

## СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 539.3:621.793

### МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ И УПРУГОСТИ ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Н. А. Долгов<sup>1</sup>, И. В. Смирнов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко  
Национальной академии наук Украины, г. Киев*

<sup>2</sup>*Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

Характеристики прочности плазменно-напыленных покрытий необходимы для расчетов на прочность элементов конструкций с покрытиями. Сведения о механических характеристиках необходимы также для оптимизации технологического процесса нанесения покрытий по критериям прочности [1], [2].

При определении характеристики прочности и упругости покрытия используют различные методики [3]. Для каждой методики разрабатывают образцы определенной формы, вида и конфигурации. Методы определения механических свойств отличаются также и способом нагружения образцов. Все это приводит к несопоставимости результатов, получаемых различными исследователями. Методики, позволяющие получить в течение единого экспериментального цикла несколько механических характеристик покрытий, более информативны, достоверны, корректны и перспективны. В основу разработанной методологии положены кратковременные статические испытания на растяжение образцов с покрытиями.

Для испытаний использовали образец с покрытием (рис. 1). Металлический образец, который используется в качестве основы, изготавливали в соответствии со стандартами для испытания механических свойств металлов без покрытий. Непосредственно из эксперимента определяли:

1. Деформации на поверхностях покрытия и металлической основы с помощью тензодатчиков, которые крепятся к покрытой и непокрытой частям образца (рис. 1).
2. Растягивающие усилия, соответствующие этим деформациям.
3. Сигналы акустической эмиссии для регистрации момента разрушения растрескивания и отслоения покрытия.
4. Деформации когезионного растрескивания покрытия и его адгезионного отслоения.

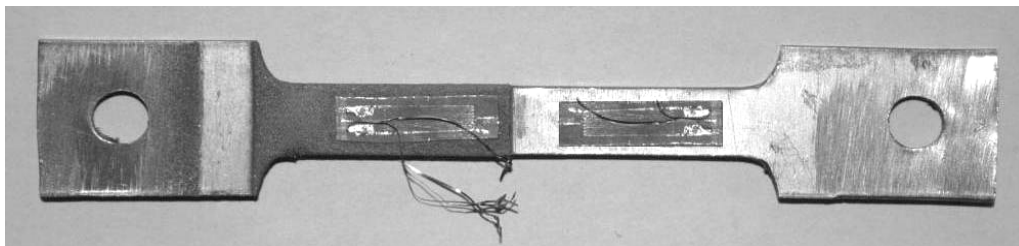


Рис. 1. Образец с плазменно-напыленным покрытием и тензодатчиками на покрытой (слева) и непокрытой (справа) частях образца

Затем определяли характеристики прочности покрытий. В основу расчетов положены аналитические выражения для определения величин нормальных напряжений в покрытии и касательных напряжений в плоскости адгезионного контакта основы и покрытия, приведенные в работе [4]. Для определения величины максимальных касательных напряжений можно также использовать численные методы.

После испытаний образцов на растяжение определяли следующие механические характеристики покрытий:

- 1) модули упругости основы и покрытия (модуль упругости покрытия определяли по методике, описанной в [5]);
- 2) когезионную прочность покрытия;
- 3) адгезионную прочность покрытия;
- 4) деформации основы, при которых происходит когезионное разрушение и/или адгезионное отслоение покрытия.

К качестве примера приведены испытания на растяжение двухслойных покрытий, плазменно-напыленных на плоские металлические образцы, которые были изготовлены в соответствии с ГОСТ 1497–84. Для материала основы использовали листовую сталь 08Х18Н10 толщиной 2 мм. Подслой толщиной 100 мкм напыляли с помощью порошка  $\text{Co-32\%Ni-21\%Cr-8\%Al-0,5\%Y}$  (дисперсностью – 75 + 45 мкм). Для напыления внешнего керамического покрытия (толщиной 200 и 400 мкм) использовали порошок  $\text{ZrO}_2\text{-8\%Y}_2\text{O}_3$  (дисперсностью – 125 + 45 мкм). На рис. 2 показан образец с растрескавшимся и частично отслоившимся металлокерамическим покрытием.



*Рис. 2. Фрагмент образца с металлокерамическим покрытием после испытаний на растяжение*

Сделан вывод, что разработанная методология позволяет определять в едином экспериментальном цикле адгезионно-когезионные и упругие характеристики плазменно-напыленных покрытий.

#### Литература

1. Design of experiments in thermal spraying: A review / C. Pierlot [et al.] // Surface and Coatings technology. – 2008. – Vol. 202, № 18. – P. 4483–4490.
2. Долгов, Н. А. Влияние режимов плазменного напыления нанокompозитного порошка  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{nanoTiO}_2$  на прочность сцепления покрытий / Н. А. Долгов, И. В. Смирнов, А. Ю. Андрейцев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 83–92.
3. Ang, A. S. M. A review of testing methods for thermal spray coatings / A. S. M. Ang, C. C. Berndt // International Materials Reviews. – 2014. – Vol. 59, № 4. – P. 179–223.

## **112 Секция 2. Современные материалы, наноматериалы в машиностроении**

4. Dolgov, N. A. Analytical methods to determine the stress state in the substrate–coating system under mechanical loads / N. A. Dolgov // Strength of materials. – 2016. – Vol. 48, № 5. – С. 658–667.
5. Dolgov, N. A. Method for determining the modulus of elasticity for gas thermal spray coatings / N. A. Dolgov // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2004. – Vol. 43, № 7–8. – P. 423–428.