● 实用成型技术 Practical Shaping Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.018

冷轧工艺对 3003/4343 层状复合板界面的影响

吕 成,许光明,杜 恺,穆星伟
(东北大学 材料科学与工程学院,辽宁 沈阳 110819)

摘 要:研究了不同厚度的皮材通过铸轧复合成 3003/4343 层状板,并在冷轧工艺中通过对冷轧工艺参数的控制,得到清晰、光滑、整洁而且各元素分布合理的优良界面。结果表明,在总压下量一定、道次压下量相差不大时,皮材厚度越大,3003/4343 层状金属复合界面越模糊,即元素扩散越充分;在同一皮材厚度下,随着总压下量的增大,界面也越不明显。

关键词:冷轧;界面;层状复合金属;压下量
中图分类号:TG335 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)12-1076-04

Effect of Cold Rolling Process on the Interface of 3003/4343 Laminated Composite Plate

LYU Cheng, XU Guangming, DU Kai, MU Xingwei
(College of Materials Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: The laminar sheet 3003/4343 with different thickness was made by casting and rolling. By controlling the parameters of cold rolling process, a clear, smooth and neat interface with reasonable distribution of elements was obtained. The results show that when the total amount of pressing is constant and the amount of passing pressing is not different, the thicker the surface layer, the fuzzier the interface of 3003/4343 layered composite, that is, the more sufficient the element diffusion. Under the same thickness of skin, the interface is less obvious with the increase of total pressure reduction.

Key words: cold rolling; interface; layered composite metal; reduction

液固复合法[1]是将一种材料(液相)采用不同的方式均匀浇注到另一种材料(固相)表面,通过两种金属材料间的中间反应实现金属的结合,待液态金属凝固后形成复合材料,然后再进行压力加工的工艺方法。轧制复合法[2]是让两种表面洁净的金属相互接触,在轧机的压力作用下,通过加热和塑性变形时原子间高度扩散作用实现冶金结合的复合方法。其结合强度通常比原组合金属高。本文采用铸轧复合法即是液固复合法和轧制复合法结合,将材料(液相)通过导流嘴均匀浇铸到铸轧机的辊缝处,然后在铸轧机的压力作用下将皮材金属铝板复合在浇铸出来的芯材金属铝板上,从而实现铸轧复合过程。经铸轧复合出来的复合板,在界面处存在缩孔,间隙等缺陷,通过继续冷轧可以消除大部分诸如许多缺陷。另外,在冷轧机强大的压下下,原子扩散[3]更加频繁,界面的结合强度更大,复合的也就愈发牢固。

1 实验材料与方案

控制铸轧机调整辊缝为不同的值,将铸轧出来的复合板切成长度约 15 cm,宽度约 8 cm 的长方形[4],各道次厚度列于表 1。

图 1 为冷轧实验所用直拉式四辊可逆冷轧 / 温轧实验轧机。直拉式冷轧 / 温轧实验轧机,采用液压恒张力和在线电阻加热技术,实现对单片带钢试样带张力冷轧和温轧试验研究,特别适用于对小炉冶炼提供的短轧件冷轧料进行冷轧薄带品种、工艺和装备的实验研究与开发,可满足高强度钢、高硅硅钢以及钛合金、镁铝合金等难变形金属带材轧制工艺要求。

主要工艺流程:单片实验料→剪切→退火→表面处理→夹持→1 次可逆轧制→中间定尺剪切(选择)→ 2 次可逆轧制(选择)→工艺润滑(选择)→试样标记→数据采集→打印报表

主要技术指标:来料尺寸为 Hmax×B =2.0 mm×(100~200) mm,成品尺寸为 Hmin×B =0.12 mm×

收稿日期:2021-08-24
作者简介:吕 成(1997—),安徽阜阳人,硕士生.研究方向:铝合金层状复合板加工.电话:18855573128,
E-mail:965863541@qq.com

表 1 实验材料的起始及各道次厚度(皮材 0.4 mm, 0.8 mm)
Tab.1 Starting and pass thickness of experimental material

