

· 工艺材料进展 ·

电渣液态浇注新工艺制备高质量低成本复合轧辊

李万明 姜周华 耿鑫 易高松 张腾方

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110819)

摘要 电渣液态浇注技术(ESS LM)是基于特殊结构的导电结晶器,采用向结晶器中浇入液态金属进行电渣复合的方式生产复合轧辊的新工艺。叙述和介绍了目前国内轧辊行业的现状和发展趋势以及电渣液态浇注技术的原理和特点。通过比较离心浇注法、连续浇注复合铸造法(GPC)和电渣液态浇注法,分析了电渣液态浇注法的优势和潜力,并介绍了电渣液态浇注方法生产复合轧辊的开发应用情况。

关键词 复合轧辊 电渣液态浇注 导电结晶器

Composite Rolls with High Quality and Low Expenses Prepared by New Manufacturing Technology ESS LM

Li Wanming, Jiang Zhouhua, Geng Xin, Yi Gaosong and Zhang Tengfang

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract Electroslag surfacing with liquid metal (ESS LM) technology is a new process to be based on current-conducting mould with special structure and use liquid metal pouring into the mould to carry out electroslag surfacing clad and get composite roll. The current status and development trend of domestic roll manufacturing industry and the principle and characteristics of electroslag surfacing with liquid metal technology are presented and described. Compared the ESS LM method with centrifugal casting method and casting preparing composite (CPC) method, the advantage and potentiality condition of ESS LM method are analyzed, and the development and application of ESS LM method to produce composite roll are introduced.

Material Index Composite Roll, Electroslag Surfacing with Liquid Metal, Current-Conducting Mould

轧辊是钢、铝、铜等金属压延设备生产中最主要的消耗部件,其消耗成本约为轧钢生产成本的5%~15%^[1],决定着轧机的生产效率、成本和轧材成品的表面质量,是轧机轧制不可或缺的关键性部件,被誉为“钢材之母”。目前,高效轧制技术的产生使得大型化、高速化和自动化成为轧机生产线的发展趋势,轧辊的工作环境也随之日益苛刻,轧辊性能的优劣直接影响着轧机的生产率、轧材的表面质量和轧材成本。因此,目前对轧辊材质和生产工艺的研究已经成为国内外轧辊及冶金行业共同关注的问题。

1 我国轧辊制造行业的现状和发展趋势

1.1 国内轧辊产能严重过剩,低端产品市场竞争剧烈

2010年全国28家重点轧辊企业轧辊产量376 747 t,12家轧辊企业出口轧辊38 854 t,我国已成为轧辊生产的第一大国。轧辊制造技术的不断提高,直接促进了辊耗的大幅度降低,目前的轧辊吨钢辊耗在0.8 kg左右。2010年我国的粗钢产量为6.27亿t,国内钢铁企业消耗轧辊约为60多万t。

2011年我国粗钢产量在6.7亿t左右,能为国内轧辊销售提供一定的市场发展空间^[2]。目前国内各家轧辊厂普遍面临着订单难求、价格下滑、利润不保甚至亏本运营的困局,低端、小型轧辊产能严重过剩^[3]。

1.2 高端产品需求强劲,国外轧辊企业对中国市场渗透严重

国内的轧辊企业虽然在产量上不断扩大,但品种结构调整却没有完全跟上钢铁工业技术进步、结构优化调整的步伐,高端轧辊生产能力明显不足。有些高等级板材的轧制还依赖进口,近几年鞍钢股份、太钢、武钢等大型钢铁企业的宽板带轧辊也从国外进口,这反映出我国轧辊制造技术的水平在一些轧钢生产线上还跟不上轧机的发展^[4],目前参与国内轧辊市场竞争的境外公司和经销商已多达30余家,这些境外轧辊公司以其稳定的产品质量,灵活的经营手段形成了很强的竞争优势。

