

В. И. ЗЕЛЕНИН, П. М. КАВУНЕНКО, В. В. ТИСЕНКОВ, В. М. ТЕПЛОК,  
М. А. ПОЛЕЩУК (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, Киев),  
В. Д. ЛЕБЕДЬ, В. И. ЛИПСИЙ (ГП ПКТЬ ЦВ УЗ, Киев),  
С. В. БОНДАРЕВ, С. А. ГАВРИЛОВ, Н. Т. ОЛЬГАРД, С. А. ЧЕБУРОВ (ГП «УкрНИИВ»,  
Кременчуг)

## **ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ОСЕЙ ВАГОНОВ ТИПОВ РУ1 И РУ1Ш КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ШЕЕК И ПОДСТУПИЧНЫХ ЧАСТЕЙ**

Представлено метод відновлення шийок та підматочинних частин осей колісних пар вантажних вагонів за допомогою плазмово-дугової металізації, а також наведено результати стендових випробувань на втому з рекомендованим терміном експлуатації відновлених осей.

Представлен метод восстановления шеек и подступичных частей осей колесных пар грузовых вагонов при помощи плазменно-дуговой металлизации, а также изложены результаты стендовых испытаний на усталость с рекомендуемым сроком эксплуатации восстановленных осей.

The restoration method for the journals and wheel seats of the freight wagon wheelsets by means of plasma-arc metallization is presented and the results of the bench fatigue tests with the advisable operation life of the axles restored are given.

На железнодорожном транспорте имеется несколько десятков тысяч колесных пар, оси которых отбракованы по причине наличия дефектов шеек и подступичных частей осей: это их износ, задиры, риски, наклеп на шейке.

Восстановление таких осей дает возможность повторного их использования, что может принести значительный экономический эффект.

Материалом для вагонных осей служит углеродистая сталь марки ОСВ (ГОСТ 4728-96) с содержанием углерода 0,38...0,47 %, обладающая высокой износостойкостью и контактно-усталостной прочностью.

Успешное восстановление осей колесных пар проводят в Германии, Швеции, Румынии, России и других странах [1 – 4].

В ИЭС им. Е. О. Патона и ПКТЬ ЦВ УЗ была разработана новая технология плазменной металлизации в инертной среде.

Техника напыления таких покрытий отличается тем, что распыление производится плазменной дугой в аргоне токоведущей проволоки-анода, служащей исходным материалом для образования слоя покрытия с одновременной механической обработкой покрытия специальным щеточным устройством, очищающим покрытие от окислов и частиц, попадающих на покрытие под большим углом.

В работе для напыления покрытий применяли аргонодуговой плазматрон с вольфрамовым

катодом и воздушным охлаждением. Поджиг осуществлялся на промежуточный анод охлаждаемым воздухом, формирующим струю плазмы. После поджига потенциал перебрасывался на распыляемую проволоку. Использование проволоки в качестве распыляемого анода повышает КПД процесса, т.к. энергия плазмы идет на распыление проволоки и создание покрытий, а не на нагрев плазматрона. Катод находится в аргоне, что увеличивает его стойкость.

Поток аргоновой плазмы аксиально обдувается по окружности потоком воздуха, одновременно охлаждающим плазматрон, что качественно влияет на форму и состав плазмы.

Подбирался режим обдуваемого потока таким образом, чтобы давление в плазменном потоке было равным давлению обдуваемого воздуха. Создавались условия, когда контуры видимого конуса исходящей плазмы становятся почти параллельными, что говорило о незначительном смещении плазмы с охлаждающим воздухом.

В связи со значительной разницей температур потока плазмы и аксиально-исходящего воздушного потока, смешивания потоков не наблюдается. Предположительно, из-за высокой скорости истекаемого потока зона с максимальным содержанием аргона распространяется на значительную длину до 150...200 мм, что

позволяет нам вести в ней напыление без значительного окисления.

На рис. 1 приведен расчетный вид плазменной струи: (а) – без обдува, (б) – с обдувом воздухом [1].