皮材厚度 /mm	起始厚度 /mm	第一道次 /mm	第二道次 /mm	第三道次 /mm	第四道次 /mm	第五道次 /mm	第六道次 /mm	总压下量 /mm	总压下率 (%)
0.4	7.0	6.4	5.2	4.6	4.0	-	-	3.0	42.9
	9.0	7.4	6.4	5.4	4.5	-	-	4.5	50
	6.5	5.5	4.6	3.7	3.1	2.6	2.0	4.5	69.2
	7.5	6.7	6.0	5.3	4.5	3.4	-	4.1	54.7
0.8	6.6	5.6	4.8	4.2	3.8	-	-	2.8	42.4
	6.6	5.6	4.7	3.9	3.3	-	-	3.3	50.0
	6.0	5.0	4.2	3.5	3.0	2.4	1.8	4.2	70.0
	7.0	6.0	5.2	4.4	3.7	3.2	-	3.8	54.3

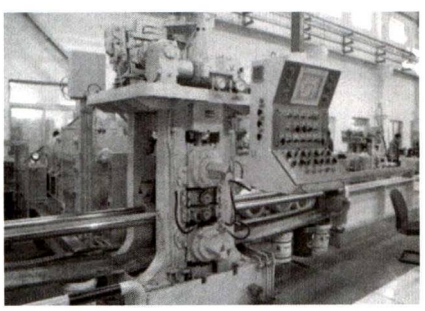

图 1 直拉式四辊可逆式轧机
Fig.1 Four-high cold/warm mill with hydraulic tension

(100~200) mm；支撑辊尺寸为 ϕ (330~350) mm×300 mm;工作辊尺寸为 ϕ(105~150) mm×300 mm;厚度控制方式为 EAPC+HAGC;AGC 液压缸参数为直径 200 mm,行程 50 mm,工作压力 18.5 MPa;主电机功率为 18.5 kW,DC440 V;最大轧制力为 1 200 kN;轧制速度为 0～±0.3 m/s;液压张力范围为 2.5～100.0 kN;温轧加热功率为 150 kW,温轧加热温度为 100~800 ℃。

2 实验结果及讨论

图 2 为皮材 0.4 mm 和 0.8 mm 的铸态组织。可以看出,0.4 mm 的 3003/4343 层状复合板的芯部晶粒比较粗大,且大多为等轴晶粒,这是因为熔融态的铝液在受到皮材强烈的激冷作用而大量形核,形成无方向性的表面细等轴晶组织,也叫激冷晶[5]。其细化程度主要取决于铸轧散热条件所决定的过冷度和凝固区域的宽度，熔体内大量的非均匀形核以及各种游离的晶粒游离[6]。皮材 4343 均匀分布着 α(Al)+Si (共晶)，这也是 4343 铝合金的主要组织成分,其中颜色较深的为共晶硅的析出相,有 1 000 m,分布在整个板材中间,由于铸轧时上下轧辊同时铸轧,冷却速度快,过冷度大,共晶硅还未来得及聚集就被固定在 Al 基体中[7]。

图 3 为不同总压下量下皮材 0.4 mm 的冷轧组织图。可以看出,复合板经冷轧后芯部晶粒有所拉长,沿着轧制方向,晶粒长大较快[8]。当总压下率较小时,复合界面清晰平整,随着总压下率的增大,界面变得不清晰，而且芯部晶粒的晶界随着轧制总压下率的增大而破碎,移动,大压下量下界面处硅颗粒被压碎,拉长,从而更有利于向芯部扩散[9]。因此,压下率增大,硅扩散增多,界面模糊,不平整,但是芯部晶粒拉长。

图 4 为不同总压下量下皮材 0.8 mm 的冷轧组织图。可以看出，经一系列冷轧后界面更加难以辨认,扩散更加充分,以至于皮材黑色的硅颗粒所剩无几。轧制压下率增大,界面基本消失,两种金属几乎“合二为一”,界面结合强度较高,故皮材较厚时,大压下下更有利于复合,也更有利于扩散[10]。

图 5 是界面处各原子所占的质量百分比。可以看出,在距离左端点 5.5 m 处,Al 原子的质量分数骤降至零,Si 原子的质量分数增到最大的 35%以上,而且在 6.5~12.0 m 处的 Si 原子质量分数远远超过 12.0~24.5 m 之间的原子分数[11]。Mn 的质量分数骤