1.3 轧辊制造方法落后,急需结构调整和产业升级

20世纪90年代起,在世界上轧辊材质发展有两个重要趋势。一是广泛使用合金元素以及合金化程度的不断提高。二是复合轧辊的逐渐增多。国内

外轧辊制造企业和研究单位一直在致力于复合轧辊新技术的研究和开发。目前,离心复合、日本的CPC工艺和乌克兰的ESS LM技术是目前双金属复合轧辊制造技术的成功例子。在全球金融危机影响尚未完全消除的大背景下,随着国家调整经济结构、转变经济发展方式以及抑制通货膨胀等宏观经济政策的不断出台,我国轧辊业盲目投资、低水平重复建设所引发的产能严重过剩矛盾更为突出,我国轧辊行业急需进行一次结构调整和产业升级。

1.4 轧辊制造新工艺的研发力度不够,轧辊界面问题等基础研究薄弱

虽然国内外对复合轧辊进行了大量的研究,但仍存在许多问题有待解决。目前的研究多集中于我国现有的离心铸造和溢流铸造等方法,而对ESS LM, CPC生产复合轧辊等新工艺的研究较少^[5]。尤其是复合轧辊界面控制问题,轧辊界面的稳定性和可靠性等问题研究甚少。界面控制理论及实践难度大,进展缓慢;对界面残余应力的行为,以及界面结构与制备条件的关系认识还不清楚。由于界面区域本身很小、且不均匀,在客观上给研究带来了一定的困难。因此,应加强对轧辊的基础理论及新工艺开发的研究力度,开发轧辊制造的新工艺,制造出高质量低成本的复合轧辊。

2 电渣液态浇注法(ESS LM)原理和特点

ESS LM方法是乌克兰首都基辅的Elmet-Roll、巴顿电焊研究所的Meodvar教授及其团队于20世纪90年代发明的。ESS LM方法中,覆着层的材料可以是铸铁、高速钢、工具钢、不锈钢、Ni基高温合金以及其他金属,所制成的复合轧辊可用做冷轧辊、热轧辊或连铸辊。

复合过程在一个铜质水冷导电结晶器中进行,将被复合的锻造的、铸造或者用过的旧辊放在结晶器中心,再将其他容器中预先熔化好的熔渣倒入辊芯与结晶器之间的间隙中。结晶器不仅是复合层的成型设备,同时也是保持电渣过程的非自耗电电极。熔渣中产生的热量将辊芯的表面熔化从而进行复合过程,满足化学成分要求的液态金属被倒入辊芯与结晶器之间的间隙中,那么辊芯就会按照预定的程序被包覆起来。液态金属占据了熔渣的位置而使渣池上升,并与表面熔化的辊芯连接起来,形成复合层。在此过程中,辊芯被不断的从结晶器中抽出,同时不断倒入液态金属,直到复合层达到预定的长度。这项技术允许复合直径从100 mm到1 800 mm,甚

至更大直径圆锭外表面,并作为轧钢厂轧辊。复合层的厚度可以从15~20 mm到100 mm,甚至更大,这完全按照客户要求要求进行确定。

ESS LM方法的优点:这项技术与日本的连续浇注复合铸造法(CPC)基本相同,图1为两种方法的工艺设备比较,其方法上最大的不同在于CPC方法在中心芯棒的上端使用感应线圈对其进行预热,而ESS LM方法使用渣阻热对芯棒进行加热。ESS LM方法生产的轧辊另外一个优点就是所生产出来的轧辊接合处存在渗透层,而CPC方法生产的轧辊没有渗透层。电渣液态浇注轧辊方法另一个重要的优点是效率高,浇注速度为200~800 kg/h,电耗接近800 kWh/t_钢,其效率依赖于包覆部件的尺寸和所使用的材料。

