

大型铸锻件文集

轧辊制造专辑

2

1986

重型机械科技情报网大型铸锻件分网
德阳大型铸锻件研究所

目 录

国外铸钢轧辊的制造现状及发展趋势·····	蒋永福 (1)
国外大型优质轧辊的生产水平·····	曾祖良 (11)
影响热轧辊冶金质量的因素及改进措施·····	陈晓慈 (29)
铝薄板轧机热轧工作辊用钢的改进·····	赵雁杰 张素玲 (32)
过共析钢铸造热轧辊的应用·····	Н.М.Воронцов 等 (37)
180CХНМ钢的热处理和机械性能·····	А.Е.Кривошеев 等 (43)
180CХНМ铸钢的断口组织研究·····	Т.С.Скобло 等 (46)
热轧用铸钢轧辊·····	横山靖、工藤利博 (48)
铸造轧辊的晶粒细化方法·····	藤田秀雄、冈林昭利 (53)
模拟铸造轧辊凝固及冷却的数学模型·····	S.Spencer 等 (55)
轧辊凝固过程的数学模型·····	Н.П.柯捷索夫 等 (66)
复合轧辊的热处理方法·····	后藤宏 (70)
冷轧辊用钢选择·····	Н.Ф.Протасов 等 (72)
钢锭形状和锻造工艺对轧辊锻件质量的影响·····	С.А.Балуев 等 (77)
轧辊残余应力状态测定·····	P.J.Horvath 等 (82)
英国的铸造轧辊制造公司·····	(87)
英国锻造轧辊制造公司·····	(92)
Akers 国际 AB公司——斯堪狄纳维亚唯一的轧辊制造公司·····	(94)

国外铸钢轧辊的制造现状及发展趋势

蒋永福

当前冶金行业的轧制技术正朝着大型化、高速化、连续化和自动化发展,随之对轧辊的质量和品种也不断提出新的要求。在这种形势下,铸钢轧辊以其特有的使用、工艺和经济方面的优越性,在国外得到广泛的应用。

长期以来,铸造行业吸取了冶金学的新成就,应用了许多新材料和新技术,制造出从几十公斤的工作辊到二百多吨的大型支承辊,不但适应了各类轧机轧制工艺的要求,而且还在许多场合下取代了某些锻造轧辊,从而引起轧辊制造厂和使用厂的特别注意。为此,本文对国外铸钢轧辊的制造方法和材料应用问题进行简要的评述。

一、铸造轧辊的成形方法

铸造轧辊的成形,在欧美和日本的许多厂家,根据各自的历史和生产条件,采用了各种方法。这些成形方法大至有以下几类,现分别予以叙述。

1. 整体铸造

这是国外应用较普遍的一种轧辊铸造方法。美国一些主要轧辊制造厂近年都采用这种方法生产轧辊。比如维恩联合公司采用整铸和继后用 Selas 炉热处理的方法生产铸钢支承辊。日本也用此法生产外销铸钢轧辊。

整铸法的铸型有以下三种类型:

(1) 金属型挂砂或冷铁挂砂 美国伯利恒钢铁公司和玛金托斯公司采用对開箱外冷铁挂砂,括板造型,括砂厚度为12.5~25 mm。日本关东特殊钢厂采用金属型挂砂,括砂厚度为15mm。

(2) 水冷砂型 此法应用较少,美国俄亥俄钢厂使用。采用水冷砂型可获得理想的细晶粒铸造组织,偏析较小,从外向内和从下至上定向结晶。可以在120mm厚的表层内获得较致密的组织。铸型分两半,对开砂箱,上下两端冷却用总水管为直径50mm²的无缝钢管,辊身部位轴向放置直径25mm的无缝钢管,钢管间距为80mm左右,如图1所示。浇注时冷却水以0.686MPa的压力由下辊颈端进入,上辊颈端排出。

造型程序:撞背砂→放置冷却水管及上下辊颈外冷铁→撞面砂(石英砂+粘土+糖浆)→辊身水管挂砂和外冷铁挂砂→刷锆英粉涂料→砂型在340℃烘干→再涂一遍锆英粉涂料。

(3) 金属型 这是国外用得最广泛的方法。美国维恩公司及日本胜田工厂均采用。金属型在100~200℃温度刷锆砂涂料0.6~1.2mm。表层致密组织区最厚可达180 mm左右。金属型寿命约为5~30次。

在上述三种铸型工艺中,金属型的费用最大,次为水冷型,金属型挂砂最小。

辊颈部位造型方法,各厂大同小异。上、下辊颈部位采用挂砂条形外冷铁,冒口箱内放一层绝热层。它们内面均刷锆英粉涂料2~3遍。轧辊浇完后采用单相电加热冒口保温,电极直径为100~150mm,因此不用太高的冒口,一般在600mm以下。

2. 溢流冲洗法

这种生产复合铸辊的方法,在西德、法国等欧洲国家应用较多。其铸型装置见示意图2。

表1 国外铸钢支承辊的化学

国别厂名	轧辊部位	化 学 成 分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo/V
美国威恩公司		0.4~0.8	0.3~0.4	0.8~1.5	≤0.02	≤0.02	2.75~3.0		0.4~0.5/
		0.75~0.85	0.3~0.4	0.8~0.9	≤0.02	≤0.02	0.75~0.85	<0.5	0.35~0.45/
美国俄亥俄钢厂		0.38~0.42	0.35~0.45	0.75~0.85	≤0.02	≤0.02	2.75~2.85	微量	0.5~0.6/
美国伯利恒钢铁公司		0.50~1.80	0.30~0.80	0.6~0.9	≤0.03	≤0.02	0.30~1.10	1.30~1.80	0.20~0.70/
美国玛金托施— 海姆希尔分公司		0.82~0.87	0.3~0.4	0.92~0.97	<0.03	<0.03	0.41~0.83		0.41~0.56/
		0.38	0.35	0.75	0.028	0.029	2.76		0.49/0.03
日本日立胜田工厂		0.5~0.7	≤0.7	≤1.2	<0.035	<0.035	1.5~2.5	<0.8	<0.6/ <0.3
		0.4~0.6	≤0.7	≤1.2	<0.035	<0.035	2.5~3.5	<0.5	0.5~1.0/
西德厘比卡才铸造厂	外层	0.8~0.9	0.3~0.6	1.5~2.0	少量	少量	1.5~2.0		0.2~0.5/
	心部	0.2~0.5	0.3~0.6	0.4~0.8	少量	少量			
西 德 刚特门—派渡公司	外层	0.7~1.0	0.3~0.6	1.5~2.0	<0.02	<0.02	1.5~2.0		0.2~0.4/
	外层	0.6~0.8	0.3~0.6	1.5~2.0	<0.02	<0.02	1.5~2.0	1.0~1.5	0.2~0.4/
	外层	1.2~1.5	0.3~0.6	1.5~2.0	<0.02	<0.02	1.5~2.0	0.8~1.2	0.2~0.5/
	心部	0.2~0.5	0.2~0.6	0.4~0.8	<0.02	<0.02			
法国 法国轧辊厂	外层	1.6~1.7	≤1.6	≤2.0	≤0.02	≤0.02	1.6~1.7		0.3~0.5/
	常用外层	0.8~0.9	≤0.6	1.6~2.0	≤0.02	≤0.02	1.6~2.0		0.3~0.4/
法国提霸维尔厂	外层	0.8~1.3	≤0.6	≤1.6	≤0.02	≤0.02	1.0~2.0	1.0~2.0	≤0.5/0.1~0.3
	心部	0.4	≤0.6	0.4~0.8	≤0.02	≤0.02			
西德刚特门—派渡公司	外层	0.68~0.72	0.40~0.37	1.27~1.35	<0.03	<0.03	1.41~1.54	0.88~0.94	0.38/ <0.02
	心部	0.56	0.67	0.84	<0.03	<0.03	0.57	0.27	
西德进口之太钢 冷轧支承辊	外层	0.81	0.66	2.00	0.030	0.037	1.54	2.12	0.29/痕迹
	心部	0.46	0.63	0.75	0.038	0.035	0.45	0.32	0.08/痕迹

