

# 日本川崎制铁公司钢管生产技术的开发与研究

**摘要:** 详细介绍了日本川崎制铁公司 1988~1998 年 10 年间对无缝钢管的轧制技术、电焊钢管的成型技术及钢管新产品进行开发研究的情况。主要有以下方面: ①利用曼内斯曼工艺高效率地生产不锈钢无缝钢管技术; ②新开发的高耐蚀性马氏体系无缝钢管; ③不锈钢焊管机组; ④中直径电焊管线管的制造技术及方形柱管的制造技术。

**关键词:** 无缝钢管; 焊接钢管; 制造技术; 开发与研究

**中图分类号:** TG335.17<sup>†1</sup>; TG44

**文献标识码:** E

**文章编号:** 1001-2311(2000)04-0044-05

## 0 前言

钢管广泛地用于机械、建筑和石化等行业, 由于各自用途的不同, 所要求的特性也是多方面的, 为此需要开发优质、稳定和低成本的生产技术。

在这种背景条件下, 日本川崎制铁公司于 1988~1998 年对钢管的生产技术进行了研究和开发。在无缝钢管领域, 采用曼内斯曼工艺技术高效率地生产不锈钢无缝钢管; 在焊接钢管领域, 开发了汽车排气系统用不锈钢焊管生产机组, 中直径管线管和方形柱管的生产技术。本文将对以上内容进行详细介绍。

## 1 无缝钢管生产技术的开发

石油和天然气行业所使用的无缝钢管主要是油井管, 油井管在最近 10 年间一直在向高级化方向发展。日本 13Cr 以上高合金油井管的出口量在这 10 年间增加了 10 余倍, 年产量达 9 万 t 以上。其次, 锅炉用管也在向高合金化方向发展。

最近 10 年技术发展的动向分为以下两个方面: ①提高高合金钢的轧制技术; ②油井管向高级化和高附加值方向发展。

高合金钢轧制技术的开发课题是确立最佳轧制条件和开发高合金钢轧制用润滑技术。这些课题的完成确立了高质量、大批量生产高合金钢的体制, 而在过去, 采用曼内斯曼工艺生产高合金钢非常困难。

在油井管向高级化和高附加值方向发展方面, 随着油井环境的日益恶化, 超过 API 13Cr 钢管使用界限的高温、高 CO<sub>2</sub> 环境不断增加, 过去在这种环境下使用的是双相不锈钢及更高等级的高合金钢, 而现在已开始使用新型 13Cr 钢。新型 13Cr 钢

的 C 含量低, 且含有 Ni, Mo 元素, 与 API 13Cr 钢相比, 耐蚀性更好。

继而人们希望 13Cr 钢管用于管线管, 并开发出焊接性能好的管线管用 12Cr 无缝钢管, 其一部分已开始在实际中使用。

### 1.1 无缝钢管生产工艺

10 年间, 在无缝钢管轧制领域中, 对用曼内斯曼工艺生产高合金无缝钢管的技术研究十分关注。曼内斯曼工艺是把圆管坯加热之后在曼内斯曼式穿孔机上进行穿孔。对小直径无缝钢管, 则是把得到的毛管在连轧管机上进行延伸轧制, 经过再加热之后, 采用热张力减径机减径轧制成规定外径的钢管; 对中直径无缝钢管, 则是把所得到的毛管经过延伸机、自动轧管机和均整机轧制, 经过再加热之后, 采用定径机进行定径轧制。

下面介绍高合金无缝钢管轧制技术的开发情况。首先对高合金钢进行格里夫勒 (Gleeble) 试验, 查明其变形能力, 然后采用考虑了加工生热和摩擦生热的热解析模型进行热模拟试验。高合金钢的高温变形能力如图 1 所示。穿孔机的穿孔速度对穿孔过程中管坯温度的影响如图 2 所示。在这些试验研究基础上, 开发出管坯加热温度和穿孔机穿孔变形速度的控制技术, 进而又开发出高合金钢最佳穿孔技术。

