

特约专栏

# 我国特殊钢行业发展成就与特点

唐 荻, 米振莉, 吴华杰, 李志超, 党 宁

(北京科技大学 高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083)

**摘 要:** 概述了我国特殊钢发展的历程和各个时期的特征, 通过对比分析国内外特钢发展尤其是技术发展的趋势及特点, 总结出我国特殊钢发展的成就与不足, 并提出现阶段我国应该加大力度发展特殊钢, 在政策上、资金上和技术上予以重点的扶持, 将优化特殊钢质量, 规范特殊钢生产工艺和规模以及提高资源能源的利用效率作为特殊钢今后发展的重要目标和方向。

**关键词:** 特殊钢; 行业发展

**中图分类号:** TG142.47 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2011)12-0018-05

## Achievements and Characteristics of Special Steel Industry Development in China

TANG Di, MI Zhenli, WU Huajie, LI Zhichao, DANG Ning

(National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, USTB, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The history and characteristic of the special steel development in our country was overviewed in this paper. The achievement and shortage of special steel in our country was summarized by comparing with it in foreign country. This article proposed that the special steel should be developed chiefly in our country. We should support the special steel in policy, fund and technology. The target is to optimize the quality of special steel product, to establish the process specification of special steel and to improve utilization ratio of resource and energy.

**Key words:** special steel; industry development

### 1 前 言

特殊钢是国民经济各部门不可缺少的重要基础材料, 发展特殊钢对国民经济的支柱产业和现代国防建设具有重要的意义, 在国防军工和航空航天等关键领域也需要大量的特殊钢材, 在世界上工业发达国家, 特殊钢占钢材总产量的比例很大, 一般为15%~20%, 其中瑞典特钢比最高, 占其钢材总产量的45%~50%, 可以认为特殊钢是钢铁材料中的高端产品。

我国特殊钢生产是从上世纪50年代学习苏联开始的, 经过60年的发展, 从无到有, 不断发展壮大。大致经历了以下几个阶段:

**第1阶段** 新中国建立初期, 通过向苏联学习, 建立了一些特钢企业, 主要满足国防和重点建设项目的需要。当时重点特钢企业有: 大连特钢、本溪特钢、抚顺特钢、重特、太钢; 大跃进时期改建和新建的重点特钢

企业有: 大冶、北满、上钢五厂、首钢特钢公司; 三线建设时期迁建的重点特钢企业有: 长城特钢、西宁特钢、陕西特钢、贵阳钢厂等。

**第2阶段** 改革开放30年来, 特殊钢企业的建设和改造取得了令人瞩目的成就。我国主要特殊钢企业产量由改革开放之初1978年的265万t增加到2010年的564万t(包括碳素结构钢), 合金钢由1978年的125万t增加到2010年的4436万t, 不锈钢粗钢产量在改革开放之初长期徘徊在20~30万t水平, 到2010年产量超过1000万t, 占全球产量的1/3, 居世界第1位。

**第3阶段** 21世纪以来, 我国特殊钢行业经过结构优化、兼并重组, 在集团化、专业化、产业延伸等方面都取得了很大进展, 逐步形成了太钢集团、武钢集团、宝钢股份、中信泰富特钢集团、东北特殊钢集团公司、天津钢管公司等大型特殊钢企业集团和专业化特钢企业。同时在全行业逐步建成不锈钢、硅钢、高速钢、合金钢棒材、中厚板、管材、线材、精密合金、高温合金、合金钢丝(制品)等专业化生产线。

收稿日期: 2011-11-02

通信作者: 唐 荻, 男, 1955年生, 博士, 教授, 博士生导师

## 2 特殊钢技术发展

影响特殊钢产品特别是高端特殊钢产品质量的因素很多,虽然特殊钢产品的牌号多,钢种复杂,对于不同的钢种,技术要求并不完全相同,但其基本要求是“三高一无”:高纯净度、高均匀性、高精度、无缺陷。生产高质量特殊钢的关键是精料、精炼、无缺陷连铸、高精度轧制、在线热处理和性能检测、先进的精整技术,其中精炼与连铸是国外先进特殊钢企业近年来较为关注的方向。

