

**Бобер М.В.,
Варченко В.Т.,
Аврамчук С.К.,
Волкогон В.М.**

Институт проблем материаловедения
им. И.Н. Францевича НАН Украины,
г. Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗНОСА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УПРОЧНЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Введение

Повышение долговечности пар трения, работающих в условиях фрикционного контакта, можно обеспечить путем формирования на рабочих поверхностях функциональных покрытий [1]. Электрофизические методы (плазменная и лазерная обработка, электроискровое легирование) являются одними из наиболее эффективных путей поверхностного упрочнения деталей, когда изменение свойств материала происходит под воздействием высококонцентрированных потоков энергии [2]. В Институте проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины для увеличения срока службы рельсового транспорта разработан метод поверхностного упрочнения рельс [3, 4] и конструкция оборудования для его реализации [5, 6], в основу которого положено действие мощного электрического разряда в результате которого на обрабатываемой поверхности формируется нерегулярный микрорельеф с измененными структурой и свойствами [7, 8]. Последнее обусловлено сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения, контактом ювенальных поверхностей друг с другом и с элементами окружающей среды в условиях импульсного воздействия высоких температур и давлений, высокой скоростью диффузионных процессов. В микрообласти действия электрического импульса, по данным металлографического анализа, содержится значительное количество высокодисперсных карбидов. Такая структура аналогична структуре материалов построенных по правилу Шарпи и при работе на истирание, которое имеет место при фрикционном контакте пары «рельс-колесо», должна обеспечивать высокую износостойкость [9], что и нашло подтверждение результатами испытаний трамвайных рельс в реальных условиях эксплуатации [10]. Представляет интерес как изменяются триботехнические характеристики неупрочненных поверхностей и упрочненных обработкой импульсным электрическим разрядом по мере их изнашивания и изучению этого вопроса посвящено настоящее исследование.

Методика эксперимента и исследований

В качестве объекта исследований была выбрана рельсовая марганцовистая сталь М76 после обкатки в условиях эксплуатации в состоянии поставки и упрочненная воздействием мощного импульсного электрического разряда с плотностью кратеров на поверхности 55 - 65 %. Упрочнение образцов воздействием мощного электрического разряда ($I = 50 - 100$ А, $U = 25 - 40$ В) осуществляли одноименным стальным электродом из стали 65Г для исключения влияния на процессы кристаллизации возможного образования новых химических соединений или твердых растворов. Из указанных рельсов вырезали фрагменты головки (рис. 1).

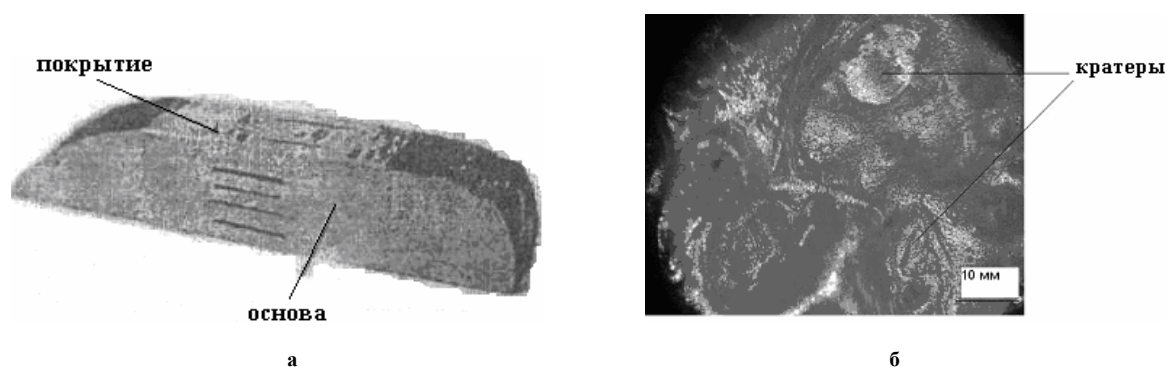


Рис. 1 – Общий вид фрагмента рельса из стали М76 для исследований (а)
и его поверхности после обработки импульсным электрическим разрядом (б)

Изучение триботехнических свойств неупрочненных и упрочненных образцов рельса осуществляли на машине трения М-22М по схеме сопряжения «вал-плоскость», используя контртело из стали Р18 (HRC 60...63) при скорости скольжения $V = 1$ м/с под внешней нагрузкой $P = 10$ кг со смазкой (ин-

дустриальное масло И-20). Нагрузка циклическая – 5 циклов в течение 30 с. После каждого циклического нагружения измеряли ширину и длину пятна контакта образца по которым рассчитывали площадь его контакта $S_{сред}$, определяли коэффициент трения f , а также производили взвешивание образца с целью определения потери его массы в процессе трения.

