

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ, НАПОЛНЕННЫХ ПОЛЫМИ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ

Ю. А. Казимиренко, канд. техн. наук, доц.;
Н. Ю. Лебедева, канд. техн. наук, доц.;
А. А. Карпеченко, канд. техн. наук, доц.;
А. А. Жданов, асп.;
П. В. Бабина, магистрант

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Исследованы демпфирующие свойства новых электродуговых композиционных покрытий из Св-08Г2С и СвАМг5, наполненных полыми стеклянными микросферами.

Ключевые слова: демпфирующие свойства, электродуговые покрытия, полые стеклянные микросферы.

Анотація. Досліджено демпфівальні властивості нових электродугових композиційних покриттів із Св08Г2С і СвАМг5, наповнених порожніми скляними микросферами.

Ключові слова: демпфівальні властивості, электродугові покриття, порожні скляні микросфери.

Abstract. The damping properties of new electro-arc composite coatings of Св-08Г2С (Sv08G2S) and СвАМг5 (SvAMg5) filled with hollow glass microspheres have been studied.

Keywords: damping properties, electro-arc coatings, hollow glass microspheres.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Большинство судовых конструкций и механизмов работают в условиях вибраций [6]. Поэтому одним из главных свойств применяемых материалов является их демпфирующая способность. Для изготовления демпфирующих конструкций (опор, станин, амортизаторов и пр.) в судостроении широко применяют сплавы высокого демпфирования: марганцево-медные, никель-титановые, магниевые [2, 6], преимущество которых – высокая технологичность, независимость эффектов демпфирования от частоты и широкая область температур. Однако повышение эксплуатационных свойств конструкций невозможно без внедрения в судостроительные технологии новых конкурентоспособных материалов и покрытий, обладающих демпфирующими свойствами и отвечающих требованиям коррозионной стойкости, динамической прочности и износостойкости.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из перспективных технологических направлений повышения демпфирующих свойств конструкций является применение композиционных материалов и покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами (ПСМ) [4, 7, 9]. В основном это группы синтактиков, состоящих из полимерной матрицы и стеклянных, в том числе металлизированных, микросфер. Новым видом композиций являются металлостеклянные электродуговые покрытия из Св-08Г2С и СвАМг5 [5, 10, 11], наполненные ПСМ. Однако эксплуатационные свойства, в том числе и демпфирующие, этих покрытий исследованы недостаточно.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является исследование демпфирующих свойств электродуговых композиционных покрытий из Св-08Г2С и СвАМг5, наполненных полыми стеклянными микросферами.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Полые стеклянные микросферы представляют собой сыпучие порошки (рис. 1) со средним диаметром 40 мкм и толщиной стенки 1...2 мкм [1].

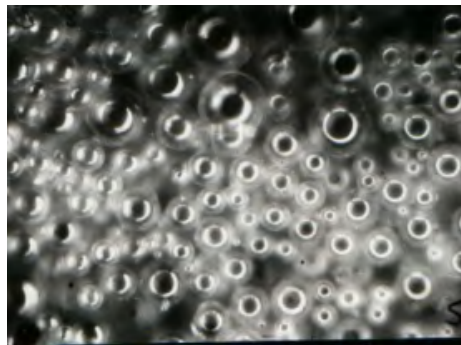


Рис. 1. Полые стеклянные микросферы; $\times 200$

Кажущаяся плотность ПСМ составляет около 330 кг/м³, прочность при осевом сжатии 1 МПа, коэффициент теплопроводности приблизительно равен 0,027 Вт/(м·К) [1]. Введение в состав композиционных материалов и покрытий этого перспективного вида наполнителя позволяет варьировать свойства в широком диапазоне температур [3, 7]. При этом повышение эксплуатационных свойств композиций непосредственно связано со сферической формой ПСМ и их высокой прочностью при статических и динамических нагрузках [9].

Материалы и методика проведения исследований. Демпфирующую способность принято считать одной из важных физических характеристик материала. Количественным показателем демпфирующей способности материалов является относительное рассеяние энергии (или коэффициент рассеяния ψ), которое определяется как отношение рассеянной энергии за цикл колебаний к максимальному амплитудному значению энергии, накопленной системой в начале рассматриваемого цикла.

