

锌/铝轧制复合研究^①

李兴刚 齐克敏 朱 泉

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110006)

摘 要 采用室温轧制复合法实验研究了锌/铝轧制复合时变形率和剥离强度的关系, 通过界面电镜观测, 探讨了锌/铝轧制的复合机理, 同时提出了锌/铝复合板的热处理应选择低温、短时退火制度, 以 200 °C, 20 min 为宜。

关键词 轧制复合 临界变形率 剥离强度

中图法分类号 TG331

近年来, 采用轧制法生产双(多)金属复合板已得到广泛应用, 其产品包括: 钢/铝、铝/不锈钢、铝/铜等复合板。通过大量的实验研究, 人们对其复合规律和机理有了相当的认识, 尤其是对钢/铝复合, 它通过异步轧制^[1]、梯度加热^[2]、惰性气体保护等新工艺, 显著降低了临界变形率, 为大宽度板材工业化生产创造了条件。而对在家电、食品行业有着应用前景的锌/铝复合板, 在氧化膜性质、锌/铝初复合规律和复合机理方面了解还不多。本研究采用室温轧制复合, 通过对锌/铝轧后的剥离试验和界面电镜观测, 对锌/铝轧制复合有了一定的认识。

1 实验方法

采用单片试样进行轧制, 铝板为工业纯铝, 尺寸为 2.0 mm × 50 mm × 400 mm, 锌板为电池生产用锌板, 尺寸为 3.55 mm × 50 mm × 400 mm。试样首先采用四氯化碳清洗表面, 然后送轮式滚刷机将复合表面清刷, 迅速迭合后用铆钉铆接, 送入导位进行轧制。由于锌/铝复合轧制所需压下量较大, 事先将其头部轧成坡形, 以利于咬入, 导卫装置是专门设计制作的, 不需调整, 便可把试样送入轧机。

为避免复合后残余应力及空气对复合试样的影响, 轧后应立即退火, 退火温度为 200, 250 和 350 °C, 退火时间为 10, 20 和 30 min。采用轮式剥离机测定锌/铝结合强度, 剥离后的金属表面采用扫描电镜观测形貌和表面成分分布, 最后将锌/铝复合板制成的试样进行拉伸, 从中选取最佳的热处理制度。

2 实验结果及分析

2.1 锌表面测试结果

前人对轧制复合时的铝金属表面研究很多^[3, 4], 对于锌表面则只知道它在大气中极易形成白色的碱性碳酸盐保护膜 ($ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$)^[5], 清刷后表面与铝相似, 也具有山丘形舌状的波浪区域, 凸起的部位为硬化块, 变形大, 硬化较为严重, 而周围基体金属较软, 与基体金属材料相似。选取不同加热时间和温度及不加热锌试样作拉伸试验, 在扫描电镜下观测拉伸后表面氧化层破裂情况。图 1 (a) 为不加热锌拉伸断裂处的表面形貌照片, 虽然放大倍数已达 1000 倍, 拉伸形成的表面裂纹也甚少见, 说明锌表面氧化层柔韧, 不易破裂; 图 1 (b) 为 200 °C, 20 min 加热后拉伸

