

首钢大学连铸技术研讨会

连铸技术的最新进展

1988.
(7.27-7.29)

CONCAST
M. WOLF
A. STILLI

中国金属学会连续铸钢学会 首钢大学



首钢大学连铸技术研讨会 (1988. 6. 27 ~ 7. 9)

连铸技术的最新进展

M. WOLF

A. STILLI

中国金属学会连续铸钢学会 首钢大学

编译、出版说明

由首钢大学和中国金属学会连续铸钢学会一起筹办的当代连铸技术研讨会于1988年6月27日至7月9日在首钢大学举行。这次研讨会，我们邀请了康卡斯特公司连铸专家沃尔夫博士和斯梯利先生分别以连铸冶金学和现代连铸设备的设计考虑为题进行讲学和研讨活动。

这本《连铸技术的最新进展》是根据两位专家提供的资料编译而成的。它反映了连铸技术的最新进展及一些最新研究成果，是一本关于连铸冶金学和连铸机设计方面的比较全面、系统的教材，也是一本可供广大连铸生产、科研、设计和教学工作者阅读的参考书。

这次研讨会和本书的编译、出版工作是在冶金部、首都钢铁公司、中国金属学会、经贸部国际技术经济交流中心的关怀和指导下进行的，也得到了各兄弟单位及热心连铸工作的同志的广泛支持。特别是太原钢铁公司、唐山钢铁公司、衡阳有色冶金机械厂、中国重型机械公司、冶金部重庆钢铁设计研究院、冶金部冶金设备研究所，济南钢铁总厂和重庆钢铁公司、天津钢厂等对本书的出版给予了大力的协助，在此我们表示感谢。马钢公司和邯郸总厂也给予赞助。

中国金属学会连续铸钢学会和首钢大学具体组织了本书的编译、出版工作。全书由史宸兴、葛志祺、万体娅、李万林和王瑞茵同志负责总审校及编辑出版工作。

由于时间紧、工作量大，加上我们水平有限，在翻译、出版质量上肯定存在不少缺点和不妥之处，恳请读者原谅并欢迎批评指正。

编译、出版者

1988年9月

在首钢大学连铸技术研讨会

开幕式上的欢迎词

首先，我高兴地宣布，由首钢大学和中国金属学会连续铸钢学会一起筹办的当代连铸技术研讨会，今天正式开始了。

使我们感到非常荣幸的是，这次邀请到了国际著名连铸技术专家、瑞士康卡斯特公司的沃尔夫博士和斯梯利先生来做重要讲学。沃尔夫博士是我国冶金界同行们的老朋友了，1936年10月曾应邀来过我国讲学。他的学术水平很高，理论造诣很深，实践经验丰富；斯梯利先生对现代连铸设备和工艺技术堪称精深熟练。两位专家对我国的态度友好诚恳，给我们留下了深刻的印象。让我们对他们不辞辛苦，再次来华讲学，表示热烈欢迎。

举办这次研讨会，最早是由首钢公司的主要领导提出来的。首钢改革十年，在经济上，技术上得到了巨大发展，实现利润连年递增20%，当前首钢正大力发展外向型经济，向国际性企业迈进，进入了改革和发展的新阶段。

中国连铸界与康卡斯特集团之间有着十多年的友好往来关系，首钢与康卡斯特标准公司通过紧密而卓有成效的合作，使由两台八流小方坯连铸机组成的世界上最大的小方坯连铸设备在首钢顺利建成投产。这不仅对发展我国的连铸技术起到了巨大的推动作用，而且使我们两个公司在共同工作中结成为密切合作的伙伴。我们深信，今后进一步的合作将具有更加广阔的前景。

这次研讨会得到了各方面的大力支持，在这里，特别感谢经贸部国际经济技术交流中心对这次活动的大力支持。

出席这次研讨会的，除了首钢的连铸工程师们之外，还有来自国内企业、科研，设计以及高等学校的专家，学者。对此，我代表首钢大学对各位表示热烈的欢迎。

我深信，这次连铸技术研讨活动，在大家的积极合作和共同努力下，一定会取得圆满成功。

谢谢！

首钢大学第一副校长 孙永龙

1988年6月27日

前 言

1986年10月我很高兴曾在北京为中国金属学会连续铸钢学会做过为期一周的学术报告。这次首钢大学又邀请我继续进行这种学术活动更使我感到非常荣幸。

自上次讲学以来，无论在中国或是在世界其它地方，我们都能发现连铸技术领域内出现的巨大进展。在此只想提到其中两个明显例子：

一是首钢新炼钢厂的两台八流方坯连铸机，这套世界上最大的小方坯连铸设备在很短时间内建成并成功地投入使用；

另一是最早由康卡斯特集团的奠基者艾尔文·罗西先生于1953年提出的快速下降和缓慢上升的结晶器振动模型最近又重新激发活力，使日本钢管公司福山厂的铸机成为世界上最快的板坯机，实现了3米/分的高拉速，而操作相当安全。