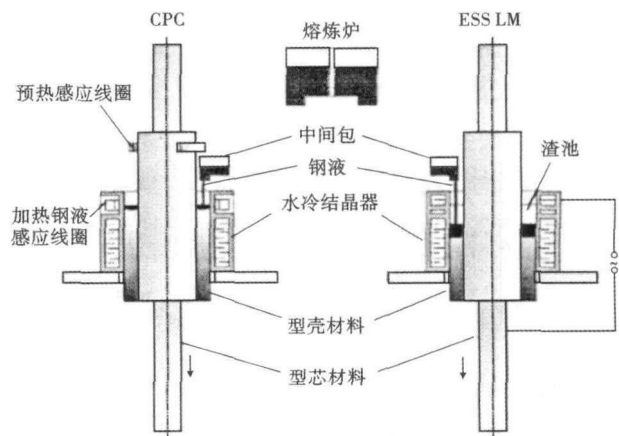


图1 CPC与ESS LM工艺比较

Fig. 1 Comparison between CPC and ESS LM process

ESS LM消除了传统电渣重熔在制造自耗电电极时所需要的成本,而且打破了电渣过程供电功率和温度参数之间的严格关系。在ESS LM工艺中,导电结晶器和液态金属的使用能让冶金工作者将金属的熔化和凝固过程分离开来,改变了传统电渣工艺必须兼顾电极熔化和金属凝固的状况。由于在渣池中心没有自耗电电极,热量不会随着过热的金属熔滴进入金属熔池,从而减小了金属熔池的体积。

图2分别列出了真空自耗电电极熔炼(VAR),普通电渣重熔(ESR)和电渣液态浇注技术(ESS LM)3种工艺的金属熔池形状,从图1中可以看出,ESS LM由于提供了外部加热、钢锭的均匀冷却等条件,可以通过控制液态金属的加入量、浇注温度以及渣池中的输入电功率,更加灵活的调整金属熔池的温度和形状,使熔池保持浅平。这样的形状将产生一

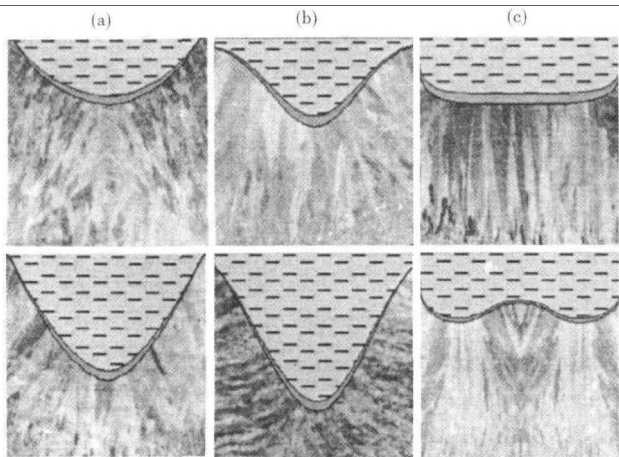


图 2 不同工艺的金属熔池形状:(a)VAR(真空自耗电极重熔);(b)ESR(电渣重熔);(c)ESS LM(电渣液态浇注)

Fig. 2 Shape of metal pool with different process: (a) VAR (vacuum arc remelting); (b) ESR (electroslag remelting); (c) ESS LM (electroslag surface with liquid metal)

个纵向的柱状晶组织,可以得到更好的金属组织。

3 离心浇注法,CPC 和电渣液态浇注法的比较

离心铸造法、CPC 法和电渣液态浇注法都是生产复合轧辊的重要方法,但它们有许多显著的差别:

(1)离心铸造用于生产整个轧辊,随着钢液不断的浇入到铸型中,通过调整离心旋转速度、钢水浇入时间间隔和钢水的温度可以得到整个复合轧辊。而 CPC 法和电渣液态浇注法是在已有辊芯的外围浇入新钢水(如高速钢)作为工作层,因此 CPC 法和电渣液态浇注法不仅可以用于生产新轧辊,还可以修复旧轧辊,相比而言更具有实用价值。

(2)离心铸造法的整个浇注过程是在有离心力的环境下进行的,比较容易出现碳化物的偏析现象,从而影响产品的质量。以高速钢的离心铸造为例,由于高速钢中含有比较多的 W、Cr、Mo、V 等合金元素,而这些合金元素碳化物的密度相差比较大,在普通离心铸造的条件下,高速钢轧辊的合金元素偏析严重,外层的 V 含量比较低,而 W、Mo 的含量比较高,内层正好相反,合金元素的分布不均严重影响轧辊的耐磨性和寿命。CPC 法和电渣液态浇注法都是在没有离心力的条件下完成的,因此产生合金元素的偏析问题较少。

