

# К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Дьяченко О. В., Кардаполова М. А., Николаенко В. Л.

(БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Тел./Факс: +375 (17) 3310045; E-mail: [scvmed@bntu.by](mailto:scvmed@bntu.by)

**Abstract:** The article presents a comparative analysis of the hardness and tribological characteristics of coatings based on iron after laser treatment and after melting flame of a gas burner. It is shown that micro hardness of coatings increases with the change in the speed of laser processing by 15-20%, the coefficient of friction is influenced by the method of melting and the use of lubricants.

**Keywords:** Laser melting, gas flame fusing, micro hardness of the coating, friction coefficient.

В общей задаче повышения надежности и долговечности машин важное место занимают вопросы создания на рабочей поверхности деталей износостойких покрытий, существенно изменяющих физико-механические свойства упрочненного слоя и сводящие к минимуму безвозвратные потери металлов и сплавов [1].

Экономически целесообразным решением возникшей проблемы является лазерное упрочнение непрерывным лазером предварительно нанесенных плазменным напылением слоев. [1, 2].

Методы лазерного оплавления широко используются для формирования поверхностей с повышенными эксплуатационными характеристиками. Они позволяют упрочнять обрабатываемые поверхности путем закалки или дополнительного легирования [3–5].

**Цель работы:** сравнительный анализ твердости и триботехнических характеристик покрытий на железной основе после лазерной обработки и после оплавления пламенем газовой горелки.

Основные элементы порошковой смеси, такие как железо, марганец, углерод, кремний, бор и другие легирующие элементы используются для создания износостойких покрытий. Эти элементы образуют эвтектики и другие высокопрочные компоненты (карбиды, бориды, сложные легированные фазы), которые взаимодействуют между собой при температуре формирования эвтектики. Такие компоненты также обеспечивают высокую твердость и износостойкость, а также относительно высокую пластичность покрытия. В результате в процессе кристаллизации формируется квазиэвтектическая дисперсная структура. Это в значительной степени и предопределяет преимущества покрытий на основе железа по сравнению с другими материалами, используемыми для напыления.

**Методика.** Для получения покрытий использовали порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф системы Fe-Cr-B-Si, легированный Mn, C, V (таблица 1). В качестве материала подложки использовали сталь 45.

Таблица 1 – Химический состав порошка ПР-Х4Г2Р4С2ФР

Элементы (t%)								
Fe	B	Cr	Si	Mn	C	V	Al	Cu
Основа	3,3–4,3	3,5–4,5	2,0–2,5	2,0–2,5	1,0–1,2	0,5–0,9	0,05–0,5	0,05–0,5

Для плазменного нанесения покрытий был использован блок плазменного напыления УПС-3Д. Это устройство обеспечивает напыление в широком диапазоне различных порошковых материалов: карбиды, силициды, оксиды, самофлюсующиеся сплавы

и т. д. В качестве плазмообразующего газа использовался азот под давлением 0,0006 ГПа. Напыление проводили в следующих условиях: ток 280 А и напряжение 70 В. Толщина покрытия составляла 0,6 мм.

Исходные поверхности образцов были приготовлены с использованием пескоструйной обработки, с гранулами 1,2 – 2 мм под давлением воздуха 0,0005 ГПа (5 бар). Образцы (ролики) устанавливали с оправкой в патроне токарного станка, а дистанция плазменного напыления составляла 150 мм.

После напыления образцы оплавливали пламенем газовой горелки или лазерным лучом. Температуру пламени контролировали визуально или пирометром.

Оплавление осуществляли с помощью непрерывного лазера ЛГН-702 мощностью  $N = 800$  Вт при диаметрах лазерного луча  $d_1 = 1,0 \times 10^{-3}$  м,  $d_2 = 3,0 \times 10^{-3}$  м, со скоростями перемещения  $v_1 = 0,83 \cdot 10^{-3}$  м/с,  $v_2 = 1,67 \cdot 10^{-3}$  м/с,  $v_3 = 3,33 \cdot 10^{-3}$  м/с,  $v_4 = 5 \cdot 10^{-3}$  м/с  $v_5 = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м/с коэффициентами перекрытия  $k_1 = 0,8$  и  $k_2 = 1,2$  с целью получения единого фазового состава и заданных свойств по всей толщине покрытия.

### Методика трибологических характеристик

**Обсуждение результатов.** С увеличением скорости сканирования лазерного луча, микротвердость покрытия возрастает и достигает наибольших значений при максимальных скоростях [6]. Это объясняется последовательными изменениями микроструктуры из равновесного состояния в метастабильное - пересыщенную карбидо-боридную фазу.

