

## НЕКОТОРЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК СПЛАВОВ NI-W

**О. М. ОСТРИКОВ**

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

В настоящее время аморфные материалы нашли свое широкое практическое применение благодаря своим уникальным магнитным свойствам [1]. Высокая прочность и коррозионная стойкость этих материалов реализуется в покрытиях со структурой, не имеющей дальнего порядка [2]. К таким покрытиям, в частности, относятся покрытия, полученные методом электролитического осаждения. Физические свойства этих покрытий в настоящее время требуют детального изучения для возможности их широкого применения на практике. Основным недостатком аморфных покрытий является их высокая хрупкость [2], приводящая к формированию сетки трещин. Ввиду отсутствия удобной для физического анализа методики исследования закономерностей формирования трещин в электролитически осажденных покрытиях ее разработка представляется целесообразной и актуальной по причине все более широкого использования аморфных покрытий на практике.

Цель данной работы – изучить некоторые механические свойства электролитически осажденных аморфных покрытий Ni-W.

В качестве объектов исследования в данной работе выступали пленки сплавов Ni<sub>100-y</sub>W<sub>y</sub>, где y = 15, 20 и 25 ат. %, полученные методом электролитического осаждения из сернокислых растворов. В качестве подложки использовалась полированная медная фольга. Аморфность покрытий контролировалась методом дифракции электронов, а химический состав – методом обратного резерфордского рассеивания.

Измерения микротвердости покрытий проводились с помощью прибора ПМТ-3 с использованием алмазной пирамиды Виккерса. Относительная погрешность измерения микротвердости составила 4 %. Оптическая микроскопия сетки трещин на поверхности образцов проводилась с помощью микроскопа «Neophot-21».

Напряжение в покрытиях, нанесенных на тонкие медные ленты, определялось по изменению радиуса их искривления до и после нанесения покрытия по формуле [3]:

$$\sigma_x = \frac{E\delta}{(1-\mu^2)S} \left( \frac{\pi^2 f^2}{4a^2} - \frac{2f}{\pi R_0} \right), \quad (1)$$

где  $E$  и  $\mu$  – соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона подложки;  $\delta$  – ее толщина (толщиной покрытия из-за ее малой величины в данном соотношении пренебрегалось);  $S$  – площадь подложки;  $R_0$  – радиус изгиба ленты до нанесения покрытия;  $f$  – амплитуда прогиба ленты после нанесения покрытия;  $a$  – ширина ленты (рис. 1). Параметр  $f$  определяется в ходе прямых измерений. Однако этот параметр может быть рассчитан с помощью методов элементарной геометрии и тригонометрических преобразований [4] из соотношения

$$f = 2R \sin^2 \left( \frac{a}{4R} \right), \quad (2)$$

где  $R$  – радиус искривления ленты после нанесения на нее покрытия. Из подстановки (2) в (1) напряжения в покрытии могут быть определены и по параметрам  $R$  и  $R_0$ .

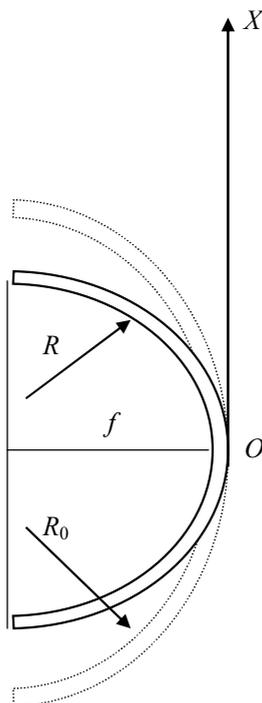


Рис. 1. Схема к расчету напряжений в покрытии, нанесенном на тонкую ленту

Плотность трещин  $\rho_c$  на поверхности покрытия определяли по формуле

$$\rho_c = \frac{\sum l}{S}, \quad (3)$$

где  $\sum l$  – суммарная длина всех трещин на площадке  $S$ . Длина трещин в данном случае, если они не имеют прямолинейного вида, может быть определена лишь приблизительно из соотношения

$$l_{ci} = 2\pi\bar{R}_i, \quad (4)$$

где  $l_{ci}$  – длина  $i$ -й трещины, а  $\bar{R}_i = (R_1 + R_2)/2$  (здесь  $R_1$  и  $R_2$  – соответственно радиусы вписанной и описанной окружностей, между которыми заключена окаймляющая единичную ячейку трещина округлой формы (рис. 2)). Параметры  $R_1$  и  $R_2$  измерялись в ходе эксперимента с помощью окуляра-микрометра оптического микроскопа прибора ПМТ-3.

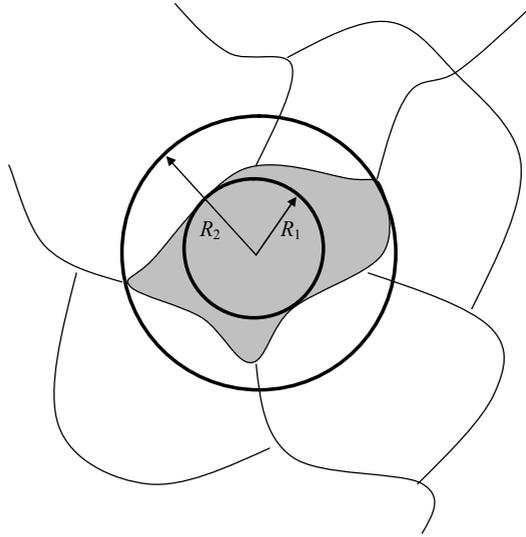


Рис. 2. Схема к расчету плотности трещин в покрытии

В соотношении (3) принимали

$$\sum l = \sum_{i=1}^N l_{ci} = 2\pi \sum_{i=1}^N \bar{R}_i = 2\pi N \bar{R}, \quad (5)$$

где  $N$  – число ячеек, сформированных трещинами на площадке  $S$ ;  $\bar{R} = \sum_{i=1}^N \bar{R}_i / N$ .

