

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610035802.1

[51] Int. Cl.

E21B 17/00 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

B21B 1/46 (2006.01)

B21B 37/74 (2006.01)

B22D 11/16 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 3 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 100375829C

[22] 申请日 2006.6.6

[21] 申请号 200610035802.1

[73] 专利权人 广州珠江钢铁有限责任公司

地址 510730 广东省广州市经济技术开发区西基工业区

[72] 发明人 毛新平 徐志如 李春艳 庄汉洲
许传棻 张金星 王进步 陈 明
陈 云 任崇锐

[56] 参考文献

CN1651589A 2005.8.10

CN1618539A 2005.5.25

CN1361303A 2002.7.31

石油套管用热轧带钢 J55 的研制与开发.
贾志鑫, 焦金华, 杜林秀, 王国栋. 轧钢, 第
22 卷第 3 期. 2005

审查员 王鹏鑫

[74] 专利代理机构 广州知友专利商标代理有限公司

代理人 李海波

权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称

一种基于电炉薄板坯连铸连轧流程生产 J55 钢
级石油套管用钢的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种基于电炉薄板坯连铸连轧流
程生产 J55 钢级石油套管用钢的方法，该方法针对
电炉薄板坯连铸连轧特点及冶金成分，采用电炉冶
炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底
式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、
卷取。其中钢水化学成分范围为 (Wt. %)：C：
0.15 ~ 0.22%，Si：≤0.45%，Mn：0.70 ~ 1.60%，
P：≤0.025%，S：≤0.020%，Nb：≤0.06%，
Ti：≤0.035%。通过使用该方法可在电炉薄板坯
连铸连轧流程生产 C 含量 0.15 ~ 0.22Wt. %，具有
高强度、高韧性和可焊性的 Nb、Ti 复合微合金 J55
钢级石油套管用钢。

1. 一种基于电炉薄板坯连铸连轧流程生产 J55 钢级石油套管用钢的方法，
其特征在于：

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸
坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取；

针对的钢水化学成分范围为： C: 0.15~0.22 Wt.%, Si: ≤0.45 Wt.%, Mn:
0.70~1.60 Wt.%, P: ≤0.025 Wt.%, S: ≤0.020 Wt.%, Nb: ≤0.06 Wt.%, Ti: ≤0.035
Wt.%;

薄板坯连铸连轧工艺参数为：薄板坯连铸工艺以 3.5~5.5m/ min 拉速连铸，
铸坯入炉温度为 900~1050℃，均热温度为 1100~1200℃，开轧温度为
1030~1130℃，终轧温度为 800~900℃，强冷却模式，卷取温度为 550~650℃。

一种基于电炉薄板坯连铸连轧流程生产

J55 钢级石油套管用钢的方法

技术领域

本发明涉及合金钢生产技术领域，特别涉及一种基于电炉薄板坯连铸连轧流程生产 J55 钢级石油套管用钢的方法。

背景技术

J55 钢级是美国 API 5CT 标准中一个重要的石油套管钢级，是石油、天然气开采过程中的重要材料，其用量大，占石油套管用钢的 50% 以上。套管是一次下井长期使用的石油管材，由专用螺纹连接成数千米的管柱，在下井及固井过程中，主要承受外挤力、内压力和轴向拉伸载荷。采用射孔方法完井的套管柱，还要承受射孔弹爆炸时产生的高温和大能量瞬时冲击载荷。套管主要失效形式有滑脱、挤毁、破裂、射孔开裂等。根据石油套管的服役条件分析及其主要失效形式的综合判断，对油套管的性能要求是：高强度、高韧性、高抗挤毁性和高的螺纹连接强度。因此，石油套管用钢不仅要求有足够的强度，还必须具有良好的韧性和可焊性。

最初 J55 钢级石油套管全部采用无缝钢管。但由于无缝钢管成材率低、成本高等缺点，国外在 20 世纪 60 年代开始采用热轧卷板制造直缝电阻焊（ERW）套管代替无缝钢管。直缝焊套管具有壁厚均匀、几何尺寸精度高、在地下服役时抗挤毁和抗压溃能力较同钢级无缝套管高 10%~15%，材料含碳量低、射孔后孔眼无撕裂，且价格便宜等优势。随着钢的微合金化技术和 TMCP 工艺的发展，用热轧板卷制造的直缝焊套管已可逐渐替代传统的无缝钢管。

