



国外连铸新技术

(译文集)

三

冶金部情报研究总所
钢铁杂志编辑部

1985. 北京

前 言

《国外连铸新技术》文集是冶金部科技司为配合“七五”期间大力发展连铸技术而组织出版的。本文集（三）是前已出版的两辑的续编。

本集内容丰富，着重介绍国外特殊钢连铸新技术，包括：特殊钢连铸及铸坯质量的改进、水平连铸、连铸用耐火材料、电磁搅拌、连铸过程的自动化检测技术、连铸技术的现状及发展，以及其他等七大部分共92篇文章。文章系从近年来的国际会议论文、国外冶金期刊等重要文章中精选出来的，每篇译文均请专家评审和专人译校。我们期望本文集的出版能对我国特殊钢连铸技术的发展起到一定的推动作用。

本集由冶金部情报研究总所组织钢铁研究总院、北京钢铁设计研究总院等有关同志参加翻译和译校，阎峰、林慧国、朱文佳同志参加主编和汇总工作，钢铁编辑部全体同志担任编辑、出版和发行工作。由于编者水平所限，不当或错误之处，欢迎国内专家和广大读者批评指正。

编者

1985年12月

目 录

一、特殊钢连铸及铸坯质量的改进

1. 特殊钢连铸的发展 Richard W. Welburn (1)
2. 特殊钢的连铸 奥野 穰 等 (10)
3. 特殊钢小方坯连铸的设备构造、工艺技术和质量控制
..... Karl-Heinz Heinen 等 (19)
4. 特殊钢小方坯连铸的冶金基础及工艺基础 H. P. Jung 等 (25)
5. 特殊钢小方坯连铸机 Martin Buch 等 (32)
6. Conquest工程使英国钢铁公司Stocksbridge厂
位于连铸技术的前列 Brian Cooper (39)
7. 用大型连铸方坯生产优质线材 M. Kitamura 等 (45)
8. 连铸特殊钢在汽车部件上的应用 山口国男 等 (54)
9. 板、棒、线材用特殊钢的连铸技术 大矢 龍夫 (62)
10. 不锈钢连铸中的冶金问题 T. Kuwano 等 (65)
11. 连铸不锈钢的表面缺陷 J. Choné 等 (72)
12. 连铸不锈钢板坯表面质量的改进 竹内英磨 等 (82)
13. 含钛不锈钢连铸“板坯的表面质量”及“中间罐水口堵塞”的改善
..... M. Hasegawa 等 (88)
14. 结晶器振动条件对不锈钢连铸板坯振痕的影响 竹内英磨 等 (95)
15. 奥氏体不锈钢连铸板坯振痕部正偏析带的实际状态及生成机制 竹内英磨 等 (100)
16. SUS304不锈钢连铸板坯表面质量的改进 户沢宏一 等 (102)
17. 不锈钢连铸板坯无清理轧制 安沢敬次等 (104)
18. 关于无清理轧制的不锈钢板坯连铸时改善结晶器液面渣壳形成的基础研究
..... 小林芳夫 等 (106)
19. 不锈钢圆坯表面质量的改善 铃木康夫 等 (108)
20. 不锈钢圆坯形状的改善 柳井隆司 等 (110)
21. 不锈钢圆坯的连铸设备 才木孝 等 (112)
22. 连铸含钛不锈钢时结晶器液面渣壳形成的原因 Ake Bergman (114)
23. 连铸特殊钢钢种的扩大 平田 宏 (117)
24. 40CrNi钢小方坯(0.082×0.082米)的连铸 Г. Ф. Чистяков 等 (120)
25. 电机钢连铸工艺的改进 Ю. И. Иванов 等 (123)
26. 30Cr13连铸方坯的最佳冷却制度 В. В. Соколов 等 (125)
27. 24%Mn钢的连铸 福味纯一 等 (130)
28. 轴承钢连铸坯枝状晶的特点 Г. В. Ляшенко 等 (132)
29. 高碳钢连铸方坯中的宏观偏析 Nitin A. J. Shah 等 (135)
30. 浇铸条件对高碳钢(1.2%C)板坯表面质量的影响 青柳 遼 等 (145)

31. 低碳的硫易切削钢的连铸生产及其质量特性.....西村 隆 等 (147)
32. 乌兹别克钢铁厂电炉钢的冶炼和连铸 工 艺.....Ю.Е.Кан 等 (155)
33. 连铸大方坯内部质量的控制.....Motohiko Nakatani 等 (157)
34. 在部分等轴晶和部分柱状晶组织的连铸板坯中硫化物和氧化物
夹杂的分布.....H. Jacobi K. Wünnenberg (165)
35. 名古屋厂的板坯连铸机改造后生产率和质量得到改善.....K. Chihara (170)

二、水 平 连 铸

1. 水平连铸的开发和冶金特点.....Takasuke MORI 等 (180)
2. 水平连铸机的技术和经济状况.....Peter Voss-Spilker 等 (186)
3. 日本钢管公司新型水平连铸方法的发展和工业化.....T. Koyano, M. Ito (193)
4. 小铸坯水平连铸机的设计特点.....Heribert A. Krall 等 (200)
5. 奥钢联水平连铸机设计.....G. Holleis 等 (207)
6. 用于生产方坯的水平连铸机设计要点
.....Heribert A. Krall 和 Horst Huber (217)
7. 伯勒公司特殊钢水平连铸的发展状况.....Manfred Haissing 等 (224)
8. 特殊钢水平连铸的生产实践.....Von P. Stadler (230)
9. 水平连铸小方坯的质量特性.....宫原忍 等 (234)
10. 结晶器电磁搅拌对水平连铸坯质量的改善.....綾田研三 等 (242)
11. 水平连铸坯中纵裂纹的消除.....О. А. ШАТАГИН 等 (243)
12. 水平连铸不锈钢圆坯的凝固组织.....梅田洋一 等 (245)
13. 水平连铸适用钢种的扩大.....鶴 雅広 等 (247)
14. 水平连铸的结晶器内润滑.....安中弘行 等 (249)
15. 水平连铸机结晶器寿命的提高.....В. Т. Сладкомстеев 等 (251)

三、耐 火 材 料

1. 连铸用耐火材料最近的趋势.....片瀬伝治 等 (252)
2. 连铸机中间罐用耐火材料的改进.....副島利行 等 (312)
3. 中间罐用发泡式涂层材料的开发及其应用结果.....紫田充藏 等 (317)
4. 中间罐用滑动水口.....加藤隆弘 等 (322)
5. 关于降低连铸用耐火材料单耗的问题.....永井春哉 等 (332)
6. 连铸用耐火材料与铸坯质量.....恆生泰弘 (338)
7. 不锈钢连铸用耐火材料的改进.....中田忠馬 等 (346)