### 2.1 转炉生产特殊钢的比重增加

转炉产特殊钢产量增加对传统电炉生产特殊钢企业形成冲击,一些先进钢铁生产国采用转炉大量生产特殊钢,如日本,尽管转炉生产的特殊钢量仅占转炉钢总产量的 16%~18%,但是其绝对量早已超过了电炉生产特殊钢的总量。

转炉采用金属杂质含量低的铁水作为原料,脱碳效果好,适于生产低碳及超低碳、低氮和低金属杂质钢种。随着转炉技术的进步、铁水预处理及二次精炼技术的采用,以及转炉冶炼的高效率、低成本等优势,转炉冶炼特殊钢的比例越来越大,转炉流程在特殊钢的生产领域已经占据了一定的地位,尤其是对用量大、适于连铸钢种的生产领域,如不锈钢、轴承钢、弹簧钢等生产中取得了很好的效果。

### 2.2 炉外精炼

无论是采用电弧炉冶炼,还是采用转炉冶炼,炉外精炼都是生产高质量特殊钢的关键工艺环节。不同的特殊钢一般采用不同的精炼技术(见表 1),例如,合金结构钢一般采用钢包精炼,而高性能轴承钢要求高纯净度,需要采用钢包精炼加真空循环脱气;常用不锈钢一般采用氩氧炉精炼,而超低碳不锈钢、超纯铁素体不锈钢则采用真空脱气法进行脱碳处理。

### 2.3 采用连铸技术

传统特钢生产大多采用模铸方法,随着连铸技术的发展,目前,国外特殊钢生产企业,除了在生产少量特殊用途或者目前连铸还无法生产的个别钢种,如超高强度钢、工模具钢、高速钢等高合金钢时仍采用模铸工艺外,其它大部分钢种都采用连铸工艺生产,有些国家的特殊钢连铸比已达到 95% 以上<sup>[1]</sup>。并且随着用户对于质量要求的提高,连铸坯断面有越来越大的趋势<sup>[2]</sup>(见表 2)。

### 2.4 采用连铸连轧技术

采用连铸连轧工艺可提高生产率;降低能耗及降低

表 1 不同类型特殊钢的冶炼和精炼工艺方案选择

Table 1 Smelting and refining process scheme selection of different special steel types

Steel types	Smelting processes
Carbon steel	Converter + Argon blowing Electric furnace/ Converter + LF
Carbon tool steel	Electric furnace/ Converter + LF
Alloy constructional steel	Electric furnace/ Converter + LF + (VD)
Bearing steel	Electric furnace + LF + VD Electric furnace + VOD/VAD Electric furnace + ASEA-SKF Converter + LF + RH /VD
Stainless steel	EF with return metal oxygen lancing process Electric furnace/ Converter + AOD or VOD Converter + RH-OB Electric furnace/ Converter + Converter (AOD) + VOD Electric furnace + GOR
High-speed steel Alloyed tool steel	EF with white slag process Electric furnace + ESR or VAR Induction furnace + ESR Electric furnace + LF
Die steel	Electric furnace + LF( + VD) Electric furnace + ESR
Electric silicon steel	Converter + RH Electric furnace + Vacuum treatment
Superalloy	VIM + VAR VIM + ESR (PMR)

Note: ESR: electroslog remelting; VIM: vacuum induction melting;  
VAR: vacuum arc remelting; GOR: gas oxygen refining; PMR:  
plasma remelting

生产成本;提高成品的均匀性和一致性,即有优良的力学性能和工艺性能、尺寸公差和表面质量;减少半成品的装卸;缩短供货时间,从签订单到成品交货的总费时不到 4 h。

### 2.5 在线热处理技术

特殊钢通常要进行热处理以保证性能要求,传统的特殊钢生产一般要根据需要进行离线的热处理,现代的生产线上已经装备了一些在线的处理设备,可以根据需要进行处理,节约了能源、提高了效率和产品质量。

