

文章编号: 1004 - 0609(2004)S1 - 0072 - 10

太钢不锈钢的现状与发展^①

王一德

(太原钢铁(集团)有限公司, 太原 030003)

摘要: 简要介绍了太钢不锈钢的发展历史, 详细描述了“九五”以来太钢不锈钢的重大进步, 包括 50 万 t 不锈钢系统改造和 40 万 t 不锈钢冷轧薄板改扩建项目、“九五”国家重点课题“高质量不锈钢板材技术开发”以及在质量攻关、产品开发、对标挖潜等方面取得的成就, 实现了太钢不锈钢的跨越式发展。概要叙述了正在报批的新建 150 万 t 不锈钢工程的主要内容和工艺技术特点。对照国外不锈钢领域的最新技术进展, 从不锈钢冶炼、热轧、冷轧进行全面对比、分析, 并结合太钢实际, 有针对性地采用先进技术。

关键词: 不锈钢; 改造; 开发; 攻关; 最新进展

Current status and development of stainless steel in Taiyuan Iron and Steel (Group) Co. Ltd

WANG Yi-de

(Taiyuan Iron and Steel (Group) Co. Ltd., Taiyuan 030003, China)

Abstract: The paper briefly describes the history of stainless steel development in Taiyuan Iron and Steel (Group) Co. Ltd. (TISCO) China, describes in detail the major progresses of stainless steel development in TISCO since the ninth Five-Year Plan, including the revamping project of 500 000 t stainless steel production line and the expansion project of 400 000 t cold rolled stainless steel sheets. The achievements in the state key task in Ninth Five-Year Plan “Technological Development of High Quality Stainless Steel Flat Products”, tackling the problems for quality improvement, developing of products, tapping the potentials according to standards, which has made the stainless steel in TISCO develop in a great leap. The paper also introduces synoptically the main contents and characteristics of processes and technologies of the new 1.5×10^6 t stainless steel project that is in the progress of approval. The paper, combining with the actual practices of TISCO, also analyses and compares the advanced processes and technologies to be used in the new project of TISCO with the most advanced international processes and technologies for the stainless steel production line including the stainless steelmaking, hot rolling and cold rolling.

Key words: stainless steel; revamping; developing; tackling key problem; new development

太钢自 1952 年开始生产不锈钢, 已有半个世纪的生产历史, 累计生产不锈钢 255 万 t。但长期以来, 发展缓慢, 不能满足国民经济发展的需要, 如图 1 所示。

1990 年以前太钢不锈钢生产的基本装备是 20 世纪 60 年代从前苏联引进的热轧四辊万能轧机、炉卷轧机和从前西德引进的偏八辊冷轧机、热线、

冷线等不锈钢冷轧带钢生产线, 以及自主开发的 AOD 炉和立式板坯连铸机。1994 年从日本引进了二手 3/4 热连轧机, 代替炉卷轧机生产不锈钢热轧卷, 初步建立了以板材为主的不锈钢生产线。“八五”末期不锈钢年产量达到 9 万 t, 产品综合成材率达到 68.9%。“九五”以后, 太钢加快了设备配套改造, 大力推进技术进步和质量攻关、产品开发、对

① 基金项目: 国家“九五”计划重点资助项目(KF97)

作者简介: 王一德(1938-), 男, 教授级高级工程师。

通讯作者: 王一德, 高工; 电话: 0351-3012229

标挖潜, 并在这个时期开始实施不锈钢系统改造工程, 使不锈钢产量实现跨越式发展, 实物质量大幅度提高, 为太钢不锈钢的长远发展打下了坚实的基础。

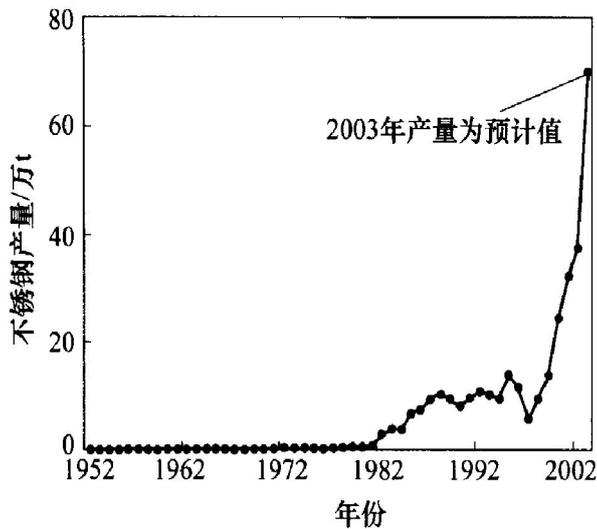


图 1 1952~ 2003 年太钢不锈钢分年度产量

1 “九五”以后太钢不锈钢实现跨越式发展

1.1 加快技术改造, 实现产能大幅度增长, 并为质量提高创造条件

1.1.1 在原有工艺装备条件下, 以提高产量和质量为核心, 进行工序配套改造

1) 冶炼工序

1999 年将 3 座 18 t AOD 炉扩容为 40 t, 逐步实现奥氏体钢专业化生产; 对 1 280 mm 立式板坯连铸机进行改造, 增设在线切割和气-水雾化冷却, 加大中间包容量, 实现多炉连铸; 使不锈钢年产量超过 40 万 t。

2) 冷轧工序

1997 年引进具有 20 世纪 90 年代世界先进水平的廿辊森吉米尔轧机和冷、热轧带钢混合连续退火酸洗线, 改造光亮退火线。使用了当时最先进的 AGC、AFC 控制技术以及低 NO_x 燃烧、电解酸洗技术, 使冷轧产品的厚度精度、板形、表面粗糙度、色泽均匀性得到明显提高。光亮线的改造成功, 使 1 219 mm 宽规格 BA 板首次在我国实现工业化生产。改造后的不锈钢冷轧薄板生产能力达到 16 万 t/a。

3) 热轧中板工序

2000 年开始热轧中板工序改造, 主要集中在扩大常化退火机组能力和建立高水平的机械化精整线, 采用喷丸除磷、流射沸腾冷却净化多功能淬火机、高性能矫直机等多项先进技术和装备。改造后使中厚板产品的实物质量明显提高; 产品规格由 $\leq 20 \text{ mm} \times 1\,800 \text{ mm} \times 6\,000 \text{ mm}$ 增大到 $\leq 40 \text{ mm} \times 2\,000 \text{ mm} \times 8\,000 \text{ mm}$; 年产量从 5 万 t 增加到 8 万 t。

