

лоизоляционных материалов, что позволит сократить импорт аналогичных изделий из стран СНГ и утилизировать отходы промышленности.

#### Литература

1. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
2. Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Технология огнеупоров. – М.: Металлургия, 1987. – 376 с.
3. Завадский В.Ф. Гидролизный лигнин в производстве лигноминеральных строительных материалов //Строительные материалы. – 1998. – № 9. – С.12-13.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПЛАКИРОВАНИИ ОСАДКОЙ

С.В. Шишков

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

Руководитель Бобарикин Ю.Л.

Анализ контактных деформаций особенно актуален для процессов плакирования методом совместной пластической деформации с помощью различных процессов обработки металлов давлением. Схема получения изделия с плакирующим слоем заключается в совместной пластической деформации металлической заготовки или основы и плакирующего металлического слоя деформирующим инструментом. Для качественной связи между плакирующим и основным металлами необходимо обеспечить максимально возможные сдвиговые деформации в зоне их соединения.

Для количественной оценки величины сдвиговой деформации на поверхности основы необходимо определить величину интенсивности сдвиговой деформации  $\gamma$  на контакте с плакирующим слоем в зоне деформации. При этом, в виду наличия тонкого плакирующего слоя между основой и инструментом, можно условно рассматривать непосредственный контакт инструмента с основой, т. е. не учитывать наличие тонкого плакирующего слоя.

Для определения интенсивности сдвиговой деформации можно воспользоваться формулой, определяющей  $\gamma_i$  в декартовой системе координат:

$$\gamma_i = \frac{2}{3} \sqrt{(E_x - E_y)^2 + (E_y - E_z)^2 + (E_z - E_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}, \quad (1)$$

где  $E_x, E_y, E_z$  – относительные удлинения;  $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$  – относительные сдвиги.

Для формулы (1) относительные удлинения и сдвиги определяются по формулам:

$$E_x = \frac{\partial U_x}{\partial x}; E_y = \frac{\partial U_y}{\partial y}; E_z = -(E_x + E_y);$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x}; \gamma_{yz} = \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y}; \gamma_{zx} = \frac{\partial U_z}{\partial x} + \frac{\partial U_x}{\partial z}, \quad (2)$$

где  $U_x, U_y, U_z$  – проекции перемещения точек, находящихся на контактной поверхности с инструментом в очаге деформации.

Таким образом, задача определения интенсивности сдвиговой деформации на контактной поверхности деформируемой основы сводится к определению выраже-

ний для перемещений точек этой поверхности, движущихся по поверхности в очаге деформации от начала пластической деформации, и затем дальнейшее дифференцирование этих выражений.

В качестве модели для расчета определим интенсивность сдвиговой деформации в процессе плакирования осадкой.

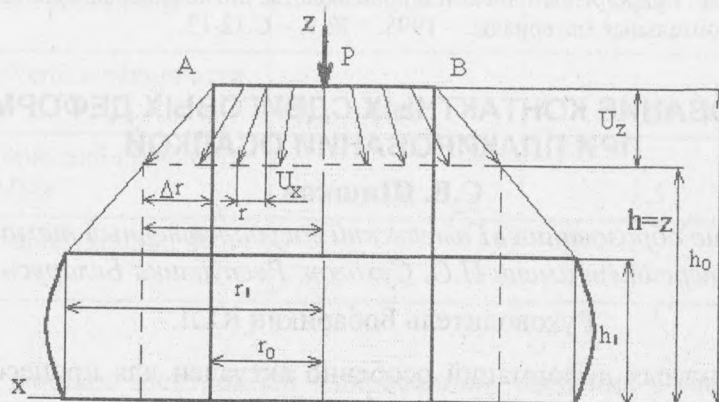


Рис. 1. Схема осадки металлического цилиндра

Предположим, что перемещение каждой точки на поверхности АВ (рис. 1)  $U_x$  прямо пропорционально величине ее координаты по оси X, начало которой находится в центре образца. Таким образом, можно представить, что для каждой точки на контактной поверхности

$$U_x = a \cdot x + b, \quad (3)$$

где  $U_x$  – перемещение точки вдоль оси;  $a$  и  $b$  – неизвестные коэффициенты.

Величины  $a$  и  $b$  определяем из граничных условий при  $x=0$  и при  $x=r$ .