### 2.6 高精度轧制技术

精密轧制能够使热轧状态下的轧材尺寸精度不经冷加工或需少量冷加工就达到特殊钢市场、汽车用钢市场以及机加工行业的要求。由于精密轧制的轧材改善了椭圆度、尺寸公差,从而使冷拉模寿命增长,冷拉的道次减少、工艺流程得到简化。通过精密轧制机组能使产品的尺寸偏差达到小于  $\pm 0.1 \sim \pm 0.15$  mm,椭圆度达小于  $0.1 \sim 0.15$  mm。

表 2 国外特殊钢主要生产厂家的典型生产工艺流程、浇注方式及主要品种  
Table 2 Typical production process, pouring method and major varieties of foreign special steel

Manufacturer	Process and equipment	Main products
Sanyo Steel Japan	90 t EAF-LF-RH-CC(3 strands vertical caster, 380 mm × 490 mm)-bloom rolling	Bearing steel, Pinion steel
Daido Steel Japan	70 t EAF-LF-RH-CC(2 stands curved caster, 370 mm × 480 mm/4 strands vertical round caster $\phi$ 170 mm ~ 350 mm)-bloom rolling	Alloy constructional steel, Bearing steel, Spring steel, Free cutting steel
Aichi Steel Japan	80 t EAF-LF-RH-CC(370 mm × 480 mm/185 mm × 185 mm)- bloom rolling or tandem rolling	Alloy constructional steel, Spring steel, Free cutting steel, Bearing steel
Sumitomo Kokura Japan	KR-70BOF-70 t VAD/RH-CC(410 mm × 560 mm)	Alloy constructional steel, Bearing steel, Spring steel, Free cutting steel
Nippon Steel Muroran Japan	TBM-270 t BOF-RH-CC(350 mm × 560 mm) - bloom rolling	Spring steel
SKF Sweden	100 t EAF-OBT-SKF-MR-IC(4.2 t steel ingot)	Bearing steel
VA Stahl Austria	BF-BOF-LF-RH-CC(284 mm × 380 mm)	Structural steel, Pinion steel, Spring steel
LSW Germany	70 t EAF-70 t LF-CC(200 mm × 200 mm/178 mm × 178 mm) CR-finishing heat treatment	Spring steel, Free cutting steel
GMH Germany	125 t DC-EAF-LF-VD-CC(200 mm × 240 mm) -CR	Bearing steel, Spring steel, Free cutting steel
ABS Italy	80 t EAF-LF-VD-CC(280 mm × 280 mm, $\phi$ 220 mm ~ 325 mm)	Alloy constructional steel, Bearing steel
Krupp Germany	EAF(105 t)-LF-RH-CC(6 strands 135 mm × 135 mm, 150 mm × 150 mm, 265 mm × 265 mm)	Alloy constructional steel, Spring steel
Timken America	120 t EAF-LF -CC(280 mm × 375 mm)-blooming( Canton) 170 t EAF-LF-CD-IC- blooming( Canton)	Bearing steel, Spring steel, Alloy constructional steel
Sidenor Spain	70 t EAF-LF-VD-CC( 155 mm × 155 mm)-CR( Vitoria)	Alloy constructional steel, Tool steel, Free cutting steel, Bearing steel

3 我国特殊钢发展的成就和不足

3.1 发展的成就

改革开放以后，我国特殊钢事业也发生了很大变化，取得了很大的进步，如前所述，我国的特殊钢企业的产量已经达到了很高水平(2010 年合金钢产量超过 4 000 万 t，发达国家仅 8 000 余万 t)。许多的特殊钢的钢种我国的产量都到达世界第一位，我国特殊钢的产品也对我国的国民经济建设，特别是国防建设发挥了重要的支撑作用，我国的两弹一星、神舟飞船、先进的战斗机、新型驱护舰、核潜艇、新型主战坦克和各种新型兵器都离不开特钢产品。