1.1.2 在国家支持下, 实施 50 万 t 不锈钢系统改造和 40 万 t 不锈钢冷轧薄板改扩建项目, 大幅度提升了产能和质量

1) 在国内首次采用转炉铁水冶炼不锈钢技术。

采用初炼炉(电炉或转炉)→顶底复吹转炉→真空精炼炉“三步法”的优点是: 利用廉价热铁水, 节约电能, 缓解废钢资源紧张的矛盾; 氩气消耗低; 转炉炉衬寿命长(900~1100 炉); 产品范围广, 特别适于生产超低碳、超低氮和 Cr 不锈钢; 有利于炉机匹配, 有利于降低成本。

全世界先后采用转炉铁水冶炼不锈钢的生产厂家约 10 家, 多数集中在亚洲。目前仍继续使用的有 4 家, 如表 1 所示。

表 1 目前世界使用转炉铁水冶炼不锈钢厂家的情况

厂家	原料	工艺设备	产量/万 t	主要品种	投产时间
新日铁八幡厂	全铁水(预处理) 加铬铁	2×160t LD-OB+ 160t REDA+ 160t VOD+ 吹 Ar 站	50	400 系	1983 年
川崎制铁千叶厂	全铁水(预处理) 加铬矿砂	1×160 t SR-KCB+ 1×160t DC-KCB+ 1×160t VOD	70	400 系 300 系	1994 年
巴西 Acesita 厂	40%~50% 铁水(预处理) 加预熔合金(不锈钢和铬铁水)	2×35t EAF+ 1×75t MRP-L+ 1×75t VOD+ LF	35	300 系	1996 年
中国太钢	50%~70% 铁水(预处理) 加预熔合金(废钢、铬铁、镍)	1×30t EAF+ 1×80t K-OBM+ 1×80 t VOD+ LF	55	300 系 400 系	2002 年

一方面,由于AOD工艺的突出优点,太钢于20世纪80年代在国内首次采用AOD炉工艺技术,经不断改造,发展为40万t以上的生产能力。另一方面,AOD工艺也存在一些不足,主要是氩气消耗高,炉衬寿命短,难以生产超低碳不锈钢,特别是不能生产 $(C+N) \leq 1.5 \times 10^{-4}$ 超纯铁素体不锈钢。因此,鉴于转炉冶炼不锈钢工艺的明显优势,太钢结合自身实际,于2000年8月开始采用不锈钢铁水冶炼不锈钢新技术,新建一条采用高炉铁水为原料的顶底复吹转炉冶炼不锈钢生产线。2002年底全面投产,其设计能力为25万t,通过技术改进和挖潜,可实现年产55万t不锈钢连铸坯(其中5万吨不锈钢方坯)的生产能力。

主要改造内容有:

a. 新建高炉炉前脱硅装置,改造铁水脱硫站,新建和完善现有铁水三脱(脱硫、脱硅和脱磷)预处理装置;

b. 增建30t超高功率电炉;

c. 引进转炉冶炼不锈钢技术软件,完善K-OBM-S转炉冶炼不锈钢生产工艺及装备;

d. 新建80tVOD炉和LF炉;

e. 新建3[#]方板坯不锈钢专用连铸机,配备液面控制、自动报警、液压振动、电磁搅拌、气-水雾化、自动切割、自动配尺、除尘等功能。

太钢K-OBM-S转炉冶炼不锈钢工艺和MRP-L工艺的根本区别在于底吹气体介质种类及其冷却气体的种类。K-OBM-S具备底吹氧功能,并有效地解决了底吹氧强冷却保护技术,从而在达到底吹氧冶金效果的同时,解决了炉底寿命问题。相比之下,MRP-L技术由于没有开发出相应的炉底侵蚀保护技术,不能底吹氧。因此K-OBM-S冶炼周期为60~65min,有利于与连注机匹配,而MRP-L冶炼周期为70~80min;同时K-OBM-S底吹氧还有利于提高铬的回收率,降低还原剂的消耗。

太钢K-OBM-S工艺投产后半年多的生产实践已显示出该工艺的优越性。

2) 以提高不锈钢热轧卷质量为重点,对热连轧生产线进行全面改造。

不锈钢热轧卷大部分用作冷轧原料(尤其要求控制凸度),一小部分用作商品直接供用户使用(尤其要求控制平直度),因此热轧卷质量十分重要。太钢1549mm热连轧机是20世纪90年代从日新制钢引进的二手设备,属于20世纪60年代制造的第2代3/4热连轧机。它存在马达功率小,牌坊断面小以及缺乏质量控制手段等缺陷。虽然在日本时

也生产不锈钢,但允许轧制的最厚连铸坯为160mm,卷重只能达到13t;宽度1250mm的成品最薄为5.2mm,致使冷轧需要进行2个轧程,甚至3个轧程;而且缺乏宽度、厚度精度以及板形控制手段。因此,为了实现“吃厚”(200mm连铸坯)、“轧薄”(成品轧到2.5mm)、“增重”(卷重到20t)和提高尺寸精度、改善板形、保证表面质量的要求,必须进行改造。

同时热连轧改造要充分考虑不锈钢导热性差、变形抗力大以及控制两相组织的特殊要求,重点解决粗轧温降大和精轧机组能力不足的问题。

根据国外考察和调研,了解到当今世界热连轧,包括生产不锈钢的热连轧机改造的趋势是:粗轧机组向半连轧方向发展,全连轧改成3/4连轧,3/4连轧改成半连轧,并改造或增设立辊轧机,以克服全连续粗轧机组轧制道次分配的困难,更好地适应连铸坯厚度增大和宽度规格减少的要求,为精轧提供符合要求的中间坯。而精轧机组改造的核心是满足市场对品种和质量的严格要求,其重点集中在厚度、板形和温度控制上。