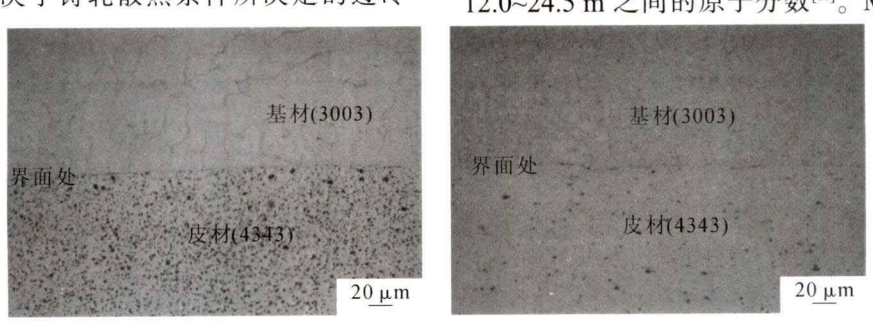

图 2 皮材 0.4 mm(左)和 0.8 mm(右)的铸态组织
Fig.2 As cast microstructure of bimetal composites with surface Layer thickness 0.4 mm and 0.8 mm

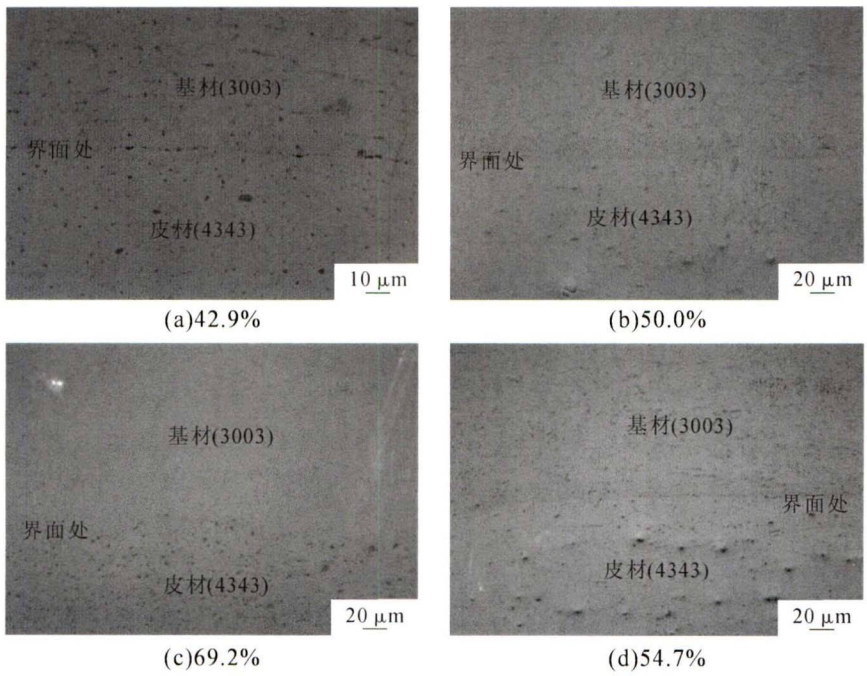

图 3 不同总压下量下皮材 0.4 mm 的冷轧组织

Fig.3 Microstructure of cold rolling bimetal composites with surface Layer thickness 0.4 mm under different total-reduction

