



薄板坯连铸连轧技术工艺特点分析

余光光

北京首钢国际工程技术有限公司

2021年7月29日，乌兰察布，全国连铸会议



报告提纲

- 一. 薄板坯连铸连轧情况
- 二. 薄板坯连铸连轧工艺
- 三. 薄板坯连铸的核心技术
- 四. 结论



一、薄板坯连铸连轧情况

从1989年到现在，截止2020年，全球已经建成70条107流，年产量1.3亿吨，其中中国20条，产能4800万吨。

无头轧制形式的连铸连轧技术已经建成了6条生产线，10条在建，薄板坯连铸连轧工艺的产品占2020年中国热轧带钢的产能21%。



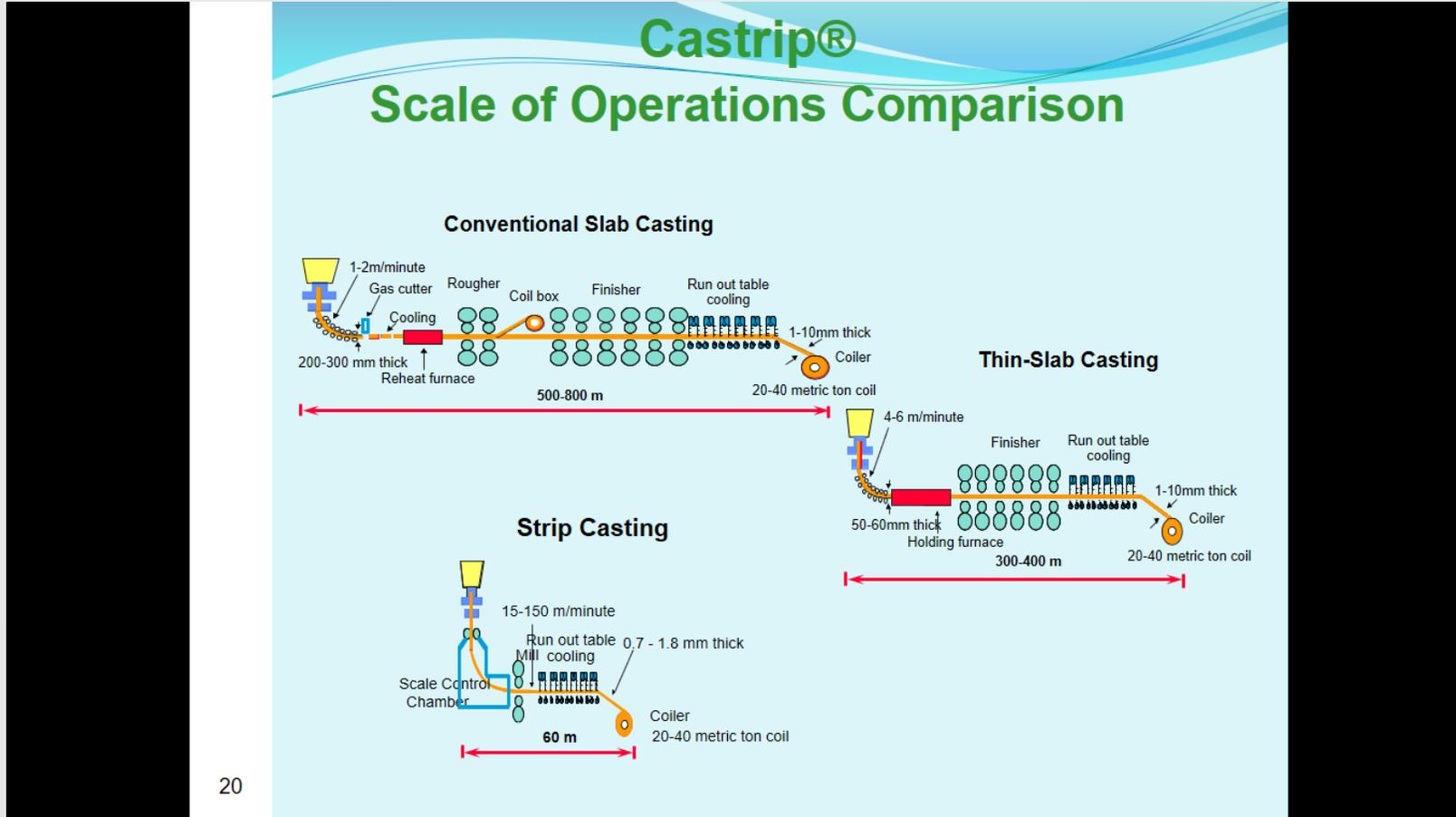
2019年中国钢材产量

钢种	中国产能（万吨）	比例%
螺纹钢	34576	34.7
线材	19812	19.9
热卷	22790	22.9
中厚板	9879	9.9
冷轧	12552	12.6
总计	99609	100

注：华泰证券王海涛博士提供的数据



传统板坯连铸、薄板坯连铸连轧、薄带连铸生产流程对比





二、薄板坯连铸连轧工艺

第一代薄板坯连铸连轧生产线(1989美国纽柯公司)



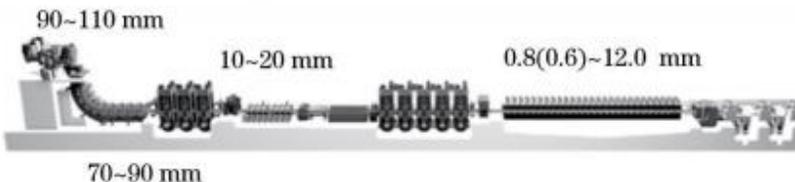
产线长度~300 m
单坯轧制
通钢量: 2.5~3.0 t/min

第二代薄板坯连铸连轧生产线(1999德国蒂森-克虏伯)



半无头轧制
超薄规格轧制
通钢量: 3.3~3.7 t/min

第三代薄板坯连铸连轧生产线(2009 Arvedi ESP)



产线长度<190 m
无头轧制
超薄规格大规模轧制
通钢量: max 6.0 t/min

图1 薄板坯连铸连轧技术发展

Fig. 1 Development of TSCR technology



美国薄板坯连铸钢厂统计

