

20钢/316L复合管固液复合制坯工艺研究

桂海莲¹,胡晓彤¹,刘浩¹,张琛¹,李强^{2*},胡建华¹,陈建勋¹,苟毓俊³,双远华¹,张鹏岳⁴

(1. 太原科技大学材料科学与工程学院,山西 太原 030024; 2. 太原科技大学机械工程学院,山西 太原 030024;
3. 太原科技大学车辆与交通学院,山西 太原 030024; 4. 山西钢合力新材料科技有限公司,山西 太原 030021)

摘要: 双金属复合管在石油运输行业中应用前景广阔,结合性能是考察复合管是否合格的重要指标之一。为了能在轧制成形过程中得到高品质的复合管材,在复合管制坯过程中要求实现界面处的冶金复合。以20钢和316L为原材料,基于结合温度及元素扩散情况,采用固液复合方式,并且结合界面的温度模型及通过ProCAST软件模拟,获得了外模最佳预热温度为1 050—1 100℃。通过现场试制界面处实现了冶金复合,在最佳温度范围既保证了固态20钢和液态316L之间能达到冶金复合,又能使元素有充分的扩散时间而增强了界面结合强度,同时又可以防止因元素过渡扩散而导致316L腐蚀性能下降。该方法为后续复合管连轧提供了优良的管坯,可实现高品质复合管的现场生产。

关键词: 固液复合;复合管坯;热传导;界面;结合强度;扩散;20钢/316L;模型

中图分类号: TG244.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2024)01-0172-07

引文格式: 桂海莲,胡晓彤,刘浩,等. 20钢/316L复合管固液复合制坯工艺研究[J]. 材料研究与应用,2024,18(1):172-178.
GUI Hailian, HU Xiaotong, LIU Hao, et al. Study on Solid-Liquid Composite Billet Making Process of 20 Steel/316L Composite Pipe[J]. Materials Research and Application, 2024, 18(1): 172-178.

0 引言

近年来随着工业水平的不断发展,复合材料日益成为国民经济发展不可或缺的一部分^[1]。同时,对于材料的抗腐蚀性能要求也越来越高,在各个领域(如机械、汽车、运输等行业)中对于材料的要求更加严格^[2]。对于外界的高腐蚀环境及诸如海洋深度造成的高压环境,单一的金属材料已经难以满足一些领域对材料性能的需求,而两种或两种以上的复合金属材料在一定程度上可以满足特定环境对材料性能的要求,同时还能充分发挥每种金属性能的优点。

在国内外,越来越多的研究者关注到双金属材料的问题。在结合方式对双金属复合材料的影响方面, Mohammad Hossein Babaee等^[3]利用ProCAST和ANSYS软件,研究了Al/Al-4.5%Cu大型复合双金属的结合情况,发现了应力梯度场的存在,以及界面区域熔化出现过渡区而促进了界面的扩散结合。兰州理工大学的孙延蓝等^[4]通过对Al/Zn双金属复合板界面进行SEM和EDS分析发现,浇铸顺

序及浇铸温度对其界面微观相组织影响不同,铝合金氧化膜遇到高温液态Zn金属时熔化,界面处出现扩散结合,从而使复合板结合强度增高。在微量元素和界面新相对双金属复合材料的影响方面,北京科技大学的王艳林等^[5]针对双液双金属复合材料Cr合金/钢中的微量元素Nb、Ti进行了热力学分析并发现,当温度降低时微量元素在复合材料中的固溶量减少。沈阳工业大学的李德元等^[6]对高温焊接接头处的界面碳迁移进行了研究,得出高温时碳元素会从低碳钢侧扩散至不锈钢侧,同时增加了接头脆硬性的结论。东北大学的王大伟等^[7]对高温时碳钢、不锈钢焊接界面进行了研究,发现在焊接时接头与界面形成了合金铁素体层和增碳层,同时会出现Cr元素的扩散,使接头的强度得到提升。重庆大学的赵建华教授等^[8-10]从涂层和中间层角度对双金属复合材料界面进行研究,发现界面形成的金属间化合物使其强度和硬度增高。江苏大学的张红安等^[11]针对铜铝复合界面进行研究,得出过渡层的厚度及界面组成相的性质主要决定界面的性能,当铝