但是, 采用曼内斯曼式穿孔机对高合金钢管坯进行穿孔时, 由于导卫板、轧辊和顶头磨损严重, 容易使钢管内外表面产生缺陷, 并引起生产效率和成材率降低。对此, 通过试验分别查明了各个磨损机理, 并采取了相应的技术措施。

高合金钢表面氧化膜薄, 且热变形抗力大, 轧制时氧化膜破裂, 容易和导卫板粘着。采用滚动式

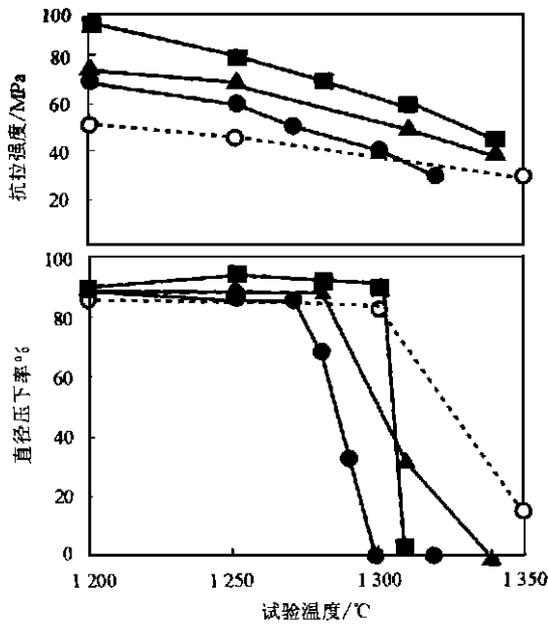


图1 试验温度对直径压下率和抗拉强度的影响(Gleeble 试验)

○ 0.23% C 钢 ● 13% Cr 钢 ▲ SUS304 ■ SUS316L

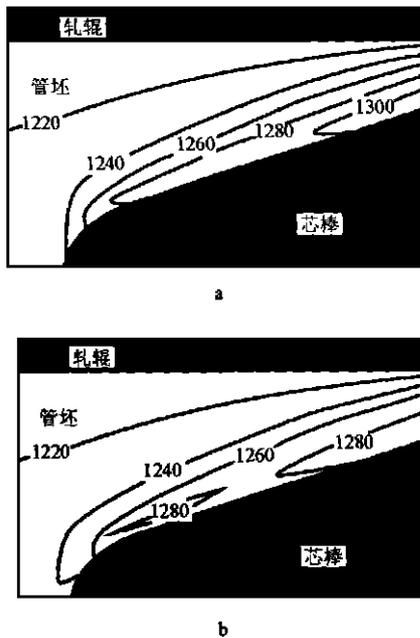


图2 SUS316L管坯(穿孔温度1230°C)在不同圆周速度( $v_R$ )下的温度分布/°C  
a —  $v_R = 5.4\text{m/s}$  b —  $v_R = 3.1\text{m/s}$

导卫板则使其与被轧制材之间减少滑动。其次，用硼酸和弱碱性膜形成剂的混合水溶液以及弱酸性辅助水溶液，通过中和反应在导卫板表面形成润滑膜，可防止粘着。

在高合金钢管坯穿孔时，穿孔机轧辊由于金属塑性变形流动而被磨损，使轧辊表面变得平滑。为此，开发出用高分子聚合物把碳化硅微粉弥散在水中的防滑剂，解决了因穿孔机轧辊表面平滑而不能轧制的问题。

在高合金钢管坯穿孔时，由于穿孔机顶头的轧制负荷和热负荷非常大，顶头容易产生熔损、变形和损伤。为此开发出成分为 0.3% C - 0.5% Cr - 1% Ni - 0.5% Nb - 1.5% Mo - 3% W - 1% Co 的顶头，并对顶头的热处理时间进行了改进。新开发的顶头的高温强度高，表面氧化膜耐剥离性能好，寿命比以前的顶头(成分为 0.3% C - 0.35% Si - 0.5% Mn - 3.0% Cr - 1.0% Ni)提高了 3 倍以上。