Company/location	Unit	Year	Builder	Steelmaking		Heat size (t)	Dimension (mm)	Capacity (Kt/yr)
ArcelorMittal Riverdale, IL	1	1996	SMS	BOF	LF	85	55 x (940-1600)	900
Nucor Crawfordsville, IN	2	1989/1994	SMS	EAF	LF, VTD	120	50 x (915-1400)	1,600
Nucor Hickman, AK	2	1992/1994	SMS	EAF	LF	150	(50-60) x (914-1625)	2,000
Nucor Berkeley, SC	2	1996/2000	SMS	EAF	LF, VTD	170	(50-65) x (900-1920)	2,800
Nucor Ghent, KY	1	1995	SMS	EAF	LF	180	65 x (1067-1650)	1,500
Nucor Decatur, AL	2	1997	SMI	EAF	LF	180	95 x (915-1625)	2,000
North Star BlueScope, Delta, OH	1	1996/2006	SMI/VAI	EAF	LF	175	100 x (990-1575)	1,900
Steel Dynamics Butler, IN	2	1996/1998	SMS	EAF	LF	150	65 x (915-1625)	2,800
Steel Dynamics Columbus, MS	2	2007/2011	SMS	EAF	LF, VTD	155	67 x (914-1930)	2,900
Big River Steel, Osceola, AK	1	2016	SMS	EAF	LF, RH	150	(55-85) x (900-1930)	1,600
USA total	16							20,000



