

АНАЛИЗ УСЛОВИЯ ДОСТИЖЕНИЯ АДГЕЗИИ МЕЖДУ СЛОЯМИ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ПРОКАТКОЙ

Н.В. Селивончик, Ю.Л. Бобарикин

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь*

Процесс нанесения на металлическую основу металлического слоя покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным, вследствие высокой производительности и малой энергоемкости. Проблемы надежности соединения между слоем покрытия и основой достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала.

Целью исследований являлось получение условия достижения адгезии между слоями, как основного критерия качества соединения.

Методика исследований состояла в теоретическом определении аналитического условия достижения адгезии между слоями, и в его экспериментальном подтверждении на процессе плакирования прокаткой стали 08кп покрытием из алюминиевого порошка ПАВЧ-1.

В результате исследований получены аналитические зависимости для параметров, входящих в условие достижения адгезии между слоями:

$$t_d \geq t_a \geq t_p,$$

где t_d – время совместной пластической деформации или время перемещения контактных точек через зону деформации в процессе плакирования, с; t_a – время активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с; t_p – время релаксации остаточных напряжений в более деформируемом покрытии, с.

Время совместной пластической деформации определяется по зависимости:

$$t_d = \frac{l_d}{g_n}, \text{ где } l_d \text{ – длина очага деформации, м; } g_n \text{ – скорость процесса дефор-}$$

мирования металла, м/с.

Если предположить, что активным центром при схватывании является дислокация с полем напряжения, то для определения времени активации используется следующая зависимость:

$$t_a = \frac{L \cdot b}{\dot{\epsilon} \cdot S}, \text{ где } L \text{ – путь движения дислокации до барьера, м; } b \text{ – модуль вектора}$$

Бюргерса для материала менее пластичной основы, м; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации металла в зоне соединения, 1/с; S – изменение площади активного центра в месте выхода дислокаций к зоне соединения, м².

Время релаксации определяется зависимостью:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{k \cdot T}\right), \text{ где } t_0 \text{ период собственных колебаний атомов около равноос-}$$

ного положения, $t_0 = 10^{-13}$ с; k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к; T – температура в очаге деформации, К; U – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений, которая определяется как энергия активации самодиффузии по границам зерен при для процессов, протекающих при $T > 0,5T_{nl}$ и как энергия термически активируемых процессов (поперечное скольжение, пересечение дислокаций, трение в решетке, обусловленное силами Пайерлса) для процессов, протекающих при $T \leq 0,5T_{nl}$.

Величины параметров, входящих в зависимости для t_p, t_a определяются по нижеприведенным формулам:

$$S = \pi \cdot r^2, \quad r^2 = \frac{1}{4\rho_\partial}, \quad \dot{\epsilon} = \frac{\gamma_i}{\sqrt{3} \cdot t_\partial}, \quad L = \rho_\partial^{-\frac{1}{2}}, \quad \rho_\partial = \frac{\gamma_i}{b \cdot t_\partial \cdot \mathcal{G}_{3g} \cdot \exp\left(-\frac{A}{kT}\right)},$$

где r – радиус активного центра, м; ρ_∂ – плотность дислокаций на поверхности металлической основы в зоне соединения с порошковым слоем, $1/\text{м}^2$; γ_i – интенсивность поверхностной сдвиговой деформации основы, определяемая для процессов плакирования исходя из геометрических перемещений контактных точек на поверхности основы; b – вектор Бюргерса материала основы, м; $\mathcal{G}_{3g} = 5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ – средняя скорость звука в материале основы; A – свободная энергия образования перегибов дислокаций, Дж, которая является постоянной величиной для определенного материала.

Величина T определяется как сумма температуры начального нагрева материала T_0 и температуры, выделяемой в процессе пластической деформации металла по зависимости:

$$T = T_0 + \frac{(A_T + A_{II})\gamma_i}{2c\rho V + c_1\rho_1 t_\partial \mathcal{G}_n S_k + c_2\rho_2 t_\partial S_k^1 + c\rho t_\partial S_k^{11}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}},$$

где T_0 – начальная температура, К; A_T – работа сил контактного трения, Дж; A_{II} – работа пластической деформации, Дж; c – удельная теплоемкость материала основы Дж/(кг К); ρ – плотность материала основы, кг/м³; c_1, ρ_1 – соответственно, удельная теплоемкость и плотность воздуха; S_k – площадь контакта очага деформации с воздухом, м²; S_k^1 – площадь контакта очага деформации с инструментом, м²; c_2, ρ_2 – соответственно, удельная теплоемкость и плотность материала инструмента; S_k^{11} – площадь контакта очага деформации с недеформируемой частью заготовки, м²; V – объем очага деформации, м³.

На основе анализа условия достижения адгезии между слоями сделан вывод, что для используемых материалов для выполнения данного условия можно изменять следующие технологические параметры процесса: температуру, скорость процесса деформирования, степень деформации, геометрию очага деформации.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность практического использования полученных аналитических зависимостей.