近年来，我国特殊钢行业的企业结构、工艺结构和产品结构不断调整以适应市场发展的需要。一些企业特别是大型钢铁企业的一些生产线得到大规模的改造已经具有世界先进水平。如：

- 太钢、宝钢不锈钢建成了世界先进的不锈钢生产流程，全国形成了年产 1 000 万 t 以上不锈钢的产能；
- 武钢、宝钢、太钢建成了较先进的硅钢生产线；
- 大连钢厂、抚顺特钢和北满组成了大型综合性

的东北特殊钢集团，产品覆盖几乎所有的特殊钢品种；经过目前的大规模改造以后，预计形成 400 ~ 500 万 t 的生产能力；

——兴澄、大冶组成了中信泰富特殊钢集团，正在进行大规模改造，改造后预计形成钢产量约 900 万 t/a 的特殊钢集团，主要生产优质碳结钢和低合金特殊钢长型材；

——上钢五厂进入宝钢集团成为宝钢特殊钢分公司，致力于高附加值特殊钢的生产；

——长城特钢进入鞍钢集团以利资源合理分配；

——首钢、石钢等企业采用转炉流程生产优质碳结钢和合金钢。

由于特殊钢生产的工艺技术复杂，对于各种装备的要求更高，所以近年国内的特钢企业正在进行相关的技术改造，其改造主要集中在以下方面：

——建设高炉、转炉，以及相关的配套设施，一般的高炉容积在 500 ~ 2 000 m<sup>3</sup> 的范围；转炉在 100 t 左右的，配套的 LF、VD 和 RH；

——建设大型超高功率电炉和相关配套设施，如建设与电炉配套的 LF、VD 等；

——建设大断面的连铸方坯或圆坯连铸机，满足生

产大压缩比型材和管材的需要;

——建设轧制大断面连铸坯需要的大型轧机 600 mm 以上的轧机以及配套的连轧机组;

——对于原有的轧机进行现代化改造,增加定减径机组以提高产品的尺寸精度;

——建设新的大型真空熔炼炉、电渣重熔、真空自耗等设备,增加特殊冶金产品的产量和质量水平;

——增加大吨位锻压机、精锻机、快锻机,提高生产大型特殊钢锻件的能力;

——建设重点产品的机械加工设备 and 热处理设备,以利于深加工产品的生产与质量提高。

这些改造预计 2~3 年内可以完成,届时我国特殊钢行业的装备水平将会有有一个比较大的改变。

### 3.2 存在的问题

但我国特殊钢行业的整体发展水平,不论工艺技术水平、品种质量状况,还是产业竞争力,与先进国家相比,都有很大差距。具体表现在:

**企业结构** 特殊钢企业数量多、规模小、布局分散、集中度低。据初步统计,全国有上千家规模小的特钢企业,由于企业过多,无序竞争严重。

**品种结构** 特殊钢品种中低端产品多,低端产量过剩,高端产品少,大量依靠进口,造成进出口产品价差巨大。据统计:2010 年上半年我国累计进口主要特钢产品 91 万 t,平均进口价格为 2 549 \$/t,出口价格为 627 \$/t,相差 3.1 倍。其中不锈钢棒线材进口价格为 3 991 \$/t,出口价格为 2 993 \$/t,价格差为 998 \$/a。再以模具钢为例,每年进口 10 万 t,进口价格比国内产品高几倍到十几倍,例如 H13 制的压铸模具寿命,国产仅 3~5 万次,进口的可达 20 万次。又如高速钢,我国产量是日本的 37.6 倍,但单件价格只有日本的 1/24,特别是高性能含钴高速钢比例低,不足 8%<sup>[3]</sup>。

