

三层复合铝合金带材热轧复合包覆率的计算^①

甘卫平 韦家弘
(中南工业大学材料系, 长沙 410083)

肖亚庆 周 江
(东北轻合金加工厂, 哈尔滨 150060)

摘 要 三层复合铝合金带材是以铝锰系合金为芯材、双面包覆铝硅系钎料合金的多层复合材料, 是制造管带钎焊式热交换器的重要材料之一, 在实际钎焊过程中对钎料层的包覆率有严格要求。分析了影响三层复合铝合金带材热轧复合时包覆率的变化因素, 结合生产工艺要求, 提出了热轧复合包覆率的数学模型, 为实际生产中包覆率的控制提供了依据。

关键词 包覆率 热轧复合 铝合金

中图法分类号 TG335.8

以 $Al-Mn-X$ 系合金为芯材、双面包覆 $Al-Si-X$ 系钎料合金的三层复合铝合金带材, 不仅具有芯材合金良好的加工性能和耐腐蚀性能, 且由皮材在热交换器钎焊过程中直接提供钎料, 简化了钎焊工艺、降低了生产成本、操作方便, 从而广泛地应用在各种汽车热交换器领域之中, 是制造管带钎焊式热交换器的重要材料之一^[1-3]。 $Al-Si-X$ 系合金在室温下塑性较差, 所以热轧复合法是目前生产三层复合铝合金带材的成熟工艺, 它利用热轧机的强大轧制压力将芯、皮材待复合表面的氧化膜、污染膜等破碎, 使之裸露出新鲜表面, 在一定的复合条件下, 实现芯、皮材界面的复合。

三层复合铝合金带材在实际钎焊过程中对钎料层的包覆率有严格要求。包覆率是指单面钎料包覆层厚度占总厚的百分比。当包覆率较小时, 钎焊时钎料供应不足, 造成虚焊或假焊, 导致钎焊质量差, 引起产品报废; 包覆率较大时, 钎焊中的熔融钎料流动过快, 降低了复合箔在高温下的抗下垂性能, 是引发热交换器在钎焊时复合箔发生坍塌现象的原因之一, 在生产中时有发生, 如图1所示^[4, 5]。所以包覆率的大小对复合箔的综合性能有直接的影响。因此, 国内外的有关标准均对钎焊料的包

覆率作了严格的规定^[6], 并且要求在满足复合箔钎焊性能的前提下, 包覆率的波动范围应控制在 $\pm 2\%$ 之内。在生产中热轧复合过程是影响包覆率变化的主要环节, 研究热轧复合过程中的包覆率变化规律, 建立精确实用的热轧包覆率变化数学模型, 在生产中对于包覆率的有效控制有着重要的指导意义。

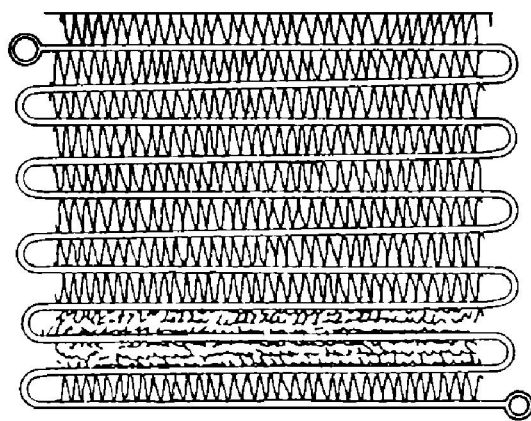


图1 高温钎焊时复合箔坍塌现象示意图

Fig. 1 Schematic figure of collapsed fin material during brazing process

1 实验研究

实验所用复合带材的芯材为 A3003, 皮材

① 收稿日期: 1996-12-31; 修回日期: 1998-01-18 甘卫平, 男, 43岁, 教授

为 A4045；轧机为二辊轧机，其主电机为三相交流电机，功率 20kW，轧辊半径 115mm。芯、皮材合金铸锭分别经均匀化退火和热轧开坯后，于复合前进行预配对及表面处理，再经电阻炉加热进行热轧复合。