为此,太钢对1549mm热连轧机进行了全面改造,主要内容如下:

a. 新建3[#]加热炉,增加炉宽,使连铸坯长度从8.7m增加到10.5m;

b. 拆除原有3架粗轧机,增设1台带立辊的四辊强力粗轧机;

c. 新增粗轧除磷箱、精轧切头剪和精轧除磷箱;

d. 增设特殊保温罩和减振器;

e. 新增1台四辊精轧机F₀,使精轧机组由6架变为7架;

f. 更新精轧机组F₁~F₆主电机转子、改造主传动系统;

g. 拆除2台旧卷取机,新增1台全液压卷取机和卧式打捆机;

h. 在国际上首次采用TDC控制技术;

i. 增设宽度控制系统,改电动压下、活套为液液压下、活套,增设工作辊弯辊和串辊装置以及平直度仪、凸度仪,实现板形闭环控制。

改造内容已于2002年底全面完成,改造前后水平比较如表2所示。

3) 实施40万t不锈钢冷轧薄板改扩建项目,进一步扩大冷轧生产能力。

近年来,国内不锈钢冷轧薄板的消费量快速增长,宝钢上钢一厂热连轧及上海SKS全流程合资

表 2 太钢热连轧改造前后水平比较

指标	改造前	改造后	国际先进水平	
不锈钢产量/(10 ⁴ t·a ⁻¹)	15	80	≥50	
规格/mm	5.0×1 250	2.5×1 250	2.5×1 250	
	3.0×1 050			
卷重/t	8.5	20	≥25	
工艺	1 549 mm, 3/4 连轧	1 549 mm, 半连轧	≥1 700 mm, 半连轧或炉卷	
成材率/%	97.39	98.0	≥98.0	
尺寸公差	厚度	±300 μm	±50 μm (99%)	
	宽度	10~ 20 mm	0~ 8 mm (95%)	
	板形	凸度 ≈ 150 μm	凸度 ≈ 26 μm (95%)	凸度 ≈ 26 μm (95%)
		浪形 10~ 50 mm	平直度 30IU (95%)	平直度 30IU (95%)

厂的建设,特别是韩国浦项新增 60 万 t 热轧卷销向中国,使国内不锈钢热轧卷生产状况发生较大变化;同时随着太钢 50 万 t 不锈钢系统改造工程的达产,太钢实际不锈钢产能将达到 100 万 t,如何使这么多的不锈钢连铸坯和热轧卷转化为最终产品,已成为太钢不锈钢工序能力平衡和进一步发展的关键环节。为此,2001 年太钢开始实施 40 万 t 不锈钢冷轧薄板改扩建项目,其特点是设备机组多、工艺流程复杂。

主要改造内容有:

- a. 新增 2 台廿辊森吉米尔轧机,并首次采用 IGBT 技术;
- b. 新增 2 条冷轧带钢退火酸洗线;
- c. 新增 1 台两辊平整机;
- d. 新增 1 条带钢修磨线;
- e. 新增 2 条纵切线以及配套包装线;
- f. 原有机组的卷重改造;
- g. 配套磨床。

该项目已于 2002 年底全面完成,使不锈钢冷轧薄板产能从 16 万 t/a 增加到 40 万 t/a,产品质量指标达到国际先进水平,见表 3。

2003 年太钢将生产不锈钢坯 70 万 t,位居世界前 10 名(图 2),不锈钢冷轧薄板 36(38)万 t,位居世界前 5 名(图 3)。

1.1.3 实施 90 万 t 不锈钢冷轧薄板扩建工程,快速增加冷轧产能

为了消化挖潜后新增的不锈钢坯和热轧卷能力,太钢又从 2003 年起,抓紧进行 90 万 t 不锈钢冷轧薄板扩建工程,即在现有 40 万 t 能力的基础上增加到 90 万 t。该项目包括建设 1 条目前世界上最大的不锈钢热轧带钢退火酸洗线、1 条最大的冷

轧带钢退火酸洗线、5 台廿辊冷轧机、1 台平整机、1 条拉矫线、2 条纵切线等。预计于 2005 年上半年建成投产。

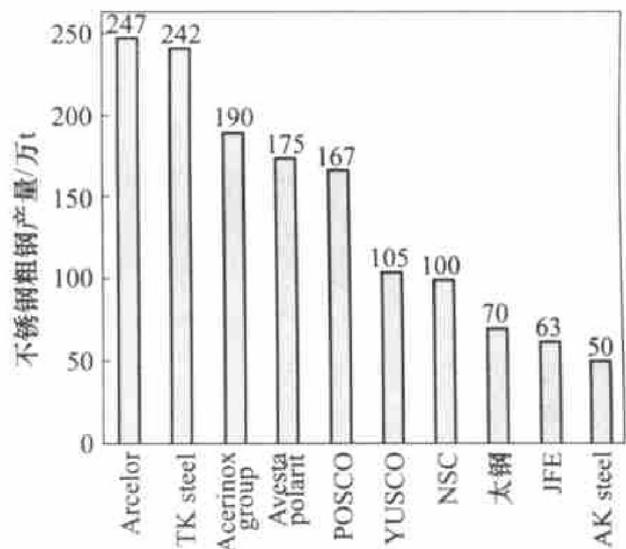


图 2 世界不锈钢粗钢产量排名

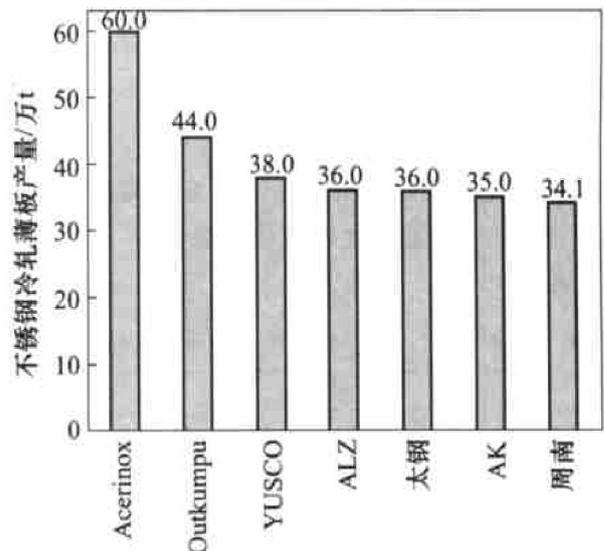


图 3 世界不锈钢冷轧薄板产量排名

表3 太钢冷轧改扩建前后主要指标比较

指标		改扩建前	改扩建后	国际先进水平
能力/(10 ⁴ t·a ⁻¹)		16	40	≥30
规格/mm		0.5~3.0	0.3~3.0	0.2~3.0
表面加工等级		2D、2B、BA	2D、2B、BA、HL	2D、2B、BA、HL
品种		A: 90% F+ M: 10%	A: 75% F+ M: 25%	A: 50~80% F: 50~20%
成材率/%		88.5	92(因卷重小)	≥93
尺寸公差	厚度	±(0.1~0.15) mm	±(0.01~0.02) mm	±(0.01~0.02) mm
	板形	平直度 8~10 mm/m	平直度 ≤4 mm/m	平直度 ≤4 mm/m
表面粗糙度	2B	R _a = 0.3~0.5 μm	R _a = 0.05~0.1 μm	R _a = 0.05~0.1 μm
	BA	R _a = 0.04~0.07 μm	R _a = 0.02~0.04 μm	R _a = 0.02~0.04 μm
I级品率/%		88.5	92	≥92