国内薄板坯连铸连轧生产线统计

表 1-5-28 中国薄板坯连铸-连轧生产线建设状况

序号	钢铁公司	工艺类型	连铸机流数	供货商	铸坯规格 (厚×宽) /mm × mm	产品厚度 /mm	设计年 产量/万吨	轧机	投产日期 /年、月
1	珠钢	CSP	2	SMS	(50-60) × (1000-1380)	1.2-12.7	180	6CVC 机架	1999.8
2	邯钢	CSP	2	SMS	(60-90) × (900-1680)	1.2-12.7	247	1+6CVC 机架	1999.12
3	包钢	CSP	2	SMS	(50-70) × (980-1560)	1.2-20.0	200	7CVC 机架	2001.8
4	唐钢	FTSR	2	Danieli	(70-90) × (1235-1600)	0.8-12.0	250	2+5PC 轧机	2002.12
5	马钢	CSP	2	SMS	(50-90) × (900-1600)	1.0-12.7	200	7CVC 机架	2003.9
6	涟钢	CSP	2	SMS	(55-70) × (900-1600)	1.0-12.7	220	7CVC 机架	2004.2
7	鞍钢	ASP	2	鞍钢	100/135 × (900-1550)	1.5-25.0	250	1+6ASP 轧机	2000.7
8	鞍钢	ASP	4	鞍钢	135/170 × (900-1550)	1.5-25.0	500	1+6ASP 轧机	2005
9	本钢	FTSR	2	Danieli	(70-85) × (850-1605)	0.8-12.7	280	2+5PC 轧机	2004.11
10	通钢	FTSR	2	Danieli	(70-90) × (900-1560)	1.0-12.0	250	2+5PC 轧机	2005.12
11	酒钢	CSP	2	SMS	(52-70) × (850-1680)	1.5-25.0	200	6CVC 机架	2005.5
12	济钢	ASP	2	鞍钢	(135-150) × (900-1550)	1.2-12.7	250	1+6ASP 轧机	2006.11
13	武钢	CSP	2	SMS	(50-90) × (900-1600)	1.0-12.7	253	7CVC 机架	2009.2

序号	钢铁公司	工艺类型	连铸机流数	供货商	铸坯规格 (厚×宽) /mm × mm	产品厚度 /mm	设计年 产量/万吨	轧机	投产日期
14	日钢	ESP	1	普瑞特	(80-110) × (900-1600)	0.8-6.0	222	3+5 机架	2015.2
15	日钢	ESP	1	普瑞特	(80-110) × (900-1600)	0.8-6.0	222	3+5 机架	2015.4
16	日钢	ESP	1	普瑞特	(80-110) × (900-1600)	0.8-6.0	222	3+5 机架	2015.9
合计			31				3946		



专家对三种工艺的分析

A 板坯连铸技术的分类及特点

表 1-1 对板坯连铸工艺进行了分类。由表 1-1 可知,随着铸坯断面厚度的减小,生产线投资减小,生产成本降低,连铸拉速增加,产品范围减小,产品质量下降。

表 1-1 板坯连铸工艺的分类及特点

连铸工艺	薄板坯连铸	中板坯连铸	厚板坯连铸
铸坯厚度/mm	40 ~ 70	90 ~ 150	200 ~ 300
结晶器形状	漏斗型	平行板	平行板
铸速/(m/min)	高,最大 6.0	中,最大 5.0	低,最大 2.5
轧制线主要设备	精轧(4~6架)	粗轧(1~2架)+精轧(4~6架)	粗轧(1~3架)+精轧(7架)
品种	以低碳钢为主	与传统工艺相当	多
质量	较低(特别是表面质量较差)	与传统工艺相当	高
投资	小	中	大

B 薄板坯连铸技术基础评述

结晶器和浸入式水口 SEN 的一体化设计 在连铸过程中,获得良好表面质量的关键是保持结晶器中稳定的弯月面,SEN 的设计是最大的问题,特别是在薄板连铸中,由于铸坯断面的减小,拉速的提高,结晶器弯月面波动进一步加剧,SEN 的发展