四、电 磁 搅 拌

1. 连铸电磁搅拌效果的述评.....N. A. Shah 等 (348)
2. 连铸结晶器电磁搅拌.....M. Gray 等 (354)
3. 板坯连铸机电磁制动装置.....Anders Halldin (361)
4. 在新的大方坯连铸机上使用先进的弱搅拌.....Seiichi Kojima 等 (365)

5. 采用电磁搅拌法提高连铸坯的质量.....H. H. Дружинин 等 (370)
6. 用连铸结晶器电磁搅拌工艺改善产品的清洁度.....Ch. Roederer 等 (373)
7. 电磁搅拌对连铸铁素体不锈钢和高碳合金钢质量的影响.....T. Iton 等 (382)
8. 采用新的组合式电磁搅拌改善高碳钢的中心偏析.....喜多村実 等 (390)
9. 采用结晶器电磁搅拌进行沸腾钢的连铸.....竹内荣一 等 (395)

五、自动化检测技术

1. 连铸过程的控制与自动化.....Arlette Etienne 等 (405)
2. 连铸机新型电极式结晶器内液面计的开发.....今田 紘 等 (415)
3. 连铸坯热表面探伤技术的开发.....山根弘卿 等 (423)
4. 涡流式热连铸坯探伤装置的开发和操作.....奥村治彦 等 (425)
5. 连铸中浇铸异常监视系统的开发.....瀬良泰三 等 (427)
6. 连铸板坯热状态下缺陷检测方法的开发(一).....小森重喜 等 (429)
7. 连铸板坯热状态下缺陷检测方法的开发(二).....小森重喜 等 (431)
8. 感应加热式缺陷检测装置对热铸坯缺陷的检测能力.....射手由雄 等 (433)

六、连铸技术的现状及发展

1. 连续铸钢的研究成果.....Heinrich Rollermeyer 等 (435)
2. 日本的连铸技术(一).....W. Resch L. Fiege (446)
3. 日本的连铸技术(二).....W. Resch L. Fiege (452)
4. 连铸-直接轧制用连铸机的设计及其操作.....S. Hachiya 等 (457)
5. 优质钢大方坯连铸机设计的新发展.....H. J. Reuter 等 (471)
6. 直接铸轧法生产钢铁板材.....Takaji Kusakawa 等 (475)
7. 连续铸钢新方法.....科夫工程公司 (476)
8. 法国圣-索夫钢厂圆坯旋转连铸的实践经验和质量效果
.....J. L. Tranchant 等 (479)
9. 不同钢种多炉连浇法的研究.....山口 逸 等 (489)
10. 高钛钢的多炉连浇技术.....西川 廣 等 (491)

七、其 他

1. 保护渣连铸.....K. И. Багрянцев 等 (493)
2. 保护渣成分对连铸坯表面质量的影响.....Г. А. Николаев 等 (498)
3. 连铸生产中气水冷却技术的现状及其与普通水冷系统的比较
.....Kruger Bernhrad 等 (501)
4. 连铸用气水冷却技术的开发.....三塚 正志 等 (510)
5. 梅花形断面连铸坯中心疏松的凝固和形成条件的研究.....В. В. СоболеВ 等 (518)
6. 连铸在线钢流真空处理法.....Г. А. Соколов 等 (523)
7. 连铸机结晶器喷镀Ni - Cr技术的应用.....堀勝廣 等 (526)
8. 连铸机上铸坯立式脉冲剪切机刀型的改进.....Г. Ф. Чистяков 等 (528)

1. 特殊钢连铸的发展

Richard W. Welburn

一、连铸的应用

五十年代, 与英国 Barrow 进行开创性工作的同时, 连铸工艺在一些国家被采用。但是, 直到六十年代才在世界范围内开始采用, 只是到了七十年代, 该工艺才受到重视、得到发展。图 1 总结了一些欧洲国家与日本连铸比的比较。在七十年代中期, 英国私营工厂的连铸也有所发展, 但就整个英国来说 (与欧洲和日本相比), 发展比较缓慢, 原因是英国钢铁公司 (BSC) 内部很少应用该工艺。

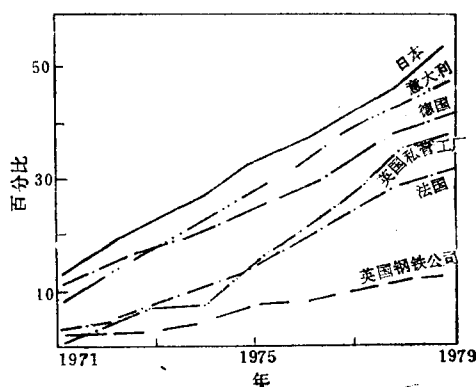


图 1 日本与欧洲的连铸比

二、英国钢铁公司特殊钢分部

图 2 示出了 1979 年以来, 采用连铸工艺的变化情况。

从图中可看出, 连铸的应用在日本一直在增加, 欧洲国家依然跟在日本后面, 英国连铸开始发展。但是, 1981 年英国钢产量中只有 30 % 是用连铸法生产的。美国更落后于欧洲和日本。

在七十年代末期, BSC 在采用连铸技术方面落后于其他国家。这很不利于在世界市场上进行有效的竞争, 但也有有利的一面, 即其他公司都面临着设备投产的困难, 而且还处于进行许多的研制工作阶段。这时, 特殊钢连铸生产开始发展, BSC 特殊钢分部决定对整个连铸技术作一客观评价, 并在此基础上进行设备设计。最初, 该公司先对从欧洲和北美钢公司买进的 2000t 铸坯料的质量作了估价。

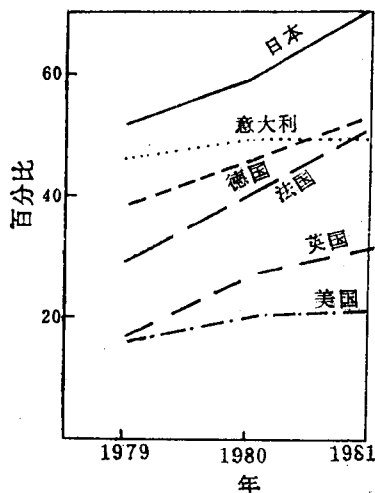


图 2 1979 年以来的连铸比

在研究连铸法生产的钢种类型的同时, 该公司还特别注意了连铸技术的新发展。本文就以下几方面论述: 电磁搅拌; 改进保护措施以避免钢与大气接触; 生产钙处理铝镇静钢; 以及计算机程序控制方法。