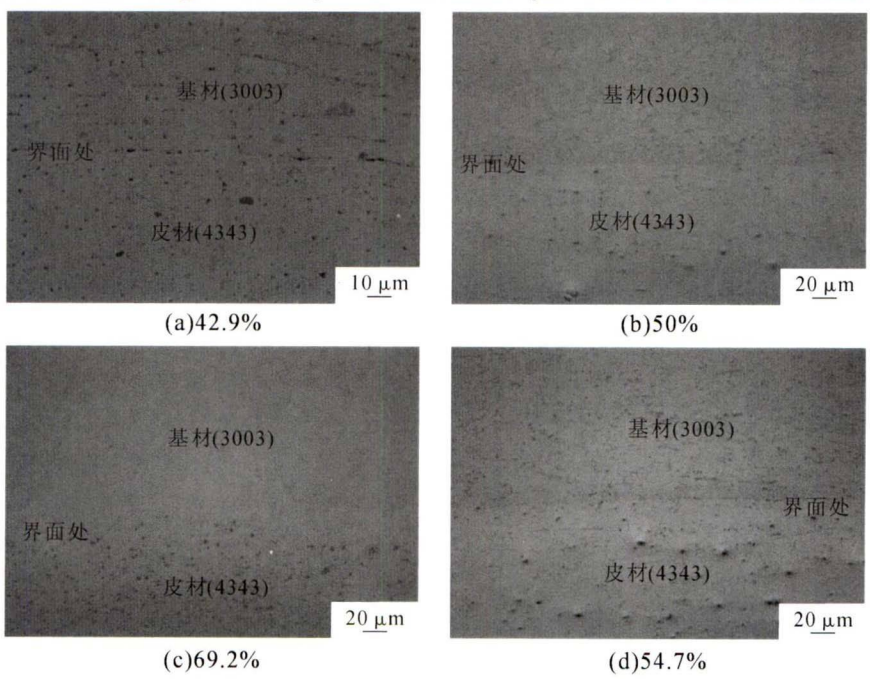

图 4 不同总压下量下皮材 0.8 mm 的冷轧组织

Fig.4 Microstructure of cold rolling bimetal composites with surface Layer thickness 0.8 mm under different total-reduction

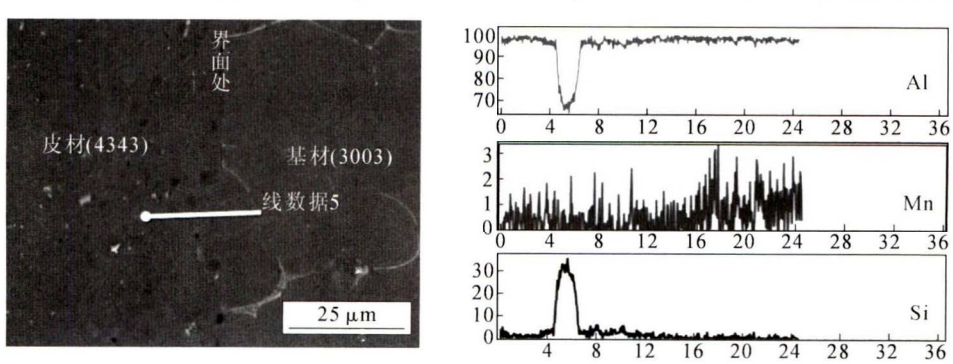

图 5 皮材 0.4 mm 界面附近各主要原子质量百分比

Fig.5 Major atonic mass percentages near the 0.4 mm interface of the skin

降至0.3%后又迅速增加到1%左右，之后不断波动，但总体呈现上升趋势。这说明，在界面处已经聚集了大量的Si原子，并且正在以一定的速度向右侧3003一侧扩散，并且形成了5 m左右的Si原子扩散层。Mn原子在界面处所占的质量分数并不大，芯部3003处Mn原子质量分数远远超过界面处，而且在0.5~5.5 m之间，Mn原子的质量分数相对来说要高于界面，这说明Mn原子也向4343一侧发生扩散，只是此时含量较芯部还比较低而已[12]。

3　结论

(1)铸轧后的4343/3003层状复合板界面模糊，不平整且复合质量不好，存在空隙，缩松等缺陷，经冷轧后界面平整，清晰，结合强的更高，复合效果更好。

(2)在皮材厚度一定时，轧制道次及各道次压下量相差不大的情况下，总压下率越大，芯部晶粒拉长越明显，扩散越充分，界面越清晰，复合效果越好。

(3)在总压下量一定，轧制道次及各道次压下量相差不大的情况下，皮材为0.8 mm时复合更好，扩散相对于皮材为0.4 mm更充分，有一定扩散层且各原子扩散符合规律，适合后续退火之后的叠轧研究。

参考文献：

[1] 屠海令. 有色金属进展 (第七卷)[M]. 长沙：中南工业大学出版社，1995.

[2] 刘晓涛，张庭安，崔建忠. 层状金属复合材料生产工艺及其新进展[J]. 材料导报，2002，16(7)：41-43.

[3] 高作文. 185纯铝单面复合板材的试制研究 [J]. 轻合金加工技术，2001(3)：30-32.

[4] 季晓鹏，庞玉华. 浅析层状复合板轧制新工艺 [J]. 甘肃冶金，2008，30(1)：41-43.