成分、机械性能及基本用途

机 械 性 能								硬 度 HS		备 注
σ_b (MPa)		δ (%)		ψ (%)		a_k (J/cm ²)		軋身	軋頭	
外层	心部	外层	心部	外层	心部	外层	心部			
1034	964	5	3	6~8	5~8			60~65	40~45	金属型, 整体铸钢, Selas炉差温热处理, 喷淬, 用于冷、热连轧支承
1034	964	5	3	6~8	5~8			48~52	40~45	
	823		10.0		10.0		8	60~62	45±5	整体铸钢, 水冷砂型, 差温热处理, 喷淬, 冷、热带连轧支承
								32~55		冷铁挂砂, 整铸, 喷淬, 热带连轧机工作 軋和支承
1019~1069	759	1.5~3.0	8	0.40~0.47	8.5			47~49		金属型挂砂, 整铸, 罩式炉差温热处理, 喷淬, 用于冷、热带连轧支承
1019~1069	759	1.5~3.0	8	0.40~0.47	8.5			56~57	30	
980~1180		10~15		10~15		14~28		55~65	40±5	金属型, 整铸, 电感应加热差温热处理, 喷淬, 用于冷、热连轧支承
								60~70	40±5	
1568~1764								50~65		复合铸钢, 溢流法, 金属型, 喷淬处理, 用于冷、热连轧支承
588~784								35~40		
1180~1568						2~20		50~65		复合铸钢, 溢流法, 金属型, 油淬, 用于冷、热连轧支承
1180~1666						2~20		50~70		
882~1274						1~5		50~70		
588~784						9.8~59		25~35		
								65~70		复合溢流法, 金属型, 喷雾或油淬, 用于冷、热轧机、平整机支承
								55~65		
								≤70		真空处理钢水, 复合底漏法, 金属型Cr、N、Mo、V之和≤4%, 其比取决于含C _i 量, 冷、热轧支承
								40~45		
								62.5~64.8		复合铸钢, 冷轧支承
								42~45		
								75~80		复合铸钢, 冷轧支承
								45~55		

表2 国外铸钢工作辊的化学成分、机械性能及基本用途

国钢厂名	化 学 成 分 (%)							机 械 性 能			备 注		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	σ_b (MPa)	δ (%)		a_k (J/cm ²)	硬 度 HS
美国 依高钢铁厂	1.35~1.45	0.35~0.45	0.6~0.7	≤0.02	≤0.02	1.0~1.10	0.4~0.5	0.25~0.35				48~50	整铸平钢, 冷模抬砂, 正火、回火热处理, 热带连轧F ₁ ~F ₃ 工作辊
	1.35	0.40	0.75	≤0.03	≤0.03	0.75	1.6	0.35				34~55	整铸, 冷模抬砂, 差温热处理, 热带连轧F ₁ ~F ₃ 工作辊
日本 日立制作所 若松工厂	1.4~1.8	0.5~0.9	0.6~0.9	<0.05	<0.05	0.8~1.20	0.5~1.00	0.2~0.6	441~637	0.5~2.0	3~6	45~50	整铸, 金属型, 正火、回火处理, 热带连轧粗轧工作辊
	1.6~1.7	0.8	0.8	<0.05	<0.05	1.2~1.30	0.7~1.0	0.5~0.6	490~686	0.5~2.0	3~6	50~55	整铸, 金属型, 差温, 喷雾淬火处理, 热带连轧FW ₁ ~3工作辊
日本 淀川制钢所	0.9~1.1	0.3~0.6	0.6~0.9	≤0.03	≤0.02	0.9~1.31	0.5~2.00	0.5~0.6	>590	>2.0	>10	40~50	LF炉处理钢水, 整铸, 冷型、差温热处理, 喷雾, 热带连轧R ₁ 工作辊
	1.5~1.7	0.3~0.6	0.6~0.9	≤0.03	≤0.02	0.9~1.3	<0.5	0.3~0.6	>490	>0.5	>2	50~55	LF炉处理钢水, 整铸, 冷型、差温热处理, 喷雾, 热带连轧R ₂ ~R ₄ 工作辊, F ₁ ~F ₃ 工作辊
日本 关东特殊钢厂	1.5~2.0	0.2~1.0	0.2~1.0	≤0.03	≤0.02	0~3.0	0~3.0	0.2~1.0				55~60	冷模, 快速加热, 真空冷淬火+回火, 用于热带连轧工作辊
	1.6	0.57	0.68	0.018	0.007	1.48	1.45	0.30				55~60	
美国工厂 英用工作辊	1.6~1.65	0.58~0.64	0.78~0.80	0.018~0.029	0.005~0.016	1.2~1.3	0.5~0.6	0.53~0.59				51~55	冷模, 差温热处理, 热带连轧工作辊
	0.6~0.8	0.4~0.6	0.7~0.9	<0.02	<0.01	0.9~1.20	0.2~0.40	0.2~0.4	>735	>14	>20	28~35	整铸, 宝钢1300初轧机工作辊
日本 新日铁	0.7~0.9	0.2~0.6	0.7~1.1	≤0.03	≤0.02	0.9~1.5	<0.6	0.1~0.6	>686			35~41	整铸, 热带连轧R ₁ 工作辊
	1.5~1.7	0.35~1.0	0.7~1.1	≤0.03	≤0.02	0.8~1.20	0.8~1.20	0.1~0.6	>392			45~51	整铸, 热带连轧R ₂ ~R ₄ 工作辊
西德 卡尔普姆 轧钢铸造公司	1.6~1.9	0.2~0.6	0.8~1.1	≤0.03	≤0.02	0.8~1.2	<0.6	0.1~0.6				48~55	整铸, 热带连轧F ₁ ~F ₃ 工作辊
	1.3~1.4	0.4~0.5	0.95~1.10	<0.02	<0.02	1.0~1.1		0.4~0.5				50~55	整铸, 喷雾处理
西德 明特门一 条渡公司	1.3~1.8	0.3~0.6	0.4~0.8	<0.02	<0.02	0.8~1.2		0.2~0.5	735~980	1~4		40~50	整铸, 油淬+回火
	1.3~1.8	0.3~0.8	0.4~0.8	<0.02	<0.02	0.5~1.00	0.5~1.20	0.3~0.6	784~1078	2~6		38~50	复合铸造, 油淬+回火