（1）传统厚板坯流程 J55 钢级石油套管用钢研发概况

国外，在 20 世纪 60 年代已可以在传统厚板坯连轧钢厂生产 J55 钢级石油套管用钢，采用热轧卷板制造直缝电阻焊（ERW）套管代替无缝管，并获得成功。

我国从 1986 年开始引进国外 J55 钢级直缝电阻焊（ERW）套管，使用效果较好。目前，武钢、宝钢、鞍钢、本钢等大型传统厚板坯连轧钢厂采用微合金化技术，低碳、低硫、高纯净度钢冶炼技术和 TMCP 工艺生产 J55 钢级石油套管用钢。在传统厚板坯流程研制 J55 钢级石油套管用钢成分设计综合考虑石油套管用

钢强度、韧性和可焊性的要求。为了提高 J55 钢级石油套管用钢的可焊性和韧性及保证一定的硬度, C 含量一般控制在 0.10~0.22Wt.% 范围内。C 含量 \leq 0.09Wt.% 时, 难以保证一定的硬度, 使直缝电阻焊(ERW) 套管螺纹加工难度增大并易出现粘扣现象。C 含量 \geq 0.23 Wt.% 时, 钢的可焊性和韧性下降。通常在钢中加入 Nb 以细化晶粒和沉淀析出, 在提高钢的强度的同时也提高钢的韧性。采用微 Ti 处理技术以改善焊缝热影响区的冲击韧性。国内代表性 J55 钢级热轧钢带的化学成份见表 1。

表 1 国内代表性 J55 钢级热轧钢带的化学成份/Wt.%

厂家	A	B	C	D	E
规格(厚度,mm)	6.0~11.0	5.5	7.72	5.5	7.2
化 学 成 分	C	0.19	0.12	0.10	0.12
	Si	0.23	0.18	0.25	0.30
	Mn	1.25	1.20	1.32	1.27
	P	0.012	0.013	0.022	0.008
	S	0.001	0.005	0.005	0.004
	Nb	0.03	0.03	0.034	0.002
	V			0.019	0.081
	Ti	0.01		0.015	0.012
	Al		0.02		0.033
	Cu		0.04	0.04	0.057
	Ni				0.103
	Cr				0.042
	Mo				0.01
	Ceq/%			0.33	0.36
	Pcm/%			0.18	0.195
					0.16

(2) 薄板坯连铸连轧流程 J55 钢级石油套管用钢研发概况

薄板坯连铸连轧技术是 20 世纪 80 年代末期发展起来的热轧宽带钢生产技术。该技术将炼钢、精炼、薄板坯连铸、均热、热轧、层流冷却和卷取有机地结合起来, 从而使热轧宽带钢的生产节奏加快、能耗降低、劳动生产率提高, 是一种现代化的热轧宽带钢高效化生产技术。薄板坯连铸连轧流程的物理冶金过程与传统工艺流程不同, 难以生产 C 含量在 0.07~0.15Wt.% 范围的包晶钢, 因此必须在冶金成分和工艺控制上采取新的设计思路和工艺路线。因此, 薄板坯连铸连轧技术发明和应用后, 国内外进行了大量的薄板坯连铸连轧流程的应用研究与产品开发工作, 试图拓展薄板坯连铸连轧流程的产品范围, 提高薄板坯连铸连轧流程的投资效益。

目前，国内仅包钢在转炉薄板坯连铸连轧流程研制和开发了 J55 钢级石油套管用钢。采用 Nb、V 复合微合金化技术及控轧控冷工艺，化学成分如下：C≤0.08 Wt.%，Si≤0.30 Wt.%，Mn≤1.60 Wt.%，P≤0.02 Wt.%，S≤0.01 Wt.%，Nb≤0.06 Wt.%，V≤0.06 Wt.%，Ti≤0.01 Wt.%。