**工艺技术与生产装备** 工艺技术装备水平参差不齐。我国一些特殊钢企业,特别是一些长流程钢铁联合企业所属的特殊钢厂,经过全线各工序的系列改造和装备更新,引进世界一流的特殊钢装备,逐步形成了不锈钢、电工钢板带等的专业化生产线,并且这些企业的装备水平整体属于世界先进水平,这些特殊钢生产企业的先进和较先进的装备比例已经超过 85% (或达到 90%),比如太钢的不锈钢,武钢的硅钢。另外,部分重点特殊钢企业正在开始进行有针对性的技术改造、装备更新,预计一、两年内可以完成,届时将形成工艺装备与产品的特色化的生产线,目前这些企业先进装备的比例较低,不超过 50%,通过这一轮改造有可能达到 80% 以上。

**与发达国家差距** 与先进国家相比我国特钢产品质量差且性能不稳定。除大多数特钢企业装备落后的原因以为,特钢的技术含量高,生产难度大也造成我国特殊钢质量与发达国家相比差距大,特别是稳定性差。例如轴承钢 O 含量,目前我国最好水平达到 0.000 7% 左右,通常是 0.001 0%,而日本、瑞典生产的轴承钢的 O 含量都可以稳定的控制在 0.000 7% 以下,先进企业可以达到 0.000 5% 以下(如日本山阳特钢的轴承钢氧含量  $\leq$  0.000 4% ~ 0.000 5%),而 O 含量 0.000 5% 的轴承钢生产的轴承寿命比 0.003 0% 的产品寿命提高 30 倍。齿轮钢的 O 含量国外通常稳定控制在 0.001 0% 以下,我国通常是 0.001 2% ~ 0.001 3%,比国外先进水平高 0.000 2% ~ 0.000 3%。再如模具钢方面,国外 80% 的模具钢采用真空精炼和电渣重熔的工艺生产,而国内采用电渣重熔生产的模具钢的份额很少,仅占 10% 左右;成材率国外达到 85% ~ 90%,而我国仅为 70%;钢材利用率国外为 70% ~ 75%,我国仅为 50%。我国 H13 模具钢横向冲击韧性只有纵向性能的 0.2 ~ 0.3。

## 4 现阶段我国特殊钢发展的几个特点

当前我国特殊钢行业在发展中,有几个特点值得高度关注。

**废钢利用不足** 废钢不足,质次价高,征收废钢税,使电炉+废钢生产模式难于生存,电炉大量采用铁水(生铁)作为原料。据初步了解,目前国内电炉特钢企业全部以废钢作原料的比较少,初步估计在 10% 以下,90% 以上的企业部分使用铁水作为原料。从现在的情况看,电炉使用铁水的比例一般占原料的 30% ~ 50% 左右,就是没有高炉铁水的企业也尽量采用部分化铁炼钢、生铁块或海绵铁作为原料。造成这一现象的原因是:国内废钢的回收、处理与市场体系非常不健全,废钢质量很差,不能满足特殊钢生产需要的精料的要求。使用国内收集的废钢生产特殊钢,往往残余合金元素过多,控制非常困难,特别是一些难于在冶炼中去除的合金元素造成最终产品质量无法保证。国内废钢供应量少,进口废钢由于税收制度不合理造成废钢价格过高。采用废钢作原料、电炉冶炼本来是一种环保的生产方法,对于这种方法国家应当鼓励,但是我国对于废钢经营者征收 17% 的税,使废钢价格高居不下。在废钢供应少、价格高、质量差的情况下,特钢企业只能采用添加铁水(生铁或海绵铁)的办法,解决原料短缺的问题,这样做也可以稀释过高的残余合金量,同时降低生产成本,据调查,现在国内采用电炉添加 50% 铁水的生产方法,可以比全废钢电炉生产降低成本 300 元/t,

所以企业纷纷采用这种技术。

**短流程向长流程发展** 特钢厂在大量建设高炉和转炉, 特钢的短流程在向长流程发展。由于我国经济发展的特殊阶段, 现在相当多的特钢企业正在建设高炉 + 转炉流程生产特殊钢。之所以采用这种生产方法, 除上述的原因以外, 电费过高造成企业成本增加, 以及采用优质铁水和转炉钢水精炼工艺, 可以保证钢水有高的洁净度, 也是重要原因。据调查, 如果采用长流程高炉 + 转炉 + 精炼的方法生产特殊钢, 一般要比采用废钢 + 电炉流程生产特殊钢成本低 300 ~ 500 元/t 钢(有的企业反映: 如果生产特优产品, 使用高清洁废钢, 成本相差有 800 元/t), 而且质量更容易保证。