① 收稿日期: 1998-05-11; 修回日期: 1998-09-28 李兴刚, 男, 27岁, 博士研究生

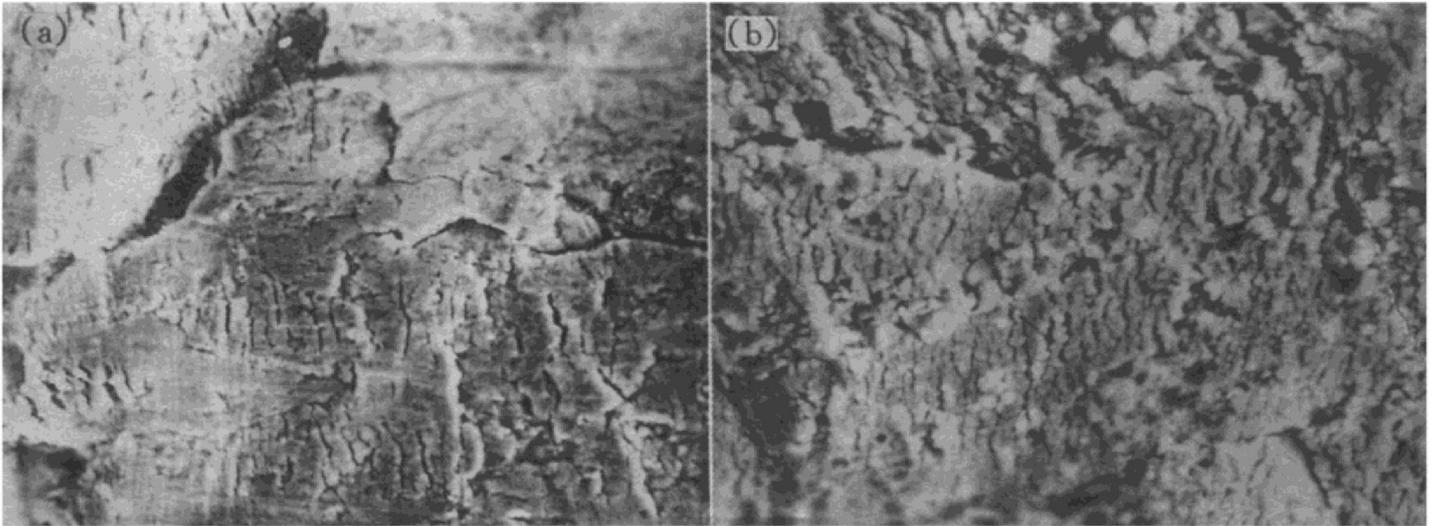


图1 锌拉伸表面形貌像

Fig. 1 Surface morphologies of Zn after tension

(a) —Without heating; (b) —After 200 °C, 20 min heating

断裂处的表面照片, 加热后锌表面氧化层变得较脆, 拉伸时容易开裂, 裂纹较多。

2. 2 复合结果与分析

首先对轧制复合后不经退火的锌/铝试样的初复合强度进行测定。图2示其初复合平均剥离力、最大剥离力与变形率的关系。可见, 锌/铝轧制复合在 $\epsilon = 39.7\%$ 时已出现复合现象, 需用力才能将两金属分开, 但试样在剪切时承受一定的剪切力, 使复合层被错动并导致

分开, 所能测的最低剥离强度在 $\epsilon = 50.2\%$ 。复合强度随变形量增加而增加, 最大剥离力曲线斜率在变形量增大时增大。之后将初复合后的锌/铝复合板进行不同时间、温度的退火, 在空气中冷却至室温, 再测试其剥离力。图3为退火时间与剥离力的关系图, 可见退火后剥离力显著上升, 但随时间延长, 剥离力值下降并最终趋于平缓, 故退火时间采用 10, 20 和 30 min。