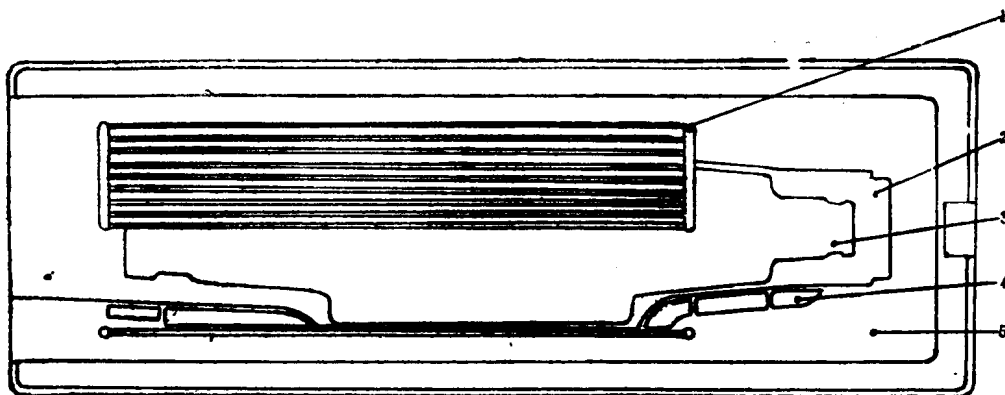


图1 水冷砂型示意图

1—水冷管（另一半未画出） 2—铸造轧辊尺寸 3—成品轧辊尺寸 4—冷铁 5—背砂

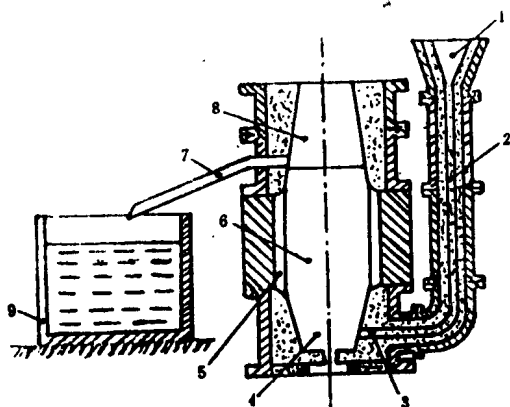


图2 溢流法示意图

1—浇口杯 2—直浇口 3—内浇口
4—下辊颈 5—辊身外层 6—辊身
7—溢流口 8—上辊颈及冒口 9—盖钢桶

（1）造型方法

在溢流法中，辊身用金属型。在150~200℃温度预热后喷刷锆英粉涂料，厚度为0.4~1.5mm，然后入窑在300℃温度烘烤20~30h。也有采用金属型挂砂的，挂砂厚度为10~25mm。

上、下辊颈用型砂撞制或刮出，也有用抛砂机或震实造型机造型的，并放置条形外冷铁，挂砂厚度一般为15~25mm。面砂用

硅砂、锆砂或铬铁矿砂。冒口由型砂撞制，一般刷锆英粉涂料2~3次，入窑在300℃左右烘干。

（2）浇注

浇注是一个关键工序。在浇注时金属应保持80~100℃温度。外层钢水经浇口杯1、直浇口2、内浇口3注入到距离辊颈254mm处停止。对于大的轧辊，为加速浇注速度，可用双水口钢水包，通过两个直浇口同时浇入钢水。直浇口和内浇口一般直径为80~100mm。

浇注外层钢水后需停留一段时间以取得一定的凝固厚度。

外层有效厚度的确定：

- 1）根据用户要求；
- 2）按辊身直径的10%计；
- 3）金属型内径减去轧辊使用到的最小直径的 $\frac{1}{2}$ ，再加10~20mm。

外层凝固时间的确定：

- 1）实验测定；
- 2）按公式 $M = K\sqrt{t}$ 计算（西德刚特门-派泼公司），式中 M 为外层厚度（cm）， K 为常数（取2）， t 为时间（min）。

对于直径1525×1700mm 支承辊，浇完外层钢水后，停止40 min，可获得约130mm的凝固层。

在停浇时间内，为防止浇口凝固，每隔2 min应当点浇一次浇口（约15 s），点浇10次以后，每次点浇20 s。点浇时间应根据轧辊直径大小及浇注温度等因素决定。例如直径1270mm的轧辊，总的点浇时间约26 min。

冲洗钢水用量，对于热轧支承辊一般为外层钢水量的80~100%，冷轧支承辊为100~130%。冒口重量近似于外层重量。如，直径1270mm轧辊，外层钢水重量为45.45t，点浇钢水重量3.4t，心部钢水重量为31.8~33.6t。

浇注温度因材质而异，一般控制心部钢水温度比外层高100℃左右。如直径1525×1700mm 支承辊，外层浇注温度为1520℃，心部浇注温度为1580℃左右。

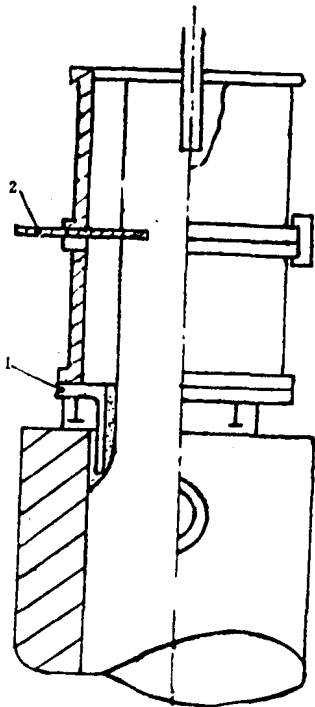


图3 电加热冒口示意图
1—芯圈 2—钢板

浇注时间随轧辊大小而异，金属型钢水上升速度 $\geq 16\text{mm/s}$ 。如，直径1525×1700mm 轧辊，外层钢水浇注时间控制为2~3 min，心部浇注时间控制为5~8 min。