采用电炉薄板坯连铸连轧流程研制、生产 C 含量 0.15~0.22Wt.%，Nb、Ti 复合微合金 J55 钢级石油套管用钢，在国内尚无成功经验。

发明内容

本发明的目的是提供一种基于电炉薄板坯连铸连轧流程生产 J55 钢级石油套管用钢的方法，通过使用该方法可在电炉薄板坯连铸连轧流程生产 C 含量 0.15~0.22Wt.%，具有高强度、高韧性和可焊性的 Nb、Ti 复合微合金 J55 钢级石油套管用钢。

本发明的目的通过以下技术方案予以实现：

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取；

针对的钢水化学成分范围为：C：0.15~0.22 Wt.%，Si：≤0.45 Wt.%，Mn：0.70~1.60 Wt.%，P：≤0.025 Wt.%，S：≤0.020 Wt.%，Nb：≤0.06 Wt.%，Ti：≤0.035 Wt.%；

薄板坯连铸连轧工艺参数为：薄板坯连铸工艺以 3.5~5.5m/min 拉速连铸，铸坯入炉温度为 900~1050℃，均热温度为 1100~1200℃，开轧温度为 1030~1130℃，终轧温度为 800~900℃，强冷却模式，卷取温度为 550~650℃。

采用本发明的化学成分和连铸、均热、除鳞、热轧、冷却及卷取工艺制度，可生产 C 含量 0.15~0.22Wt.%，具有高强度、高韧性和可焊性的 Nb、Ti 复合微合金 J55 钢级石油套管用钢。

本发明的技术特点如下：

(1) 采用 0.15~0.22Wt.% 的 C 含量

薄板坯连铸连轧流程的物理冶金过程与传统工艺流程不同，难以生产 C 含量在 0.07~0.15Wt.% 的包晶钢。

石油套管用钢不仅要求有足够的强度，还必须具有良好的韧性和可焊性。C 含量≥0.23 Wt.% 时，钢的可焊性和韧性下降。C 含量≤0.09 Wt.% 时，难以保证

一定的硬度，使直缝电阻焊（ERW）套管螺纹加工难度增大并易出现粘扣现象。

为了提高 J55 钢级石油套管用钢的可焊性和韧性及保证一定的硬度，C 含量一般控制在 0.10~0.22 Wt.% 范围内。

为避开薄板坯连铸连轧流程包晶钢的碳含量范围，并保证钢的焊接性、韧性和硬度的要求，本发明 C 含量控制在 0.15~0.22 Wt.% 范围。

（2）充分利用 Nb 微合金化技术

通过 Nb 微合金化可有效控制再加热奥氏体晶粒尺寸、再结晶奥氏体晶粒尺寸和未再结晶变形奥氏体向铁素体相形核的有效晶界面积，从而获得细晶组织以提高钢板或钢带的强度和韧性。为了提高钢的强度和韧性，必须充分利用 Nb 微合金化技术。

本发明采用以下工艺充分发挥 Nb 微合金化作用：采用高连铸拉速、高入炉温度和高均热温度，使 Nb 在热轧前充分固溶以最大限度地发挥 Nb 的微合金化作用；提高开轧温度和连轧前序机架的变形量，促进变形奥氏体再结晶，从而改善含 Nb 钢的组织均匀性；终轧后，采用强冷却工艺，促使铁素体晶粒细化。

（3）采用 Ti 微合金化技术

由于电炉炼钢流程钢水的 N 含量一般偏高。较高的 N 含量降低 Nb(C,N)在奥氏体中的溶解度，提高沉淀析出温度。研究表明，铸坯中析出的 Nb(C,N)沉淀的粒度较大，无法起到抑制奥氏体再结晶和晶粒长大作用，属无效析出物。而 TiN 沉淀析出温度明显高于 Nb(C,N)沉淀析出温度，甚至在 N 含量较高的情况下可以发生 TiN 液析。因此，在含 Nb 钢中加入一定量的 Ti，可充分发挥 Nb 的微合金化作用。

TiN 是高温难溶粒子，可阻止热影响区晶粒长大，改善钢的焊接性能，尤其改善焊缝热影响区的冲击韧性；此外，TiN 粒子的析出降低了钢中固溶 N 含量，有利于改善钢的韧性和应变时效性能。

