

铸造复合轧辊的几种新方法

北京冶金设备研究院 王贵明*

摘 要 高速钢用作轧辊材料使冷、热带钢工作辊寿命得到大幅度提高,但是用常规生产方法包括离心铸造法很难生产出高速钢复合轧辊。介绍了几种新的复合轧辊的生产方法,成功地生产出外层与心轴良好结合的高速钢复合轧辊,其中一些方法可方便地复合各种材料。

关键词: 复合轧辊 高速钢 电渣重熔 连续浇注 喷射

Several New Ways for Casting Compound Rolls

Wang Guiming

(Beijing Metallurgical Equipment Research Institute)

ABSTRACT The high speed steel as a roll material significantly increased the service life of hot and cold strip mill work rolls. But it is very difficult to produce the HSS compound rolls by conventional methods including centrifugal casting. Several new ways for making HSS compound rolls are introduced. By those methods HSS compound rolls are manufactured with good bonding at the interface of the core cladding alloys. Of the methods the materials with very different chemical composition can be conveniently clad on the core alloy.

Key Words: Compound Roll, High Speed Steel (HSS), Electroslag Remelting, Continuous Casting, Spray

90年代开发的高速钢复合轧辊在冷、热带钢轧机上作为工作辊,使用期限成倍增加,正在获得广泛应用。这种高速钢复合轧辊的外层是高碳高速钢(用于热轧)和半高速钢(用于冷轧)而心部是高强度的铸钢或锻钢,用原先的铸造复合轧辊的方法^[1],包括离心铸造方法难以制造,因而相继开发出一些新的复合轧辊的铸造方法。

1 离心铸造方法遇到的问题及解决途径

1.1 离心铸造遇到的问题

用离心铸造方法生产高速钢复合轧辊遇到了三个主要问题。

(1) 由于高速钢含有 V, Nb, W, Mo 等合金元素,它们形成的碳化物密度相差很大容易形成偏析。在离心铸造时,凝固初期析出的 VC 初晶碳化物由于密度较钢液小,在离心力作用下向内表面集中形成偏析,使组织和成分不均匀。

(2) 传统的离心铸造复合轧辊,心部材料是有石墨析出的灰铸铁或球铁。当外层材料为高速钢时,由于含有大量白口倾向的元素,因而使外层与心部结合部位石墨化恶化,加上碳化物的偏析,使结合部变脆,造成复合轧辊外层剥落。

(3) 当轧辊心部材料采用具有高强度和高伸长率的铸钢时,由于其熔点比高速钢高,浇注时将与已经凝

固的外层高速钢的内表面熔融混合。这一熔融层的熔点比心部钢液低,成为最后凝固的部位,极易产生铸造缺陷,降低结合部位的强度。当要求心部材料选用锻钢时,离心铸造法更无法做到。

1.2 解决途径

由于离心铸造工艺成本低,生产率高,所以铸造工作者力图找到生产高速钢复合轧辊的途径,采取了以下几种方法^[2]。

(1) 加入合金元素 Nb, 使 Nb 与 V 形成复合碳化物 (V, Nb)C。其作为初晶析出时,密度与钢液大致相同,从而避免了在离心力作用下形成偏析。因而在成分设计中 Nb 与 V 需有一定量的配比。

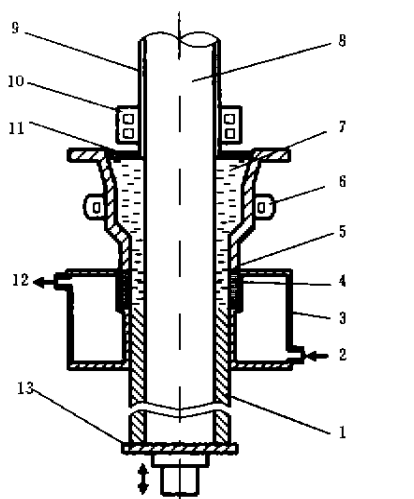
(2) 离心铸造高速钢复合轧辊的心部仍采用球墨铸铁,为防止浇注球铁时与外层高速钢熔合混入 Cr, Mo 等引起脆化的元素,在外层和心部之间浇注一层石墨钢,调整中间层的成分,使各层间均达到冶金结合。离心铸造高速钢复合轧辊为三层结构。

2 连续浇注外层法

此法简称 CPC 法。可生产心部为铸钢或锻钢的高速钢复合轧辊。其装置如图 1 所示^[3]。

在承接钢液的漏斗状耐火材料制的浇口杯外,装有环状电磁感应加热圈。浇口杯的下部连接着由与其下口内径相同石墨缓冷型及中空水冷却型组成的结晶器。冷

* 王贵明,男,1936年出生,高级工程师,北京冶金设备研究院,北京朝阳区胜古庄2号(100029) 收稿日期:1998-11-12



1. 外层 2. 冷却水入口 3. 中空水冷器 4. 石墨
5. 浇口杯 6. 感应加热圈 7. 钢液 8. 心轴
9. 玻璃保护膜 10. 预热感应圈 11. 渣层 12. 冷却
水出口 13. 托板