冲洗后，堵塞溢流口5，从顶部8 浇入冒口钢水。

冒口保温，均采用单相直径100~150 mm 石墨电极电加热，冒口高度一般不超过600mm左右。

在冒口箱与上辊颈箱接合处，插入10~15×80mm钢片作地线，插入深度为80~100 mm。电加热冒口见示意图3。

在冒口保温时供电电压为80~100V，电流750~1000A，变压器功率为60~180 kVA。

电加热冒口保温时间随轧辊直径大小而异，一般规定如下：

冒口直径 (mm)	<500	500~700	700~1000	1000~1500	>1500
电加热时间 (h)	3.5	4.5	10	30	60

在模内的保持时间随轧辊直径及材质而异，一般冷却到 $<650^\circ\text{C}$ 温度才能开箱。

3. 液面恒定底漏法

法国提翁维尔厂用此法制造复合铸钢轧辊。其铸型装置见示意图4。

底漏法的造型方法和溢流法基本相同。在底箱下部下辊颈端面处放置一个直径100 mm的耐火砖管，合箱时在管内装入干燥过的干砂，然后盖上粘土质开槽薄片。

外层钢水经浇口杯1，直浇口2，内浇口3注入，直到图4中NC恒定液面10，停浇一段时间使外层钢水凝固到一定的表层厚度，然后打开滑动水口5，将未凝固的心部钢水漏到盛钢桶6中，与此同时由顶部注入填心钢水，使液面10保持恒定。待心部的外层钢水漏完后，关闭滑动水口5，继续浇满冒口为止。

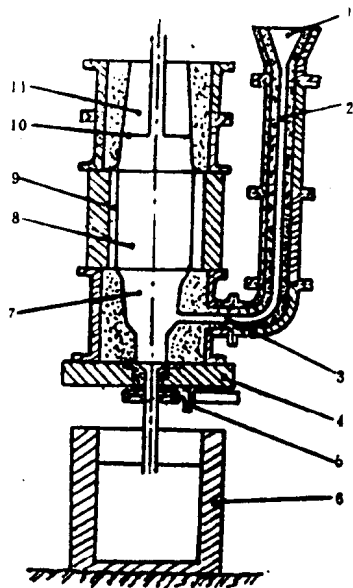


图4 液面恒定底漏法示意图

- 1—浇口杯 2—直浇口 3—内浇口 4—底板
5—滑动水口 6—盛钢桶 7—下辊颈 8—辊身
9—辊身外壳层 10—NC 恒定液面 11—上辊颈及冒口

在溢流法及底漏法中,为防止辊身产生裂纹及结合层发生缺陷,可采用以下措施:

(1) 金属型涂料厚度应大于 0.4mm (根据要求不同厚度可以变化)。

(2) 控制钢水温度,心部钢水温度比外层高 100℃ 左右。

(3) 控制外层钢水与心部钢水含碳量差值范围。如外层和心部钢水含碳量分别为 0.8 和 0.4,结合层不易产生气孔;当它们分别为 1.0 和 0.4 时,则易产生气孔(尤其是上部)。

(4) 适当控制浇注速度。

4. 离心浇注法

在制造复合铸造轧辊中,由于采用静态复合浇注法,在技术上和经济上都存在一些问题,因而离心复合铸造方法得到广泛的采用。但目前离心浇注法主要用于生产各种冷和热轧用铸铁轧辊,对于铸钢轧辊的生产应用较少。

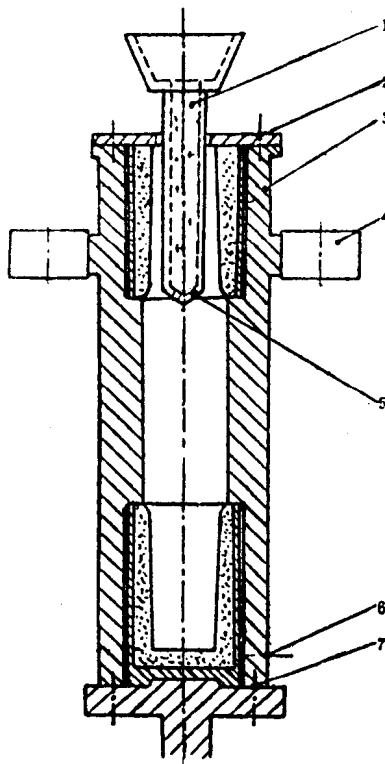


图5 长冷型嵌装式离心铸型

- 1—出气孔 $\phi 5$, 间隔150mm 2—沉帽螺栓
3—调心螺栓 4—夹持轮 5—倾斜内浇口
6—调心螺栓 7—定位销

(1) 立式离心浇注

立式离心浇注适用于成批生产复合轧辊和辊套。例如高铬、镍铬复合铸铁工作辊,宽厚板复合材质工作辊,线材和开槽深度小于 70mm 的型钢轧辊,铸钢或铸铁辊套。但是宽带轧机用复合铸钢支承辊尚在试验阶段。

当前法国轧辊厂拥有世界最大的立式离心机,可生产 60~100 t 和直径 1600×12000 mm 的轧辊。一般生产的长度和直径之比为 2~3:1。从这种方法应用的广度、填心简便和轧辊质量来看,它具有广泛的适用性和良好的可靠性,但设备投资较大。

这种方法的铸型装配有两类:

1) 长冷型嵌装式, 见图 5, 西德刚特门-派泼公司采用。

2) 短冷型套装式, 见图 6, 法国轧辊厂采用。

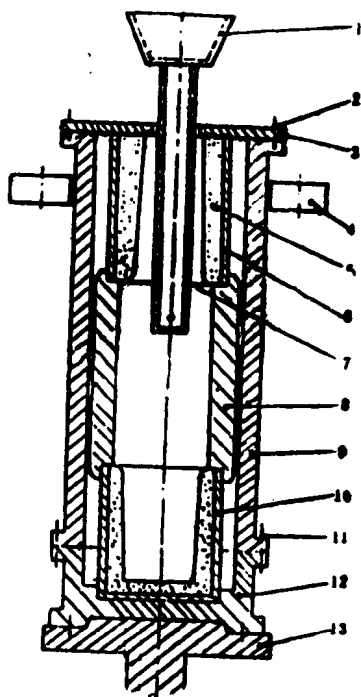


图 6 短冷型套装式离心铸型

- 1—浇口杯 2—螺栓 3—盖板 4—夹持轮
5—型砂 6—上铸型 7—浇注管 8—冷型
9—外套 10—下铸型 11—螺栓 12—底座
13—旋转盘

离心机用的冷型、工具要求较精确的加工, 以便保证良好的动平衡。浇注管的内浇口有斜式和水平式二种, 直径为15~25mm, 数量为2~4个, 按轧辊大小有所不同。

金属型预热150~200℃, 涂料厚度为0.4~1.0mm。涂料可以用锆质、硅质或其它耐火材料。粘结剂用树脂、水玻璃或膨润土等。

铸型在专门的竖井中组装。

浇注的外层金属要准确称量, 温度应控制精确。外层金属凝固后进行填心, 一面填

心一面逐渐降低转速, 填满时转速降为零。

(2) 卧式离心浇注

美国和日本的厂家应用较多。卧式离心浇注装置一般安装在专用地坑内, 浇注时盖上安全盖板。外层金属浇注重量及温度要准确控制。金属型刷锆英粉涂料, 其厚度同辊身直径之比控制在1:4左右。卧式离心机投资较少, 但填心操作麻烦, 时间较长, 容易影响外层结合质量。这种方法用于生产辊套较为方便。