Минимальные значения микротвердости наблюдали в покрытиях после переплава пламенем горелки. Это связано с тем, что структура покрытия в этом случае является равновесной глобулярной [2].

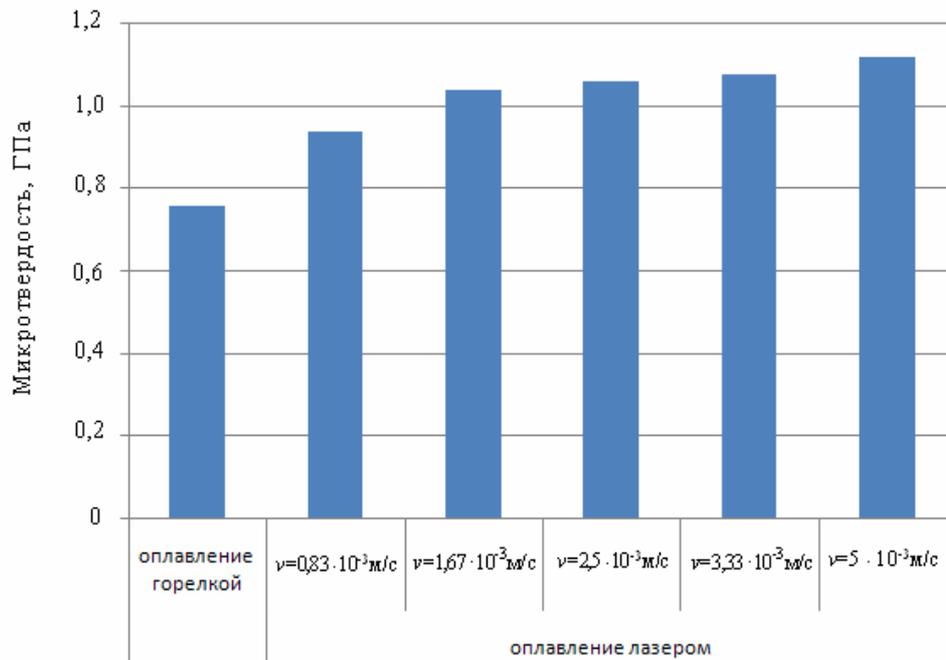


Рис. 1. Микротвердость покрытий после оплавления в пламени горелки и лазерного оплавления без легирования

Результаты анализа влияния технологических режимов получения покрытий после оплавления в пламени газовой горелки и лучом лазера при скорости сканирования

$v = 3,33 \cdot 10^{-3}$  м/см/с в условиях их работы со смазочным материалом для средних значений коэффициентов трения показаны на рисунке 2. При этом скорость стабилизации износа покрытий обеспечивается достаточно высокой их микротвердостью (рисунок 1). Как видно из рисунка 2 по сравнению с покрытием, оплавленным газовой горелкой, при лазерном переплаве покрытий без легирования коэффициент трения снижается незначительно. Коэффициент трения снижается также при наличии смазки.

Анализ влияния технологии нанесения покрытий и смазки на весовой износ для покрытий, обработанных пламенем горелки и лазером на скорости сканирования  $3,33 \cdot 10^{-3}$  мм/с приведены на рисунке 3. В случае переплава пламенем горелки использование смазки имеет небольшое преимущество. В случае лазерного переплава степень весового износа не изменяется для различных условий смазки.