По данным измерений глубины пятна контакта и длины дуги сегмента выработки образца рассчитывали объем выработанного материала и определяли темп износа материала образцов. После каждого проведенного определения триботехнических характеристик образцов производили снятие их поверхностного слоя на глубину 15 - 20 мкм и эксперименты повторяли, фиксируя все указанные выше показатели. Послойное снятие испытуемых образцов производили на глубину измененного слоя образца упрочненного действием электрического разряда, который согласно [8] составлял 120 мкм. Кроме того, определяли триботехнические характеристики образцов при снятии слоя на глубину 0,5 мм и 1 мм. Такая методика позволила смоделировать динамику износа и характер изменения триботехнических свойств упрочненных и неупрочненных рельс в процессе их эксплуатации. Следует отметить, что в процессе эксплуатации неупрочненных рельс в результате наклепа их поверхностные слои претерпевают структурные изменения, которые влияют на силу трения и интенсивность изнашивания [11, 12]. Структура рельса состоит из нескольких слоев, верхний из которых, так называемый, «белый травленный», находится в наноструктурном состоянии [13] и характеризуется повышенной хрупкостью и значительным количеством трещин. Его толщина составляет порядка 40 мкм и ниже его находится слой толщиной порядка 60 - 70 мкм с другой микроструктурой и меньшей величиной твердости. Это обстоятельство может оказывать существенное влияние на триботехнические характеристики рельс по мере их изнашивания.

Обсуждения результатов исследования

На рис. 2 приведен график износа материала образцов рельс упрочненных действием электрического разряда (1) и неупрочненных (2) образцов рельс по глубине снятия поверхностного слоя h (мкм).

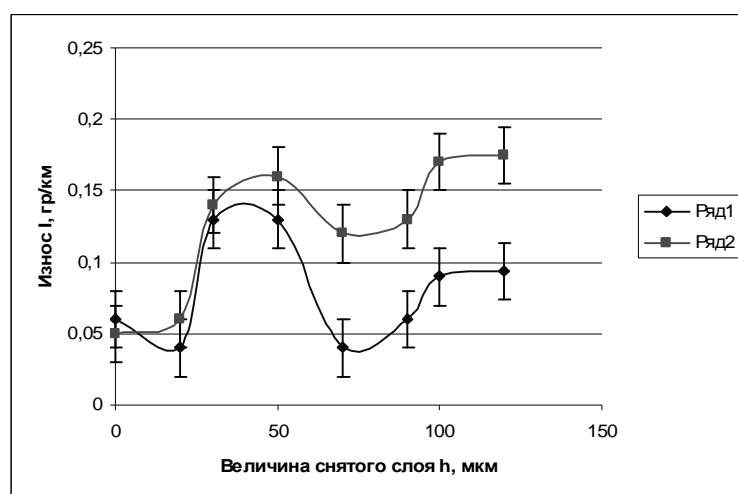


Рис. 2 – График износа материала образцов рельс упрочненных действием электрического разряда (1) и неупрочненных (2)

В первоначальный момент износ упрочненного образца несколько выше – это обстоятельство можно объяснить тем, что в данном случае износу подвержен «белый слой» образующийся в процессе электроимпульсной обработки, который по данным растровой электронной микроскопии характеризуется наличием дефектов в виде трещин (рис. 3).

Увеличение износа материала образцов по глубине соответствует изменению их твердости, которая снижается в направлении от поверхности к основе (рис. 4), и обусловлена структурным состоянием их поверхностного слоя.

Повышение износа по глубине упрочненного образца может быть связано с наличием трещин, которые хорошо видны в «белом слое» и распространяются вглубь измененного слоя (рис. 3).