由以上少数实例，可以断定，这次技术研讨班可能成为研究和考察连铸技术最新进步的有效方式。除此之外，这次研讨会还将进一步促进中国连铸界和康卡斯特集团之间已经建立起来的友好关系的发展。在这方面，我们乐于再一次向史宸兴先生表达我们由衷的谢意，是他又促成了这次讲学活动。当然，还要感谢联合国经济技术开发总署对这次技术交流活动所给予的财政上的支持。

预祝这次连铸技术研讨活动和双方的合作取得圆满成功！

M·沃尔夫博士
康卡斯特技术服务公司
技术咨询部付主任

目 录

第一部分 连铸技术的最新进展 (M. WOLF)

I 世界连铸发展概况

- 一、世界连铸机介绍..... (3)
- 二、连铸最初25年的发展和现在的地位..... (3)
- 三、连铸的现状和发展..... (9)

II 钢水供应与分配

- 四、连铸操作——浇注用钢包和中间包..... (18)
- 五、EMLIR下渣指示系统——用于钢包无渣浇注..... (37)

III 冷却和凝固控制

- 六、连续铸钢的凝固控制..... (42)
- 七、结晶器振动和润滑..... (50)
- 八、奥氏体不锈钢铸坯的表面质量..... (56)
- 九、结晶器振动技术的发展..... (83)
- 十、连铸钢的凝固速度..... (95)
- 十一、连铸圆坯用结晶器仪表检测技术..... (147)
- 十二、康卡斯特传热模型——板坯连铸机设计及操作最佳化的有利手段..... (150)
- 十三、铸坯带液心弯曲——康卡斯特连续矫直是最佳解决方案..... (153)

IV 过程技术和产品性能

- 十四、居于领先地位的康卡斯特低头或高头式连铸机技术... (165)
- 十五、连铸技术展望..... (180)
- A部分——扁形产品..... (180)

B部分——长形产品	(196)
十六、连铸特殊钢长形产品所采用的抽检和最少精整方式 ..	(221)
十七、连铸不锈钢综述	(242)

V 连铸未来的发展

十八、连铸技术的回顾与展望	(270)
十九、连铸带钢与薄坯板综述	(287)

附1 直接由液态金属制造连续的可锻铁板和钢板

附2 哈兹莱特铸机是如何连续浇铸薄板的

第二部分 现代连铸工厂的设计考虑 (A. STILLI)

1 序言	(317)
1.1 连铸的历史	(317)
1.2 连铸发展的重要资料	(317)
1.3 比较表和图	(319)
2 规划	(324)
2.1 已知参数	(324)
2.2 钢包尺寸/出钢周期	(324)
2.3 单炉/连炉浇铸	(324)
2.4 钢包尺寸/浇铸时间	(325)
2.5 能力	(325)
2.6 流数	(326)
2.7 浇铸半径	(327)
2.8 作业率	(327)
2.9 平均消耗指标及收得率	(327)
3 浇铸断面/最终产品	(327)
3.1 扁形产品	(327)
3.2 由大方坯生产的产品	(329)
3.3 由小方坯生产的产品	(329)
4 工厂布置考虑	(329)