BSC 特殊钢分部在做了这些估计之后, 决定在 Rotherham 厂安装一套新型小方坯连铸机, 并在 Stocksbridge 厂再安装一套。表 1 汇总了这两套连铸机的详细数据。

表 1 BSC特殊钢分部的连铸设备

Rotherham 厂	6流 8m半径 120/150t钢水罐 100~140mm 小方坯 1981年2月投产
Stocksbridge 厂	4流 立式 100~180mm小方坯 $\phi 115\sim 200\text{mm}$ 圆坯 1982年5月投产

三、特殊钢连铸的工艺发展

1. 钢流保护

过去, 钢水从钢水罐到中间罐, 从中间罐到结晶器均为无保护浇注。在这种操作实践中, 钢流和结晶器都暴露在大气中, 从而导致氧化并形成过多的夹杂物, 影响了钢的清洁度。显然, 改进方法是在钢与大气之间安装一种物理性的隔层, 如耐火管。该管一端与钢水罐连接, 另一端浸入到中间罐钢液面以下, 到结晶器内的形式也一样。浸入式水口通常用石墨化氧化铝或二氧化硅耐火材料制成。这样, 当浇铸140mm或更小的小方坯时, 便会产生特殊的问题。尽管耐火技术已经发展, 从而使耐火材料的厚度减薄了, 但还是至少有50~60mm的直径, 这样, 浸入式水口到结晶器壁之间的距离就只有30mm了。浸入式水口与水冷铜结晶器之间的距离太小, 因而钢水弯月面很容易全部凝固并可能终止浇注。因此, 小方坯连铸的发展以其它方式防止了从中间罐到结晶器之间的氧化。方法之一是采用内部充氩气的封闭式保护罩, 但是这种全封闭保护罩限制了中间罐和结晶器内的能见度, 给操作带来了困难。

另一种方法是采用液氮保护罩, 这种方法最初用于Rotherham厂的连铸机上。紧接在中间罐下面的分配环把液氮均匀分布, 由于液氮与钢水非常接近, 而迅速挥发, 产生一种可以使钢流不接触大气中氧气的保护气体。但是, 在浇注过程中, 浇注设备需保持冷却, 无烟气。因此, 要对浇注设备进行鼓风。鼓风的方向是把氮往上往下吹, 因而该系统的有效率尚待考证。

BSC特殊钢连铸机现在采用的装置是一根简单的钢管, 里面装有一块多孔的耐火材料。隋性气体从两个分隔的进口吹进, 以高压和高流量通过多孔的耐火材料, 气体上下垂直运动, 保护该装置上下的钢流。多孔耐火保护管正好伸到中间罐底部以下, 结晶器顶部以上, 因而很容易将该装置放置在操作位置上。作为一项质量控制措施, 要在保护装置以上或以下检测氧含量, 以保证氧含量在生产合格铸坯所规定的参数以内。

图3对液氮和气体保护装置作了比较。用液氮时, 钢流附近的氧含量达到10%, 与气体保护法相比是很差的。而用气体保护时, 钢流周围的氧含量一般在0.5%左右, 最多达到1%。要控制质量, 有效的保护措施应能使钢流周围的氧含量保持在1%以下。

2. 温度分布

成功地进行连铸生产的另一个重要因素是对温度的控制。要严密控制进入结晶器的钢水

温度。另外，铸坯表面沿长度方向所有位置上温度的分布至关重要。最后，从铸坯中心到表面所有位置上温度的分布也是重要的，它可以防止产生热应力所造成内部裂纹。因此，对各种类型的连铸操作来说，温度分布都是一个关键问题，温度的控制需采用自动系统。在Rotherham厂，结晶器中钢液面的温度是自动检测的，并通过调节铸坯拉矫的速度使钢液面保持稳定。改变拉矫速度时可通过一个计算机系统，同时可改变结晶器下面三个相互分隔的冷却区中任何一个的喷水量。

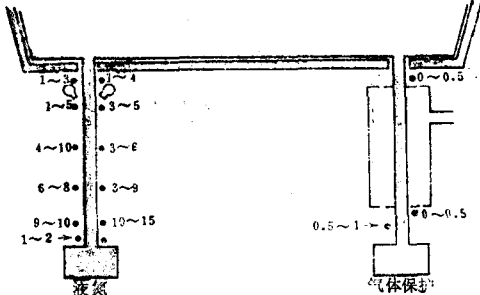


图3 液氮和气体保护装置有效率的比较
以氧含量的百分比表示

3. 计算机过程控制

现代化连铸设备主要是带有视觉显示装置的计算机控制，操作人员可以检测到该设备的任何部位。例如，可以检查吹氩站钢水的处理情况（吹氩是为了控制钢水的温度绝对值并尽量减少钢包内温度的变化）。模拟显示器可显示出通过清洗喷枪的瞬时氩流量或所用的总氩气量，以及钢包中渣的深度和钢水的重量。计算机记录下吹气开始和结束的时间，并显示出炼钢时的钢水化学成分的范围以及在整个工艺过程中某一特定工序上从钢包内取钢水样的成份分析。

可用计算机控制系统显示并控制从钢水罐到中间罐的浇注操作，方法是检测中间罐内钢水的重量并据此自动调节钢水罐的滑动水口。在结晶器内，结晶器延伸区、第一水冷区和第二水冷区测得用于各注流的水流量，同时显示出每个注流浇注的钢水量。各注流的速度被自动记录下来，目的是控制速度和估计钢包排空的时间。现代化连铸机生产的所有铸坯都可以由计算机系统跟踪，在BSC特殊钢分部，各种铸坯都有各自的标志，标有罐号、各自的注流号以及一注流上特定铸坯的序号。