因此，为了充分发挥 Nb 的微合金化作用和改善钢的焊接性能、韧性及应变时效性能，本发明在采用 Nb 微合金化技术的基础上，同时采用了 Ti 微合金化技术。

本发明具有以下的优点：

（1）钢的焊接性能和螺纹加工工艺性能同时得到保障

过高 C 含量容易导致钢的焊接性能和韧性恶化，过低的 C 含量将使直缝电

阻焊(ERW)套管螺纹加工难度增大。本发明C含量控制在0.15~0.22 Wt.%范围，使钢的焊接性能和螺纹加工工艺性能同时得到保障。

(2) 钢带综合性能明显改善

利用Nb微合金化技术同时提高钢的强度和韧性，从而满足石油套管用钢对高强度和高韧性的要求；采用Ti微合金化技术，使Nb的微合金化作用充分发挥，并改善钢的焊接性能、韧性和应变时效性能。因此，采用本发明方法可明显改善钢带综合性能。

具体实施方式

以下的实施例用于阐述本发明，但本发明的保护范围并不仅限于以下实施例。除非有特别说明，以下实施例中钢水化学成分的百分数均为重量百分数。

实施例 1

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取。

钢水化学成分范围为：C:0.16~0.20%，Si:0.15~0.30%，Mn:0.85~1.10%，P:0.01~0.02%，S:0.003~0.008%，Nb:0.040%，Ti:0.022%。

薄板坯连铸连轧工艺参数为：连铸拉速：3.8~4.6m/min，铸坯入炉温度：980~1050℃，均热温度：1160~1200℃，开轧温度：1080~1120℃，终轧温度：800~860℃，强冷却模式，卷取温度：550~600℃。

钢带的组织见图1，钢带的晶粒度和性能见表1。

表1 实施例1钢带的晶粒度和性能

钢带厚度 mm	晶粒度 ASTM 级	Rel MPa	Rm MPa	A _{50.8} %	硬度 HV	宽冷弯 b=35mm,d=2a 180°
9.2	10	450	581	31	181	完好

实施例 2

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取。

钢水的化学成分范围为：C:0.16~0.20%，Si:0.15~0.30%，Mn:1.0~1.2%，P:0.01~0.02%，S:0.005~0.010%，Nb:0.05%，Ti:0.033%。

薄板坯连铸连轧工艺参数为：连铸拉速：3.8~4.4m/min，铸坯入炉温度：

980~1050℃，均热温度：1160~1200℃，开轧温度：1080~1120℃，终轧温度：
830~880℃，卷取温度：600~650℃。

钢带的组织见图2，钢带的晶粒度和性能见表2。

表2 实施例2钢带的晶粒度和性能

钢带厚度 mm	晶粒度 ASTM 级	Rel MPa	Rm MPa	A ₅₀ %	硬度 HV	宽冷弯 b=35mm,d=2a 180°
9.2	9.5	440	570	32	162	完好

实施例3

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取。

钢水化学成分范围为：C:0.18~0.22%，Si:0.25~0.40%，Mn:0.70~0.90%，P:0.01~0.02%，S:0.008~0.015%，Nb:0.06%，Ti:0.025%。

薄板坯连铸连轧工艺参数为：连铸拉速：4.0~4.4m/min，铸坯入炉温度：
980~1050℃，均热温度：1160~1200℃，开轧温度：1090~1130℃，终轧温度：
800~850℃，强冷却模式，卷取温度：550~600℃。

钢带的组织见图3，钢带的晶粒度和性能见表3。

表3 实施例3钢带的晶粒度和性能

钢带厚度 mm	晶粒度 ASTM 级	Rel MPa	Rm MPa	A ₅₀ %	硬度 HV	宽冷弯 b=35mm,d=2a 180°
6.8	10.5	470	610	28	174	完好

实施例4

采用的电炉薄板坯连铸连轧工艺流程为：电炉冶炼、精炼、薄板坯连铸、铸坯凝固后直接进入辊底式加热或均热炉、高压水除鳞、热轧、层流冷却、卷取。

钢水化学成分范围为：C:0.15~0.17%，Si:0.15~0.30%，Mn:1.3~1.5%，P:0.015~0.025%，S:0.005~0.010%，Nb:0.030%，Ti:0.020%。