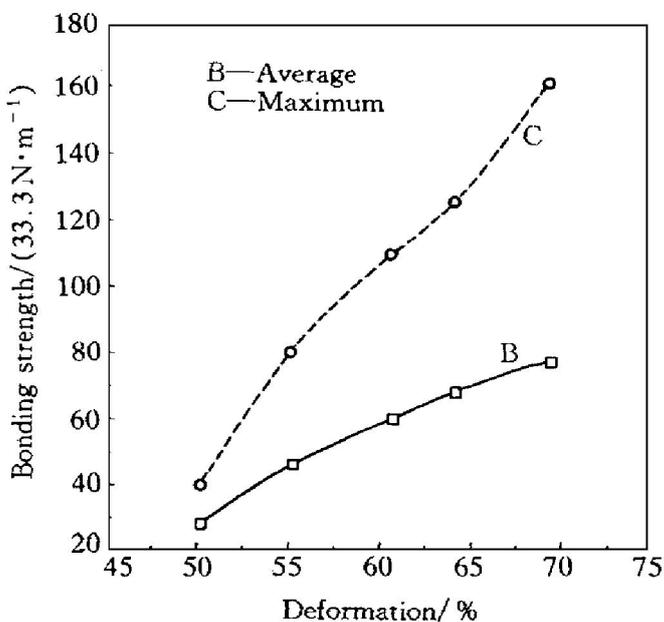


图2 变形率与剥离力的关系图

Fig. 2 Relationship between deformation and bonding strength

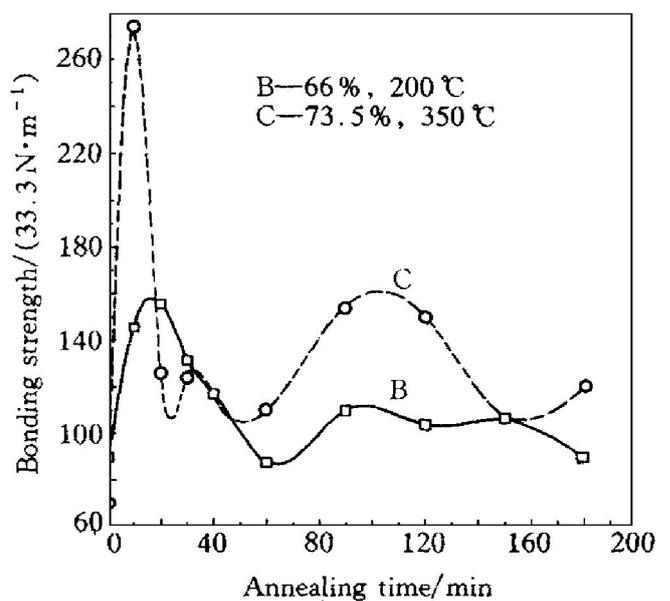


图3 剥离力与退火时间的关系图

Fig. 3 Relationship between bonding strength and annealing time

图4 (a) ~ (c) 为不同温度和时间下剥离力与变形率关系图, 可见剥离力随压下率增大而增大, 且退火后结合强度均大幅度提高。200 °C退火后, 当 $\epsilon > 71\%$ 时, 其剥离力均大于 6. 67 kN/m, 试样剥离困难; 当 $\epsilon = 73\%$, 退火 20 min 后, 最大剥离力大于 11. 67 kN/m, 此时铝经常被拉断, 可认为锌/ 铝复合达到基体强度。随着退火温度上升, 剥离力并没有升高, 这是由于锌随着退火温度升高, 再结晶机制充分发挥作用, 剥离时粘合处锌的强度值降

低, 被拉断而影响剥离强度。

2. 3 复合机理的研究

一般认为轧制复合有两种机制^[6- 10]。对于钢/ 铝, 其复合是由于金属表面硬化层破裂, 新鲜金属通过裂口挤出而形成粘合点; 而铜/ 钢则是由于表面氧化层和污染层在轧制过程中延伸、变薄而被擦破, 从而形成金属粘合点^[1]。锌/ 铝复合与铜/ 钢复合时情况相似, 基本上属于第二种机制。图5 为锌/ 铝复合轧制后剥离金属表面的SEM像, 图5 (a) 为剥离后