4. 水口堵塞

连续浇注小方坯时，水口直径为14~16mm。如钢水中含有氧化铝，这些夹杂物就会粘附在水口壁上，沉淀物逐渐增加而堵塞水口，使浇注速度逐渐下降，直到完全不能浇注。

图4示出的一些浇注参数可影响浇注时水口不堵塞的能力，这些参数是钢中铝含量以及水口的尺寸。可看出，用于特殊用途的晶粒细化钢的铝含量一般为0.02%，水口直径需要大

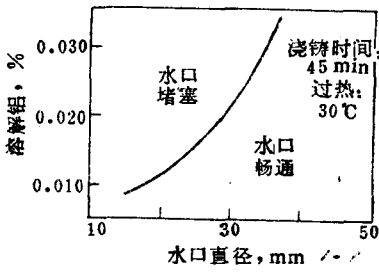


图4 影响水口堵塞的浇注参数

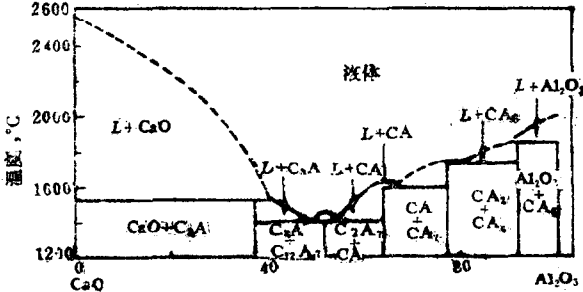


图5 CaO—Al₂O₃平衡相图

于30mm，以便水口在整个浇注过程中畅通无阻。如果小方坯连铸机的水口直径约为15mm，中间罐内钢水的铝含量最多不得超过0.006%。过去，生产含铝的晶粒细化钢，是采用先保持铝含量低于0.006%，然后再向钢水弯月面喂铝丝的方法。这种方法造成的问题是铝（一种有效的脱氧剂）在炼钢的最后阶段加入，加入铝形成的氧化铝夹杂物很容易裹在钢水里，而生产出不清洁钢。

小方坯连铸生产的重大发展是通过采用直径为15~16mm的水口浇注铝含量为0.02~0.03%的钢水。通过钙化处理改变了粘附在水口壁上的氧化铝夹杂物。图5为石灰-氧化铝的相图，纯氧化铝的熔点约为2000°C（在炼钢和浇注温度下为固体）。但是，如果氧化铝与石灰结合形成约含50%CaO和50%Al₂O₃的铝酸钙，其熔点约为1400°C。这样，铝酸钙在浇注期间为液体，就可以流口水口了。

有两种加钙方法，BSC特殊钢分部均可采用。第一种方法是以硅钙或碳化钙的形成加入分配器中，用氩加压，然后用一根浸入式水口将含钙颗粒吹进钢水罐深处。第二种方法是将一种含硅钙的丝，高速加入钢水罐。在这种情况下，采用吹氩的方法只是为了保证钢中钙的分布均匀。

5. 电磁搅拌

近四年来，电磁搅拌方法（EMS）越来越多地被采用，这是一项重大发展，使连铸钢的质量得到提高。结晶器内搅拌，是在结晶器周围安一个低频电磁感应器，这样，磁力可以渗透在常用频率下（~50周）削弱搅拌作用的铜层。该磁力可使结晶器中的钢液在凝固初期阶段旋转，其优点有。第一，可排除在凝固界面形成的气泡。第二，推动钢水与结晶器更好地接触，从而提高了表面质量并改善了结晶器吸收钢水热量的能力。另外，即使出现夹杂物，也会保留下来，而不随着进入钢水，这样，夹杂物便会浮起，由保护渣裹住或去除。最后要提及的是，EMS结晶器还在凝固初期即开始破坏钢的铸造结构。

BSC Rotherham 厂的小方坯连铸机是世界上第一台从初步设计就考虑到在结晶器内安装EMS装置的设备。直到最近，这台设备仍是世界上唯一的一台六流结晶器内装有EMS装置的连铸机。图6示出了结晶器搅拌对于提高中碳细晶粒钢连铸小方坯表面质量的一些优点。从最终棒材的缺陷长度检验中也可证明这些优点，检验时测定缺陷深度超过棒材直径1%或2%。假定以没有经过结晶器搅拌生产的棒材上超过直径1%的缺陷长度为100，那么从图7中可看出，结晶器内采用了EMS装置，缺陷长度即可缩短到25左右。对较大的缺陷，也有相应的改善。

采用EMS的另一个区域是在连铸机铸坯下方（叫作铸流EMS）。BSC特殊钢分部

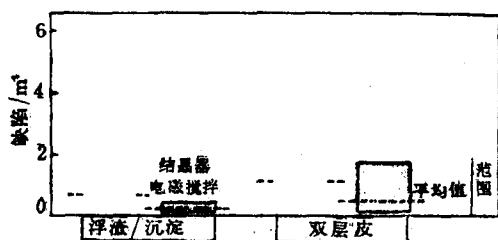


图6 结晶器搅拌对细晶粒中碳钢铸坯表面质量的益处

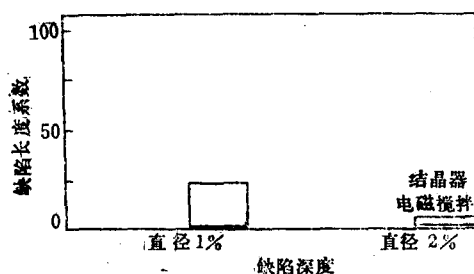


图7 含碳0.35~0.50%钢棒的表面质量

(Rotnerham和Stocksbridge厂)在每流的二次冷却区都安装有一个线性搅拌器。钢经过搅拌区时,线性搅拌器驱使钢水向上运行,正铸流的另一面返回。与逐渐增长的树枝状晶体相对的钢水运动可将小颗粒洗出或从界面熔化。再向铸流下方走,这些颗粒可以长大以造成等轴凝固。在BSC Rotherham厂,二次搅拌器的位置可以在钢水弯月面以下2.6m、3.9m或5.3m处变动,图8总结了搅拌位置对中心偏析的影响,这对高碳钢(碳含量为0.70~0.75%)至关重要,它有很大的偏析倾向性。如采用结晶器EMS,偏析量则会下降。如将二次搅拌器放置在结晶器下方3.9m处,偏析最少。

日本有相当一部分公司使用三个EMS装置浇铸较大断面的铸坯,包括一个结晶器搅拌器、一个线性铸流搅拌器还有一个最终阶段搅拌器,目的是在最终凝固以前将所有等轴晶体搅起。在BSC Rotherham厂,在一股铸流上安装了第三个搅拌器进行试验。

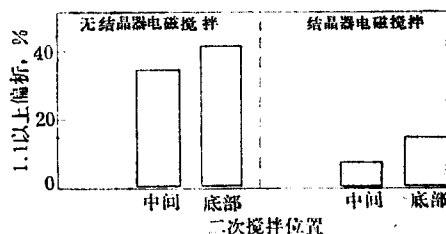


图8 搅拌对含碳0.65~0.80%钢中心偏析的影响

四、水平连铸

如果不考虑水平连铸的发展,对连铸技术的回顾就不完全。钢水从钢水罐注入中间罐(图9),再从中间罐水平流向结晶器和二次冷却系统。关键的区域是在中间罐和结晶器之间,在水口和联接结晶器与中间罐的分离环之间的部位。显然,在水平连铸中,结晶器不能