[5] DYIA H, MROZ S, MILENIN A. Theoretical and experimental analysis of therolling processof bimetallic rods Cu-steel and Cu-A1 [J]. Joumal of Materials Processing Technology, 2004，153/154(3): 100-107.

[6] 朱兆华，胡文韬，梁惠东. 不锈钢/铝/不锈钢轧制复合工艺的研究[J]. 铝加工，2002，25(4)：8-13.

[7] 祖国胤，冯仁杰，王宁，等. 不锈钢/3003铝合金蜂窝夹芯板轧制复合工艺[J]. 中国有色金属学报，2005，15(7)：1107-1111.

[8] 马志新，胡捷，李德富，等. 层状金属复合板的研究和生产现状[J]. 稀有金属，2003，27(6)：799-802.

[9] 倪红卫，高娟，唐利民. 不锈钢复合板技术的发展[J]. 特殊钢，2002(3)：1-3.

[10] 王一德，王立新，李国平. 太钢不锈钢复合板生产发展及展望[J]. 中国管理科学，2000.

[11] 张沪，彭星魁. 耐深冲不锈钢/铝/不锈钢复合材料研究[J]. 矿冶工程，1992，12(2)：56-60.

[12] 张恒，张力，王震鸣. 复合材料在民用工业中的应用和发展[J]. 洛阳工学院学报，1994(12)：33-34.

[13] 铃木康文. 复合材料在铁道车辆部门的应用现状与趋势 [J]. 国外机车车辆工艺，1997(1)：55-56.

[14] 李永松，沈怡琳. 不锈钢复合板制作新工艺及市场前景的研究[J]. 广西机械，2001(4)：34-36.

[15] 俞伟元. 铝钎焊接头中Cu元素的扩散行为[J]. 材料科学与工艺，2007，15(3)：383-386.

[16] 甘平亚，庞欣. 汽车热交换器用三层复合铝合金箔材的冷轧复合工艺们. 中国有色金属学报，1996(6)：21-22.

[17] 赵路遇，黄维学. 爆炸不锈钢复合板及其在石化设备上的应用[J]. 材料开发与应用，2000，15(1)：24-29.

[18] 罗春辉，甘卫平. 铝质汽车散热器及其材料 [J]. 轻合金加工技术，1996，24(4)：3-10.

[19] 王祝堂. 汽车热交换器用铝板带箔 [J]. 轻合金加工技术，2005，33(11)：1-8.

[20] 杨志强，孙海安. 汽车铝制热交换器的制造技术及新型铝材的应用[J]. 轻合金及其加工，1999(2)：53-55.

[21] 刘静安. 汽车工业用铝材的开发应用趋势与对策(I)[J]. 铝加工，2002，25(5)：1-6.

[22] 赵海军，刘磊，朱建华，等. 汽车铝制热交换器的研究进展[J]. 焊接技术，2004，33(2)：3-5.

[23] 王宁. 汽车热交换器用复合钎焊铝箔轧制复合实验研究 [D]. 沈阳：东北大学，2005.

[24] 李镇恒，金其坚. 汽车上使用的铝散热器[J]. 轻合金加工技术，1990(12)：36-41.

[25] 张玉奎. 铝钎焊材料[J]. 轻金属熔接，1999，37(9)：31.

[26] 祖国胤，王宁，于九明，等. 复合钎焊铝箔技术在汽车热交换器生产中的应用[J]. 汽车工艺与材料，2003(12)：37-38.

[27] 铃木康文. 复合材料在铁道车辆部门的应用现状与趋势 [J]. 国外机车车辆工艺，1997(l)：3-5.

[28] 段成银. 铝合金钎焊箔材复合轧制规律及工艺优化[D]. 重庆：重庆大学，2007.

[29] 李正华. 复合板的发展方向 [J]. 稀有金属材料与工程，1989(4)：56.

[30] 赵志远. 铝和铝合金牌号与金相图谱速用速查及金相检验技术创新应用指导手册[M]. 中国知识出版社，2005.

[31] 徐丽珠. 退火工艺对3003铝合金的组织及力学性能的影响[D]. 兰州：兰州理工大学，2008.

[32] 李飞庆. 双级均匀化对3104铝合金组织和再结晶行为的影响[D]. 长沙：中南大学，2009.

欢迎到当地邮政局(所)订阅2022年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25元/本　海外定价：25美元/本