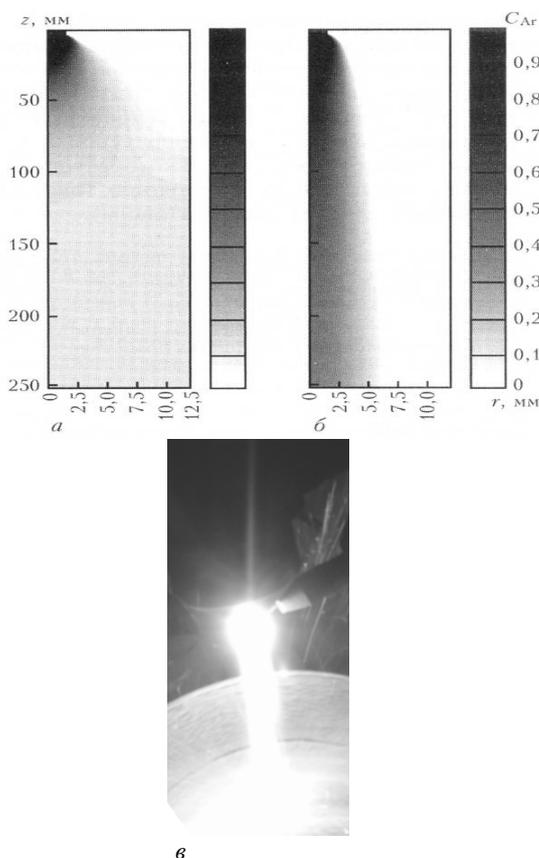


Рис. 1. Распределение относительной концентрации аргона в плазменной струе, истекающей в воздушное пространство без обдува (а), с обдувом (б), истечение плазмы (в)

На рис. 1в показан вид реально истекающего потока плазмы такого типа, полученного для нанесения покрытий.

Полученные данные хорошо коррелируют с данными, полученными на расчетных моделях (рис. 1а, б) [1].

В качестве материала для покрытий использовались проволоки из стали марок 65Г, 70, 20Х, 30 ХДС и порошковые проволоки.

Предложенная технология позволяет снизить пористость в покрытиях до 2...5 %, а также исключить окислы и увеличить сцепление получаемого покрытия с подложкой до 40...60 НМ. На рис. 2 приведены микроструктуры покрытий, полученных плазменно-дуговой металлизацией проволокой из стали 65Г, не наблюдается пористости, окислов и др. дефектов.

Твердость получаемых покрытий составляла 30...35 HRC, что соответствует нормативной документации.

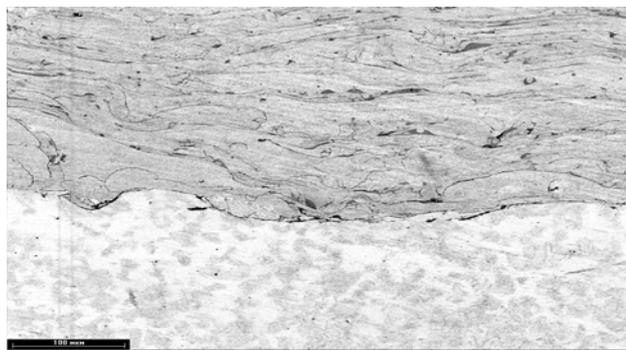


Рис. 2. Микроструктура покрытия из стали 65Г, полученного нанесением плазменно-дуговым методом

Получаемые покрытия по механическим свойствам и химическому составу приближаются к осевой стали марки ОСВ (ГОСТ 4728-96).

На рис. 3 представлен общий вид установки КТ-088 для восстановления шеек и подступичной части осей колесных пар, разработанной и изготовленной ИЭС им. Е. О. Патона и ПКТБ ЦВ УЗ.



Рис. 3. Общий вид установки для восстановления шейки и подступичной части оси колесной пары методом плазменно-дуговой металлизации КТ-088

Установка представляет собой плазмотрон с источником тока и шумопоглощающую камеру с закрепленной в ней осью.

Напыление производится плазмотроном с воздушным охлаждением, при мощности 14...16 кВт в среде аргона значительно увеличивает срок службы сопла плазмотрона (более 100 часов) (рис. 4).

Перед металлизацией восстанавливаемые поверхности оси протачиваются до необходимого размера, упрочняются накатыванием, обезжириваются и дробеструятся металлической дробью ДЧК-1-3.

