

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА СКОЛОМ ПАР ТРЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НИЗКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

© 2010 М.П. Лебедев¹, Я.С. Семенов², С.П. Портнягин², А.В. Савинова²

¹ Институт физико-технических проблем Севера СО РАН

² Северо-восточный федеральный университет, г. Якутск

Поступила в редакцию 14.02.2010

Покрyтия, нанесенные стандартной технологией восстановления деталей, основанные на газоплазменном напылении, обычно подвержены износу сколом по двум основным причинам: из-за низкого качества обработки поверхности подложки; из-за высокой хрупкости наносимого покрытия. Особенно это проявляется при низких температурах. Нами предложена технология, устраняющая вышеназванные недостатки. Лазерное оплавление повышает сцепление покрытия с подложкой, снижая значение чистоты обработки подложки и, вместе с тем, легируя переходный слой смешиванием, и устраняет износ по первой причине. Используемые порошковые материалы Ni-Cr-B-Si, Fe-C-Cr-V, нержавеющая сталь X18H9T содержат Ni, Cr, V, которые понижают критическую температуру вязкохрупкого перехода и должны снижать хрупкий износ сколом по второй причине.

Полученные результаты показывают, что примененная технология нанесения покрытия и исследованные порошковые материалы вызывают снижение износа при испытаниях на трение по схеме «диск по диску» с проскальзыванием и нагружением при температуре окружающего воздуха (-15С°). При этом не наблюдается откол от подложки и хрупкий износ сколом.

Ключевые слова: пары трения, износ сколом, пониженные температуры, порошковые материалы, технология лазерного оплавления

Большинство материалов в различных узлах машин и механизмов работают при трении в экстремальных условиях. В парах трения, как правило, возникают высокие контактные напряжения и их концентрации, большие скорости нагружения, значительные пластические деформации и, как следствие, износ сопряженных поверхностей. При этом механические, физические, химические и другие проявления трения определяют в основном работоспособность, ресурс, экономичность, безопасность и эксплуатационные характеристики машин, механизмов и горнодобывающих агрегатов. Роль вышеназванных проявлений трения существенно возрастает, если силовые воздействия имеют вид циклического или ударного нагружения, а температура эксплуатации понижается. Именно в таких условиях работает подавляющее большинство строительной, горнодобывающей и

другой техники, особенно в условиях Крайнего Севера, где период низких климатических температур составляет значительное время и возникает так называемый «пусковой период» - период времени от старта пар трения при низких температурах до температуры рабочего состояния. Изнашивание в этих условиях характеризуется сколом, как разновидностью хрупкого изнашивания, что связано с повышенной хрупкостью материала при понижении температуры. Поэтому в работе [1] рекомендовано использовать в качестве легирующих элементов для материалов на основе железа элементы с заполненными *np*-, *nd*-и *nf*-электронными оболочками или элементами с большой длиной химической связи.

Цель работы – разработать технологию снижения изнашивания сколом в «пусковой период» при низких температурах.

Методика исследований. При плазменном напылении металлов из-за неполного оплавления их частиц смешивание легирующих элементов с подложкой и в покрытии происходит неравномерно. При получении износостойких материалов легированных элементами с большой длиной химической связи или с заполненными *np*- *nd*- *nf*-электронными оболочками для работы

Лебедев Михаил Петрович, доктор технических наук, заместитель директора

Семенов Ян Семенович, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по науке. E-mail: yansemenov@mail.ru

Портнягин Сергей Павлович, доцент

Савинова Анастасия Васильевна, студентка

в «пусковой период» можно использовать лазерную технологию [2]. Основные методы и технологии при нанесении легирующих элементов на основу – это плазменное напыление порошков с легирующими элементами и последующим их лазерной обработкой (ЛО).

Методика получения износостойких материалов. Для получения образцов плазменных покрытий и последующей лазерной обработкой были выбраны порошок системы *Ni-Cr-B-Si* (ПГСП-4), (используется для восстановлений деталей техники), а также порошки системы *Fe-C-Cr-V* (ХВС), системы *Ni-Al* и порошок нержавеющей стали X18H9T. Известно [3-5], что *Ni*, *Cr*, *V* понижают критическую температуру вязкохрупкого перехода (хладноломкости) материала, поэтому применение порошков содержащих эти металлы представляется целесообразным. В качестве подложки использовали образцы из стали 3сп - в виде прямоугольной пластины размером 50x35x10 мм, разделенной предварительно на 6 частей пропилами для того, чтобы не повредить покрытия при последующей механической обработке. Исходные порошки обладали дисперсностью 60...100 мкм.