Введем параметр  $k$ , который примем равным

$$k = \frac{\rho_c}{\sigma_x}. \quad (6)$$

Данный параметр определяет склонность покрытия к формированию в нем трещин и фактически является показателем хрупкости покрытия и склонности его к разрушению. Обратным данному параметру является показатель пластичности  $\epsilon_f$ , т. е.

$$\epsilon_f = 1/k, \quad (7)$$

который в данной работе рассчитывался на основании экспериментальных данных и соотношений (1), (3) и (6).

Методом дифракции электронов установлено, что электролитически осажденные покрытия  $Ni_{100-y}W_y$  ( $y = 15-25$  ат. %) являются аморфными.

Радиус искривления лент, на которые наносилось покрытие, изменился таким образом, что расчетные значения напряжений и показателя пластичности имели величины, представленные в таблице. При этом сетка трещин в покрытии получалась путем однократного разгибания ленты. С ростом концентрации вольфрама увеличиваются напряжения в покрытиях и уменьшается их пластичность (см. таблицу). Это происходит на фоне роста микротвердости покрытий при глубинах проникновения индентора больше 5 мкм (рис. 3) и уменьшения микротвердости при меньших глубинах внедрения индентора. Полученные результаты указывают на то, что покрытие Ni-W, нанесенное методом электролитического осаждения, более хрупкое у поверхности и более пластичное у подложки. Это может быть связано с увеличением рыхлости (ростом величины свободного объема) покрытия с ростом его толщины в процессе электролитического осаждения. Причем бóльшую долю свободного объема имеют покрытия с бóльшим количеством содержащегося в них вольфрама.

**Результаты определения напряжений  $\sigma_x$  в аморфных покрытиях Ni-W и показателя их пластичности  $\epsilon_f$  в зависимости от содержания в них вольфрама**

Материал покрытия	$\sigma_x$ , МПа	$\varepsilon_f$
Ni <sub>75</sub> W <sub>25</sub>	165	0,34
Ni <sub>80</sub> W <sub>20</sub>	98	0,53
Ni <sub>85</sub> W <sub>15</sub>	77	0,67

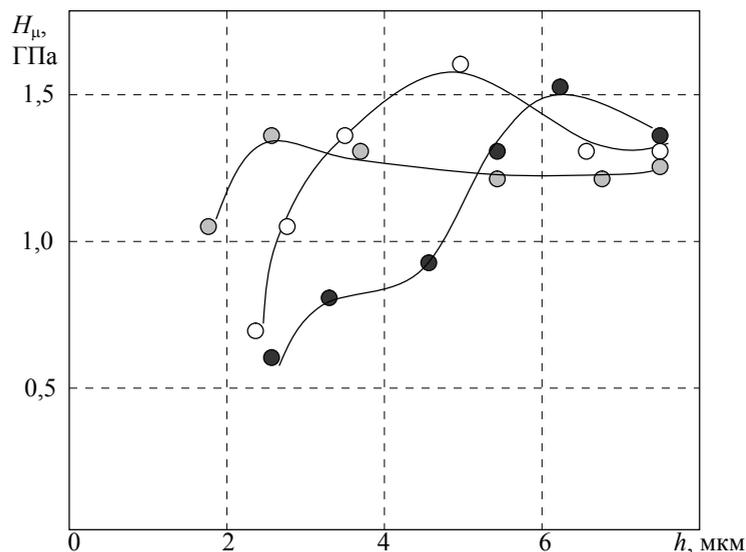


Рис. 3. Зависимость микротвердости покрытий от глубины проникновения индентора:

● – Ni<sub>75</sub>W<sub>25</sub>; ○ – Ni<sub>80</sub>W<sub>20</sub>; ● – Ni<sub>85</sub>W<sub>15</sub>

Полос сдвига, свойственных процессу неомогенной пластической деформации аморфных материалов [5], в случае исследуемых аморфных покрытий Ni-W обнаружено не было. Это позволяет предположить, что при выпрямлении лент максимальные напряжения изгиба присутствуют у свободной поверхности покрытия, способствуя зарождению в этой области трещин. При этом развитие трещин осуществляется от поверхности покрытия к подложке.

### Заклучение

Таким образом, предложена методика расчета напряжений и показателя пластичности аморфных покрытий. Установлено, что с ростом концентрации вольфрама в осажденных на медную фольгу электролитическим методом аморфных покрытиях Ni-W увеличивается их хрупкость на фоне роста в них напряжений. При этом микротвердость исследуемых покрытий у их поверхности ниже, чем у подложки.

### Литература

1. Глезер, А. М. Аморфные сплавы: вчера, сегодня, завтра / А. М. Глезер // Изв. РАН. Сер. Физическая. – 2001. – Т. 65, № 10. – С. 1382–1383.
2. Микроструктура и внутренние напряжения в аморфных электролитически осажденных пленках сплавов Ni-Co-P / С. С. Грабчиков [и др.] // Металлы. – 1994. – № 4. – С. 96–101.
3. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – Москва : Высш. шк., 1990. – 400 с.
4. Воднев, В. Т. Основные математические формулы / В. Т. Воднев, А. Ф. Наумович, Н. Ф. Наумович. – Минск : Выш. шк., 1988. – 269 с.
5. Верещагин, М. Н. Неомогенная пластическая деформация аморфных сплавов на основе железа / М. Н. Верещагин, В. Г. Шепелевич, О. М. Остриков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2004. – 134 с.