收稿日期: 2023-04-15

基金项目: 国家联合基金重点项目(U22A20188);山西省专利转化专项计划项目(202201006;202202032);太原科技大学研究生联合培养示范基地项目(JD2022002);山西省重点研发项目(202102150401002);太原科技大学研究生创新项目(SY2022007);山西省自然科学基金项目(202203021221158)

作者简介: 桂海莲,博士,教授,研究方向为复合材料成形。E-mail:guihailian2000@163.com。

通信作者: 李强,硕士,(正)高级工程师,研究方向为机械性能优化分析。E-mail:18494480@qq.com。

液浇铸温度较高时过渡层变厚,但其结合界面强度下降的结论。武汉理工大学的杨金鹏等^[12]研究了固液双金属复合铸造工艺及机理,针对结合形式、固相基体表面预处理及浇铸温度等展开了研究,发现界面结合层厚度及新相的形成影响复合界面的硬度,该影响是影响复合界面结合品质的重要因素。除上述研究外,还有一些学者对双金属复合材料二次加工等方面进行了研究。太原科技大学的桂海莲教授等^[13-15]对双金属复合板二次加工时界面的中性层^[16]进行了研究,发现二次加工工艺参数对界面形貌具有一定的影响,同时利用边界元^[17-18]和有限元^[19-20]的方法对其进行了数值求解。

许多研究者对双金属复合板材的性质及二次加工等进行了大量研究,而对于双金属复合管的制备研究较少。双金属复合管按照界面的结合方式,可以分为机械结合型复合管和冶金结合型复合管,图1为双金属管坯制作工艺方法。复合管界面的结合方式主要分为机械复合和冶金复合两大类^[21]。机械复合具体可以分为滚压、胀接和拉拔,均为两根金属管相套,通过滚压、胀接、拉拔的方式使内外两管之间减小间隙从而达到金属复合的要求,此方式复合管界面并未发生扩散结合,成型时需要的成型力大、耗能高,在高温环境应用时会产生应力松弛,使其分层失效;冶金复合具体包括爆炸焊接、离心铸造、堆焊成型,在界面处均发生了扩散结合,复合界面带宽、复合效果好、不易产生分层。

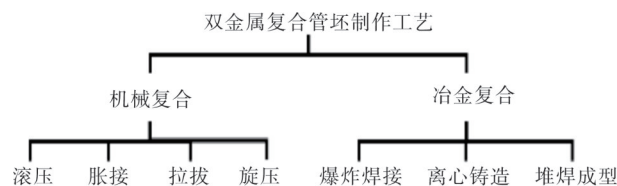


图1 双金属管坯制作工艺方法

Figure 1 Production process method of bimetallic tube billet.

复合管坯的制备好坏直接关系到后续复合管轧制成形的性能,尤其是复合界面的结合强度。为此,本文采用离心浇铸的方法制备油气输送管道,外壁选用20钢可满足管体对刚度的要求、内壁选用316L不锈钢解决了输送液体对内壁的腐蚀问题^[22]。同时,对复合界面固液结合处温度的传导及相转变的影响进行理论分析,建立了对流换热模型;其次,根据外模的固相线和液相线值,利用数值模拟确定外模最佳加热温度及浇铸温度,给出最优工艺参数^[23];最后,利用得到的工艺参数进行现场实验,并对实验制备的复合管坯界面进行微观形貌研究,证明本文研究成果可以有效地指导实际生产。

1 建立复合管坯制备界面温度模型

采用固液复合技术制造复合管坯,其中温度是关键因素,直接影响到管坯是否能实现冶金复合,同时还要确保元素扩散能满足复合管的性能要求。固、液金属间的结合机制分为熔合结合和扩散结合。液态316L与固态20钢接触时,由于温度过高接触界面20钢一侧熔化,与液态316L混合成为合金,而后降温凝固形成熔合结合界面。由于两种不同材料温差巨大,熔合时形成激冷凝固层,这会产生元素的扩散而形成复合界面。