2 结果与讨论

2.1 包覆率的影响因素

复合带材包覆率在轧制过程中受许多因素的影响，这些因素可以分成两大类，第一类属于芯、皮材本身性能的影响因素，包括芯、皮材的化学成分、抗力配比以及热力学条件，即轧制温度、轧制速度和压下率等。第二类属于轧制过程条件状态影响因素，包括轧制时芯材与皮材的复合前包覆率、轧辊及轧件的几何尺寸、润滑条件等。

这些因素又互相作用，互为影响，使包覆率问题在实际生产中变得相当复杂。考虑到上述主要因素，包覆率的变化可以用下面的函数式表示：

$$\Psi = F(\Psi_0, T, \varepsilon, R, H, f, \varepsilon, \sigma_0, C)$$

(1)

式中 Ψ 为热轧复合后包覆率， Ψ_0 为热轧复合前预配对包覆率， $T, \varepsilon, \varepsilon$ 分别为轧制温度、压下率、变形速度， f 为摩擦系数， R, H 分别为轧辊半径及轧件初始厚度， σ_0, C 分别为芯、皮材的抗力配比和化学成分。

2.2 包覆率变化规律^[7-10]

热轧复合时，轧制区内的塑性变形行为十分复杂，热轧复合的特点就是存在复合过渡区域。由于芯、皮材的变形抗力不同，在未复合区内，芯、皮材处于各自极不均匀的自由变形状态，是包覆率发生变化的主要区域。所以复合板轧制后的包覆率一定发生变化。

在实际的热轧复合生产中，工艺的主要控制参数为轧前预配对包覆率、压下率和轧制温度。采用简洁的多元线性函数式，建立包覆率与主要生产工艺参数的关系，采集实测数据，进行数学回归处理，得到既满足工程计算精

度，又便于在线控制、简单实用的包覆率计算模型，已被实践证明是一种行之有效的方法。表 1 是实测芯、皮材在不同预包覆率和不同热轧复合工艺下的包覆率变化数据。

表 1 热轧复合包覆率的数据
Table 1 Data of clad ratio after hot rolling

No.	Pre clad ratio/ %	Reduction / %	Shape coefficient of rolling	Rolling temperature / °C	Measured clad ratio
1	14.50	18.00	1.75	400	bonding failed
2	14.10	46.20	3.34	400	15.52
3	16.41	20.12	1.86	440	bond failed
4	14.77	42.02	3.07	440	16.12
5	18.14	22.32	1.99	480	bond failed
6	13.64	33.11	2.55	480	15.12
7	16.00	41.56	3.08	400	16.97
8	16.10	45.85	3.29	440	18.69
9	15.85	28.55	2.37	480	17.14
10	18.00	34.80	2.69	400	19.38
11	17.82	26.70	2.28	440	18.80
12	18.45	47.24	3.38	480	20.55
13	19.65	25.77	2.22	400	20.62
14	19.88	36.38	2.75	440	21.55
15	19.78	39.73	2.98	480	21.75

式(2)是本文建立的包覆率数学模型：

$$\Psi = A \cdot X_1 + B \cdot X_2 + C \cdot \ln((t + 273)/273) + D$$

(2)

式中 Ψ 为热轧复合后包覆率(%)， $A、B、C$ 为系数， t 为轧制温度(°C)， X_1 为热轧复合前预配对包覆率(%)， X_2 为轧制时轧制区的几何形状系数：

$$X_2 = 2 \sqrt{R \cdot \varepsilon / H} / (2 - \varepsilon)$$

经过计算机回归处理，得到如下结果：

$$\Psi = 1.057 \cdot X_1 + 0.817 \cdot X_2 + 4.816 \cdot \ln((t + 273)/273) - 6.393$$

(3)
 $R_c = 0.99, V(X_1) = 0.99$
 $V(X_2) = 0.99, V(T) = 0.99$

其中 R_c 为复相关系数， V 为自变量 X_1, X_2, T 的偏相关系数，其值都接近于 1。说明影响因素 X_1, X_2, T 对 Ψ 的作用显著，拟合出的方程相关性较高，能够反应包覆率变化的客观规