В данной работе для определения демпфирующей способности был выбран метод свободных затухающих поперечных колебаний консольно закрепленных образцов, наиболее простой и надежный [8]. В установке для исследования демпфирующих свойств, представленной в работе [12], модернизирован способ записи виброграмм: сигнал от усилителя подавался на звуковую карту компьютера. По виброграммам рассчитывались логарифмический декремент колебаний δ и коэффициент рассеяния энергии Ψ .

Исследования проводили на образцах размером $140 \times 10 \times 2$ мм. В качестве эталонов при постановке эксперимента использовали пластины соответствующей конфигурации из стали Ст3 и сплава типа АМг5. Полученные экспериментальные результаты соответствуют справочным данным [8] и приведены в табл. 1.

Таблица 1. Демпфирующие свойства эталонных образцов

Образец	δ , %, эксперимент	δ , %, [8]
Ст3	1,80	1,85
АМг5	0,87	0,83

После проведения работ на эталонных образцах испытаниям подвергли стальные пластины Ст3 с нанесенными электродуговыми покрытиями. Для формирования покрытий использовали стальную и алюминиевую цельнотянутую проволоку марок Св-08Г2С (ГОСТ 2246–70) и СвАМг5 (ГОСТ 7871–75) диаметром 1,2 мм. В качестве наполнителя в электродуговые покрытия вводили полые стеклянные микросферы натрий-силикатного состава марки МС-А9 (ТУ 6-48-108-94). Напыление проводили с помощью установки КДМ-2, в комплект которой входит усовершенствованный электродуговой аппарат ЭМ-14М [5].

Покрытия наносили на стальную подложку марки Ст3, предварительно подвергнутую струйно-абразивной обработке. Нанесение покрытий осуществлялось на следующих режимах: сила тока – 80...140 А; напряжение – 25...28 В; давление сжатого воздуха – 0,4...0,6 МПа; диаметр основного сопла – 6 мм, дополнительного – 8 мм; расстояние от среза дополнительного сопла к подложке – 90...100 мм. Толщина стальной пластины составляла 1,5 мм, а толщина покрытия – 0,5 мм. Таким образом, толщина пластинчатых образцов во всех случаях составляла 2 мм.

Для качественной оценки влияния полых стеклянных микросфер на демпфирующие свойства электродуговых покрытий были проведены испытания образцов с покрытием из Св-08Г2С и СвАМг5 без наполнения микросферами.

Параллельно исследовалось влияние предрекристаллизационной термической обработки на демпфирующие свойства электродуговых покрытий. Режимы предрекристаллизационной термической обработки выбраны на основании рекомендаций, представленных в работах [3, 11], с учетом температуры начала рекристаллизации материала металлической матрицы металлоглазанных покрытий и температурного интервала размягчения ПСМ (485...865 °С) [1]. Поэтому температура термической обработки электродуговых покрытий из проволоки Св-08Г2С и композиции Св-08Г2С–ПСМ составила 500 °С, а для покрытий из СвАМг5 и композиции СвАМг5–ПСМ – 100 °С. Термическую обработку покрытий проводили в лабораторной электропечи марки СНОЛ-1.6.2.08/9-М1. Время выдержки подобрано экспериментально в соответствии с рекомендациями [3] и составило 1,5 мин для всех исследуемых образцов, охлаждение осуществляли на воздухе.

Результаты экспериментальных исследований. Результаты расчетов логарифмического декремента затухания и коэффициента рассеяния энергии для образцов с покрытиями из Св-08Г2С и СвАМг5 без наполнения микросферами представлены в табл. 2. Образцы с покрытием из Св-08Г2С исследовались как в состоянии после напыления, так и после предрекристаллизационной термической обработки при 500 °С в течение 1,5 мин.