在熔化过程中20钢由固相到液相再到固相,同时伴随着吸热和放热(即相变潜热),此时过热热量和潜热会不断从液态金属的内部向外界散失。通常将潜热处理成不同温度的热焓,热焓按照公式 $H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$ 计算,式中 H 表示相变潜热、 C 表示比热容,单位为 $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$ 。20钢在发生相变潜热时,内部液态316L会沿着20钢内壁熔融态流动,从而使两种不同金属在熔融态下产生对流换热,该过程满足牛顿冷却定律^[24],即流体被加热时 $\varphi = hA(T_w - T_f)$ 、流体被冷却时 $\varphi = hA(T_f - T_w)$ 。式中: φ 表示对流换热热量,单位为W; h 表示对流换热系数(或称表面传热系数、膜系数等),单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$; T_w 和 T_f 分别表示壁面温度和流体温度,单位为 $^\circ C$ 或者K; A 表示固体壁面对流换热表面积,单位为 m^2 。

在发生对流的同时,还存在界面元素扩散,从而影响金属抗腐蚀等性能。元素扩散满足阿累尼乌斯(Arrhenius)方程^[25],即 $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$ 。式

中, Q 表示激活能、 T 表示热力学温度(单位为K)、 D_0 表示扩散常数、 D 表示扩散系数、 R 表示气体常数(取值 $8.314 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)。由Arrhenius方程可知,扩散与温度成正比,温度越高扩散系数越大,扩散越容易进行,原子通过扩散结合方式可以在界面形成良好的结合层。影响固液复合双金属复合界面结合品质的工艺因素主要与温度有关,包括液态金属温度、固相基体的预热温度等。而内部液态金属的温度既与空间有关,同时又与时间有关,因此内外金属间的导热可以视为非稳态导热^[26-27]。在笛卡尔坐标系中,三维非稳态导热微分方程的一般形式为 $\frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \dot{q} = \rho c \frac{dT}{dt}$;

在柱状坐标中,三维非稳态导热微分方程的一般形式为 $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}\left(kr \frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi}\left(k \frac{\partial T}{\partial \varphi}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \dot{q} =$

$\rho c \frac{dT}{dt}$ 。其中, k 表示导热系数(单位为 $W \cdot (m \cdot ^\circ C)^{-1}$)、 T 表示热力学温度(单位为 K)、 $\dot{q}$ 表示单位体积物体在单位时间内释放的热量(单位为 W)、 c 表示比热容(单位为 $W \cdot (m \cdot ^\circ C)^{-1}$)、 ρ 表示密度(单位为 $kg \cdot m^{-3}$)、 t 表示时间(单位为 s)。

2 复合管坯制备关键工艺参数研究

2.1 铸件的三维模型设计与材料基本参数

图 2 为采用 UG 建模得到的内外模的三维模型^[28],该系统采用顶部离心浇注^[29],外模与内模参数列于表 1。其中,换热系数设置为 $1\,000\,W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$ 、浇注时间为 10 s、冷却方式选择空冷、离心转速 $v=1\,rs^{-1}$ 。