表2 热轧复合包覆率的计算值和实测值的比较

Table 2 Calculated value of clad ratio contrast to the measured value

No.	Pre-clad ratio/ %	Reduction / %	Rolling temperature/ °C	Shape coefficient of rolling	Clad ratio after bonding	
					Measured	Calculated
1	15.50	25.10	520	2.14	bond failed	—
2	14.25	26.83	520	2.25	16.10	16.97
3	16.16	33.74	520	2.65	18.54	17.99
4	17.90	38.65	520	2.92	19.62	20.05
5	19.80	44.20	520	3.24	23.83	22.32
6	15.32	38.20	400	2.83	17.10	16.46
7	18.86	30.58	420	2.48	20.57	20.06
8	20.12	28.20	440	2.38	22.36	21.44
9	14.38	40.53	480	2.99	17.87	16.14

律。任选一组轧制复合试样, 根据式(2)所得计算值和实测值的对比见表2。

综合表1, 2可知:

(1) 表1的1, 3, 5试样说明, 一定的温度下, 较小的压下率不足实现界面的复合; 存在一定的临界压下率时, 芯、皮材结合面的致密氧化膜才能在足够的轧制力作用下发生破碎, 裸露出足够的新鲜表面形成复合界面。所以压下率是关系到能否复合和复合效果的重要因素之一。

(2) 复合前包覆率对热轧复合后包覆率的作用较明显, 随着初始包覆率的增加, 皮材所占的比例上升, 即硬层金属所占的比例上升, 芯、皮材在未复合区的塑性变形不均匀性也呈增加趋势, 造成复合后包覆率的增加。温度对包覆率的影响与复合压下率密切相关, 温度的升高使结合界面氧化膜层增厚, 表1设计的正交实验因温度的影响进行了调整, 复合压下率随之增加, 软层芯材变形程度增加, 从而使包覆率相应地增加。

(3) 从表2看出包覆率的计算值与实测值能很好吻合, 且包覆率的波动范围能控制在 $\pm 2\%$ 之内。

5 结论

(1) 热轧包覆率数学模型能反映热轧复合包覆率变化的客观规律, 以及预配比包覆率、

压下率和轧制温度等工艺因素对复合后包覆率的综合影响程度。

(2) 包覆率的计算值和实测值能较好地吻合, 且包覆率的波动范围能有效地控制在 $\pm 2\%$ 之内, 能满足热轧复合轧制时包覆率的控制要求, 为实际生产过程中包覆率的控制提供了计算依据。

REFERENCES

- Chi Tianyang, Zheng Lumeifang and Sumitomo. Light Metal Technical Reports, 1994: 35(1/2): 43.
- Pen Zhihui(彭志辉), Luo Chunhui(罗春辉) and Gan Weiping(甘卫平). Journal of Central-South Institute of Mining and Metallurgy, 1994, 25(3): 333.
- Luo Chunhui(罗春辉), Gan Weiping(甘卫平) and Xiao Yaqing(肖亚庆). Light Alloy Fabrication Technology. 1996: 24(4): 3.
- JP 63-72857.
- Low Temperature Joining Committee. Journal of Light Metal Welding & Construction, 1989, 27(9): 401.
- JISZ3263-92.
- Fang Guanfu(方冠富). Jiangsu Metallurgy, 1990, (5): 5.
- Huang Y M *et al.* Advanced Technology of Plasticity, 1993.
- Gan Weiping(甘卫平), Pang Xin(庞欣) and Luo Chunhui(罗春辉). The Chinese Journal of Nonfer-

- rous Metals, 1996, 6(2): 78.
- 10 Zhou Wenbiao(周文标) and Zou Zhenchu(邹振楚). Shanghai Nonferrous Metals, 1995, 16(2): 87.

CALCULATION OF CLAD RATIO OF ALUMINUM ALLOY BRAZING SHEET MADE BY HOT ROLLING

Gan Weiping and Wei Jiahong

Department of Material Science and Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China

Xiao Yaqing and Zhou Jiang

Northeastern Light Alloy Fabrication Plant, Harbin 150060, P. R. China

ABSTRACT The sandwich aluminum alloy sheet is an important material for heat exchangers of automobile. The sheet comprises a core of Al-Mn alloy and clads of Al-Si alloy on both sides. In order to obtain a good brazeability the clad ratio of about 10% is needed, below or above this value may result in unqualified products. The effect of properties of the alloy and rolling parameters on the clad ratio was analyzed, and a model to calculate the clad ratio after hot rolling was put forward. According to this model, the clad ratio can be monitored in the production process.

Key words clad ratio hot roll bonding aluminum alloy

(编辑 朱忠国)