

## ТРИБОЛОГИЯ ПОКРЫТИЙ, НАПЛАВЛЕННЫХ ЛАЗЕРОМ

*Роцин М.Н.*

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва*

**Ключевые слова:** лазерная наплавка, износ, износостойкость, испытания, коэффициент трения.

**Аннотация.** Исследования фрикционных свойств износостойких покрытий ПГ-10Н-01 + 17 и 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наплавленных лазером, показали, что при смазке гидравлической жидкостью АМг-10 коэффициент трения в паре с Бр. АЖН 10-4-4 при нагрузке 5...40 МПа и скорости скольжения 0,05 и 0,1 м/с меньше, чем с твердым электролитическим хромом.

## TRIBOLOGY OF LASER-DEPOSITED COATINGS

*Roshchin M.N.*

*Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Russian Academy of Sciences, Moscow*

**Keywords:** laser surfacing, wear, wear resistance, tests, coefficient of friction.

**Abstract.** Studies of the friction properties of wear-resistant coatings PG-10N-01 + 17 and 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, laser-deposited, showed that when lubricated with hydraulic fluid AMG-10 friction coefficient paired with Br. AGN 10-4-4 at a load of 5 ... 40 MPa and a sliding speed of 0.05 and 0.1 m / s is less than with solid electrolytic chromium.

Лазерная наплавка износостойких покрытий зарекомендовала себя во многих технологических процессах. Ее особенность заключается в высокой концентрации подводимой энергии и локальностью, позволяющую проводить обработку только поверхностного участка без нарушения его структуры и свойств детали в целом. Возможность регулирования параметров лазерной обработки и составом обрабатываемых материалов в широком интервале значений позволяет получать качественно новые износостойкие материалы [1].

При лазерной наплавке износостойких покрытий получают в локальных объемах поверхностных слоев материалов свойства, недостижимые при традиционных способах обработки. Это связано с целенаправленным изменением химического состава и структурно-фазового состояния поверхностных слоев [2].

Преимущества лазерной наплавки износостойких покрытий наводят на мысль изучения фрикционных свойств износостойких наплавленных лазером покрытий в сравнении с твердым хромированием. Хромирование, как технологический метод повышения износостойкости стальных изделий, широко используются в различных областях техники. Хромирование отличается высокой твердостью, большой прочностью сцепления со сталью и химической стойкостью. Свойства его в значительной степени зависят от режима осаждения, поэтому износостойкость покрытия может изменяться в несколько раз.

Цель работы: исследование фрикционных свойств износостойких покрытий, наплавленных лазером.

Некоторые технологические вопросы наплавки износостойких покрытий рассмотрены в [3, 4]. Предлагаемое композиционное покрытие имеет никель-хромовую коррозионностойкую матрицу, обеспечивающую высокую пластичность, и упрочняющую фазу  $Al_2O_3$ , позволяющую значительно повысить твердость покрытия и предел прочности. Применение лазерного излучения для оплавления покрытия позволяет раздробить зерно  $Al_2O_3$  до  $0,05...1,0$  мкм, что значительно повышает эксплуатационные свойства покрытия в условиях переменных нагрузок на узел трения.

Используя, математический аппарат физико-математического моделирования процесса лазерного оплавления покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры, представилась возможность разработать технологию создания износостойкого композиционного покрытия [5].

Лазерная наплавка износостойких покрытий осуществлялась на оборудовании, разработанном в ИМАШ РАН на лазерном технологическом комплексе ЛТК-01 при мощности непрерывного излучения  $3,75...3,80$  кВт и частоте сканирования лазерного луча  $200$  Гц. Для наплавки в качестве пластичной матрицы использовались сплавы системы Ni-Cr-B-Si. В качестве упрочняющей фазы использовались порошки  $Al_2O_3$  фракции  $5...20$  мкм. Концентрация упрочняющей фазы составляла  $17$  и  $20\%$  (весовых). Толщина покрытия после финишной обработки составляла  $0,20...0,35$  мм.

Исследование триботехнических характеристик наплавленных покрытий проводилось на машине трения УМТ-1 по схеме плоскость – кольцевой образец [6]. В качестве смазки использовалась гидравлическая жидкость АМг-10. Смазывающая жидкость подавалась в зону трения с использованием капельницы в количестве  $10...60$  капель в минуту в зависимости от нагрузки и скорости. В результате испытаний регистрировались: момент трения, температура в контакте, скорость.

Проведены сравнительные трибологические испытания образцов из стали 30ХГСА, на рабочую поверхность которых наносилось покрытие системы Ni-Cr-B-Cr (ПГ-10Н-01 +  $17\%$  и  $20\%$   $Al_2O_3$ ) и твердое электролитическое хромовое покрытие. Микротвердость хромового покрытия составляла  $H_{50} = 10500$  МПа, наплавленного лазером покрытия ПГ-10Н-01 +  $17\%$   $Al_2O_3$  –  $10860$  МПа, наплавленного лазером покрытия ПГ-10Н-01 +  $20\%$   $Al_2O_3$  –  $11560$  МПа. Хромовое покрытие имело толщину  $0,4...0,7$  мм, шероховатость поверхности составляла  $R_a = 0,040...0,050$  мкм. Образцы с наплавленным покрытием перед испытаниями полировались, шероховатость которых составляла  $R_a = 0,047...0,068$  мкм. В качестве контртела использовалась бронза Бр.АЖН 10-4-4, твердость образцов составляла  $H_{50} = 3200$  МПа, шероховатость поверхности составляла  $R_a = 0,16...0,20$  мкм.