После нанесения покрытий толщиной более 2 мм на ось ее подают на механическую обработку.



Рис. 4. Процесс плазменно-дуговой металлизации шейки оси

В табл. 1 приведены примеры данных замеров твердости после напыления партии осей проволокой из стали марки 65Г шеек осей типа РУ-1, РУ-1Ш.

Таблица 1

**Данные замера твердости осей  
после напыления**

№ п/п	Тип оси	№ оси	Среднее значение твердости поверхности шейки (НВ)	
			правая	левая
1	РУ1Ш	42097	343	358
2	РУ1Ш	52073	319	305
3	РУ1Ш	42827	312	344
4	РУ1	49764	387	376

Примечания:

1. Шейки осей после напыления шлифованы до альбомных размеров.

2. Замеры твердости поверхности каждой шейки проводились в 5 точках твердомером ТДМ-1.

Внешний осмотр и металлографические исследования контрольных образцов подтвердили удовлетворительное состояние покрытия на шейках осей, приведенных в качестве примера.

Напрессовку и распрессовку колес на подступичную часть вышеуказанных осей производили на Дарницком ВРЗ по стандартной технологии. Усилие запрессовки согласно диаграмме составляло от 63 до 80 т в зависимости от величины натяга. Распрессовка проводилась по прошествии недельного срока. Внешний осмотр подступичной части оси показал удовлетворительное состояние их поверхности. Они не имели рисок, сколов и трещин.

Преимущества разработанной технологии восстановления шеек и подступичной части оси:

- процесс ПДМ не снижает прочностных свойств восстанавливаемой детали (нагрев изделия не более 200 °С) и не влияет на их механические свойства;
- не вызывает деформации восстановленной детали;
- позволяет наносить покрытие толщиной от 0,1 до 20 мм;
- пористость не более 2...4 %;
- высокая стабильность процесса напыления (ресурс формирующей плазменной дуги сопла и катода плазматрона не менее 100 ч машинного времени).

Проведенные научно-исследовательские работы позволяют применить плазменно-дуговую металлизацию на предприятиях вагонного хозяйства «Укрзалізниці».

Дальнейшее испытание осей предприятием ГП «УкрНИИВ» подтвердили полученные результаты.

Испытания на усталость осей проводились согласно согласованной и утвержденной ПМ 07.00307-2007 «Оси с восстановленными шейками и подступичными частями (типы РУ1 и РУ1Ш). Программа и методика испытаний на усталость» на гидропульсаторном стенде ЦДМ-200Пу.

Перед проведением испытаний разрезанные образцы осей были оснащены тензорезисторами для настройки и контроля режима испытаний по их показаниям.

Схема нагружения образца оси с указанным местом расположения тензорезисторов представлена на рис. 5. Образец устанавливался на стенде на двух опорах. Нагрузка через специальный давяльник прикладывалась к подступичной части образца оси.

Расстояние между опорами  $L$  и место приложения нагрузки  $P$  выбирались руководствуясь возможностями испытательного оборудования и необходимостью гарантированного усталостного разрушения шейки оси в зоне галтели.

По результатам расчетов расстояние между опорами было принято 1000 мм, плечо приложения вертикальной нагрузки было принято равным 730 мм (см. рис. 5) от правой опоры, при этом вертикальная нагрузка не превышала 883 кН (90 тс).

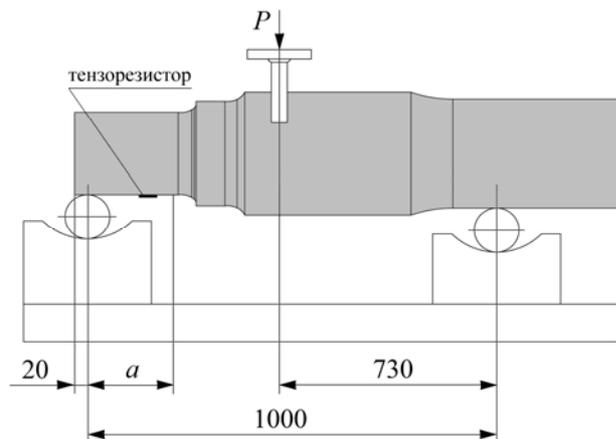


Рис. 5. Схема нагружения образца оси:  
 $P$  – вертикальная нагрузка;  $a$  – расстояние до опасного сечения

Испытания образцов на усталость проводились методом многократного циклического нагружения при асимметричном цикле и асимметрией цикла 0,1 на разных уровнях нагрузки.