此外，还开发出 MAP 系统和凸度仪，以及通过优化轧辊孔型和使凸度宽度最佳化的高合金钢轧制技术。其次，为防止缺陷产生和提高生产率，更好地使用引入的高速轧辊，开发了润滑轧制技术。

## 2 无缝钢管的产品开发

无缝钢管的产品开发主要是结合石油工业的发展，在最近 10 年间开发的新产品主要是油井管和管线管。

油井管方面有高强度耐酸油井管(KO110SS 钢管)和 HP13Cr 钢管。前者是以高 H<sub>2</sub>S 浓度的酸性气体环境为对象开发的，后者是在高温下高 CO<sub>2</sub> 气压存在的环境，以及有少量 H<sub>2</sub>S 存在的弱酸性环境为对象开发的。

在存在 H<sub>2</sub>S 的环境中，由于腐蚀反应产生的氢侵入钢中而引起氢脆。对有氢脆裂纹敏感性的钢管，强度愈高裂纹敏感性愈大。在改善低合金钢耐氢脆裂纹敏感性(耐 SSC)方面，获得均匀的马氏体组织和使淬火时的晶粒尺寸变小是有效果的。另外减少钢中氢和缺陷的相互作用可以提高抗 SSC 性能。因此，采用高温回火可以减少与氢相互作用的高位错，但高温回火会降低强度。为了弥补强度降低，充分利用析出碳化物的二次硬化，开发出耐 SSC 性能和高强度并存的 110ksi 级高强耐酸油井管(KO110SS)，并在实际中生产。

另一方面，在无硫环境中，使用 13Cr 钢管具有很好的耐 CO<sub>2</sub> 气体腐蚀性能。但是，在高温或者高 CO<sub>2</sub> 气压的环境中，13Cr 钢管的耐腐蚀性则不够，其使用范围受到限制。其次，在 H<sub>2</sub>S 存在的环境中，也容易产生 SSC 这类问题。对于上述问

题采取的措施是添加 Cr, Ni, 此外, 添加 Mo 元素可提高耐点腐蚀性能。根据上述研究结果, 同时考虑到无缝钢管轧制时的热加工性能, 开发出低 C-13Cr-4Ni-1Mo 系 HP 13Cr 钢管。图 3 示出了在高温、高 CO<sub>2</sub> 气压环境中 13Cr 钢管和 HP 13Cr 钢管的应用范围。与 13Cr 钢管相比, HP 13Cr 钢管可以在温度更高、CO<sub>2</sub> 含量更高的环境中使用。在耐酸性方面, 开发出改善了 SSC 性能的低 C-13Cr-5Ni-2Mo 系 HP 13Cr-2 钢管, 并在实际中生产。

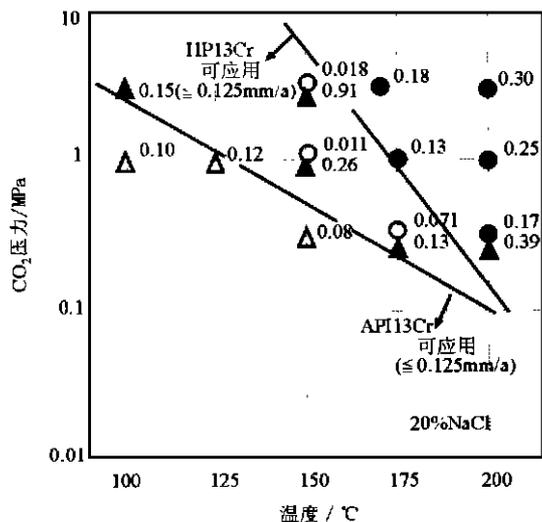


图 3 HP13Cr 和 API 13Cr 钢管的 CO<sub>2</sub> 腐蚀试验结果

○ △ HP13Cr △ API 13Cr  
○ △ 腐蚀速度 ≤ 0.125 mm/a ● ▲ 腐蚀速度 ≥ 0.125 mm/a

管线管与油井管不同, 由于要求其具有良好的焊接性能, 因此, 以前只有使用碳素钢或者双相钢。使用碳素钢时, 为确保耐蚀性多使用抑制剂, 但由于污染环境, 所以使用受到限制; 其次, 在高温环境下使用抑制剂效果并不十分明显。使用双相钢耐腐蚀性能良好, 但成本非常高, 其使用也受到限制。在油井环境中两者之间的材料有 13Cr 钢管, 但由于其焊接性能差不能作为管线管使用。