Таблица 2. Демпфирующие характеристики образцов Ст3 с электродуговыми покрытиями

Образец	δ	Ψ
	%	
Ст3 без покрытия	1,80	3,60
Ст3 с покрытиями: Св-08Г2С Св-АМг5	1,40	2,80
	5,42	10,84
Ст3 с покрытиями после термообработки Св-08Г2С	4,95	9,90

Проведенные исследования показали, что демпфирующая способность стальных образцов с покрытиями из СвАМг5 значительно выше, чем у образцов стали Ст3 и сплава АМг. Термическая обработка образцов из Св-08Г2С приводит к повышению коэффициента рассеяния энергии более чем в три раза, что связано с формированием субмикроструктурной структуры [3].

Для исследования влияния полых стеклянных микросфер на демпфирующую способность электродуговых покрытий из Св-08Г2С были изготовлены

образцы с разным объемным наполнением ПСМ. Заданное содержание микросфер в покрытии получали путем изменения скорости подачи проволоки и порошкового материала, регулируя силу тока и давление сжатого воздуха.

Определение объемного содержания ПСМ в составе электродуговых покрытий осуществлялось по методике С. А. Салтыкова «Определение общего числа шаровидных микрочастиц в объеме сплава методом обратных диаметров» [10].

Зависимость коэффициента рассеяния энергии от объемного содержания микросфер в составе покрытий Св-08Г2С–ПСМ до и после термической обработки представлена на рис. 2.

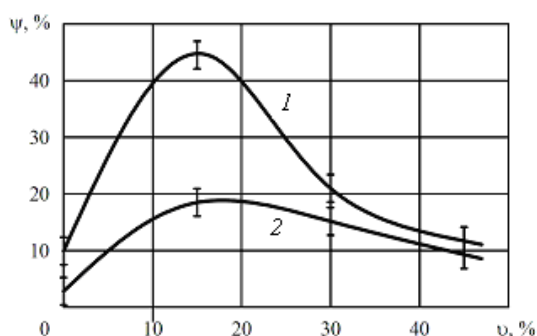


Рис. 2. Зависимость коэффициента рассеяния энергии от объемного содержания микросфер в составе композиционных покрытий Св-08Г2С–ПСМ: 1 – после термической обработки; 2 – до термической обработки

Анализ полученных результатов показал, что введение в состав электродугового покрытия Св-08Г2С полых стеклянных микросфер приводит к значительному возрастанию демпфирующей способности. Максимальное увеличение коэффициента рассеяния энергии более чем в 6 раз наблюдалось для образцов с объемным наполнением ПСМ 15 %. Экспериментальные исследования показали, что при увеличении концентрации микросфер в составе композиций демпфирующая способность покрытий снижается.

Предрекристаллизационная термическая обработка после напыления приводит к повышению демпфирующих свойств. Для наполненных микросферами покрытий формирование субмикроструктурной структуры в процессе термической обработки происходит не только в металлической матрице, но и в приповерхностном слое сталь–стекло [11]. Максимальное увеличение коэффициента рассеяния энергии более чем в 2 раза наблюдалось также для образцов с объемным наполнением 15 %.

Результаты исследования влияния полых стеклянных микросфер на демпфирующую способность электродуговых покрытий из СвАМг5 показали, что введение в состав покрытия ПСМ приводит к небольшому повышению коэффициента рассеяния энергии – с 10,84 до 12,32 % в состоянии после напыления. Несмотря на это, демпфирующие характеристики электродуговых покрытий из СвАМг5 и композиции СвАМг5–ПСМ превышают свойства литых сплавов типа АМг5. Такое изменение демпфирующей способности связано с более высоким уровнем несовершенств структуры покрытий по сравнению с литым материалом. В областях расположения несовершенств образуются пики микронапряжений, которые активизируют дислокационные процессы, вызывающие микропластическую деформацию, что приводит к необратимому рассеянию энергии. Кроме того, причиной повышения демпфирующей способности является наличие приграничного слоя между основой и покрытием, где происходит дополнительное рассеяние энергии.

Термическая обработка покрытий из СвАМг5 и композиции СвАМг5–ПСМ незначительно повысила (до 2 %) демпфирующую способность, что непосредственно связано с особенностями формирования структуры этого вида покрытий [11].