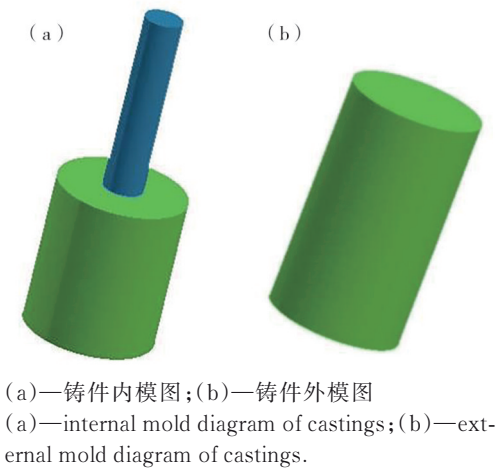


图 2 铸件与铸型的三维模型图

Figure 2 3D model drawing of casting and molding

表 1 模型详细参数

Table 1 Model parameters

部位	材料	直径/mm	高/mm
外模	20 钢	200	330
内模	不锈钢	130	150
浇道	不锈钢	40	180

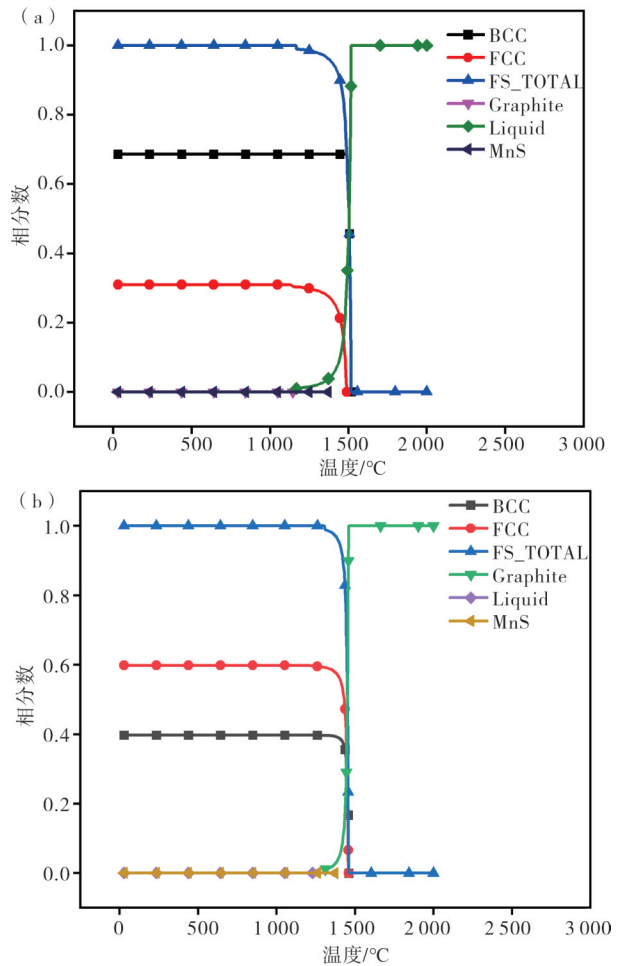
将三维模型导入到 MeshCAST 中进行网格划分,铸件网格划分如图 3 所示。划分完成后共有面网格 8 662 个、体网格 50 419 个^[30-31]。通过计算得到 20 钢和 316L 不锈钢的相图,结果如图 4 所示。从图 4 可见,20 钢固相线温度为 $1\,165\,^\circ C$ 、液相线温度为 $1\,516\,^\circ C$ 、316L 不锈钢固相线温度为 $1\,304\,^\circ C$ 、液相线温度为 $1\,460\,^\circ C$ 。为保证实现冶金复合,内外层金属相接触的界面温度应保持在固相线温度以上液相线以下,即 $1\,165\text{—}1\,516\,^\circ C$ 之间,并且尽量接近液相线。同时,根据金属原子扩散行为,适当增加接近液相线的时间以增强结合强度,但扩散时间过长也会

影响复合材料性能。为此,本文设计内模温度范围为 $1\,510\text{—}1\,550\,^\circ C$ 、外模预热温度范围为 $900\text{—}1\,200\,^\circ C$ 。



图 3 铸件和铸型面网格示意图

Figure 3 Schematic diagram of casting and molding surface mesh



(a)—20 钢;(b)—316L。
(a)—20 steel;(b)—316L stainless steel.

图 4 20 钢与 316L 不锈钢相图

Figure 4 Phase diagram of 20 steel and 316L stainless steel

2.2 模拟结果及分析

通过模拟得到界面处的最高温度,结果如图5所示。从图5可见:从结合温度的角度考虑,当外模20钢的温度为900℃时,需要浇铸温度达到1540℃左右才可以完成金属复合,考虑到浇铸过程中热量的散失、复合时间较短等因素,此温度不利于复合,导致界面结合性能较差;而当外模20钢预热到1200℃时,此时的温度已经处于液固相线之间,属于固液共存状态,有发生液态金属泄漏的危险,故20钢最佳预热温度为1050—1100℃。