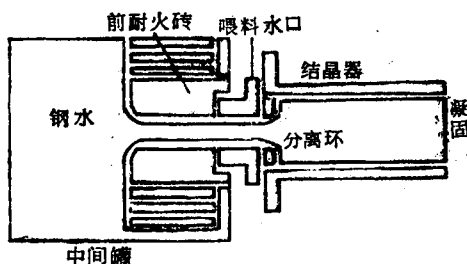


图9 水平连铸示意图

与中间罐振动脱离,否则钢水就会流出。因此,铸流本身是运动的。拉坯周期分三个阶段,首先是“拉”,接着是一个短暂的停顿,最后将铸流向中间罐方向推;与此同时,坯壳不断向内生长。问题是经过这样一个周期,凝固过程被中断,在小方坯表面形成“停顿”痕迹。作者认为,水平连铸发展的关键在于保证铸坯轧制成棒材以后,“停顿”痕迹不致成为锻造过程中的开裂缺陷。

五、产品质量的比较

表2列举了1981年美国对用户意见的调查,在该调查中,要求用户对用连铸生产的小方坯、棒材、线材与模铸产品相比较,做出评定。请记住,1981年美国连铸的应用还是少量的(图2),但绝大多数用户认为连铸的产品质量相当于或者高于传统的产品质量,不过仍有一些人认为较差。

在英国,1980年以前,特殊钢连铸的经验更少。用户仍怀疑连铸钢的质量,这种态度至今还在一定程度上存在着。他们坚持进行长期的少量试验,并希望连铸坯钢材采用与模铸初轧坯钢材不同的标记。为了打消这些疑虑,有必要总结一下有关采用现代技术生产的连铸坯钢材质量的情况。

1. 中心偏析

表2 1981年美国用户对连铸坯钢材及模铸初轧坯钢材反应的比较

	较好	同等	较差
表面	69	31	0
宏观腐蚀	30	65	5
清洁度	25	60	15
力学性能	11	78	11
热处理	15	75	10
可焊性	13	87	0
可加工性	11	83	6
可成形性	19	71	10

图10比较了低碳钢（碳含量低于0.30%）的碳、硫中心偏析。如考虑到结果的分散性，则可看到连铸坯钢材更为一致。增加碳含量或合金含量会产生更大的偏析。图11进一步表明碳含量为0.45%，硫含量为0.3%（原文如此，可能有误—译者），连铸坯钢材的偏析范围较小，结果在零基准点周围的数量更大。

用户经常论及的另一方面，是铸坯的断面收缩率。一块连铸小方坯与所有铸件有着相同的凝固结构：表面的快速冷却区，带有柱状晶的定向凝固区，在中心位置具有等轴凝固区，尤其是采用EMS时。连铸小方坯必须进行轧制，使之具有锻钢的性能。图12示出BSC Rotherham厂在T hybergh的棒材轧机上轧制140mm连铸小方坯所取得的结果。从棒材的中心轴取样，测试的结果与从1/2半径标准取样位置相比较。中心处与1/2半径处性能之比表明压下比较低时容易出现一些分散，但压下比为5:1或更高时，则结果相同。

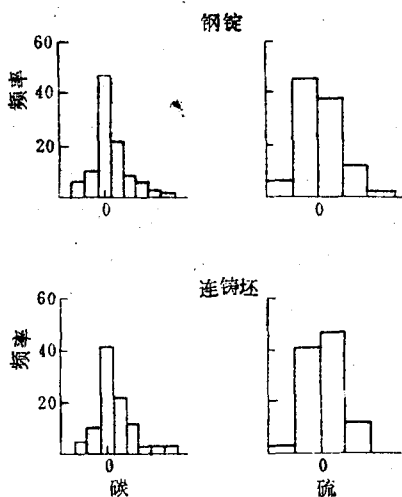


图10 低碳钢碳和硫的中心偏析比较

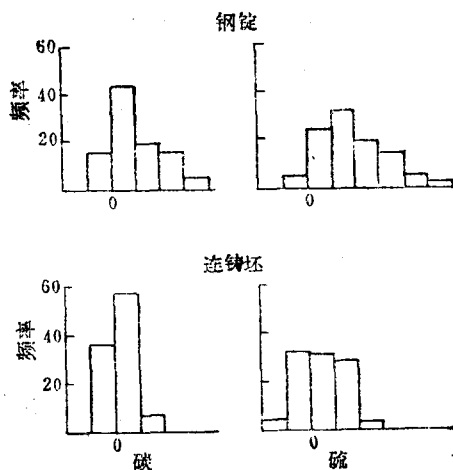


图11 中碳易切削钢碳和硫的中心偏析比较

要求的压下量随连铸小方坯质量与加工方法而变化。如果铸坯质量优良，也就是说具有良好的结构、无偏析、无气孔，那么铸坯只需要较小的压下比就可以生产出锻制产品，而结构较粗、气孔较大的铸坯则不然。同样，如果铸坯要在压下量小的轧机上轧制，与大压下量轧机相比，压下面积则需要大一些。最后，如果铸坯在锻压机上进行加工，面积压下比只需3:1就足够了。

2. 强度和韧性

图13示出了碳含量为0.35~0.45%、断面尺寸不同的经过淬火和回火钢的韧性(用Charg法测试所得的)与抗拉强度之间的关系,很清楚,连铸坯钢材的结果分散与模铸初轧坯钢材相同。图14示出在用一种钢的特定情况下(CK45 32 mm棒材),连铸坯钢材比模铸初轧坯生产的钢材更为一致。