4.1	总的考虑	(329)
4.2	钢包运输	(330)
4.3	中间包运输	(330)
4.4	产品运输	(330)
4.5	现代连铸工厂的布置	(331)
5	钢水的转运	(332)
5.1	钢包精炼技术	(332)
5.2	钢包转台	(344)
5.3	钢包车	(346)
5.4	中间包车	(348)
5.5	中间包	(351)
6	结晶器	(356)
6.1	板坯结晶器	(356)
6.2	大方坯结晶器	(356)
6.3	远距离调宽结晶器 (RAM)	(357)
6.4	小方坯结晶器	(359)
6.5	结晶器冷却系统	(362)
6.6	结晶器液面控制—Co ⁶⁰	(362)
6.7	结晶器电磁搅拌	(365)
6.8	结晶器振动	(366)
7	铸坯导向	(369)
7.1	板坯连铸机的铸坯导向	(369)
7.2	大方坯连铸机的铸坯导向	(373)
7.3	小方坯连铸机的铸坯导向	(374)
8	拉坯矫直装置	(377)
8.1	板坯连铸机拉矫装置	(377)
8.2	大方坯连铸机拉矫装置	(379)
8.3	小方坯连铸机拉矫装置	(379)
9	引锭杆系统	(380)
9.1	大方坯/板坯引锭杆链式结构	(380)
9.2	小方坯连铸机引锭杆	(382)

10	切割装置	(384)
10.1	板坯连铸机用火焰切割装置	(384)
10.2	小方坯连铸机用火焰切割装置	(385)
10.3	小方坯连铸机用剪切装置	(386)
10.4	切割端面几何形状比较	(387)
10.5	切割系统的比较	(388)
11	小方坯的运输	(389)
11.1	冷床	(389)
11.2	小方坯提升设备	(392)
11.3	热装入轧机	(393)
12	水处理设备	(395)
12.1	用于结晶器的闭路冷却系统	(395)
12.2	闭路冷却系统	(395)
12.3	用于电磁搅拌的开路冷却系统	(396)
13	结论	(396)
13.1	产量——收得率——质量	(396)
13.2	钢包处理站	(397)
13.3	钢包运输	(397)
13.4	中间包车	(398)
13.5	称重系统	(398)
13.6	钢流保护	(399)
13.7	结晶器	(400)
13.8	喷水室	(400)
13.9	拉坯矫直装置	(400)
13.10	切割区	(401)
13.11	引锭杆	(401)
13.12	出坯区	(401)
13.13	自动化	(401)
	参考文献	(402)

第一部分 连铸技术的最新进展

M. WOLF

(康卡斯特技术服务公司)

I 世界连铸发展概况

一、世界连铸机介绍 (见下表)

截止1988、1、1世界上使用①和建设中的连铸机台数和流数

提供者 (按字母顺序)	小方坯		大方坯		板坯		总计	
	机数	流数	机数	流数	机数	流数	机数	流数
康卡斯特集团	228	832	107	393	90	130	425	1355
康梯组	39	119	1	2	—	—	40	121
丹尼利/康梯组	27	92	1	4	—	—	28	96
丹尼利	87	318	24	85	2	3	113	406
德马克—曼内斯曼	69	226	52	192	81	135	202	553
日立造船	—	—	—	—	22	39	22	39
日立有限公司	12	22	4	14	1	1	17	37
尹瑟—意大利潘梯	7	24	8	36	6	11	21	71
神户制钢	9	35	8	28	6	11	23	74
麦康—阿贝德 (KSW)	2	12	6	34	—	—	8	46
三菱	62	209	14	41	1	1	77	251
罗克普	24	71	6	22	—	—	30	93
瓦卢雷	5	7	5	17	—	—	10	24
泰克尼卡②	17	24	3	5	—	—	20	29
苏联	8	33	43	176	61	107	112	316
奥钢联	15	67	10	44	32	44	57	155
其它	75	203	61	198	45	61	181	462
总 计	696	2294	353	1291	347	543	1396	4128