Лазерную обработку проводили CO₂-лазером ЛОК-3М, генерирующим в непрерывном режиме на воздухе излучение с длиной волны λ=10,6 мкм. Потери по мощности лазерного луча от каждой отражающей поверхности составляют 17%. Мощность лазерного излучения измеряли непосредственно на выходе лазерной установки. Оплавление поверхности осуществлялось движением лазерного луча по винтовой линии с постоянным шагом, обеспечивающим непрерывность обработки поверхности. Мощность лазерного излучения составляла 1,0 ÷ 1,9 кВт. По методике, описанной в работе [6], была проведена оценка влияния удельной энергии лазерного излучения *W* на глубину оплавления плазменных покрытий для разных материалов.

$$W = \frac{P}{F} \tau = \frac{4P}{3.14d_n} V^{-1}, \quad (1)$$

где $F = \pi d_n^2 / 4$, $\tau = d_n / V$, P – мощность лазерного излучения; d_n – диаметр лазерного луча; V – скорость перемещения лазерного луча; τ – время перемещения луча лазера на расстояние, равное диаметру луча.

Анализ зависимости глубины оплавления обработанных поверхностей от удельной энергии излучения показал (рис. 1), что для всех исследованных материалов с ростом удельной энергии глубина оплавления увеличивается.

При небольших значениях удельной энергии (<15 Дж/мм²) оплавления основы не происходит, а проплавляется только покрытие; на поверхности которого наблюдаются поры. Увеличение удельной энергии приводит к расплавлению металла подложки, происходит процесс легирования ее поверхности, изменяется химический состав и, соответственно, свойства формирующегося слоя. Глубина проплавления подложки зависит от материала покрытия и его толщины.

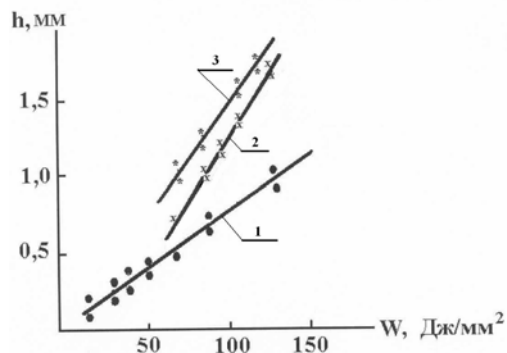


Рис. 1. Влияние удельной энергии лазерного излучения на глубину оплавления ($h = 0,3-0,4$ мм). 1 – ПГСП-4; 2 – ХВС; 3 – X18H9T

При ЛО напыленного слоя и части металлической подложки происходит их смешивание с последующим легированием. При этом коэффициент перемешивания включает параметры обработки – мощность излучения и скорость перемещения луча, отражающие объем или площадь расплава, а также толщину расплавленного слоя. Толщина предварительно наносимых слоев легирующих элементов составляла $0,2 \div 0,7$ мм. Коэффициент K перемешивания определялся на поперечных шлифах по результатам 3-7 измерений в различных частях при зафиксированной начальной толщине слоя легирующих элементов. Зависимость коэффициента перемешивания от удельной энергии достаточно хорошо описывается линейной зависимостью [7]. Коэффициента перемешивания вычисляли по формуле $K = 0,05 + 5,67W$ [8] (рис. 2).

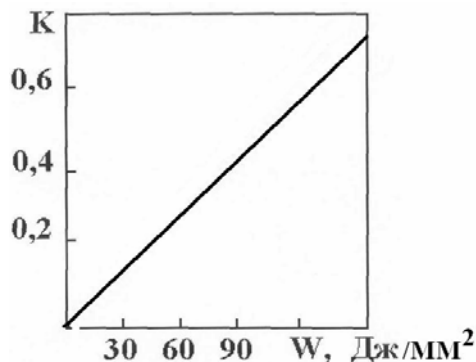


Рис. 2. Влияние удельной энергии лазерного излучения на коэффициент перемешивания (ПГСП-4)

Анализ методами стереометрической металлографии показал, что при увеличении удельной энергии лазерного излучения коэффициент перемешивания возрастает. Кроме того, при изменении коэффициента перемешивания содержание упрочняющих фаз для исследованных составов меняется в пределах от 20 до 35% (рис. 3.). Упрочняющие фазы имеют различную морфологию и могут иметь как округлую, так и овальную формы, в некоторых случаях они образуют сплошную сетчатую

структуру по границам кристаллитов, формируя, как бы упрочняющий каркас, что характерно для легированных слоев, получаемых с использованием шликерных покрытий. Таким образом, изменение коэффициента перемешивания приводит к изменению содержания упрочняющих фаз, их дисперсности, морфологическим изменениям структуры, что обуславливает свойства получаемых упрочненных поверхностных слоев.