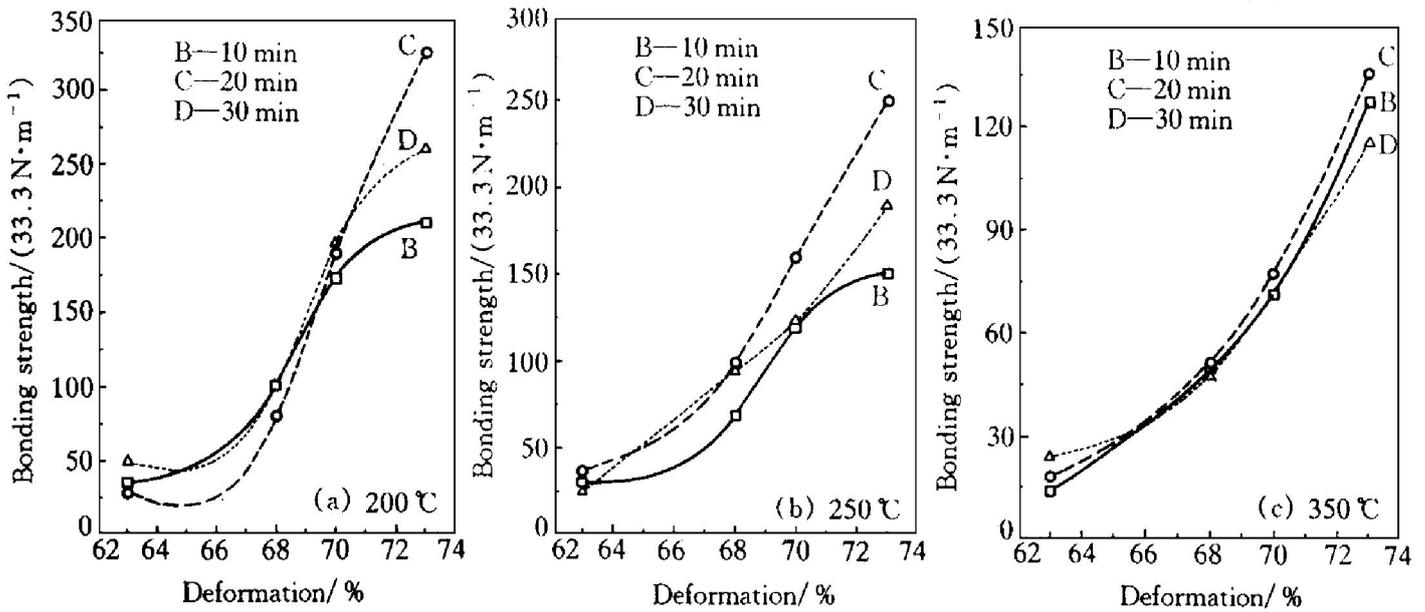


图4 不同退火温度下剥离强度与变形量关系图

Fig. 4 Relationship between bonding strength and deformation at different temperatures

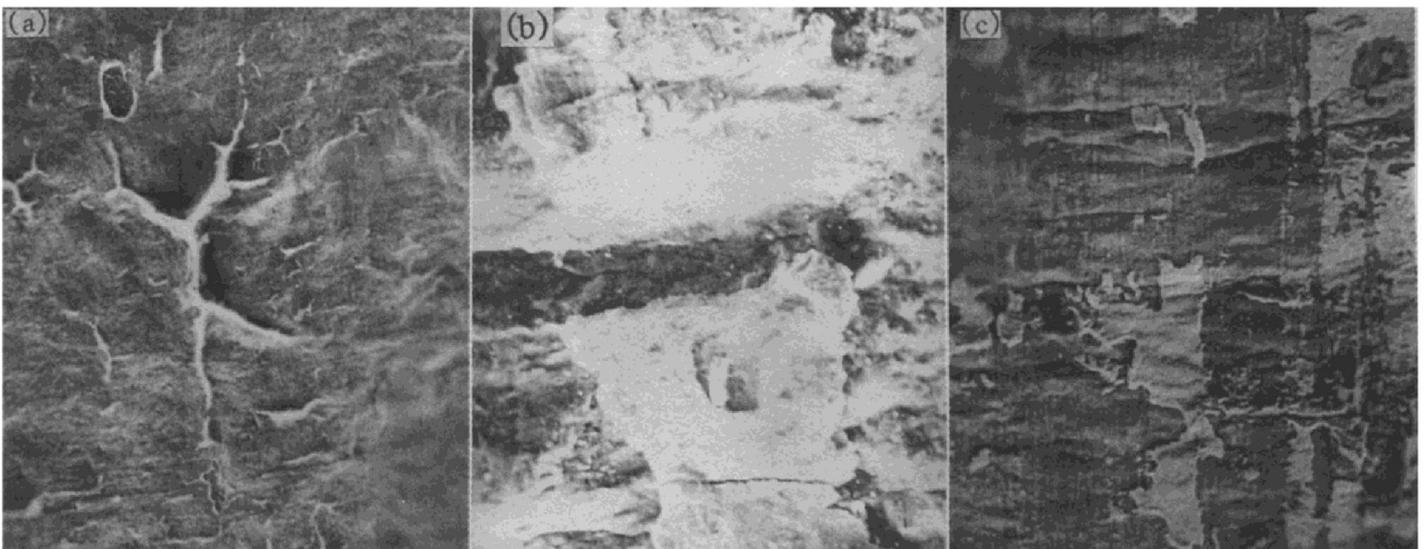


图5 剥离表面形貌像: (a) 锌基体; (b) 铝基体; (c) 350 °C, 10 min 退火后铝基体

Fig. 5 Morphology of bonding surface: (a) Zn, (b) Al and (c) Al after 350 °C, 10 min annealing

锌基体形貌像, 凸起部分为铝; 图 5 (b) 为剥离面铝基体形貌像, 铝表面有宽大的裂口。在轧制过程中, 铝产生裂口, 新鲜铝金属与锌表面的污染层和氧化层相接触而形成稀疏的粘点, 结合强度低; 图 5 (c) 为 350 °C, 10 min 退火后铝基体的形貌像。除裂口结合处外, 铝基体上粘有大量的锌, 大量呈块状的锌被撕裂下来, 剥离时表现为结合强度显著上升。这归因于退火提高了金属原子能量, 金属氧化层和污染层变薄, 金属原子能够克服界面阻碍产生互扩散, 从而形成牢固的冶金结合。

2. 4 拉伸实验结果与分析

表 1 列出了锌/铝复合板拉伸试样在 200 和 350 °C 下退火不同时间后的拉伸性能值。随保温时间延长, 屈服强度值下降, 且下降趋势渐缓, 趋于平稳。在 200 °C 退火时, 前 40 min 内, δ 值随保温时间延长而升高, 60~90 min