注① 包括暂时停止操作,但仍处于使用状态的铸机

② 特殊试验性铸机

二、连铸最初25年的发展和现在的地位

一、连续铸钢的发展简史

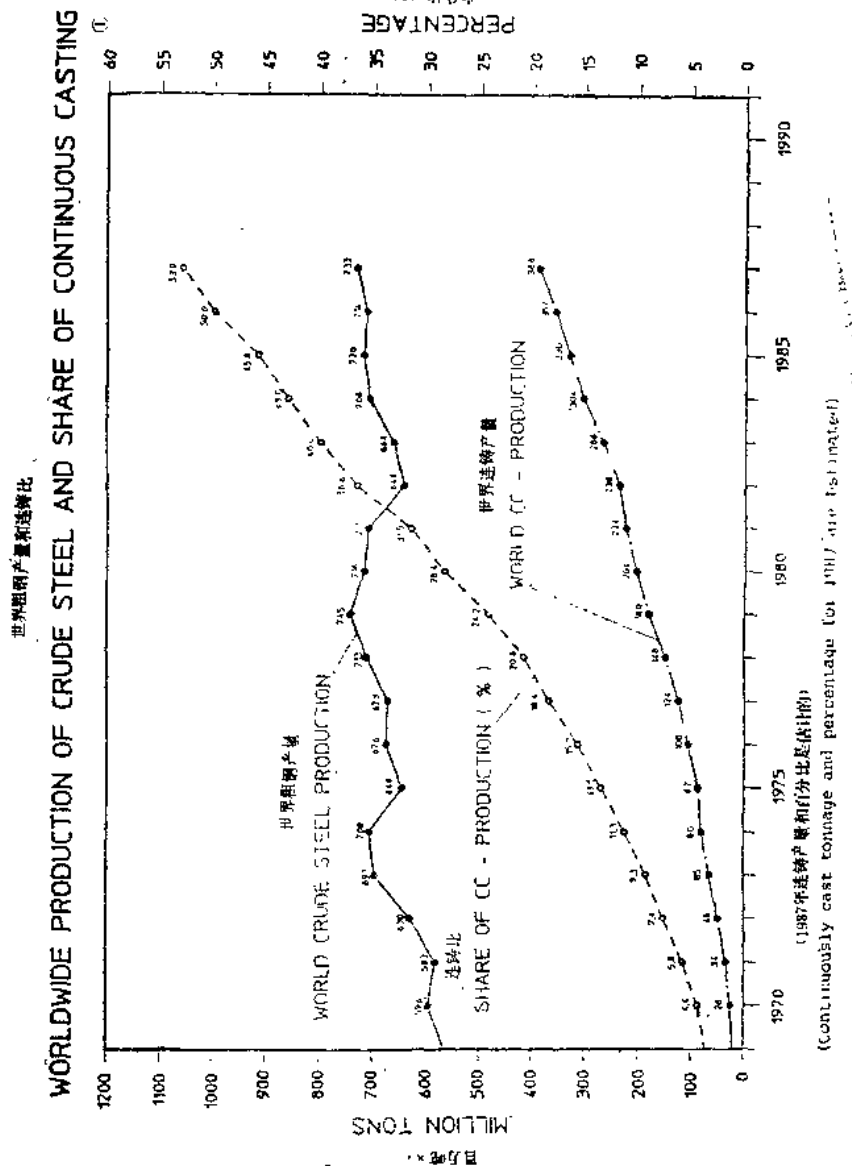
连续浇铸液体金属的最早概念是19世纪中叶提出的。由于当时技术设备的限制, Sel-

fers (1840)、Lainy (1843) 和 Bessemer (1846) 提出的一些设想只能用于低熔点有色金属的浇铸上。最早关于与现代连铸机相类似的连铸设备的建议是1887年由德国人 R. M. Daalen (戴兰) 提出的。在他们的设备中已包括水冷结晶器, 上下口敞开的结晶器、液体金属流注入、二次冷却段, 引锭杆、夹辊和铸坯切割装置等。

虽然, 很早就认识到被浇铸的金属和结晶器间必须有相对运动。例如在由美国人 J. Lainy (1843) 和瑞典人 A. H. Pehrson (1912) 提出的专利中就已经包括了与此有关的特征。但是, 直到1933年现代连铸之父——容汉斯 (Siegfried Junghans) 开发并取得他的结晶器振动系统专利时才奠定了工业上大规模采用连续浇铸原理的基础。在第二次世界大战之后, 在世界上才建设一些试验和半工业试验性设备。在最早的一批铸机中, 1946年在英国劳莫尔 (Low Moor) 厂安装的是一台立式连铸机。1947年英国钢铁研究学会 (BISRA) 开始考虑用弹簧支撑的结晶器进行浇铸。而在1948年, 美国巴布考克—威尔柯克斯 (Babcock & Wilcox) 试验了一台用间歇式拉坯方式的立式铸机。1949年奥地利利用固定式结晶器开始从事试验研究。同一年, 容汉斯在德国而阿·勒德隆 (Allegheny Ludlum) 钢公司在美国用装有容汉斯振动系统的立式铸机上开始浇铸。按容汉斯计划建起的另一台铸机也于1950年在德国杜伊斯堡——胡金根的曼内斯曼投入生产。后来, 结晶器振动成了连铸机的标准操作动作。

从50年代开始, 连铸技术以一种日益增长的速度向前发展。现在, 已有5000多个有关连铸的不同的专利。下面列出连铸技术发展过程中的某些重要资料:

- 1950 容汉斯在结晶器下方的铸坯上做电磁搅拌的试验
- 1951 苏联在红十月厂建成工业性立式半连续铸机
法国在卢瓦尔锻造公司用振动结晶器做试验
- 1952 英国巴路钢厂建一台工业生产型立式小方坯连铸机 (康卡斯特提供)
欧、萨波尔 (O. Schaaber) 获得关于在一个弧形结构中进行连铸的专利
- 1953 德国曼内斯曼做结晶器电磁搅拌试验
- 1954 取代以往用的倾翻钢包, 连铸采用了一个塞棒操作的35吨钢包, 4流中间包也用塞棒控制 (西德曼内斯曼)
加拿大阿特拉斯钢厂建成一台立式板坯连铸机用于浇铸不锈钢板坯 (康卡斯特提供)
- 1956 英国巴路钢厂在立式连铸机上将垂直铸坯在夹辊以下弯成水平方向出坯 (康卡斯特——哈里德)
- 1958 奥地利百录钢厂浇铸了1 m宽的板坯 (曼内斯曼—德马克一百录)
- 1959 意大利特尔尼建成一台8流小方坯连铸机, 用塞棒操作的钢包和中间包 (曼内斯曼—德马克一百录)
- 1961 西德迪林根厂建成立弯式板坯机 (康卡斯特)
- 1962 法国SAFE和德国曼内斯曼采用保护渣浇铸
钢包回转台取得专利 (康卡斯特)
西德曼内斯曼建成多用途连铸机, 可浇4流板坯 (最大宽度1500mm), 或8流大方坯或8流小方坯或圆坯



- 1963 曼内斯曼 (西德) 建成 $200 \times 200\text{mm}$ 弧形结晶器的弧形连铸机
 瑞士冯·莫斯厂建成弧形小方坯连铸机 (康卡斯特)
 法国卢瓦尔锻造公司建成实心圆坯离心连铸机
- 1964 西德迪林根厂建成宽板坯弧形连铸机 (康卡斯特)
 西德曼内斯曼 2100mm 宽的逐渐矫直的弧形板坯机 (曼内斯曼—德马克)。第一台具有扇形段结构的超低头式铸机 (铸机总高度 4m)。
 西德曼内斯曼建成生产规模的空心圆坯连铸装置
 英国巴路钢厂研制成自动中间包塞棒控制系统 (康卡斯特)

- 英国谢尔顿钢铁厂实现100%全连铸（康卡斯特）
- 1965 西德埃斯维勒一矿冶联合企业建成弧形圆坯连铸机（曼内斯曼—德马克）
法国东方优质钢公司和西德曼内斯曼采用浸入式水口浇注
美国由奥尔森（Olson）提出逐渐弯曲矫直技术
- 1966 西德曼内斯曼采用钢包钢流保护，西德曼内斯曼板坯连铸机内采用多辊驱动的矫直机
西德曼内斯曼试验压缩浇铸方法，康卡斯特在结晶器下面采用冷却板代替辊子
- 1967 西德曼内斯曼采用快速更换的铸坯导向段（板坯台架加上第一段扇形段）
西德曼内斯曼在一台板坯连铸机上采用公用结晶器进行双流连铸
芬兰采用苏联技术在劳塔鲁基钢铁公司新建一个全连铸钢厂
- 1968 加拿大阿尔哥马公司建设工字型坯连铸机（康卡斯特，BISRA技术）
奥钢联在一台连铸机上采用钢包回转台
美国麦克劳斯钢公司将连铸板坯热装入感应式加热炉
美国通用电机公司（General Motors）和英国戴维—劳维公司建成半工业性水平连铸机
- 1969 西德曼内斯曼用120°广角喷水嘴进行试验（曼内斯曼—德马克—莱希勒）
永久性引锭头（康卡斯特）
- 1970 美国钢公司格里厂使用压缩浇铸技术，瑞典奥克洛南松德公司采用冷却格栅（结晶器下方）代替导辊（康卡斯特）
美国通用电机公司和英国戴维—劳维公司建成生产性水平连铸机
- 1972 日本新日铁广畑厂引进浇注时宽度可调的分段式板坯结晶器
日本神户制钢在结晶器下方采用步进梁代替导辊
西德裴内—萨尔吉特采用带升降系统的钢包回转台（曼内斯曼—德马克）
西德裴内—萨尔吉特采用上装式引锭杆系统以减少上引锭时间
- 1974 西德曼内斯曼公司采用气水雾化喷嘴（曼内斯曼—莱希勒）
法国东方优质钢公司在结晶器下方采用生产性电磁搅拌装置（SAFE—IRSID—CEM）
- 1975 西德曼内斯曼采用高压箱保护钢包钢流防止二次氧化
- 1976 日本川崎制钢水岛厂建成特大型板坯连铸机，最大宽度达2500mm，（康卡斯特），西德曼内斯曼使用辊子对正、辊子弯曲及轴承阻力等多功能用途的辊子检测装置（曼内斯曼——雅加德）
日本新日铁大分厂板坯连铸机月产能力超过25万吨（曼内斯曼—德马克—日立造船），日本川崎制钢水岛厂采用浇注时调宽的无级调节板坯结晶器
- 1977 西德EBV生产上使用结晶器内电磁搅拌（Rotelec许可证）
- 1979 计算机质量检控系统（曼内斯曼—德马克）
- 1981 日本新日铁堺厂设计了用于连铸—直轧过程的板坯连铸机
- 1982 西德曼内斯曼月产超过10万吨的高效弧形圆坯连铸机
- 1985 西德曼内斯曼采用“干式浇铸”生产钢板钢，只在结晶器下方使用0.05l/kg钢的水