Перспективы дальнейших исследований непосредственно связаны с прогнозированием свойств композиционных покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами, в условиях динамических нагрузок и установлении взаимосвязи структурных элементов и демпфирующих характеристик.

ВЫВОДЫ

1. Введение в состав электродуговых покрытий из Св-08Г2С полых стеклянных микросфер приводит к значительному (более чем в 6 раз) повышению демпфирующей способности. Максимальное значение демпфирующей способности покрытий композиции Св-08Г2С–ПСМ наблюдается для образцов с объемным наполнением ПСМ 15 %.

2. Предрекристаллизационная термическая обработка при температуре 500 °С в течение 1,5 мин с последующим охлаждением на воздухе приводит к повышению демпфирующей способности электродуговых покрытий из Св-08Г2С почти в 3 раза, а покрытий композиции Св-08Г2С–ПСМ – в 2 раза.

3. Демпфирующая способность стальных образцов с покрытиями из СвАМг5 значительно выше, чем у пластин стали Ст3 и сплава АМг5.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Асланова, М. С. Полые неорганические микросферы [Текст] / М. С. Асланова, В. Я. Стеценко, А. Ф. Шустров // Обзорн. информ. Сер. Химическая промышленность за рубежом / НИИТЭХИМ. – 1981. – Вып. 9. – С. 33–50.

- [2] **Дубовий, О. М.** Вплив передрекристалізаційної термічної обробки на фізико-механічні властивості напиленних покриттів та деформованих металів і сплавів [Текст] / О. М. Дубовий, Н. Ю. Лебедева, Т. А. Янковець // Металознавство та обробка металів. – К., 2010. – № 3 (55) – С. 7–10.
- [3] **Ефремов, В. П.** Термомеханические процессы в композиционных материалах под действием интенсивных потоков энергии [Текст] / В. П. Ефремов, А. И. Потапенко // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48, № 6. – С. 924–930.
- [4] Інженерне матеріалознавство [Текст] : підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева, С. М. Самохін. – Миколаїв : НУК, 2009. – 444 с.
- [5] **Казимиренко, Ю. А.** Формирование электродуговых покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2009. – № 1 (424). – С. 81–86.
- [6] Основы сварки судовых конструкций [Электронный ресурс] / С. Б. Андреев, В. С. Головченко, В. Д. Горбац, В. Л. Руссо. – СПб. : Судостроение, 2006. – Режим доступа: www.mirknig.com.
- [7] **Острик, А. В.** Термомеханическое действие рентгеновского излучения на многослойные преграды в воздухе [Текст] / А. В. Острик. – М. : НТЦ «Информтехника», 2003. – 160 с.
- [8] **Писаренко, Г. С.** Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов [Текст] : справочник / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наукова думка, 1971. – 375 с.
- [9] Разрушение сферопластика при статических и динамических нагрузках [Текст] / С. А. Атрошенко, С. И. Кривошеев, Ю. В. Петров, А. А. Уткин, Г. Д. Федоровский // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, вып. 12. – С. 54–58.
- [10] **Салтыков, С. А.** Стереометрическая металлография [Текст] / С. А. Салтыков. – М. : Металлургия, 1976. – 271 с.
- [11] Формирование ультрадисперсной структуры в композиционных электродуговых покрытиях, наполненных полыми стеклянными микросферами [Электронный ресурс] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, А. А. Жданов, К. О. Тумаков // Електронне видання «Вісник Національного університету кораблебудування». – Миколаїв: НУК, 2012. – № 3. – Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua>.
- [12] **Шведов, Л. И.** Исследование демпфирующей способности марганцево-медных сплавов [Текст] / Л. И. Шведов, Н. Ю. Лебедева // Технология судостроения и сварочного производства : сб. науч. трудов. – Николаев : УГМТУ, 1996. – С. 3–6.

© Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева,
А. А. Карпеченко, О. О. Жданов, П. В. Бабіна

Надійшла до редколегії 18.01.13
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. О. М. Дубовий