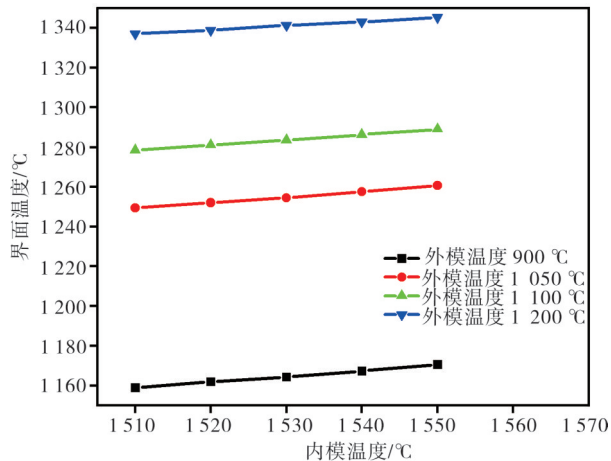
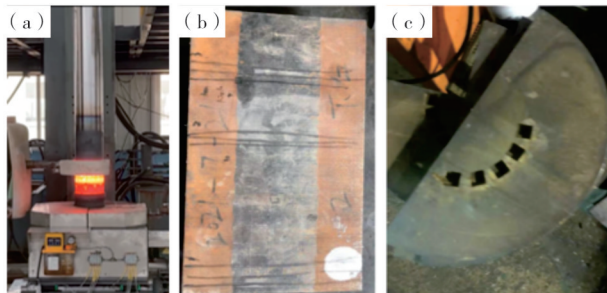


图5 结合面处最高温度

Figure 5 Maximum temperature at the binding interface

3 现场实验

根据理论计算与模拟确定的制坯温度,对20钢和316L进行浇铸复合,外模加热采用电磁感应加热且加热温度为1070℃,内芯316L采用电极熔化,空冷后将复合坯料沿中心对称轴切开,沿结合界面进行取样。图6为现场实验图和坯料取样图。首先用400#、600#、800#、1000#、1200#、2000#砂纸依次对试样进行打磨抛光,然后使用硝酸酒精溶液和王水分别对20钢侧和316L不锈钢侧的抛光试样侵蚀



(a)—现场试验图;(b)—坯料切样图;(c)—样品切割图。
(a)—field test image;(b)—blank cutting sample diagram;
(c)—blank cutting sample diagram.

图6 现场实验图及坯料取样图

Figure 6 Field experiment diagram and blank sampling diagram

5 s,再用95%的酒精洗净,用吹风机吹干后进行金相实验,并且对界面结合区域进行观察。

4 分析与讨论

经打磨抛光的试样界面金相图如图7所示。从图7可见,在结合面附近,从左到右依次为碳钢层、碳钢脱碳层、不锈钢增碳层和不锈钢层,在界面处有新的相生成,说明界面实现了冶金复合。

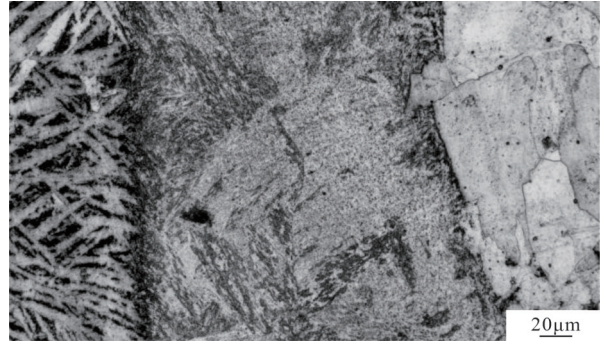


图7 界面结合区域金相图

Figure 7 Interface bonding area of metallographic diagram

在界面结合处进行电镜扫描(SEM),结果如图8所示。对碳钢侧及不锈钢侧进行能谱(EDS)线扫描实验分析^[32],表2为Fe、Cr、C、Ni元素统计结果,图9为碳钢侧和不锈钢侧的能谱图。从表2和图9可以看出,复合材料中的主要元素(如Fe、Cr、C、Ni