为此, 川崎制铁公司对 13Cr 钢的焊接性能进行了改进, 开发出新型马氏体系不锈钢 (可焊接 12Cr 钢管), 即用于只有 CO<sub>2</sub> 而无硫环境下的 11Cr 钢管 (KL-12Cr), 用于含有少量 H<sub>2</sub>S 环境下的 12Cr 钢管 (KL-HP 12Cr)。表 1 示出了这两种钢管占有的位置。为使两者的焊接性能提高, 降低了 C, N 含量, 并通过添加 Ni, Cu, Mo 等元素, 满足耐腐蚀性能、机械性能和热加工性能的需要。开发的钢管已在以日

本北海为中心的地区使用。

表 1 13Cr 不锈钢管在 OCTG 和管线管的应用情况

用途	环境		
	无硫 (CO <sub>2</sub> )	高 CO <sub>2</sub> 高温	低酸性气体 (CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> S)
OCTG	13Cr	HP13Cr-I	HP13Cr-II
管线管	11Cr KL12Cr		12Cr KL-HP12Cr

### 3 焊接钢管的技术动向

最近 10 年间焊管技术发展动向大体有 3 个方面: ①提高生产效率; ②向高级化和高质量方向发展; ③扩大汽车和建材领域用管。

在提高生产效率方面, 为了缩短更换焊管尺寸的时间, 开发出电焊钢管成型辊尺寸兼用技术, 宽展成型技术和装置。此外还采用了在上工序集中母管尺寸, 下工序用三辊减径机制造各种外径焊管的方法, 以提高生产效率。

为提高焊接区质量和满足高级产品的要求, 用高能密度热源即激光焊接技术取代以前的高频焊接。激光焊接最初代替 TIG 焊接用于生产小直径不锈钢焊管, 近年来已在以管线管为对象的中直径高强度碳素钢管和双相不锈钢管中应用。

在管线管使用环境日益苛刻和降低成本过程中, 为了满足提高质量和生产高级产品的要求, 开发出焊接区热处理技术、密封技术, 此外, 还进行了高强度、高韧性、高耐腐蚀性等复合性能良好的材料的开发。

近年来, 电焊钢管的用途日益扩大, 特别是汽车用钢管和建材用钢管有明显增加。汽车用钢管要求提高强度和减轻重量, 已开发出汽车门加固用钢管和传动轴用钢管。此外, 从排出废气高温化和提高耐腐蚀性能出发, 开发出适用于汽车排气系统用的各种不锈钢管。

在建材用钢管方面, 作为中低层钢结构建筑物用柱子使用的冷成型方形钢管正在增多。

#### 3.1 焊管生产工艺的开发

在焊管方面, 川崎制铁公司独自开发出新的成型技术 CBR 成型法 (随机胀出辊式成型法), 以提高小批量焊管的生产效率和质量。

该技术在软件上具有带板胀出弯曲成型法的特点, 硬件上具有高精度排辊成型机组的特点, 使轧辊对钢管尺寸的兼容性与带板的成型性能、焊接性能

并存,进而可以生产具有良好二次加工性能的焊管。

CBR 成型法为使带板成型和焊接稳定,采用了如图 4 所示的称之为胀出成型的带板弯曲方式。通过这种胀出辊式成型花形,可以控制精轧成型辊所产生的缺陷,在高速焊管机组首次实现了无水无润滑制管,并使带板边部的 I 型对接与 V 形会聚角的扩大并存,实现了稳定的焊缝焊接。其次,如图 5 所示,由带板连续成型的排辊和带板中部成型的中心弯曲辊组合成型机组,如果达到大量兼用上流成型轧辊,同时提高焊管机组的精度,则可以提高成型精度和使薄壁管的成型稳定,其薄壁管的生产范围可扩大到 0.6mm。

