乐观。

6) 不锈钢-对于各种腐蚀性介质中的抗化学腐蚀作用而言,生产热轧不锈钢是十分重要的。含铬铁素体不锈钢主要采用 AOD 炉生产,奥氏体带钢的生产正处于试验阶段。

在表 1 中概括地介绍了钢种和 CSP 产品的广泛用途。除了那些相对简单的普通钢种以外,具有严格要求的品种钢的生产也在不断的开发,以满足各种各样机械性能,物理性能和化学性能的要求。

2 CSP 技术的特点

以下 3 条综合因素,将会不断促进 CSP 技术的发展。

- 设备设计和自动化
- 工艺实验
- 材料特性(结构和显微构造)

CSP 与传统热轧带钢生产的区别是在工程设计和材料加工过程。正是因为这些不同点,决定了未来高性能热轧带钢生产具有潜在能力。

影响热轧带钢最终产品的冶金性能的 CSP 关键技术是:

- 薄板坯铸造
- 薄板坯直接热装和轧制
- 层流冷却和卷取

1) 薄板坯连铸 同传统的板坯铸造相比薄板坯连铸的

重要特征是快速凝固。凝固速度越快，其结果使二次枝晶臂间距减小和宏观偏析变小。这一性质决定了热轧带钢结构的均匀性。

2) 薄板坯直接热装和轧制—在没有粗轧机的情况下，热装和轧制对薄板坯的微观结构有影响。如，在轧制热薄板坯时，钢从液态转变为固相 δ ，再到奥氏体相 γ_1 等一系列相变过程。当铸坯进入CSP轧机时 γ_1 存在。在普通的热轧带钢中，通常采用冷装或热装板坯，钢通过一系列的金相转变，例如，液态转变成固相 δ ，再转到奥氏体相 γ_1 ，再到冷的或热的铁素体相 α ，随后铸坯再加热到奥氏体相 γ_2 。

另外，薄板进入CSP热带轧机时为铸态组织 γ_1 ，普通轧机轧制过程中板坯进入精轧机时组织结构为再结晶组织。不同的热机械过程形成不同的微观结构。如，奥氏体 γ_1 晶距尺寸比 γ_2 奥氏体晶粒尺寸大，析出过程也不一样。（微合金元素，MnS, etc）。

随着在CSP轧机上的变形，除了要轧成所需要的几何形状（宽、厚、平直度、外形）之外，还应达到二个目标。首先，铸态枝晶微观结构，其次，要求奥氏体达到一种状态以便随后经过多晶型转变成为细晶粒铁素体组织。在CSP轧制中，在意用塑性变形来控制随后在层流冷却和卷取机上出现的固态反应。

3) 层流冷却和卷取—采用低于再结晶终止温度的精轧

技术，可以在奥氏体转变中达到高的成核比。这种转变发生在通向卷取机的输出辊道上。这样，层流冷却段成为一种有效的热处理手段，从而，得到所需要的最终组织。

对于铁素体的轧制，多晶型的转变在轧制结束之前已经出现。因此，层流冷却段应尽可能的短，其作用是为了实现高温卷取和确保钢卷内的软化退火。

因此，适当地选择 CSP 轧制工艺及在层流冷却段和卷取机上采用合适的冷却条件，就可用多种方法控制固态相变。带钢的微观结构和机械性能可以在很宽的范围内准确地控制。

下面举例说明 CSP 技术可能实现的控制

3 热轧带钢质量

热轧带钢的微观组织结构，是为了满足未来的使用和加工需要。所需要的微观组织通过选择冷却条件来获得适当的时间-温度-变化（TTT）曲线。

用于冷变形的低碳热轧带钢具有带珠光体的铁素体基体。如冷却后屈服强度 $\leq 320\text{MPa}$ 组织的 StW24 钢微观结构。（图 2a 略）。用于加工轮缘和交通工具用托架的包晶钢具有较高的强度，因此，通常选择低温转变来获得细晶粒铁素体和缩小层距的珠光体组织，（图 2 略）。