快速冷却并不适用所有钢种,主要是以生产低碳钢为主。



薄板坯连铸连铸设备性能对比

	第一代薄板坯连铸连轧	第二代薄板坯连铸连轧	第三代薄板坯连铸连轧
占地长度m	300 (350米)	410-430	190 ESP, 286 DUE
生产率万吨	50-80	280 (单流连铸机120-150万吨)	200,-220万吨
产品厚度mm	1.7-12.7, 中低端	0.8-12.0, 低合金高强度钢、深冲用钢以及硅钢	0.8-12.0
H1/H2	NA	70-90/50-70	90-110/70-90
拉速米/min	4-6	6-7	7.2
通钢量t/min	2.5-3.0	3.3-3.7	6.0-6.5 (95X1219,5.6)
加热炉	无	210米长	DUE-MCCR 80米ESP无加热炉
能耗kg/t	NA	63.06-71.53	75.03



京唐MCCR_DUE和日照ESP无头轧制的主要工艺参数

项目	MCCR-DUE	ESP
连铸机类型	直弧形: R5.5m	直弧形: R5.0m
钢包	200t	300t
结晶器类型	长漏斗或短漏斗	漏斗型
铸坯规格	900-1600X 110/123	900-1600 (900-1300) X70-90/90-110
液芯压下能力	液芯压下/动态软压下; 20mm	液芯压下
在线调宽	700mm	有
最大拉速	6米每分钟	6米每分钟
冶金长度	26.567m	20.14m
加热炉类型、长度	辊底式隧道炉; 长度79.2m	无
感应加热功率	4.3MW X 9组	3.0MW X 12组
轧机布置	粗轧3架+精轧5架	粗轧3架+精轧5架 ^[12]



三、薄板坯连铸的核心技术

- 1.薄板坯连铸结晶器：西马克，达涅利公司漏斗结晶器
- 2.液芯压下技术：采用液芯压下/动态软压下“双模式”，提高钢通量和铸坯质量；在扇形段液芯压下，在凝固末端实现轻压下
- 3.结晶器漏钢预报系统：实时监控结晶器内坯壳的形成情况，能够检测到冷齿、粘结等异常情况，最大限度的避免漏钢事故的发生
- 4.结晶器振动技术：液压振动系统，频率0-600次每分钟
- 5.薄板坯连铸保护渣：满足薄板坯连铸生产需要



第三代薄板坯连铸扇形段压下情况对比

类别技术	CSP	FTSR动态轻压下	双融合
压下位置	扇形段第一段	凝固末端前三个扇形段	坯壳减薄，凝固末端轻压下
目标与效果	减薄铸坯	减薄铸坯改善铸坯质量	改善内部质量和减薄铸坯
优势	减少扇形段受力	内部质量好	减薄铸坯，改善内部质量，延长扇形段寿命
劣势	不能改善铸坯质量	上行段承受力大	



工艺分析:

- 1.DUE-MCCR生产线: 110mm的厚板坯, 连铸速度超过6m/min, 可以生产更广泛的产品。
- 2.三个除鳞点: 在进加热炉、进粗轧机、进精轧机都有一个除鳞点。
- 3.加热炉: 实现钢坯温度均匀, 提高轧制质量。

由于压缩比、增加除鳞点、均匀升温, MCCR工艺可以生产更高质量的钢种, 石油管线钢、高级别高强钢, 但是由于设备增加, 相应的生产成本和投资成本增加。



结论

- 薄板坯连铸连轧是钢铁工业的一个革命性的技术，30%热带产品由该技术生产。该技术降低了生产成本、提高了生产效率，也是降低排放和绿色冶金的技术。钢铁技术、生产、设计部门应该继续开发连铸的核心技术，比如结晶器、电磁制动、二冷、轻压下、保护渣等，扩大品种、提高效率。通过缩短工艺流程，板坯厚度与最终产品厚度进一步减小，流程缩短，钢液到成材的生产周期缩短。



感谢聆听
欢迎提问