

роды позволяют получать на основе ПЭФ материалы и покрытия с высоким уровнем свойств. По уровню свойств покрытия из ПЭФ не уступают широко распространенным покрытиям на основе порошковых полиэфирных красок терморезистивного типа, а в ряде случаев превосходят их по технологичности, поскольку требуют меньших времен формирования при одинаковых температурах.

Литература

1. Белый В. А., Довгяло В. А., Юркевич О. Р. Полимерные покрытия. Минск: Наука и техника, 1976. – 416 с.
2. Чан Дей Хан Реология в процессах переработки полимеров / Под ред. Г.В. Виноградова и М.Л. Фридмана //М.: Химия. – 1979. – 368 с.
3. Энциклопедия полимеров / М.: Советская энциклопедия, – т.1, 1972. – 1224 с.
4. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Свойства и переработка термопластов / Ленинград: Химия. – 1983. – 288 с.
5. Теплофизические и реологические характеристики полимеров / Под ред. Ю. С. Липатова. – Киев: Наукова думка. – 1977. – 244 с.
6. Иноземцева Е. В., Пашинская В. А., Юркевич О. Р. Пленкообразующие свойства расплавов низкоплавких термопластичных полиэфиров // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2009. – Т. 14, № 4. – С.43-47.
7. Довгяло В. А., Юркевич О. Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы. Минск: Наука и техника, 1992. – 256 с.

Н. О. Магомедов

(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **Н. В. Иноземцева**, канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ОТ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ

Процесс нанесения на металлическую основу металлического слоя покрытия путем совместной пластической деформации основы и плакирующего материала является достаточно перспективным вслед-

ствие 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. Качество соединения между плакирующим и плакируемым материалом в значительной степени зависит от температуры в процессе их соединения пластической деформацией. Поэтому анализ величины тепловыделения от пластической деформации в зоне соединения при плакировании требует специального изучения. Это особенно актуально в случаях осуществления плакирования без дополнительного нагрева обрабатываемых материалов.

Следует отметить, что энергия, расходуемая на процесс плакирования и передаваемая от рабочих инструментов на совместно пластически деформируемые металлы, т.е., расходуемая на пластическую деформацию, перераспределяется на несколько энергий: на фрикционное тепловыделение, деформационное тепловыделение и на увеличение энергии упругой деформации.

Таким образом, часть любой механической энергии деформации превращается в теплоту. И это превращение по теории К. А. Кочергина [1] физически определяется сдвигами относительно друг друга элементарных кристаллов, зерен (кристаллитов), макроскопических объемов металла. Согласно его теории, сдвиг металла в целом подчиняется макромасштабным измерениям и поэтому может оцениваться величиной температуры

$$T_{сдв} = \frac{1}{2 \cdot \gamma \cdot c \cdot t_{сдв} / (\eta \cdot \varepsilon^2) + 1/T_{пл}}; \quad (1)$$

где $t_{сдв}$ – время межзеренного сдвига; γc – энтальпия металла; ε – относительная деформация (0,5–0,7); η – динамическая вязкость; $\eta = \eta_0 \left(1 - \frac{T}{T_{пл}}\right)$; где η_0 – удельная динамическая вязкость.

Эта формула используется, если речь идет о некоторых объемах металла или о контактных плоскостях, где нагретые слои по толщине много больше, чем размеры элементарных кристаллов. Если же рассматривается чисто плоскостной сдвиг, то

$$T_{\Delta} = \frac{1}{6 \cdot k \cdot n \cdot t_{сдв} / \eta_c + (1/T_{пл})}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; n – число атомов в 1см^3 .

Эта формула позволяет оценить значение той мгновенной вспышки температуры в плоскости контакта, при которой и происходит схватывание металлов. Недостатками формул (1)–(2) является то, что величина температуры в контакте поставлена в зависимости от времени межзеренного сдвига, что затрудняет практическое использование этих формул. В данных формулах учитывается только межзеренный сдвиг, что неправомерно, т. к. присутствует и внутризеренный сдвиг, роль которого более существенна в механизме пластической деформации металлов.

Пластическая деформация металла происходит в результате размножения и движения дислокаций. То есть при соединении материалов в твердой фазе на контактную поверхность выходят дислокации. В этих местах на контактных поверхностях возникают активные центры. Соединяемые металлы при плакировании испытывают пластическую деформацию, которая сопровождается выделением теплоты. Величина подогрева зависит от интенсивности пластической деформации. Тогда согласно теории Ю.Л.Красулина [2] и теории теплопроводности температура нагрева в зоне контакта разнородных материалов определяется:

$$T = \frac{2 \cdot q \sqrt{a_1 \cdot a_2 \cdot t}}{\lambda_1 \sqrt{a_2} + \lambda_2 \sqrt{a_1}} ; \quad q = \rho_g \cdot q_g, \text{ Дж/м}^2\text{с} \quad (3)$$

где ρ_g – плотность дислокаций на поверхности металлической основы в зоне соединения с порошковым слоем, м^{-2} ; q_g – тепловая мощность элементарного источника тепла в месте выхода дислокации к поверхности в зоне соединения, с учетом времени выделения этой мощности, равного порядка 10^{-11}с ., $q_g = 4.56 \cdot 10^{-9} \text{ Дж/с}$,

a_1 – температуропроводность металла плакируемой основы, $\text{м}^2/\text{с}$;

a_2 – температуропроводность металла плакирующего слоя, $\text{м}^2/\text{с}$;

λ_1 – теплопроводность металла плакируемой основы, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$;

λ_2 – теплопроводность металла плакирующего слоя, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$;

t – время процесса совместного пластического деформирования металлической основы и порошка плакирующего покрытия, с.

Недостатками этой зависимости является то, что отсутствует взаимосвязь величины температуры на контакте от скорости деформации, что также затрудняет использование этой зависимости.

Для устранения этого недостатка предложено ввести зависимость плотности дислокации от скорости деформирования [3]:

$$\rho_g = \frac{v_n \cdot \gamma_{\max} \cdot (\gamma_{\max} + 2) \cdot 10^6}{2 \cdot l \cdot (\gamma_{\max} + 1) \cdot b \cdot v_{зг} \cdot \exp\left(-\frac{A}{\tau \cdot T}\right)}, \text{М}^{-2} \quad (4)$$

где b – вектор Бюргера, м;

v_n – скорость процесса деформирования, м/с;

l – длина очага деформации, м;

γ_{\max} – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения, $\gamma_{\max} = \sqrt{3} \cdot \varepsilon_{\max}$,

где ε_{\max} – максимальная главная деформация;

$v_{зг}$ – скорость звука в материале, где движутся дислокации, для металла $v_{зг} = 5 \cdot 10^3$ м/с;

τ – действующее касательное напряжение, в зоне образования соединения, МПа;

T – абсолютная температура в очаге деформации, К;

A – константа материала, $\text{МПа} \cdot \text{К}$.

Величина τ определяется для конкретной схемы деформации.

Анализ зависимости (4) совместно с (3) показывает, что при постоянных физико-механических характеристиках обрабатываемых материалов величина нагрева в зоне соединения при плакировании тел тем больше, чем выше скорость деформирования, сдвиговая деформация и время процесса деформирования. Это подтвердилось проведением экспериментальных исследований по плакированию обратным выдавливанием [3], а также может качественно соответствовать практическому опыту.

Литература

1. Кочергин, К. А. Контактная сварка/ К. А. Кочергин – Л.: Машиностроение, 1987.
2. Красулин, Ю. Л. Микросварка давлением / Ю. Л. Красулин, Г. В. Назаров. – М.: Металлургия, 1976. – 160 с.
3. 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.