1.2 开展技术创新, 实现质量大幅度提升和品种替代进口

“八五”末期, 中国不锈钢粗钢产量最高不足 25 万 t, 国产化率很低, 生产增长缓慢; 321 品种仍占很大比例, 铁素体钢处于空白, 薄规格不能生产, 板带比低; 304 延伸率仅 42%, 且表面质量差; 工艺装备落后, 精炼比、连铸比低, 热轧采用旧炉卷轧机或二辊轧机单张轧制, 冷轧多为单张轧制。为此, 国家经贸委确定由太钢、钢铁研究总院、北京科技大学、东北大学以及冶金信息情报研究院等单位共同承担国家“九五”重点技术创新项目“高质量不锈钢板材技术开发”。该项目已于 2000 年底通过国家验收和成果鉴定。项目主要研究与开发内容如下。

1.2.1 控制不锈钢冷轧薄板内在质量技术

1) Cr-Ni 不锈钢技术

304 钢是代表性牌号, 主要用于冷成型, 通常用延伸率表示, 主要受 Cr_{eq}/Ni_{eq}、Md30 及钢质纯净度的影响(图 4)。基本解决办法: 一是优化成分, 控制 Cr_{eq}/Ni_{eq}及 Md30, 特别是对 C、N 和 Mn 的控制; 二是提高纯净度, 主要依靠开发的单渣法技术, 其要点是增加渣量、降低冶炼过程最高温度、提高炉渣碱度、延长有效还原精炼时间。与国外比较见表 4 和表 5。

表4 太钢 Cr_{eq}/Ni_{eq}及 Md30 的变化及与国际水平比较

项目	太钢			日本	韩国
	1995年	1999年	2002年		
Cr _{eq}	17.87	18.40	18.55	18.88	18.55
Ni _{eq}	10.45	11.26	11.50	11.71	11.58
Cr _{eq} /Ni _{eq}	1.71	1.63	1.61	1.61	1.60
Md30/℃	61.49	41.79	35.69	29.69	35.72

表5 太钢 304 内在质量的变化及与国际水平比较

项目	太钢			日本	韩国
	1995年	1999年	2002年		
氧含量/10 ⁻⁶	66~110	70~100	62~75	56~80	60~80
硫含量/10 ⁻⁶	100~120	60~80	20~40	20~45	30~50
延伸率, δ ₅ /%	42.0	50.5	58.0	57.4	56.0

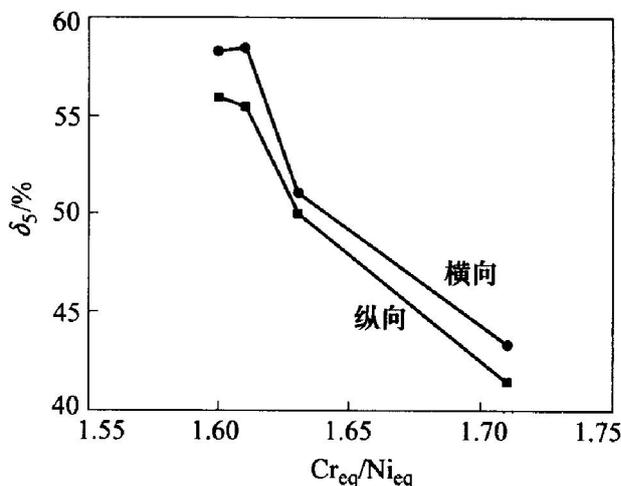


图4 Cr_{eq}/Ni_{eq}对 0Cr18Ni9 延伸率的影响

2) Cr 不锈钢技术

00Cr12Ti 不锈钢主要用于冷成型, r 值为其特性指标, 通常也用延伸率表示。r 值主要受 Ti/(C+N) 及成品织构的影响, 根据实验室研究出的 r 值与 Ti/(C+N) 的关系(见图 5), 自主开发成功 AOD 冶炼(C+N) ≤ 300 × 10⁻⁴ 铁素体不锈钢工艺技术和成品织构控制技术。主要是优化 AOD 吹炼工艺, 最大限度降低 C、N 含量以及控制热轧终轧温度、冷轧变形率、成品热处理工艺。通过以上控制, 产品性能明显提高, 与国际水平对比见表 6。

开发出 0~1Cr13 不锈钢, 通过控制 Cr_{eq}、加热温度, 提高热加工性能。在长期生产实践基础上,

通过分析各元素的影响, 提出 Cr_{eq} 控制范围, 并依据 Cr_{eq} 确定具体加热温度, 很好地解决了热轧卷边裂质量问题, 如表 7 所示。

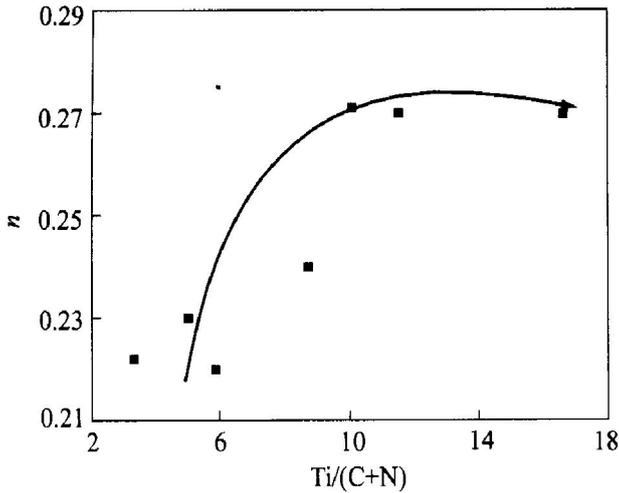


图 5 00Cr11Ti 冷轧板 $Ti/(C+N)$ 与加工硬化指数 n 值的关系

表 6 太钢 00Cr12Ti 的性能变化及其与国际水平比较

项目	太钢		德国	日本
	1999 年	2001 年		
r 值	1.383	1.507	1.656	1.400
延伸率, $\delta_5/\%$	38	44	37	37
抗拉强度/MPa	440	423	424	407