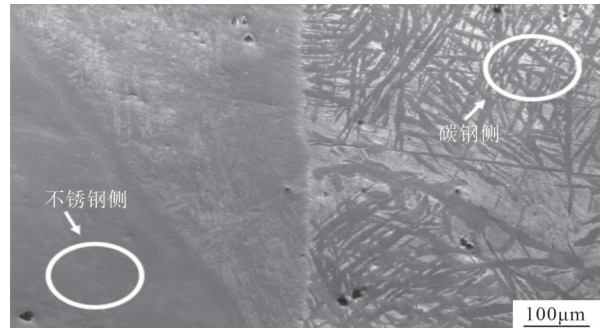


图8 界面结合处SEM实验图

Figure 8 Experimental SEM image of the interface bonding

表2 能谱实验Fe、Cr、C、Ni元素统计结果

Table 2 Statistics of Fe, Cr, C, and Ni elements in energy spectroscopy experiments

元素	含量 $w/\%$	
	碳钢侧	不锈钢侧
Fe	98.6	72.3
Cr	1.0	15.9
C	0.2	0.8
Ni	0.1	10.0

等)均出现在界面处,并且20钢侧的Cr和Ni元素含量较多。由于Cr元素含量对不锈钢的耐腐蚀性起着决定性作用,Ni元素含量可以有效提高不锈钢的可塑性、韧性等力学性能。因此,结合界面处有较多的Cr和Ni元素扩散到20钢侧,则会削弱316L的腐蚀性和塑性。经研究发现,当接触界面温度为800—900℃时会出现C元素的迁移。从元素扩散的角度考虑,不同元素对材料内部影响不同^[33]。随

着温度升高,316L不锈钢侧C元素由饱和状态过渡到不饱和状态,C的化学势下降。由于扩散的根本驱动力是化学势的差异,此时316L不锈钢侧C含量化学势低于20钢侧,则出现C元素从20钢侧向316L不锈钢侧扩散。316L不锈钢C含量增加后,使得内部的Cr元素与C元素容易形成晶间物,造成局部Cr含量降低,导致316L不锈钢耐腐蚀性能下降。

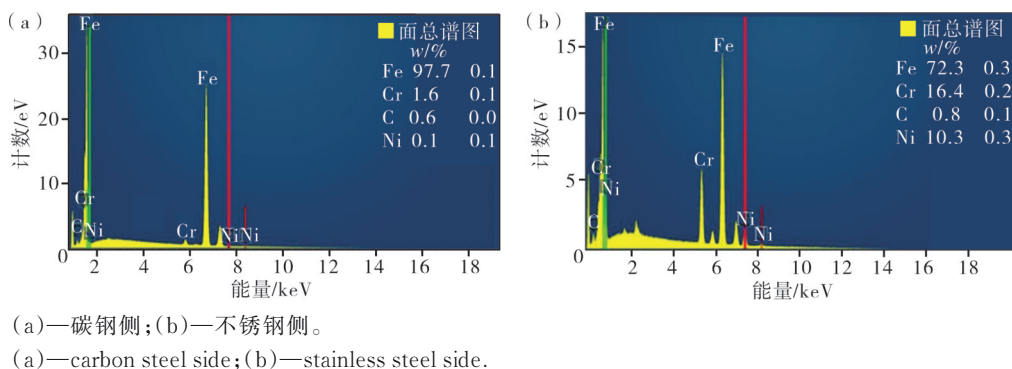


图9 能谱线扫描实验图

Figure 9 Experimental diagram of energy spectrum line scanning

5 结论

通过对固液复合管制坯温度进行研究发现,固态复合管的界面温度应控制在外模固相线与液相线之间。同时,还要关注凝固时间。既要使原子充分扩散实现更高的界面结合强度,同时又不能让原子过渡扩散破坏材料的性能,使316L腐蚀性能下降而影响使用。

根据扩散理论及热传导理论,通过不同的外模预热温度与不同浇铸温度的模拟及实验结果发现,温度对双金属复合界面影响较大。从浇铸完毕至常温状态,空冷的时间尽量要短以减少C元素的迁移,故在浇铸完成后使其在高温环境的时间尽量减少,20钢和316L固液复合最佳温度应控制在1 050—1 100℃之间。

参考文献:

- [1] 刘练,郭玉洁,刘斌等.聚合物基复合材料分层损伤缺陷的研究现状及展望[J].材料研究与应用,2023,17(2):265-276.
- [2] 辜诚,程进,闻福林,等.固-液复合铸造制备双金属复合材料的研究进展[J].特种铸造及有色合金,2022,42(6):681-687.
- [3] BABAEE M H, MALEKI A, NIROUMAND B. A novel method to improve interfacial bonding of compound squeeze cast Al/Al-Cu macrocomposite bimetals: Simulation and experimental studies [C].