(3) 倾斜式离心浇注

这是日本开发的一种离心浇注方法。在此法中, 金属型旋转中心轴同水平面有18~20°的倾角, 见图7。

5. 镶套法

这是近期发展的一种轧辊生产方法, 一般用于带钢轧机支承辊和粗轧工作辊的生产。为了减少轧辊消耗, 美国和日本等国的一些轧钢厂, 把用过的整铸支承辊磨小后镶套继续使用, 一支轧辊可镶套4~7次。外面的镶套可用离心浇注的铸钢或锻钢制造, 一般厚度为100~200mm。镶套时将外套加热到200~400℃并保持一段时间后镶在辊芯上。过盈配合的过盈量为 $D \times 0.07 \sim 0.10\%$ (D 为辊身直径)。为防止芯轴和外套之间的串动, 可采用键配合或者采用特殊粘结剂粘结。

6. 隔套法

在铸型中放入金属隔离层, 将铸型分隔为外层与中心区, 然后同时浇注内、外层金属, 形成复合铸造轧辊。这种方法近年来很少采用, 因为隔套在型内可能产生移动从而造成壁厚不均, 结合层又容易发生氧化、裂纹等缺陷。

从上面关于铸造轧辊成形方法的叙述, 可以看出: 整体铸造是一种普遍采用的方法, 特别是结合适当的热处理, 不但可以用作工作辊和支承辊, 甚至可以代替一部分锻

钢轧辊；冲洗法和底漏法可以制造出结合层良好、外层厚度均匀的复合铸造轧辊，但钢水利用率较低，可用于小批量大型复合轧辊

的生产；离心铸造法能够制造出外层厚度均匀、组织致密的复合轧辊，并且钢水利用率高，但设备费用较大，适用于大批量生产。

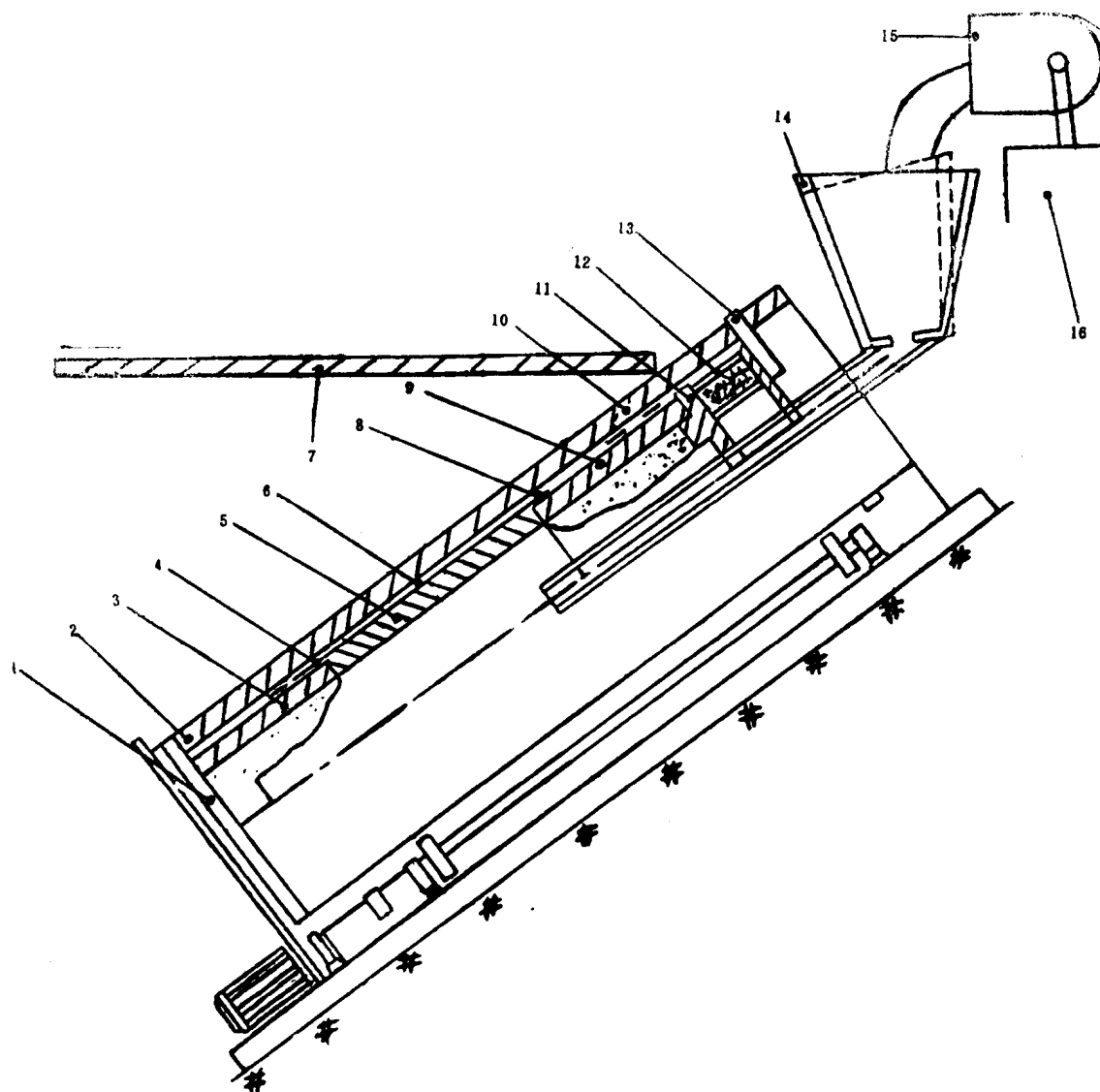


图7 倾斜式离心浇注机示意图

- 1—底板 2—螺栓 3—底座箱 4—螺栓 5—冷型 6—铜板垫 7—安全盖板 8—螺栓 9—上箱
10—离心外套 11—端盖 12—弹簧盒 13—销子 14—浇注漏斗 15—中间包 16—浇注车