在微合金热轧带钢中发现明显的晶粒细化现象。QStE340 TM 钢的微观组织结构（图 3a 略），平均铁素体晶

粒尺寸约 $6\mu\text{m}$ (AST 粒规格号为 11 到 12)。除了细晶粒的铁素体外,珠光体也存在。热轧带钢中形成的贝氏体结构,可用于高强度板垛捆扎带(钢号 C22)(图 3b 略)。

随着碳含量的增加,珠光体的比率在微观组织中增大(图 4 略),强度也随之增大,塑性和可锻性则减小。在确保带卷在进一步加工时不会遇到什么困难,应考虑到这一影响。采用低的终轧温度后,首先获得极细的奥氏体组织,然后,在 TTT 曲线珠光体附近出现奥氏体受控转变。因此,即使在碳含量高的情况下,带有致密的渗碳基状结构和细小的珠光体团尺寸的微观组织,仍具有足够的可塑性。比如无须进行中间退火就能纵切(图 5 略)。

多边形铁素体具有均匀的微观结构,是硅和 Cr 合金热轧带钢的特点,这种结构完全符合随后的加工工艺要求(图 6 略)。

除了对某些微观组织(铁素体、珠光体、贝氏体等)进行精密调整外,微观结构均匀性也是重要的质量标准。组织结构的均匀性,表明材料机械性能的均匀性和可重复性,有利于热轧带钢的加工和使用。

获得均匀的微观组织的根本前提是具有充分的化学均匀性。CSP 热轧带钢的宏观化学偏析特征值 C/C_0 比所知的常规连铸坯的值低。例如,碳含量为 $0.05 \sim 0.08\%$,锰含量达 1.5% 的常规的结构钢,其传统的板坯铸造组织的锰的

中心偏析值 Mn/Mn 达到 1.5，CSP 热轧带钢可比值均为 1。

一个重要的微观结构特征是多晶体晶粒尺寸。大量的金相检验结果表明（见图 7），CSP 热轧带钢能满足对晶粒尺寸均一性的严格要求。可在热轧带钢的宽度、长度和厚度方向上获得均匀的微观组织。铁素体晶粒的尺寸为 $3.5 \sim 4.5 \mu\text{m}$ （ASTM 晶粒尺寸编号为 13 ~ 12.4）在表面和核心部位边部和中心取样。这种均匀的细晶粒微观相变为获得优异的材料性能创造了有利的前提条件。例如，碳当量为 0.36，屈服强度 $>550\text{MPa}$ ，延伸率为 25% 的 CSP 热轧带钢，其在横向 Charpy V 形槽口试样的 $-60\text{ }^\circ\text{C}$ 碰撞能接近 50J。这种材料可被列入有良好低温韧性的特殊钢，同传统的热轧带钢完全相同。高强度 CSP 热轧带钢已进入除高强度和良好的成形性外，还要求具有在低温条件下安全防止脆弱破裂及良好的焊接性能的所有应用领域。