Beijing: Transactions of Nonferrous Metals Society of China,2019:1184-1199.

- [4] 孙延蓝,李元东,蒋春宏,等.Al/Zn双金属复合板的界面研究[J].特种铸造及有色合金,2018,38(5):535-539.
- [5] 王艳林,周孟,庞晓露,等.双液双金属高Cr合金/钢复合材料性能优化热力学研究[J].华东交通大学学报,2016,33(6):15-21.
- [6] 李德元,娄建新,孔令伟,等.12Cr1MoV/304不锈钢焊接接头高温时效碳迁移现象[J].沈阳工业大学学报,2015,37(1):28-33.
- [7] 王大伟,修世超.焊接温度对碳钢/奥氏体不锈钢扩散焊接接头界面组织及性能的影响[J].金属学报,2017,53(5):567-574.
- [8] ZHAO Jianhua, SHANGGUAN Jingjing, GU Cheng, et al. Microstructures and mechanical properties of TC4/AZ91D bimetal prepared by solid - liquid compound casting combined with Zn/Al composite interlayer [C]. Beijing: Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2022:1144-1158.
- [9] 金通,赵建华,袁福安,等.Al涂层/AZ91镁合金复合铸造界面的研究[J].有色金属材料与工程,2019,40(2):16-20.
- [10] ZHAO Jianhua, ZHAO Wenqun, QU Shen, et al. Microstructures and mechanical properties of AZ91D/0Cr19Ni9 bimetal composite prepared by liquid-solid compound casting [C]. Beijing: Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2019: 51-58.