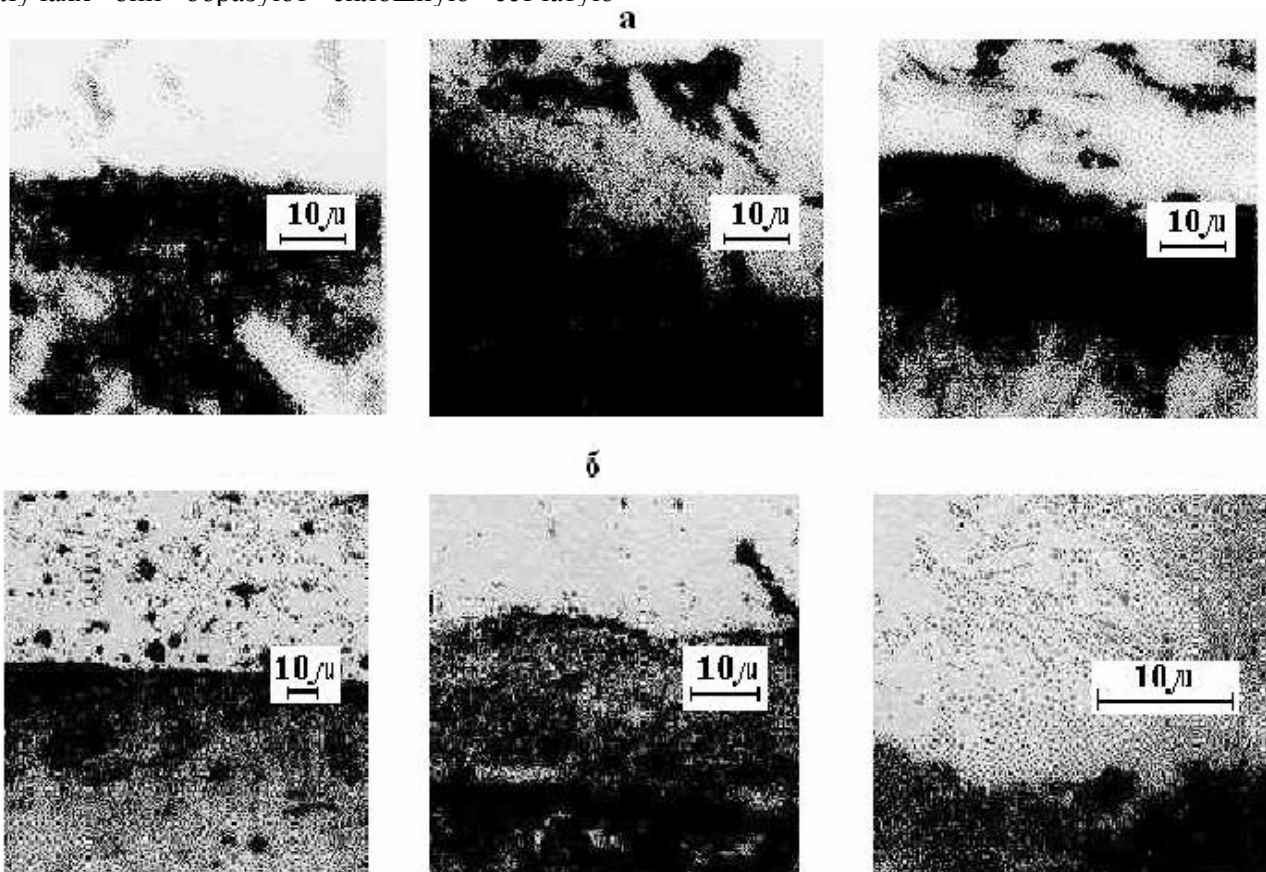


Рис. 3. Микроструктура материала в зоне оплавления:

а – напыленного слоя разной толщины (а – 0,2 мм; 0,5 мм; 1,0 мм); б – оплавленного слоя (не травленный шлиф); диффузионный слой в подложке; диффузионный слой в напыленном покрытии)

Были проведены испытания образцов с различными напыленными покрытиями на контактную износостойкость по схеме «диск по диску» с проскальзыванием и нагружением при температуре окружающего воздуха (-15°C) [8]. Перед испытаниями проводили приработку образцов на установке СМЦ-2 до исчезновения следов шлифования. В качестве контртела использовали ролик из инструментальной стали У8А ГОСТ-1435-74 (65 HRC). Через каждые 10^5 циклов испытаний ($\approx 5,5$ ч) измеряли износ покрытий с точностью ± 2 мкм на микроскопе УИМ-23. Испытания на скол покрытие-подложка проводилась следующим образом: контртело разгонялось до рабочей скорости, затем приводилось в соприкосновение с

покрытием: откола покрытия при температуре испытания (-15°C) не наблюдалось, также как и при положительных температурах. Видно (рис. 4), что лазерное оплавление, а также введение химических элементов *Ni*, *Cr*, *V* резко снижают износ, а также износ отколом покрытия от подложки. В качестве примера приведена зависимость износа покрытия от числа циклов для ПГСР-4.

