

УДК 621.762

АНАЛИЗ УСЛОВИЯ СХВАТЫВАНИЯ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ОБРАТНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Н.В. ИНОЗЕМЦЕВА., М.И. ЛИСКОВИЧ

Учреждение образования
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О.Сухого»
Гомель, Беларусь

Процесс нанесения на металлическую основу 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 схватывания между слоями, как основного критерия качества соединения.

В результате исследований получены аналитические зависимости для параметров, входящих в условие схватывания [1]:

$$t_{\partial} \geq t_a \geq t_p,$$

где t_{∂} – длительность совместной пластической деформации, с; t_a – длительность активации поверхности менее деформируемой основы в зоне соединения, с; t_p – длительность релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Длительность совместной пластической деформации определяется по зависимости [1]:

$$t_{\partial} = l_{\partial} / v_n,$$

где l_{∂} – длина очага деформации, м; v_n – скорость процесса деформирования металла, м/с;

Если предположить, что активным центром при схватывании является дислокация с полем напряжения для определения длительности активации используется следующая зависимость [1]:

$$t_a = Lb / \dot{\epsilon} S,$$

где L – путь движения дислокации до барьера м; b – 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.

Длительность релаксации определяется зависимостью [1]:



$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{kT}\right),$$

где t_0 – период собственных колебаний атомов около равновесного положения, $t_0 = 10^{-13}$ с; R – универсальная газовая постоянная; T – температура в зоне деформации, К; U – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии, которая определяется для процессов, протекающих при $T \leq 0,5T_{nl}$ как энергия термически активируемых процессов, а для процессов при $T > 0,5T_{nl}$ как энергия активации самодиффузии [2].

Плотность дислокаций в зоне контакта ρ_∂ , которая необходима при расчете параметров S , L определяется по расчетной зависимости [1,3]:

$$\rho_\partial = \frac{\nu_n \cdot \gamma_{max} \cdot (\gamma_{max} + 2)}{2 \cdot l_\partial \cdot (\gamma_{max} + 1) \cdot b \cdot \nu_{зв} \exp\left(-\frac{A}{k \cdot T}\right)}, \text{ м}^{-2},$$

где l_∂ – длина очага деформации, м; ν_n – скорость процесса деформирования, $\text{м}/\text{с}$; γ_{max} – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, равная $\gamma_{max} \approx \gamma_i$; γ_i – интенсивность поверхностной сдвиговой деформации основы [3]; $\nu_{зв}$ – скорость звука в материале, где движутся дислокации; k – постоянная Больцмана; A – свободная энергия образования перегибов дислокаций для материала основы, Дж [4].

Деформационное тепловыделение учитывается только в металлической основе, так как объем металлической основы в очаге совместной деформации составляет от 97,5 до 99,5 %. На основании этих предположений была получена расчетная формула для данной температуры в зоне деформации [1, 3]:

$$T = T_0 + \frac{t_\partial \cdot (A_T + A_n) \cdot \dot{\epsilon}}{\pi d \left(c_0 \rho_0 h_\partial \left(1 + t_\partial \nu_n - \frac{2h_\partial}{3d} \right) + c_2 \rho_2 t_\partial \frac{d}{4} \nu_n \right)},$$

где A_T – работа сил контактного трения, Дж; A_n – работа пластической деформации, Дж; c_0 – удельная теплоемкость материала основы $\text{Дж}/(\text{кг К})$; ρ_0 – плотность материала основы, $\text{кг}/\text{м}^3$; T_0 – начальная температура в зоне деформации, К; h_∂ – высота пластически деформируемой зоны при обратном выдавливании, находящаяся под торцом пуансона, м; c_2, ρ_2 – соответственно удельная теплоемкость и плотность материала инструмента.

В результате анализа было определено, что условие схватывания выполнимо посредством назначения определенных величин скорости процесса деформирования, степени деформации, температуры нагрева зоны соединения, геометрического параметра очага деформации. Предполагается



определять необходимые режимы деформации по установленным зависимостям, а свойства материалов учитывать через энергию активации процесса, контролирующего релаксацию напряжений в покрытии и свободную энергию образования перегибов дислокаций для материала покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Селивончик, Н. В.** Разработка критерия получения соединения покрытия с основой при плакировании обратным выдавливанием / Н. В. Селивончик, Ю. Л. Бобарикин // *Материалы, технологии, инструменты.* – 2002. – Т.7 – №3. – С.33-37.
2. **Гарафало, Ф.** Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов : пер. с англ. / Ф. Гарафало. – М. : *Металлургия*, 1968. – 304 с.
3. **Бобарикин, Ю. Л.** Определение интенсивности сдвиговой деформации и температуры в очаге деформации при плакировании обратным выдавливанием / Ю. Л. Бобарикин, В. Ф. Буренков, Н. В. Иноземцева // *Материалы, технологии, инструменты.* – 2006. – Т.11. – №2. – С.39–43.
4. **Хирт, Дж.** Теория дислокаций : пер. с англ. / Дж. Хирт, И. Лоте ; под ред. Э. М. Надгорного, Ю.А. Осипьяна. – М. : *Атомиздат*, 1972. – 600 с.