图1 连续浇注外层方法示意图
Fig.1 The scheme of CPC process unit

却水由水冷型下部入口进入并由上部出口排出。作为复合轧辊心部的铸钢和锻钢制的心轴，与结晶器同轴装于结晶器中。轴的下端装在与升降机构相连的密封托板上。心轴表面涂有硅系玻璃保护膜，防止轴的表面氧化。用电磁感应加热圈预热心轴。在复合轧辊铸造时先向浇口杯中浇入高速钢液。钢液表面覆以渣层防止氧化并保温。电磁感应加热圈加热并搅拌浇口杯中的钢液，使钢液保持适当的温度。此温度使心轴表面的玻璃保护膜熔化并因搅拌作用上浮显露出心轴的清洁表面。钢液在结晶器中冷却、凝固与预热的心轴达到良好的结合。通过升降机构的下降不断地将已凝固部分拉出，外层高速钢水则连续由上部注入，保持一定的液面高度，直到复合轧辊浇注完成。复合辊外层的厚度取决于结晶器的内径与心轴的外径。

用此法生产高速钢复合轧辊的成分（见表1），工艺举例如下。

心部为 42CrMo 锻钢（ $\phi 300$ mm）。轴的预热温度 900 ℃；钢水温度 1 300 ℃；复合轧辊尺寸为 $\phi 450$ mm \times 700 mm，经 1 100 ℃淬火及 500~550 ℃三次回火，表面硬度 HS 为 85。此辊用于热轧板，具有耐磨、轧材表面质量好等优点。

表1 外层化学成分

Table 1 Cladded chemical composition

		w_B / %								
元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	W	Nb	
成分	2.8	0.8	0.4	0.1	4.0	6.2	2.0	4.0	7.0	

3 旋转电渣熔铸法

此法用于生产心部为锻钢、外层为半高速钢的复合

轧辊。由于外层材料经电渣精炼、洁净度高、可满足冷轧的要求。用作冷轧工作辊^[4]。

用旋转电渣熔铸法生产了尺寸为 $\phi 425$ mm \times 1 880 mm 复合冷轧工作辊，其化学成分见表 2。

表2 化学成分

Table 2 Chemical composition

		w_B / %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	
外层	1.05	3.10	0.70	0.015	0.001	4.45	3.25	1.30	0.37	
心部	0.88	0.55	0.41	0.017	0.004	2.95	0.25	0.04	—	

生产的辊坯经轻锻后，在 1 060 ℃淬火 500 ℃回火后加工成复合轧辊。表面硬度 HS 为 97。有好的耐磨性和抗事故能力。

4 电渣外层金属液法

1997 年乌克兰 ELMET 轧辊集团发表了电渣外层金属液法^[5]。图 2 示出 ESS LM 法简图。用 ESS LM 法生产复合轧辊，其外层是在特殊设计的导电水冷铜结晶器中凝固形成的，结晶器不仅使浇入的外层钢水凝固而且也可保持电渣过程中不消耗电极。

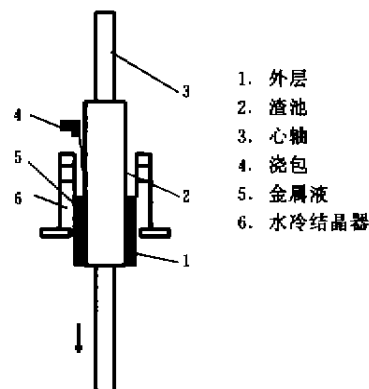


图2 ESS LM法示意图

Fig.2 The scheme of ESS LM process

过程开始时，先将作为复合辊心部的心轴插入结晶中，并与其同轴。轴的外表面和结晶器的内表面的间隙决定复合辊外层厚度。然后将在另外的熔化装置中熔化的渣液浇入结晶器和心轴的间隙中，渣液形成渣池，它的热量将心轴表面预热。随后再浇入外层所需成分的钢水，可连续浇入也可按预先设定的程序浇入。钢液将熔渣上浮，同时在通过渣池时被渣精炼。钢液与已经预热的的心轴表面熔合，并因结晶器的冷却而凝固，形成复合层。借助移动装置不断由结晶器中拉出已经凝固的部分（或结晶器上移），同时上部钢水不断注入，直至达到预定的复合辊长度为止。

已用此法生产了 $\phi 344$ mm \times 650 mm 的热带钢工作辊，其外层化学成分见表 3。

表 3 化学成分
Table 3 Chemical composition

元素成分	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W
	1.8	0.3	0.7	4.5	1.5	3.5	6.1	4.4

5 喷射成型法

喷射成型是将液体金属流雾化后喷射到基体金属上形成堆积层制成复合铸件的一种方法。有多道次法与单道次法。

图 3 为多道次法装置示意图^[6]。在喷射舱中进行喷射成型。喷射舱上方与金属熔炉及雾化器相连。作为复合轧辊心部的轴装在喷射舱内与旋转和往复机构相接。多道次法工作时心轴在喷射流下一边转动一边沿轴线往复移动。经多次喷射达到要求的堆积层即轧辊外层厚度。此法用于生产外层厚但辊身短的轧辊,如单孔型小于钢辊或辊环等。单道次法的装置通常装有两个雾化器,工作时两股射流同时喷向心轴,心轴只做旋转运动,此法堆积层厚度受限制但可生产较长的轧辊,常用于生产带钢工作辊。