表 7 0~1Cr13 热轧卷边裂质量改进情况

分类情况	1999 年		2000 年	
	0Cr13	1Cr13	0Cr13	1Cr13
裂边废品比例/ %	7.74	7.08	0	0
裂边利用品比例/ %	7.96	9.75	0	0

1.2.2 控制不锈钢冷轧薄板表面质量技术

1) 热轧卷表面线性缺陷控制技术

针对 304 钢两相高温塑性差异造成的线性缺陷, 采取高温奥氏体稳定性及高温相比比例控制技术, 控制 Ni_{eq} , 降低加热温度, 使高温铁素体相比比例低于一定值。通过以上两项措施, 热轧卷表面线性缺陷得到彻底解决。

2) 2B 板表面质量控制技术

利用 X 射线光电子能谱仪对表面钝化膜进行分析和对表面颜色进行测量, 优化酸洗工艺参数, 主要是开发出新型刷辊技术, 消除表面竖条纹; 采用带钢表面清洁技术, 提高表面色泽均匀性。2B 板表面质量与国际水平对比见表 8。

3) BA 板表面质量控制技术

对影响 BA 板表面光泽度的环节进行研究, 主要是热轧带钢原始表面粗糙度与冷轧表面光泽的关系; 开发特殊轧制工艺, 采用特殊轧辊, 限速轧制;

控制光亮炉内气氛, 采用超低露点和氧含量、高氢含量气氛。太钢 BA 板与国际水平对比见表 9。

表 8 太钢 2B 板表面质量变化及与国际水平对比

项目	太钢		韩国
	1995 年	2002 年	
表面色泽	不均	均匀	均匀
表面一级品率/ %	56	89.5	90

表 9 太钢 BA 板表面质量与国际水平对比

项目	太钢	韩国
表面粗糙度, $R_a/\mu m$	0.02~ 0.04	0.02~ 0.04

1.2.3 研制开发出众多新品种, 满足了市场需求
很多品种填补了国内空白, 替代进口, 满足了重点工程需要, 年开发量不断增加, 主要品种有:

00Cr12Ti 汽车排气管用钢;

0Cr18Ni9Cu2、0Cr17Ni7Cu2 深冲用钢;

0Cr16Ni14、0Cr18Ni12 无磁钢;

1Cr17Mn6Ni5N 冷轧带钢;

1Cr17Ni7 冷轧带钢;

00Cr17Ni14Mo2 尿素用钢;

1Cr20Ni14Si2、0Cr25Ni20、1Cr25Ni20Si2 耐热钢;

00Cr18Ni5Mo3Si2、0Cr22Ni5Mo3N 双相钢;

不锈钢复合中厚板及薄规格冷轧双面复合板;

300 系列(304M、304ES、304HC、316L、308L、302HQ) 线材。

通过“九五”技术创新项目, 围绕不锈钢光亮板(BA 板) 技术; 高质量 Cr 不锈钢冷轧卷、板的技术; 高质量 2B 板的技术; 不锈钢冷轧薄板生产技术软件及系统集成技术等 4 方面的深入研究与开发, 在没有引进国外工艺技术的前提下, 形成了许多具有自主知识产权的不锈钢生产工艺技术, 为太钢发挥技改效果提供了技术支持, 同时对带动我国不锈钢生产技术的快速发展, 提高不锈钢的国产化率, 填补国内品种空白, 减少进口, 节约外汇, 也起到积极作用。

1.3 开展以质量攻关为主要内容的对标挖潜, 实现成本大幅度降低

1.3.1 产品实物质量明显提高(见表 10)

1.3.2 综合成材率显著提高

1995 年到 2002 年冷轧带钢工序和热轧中板工序的成材率分别提高了 6.32% 和 4.3%, 特别是不锈钢全线综合成材率从 1995 年的 68.94% 提高到

表 10 冷轧板实物质量对比

项目	对比目标	攻关前 1995 年	攻关后 2002 年
同板差/mm	韩国 ±(0.01~0.02)	±(0.13~0.18)	±(0.01~0.02)
纵向厚度差/mm	韩国 ±(0.01~0.02)	±(0.10~0.15)	±(0.01~0.02)
$\delta_5/\%$	日本 ≥ 55	< 40~45	58~65
表面粗糙度	2B 日本 0.05~0.1	0.3~0.5	0.05~0.1
	BA 日本 0.02~0.04	-	0.02~0.04
表面质量	进口: 表面均匀、无色差	表面不净、色差大、钝化膜厚度不均	表面均匀、钝化良好、无色差
边部质量	整齐、光滑	4~5 mm	光滑, ≤ 1 mm
一级品率/%	张浦 92	85	92

了 85.75%，提高幅度达到 16.81%，如图 6 所示。提高的主要原因与设备改造和工艺改进有直接关系。关键性措施有：AOD 炉扩容和连铸机在线切割改造，使单炉连铸变成多炉连铸，连铸坯收得率和铸坯修磨收得率提高，卷重由 4.2 t 增加到 13.5 t，冷轧工序由两个轧程改为一个轧程，两次切边改为一次切边，减少各工序废品等。

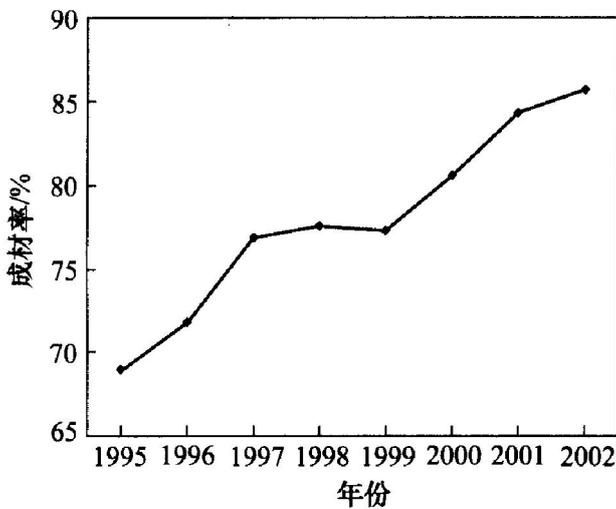


图 6 “九五”后综合成材率的提高

1.3.3 精炼比、综合连铸比提高(图 7 和图 8)