(3)用 CPC 法生产复合轧辊时,在辊芯进入钢液之前,需要用感应线圈对轧辊芯部材料进行预热,这样辊芯和工作层之间的结合更加紧密。同时为了防止辊芯的外层被氧化,需要在辊芯外层涂上一层玻璃渣。此外,还要用另一个感应线圈对钢液进行加热,在这个过程中,辊芯的外层有一部分会熔化,

在实际生产中要严格控制加热的温度和时间,防止芯部过多的熔化,污染工作层的钢液。在电渣液态浇注法中,辊芯、结晶器和熔渣组成闭合回路,渣池产生的热可以将辊芯预热,然后再倒入钢水,辊芯有一部分将会熔化,实现和工作层的冶金结合。同时,电渣液态浇注法还有另外两种方法无法比拟的优势,当钢液经过渣池时,熔渣会对钢液起到精炼的作用,有效降低钢液中夹杂和有害气体的含量。

(4)与离心铸造法和 CPC 法相比,电渣液态浇注法几乎可以复合任何直径的圆柱钢坯的外表面,复合层的厚度由客户的要求决定,复合层可以达到 20 ~ 100 mm,甚至可以更厚。Elmet-Roll 公司和 NKMZ 厂合作后,实施了 NKMZ 厂的电渣炉改造项目。改造后该厂可以生产直径达 1 000 mm、长度达 2 500 mm 的圆柱钢坯。该厂第 1 次用该设备生产了直径为 740 mm 的热轧辊,其工作层为高速钢^[6]。电渣液态浇注法的另一个优点是,它可以使用不同化学成分的材料,例如铸铁、高速钢、不锈钢和耐热镍基合金等,也包括那些不能承受冷、热变形的材料,因为传统复合技术要求自耗电极采用线性的、棒状的或板状的等。

(5)电渣液态浇注法可以通过控制浇注钢液的温度来有效抑制铸件微观组织的不均匀性。在 ESS LM 法中,炼钢设备中的钢液可以过热,并能够按照所要求的时间保持这一温度。采用任何已知的方法对液态金属进行冷却,甚至到接近液相线温度后再将其倒出。在 ESS LM 法中可以创造条件来使形成的晶粒细化。根据乌克兰巴顿电焊所的结果,在用 ESS LM 法复合 280 mm 直径的钢坯表面 32 mm 厚的高速钢复合层时,将成分为(%) 1.8C、0.3Si、0.7Mn、4.5Cr、1.5Ni、3.5Mo、6.1V、4.4W 的液态金属以 1 570 ~ 1 600 °C 保持在熔炼炉中 1 h,初步冷却到接近液相线温度后倒入到电渣复合设备中。

(6)电渣液态浇注法相对于离心铸造法和 CPC 法的另一个显著优点是效率高且能耗低。根据 Elmet-Roll 公司的数据,复合速度能达到 200 ~ 800 kg/h,甚至更高。同时,在复合的过程中,能耗较低,为 600 ~ 800 kWh/t。

4 电渣液态浇注复合轧辊技术的开发和应用

采用 ESS LM 方法生产复合轧辊的生产工艺路线如图 3 所示,同时这种方法还可以使用旧的废轧辊作为芯棒生产新的复合轧辊。其中,渣系的选择是很重要的因素,与普通电渣重熔不同,电渣液态浇注复合轧辊常用渣系见表 1。复合后的界面元素分