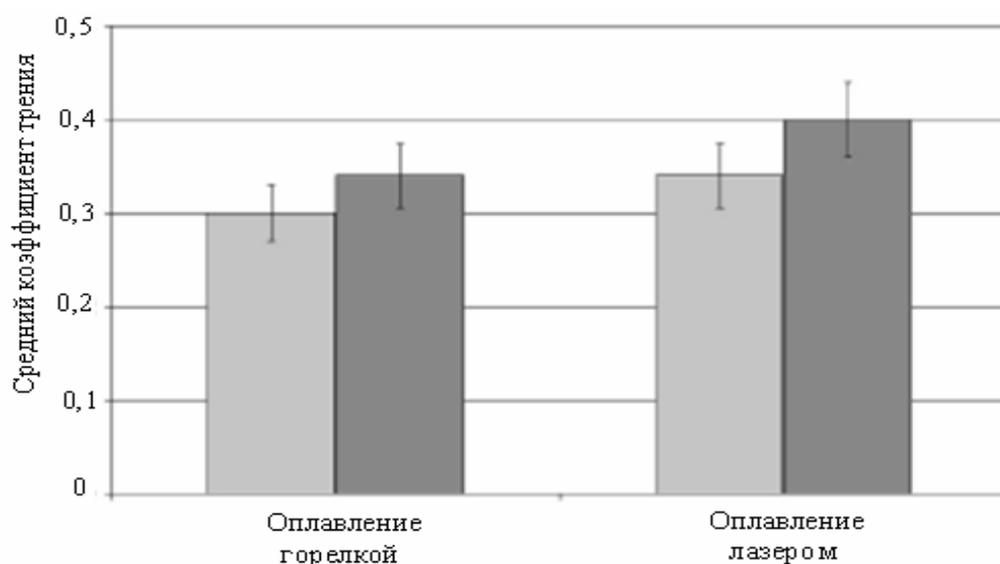


Рис. 2. Средние коэффициенты трения в зависимости от технологии обработки покрытия и условий смазки

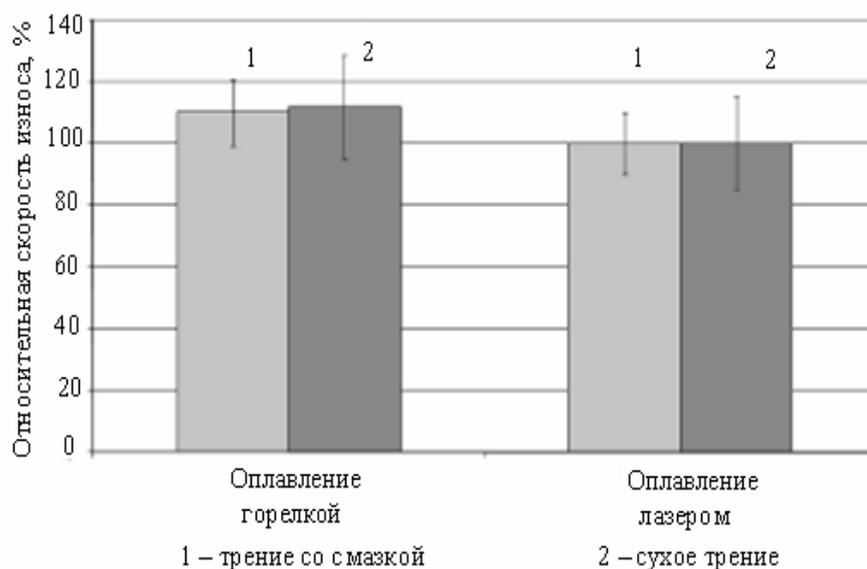


Рис. 3. Относительные темпы весового износа в зависимости от технологии обработки покрытия и условий смазки

**Выводы.** При оплавлении покрытий пламенем горелки покрытие находилось в расплавленном состоянии и охлаждалось достаточно долго, что и привело к получению равновесной глобулярной структуры. Микротвердость покрытий составляла 7,8 ГПа.

Лазерное оплавление, особенно на повышенных скоростях, приводит к образованию метастабильных, а следовательно, и более твердых микроструктур.

Микротвердость покрытия после лазерного оплавления увеличивается с 9,4 при  $v = 0,83 \cdot 10^{-3}$  мм/с до 11,2 ГПа при  $v = 5 \cdot 10^{-3}$  мм/с.

Лазерный переплав вызывает в среднем незначительное снижение коэффициентов трения, а также относительную скорость износа покрытия. Относительная величина скорости износа не изменяется при различных условиях смазки после лазерной обработки. Однако в случае оплавления пламенем горелки использование смазки имеет небольшое преимущество.

**Список литературы:** 1. Витязь, П. А. Основы нанесения износостойких, коррозионно-стойких и теплостойких покрытий / П.А. Витязь, А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов – Минск: – Беларуская навука – 2006. – 363 с. 2. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров / Под ред. А. Г. Григорьянца – М.: изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2006.– 664 с. 3. Fauchais, P. and Vardelle, A. (2012) ‘Thermal sprayed coatings used against corrosion and corrosive wear’, in Jazi, H. S. (Ed.): Advanced Plasma Spray Applications, pp.3–38, InTech, Rijeka. 4. Otsubo, F., Era, H. and Kishitake, K. (2000) ‘Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron’, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 9, No. 1, pp.107–113. 5. Akebono, H., Komotori, J. and Suzuki, M. (2006) ‘The effect of coating thickness on fatigue properties of steel thermally sprayed with Ni-based self-fluxing alloy’, International Journal of Modern Physics B, Vol. 20, No. 25, pp. 3599–3604 6. Дьяченко, О. В. Повышение физико-механических свойств газотермических покрытий системы Fe–Cr–B–Si лазерным легированием / О. В. Дьяченко // Инженерно-физический журнал. – 2003 г.–Т. 76, № 6. – С. 188–190.