1.3.4 连铸坯收得率和修磨收得率提高(图 9)

1.3.5 AOD 炉衬寿命提高

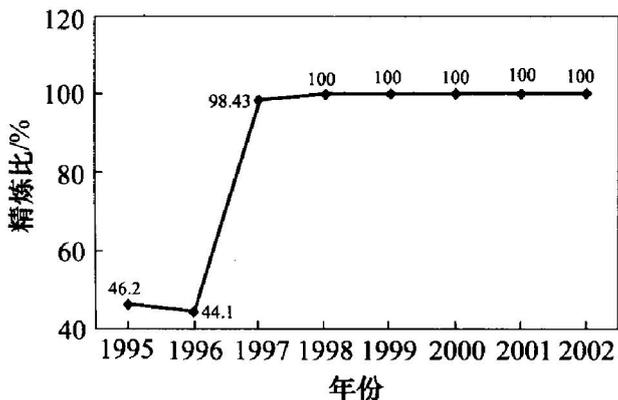


图 7 “九五”后精炼比变化

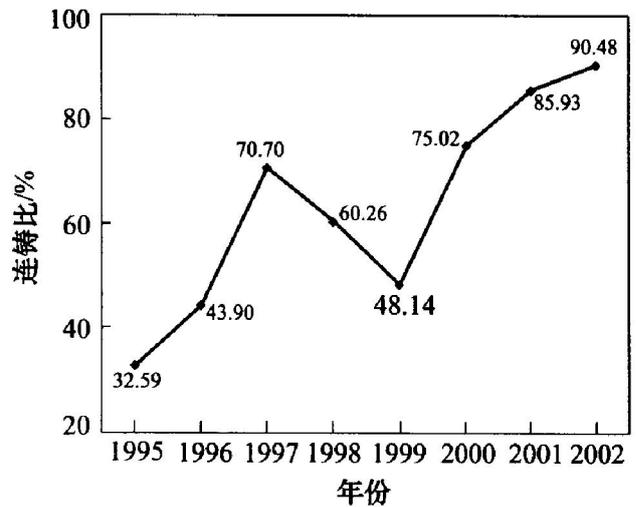


图 8 “九五”后综合连铸比变化
(其中,板带连铸比从 2000 年起为 100%)

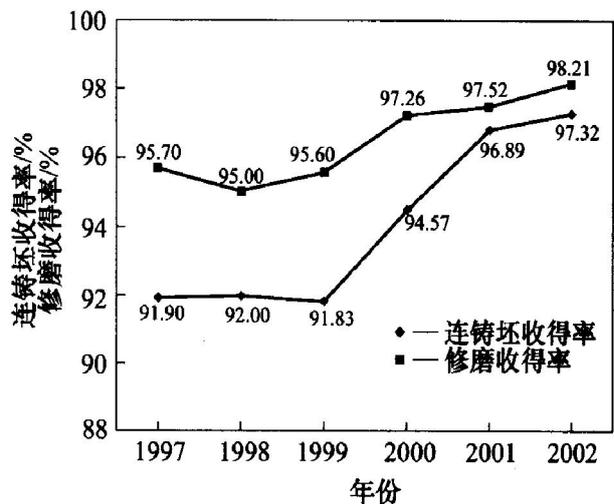


图 9 “九五”后太钢不锈钢连铸坯收得率和修磨收得率的提高

AOD 炉衬的寿命直接影响到不锈钢的制造成本与质量。提高 AOD 炉龄的主要措施是：炉体结构改型；改进耐火材质，全部采用优质镁白云石砖替代镁铬砖；开发了单渣法冶炼，吹炼全过程保持炉渣高碱度，降低氧化期最高温度，减少炉衬的化学浸蚀和物理熔损。2002 年平均炉龄为 120 次，达到国际同类炉型(台湾唐荣)先进水平，如图 10 所

示。

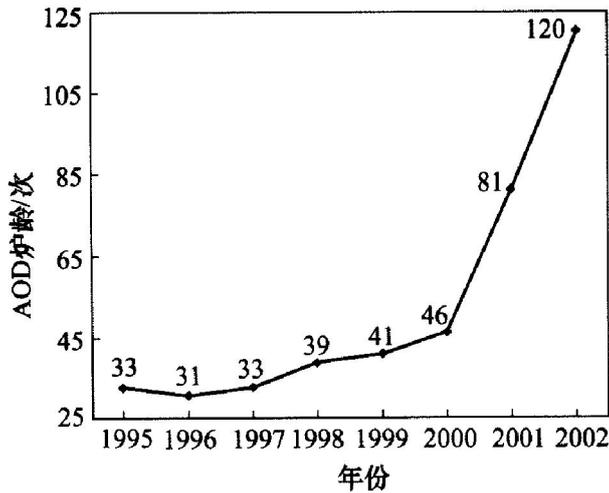


图 10 “九五”后 AOD 炉龄的提高

1.3.6 成本大幅度降低

由于产品质量的提高、产量的增加、新工艺技术的开发与应用,使产品成本大幅度下降。图 11 所示是“九五”以来不锈钢冷轧薄板成本变化情况,可见,2002 年比 1995 年下降了 47.11%。太钢不锈钢全线成本已低于国际平均水平,达到目前国际先进水平,具备了较强的国际竞争力。

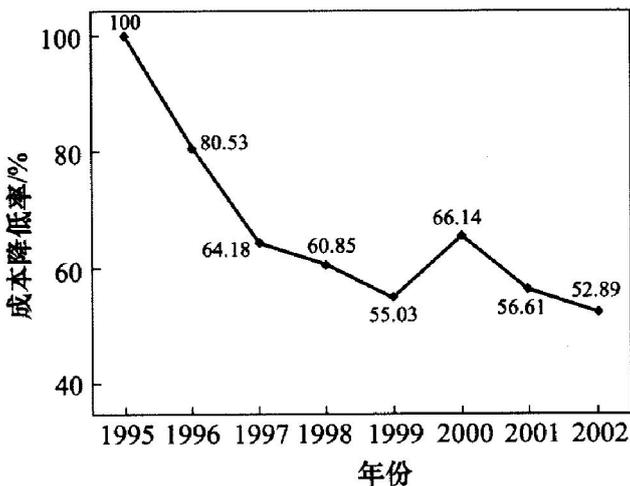


图 11 “九五”后冷轧薄板全线成本变化

2 高起点、大规模发展,进入国际不锈钢“五强”