Хрупкое разрушение этого слоя может способствовать увеличению износа. На глубине порядка 30 мкм происходит стабилизация износа, а после снятия 50 мкм заметно его снижение обусловленное, по видимому, с одной стороны, полным удалением дефектов, а с другой стороны, обнажением износостойких дискретных участков с измененной структурой, образовавшихся при воздействии импульсного электрического разряда.

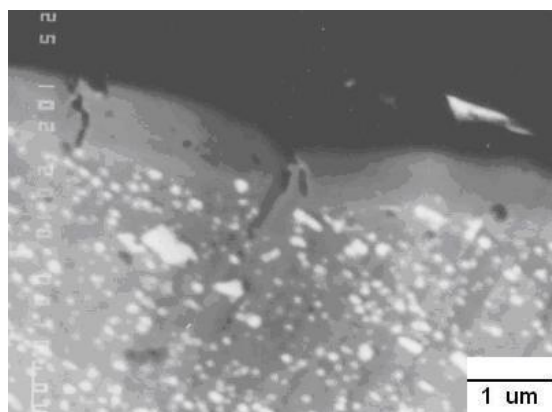
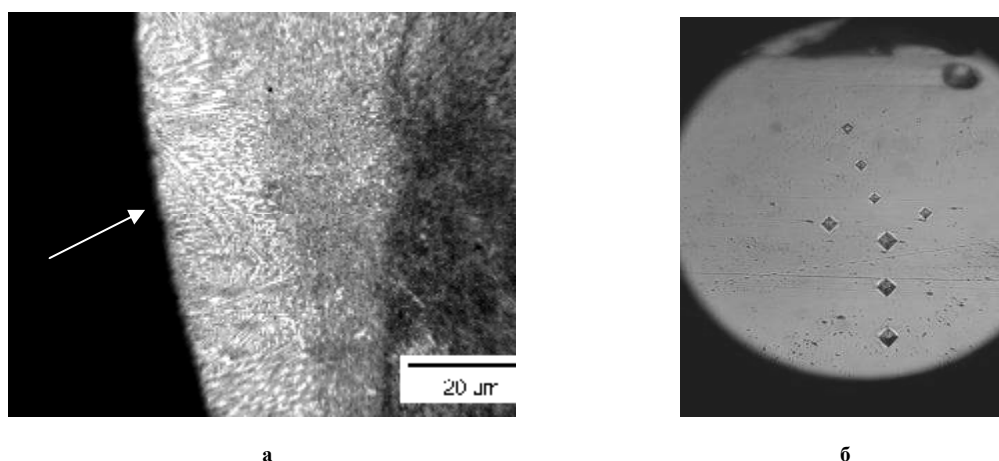


Рис. 3 – РЭМ-изображение микроструктуры поверхности образца, упрочненной действием электрического разряда



а

б

Рис. 4 – Микроструктура (а) и характер распределения твердости (б) по поверхности измененного слоя образца после воздействия импульсным электрическим разрядом

Примечательно, что линейное увеличение изнашивания неупрочненного образца наблюдается на глубину порядка 40 - 50 мкм т.е. глубину, которая соответствует толщине дефектного хрупкого наклепанного слоя, после чего имеет место снижение износа до глубины 72 - 80 мкм и в дальнейшем изнашивание образца менее интенсивно.

Для упрочненного образца на глубине 72 - 80 мкм, которая соответствует пограничной области между беспористым слоем обогащенным углеродом, и пластичной переходной зоны термического влияния (рис. 4, а), износ материала также существенно снижается практически до первоначального значения и при дальнейшем снятии материала износ снова начинает увеличиваться уже по следующему слою упрочнения, аналогично неупрочненному образцу, однако величина износа значительно меньше. Увеличение износа упрочненных образцов на глубине пластической переходной зоны термического влияния может быть связано с уменьшением сплошности сформированного в процессе электроимпульсной обработки микрорельефа при послойном снятии материала образцов, поскольку в исходном состоянии сплошность покрытия кратерами от электрических разрядов была выбрана оптимальной для износостойкости.

На глубине 120 мкм износ упрочненных образцов почти в 2 раза меньше чем неупрочненных образцов.

По глубине для обоих видов образцов наблюдается также увеличение коэффициента трения, причем более заметно этот эффект проявляется у неупрочненных образцов (рис. 5).