Выводы: на основании результатов проведенных испытаний можно сделать вывод, что примененная технология нанесения покрытия и примененные порошковые материалы *Ni-Cr-B-Si*, *Fe-C-Cr-V*, нержавеющая сталь X18H9T снижают износ пар трения.

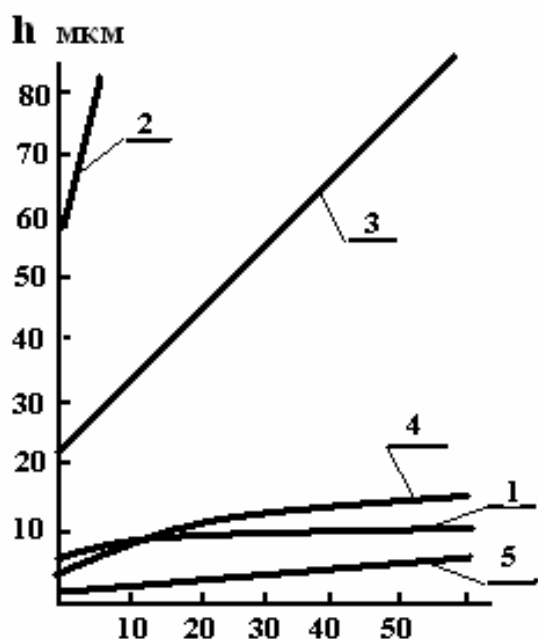


Рис. 4. Зависимость износа покрытия от числа циклов для ПГСР-4 с оплавлением: h – толщина покрытия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бузник, В.М. О «пусковом периоде» пар трений в условиях Крайнего Севера / В.М. Бузник, Я.С. Семенов, М.П. Лебедев // Трение и износ. – 2005, (26). -№2. – С. 191-196.
2. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. Ларионов, В.П. Механизм влияния легирующих элементов и температуры на вязкохрупкий переход бинарных сплавов железа / В.П. Ларионов, Я.С. Семенов // Докл. РАН. – 1994, (335). - №1. – С. 54-57.
4. Ларионов, В.П. Физические основы вязкохрупкого перехода низколегированных сталей и сплавов железа / В.П. Ларионов, Я.С. Семенов. – Новосибирск: Наука, 1992. – 172 с.
5. Семенов, Я.С. Влияние напряженного состояния на вязкохрупкое разрушение / Я.С. Семенов, С.Г. Касьянов // Технология и свойства материалов техники Севера. – Якутск, 1990. – С.44-50.
6. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л.: Машиностроение. – 1978.
7. Калинин, Б.Е. Повышение стойкости к распылению Ве, Fe, Си путем одновременного легирования их поверхностными атомами Al и Ti / Б.Е. Калинин, Н.В. Волков, С.В. Олейников // Физика и химия обработки материалов. – 2004. - №2. – С. 12-15.
8. Лебедев, М.П. Нагружающее устройство к машине для испытаний на трение и износ / М.П. Лебедев, В.В. Кончиц, Ю.Е. Кирпиченко // Патент №971105344/28 от 28.01.98

ABOUT ONE METHOD OF DECREASING THE SPALLING WEAR IN FRICTION PAIRS, WORKING AT LOW CLIMATIC TEMPERATURES

© 2010 M.P. Lebedev¹, Ya.S. Semyonov², S.P. Portnyagin², A.V. Savinova²

¹ Institute of Physico-technical Problems of the North SB RAS

² Northeast Federal University, Yakutsk

The coverings, put by standard technology of details recovery, based on flame spraying, are usually subject to wear by a spalling on two principal causes: because of low quality of substrate surfacing; because of high friability of applied covering. Especially it is manifested at low temperatures. We offer the technology, eliminating the above-named deficiencies. The laser flashing off increases the clutch of covering with substrate, reducing value of purity of processing the substrate and, at the same time, alloying the transition layer mixing, and eliminates wear for the first reason. Used powdered materials Ni-Cr-B-Si, Fe-C-Cr-V, corrosion-proof steel X18H9T contain Ni, Cr, V which downgrade critical temperature of visco-fragile хрупкого transferring and should reduce fragile spalling wear for the second reason.

The gained results show, that the applied technology of putting the covering and researched powdered materials call decrease of wear at tests for friction under the circuit diagram «a disk on a disk» with slippage and loading at temperature of ambient air (–15C). Thus it is not observed spalling from the substrate and fragile wear by a spalling.

Key words: *friction pairs, spalling wear, lowed temperatures, powdered materials, technology of laser flashing off*

Mikhail Lebedev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director

Yan Semyonov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Substituent of Dean on Science. E-mail:

yansemenov@mail.ru

Sergey Portnyagin, Senior Lecturer

Anastasiya Savinova, Student