当前,世界不锈钢的发展正向专业化、大型化、连续化、高集中度的方向发展。太钢在认真分析研究国内外市场及不锈钢生产的发展趋势的基础上,为了进一步把太钢的不锈钢做大做强,在已形成 100 万 t 不锈钢的基础上,不失时机地提出了新建年产 150 t 不锈钢项目,届时太钢不锈钢总规模

将达到 250 万 t 以上。

2.1 新建 150 万 t 不锈钢项目概要介绍

2.1.1 产品产量

不锈钢连铸坯: 150 万 t, 其中 Cr-Ni 系列约占 75%, Cr 系列约占 25%。

不锈钢热轧卷: 148 万 t, 其中热轧不锈钢开平板 15 万 t。

不锈钢冷轧板: 104 万 t, 其中白卷 20 万 t。

2.1.2 基本工序组成及工艺流程图(图 12)

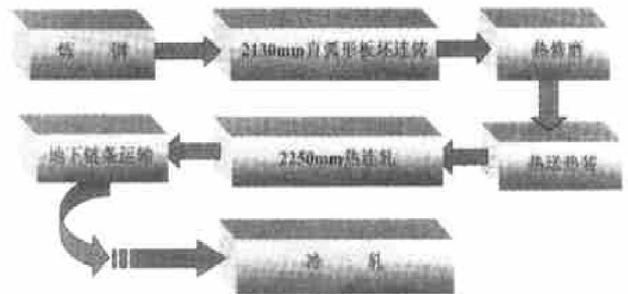


图 12 新建 150 万 t 不锈钢生产工艺流程

2.2 新项目工艺技术及装备特点

2.2.1 炼钢、热轧、冷轧紧凑布置,物流顺畅,体现了工艺流程高效化、连续化

2.2.2 装备大型化

炼钢采用 160 t 超高功率电炉、160 t AOD 炉、160 t 脱磷转炉、2 130 mm 板坯连铸机;

热轧采用 2 250 mm 热连轧机;

冷轧采用 80 万吨级热轧带钢退火酸洗线、1 600 mm 和 2 000 mm 宽幅多辊冷轧机、40 万 t 级冷轧带钢退火酸洗线、45 万 t 级 RAP 线。

2.2.3 规格范围宽

热连轧产品: 最大宽度 2 100 mm, 平均宽度 1 415 mm, 其中宽度大于 1 350 mm 的产品占 35.9%, 宽度大于 1 600 mm 的产品占 22.1%; 冷轧产品: 最大宽度 2 000 mm, 其中 1 500 mm 以上宽幅冷轧板占 27.9%。

2.2.4 采用最新工艺技术

1) 炼钢

采用转炉脱磷铁水为原料的二次法,其特点一是采用转炉脱磷铁水,二是节省投资、工序简单、流程短、成本低。并采用注坯在线热修磨技术,实现热送热装。

2) 热轧

表 11 所列为目前世界上不锈钢热轧带钢 4 种主要生产工艺及比较。

可见,上述 4 种生产工艺各有特点,适合不同

的生产企业,各企业可根据自己的市场定位,从规模、品种和投资几个方面综合考虑后选定。太钢根据产量规模,前后工序匹配,品种规格和产品质量要求,经过分析比较,选择了技术先进、可靠、成熟的2 250 mm半连续热带钢轧机。

3) 冷轧

不锈钢冷轧带钢生产的最新技术是 DRAP 和 RAP 线。它们是用一条生产线组合了传统的不锈钢冷轧工艺所需的热带钢退火酸洗、轧制、冷带钢退火酸洗、平整4条生产线或后3条生产线。它们与传统工艺相比,有以下主要特点:

- a. 缩短加工时间,由传统的三周缩短为 20 min;
- b. 省投资约 30%;
- c. 降低生产成本约 25%;
- d. 减少工厂面积,无中间库;
- e. 提高产品质量;
- f. 适于集中生产厚度在 0.8 mm 以上的产品。

表 12 为目前世界上已经工业化生产的 4 条直接冷轧退火酸洗连续生产线。

由表 12 可知,直接冷轧退火酸洗线大致可分 3

种。第 1 种是不锈钢热轧黑皮卷,不经退火酸洗直接冷轧退火酸洗;第 2 种是只经除磷酸洗而不经退火的不锈钢热轧卷,直接冷轧退火酸洗;第 3 种是利用退火酸洗后的不锈钢热轧卷(白卷),再进入冷轧退火酸洗线。第 1 种方式表面质量要求不高,主要用于生产提高带钢强度的产品,例如管线、容器用不锈钢板;第 2 种方式可生产 2B 表面板,但带钢强度高,轧制压下量受到限制,成品规格较厚;第 3 种方式产品适应性较强,与传统工艺的区别相对要小些。太钢这次选用的是第 3 种方式。

据统计,在世界上主要的 25 家不锈钢冷轧厂中有 19 家可生产宽度大于 1 500 mm 的产品,占 76%。法国、德国、瑞典、芬兰、西班牙、韩国、日本等国家的主要不锈钢冷轧厂都可生产宽度 1 500 mm 以上的产品,其中可生产带宽 1 600 mm 以上的有 10 家,可生产带宽 2 000 mm 的只有 2 家,它们分别是瑞典 Avesta 的 Z 型轧机和比利时 ALZ 的六辊轧机。但是,目前国内还没有一台带宽在 1 320 mm 以上的冷轧机,因此太钢这次将选择 1 600 mm 和 2 000 mm 宽幅多辊冷轧机各一台(机型为 Z 型或甘辊型),以适应市场对宽规格不锈钢冷轧板的需求。

表 11 4 种不锈钢热轧卷生产工艺比较

机组名称	总产量(不锈钢) / (10 ⁴ t)	品种和质量	设备质量	占地面积	基建投资	单位加工费用
半连续式轧机	250~ 400(40~ 120)	品种范围广,质量满足要求	大	大	高	较高
炉卷轧机	50~ 80	品种范围广,质量满足要求	较大	较小	较低	高
薄板坯连铸连轧	100~ 200(20~ 80)	品种规格受限制,质量满足要求	较大	较小	中	较低
薄带连铸	约 40	品种规格受限制,质量满足要求	小	小	低	低