3. 淬透性

图15示出SAE1038H钢的标准淬透性分散带,同时还示出了模铸钢和连铸钢不同顶端淬火位置上90%的置信界限,又一次说明钢的淬透性完全相同。

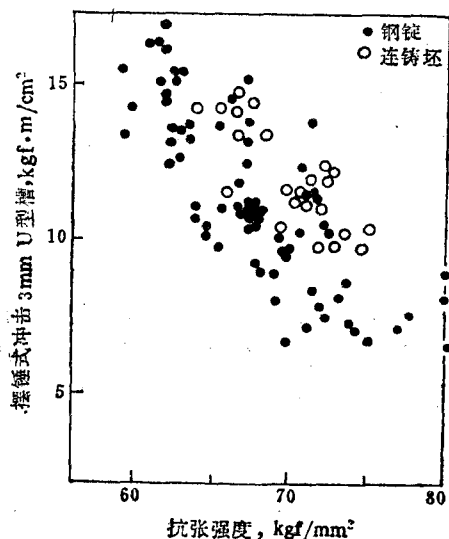


图13 碳含量为0.35~0.45%连铸坯钢材和模铸初轧坯钢材淬火回火试样的加工性能的比较

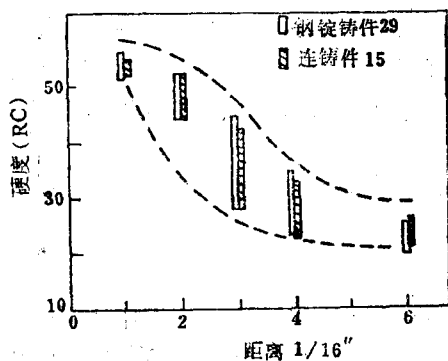


图15 淬透性分布范围表明连铸钢与模铸钢相等

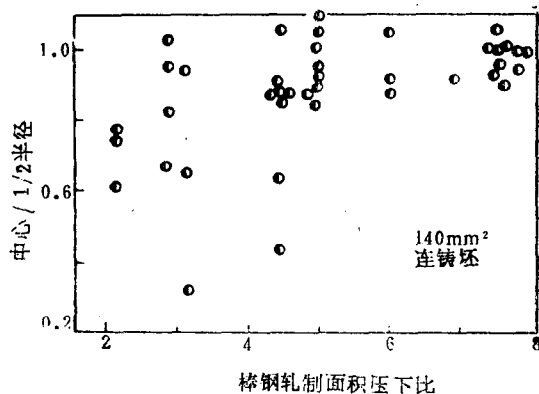


图12 从中心及1/2半径所取试样的延伸率之比与140mm连铸小方坯的断面压缩比的关系

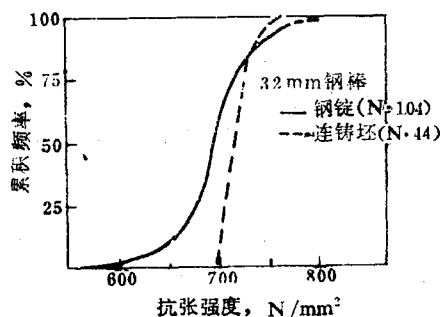


图14 CK45钢抗张强度的试验结果表明连续产品一致性更佳

控制含硼钢的淬透性能特别重要。这种材料很难进行连铸生产,但目前在BSC特殊钢分部,生产上已取得了一些成功。已经生产的硼钢有BS3111型9和10、Caterpillar拖拉机用的C-Mn-B以及锻造工业做扳手(Tentuff)用的Cr-V-B钢。

4. 可加工性

BSC Rotherham厂是世界上易切削钢的主要生产厂家之一,因而,特别重视评价连铸法生产易切削钢的可加工性。人们通常认为用连铸法较难浇注硫含量高的钢种,但是如果控制好凝固结构、温度、喷淋、水冷等环节,还是可以生产出优质产品的。BSC实验室对此做了一系列试验,他们用高速钢刀具进行了快速切削试验,在加工过程中,工具不用润滑油。试

验的结果以寿命为20分钟生产一件工具所需的切削速度来表示。可加工性还取决于加工件的硬度，从图16可看出连铸钢的可加工性都在模铸钢的范围以内。

连铸坯生产的材料还供给不同的用户进行详细的评价性试验。测定了以切削过程的时间为函数的工具损耗或在被切削部件的特定尺寸上部件的“长量”，用高速钢和碳素工具钢每小时可加工180~300个部件，无论在何种情况下，连铸坯生产的材料都在相同的分散范围内，或者比模铸坯生产的材料还好（见图17），现在，BSC Rotherham用连铸生产的碳素易切削钢有En7，En202，En32M，En8M，En16M以及SAE1144。

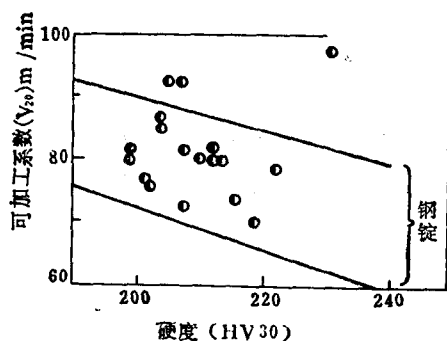


图16 SAE1144高速钢的可加工性
含碳0.45%，锰1.5%，硫0.3%

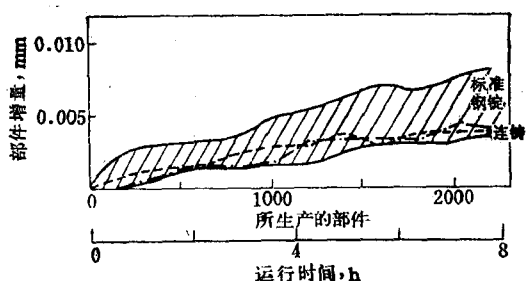


图17 用部件增量作为性能参数比较可加工性

5. 疲劳试验

疲劳性能对于作弹簧用途的钢来说非常重要。因此，对用于货车的Taperlite弹簧的性能给予充分的评价。SAE5160钢从铸坯到成品压下量为9.6（从扁棒材的中部测量），试验时应力高于通常作疲劳试验所用应力的20%。图18为疲劳试验的结果，而且连铸材料与模铸钢的试验结果也相同。

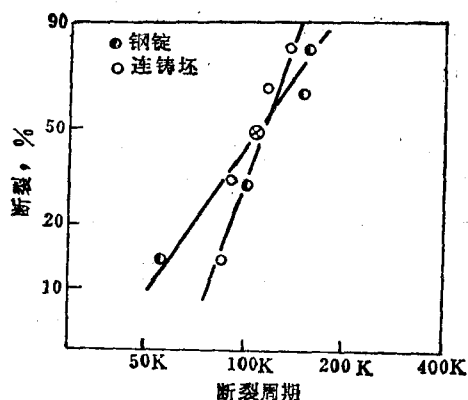


图18 对Taperlite弹簧所作的疲劳试验
泛的锻压品应用部门。

在某些特定的情况下，坯料往往不经过轧制就直接进行锻压，此时，坯料一般进行锻粗，再将中间部分冲掉，以制成对称的圆型部件、法兰盘和轮箍。

7. 制管

至今尚未完全确立的另一个应用领域就是制管。Ihrybergh将144mm的方坯轧制成直径为90和105mm的管坯。对钢管检验的结果表明，用连铸坯比模铸初轧坯制成的钢管性能更好。

6. 锻造的应用

在锻造业已进行了许多试验，从简单的锻造产品，到用于汽车制造的较为复杂的控制元件不等，并由锻造公司和汽车工业作了详细的评价。现在，BSC Rotherham厂可用连铸坯钢材生产汽车控制元件，用于英国 Leyland、福特、通用汽车公司、Vauxhall、Massey、Ferguson、Caterpillar、英国铁路公司及广

总的来说,质量评议表明,BSC特殊钢分部生产的连铸坯与模铸初轧坯相比,质量不相上下或者更好一些。

译自《Steel Times》, 1983, No.5.