二、铸钢轧辊的材料

在国外，铸钢轧辊获得广泛的应用，其

主要范围包括：初轧机开坯用辊、粗轧用辊；冷、热带钢连轧机的支承辊以及近年发展的热带连轧粗轧和精轧前段工作辊；各种型

钢及中、厚板轧机的工作辊及支承辊。

对于不同的使用场合,轧辊的性能要求也有所区别。粗轧工作辊主要要求较高的强度、韧性和热稳定性,精轧工作辊对硬度还有更高的要求,热带连轧机粗轧及精轧前段工作辊还必须有良好的耐磨性、耐热性、细小和均匀的渗碳体以及良好的导热性。针对这些性能要求,采用亚共析、共析和过共析合金铸钢或半钢,并且发展了复合的铸钢的应用。

对于冷、热轧机上用的支承辊,要求良好的强韧性、抗剥落性及耐磨性。在美国及日本,采用亚共析合金铸钢和 Selsas 炉进行差温热处理来满足这些要求,在欧洲则广泛采用复合铸钢轧辊。

根据不同的使用条件和制造条件,铸钢轧辊所使用的材料具有广泛的成分范围。碳含量可以具有亚共析、共析、过共析乃至铸铁(半钢)范围。从使用的合金元素来看,有CrMo、CrMnMo、CrNiMo、CrSiNiMo

等系列的合金铸钢,此外,还可以采用V、Zr和稀土元素进行微合金化。现将各国采用的支承辊和工作辊用钢列于表1和表2。

铸钢轧辊以其特具的使用、技术和经济性,在欧、美、苏联和日本得到广泛的应用和发展。整体合金铸钢(包括半钢)轧辊广泛应用于各种类型轧机的工作辊和支承辊上,特别是采用包括差温热处理在内的强有力的热处理后,甚至可以代替某些锻钢轧辊的应用。复合铸钢轧辊的应用,在解决强韧的心部和坚实耐磨的表层问题上开辟了新的途径,因而在国外发展了多种复合结构铸造轧辊,并得到普遍的推广。

在我国,随着现代钢铁工业突飞猛进的发展,铸钢轧辊的应用具有很大的现实意义。因此,开展铸钢轧辊(特别是大型铸钢轧辊)的成形方法、技术性能要求、材料选用和热处理方法的研究,是我国重机行业十分紧迫的任务。

(上接第36页)80Cr3Mo钢轧辊,在经过多次事故后,仅产生直径不到4mm的小块状浅层剥落,直径磨去0.2~0.4mm后可以继续投入正常使用。另外,由于80Cr3Mo钢的耐磨性也有明显提高,这样就延长了轧辊每次在机使用周期,减少了换辊次数,提高了生产效率。80Cr3Mo钢轧辊辊颈硬度为HS40~42,不易划伤,达到了同机日本进口辊水平。

五、结 语

用降低含碳量、增加含铬量的方法研制

出的80Cr3Mo钢取代9Cr2Mo钢制造的铝薄板轧机热轧工作辊,在抗热疲劳性、抗事故性、抗剥落性和耐磨性方面有明显改善,有效地提高了轧辊使用寿命。已生产出的80Cr3Mo钢轧辊,早期使用效果表现出较好的性能,今后,还要考核其后期使用效果,以便对该材料制造的轧辊作出更全面的了解和评价。

参考文献

- (1) Iron and Steel Engineer, 1979, 4
- (2) “锻钢轧辊生产技术”(译文)1978

国外大型优质轧辊的生产水平

曾祖良

为了加快国内生产大型优质轧辊的进程,本文对国外几家轧辊制造厂的轧辊生产工艺和装备水平作个介绍。

各国轧辊的制造技术各有特点。就冷、热带连轧机支承辊的材质而言,美国和日本就不相同:美国基本上是使用铸钢支承辊,并发展了差温热处理技术;日本则主要使用锻钢支承辊,为了外销,也生产铸钢支承辊。当前,锻钢支承辊硬度可以达到HS70以上,铸钢支承辊的硬度一般为HS62~67。由于支承辊使用寿命很长,铸钢支承辊比起锻钢支承辊成本低,而且工艺也没有锻钢复杂,所以美国人认为采用铸钢支承辊是经济的。但是日本人认为,随着轧机向大型化、高速化、电子化发展,采用锻钢支承辊比采用铸钢支承辊优越。因此,他们各自研究和发 展新技术和新装备,以满足现代化生产的需要,而且都具有强大的竞争能力。本文主要介绍美国生产铸钢轧辊和日本生产锻钢轧辊的技术,同时适当介绍冷带连轧机工作辊和热带连轧机精轧前段和后段工作辊的生产工艺。

一、铸造轧辊

在铸造轧辊方面,美国伯利恒钢铁公司(Bethlehem Steel Corporation)、特利达因·俄亥俄钢厂(Teledyne Ohio Steel)、威恩联合公司(Wean United Incorporation)、玛金托施-海姆 希尔分公司(Mackintosh-Hemphill Division)、日本日立金属的若松工厂、日立制作所的胜

田工厂等厂家,在生产铸钢支承辊、半钢轧辊、高铬轧辊、DRM球墨铸铁轧辊以及高镍无限冷硬复合铸铁工作辊等各有独到之处。现分别介绍如下。

(一)铸钢支承辊

美国的铸钢支承辊,大多选用低碳铬钼钒或低碳铬钼材质。含碳量为0.37~0.42%,也有个别厂家选用0.78~0.87%的含碳量。同时适当提高钢中的含铬量,以利于减少辊身的龟裂程度,改善支承辊的抗剥落性能。含铬量一般控制在2.6~3.0%范围之内。美国和日本生产的铸钢支承辊的化学成分列于表1。

支承辊直径较大,一般说刚度不成问题,在使用中主要满足对硬度和抗剥落性能的要求。多年来,支承辊硬度不断提高。特别是精轧后段的支承辊,硬度提高后,可以减少轧辊的磨损,避免两端因负荷重而容易产生剥落,并改善钢板厚度精度。但是硬度高了,周期负荷很大,而且由于残余应力的影响,表层容易产生裂纹而导致剥落。现在热带连轧机支承辊的辊身硬度一般为HS55~65,而冷带连轧机的支承辊一般为HS64~70或者更高。目前,各轧辊制造厂都在不断地改善材质和热处理工艺,以满足用户越来越高的要求。

1. 铸造工艺

铸钢支承辊的铸造方法主要有两种:一是复合铸造;二是整体铸造。美国轧辊制造厂过去都曾做过复合铸造轧辊,现在普遍采用整体铸造方法。复合铸造轧辊有它的优越性,由于外层和芯部的材质不同,可以获得