Испытания проводились при скоростях скольжения  $0,05$  и  $0,1$  м/с и нагрузки  $5...40$  МПа. Путь трения составлял  $L = 10^5$  м. По результатам

испытаний определены зависимости коэффициента трения от нагрузки и скорости скольжения. Результаты испытаний приведены на рис.1 и 2.

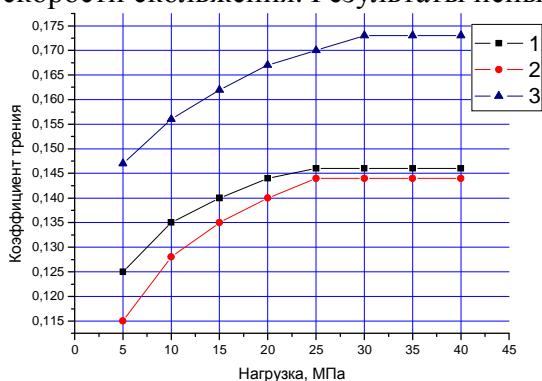


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки при скорости 0,05 м/с: 1- покрытие системы Ni-Cr-B-Si + 17% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2- покрытие системы Ni-Cr-B-Si + 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3-твердое хромирование

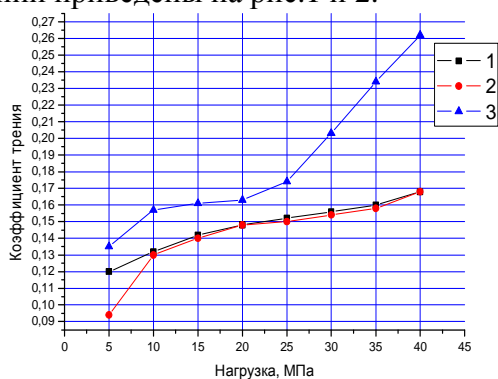


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки при скорости 0,1 м/с: 1- покрытие системы Ni-Cr-B-Si + 17% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2- покрытие системы Ni-Cr-B-Si + 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3-твердое хромирование

При скорости скольжения 0,05 м/с покрытие, наплавленное лазером, ПГ-10Н-01 + 17% и 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеют коэффициент трения при нагрузке

5 МПа на 15 и 21% меньше, чем хромовое покрытие соответственно, а при нагрузке 40 МПа на 15 и 16% меньше, чем хромовое покрытие соответственно. При скорости скольжения 0,1 м/с покрытие, наплавленное лазером ПГ-10Н-01 + 17% и 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имеют коэффициент трения при нагрузке 5 МПа на 30 и 11% меньше, чем хромовое покрытие соответственно, а при нагрузке 40 МПа на 35 и 35% меньше, чем хромовое покрытие соответственно. С увеличением скорости скольжения с 0,05 до 0,1 м/с и нагрузке 40 МПа коэффициент трения хромового покрытия возрастает на 51%, а наплавленных покрытий лазером на 15%.

**Выводы.** Исследования фрикционных свойств износостойких покрытий ПГ-10Н-01 + 17 и 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наплавленных лазером, показали, что при смазке гидравлической жидкостью АМГ-10 коэффициент трения в паре с Бр. АЖН 10-4-4 при нагрузке 5...40 МПа и скорости скольжения 0,05 и 0,1 м/с меньше, чем с твердым электролитическим хромом. Износостойкие покрытия ПГ-10Н-01 + 17 и 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, наплавленные лазером, могут быть альтернативой для замены твердого электролитического хромирования.

#### Список литературы

1. Рощин М.Н. Износостойкость покрытий, наплавленных лазером // Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике. Сборник Физико-технологического института Московского технологического университета. – М.: МИРЭА, 2018. – С. 838-842.
2. Лазерная техника и технологии. Кн.3. Методы поверхностной лазерной обработки / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая шк., 1987. – 191с.

3. Рошин М.Н. Фрикционные свойства покрытий, наплавленных лазером // Вестник машиностроения. 2019. № 6. С. 46-48.
4. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Рошин М.Н. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // Перспективные материалы и технологии. НАНОКОМПОЗИТЫ, (космический вызов 21 век, Том 2). Под. ред. А.А Берлина и И.Г. Ассовского. –М.: Торус Пресс, 2005. – С. 59-68.
5. Алисин В.В., Рошин М.Н. Численный анализ тепловых потоков в процессе плавления покрытий лазером // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019. № 4. С. 93-101.
6. Алисин В.В., Юдкин В.Ф. Исследование физико-механических свойств наномодифицированного углерод-углеродного композита фрикционного назначения термар // Деформирование и разрушение композиционных материалов и конструкций. Труды Третьей международной конференции. 2018. С. 7-9.

Сведения об авторах:

*Рошин Михаил Николаевич* – к.т.н., ведущий научный сотрудник, ИМАШ РАН, г. Москва.