薄板坯连铸连轧工艺参数为：连铸拉速：4.8~5.5m/min，铸坯入炉温度：
930~1000℃，均热温度：1110~1150℃，开轧温度：1030~1080℃，终轧温度：
850~900℃，强冷却模式，卷取温度：600~650℃。

钢带的组织见图4，钢带的晶粒度和性能见表4。

表 4 实施例 4 钢带的晶粒度和性能

钢带厚度 mm	晶粒度 ASTM 级	Rel MPa	Rm MPa	A ₅₀ %	硬度 HV	宽冷弯 b=35mm,d=2a 180°
5.6	9.0	430	565	29	154	完好

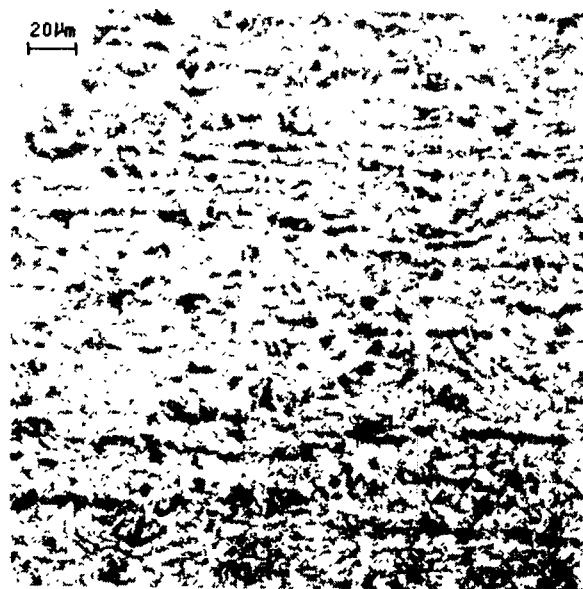


图 1



图 2

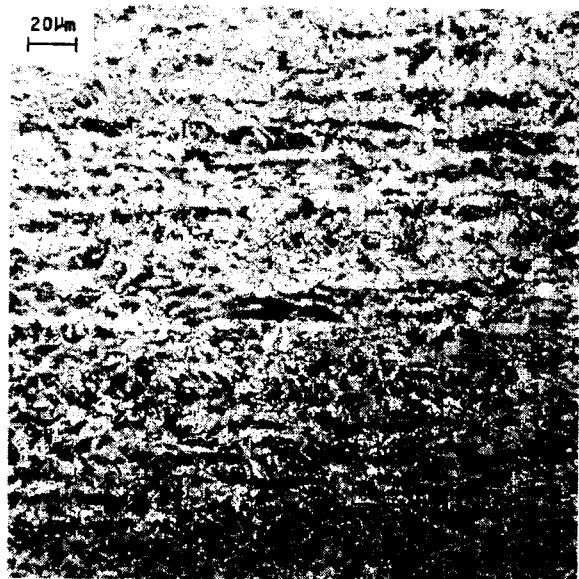


图 3

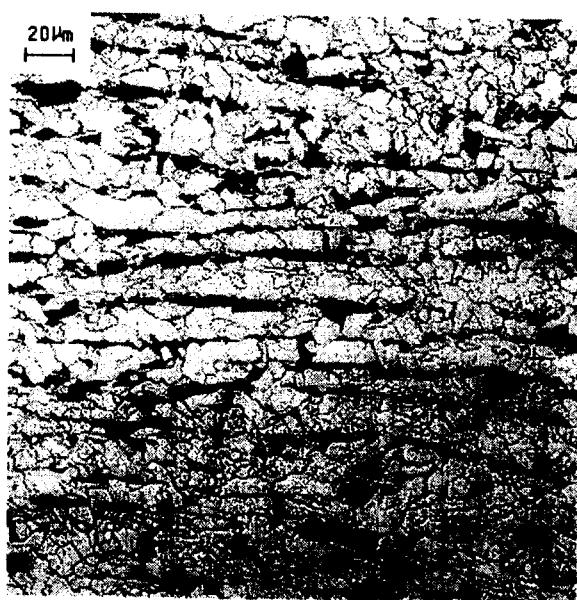


图 4