较高的辊身硬度层, 并提高芯部和辊颈部位的强度和韧性; 但是要消耗大量合金钢水, 收得率低, 成本高, 工艺复杂, 容易产生缺陷。美国自从发展了差温热处理以后, 都普遍采用整体铸钢支承辊。铸型主要有以下三种类型:

(1) 金属型挂砂 美国伯利恒钢铁公

司和玛金托施采用对开箱下冷铁的挂砂型, 利用刮板造型。

(2) 水冷砂型 砂型内用水管冷却, 以加快激冷速度。这只有美国俄亥俄钢厂独家使用。

(3) 金属型 辊身部分完全采用金属型浇铸。美国威恩联合公司采用此法。

表 1 铸造支承辊的化学成分和机械性能

厂 名	化 学 成 分 (%)							部 位	抗 拉 性 能			硬度 HS	备 注		
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V		σ_b (MPa)	δ (%)	ψ (%)				
威 恩		0.4	0.3~0.4	0.8~1.5	2.75~3.0		0.4~0.5		辊身	1030	5	6~8	60~65	采用金属型整体	
									辊颈	961	3	5~8	40~45	铸造, 用 Selas	
									辊身					48~52	炉进行差温加热
									辊颈					40~45	后喷淬
俄亥俄		0.38~0.42	0.35~0.45	0.75~0.85	2.75~2.85		0.5~0.6		辊身				60~62		
									辊颈	824	10	10	45±5		
玛 金 托 施	热连轧	0.82~0.87		0.92~0.97	0.41~0.83		0.41~0.56		辊身	1020~1069	1.5~3.0	0.4~0.7	47~49	挂砂, 采用罩式	
									辊颈					炉差温热处理,	
	冷连轧	0.38	0.35	0.75	2.76		0.49	0.03	辊身					喷雾淬火	
									辊颈	755	8	8.1	56~57		
胜 田		0.5~0.7			1.5~2.5	<0.8	<0.6		辊身	981~1177	10~15	10~15	55~65	采用金属型整体铸	
									辊颈					60~70 和电感应加热差温处理	
联 邦 德 国 复 合 铸 辊	外层	0.68~0.72	0.37~0.40	1.27~1.35	1.41~1.54	0.88~0.94	0.38	<0.02	辊身				70	指由联邦德国引	
	心部	0.56	0.67	0.84	0.57	0.27								进的复合铸钢五机架支承辊	

挂砂厚度, 伯利恒公司为25mm, 俄亥俄钢厂为19mm, 玛金托施分公司为12.5~25mm。威恩联合公司的涂料厚度为0.6~1.2mm。

一般认为, 用挂砂工艺生产的铸钢支承辊, 表面健全区和柱状组织的深度较小, 从而轧辊的使用寿命短。采用水冷砂型, 在辊

身表层120mm范围内能获得较好的健全组织。威恩联合公司大部分用金属型(内刷涂料)直接生产铸钢轧辊, 最厚的健全区可达180mm左右。金属型使用寿命约为5~30次。

金属型费用较大, 水冷砂型费用次之, 挂砂费用最少。因此, 有人认为, 在生产轧

制压力较低的机架的支承辊时，可以采用金属型挂砂的方法来降低轧辊制造成本。

辊颈部位的造型方法，各厂基本相同。在靠近上辊颈的一节砂型内采用条形暗铁，而上部的冒口箱内则放置一层绝热剂，以期减轻上辊颈的疏松缺陷。下辊颈、辊身和上辊颈处铸型都要刷锆英粉涂料2~3遍。铸出的轧辊表面一般都没粘砂，比较光滑。

美国各轧辊厂都采用电加热冒口保温，冒口高度较低，一般仅600mm左右。从加工车间道断的轧辊的断口观察，没有发现疏松和缩孔等缺陷。

2. 热处理工艺

整体铸钢支承辊先要进行高温扩散退火，以消除铸造应力，均匀成分。随后通过球化处理提高韧性，并为轧辊进行最终热处理作好准备。球化处理后进行粗加工。铸钢支承辊的最终热处理均采用差温热处理法。快速和均匀地使辊身表层加热到淬火温度以上，使该层组织充分奥氏体化，而轧辊芯部和辊颈部分的温度低于基体组织开始转变的温度。整个工艺应根据淬硬层的要求并力求减少残余应力，以达到比较理想的温度分布。各厂选用的加热方式、热处理炉型、冷却介质和其冷却方法有所不同，见表2。

表2 各厂的加热方式、热处理炉型和冷却方法

厂名	预热炉	快速加热	冷却方式
威恩及俄亥俄	台车式加热炉加热到600℃	Selas 炉	喷雾
玛金托施	罩式炉	罩式炉	喷雾-风冷
关东特殊制钢	台车式电阻炉	台车式电阻炉	强力吹风
胜田工厂	台车式电阻炉或井式炉加热到300~450℃	井式炉加热到720℃后快速加热	喷雾-风冷

(二) 热带连轧机精轧前段工作辊

迄今为止，美国使用欧洲开发的高铬铸铁轧辊，也采用高合金无限冷硬铸铁轧辊或铸钢轧辊，美国伯利恒钢铁公司还发展一种DRM球墨铸铁轧辊。日本国内主要用半钢轧辊。现分别介绍如下。

1. 半钢轧辊

日本从1965年以后在热带连轧机精轧前段使用半钢轧辊。美国也在使用半钢轧辊。实践证明，使用半钢轧辊，在操作上采取措施加大冷却量，辊耗是较低的，每轧制1t板材，精轧前段工作辊的辊耗为0.167kg。

半钢轧辊中碳化物的数量和分布情况，是影响轧辊使用寿命的重要因素。辊身工作层含有一定数量(6~8%)的细小均匀分布的碳化物，有利于提高耐磨性能，而存在网状及大块碳化物则会引起裂纹和剥落缺陷，日本轧辊制造厂实际使用的半钢轧辊，其含碳量均在1.6~1.7之间，采用合适的铸造和热处理工艺，可以改善碳化物的形状及分布情况。美国和日本轧辊生产厂的半钢轧辊化学成分列于表3。

在铸造工艺方面，美国基本上都采用金属型挂砂，日本若松工厂和关东特殊制钢公司则采用金属型喷锆英粉涂料。浇铸后，美国和日本都用电加热冒口保温。若松工厂对冒口尺寸为 $\phi 500 \sim 700 \text{mm}$ 的轧辊，电加热时间为3.5~4h，供电电流为750~1000A左右。冒口高度大多在300mm左右。轧辊铸件在约600℃左右脱模，并经1000~1100℃高温扩散退火和800~900℃球化处理后进行粗加工。对于轧辊的成品热处理方式，美国威恩和俄亥俄以及日本关东等厂都用台车式炉整体加热后吊至喷淬机上采用强力风冷或喷雾冷却。若松工厂则采用类似Selas炉型的卧式电阻开合式炉进行加热，当辊身温度低于550℃以下时，轧辊处于静态加热。待温