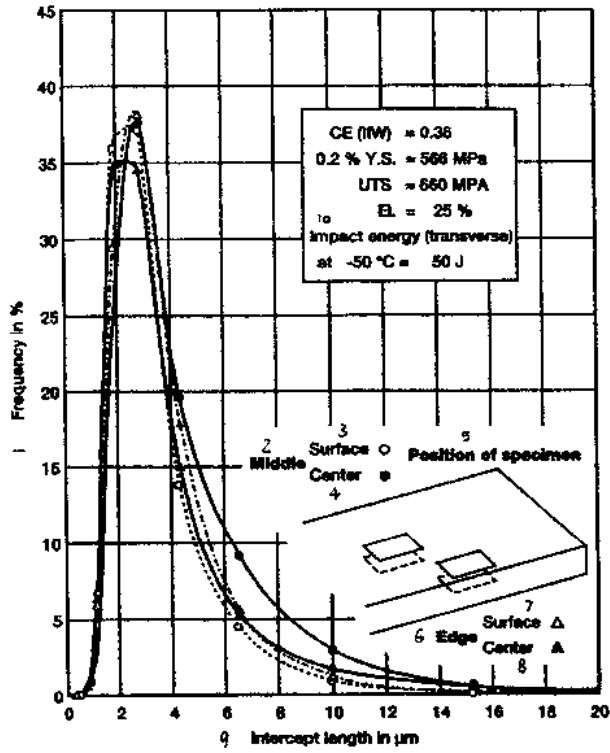


图 7 CSP 热轧带钢 (QStE 550TM) 的晶粒尺寸和物理性能

- 1 频率 2 中央 3 表面 4 中心 5 试样位置 6 边部
 7 表面 8 中心 9 截取长度 μm 10 冲击能 (横向)

熟悉钢组织在薄板坯连铸机、轧机、层流冷却和卷取机上的形成过程，是设计 CSP 工厂及确定所能产生的钢种的前提条件。建立获得 CSP 热轧带钢所需要机械性能的条件，也需掌握这方面的知识，特别适用于扩大对结构和功能要求高的各种使用场合的产品范围。

表面条件是带钢质量的一个重要标准。CSP 带钢满足 DIN EN 10 163 标准规定的表面质量要求。此外，公司内部的标准是日常质量控制的重要内容。为说明 CSP 材料性能，对传统的热轧带钢（StW24）与在同一公司 CSP 工厂投产后的前 7 个月产品的长期平均表面质量进行了比较，（见图 8）。随着日常操作条件的确立和逐步改善，已获得了同传统热轧带钢相当的表面质量。

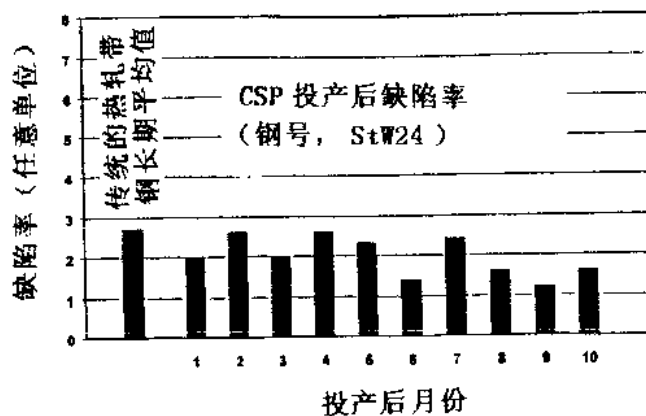


图 8 传统和 CSP 热轧带钢表面质量

4 展望

从过去 10 年获得的经验表明，CSP 技术成功地迎接了扩大产品范围和实现现代化精品生产的挑战。工艺技术的持续发展是先决条件。

目前，薄板坯连铸可以同高炉和转炉工艺相连接也可与电炉系统相连接。另外，混合系统的发展，使电炉能冶炼铁水和废物。CSP 技术与炼钢工艺的结合表明该工艺在未来具有灵活性。

除了采用二次精炼（例如，钢包炉），采用特殊过程，如真空处理等特殊工艺的采用，对未来生产高质量的钢很重要，如超低碳钢、无间隙原子钢和焊管钢。正在超低碳钢的生产条件下对 VOD 脱气槽进行评价。

在铸造范围，液压伺服振动，灵活的轻压下，气雾冷却等满足 CSP 技术更严格的质量要求。正在研究的目标将进一步提高铸速。

最新发展的轧机包括半-无头轧制和 CSP 半连续全过程。另外，除了提高生产能力以外，还带来金属收得率方面的效益。如，“无头带钢”解决了传统带钢头和尾部问题，而且给所有的带钢提供了好的均匀性。因此，通过无头轧制可获得替代冷轧带钢的薄热轧带。