Если в начальный момент коэффициент трения для неупрочненного f_n и упрочненного f_y образцов составляет 0,055 и 0,08, соответственно, то на глубине 18 мкм они уже одинаковы и в дальнейшем увеличение коэффициента трения для неупрочненного образца по глубине происходит более интенсивно, в то время как для упрочненного образца оно имеет практически линейный характер. И только на глубине 120 - 130 мкм этот показатель для обоих образцов имеет одно и то же значение.

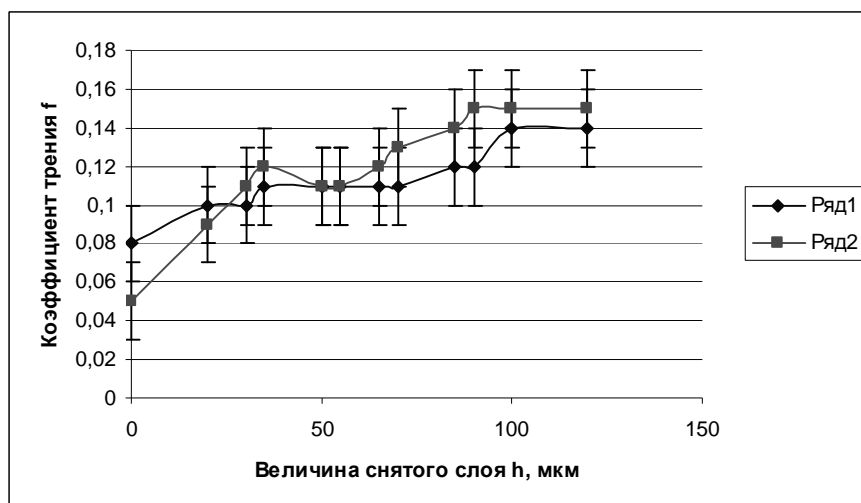


Рис. 5 – Изменение коэффициента трения образцов при послойном снятии материала:
1 – упрочненный образец;
2 – неупрочненный образец

Темп износа материала по глубине для исследованных образцов также существенно отличается (рис. 6).

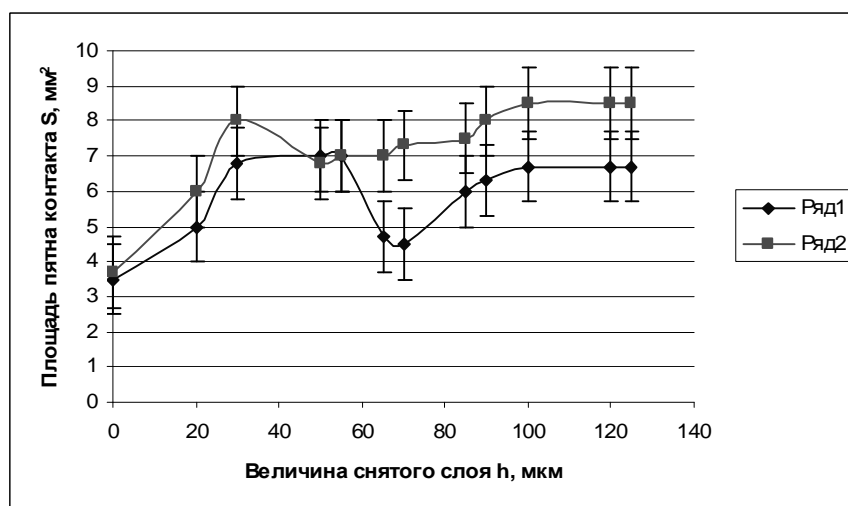


Рис. 6 – Темп износа материала образцов по глубине снятого слоя:
1 – упрочненный образец;
2 – неупрочненный образец

Кривые темпа износа образцов по глубине снятого слоя имеют одинаковый характер отличаясь лишь начальным этапом для упрочненного образца, связанным с износом «белого слоя», о чем упоминалось ранее. На глубине 120 мкм темп износа неупрочненных образцов в 2 раза выше в сравнении с упрочненными образцами, что хорошо согласуется и с результатами сравнительных испытаний износостойкости трамвайных рельс в реальных условиях эксплуатации [10].