度达到550℃时,轧辊开始旋转,等辊身温度到650℃时,加大供电负荷,在1h以内快速加热到900~950℃,保温4~6h,力求加热深度大于或等于60mm。随后将轧辊吊到喷淬机上进行快速冷却。

在轧辊进行喷淬时,用压缩空气将水雾化。水压约为200~300kPa,压缩空气压力约为700kPa。喷水量的控制,应保证轧辊从950℃的辊身温度在7~13min内迅速冷却到600℃。然后,减少喷水量,力求轧辊在20min之内从600℃降至450~500℃。在冷却过程中,采用红外线测温仪测温,并通过可控硅元件实现自动调整喷淬过程中的喷水量。当辊身温度降至500℃时,将轧辊吊至

低温电热罩内进行回火。回火温度为550~600℃,回火保温时间为喷淬前加热保温时间的2.5倍。按上述工艺进行热处理的轧辊,辊身硬度为HS50~55,淬硬层深度约为20~50mm。

2. 高铬轧辊

美国内陆、花岗岩和大湖等钢铁公司的热带连轧机精轧前段几个机架,都开始使用高铬复合铸铁轧辊。近年来,日本若松、关东、新日铁和淀川等轧辊厂又开始积极研制高铬轧辊,而且外销量不断增加。日本国内有些热带连轧厂也在轧机上研究使用高铬复合铸铁轧辊。美国和日本一些轧辊厂生产的高铬铸铁轧辊化学成分列于表4。

表3 半钢轧辊化学成分

厂名	化 学 成 分 (%)								硬 度
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	S	HS
依亥依	1.35~1.45	0.35~0.45	0.6~0.70	0.40~0.50	1.0~1.1	0.25~0.35			48~50
若 松	1.6~1.7	0.8	0.8	0.7~1.0	1.2~1.3	0.5~0.6			50~55
关 东	1.6	0.57	0.68	1.45	1.48	0.30	0.018	0.007	55~60
扇 岛	1.6~1.65	0.58~0.64	0.78~0.80	0.5~0.6	1.2~1.3	0.53~0.59	0.018~0.029	0.005~0.016	51~55

表4 美国和日本生产的高铬轧辊化学成分

厂 名	化 学 成 分 (%)						硬 度	生产工艺
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	HS	
若 松	2.6~3.0		0.5~1.2	14~18	1.0~2.0		65~70	斜式离心机
关 东	2.2~3.2	0.3~0.8	0.5~1.5	12~20	0.8~1.1	0.5~3.0	60~80	斜式离心机
玛金托施	2.5~2.9	1.0	1.0	14~18	1.0~2.0	1.5~2.5	85~90	卧式离心机

在现代化热带连轧机上,精轧前段的工作辊比后段容易磨损,而且容易产生“斑带”等缺陷。各国在这方面进行了大量的研究工作。欧洲开发了高铬轧辊,日本则不断改进半钢轧辊。使用高铬轧辊需要有良好的冷却水系统,并要求操作正常。半钢轧辊耐

磨性不如高铬轧辊,但轧出的轧材的表面质量则比高铬轧辊轧出的好。日本钢管公司扇岛工厂实践表明,当精轧机架增大压下量后,半钢轧辊就容易出毛病,经过研究,提高含碳量并采取激冷热处理使碳化物细化,同时在轧制过程中喷射油水混合冷却液,问题

得到了解决。近年来,日本又重新开始了高铬轧辊的研究工作。从美国的情况来看,不仅各轧辊厂都生产高铬轧辊,而且每年还从联邦德国进口200~300支高铬轧辊。

3. DRM 轧辊

DRM 轧辊是美国伯利恒公司近年来开发用于热带连轧机精轧机架的球墨铸铁轧辊。这种轧辊具有良好的抗热裂和耐磨损性能。从金相观察可知,碳化物较细小,类似通常无限冷硬轧辊的大块碳化物基本细化,呈片状。该公司所属的伯恩斯坦港钢铁厂,已在热带连轧机精轧机架上全部改用 DRM 球墨铸铁轧辊。

DRM 球墨铸铁轧辊直接用金属型铸造。轧辊的化学成分是: C 3.1~3.3%, Mn

0.6%, Si 1.35%, Ni 4.0~4.35%, Cr 1.1~1.3%, Mo 0.5~1.0%, Mg 0.05%。轧辊硬度为 HS76~80。

DRM 球墨铸铁轧辊在精轧机 $F_2 \sim F_3$ 机架上使用时比高铬轧辊效果好。在 $F_3 \sim F_7$ 机架上不能使用高铬轧辊, DRM 轧辊却能用。从经济上比较, DRM 轧辊要比高铬轧辊便宜 50%。与半钢轧辊相比, DRM 轧辊的耐磨性能提高 40%。

(三) 热带连轧机精轧后段工作辊

美国和日本轧辊制造厂生产的热带连轧机精轧后段工作辊,都采用高镍铬无限冷硬铸铁,其化学成分列于表 5。

表 5 高镍铬无限冷硬复合铸铁工作辊的化学成分

厂 名	化 学 成 分 (%)								硬 度	备 注
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	HS	
威 恩	3.19	0.75	0.526	1.68	4.57	0.29	0.11	0.0524		外层卧式离心铸造
伯 利 恒	3.25	1.00	0.50	1.50	5.0	0.3			78~82	外层全冲洗
玛金托施	外层 3.1~3.3	0.8~1.0		1.5~1.9	4.0~4.6	0.25~0.30				卧式离心或底漏复合铸造
	心部 3.2~3.4	1.4~1.6	0.4~0.6	0.4~0.6	0.8~1.0	0.10~0.15	<0.10	<0.06	78~82	
若 松	外层 3.0~3.5	0.7~1.0		1.5~2.0	4.0~4.6					斜式离心铸造
	心部 2.9~3.3	1.0~1.2	0.4~0.8	0.4~0.6	0.5~1.0	0.3~0.5	<0.15		75~82 35~40	
关 东	外层 3.1~3.6	0.5~1.0	0.4~0.8	1.5~2.2	4.0~4.6				80	斜式离心铸造
	心部 2.8~3.3	1.0~1.5	0.3~0.8	<0.8	<1.5	0.2~0.6			35~45	
俄 亥 俄					3.3~4.75				73~82	立式离心铸造、全冲洗

热带连轧机精轧后段用的高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的浇注工艺,基本上可以分为冲洗复合、底漏复合和离心浇注三种工艺。冲洗复合工艺与国内常规操作相近,现仅就底漏和离心浇注工艺介绍如下。

1. 底漏复合浇注法

美国玛金托施对于直径大于 762mm、技术条件要求高、批量小的或者特殊规格的高合金无限冷硬铸铁轧辊,通常采用底漏复合浇注工艺。