- [11] 张红安,陈刚.铜/铝复合材料的固-液复合法制备及其界面结合机理[J].中国有色金属学报,2008(3):414-420.
- [12] 杨金鹏,吴孟武,陆文兴,等.固液双金属复合铸造工艺及机理研究进展[J].特种铸造及有色合金,2020,40(9):964-970.
- [13] XING T, HUANG Q X, XIANG J M, et al. The neutral layer offset of medium and thick plate by sub domain boundary element method during plate flattening [J]. Advances in Engineering Software, 2022,172: 103215.
- [14] GUI Hailian, XING Tong, LI Yugui, et al. The influence of neutral layer offset on the straightening force in the process of bimetal composite plate straightening [J]. Mater Res Express, 2019, 6 (8) : 86569,
- [15] XING T, LIU C R, LIU J, et al. Investigation on the interface morphology of Mg/Al corrugated composite plate in the straightening process[J]. Materials, 2022, 15: 4383.
- [16] 王亚东,刘翠荣,马立峰,等. AZ31B 镁合金矫直过程中热力耦合模型下中性层偏移规律分析[J].稀有金属材料与工程,2021,50(12):4395-4401
- [17] GUI H L, MA L F, WANG X G, et al. Analysis of the neutral layer offset of bimetal composite plate in the straightening process using boundary element subfield method [J]. Applied Mathematical Modelling, 2017, 50: 732-740.
- [18] GUI Hailian, LI Qiang, HUANG Qingxue, et al. Analysis of contact problem using improved fast multipole BEM with variable element length theory[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2013, 21 (1): 1-7.
- [19] GUI Hailian, LI Qiang, HUANG Qingxue. Analysis of rolled piece deformation in straightening process using FM-BEM [J]. Journal of Marine Science and Technology, 2014, 22(5): 550-556.
- [20] GUI H L, XIANG J M, XING T, et al. Boundary element method with particle swarm optimization for solving potential problems [J]. Advances in Engineering Software, 2022, 172: 103191.
- [21] 郭明海,刘俊友,庞于思,等.双金属管复合技术的研究进展(上)[J].钢管,2013,42(1):11-16.
- [22] 闫可安,许天旱,韩礼红,等.双金属复合管的研究现状与发展趋势[J].化工技术与开发,2020,49(10):45-50.
- [23] 范磊,任清海,石子杰,等.ZTAp-Fe复合材料复合铸造模拟及试验研究[J].稀有金属,2022,46(8):1041-1047.
- [24] GUAN F, JIANG W M, WANG J L, et al. Development of high strength Mg/Al bimetal by a novel ultrasonic vibration aided compound casting process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 300:117441.
- [25] TSAI D C, HWANG W S. Numerical simulation of the solidification processes of copper during vacuum continuous casting [J]. Journal of Crystal Growth, 2012, 343(1):45-54.
- [26] WANG F L, HAO Q H, YU P F, et al. Numerical simulation and experimental verification of large-sized Zr-based bulk metallic glass ring-shaped parts in casting process[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2022, 32(2):581-592.
- [27] WANG H Z. Efficient and stable numerical solution of three-dimensional unsteady thermal conduction problem [J]. Journal of Hebei North University (Natural Science Edition), 2009, 25(5):1-4.
- [28] 艾子健,吴龙,高浩.基于ProCAST的汽车缸套离心铸造数值模拟研究[J].内燃机与配件,2014(1):12-14.
- [29] 陈玉娥,仲红刚,张申,等.双金属复合材料铸造成形工艺综述[J].铸造,2021,70(6):646-650.
- [30] 杨亚杰.铸造模拟软件ProCAST[J].CAD/CAM与制造业信息化,2004(Z1):109-111.
- [31] 张云平.基于ProCAST的制动铸件精确成形数值模拟与工艺提升[J].精密成形工程,2022,14(9):97-103.
- [32] LUO Y J, ZHANG Z L, ZHOU L, et al. Microstructures and mechanical properties of A356-SiCp/A356 cladding composite materials prepared by vacuum solid-liquid casting [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2022, 19:4881-4889.
- [33] 王帅,郑志斌,李英民,等.W/Ti含量对钢铁基复合材料微观组织和相变的影响规律[J].材料研究与应用,2023,17(1):109-117.

Study on Solid-Liquid Composite Billet Making Process of 20 Steel/316L Composite Pipe

GUI Hailian¹, HU Xiaotong¹, LIU Hao¹, ZHANG Chen¹, LI Qiang^{2*}, HU Jianhua¹, CHEN Jianxun¹,
GOU Yujun³, SHUANG Yuanhua¹, ZHANG Pengyue⁴

(1. Department of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Sciences and Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Sciences and Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Department of Transportation and Logistics, Taiyuan University of Sciences and Technology, Taiyuan 030024, China; 4. Shanxi Steel Heli New Material Technology Co., Ltd., Taiyuan 030021, China)

Abstract: Bimetallic composite pipe has a wide range of application prospect in the petroleum transportation industry, the combination of properties is to examine whether the composite pipe is qualified as one of the important indicators. In order to obtain high-quality composite pipes in the process of rolling and forming, interfacial metallurgical composite must be realized in the process of composite billets. In this paper, based on the combination of temperature and element diffusion, 20 steel and 316L were used as raw materials to study the temperature model of the bonding interface under solid-liquid composite mode, and through the ProCAST software simulation to obtain the optimal preheating temperature of the outer mold 1 050—1 100 °C. The metallurgical composite was achieved through on-site trial production, and this temperature range ensures that the metallurgical composite can be achieved between solid 20 steel and liquid 316L, so that there is sufficient diffusion time for the elements to enhance the interfacial bonding strength, but also prevents the deterioration of 316L corrosion performance due to the transitional diffusion of the elements. This method provides excellent billets for subsequent continuous rolling of composite pipes, which can realize on-site production of high-quality composite pipes.

Keywords: solid-liquid composite; composite billet; heat transfer; interface; binding strength; diffusion; 20 steel and 316L; mold

(学术编辑:黎小辉)