На глубине 500 мкм темп износа неупрочненных образцов составляет 0,035 гр/км, в то время как этот показатель для упрочненного образца составляет 0,008 гр/км, а на глубине 1000 мкм темп износа обоих образцов выравнивается и составляет 0,031 гр/км. Детальный анализ состояния поверхности образцов после снятия материала на глубину 500 мкм свидетельствует о том, что на неупрочненных образцах присутствует значительное количество усталостных трещин, в то время как на упрочненных образцах их практически нет. На глубине 1000 мкм наличие трещин на обоих образцах не обнаружено.

Таким образом, проведенные исследования показали, что нанесение покрытий мозаичного вида на рабочую поверхность рельс путем их обработки мощным импульсным электрическим разрядом, обеспечивают повышение их трибологических характеристик на протяжении всего процесса изнашивания, при этом, износостойкость снижается от поверхности по глубине измененного слоя материала в 2 раза.

Литература

1. Волкогон В.М., Карюк Г.Г., Антонюк В.С. Эффективность и перспективы применения функциональных покрытий в технике // Вісті Академії інженерних наук України. Серія машинобудування та прогресивні технології. – 2000. – № 4. – С. 4-10.
2. Верхотуров А.Д., Муха И.М. Технология электроискрового легирования. – К.: Техника, 1982. – 182 с.
3. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Стрелец Е.В. Формирование упрочняющих покрытий под действием мощного электрического разряда // Матер. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий», 24-26 мая 2004 г. – С. 48-51.
4. Патент №84770, Україна, МПК В23Н 9/00, С23С 4/00. Спосіб нанесення зносостійких покриттів / В.С. Антонюк, В.М. Волкогон, О.С. Кліманов, С.К. Аврамчук, О.Б. Сорока, А.В. Кравчук, М.В. Бобер. – Заяв. 21.12.06. Опубл. 21.11.2008. – Бюл. № 22.
5. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кліманов О.С., Кравчук А.В., Бобер М.В. Розробка конструкції устаткування для зміцнення поверхонь рейок дією потужного імпульсного електричного розряду // Зб. наук. ст. „Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”. – К.: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. – 2009. – С. 429-435.
6. Патент №50658, Україна, МПК В23Н 7/26. Роторна електродна головка для формування зносостійких покриттів / В.М. Волкогон, С.К. Аврамчук, О.С. Кліманов, А.В. Кравчук, М.В. Бобер. – Заяв. 14.10.2009. Опубл. 25.06.2010. – Бюл. № 12.
7. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Бобер М.В., Павличук Т.В. Влияние материала электрода на структуру и свойства поверхностного слоя сталей после воздействия импульсного электрического разряда большой мощности // Матер. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий», 29-31 мая 2007 г. – С. 33-38.
8. Особливості формування топографії і структури зносостійких покриттів мозаїчного типу дією імпульсного електричного розряду / М.В. Бобер, В.М. Волкогон, С.К. Аврамчук, Н.Г. Палагута, А.О. Скринька // Доповіді НАН України. – 2011. – № 1. – С. 70-75.
9. Бобер М.В., Аврамчук С.К., Волкогон В.М. Зносостійкість марганцевої сталі М76 з дискретними покриттями сформованими дією імпульсного електричного розряду // Матер. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий». – К.: АТМ України, 2008. – С. 23-28.
10. Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Павличук Т.В., Бобер М.В. Особенности и эффективность упрочнения рельс действием мощного импульсного электрического разряда // Сб. докл. Междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы физики твердого тела». Т. 3. – Минск: Изд. центр БГУ. – 2007. – С. 422-425.
11. Lojkowski W., Milman Y.V., Chugunova S.I., Goncharova I.V., Djahonbakhsh M., Burkle G., Fecht H.J. The mechanical properties of the surface layer on railway rails // Mater. Sci. Eng. – 2001. – A 303. – P. 209-215.
12. Baumann G., Knothe K., Fecht H.J. Surface modification, corrugation and nanostructure formation of high speed railway tracks // Nanostructure Materials. – 1997. – 9. – P. 751-754.
13. Lojkowski W., Djahonbakhsh M., Burkle G., Gierlotka S., Zielinski W., Fecht H.J. Formation of nanocrystalline iron carbon alloy on the surface of railway rails // Mater. Sci. Eng. – 2001. – A 303. – P. 197.

Надійшла 24.04.2012