田丽娅译 李伟立校

2. 特殊钢的连铸

奥野 穰 等

一、序 言

吴厂特殊钢的主要产品是冷轧（镜面）材和热轧材，在吴厂进行熔炼和热轧，在阪神制造厂进行冷轧和退火，制成产品。这种特殊钢产品几乎都进行热处理，主要用于制造重要的安全部件或高强度机械部件，所以要求内部质量均匀、清洁度高。一般采用下述生产工艺。将转炉熔炼的钢水经真空脱气处理，或经控制夹杂物形态的喷吹处理后浇注成钢锭，然后再初轧，即模铸-初轧工艺。但是，用这种工艺生产的钢坯质量不是非常稳定。这种工艺是将钢水注入钢锭模，使其凝固后脱模，在均热炉中进行均热、加热后，再经过初轧机生产成钢坯的。因次，注入锭模中的钢水是自然凝固的。如果钢水的温度过高，则钢锭头部溶质浓度高，即所谓成分偏析大、均匀性差。另外，用连铸工艺生产的普通钢坯质量显著优越于模铸初轧坯，已成为大批量生产优质钢坯的成熟工艺。因此，用连铸工艺生产优质特殊钢钢坯也成为研究的课题。吴厂第一炼钢车间1号铸机是半地下的立式连铸机，没有弯曲部分，故适合于高碳钢的连铸。吴厂在特殊钢的连铸方面走在前面，但是，因为有中心偏析，表层的微细夹杂物、板坯表面裂纹、内部裂纹、折损等各种缺陷成为妨碍连铸发展的因素，故特殊钢连铸不能很快达到普通钢连铸的水平。

尽管如此，但是目前在特殊钢连铸方面已经可以定量管理。质量特性、弄清了各种特性的管理极限。结果，可以稳定地生产比模铸质量高的钢材。1980年10月在1号铸机上安装了板坯用电磁搅拌装置，与此同时，采用了密封浇注。从而使特殊钢的连铸迅速扩大。下面介绍质量管理特性值，质量管理体制，连铸发展情况。

二、质量特性和各种特性的管理极限值

下面介绍特殊钢连铸坯轧材的质量特性和管理极限值，并介绍采用电磁搅拌对改善质量的效果和采用完全密封浇注对减少夹杂物的效果。

众所周知，作为减轻中心偏析的方法，六十年代提出了电磁搅拌（EMS）法，七十年代在大方坯和小方坯连铸机上获得应用。在板坯连铸机上采用EMS，由于等轴晶率高，中心偏析得到改善，减轻了中心裂纹；在厚板连铸机上采用EMS，使SUS430冷轧薄板的波纹状缺陷得到改善。

图1示出吴厂1号连铸机安装的EMS设备的流程。其形式是两相供电移动磁场式，安装的位置如图2所示，在设计上这样设置EMS设备的位置，凝固壳在板坯厚度方向上从表面成长30%时，使搅拌力的作用方向与拉坯方向相垂直。

1. 板坯的凝固组织

为了生产均匀优质的产品，必须在浇注过程生产无缺陷的高质量板坯。板坯的凝固组织是决定内部质量的重要尺度。例如，中心偏析的程度决定于板坯的等轴晶率。照片1（略）表示连铸坯 σ 断面（与拉坯方向相垂直）的典型铸造宏观组织。

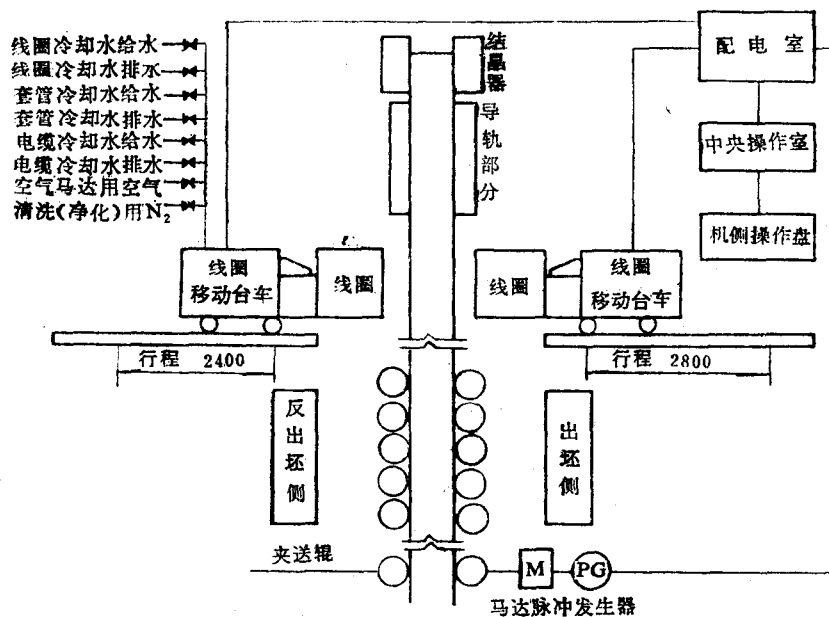


图1 电磁搅拌设备流程图

未经电磁搅拌处理的轧材，柱状晶一直发展到板坯厚度的中心，等轴晶率只有2~4%。经过电磁搅拌处理的轧材，柱状晶在生长过程中被破碎，等轴晶率达40~50%，其效果显著。图3示出经电磁搅拌或不经电磁搅拌的轧材的等轴晶率。如果不考虑非金属夹杂物，只考虑扩大等轴晶率，可采用控制浇注温度的方法。在这种情况下生成的等轴晶几乎都是粒状晶。用电磁搅拌处理的轧材，其凝固组织的特征是，凝固过程中柱状晶被破碎，脱落的枝状晶片浮在钢液中，并且被无方向无规则地捕集在等轴晶区。这种轧材凝固组织的另一特征，是在柱状晶和等轴晶界面出现白线状的组织。这是因为在搅拌前形成的固、液共存区，由于搅拌溶质浓化的钢液被洗出，溶质浓度低的钢液凝固形成了负偏析带，一般称为白亮带(W.B)。在固、液共存区的搅拌力越强，负偏析度越大，白亮带也越明显。但是，在电磁搅拌中，若将白亮带宽度控制在12 mm以下，负偏析度控制在0.95以下，就不会产生因白亮带引起的撕裂、淬裂、金属带状组织等缺陷。等轴晶率和钢液过热度(ΔT)的关系示于图4。一般 ΔT 越高，对非金属夹杂物的上浮越有利，而带来的不利效果是减少了等轴晶率。应用电磁搅拌，即使在高温下浇铸，也能得到等轴晶高的板坯。