表 1 不同退火条件下锌/铝复合板的拉伸性能

Table 1 Tensile properties of Zn-Al clad plate under different annealing conditions

$\varepsilon = 66\%$			
Sample No.	σ / MPa	$\delta / \%$	Heat treatment
81	93.08	12.30	200 °C, 10 min
82	91.83	22.82	200 °C, 20 min
83	90.20	25.02	200 °C, 30 min
84	86.50	28.40	200 °C, 40 min
85	84.20	22.61	200 °C, 60 min
86	84.50	23.87	200 °C, 90 min
87	83.50	24.02	200 °C, 120 min
88	83.80	27.01	200 °C, 150 min
$\varepsilon = 73.5\%$			
Sample No.	σ / MPa	$\delta / \%$	Heat treatment
91	73.40	20.30	350 °C, 10 min
92	62.90	21.08	350 °C, 20 min
93	60.22	12.94	350 °C, 30 min
94	45.50	8.35	350 °C, 40 min
95	46.10	14.15	350 °C, 60 min
96	46.45	20.78	350 °C, 90 min
97	45.91	18.87	350 °C, 120 min
98	46.64	12.89	350 °C, 150 min

后有所下降, 在 120~150 min 上升; 350 °C 退火时, 前 20 min δ 值随保温时间延长而升高, 此后下降, 90 min 时又达到第二个峰值。这一现象可由复合板性能的混合法则解释^[11, 12], 第一个峰值由锌在退火后的性能改善引起, 而第二个峰值由铝再结晶形成。参照前面的结果, 选取 200 °C, 20 min 作为锌/铝复合板的退火制度, 此时屈服强度 σ 值较高, 达 91.83 MPa, 延伸率也较大, 达 $\delta = 22.8\%$ 。

3 结论

(1) 锌/铝轧制复合的粘合是由于铝金属在较高的压下率下形成裂口, 新鲜铝金属与锌表面的氧化层、污染层结合形成稀疏的粘点, 结合强度不高。

(2) 退火后的锌/铝复合强度显著提高是由于界面氧化层、污染层变薄, 在高温作用下形成大面积的冶金结合。

(3) 锌/铝复合板宜采用低温短时退火制度, 退火温度宜选择 200 °C, 时间宜选择 20 min。

REFERENCES

- Zhu Quan (朱泉), Pan Dawei (潘大炜) and Zhang Wenqi (张文奇). Steel Rolling (轧钢), 1989, (4): 19.
- Cai Qianhua (蔡千华) transl. Kobe Steel Engineering Report (神户制钢技报), 1986, 36 (3): 64.
- Bay N. Metal Const, 1986, 18 (10): 625.
- Siegel S. J Metals, 1950, 2 (7): 917.
- Metallographic Laboratory of Northeastern University of Technology (东北工学院金相教研室). Nonferrous Alloys and Heat Treatments (有色合金及其热处理). Beijing: China Industry Press, 1961: 67.
- Cantalejos N A and Cusminsky G. J Inst Metals, 1972, 100: 20.
- Vardyanath L R and Milner D R. Brit Weld J, 1960, 7: 513.
- Ciupik Lechoslaw F. Advanced Tech Plasticity,

- 1984, 1: 133.
- 9 Hardwick R. *Metals and Materials*, 1987, 3 (10): 586.
- 10 Wladyslaw, Wlosinslei. *Metals and Materials*, 1988, 4 (10): 268.
- 11 Jiang Xiuzhi (蒋修治). *Oversea Metal Processing (国外金属加工)*, 1991, (2): 15.
- 12 Zhao Yingfu (赵应富) and Li Weigeng (李维庚). *Chinese J Nonferrous Metals (中国有色金属学报)*, 1997, 7 (2): 119.

COLD ROLLING OF Zn-Al CLAD MATERIAL

Li Xinggang, Qi Kemin and Zhu Quan

School of Materials and Metallurgy,

Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China

ABSTRACT Characteristic bonding of Al/Zn sheets by cold rolling was studied. With the given data and SEM photographs, the following conclusions were obtained: During the process of rolling, virgin aluminum extrudes through cracks, and bonds are formed with oxidized and contaminated surfaces of Zn; to obtain good bonding strength, heat treatment of Zn/Al clad materials should be at a low temperature for a short time, especially at 200 °C for 20 min.

Key words clad rolling critical deformation bonding strength

(编辑 彭超群)