从技术层面看, 长流程与短流程相比也确有一些特色:

——原材料: 铁水的纯净度和质量稳定性均优于废钢, 采用铁水做原料避免了废钢中的残余元素难以去除的问题;

——铁水预处理: 采用预处理工艺, 进一步提高了铁水纯净度: S 的质量分数  $\leq 0.005\%$ , P 的质量分数  $\leq 0.01\%$ ;

——转炉的终点控制水平高, 渣钢反应比电炉更接近平衡;

——转炉钢水的气体体积分数低, 冶炼过程中没有电炉冶炼过程中电弧区钢液吸 N 问题,  $N \leq 20 \times 10^{-6}$ ,  $H \leq 3 \times 10^{-6}$ , 少渣冶炼( $H \leq 1.5 \times 10^{-6}$ );

——顶底复合吹炼工艺不仅使钢水成分和温度更均匀、吹炼更平稳, 而且终点残余 Mn 含量提高, 吹炼时间、氧气消耗量及炉渣中的 FeO 含量均有所降低, 因此 Fe, Mn 等金属收得率提高;

——炉外精炼技术的进步使转炉冶炼特殊钢的能力增强, 炉外精炼、连铸的装备和工艺水平基本与电炉相当;

——生产效率高、消耗低, 目前国内转炉钢比电炉钢的生产成本低 300 ~ 500 元/t。

要特别指出的是, 采用长流程生产特殊钢, 需要耗

费大量矿石, 但是现在估计矿石价格完全被西方国家垄断, 价格不断上涨, 给企业的成本压力也越来越大。并且据测算, 与使用铁矿石相比, 用废钢炼钢可节约能源 60%、节水 40%, 减少排放废水 76%、废气 86%、废渣 72%。每多用 1 t 废钢, 可少用 1.7 t 精矿粉, 减少 4.3 t 原生铁矿石的开采。足可见废钢铁的综合利用在节能减排、绿色环保中的作用, 所以从节能环保的角度讲, 采用废钢生产特殊钢是有利的。

## 5 结 语

(1) 相对于普钢, 我国特殊钢行业现实与发达国家的差距更大一些, 因此为得到钢铁强国, 需要做的努力更多。

(2) 特殊钢技术复杂、工序多、装备种类多, 生产难度大, 同时特殊钢对于国防、新兴工业领域的发展有关键作用, 需要国家重视加大投入。

(3) 特殊钢企业通常产量低, 利润低, 赢利能力不强, 但是特殊钢一些产品的研发和生产投入相对大, 技术含量高, 单单依靠个别企业攻关有一定难度, 国家应当组织一定的产学研研发平台, 利用社会力量, 形成合力, 尽快改变特钢行业技术研发的面貌。

(4) 国家出台一些政策鼓励企业联合重组、鼓励企业更多的采用节能减排的工艺技术(如多利用废钢), 使企业在生产产品对社会经济有贡献的同时, 对社会环境有所贡献。

## 参考文献 References

- [1] Cai Xieao(蔡燮鳌), Cheng Jiang(承江). 特殊钢的连铸[J]. *Special Steel*(特殊钢), 2005, 26(3): 28-30.
- [2] Wang Zhongying(王忠英), Li Zhenjing(李振京). 对国内特殊钢冶炼及连铸技术的分析和探讨[J]. *China Metallurgy*(中国冶金), 2004(8): 22-25.
- [3] S&P Consulting(尚普咨询). 2010-2015 *China Special Steel Industry Investment Analysis and Prospect Forecast Report*(2010-2015 中国特钢行业投资分析及前景预测报告)[R]. Beijing: Cu-Market, 2010.