表 12 目前世界上采用直接轧制退火酸洗线的厂家

公司名	厂名	投产时间	生产线名称	生产品种(系列)	入口规格/mm		成品规格		生产线速度			产量/(t·a ⁻¹)
					宽度	厚度	厚度/mm	卷重/t	段口速度/(m·min ⁻¹)	段内速度/(m·min ⁻¹)	轧机速度/(m·min ⁻¹)	
J&L	Nidland	1998年	直接轧制退火酸洗线	200/ 300/400	660~ 1 625	0.8~ 8.0	0.8~ 4.0	24		46		27.5
Ugine	Isbergues	1999年	直接轧制退火酸洗线	300/ 400	700~ 1 625	1.5~ 6.5	1.0(0.8) ~ 4.0	30	110	50	75	27
Avestar Polarit	Tornio	2003年	轧制退火酸洗线	300/ 400	950~ 1 650	1.0~ 6.0	1.0~ 6.0	30	350	150	250	110 ^①
Avesta	Nyby	1990年	直接轧制退火酸洗线	300	600~ 1 550	1.25~ 6.0	1.0~ 5.5	25	62.5	50	50	15

①其中热卷 75 t/a, 冷卷 35 t/a

2.3 竞争力分析

1) 太钢产量达到 250 万 t 后, 进入世界前 5 名, 如图 13 所示, 成为世界上最大规模的不锈钢单一生产厂, 体现了当今世界提高不锈钢生产集中度的发展趋势, 规模经济优势更加突出。

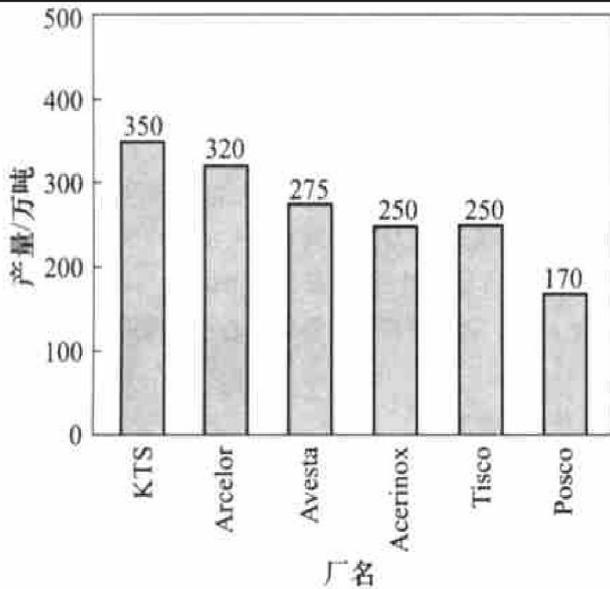


图 13 世界不锈钢厂产量排名

2) 采用很多世界一流技术, 实现工艺技术装备的高效化、连续化、大型化和“克隆化”, 充分体现了后现代优势。

3) 专业化分工更加合理和明确, 可以充分利用不同炉机和生产线的特点, 按钢种、分规格实现专业化生产。

4) 产品实物质量进一步提高, 达到国际先进水平。新项目完成后, 太钢不锈钢产品与国际先进水平比较见表 13 和 14。

表 13 热轧卷实物质量对比

项目	新项目建成后太钢 2 250 mm 热轧卷	国际最 先进水平
厚度公差	$\pm(20 \sim 50) \mu\text{m}$	$< 5 \text{ mm} \pm 25 \mu\text{m}$
宽度公差/mm	+ 0~ 3.5	+ 0~ 4
平直度/IU	± 15	± 15

表 14 冷轧产品实物质量对比

项目	新项目建成后 太钢新冷轧产品	国际最先进水平
厚度精度/mm	$\pm(0.01 \sim 0.015)$	$\pm(0.01 \sim 0.015)$
不平度/ $(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	≤ 2	≤ 2
2B 表面粗糙度/ μm	0.05~ 0.1	0.05~ 0.10
BA 表面粗糙度/ μm	0.02~ 0.04	0.02~ 0.04

5) 品种规格齐全, 更有利于满足市场要求(见表 15), 特别是宽度大于 1 600 mm 的不锈钢热轧卷和冷轧板长期依赖进口的局面可以得到有效解决, 并可销往国际市场。400 系列不锈钢, 特别是 409 和 430 铁素体不锈钢产量将大幅度增加, 使 Cr 系不锈钢占总量 25% 以上。国内市场占有率预计将由 2003 年的 17% 提高到 40% 以上。

表 15 建设前后可供市场选择的产品规格对比

项目	目前规格	建成后规格
中板	(8~ 40) mm × (1 600~ 2 000) mm × (4 000~ 8 000) mm (单张中厚板)	(8~ 40) mm × (1 600~ 2 000) mm × (4 000~ 8 000) mm (卷切中板+ 单张厚板)
	(2.5~ 6.5) mm × (1 000~ 1 350) mm × C mm	(2.0~ 16(20)) mm × (1 000~ 2 100) mm × C mm
热轧卷	(0.3~ 3.0) mm × (40~ 1 219) mm × C mm	(0.2~ 4.75) mm × (50~ 2 000) mm × C mm
冷轧卷		

6) 采用廉价铁水为原料, 煤、电和人力成本以及吨钢投资相对较低, 全线加工费将低于世界主要不锈钢生产企业的平均水平, 达到国际先进水平。

3 结束语

“九五”后, 太钢在不锈钢产量、品种、质量、工艺技术等方面都取得了很大进展, 形成年产不锈钢 100 万 t 的能力, 实现了跨越式发展。新的 150 万 t 项目完成后, 太钢不锈钢产量规模将进入世界前 5 名, 成为世界上最大规模的单一不锈钢生产厂。太钢将努力保持中国最大的不锈钢生产企业的地位, 并将努力成为世界上最具竞争力的不锈钢生产企业之一。

参考文献

[1] 王一德, 李学锋. 太钢不锈钢生产技术的新发展[J]. 钢铁, 2002, 37(6): 64-67.

(编辑 杨 兵)