С учетом коэффициентов получаем:

$$U_x = \left(1 - \sqrt{\frac{z}{h_0}}\right) \cdot x. \quad (1.4)$$

Аналогично получаем выражение:

$$U_y = \left(1 - \sqrt{\frac{z}{h_0}}\right) \cdot y.$$

Перемещения всех точек контактной поверхности АВ по оси Z одинаково и определяется по формуле

$$U_z = h_0 - z. \quad (5)$$

Полученные выражения для перемещений точек контактной поверхности используются для определения относительных удлинений и сдвигов. Необходимые расчеты производятся посредством ЭВМ с использованием ППП «MathCad». Результаты вычислений представлены в виде графика изменения  $\gamma_i$  по оси X (Y) (рис. 2).

Анализ графика показывает, что наибольшей интенсивности сдвиговая деформация достигает при максимальном удалении от центра осаживаемой заготовки.

Для проверки достоверности полученных результатов, был проведен ряд экспериментов по нанесению плакирующего слоя осадкой.

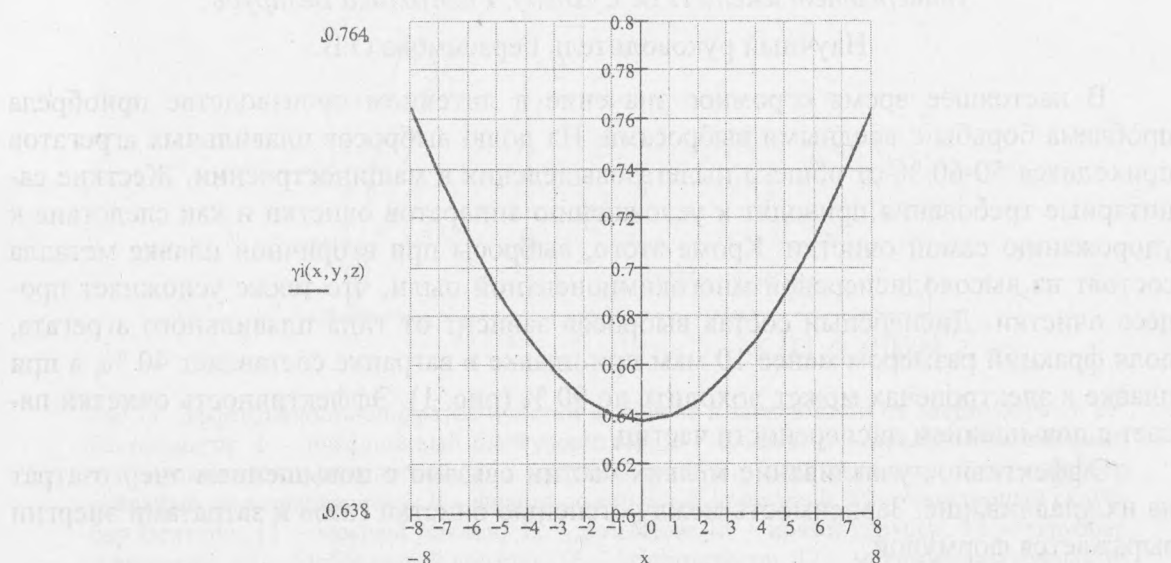


Рис. 2. График распределения интенсивности  $\gamma_i$  по торцевой поверхности цилиндра

Исходные материалы: цилиндр из стали 20 с начальной высотой 10 мм и диаметром 12 мм; порошок алюминия ПАВЧ-1. Высота заготовки после осадки 6 мм и диаметр 16 мм.

После осадки (т. е. нанесения покрытия) с помощью атомно-силового микроскопа был определен микрорельеф поверхности плакирующего алюминиевого слоя в 3-х характерных зонах контактной поверхности: в центре, в середине (половина радиуса) и на краю образца.

Для количественной оценки величины интенсивности  $\gamma_i$  в этих трех зонах было исследовано формоизменение субзерен алюминиевого порошка. Для этого были определены линейные размеры субзерен в исходном состоянии порошка, а также в продеформированном состоянии порошка в каждой из 3-х зон на поверхности образца.

Известно, что

$$\gamma_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2}, \quad (6)$$

где  $e_1 = \ln(x/r)$ ;  $e_2 = \ln(y/r)$ ;  $e_3 = -(e_1 + e_2)$ ;  $x, y$  — линейные размеры субзерна в 2-х взаимноперпендикулярных направлениях;  $r$  — радиус субзерна в исходном состоянии.

Таким образом, используя данную методику определения  $\gamma_i$ , были получены значения  $\gamma_i$  для 3-х характерных зон поверхности образца. Сравнивая полученные данные с результатами расчетов на ЭВМ, можно сделать вывод, что полученные аналитические зависимости подтверждаются экспериментальными данными с достаточной точностью.

Данные зависимости могут использоваться в целях интенсификации сдвиговых деформаций в зонах соединения металлов при плакировании, а также для оценки контактных явлений при осадке.