2. 板坯中心偏析

连铸坯在结晶器和二冷区凝固时，由于凝固壳的迅速成长，在中心形成浓化钢液。加

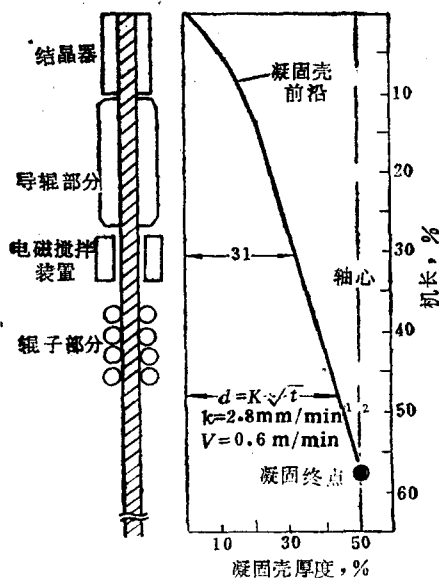


图2 电磁搅拌装置安装的位置

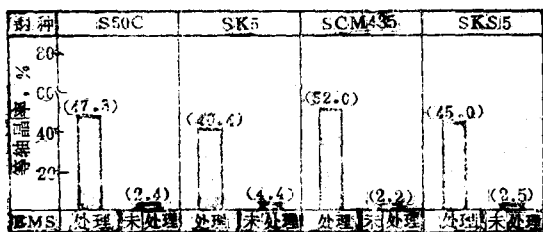


图3 等轴晶率

之,冷却时的膨胀,在中心部分产生冲刷现象,液化的钢液流入液相穴的末端,造成板坯断面中心成分的严重偏析。钢中的大部分元素都会产生偏析,尤其是[C]、[P]、[S]的偏析是造成剪裂、淬裂、低负荷断裂及离析的原因,对质量的影响很大。不言而喻,减轻偏析是控制偏析度和质量特性关系的关键。为了定量地掌握中心偏析,用牛头刨床在板坯厚度方向上,按2mm的间距取样,进行化学分析,图5示出其要领。图6示出用电磁搅拌处理和不同电磁搅拌处理轧材的[C]、[P]、[S]成分分布的典型例子。图7为[C]的正偏析度指数。轧材经电磁搅拌处理后,[C]偏析指数(对于S50C、SK5、SCM435、SKS5等钢种)均在2.5以下,比未经电磁搅拌处理的偏析度有较大改善,结果反映了钢液搅拌引起增加等轴晶率的效果。图8a和图8b分别表示[C]在连铸板坯和模铸板坯长度和厚度方向分布的比较。用电磁搅拌处理的连铸坯,成分在长度和宽度方向上波动很小,均匀性很好。通过电磁搅拌,按图9所示的机制,将树枝状晶的树枝切断,从而,树枝状晶减少,等轴晶增加。结果,如图10所示,成分的偏析减轻,偏析度可控制在能防止烧裂的范围内。

3. 热轧板的淬裂试验

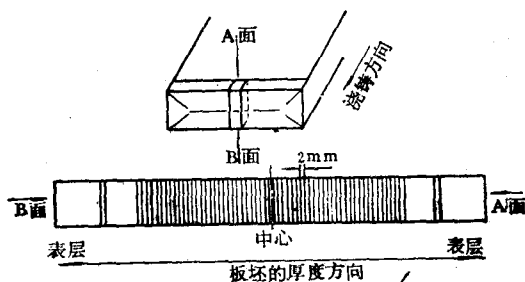


图5 板坯厚度方向的检查分析要领

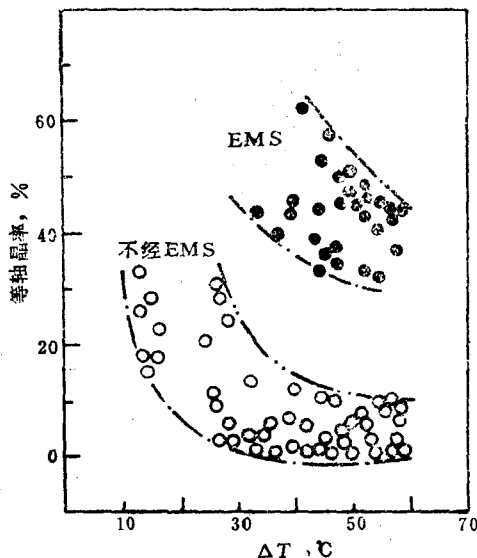


图4 等轴晶率与钢液过热度的关系

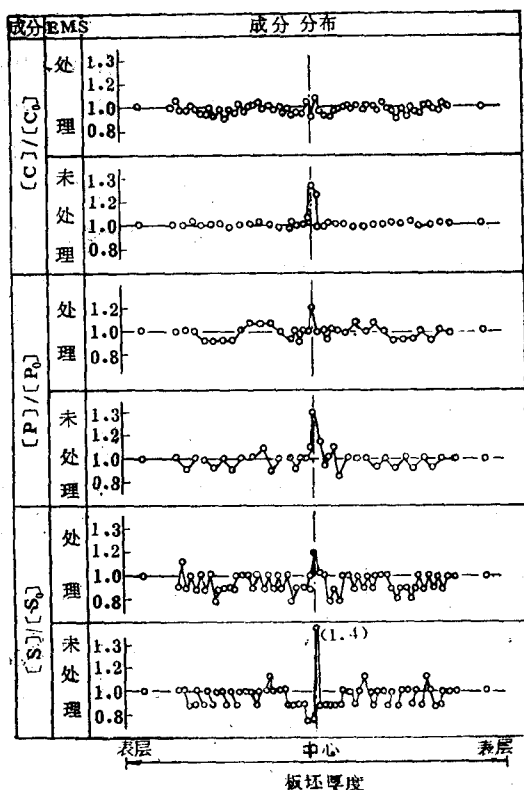


图6 板坯厚度方向成分分布的典型例子