日本钢管福山厂连铸机最大拉速2.5m/min, 平均拉速 $>2.0\text{m/min}$ 的高速板坯机。

这份连铸技术发展和改进的历史事件表当然是不完整的, 但若要求把每一发展阶段逐一列出明细, 则将超越了报告的范围。

二、连铸的历史发展

- 1840 美国人G.E.塞勒斯 (Sellers) 第一个在一台连铸铅管的装置上获得一项专利
- 1843 另一项关于连铸铅管的专利由J.兰 (Lang) 所获得。J. Lang已经提到芯棒的运动以防止浇铸材料粘结
- 1846 贝塞麦 (H. Bessemer) 的双辊浇注的方法收入英国专利, 利用这项专利主要生产玻璃。也用于生产锡带卷以及其它金属
- 1856 H·贝塞麦宣布使用旋转辊连续浇铸可锻生铁业取得专利
- 1857 H·贝塞麦认识到防止浇铸材料粘到浇注辊子上的必要性
- 1872 英国人W·威尔逊和E·泰勒最先提出了用运动结晶器进行连铸的想法。
- 1886 美国人B·阿泰亚 (Athea) 提出了立式浇铸钢的基本原理。据说按照他的间歇式方法设计的铸机一直操作到1910年
- 1889 德国人M·达兰设计了一台立式连铸机很类似于今天仍在使用的立式连铸机
- 1912 在瑞典A·H·皮尔逊认识到结晶器沿铸坯方向振动的优越性
- 1915 连铸远在工业化之前G·麦兰 (Mellan) 就考虑到向结晶器内注入金属自动控制的问题 (根据金属液面来控制)
- 1921 C·W·凡·兰斯特 (Van Ranst) 提出铸坯与结晶器间连续进行相对运动的建议
- 1933 现代连铸之父、S·容汉斯提出非谐波振动模型, 它不影响铸坯和结晶器间的热传递
- 1933 容汉斯在德国建成一台按立式浇铸过程使用敞口结晶器的工业性生产黄铜的连铸机。月产量已达到1700 t 黄铜
- 1935 美国斯考维尔制造公司投产一台连铸黄铜板的设备, 采用浇注辊的方法, 该设备用到1937年
- 1936 西德Vereinigte轻金属厂投产一台半连续浇注铝合金的设备
- 1938 苏联建成一台使用运动结晶器的所谓高尔达宾式半水平式铸钢机 (倾斜式)

30年代末

容汉斯把某些非德国许可证的权力转给了纽约的罗西

二次世界大战后, 容汉斯和罗西的合作导致了建立康卡斯特公司 (在瑞士)。另外, 容汉斯还为两个德国公司 (曼内斯曼和德马克) 在连铸领域内的活动打下了基础。由此, 才在后来出现了当今的DST (德马克连铸技术有限公司), 并成为世界上第二大连铸设备供货商

- 1943 容汉斯建立了初期连续铸钢试验装置
- 1946/47 第一批连续铸钢试验装置分别建于美国的巴布考克和威尔考克斯公司, 英国