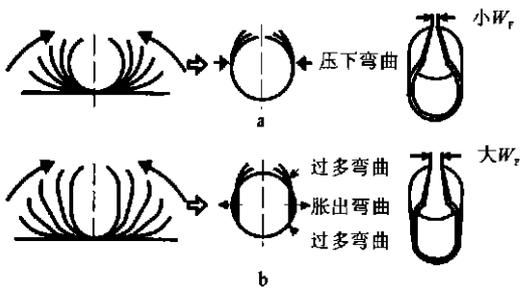


图 4 旧成型花形和 CBR 成型花形之间的比较  
a — 旧成型工艺 b — CBR 工艺  
W<sub>f</sub> — 精轧辊轧制后边部之间的宽度

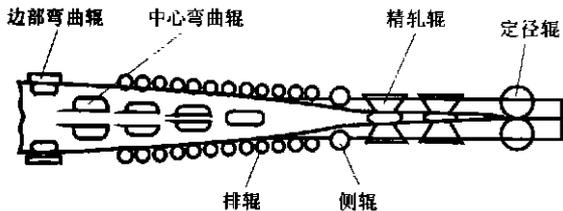


图 5 采用 CBR 机组生产不锈钢管的流程

由于排辊成型和胀出成型的花形,成型时的附加变形减少,如图 6 所示,可以生产延伸率高、二次加工性能良好的不锈钢管。其次,碳素钢管采用 CBR 成型与采用旧工艺成型机组成型相比,可以得到更高的延伸率,如图 7 所示。

该 CBR 成型工艺引入知多制造所小直径焊管厂的不锈钢焊管机组后,与以前的制造方法相比较,成材率和生产率都有大幅度提高,能够生产出焊接质量及二次加工性能良好的汽车排气系统用不锈钢焊管。另外, CBR 成型法作为该公司的外销

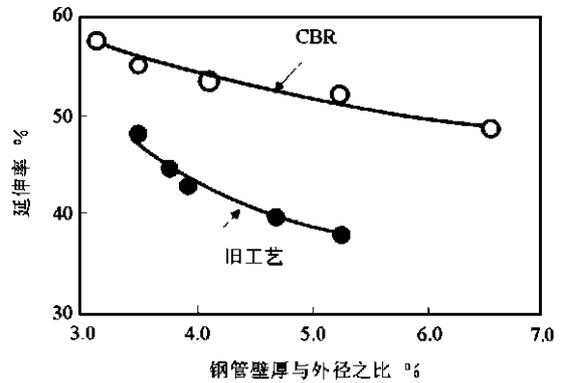


图 6 采用 CBR 工艺和旧工艺成型的排气用不锈钢 ERW 拉伸试验的延伸率的比较(SUH409L)

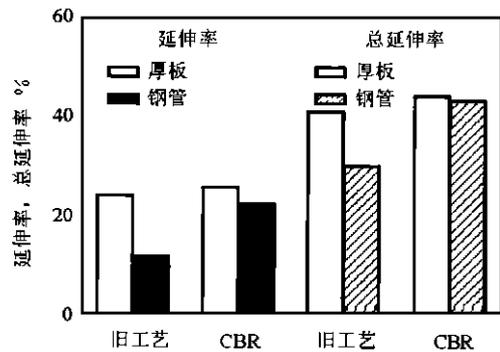


图 7 采用 CBR 工艺和以前旧工艺生产的碳素钢管的延伸率比较(SAE1006, Φ89.1mm × 3.2mm)

技术在国内外焊接机组中应用,并得到高度评价。

为了满足管线管高级化的要求,开发出在线焊接区热处理技术。对厚壁高强度钢管的焊缝区进行二段热处理,可提高其韧性,同时抑制强度降低,获得整体质量均匀的钢管。采用本技术生产的焊管产品,首先在日本北海作输送管线管。