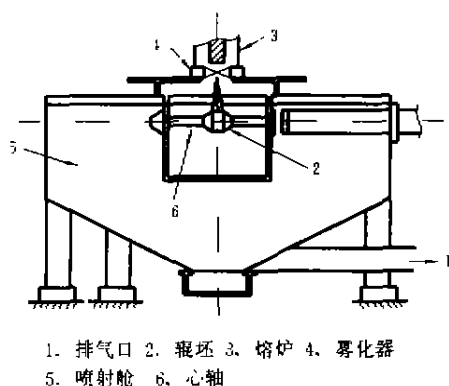


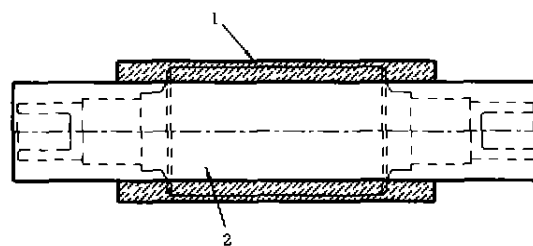
图3 多道次法生产轧辊示意图
Fig. 3 Scheme of reciprocation technique for rolls

喷射成型生产复合轧辊的过程大致是,先将心轴装在喷射舱内,用氮气清扫喷射舱,为避免心轴表面氧化,尽量减少舱中氧含量,用心轴在感应圈中往复移动的方法对心轴预热,以减少冷却时喷射堆积层的收缩应力。与此同时,熔炉开始熔化外层钢,当钢液达到要求的出炉温度时,心轴的预热需达到规定的温度。开启雾化器,浇注钢液进行喷射,当达到预定厚度时,停止浇注,机构关闭,将复合辊坯由舱中取出转入下道工序。

喷射成型轧辊的横断面如图 4 示。

喷射成型轧辊的组织均匀、无偏析,外层与心部有好的结合强度。

目前英国 Osprey 公司的装置可在 $\phi 320 \text{ mm} \times 2.15 \text{ m}$ 的心轴上喷射铸造 $\phi 450 \text{ mm}$ 的复合轧辊。可喷射 Cr3, Cr5, 高 Cr 铸铁以及高速钢等冷、热轧辊材料。



1. 喷射堆积层 2. 辊轴

图4 喷射成形工作辊的断面

Fig4 Cross-Section of spray formed work roll

6 几种复合轧辊铸造方法技术经济性能比较

表 4 示出前述 5 种铸造方法的比较。其中外层材质的洁净度主要决定于是否经电渣精炼。内、外层之间如有互相渗透则形成一过渡层,有利于提高使用性能,如 ESS LM 法的内、外层之间有 $50 \sim 90 \mu\text{m}$ 的熔合层。旋转电渣熔铸法,由于要先把外层材料制成管状自耗电极或制成丝、带,因而增加了成本并使材料的选择受一定的限制。此外应当提到的是 ESS LM 法所使用的设备可用传统的电渣炉进行改装,因而可减少设备的投资。

表 4 几种铸造方法的比较

Table 4 Comparison of several casting methods

	铸造方法				
	离心铸造	CPC 法	旋转电渣熔铸	ESSLM 法	喷射成型
外层材料成分变化的适应性	差	强	差	强	强
外层材料的洁净度	低	低	高	高	低
外层材料的致密度	低	一般	一般	一般	高
外层金属生产的复杂程度	易	易	难	易	难
心部材料成分变化的适应性	差	强	强	强	强
内外层结合的强度	低	高	高	高	低
内外层厚度的均匀性	不好	好	不好	好	好
内外层间有无相互渗透	有	无	有	有	无
设备的复杂程度	简单	复杂	复杂	简单	复杂
生产工艺的复杂程度	简单	复杂	复杂	简单	复杂
生产率	最高	低	低	高	低
成本	低	低	高	低	高

参 考 文 献

- 王贵明. 复合轧辊的铸造方法. 现代铸造, 1982(3): 1~5
- 市野, 健司, 片冈又等. 远心铸造(ニきろ熱延仕上シル用高耐摩耗ロールの開製). 川崎制鉄技報, 1996. 28(2): 84~94
- 服部, 敏幸, 绳田等. 热间圧延用耐摩耗复合ロール及びその製造方法. 特开平 7-70692, 1~7
- 王贵明, 李德福. 半高速钢复合冷轧工作辊的性能及制造. 特种铸造及有色合金, 1998(2): 27~29
- Medovar B I, Medorar L B, Chemets A V. Electroslag Surfacing by Liquid Metal - A New Way for HSS Rolls Manufacturing. in. 38TH MWSP CONF. PROCISS 1997(34): 83~87
- Forest J, Price R, Hanlon D. Manufacturing Clad Products by Spray Forming. The International Journal of Powder Metallurgy. 1997, 33(3): 21~29

(编辑: 刘 卫)