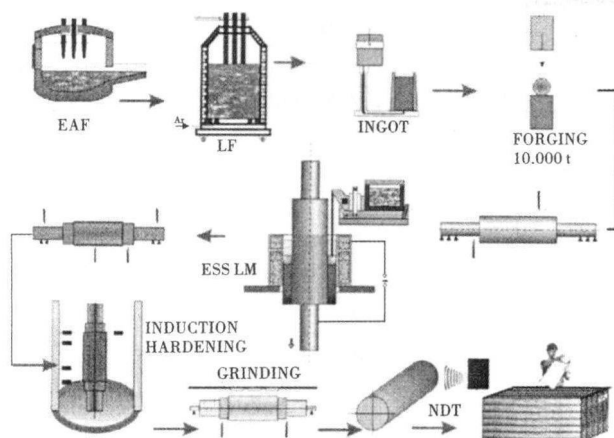


图3 乌克兰现行复合轧辊的生产工艺路线

Fig.3 Current process flow sheet for manufacturing composite rolls in Ukraine

表1 电渣液态浇注复合轧辊用渣系

Table 1 Slag series for producing composite roll by ESS LM process

渣系 型号	组成含量(mass)/%						
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	TiO ₂
ANF-28	41 ~ 49	≤5	26 ~ 32	20 ~ 24	≤6	-	-
ANF-29	30 ~ 40	12 ~ 18	35 ~ 42	12 ~ 18	-	-	-
ANF-32	34 ~ 42	24 ~ 30	20 ~ 27	5 ~ 9	2 ~ 6	0.3 ~ 1.3	5 ~ 8
AN-75	54 ~ 58	9 ~ 12	5 ~ 8	18 ~ 21	5 ~ 7	4 ~ 7	-
AN-94	40	20	20	20	-	-	-
AN-03	33 ~ 46	15 ~ 24	16 ~ 27	6 ~ 10	2 ~ 6	4 ~ 6	10 ~ 15

布情况见图4。

从2003年开始,乌克兰 NKMZ 厂通过从 Elmet-Roll 公司获得的技术转让,开始生产多种复合轧辊,包括热连轧工作辊和大型支撑辊,最大直径达1 800 mm。材质包括高铬铸铁、高速钢和高铬铸钢等。产品在乌克兰、俄罗斯、欧洲、北美和中东等许多国家和地区的钢铁企业使用,用户反映良好。在乌克兰 1 700 mm 热连轧机2号机架上使用其轧制量为

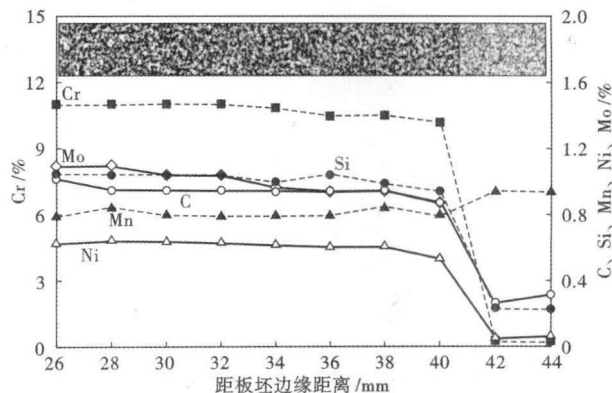


图4 ESS LM 复合轧辊复合层界面合金元素的分布情况

Fig.4 Distribution of alloying element at interface of compound layer of composite roll by ESS LM process

16 000 t/mm。我国一些轧辊生产企业也对该项技术十分关注,并在准备引进该项技术。

国家自然科学基金青年项目(51104038),基本科研业务费研究生科研项目(N090602006),基本科研业务费青年教师科研启动基金(N100302006)

参考文献

- 1 符定梅,符寒光. 复合轧辊制造技术的研究进展[J]. 大型铸锻件,2006,2(5):48-52.
- 2 王战芹. 轧辊业 转方式 调结构 任重道远[J]. 装备制造,2011(6):58-60.
- 3 周利,何奖爱,王玉玮. 轧辊制造技术与发展趋势[J]. 铸造,2002,51(11):666-670.
- 4 贾建平. 中国轧辊制造业技术现状与发展趋势[J]. 技术论坛,2008,9:24-27.
- 5 李万明,姜周华,董艳伍,等. 复合轧辊界面理论研究的现状[J]. 材料与冶金学报,2011,10(s1):77-80.
- 6 Medovar L B, Tsykulenko A K, Saenko V Y, et al. New Electroslag Technologies[C]. Medovar Memorial Symposium, Kyiv, 2001:49-60.

李万明(1985-),男,博士研究生。Email:liwanming_2004@126.com

姜周华(1963-),男,教授,博士生导师,《特殊钢》编委。Email:jiangzh@smm.neu.edu.cn

收稿日期:2012-05-28

邮发代号:38-183

欢迎订阅 2013 年《特殊钢》杂志

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社