CSP 钢发展的另一趋势是各种热机处理过程，其特点是除了变形之外，通过塑性变形来控制钢的固相反应和产生有

特定物理性能的微观组织。可通过低于再结晶温度的精轧和热加工奥氏体的转变来提高高强度热轧带钢的可成形性。在对再结晶的铁素体进行转换或亚转换时可更有效的获得铁素晶粒的细化。通过超低碳钢和 IF 钢铁素体轧制来获得高质量的 CSP 薄板。以 CSP 工艺发展多样钢（如双相钢）现已开始。

5 结束语

在过去的几年里 CSP 的产品和应用有了很大的发展。

在未来 CSP 技术具有很大的发展潜力。正在通过加强对设备和工艺的研究，尤其是对材料的研究。

发展的目标是不断提高设备的生产率，同时，不断改进带钢质量。现代新型的高性能的材料进入未来发展的产品中。通过发展，采用 CSP 技术生产的带钢，其质量与传统热轧带钢相当，品种更多，生产成本低，在世界范围内的热轧带钢市场占有份额并稳定增长。

周 松 译自《AISE Steel Technology》2000.1

董成茂 校

革新的带钢生产技术

1 带钢生产的可盈利性

直到 80 年代末，带钢的生产技术发展还处于工艺过程孤立的阶段，在铸造工艺中，连铸法的发明和优化均须以示例提出。在热轧和冷轧工艺中，有可能提高轧程安排的灵活性以及在采用板形和平整度控制系统的条件下改进产品的质量。

随着板坯定径压力机在热轧带轧机上的开始应用，减少了板坯规格的数量，从而使总产量增加。在这一点上，两个工艺阶段被合理地 and 最佳地联系在一起。

两个工艺阶段相当紧密地联系在 CSP 铸—轧设备中，在经济上可得到以下好处：

- 降低了投资成本；
- 缩短了坯料运行时间；
- 降低了库存成本；
- 可经济地生产小批量产品；
- 节能。

缩短从液体钢到最终产品整个过程的目标追求使设备工程更加加强，这是合乎逻辑的结论，从而使热轧过程与下游的冷轧和带钢处理设备的最佳连接得到保证。

由于革新技术的注入，目前能生产的热轧带钢厚度种类在若干年前只有冷轧才能生产，这不仅简化了带钢生产工艺，而且节省了生产成本和缩短了坯料运行时间，挖掘了冷轧和带钢处理阶段的潜力。

在以后的几年内将会知道，什么样的热轧产品能完全代替冷轧产品，并对下游产品产生什么影响。

2 热轧薄带钢的市场和生产状况

2.1 钢种和规格

最终厚度小于 2mm 的热轧带钢通常称为热轧薄带钢。值得注意的是，在 1995 年前厚度小于 1.5mm 的带钢生产份额仅占 0.3%，厚度在 1.5 ~ 1.99mm 之间的带钢约占 10% (图 1)

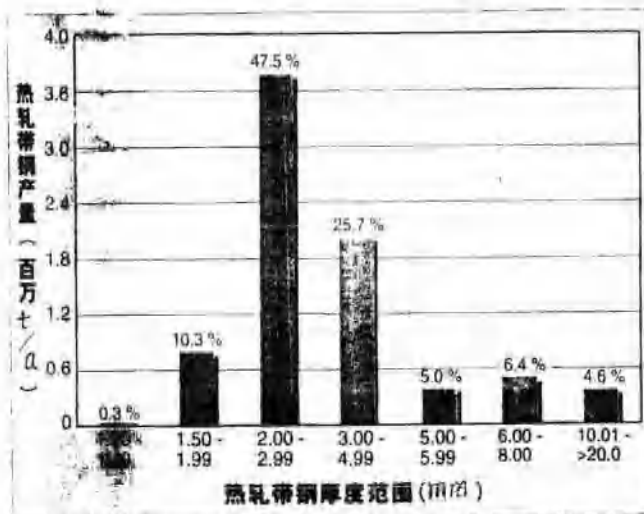


图1 1995年前 热轧带钢产量按厚度分类的典型分布

进一步区分热轧薄带钢的基本特征是材料的质量。如上所述，直至 1995 年，当高强度碳钢（如 C70）的极限厚度