在建材用焊管方面,对知多制造所第 2 中直径焊管机组进行了改造以生产方形焊管,其冷轧辊加工成型的方形焊管的最大尺寸为 550 mm,壁厚 22 mm,并对方形焊管采用 4 辊加工成型的变形行为、切口变形机理进行了基础性研究,此举有助于高尺寸精度的方形焊管的生产。

### 3.2 焊管的产品开发

焊管可靠性比 UOE 钢管差,以前不作海底管线管使用,只限于在陆地上作管线管。最近要求管线管具有 X 65 级的高强度,断面脆性转变温度在 -46℃ 以下的高韧性,以及 H<sub>2</sub>S 环境下的耐 HIC 和耐 SSC 性能。通过热处理提高焊管焊接区的韧

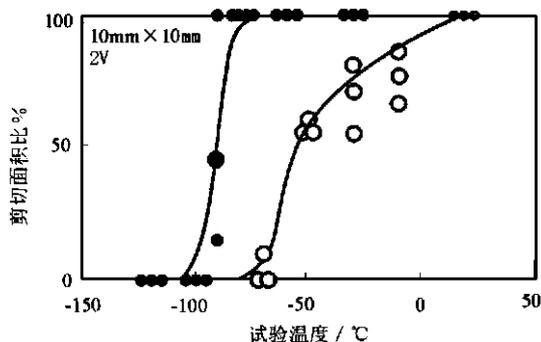


图8 焊缝夏比冲击试验性能

● 淬火+回火 ○ 正火

性，是研究课题之一。图8示出了焊管焊接区通过淬火回火(QT)热处理，可以得到断面脆性转变温度在 $-46^{\circ}\text{C}$ 以下的焊接区韧性。通过对焊管焊接区QT技术的确立，可大幅度改善焊接质量，开发海底管线管用焊管。

为了使焊管达到所要求的强度、韧性和耐腐蚀性能，从化学成分和原料轧制条件两个方面加以研究。发现降低C含量，并优化热轧条件，可以得到

满足要求特性的母材。此外，通过开发降低焊接区缺陷的制管技术，成功地开发出高强度、高韧性和高耐腐蚀性能的ERW管线管。此次开发的钢管已纳入工业化生产，并作为世界上最早的海底管线管在北海使用。川崎制铁公司生产出的具有良好质量的焊管，受到石油检测单位的高度评价。

#### 4 结语

本文介绍了日本川崎制铁公司10年间对钢管的研究和创新。由于国内外市场竞争激烈，目前最关注的是降低产品成本，提高质量，向多品种方向发展。今后除了会继续竞争外，还要重视保护地球环境，所以，一定要投入力量研究和开发高档次、高附加值的产品。

其次，钢管领域中的研究和开发部门，一定要与销售部门和生产工厂密切合作，形成一个整体进行技术开发，进一步提高市场竞争能力。

曹长斌编译

(收稿日期: 1999-11-16)

#### ●信息

### 俄罗斯1999年钢管进口量

据报道，俄罗斯1999年进口钢管的总量为82.61万t，金额为5.218亿美元，其中从独联体国家进口45.95万t，金额为1.755亿美元；从其他国家进口36.66万t，金额为3.463亿美元。

1999年俄罗斯的钢管进口量比1998年上升约12万t，但仍比90年代以来其余年份的钢管进口量有较大幅度的下降。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 杜厚益)

### 高精度管材喷印系统

美国EFD公司研制了一种新型高精度喷印系统780S，主要用于管材上喷印颜色标记、长度标记、合格/不合格标记和特种处理标记。780S系统主要由喷射阀、控制器和加压油箱组成。喷射阀可喷印出 $4.3\sim 50.8\text{mm}$ 的点状和带状印记。控制器能够以 $0.001\text{s}$ 为单位调整喷射阀的开启时间。EFD公司宣称780S系统可提供几百万次的无故障工作循环，而且只需要很少的维护工作。在每个喷印循环的最后，都会有一个延迟的空气关闭(airshut-off)动作，以驱除喷嘴中残留物防止阻塞。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 邓小玉)