Определение усталостных трещин производилось органолептическим методом (визуально) при помощи керосиновой пробы.

Все образцы были испытаны на пяти уровнях нагружения. Из них пять образцов осей типа РУ1 – на четырех уровнях, а четыре образца осей типа РУ1Ш – на трех уровнях.

Восемь образцов разрушились на галтельном переходе от шейки оси до предподступичной части. Один образец выдержал базовое количество ( $5 \cdot 10^6$ ) циклов нагружений без усталостных повреждений и разрушений. Вид излома разрушенного образца шейки оси представлен на рис. 6.

После испытаний определялись максимальные напряжения  $\sigma_{max}$ , МПа в зоне разрушения по формуле:

$$\sigma_{max} = 0,73 \frac{a \cdot P}{W},$$

где  $a$  – расстояние от опоры до места излома, мм;

$W$  – момент сопротивления шейки оси в месте излома, мм<sup>3</sup>.

Момент сопротивления шейки оси  $W$  определяли по формуле:

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32},$$

где  $D$  – диаметр шейки оси в месте излома, мм.

Предел выносливости осей в зоне галтели шейки при симметричном цикле нагружения составил:



Рис. 6. Вид излома разрушенного образца шейки оси

- для осей типа РУ1 – 167 МПа;
- для осей типа РУ1Ш – 189,5 МПа.

Учитывая небольшое количество образцов осей каждого типа для испытаний и различные года их изготовления, вероятностно-статистическая обработка была проведена по результатам испытаний всех образцов. Предел выносливости при этом составил 149,5 МПа.

Для новых деталей предел выносливости в зоне галтели шейки при симметричном цикле нагружения на базе  $5 \cdot 10^6$  циклов должен быть не ниже 195 МПа, что обеспечивает средний срок эксплуатации вагонных осей 15 лет в соответствии с требованиями ГОСТ 30237 [5].

Предел выносливости испытанных восстановленных осей составил 0,76 от нормативного значения для новых осей. Соответственно средний срок эксплуатации восстановленных осей нужно уменьшить на такую же величину, т.е. до 11,4 лет, но учитывая, что оси, которые будут восстанавливаться, были в эксплуатации разные сроки и имеют разные года изготовления, срок эксплуатации таких деталей рекомендуется установить в пределах 10 лет.

Все оси, которые подлежат восстановлению, должны проходить ультразвуковой контроль.

Определение увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки проводились на образцах, изготовленных из шейки и подступичной части оси № 217525, которая не испытывалась на усталость, в соответствии с требованиями «Технологической инструкции по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар вагонов» [6] и ГОСТ 2999 [7].

Увеличение поверхностной твердости  $\Delta$  (%) после накатки осей определяли по формуле:

$$\Delta = \frac{H_{пов} - H_{осн}}{H_{осн}} \cdot 100,$$

где  $H_{пов}$  – наибольшее значение твердости;

$H_{осн}$  – исходная твердость неупрочненного металла, которая определялась на одной из перпендикулярных к поверхности оси сторон на глубине 15...20 мм.

Результаты расчета увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки**

Контролируемые характеристики	Единицы измерения	Нормативная документация, которая содержит значения, требования к параметру (обозначение раздела, пункта, документа)	Значение параметра	
			по документации	фактически
1. Увеличение твердости после накатки в сравнении с исходной, не менее - шейки	%	«Технологическая инструкция по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар вагонов» [6], ГОСТ 30237 [5]	22	24,9
- подступичной части	%		22	29,6
2. Глубина упрочненного слоя - шейки	мм		2,6 ... 5,2	3,2
- подступичной части	мм		3,9 ... 7,8	4,0

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие **выводы**:

- по результатам испытаний на усталость осей типа РУ1 и РУ1Ш колесных пар грузовых вагонов с восстановленными шейками и подступичными частями по технологии плазменно-дуговой металлизации на базе  $5 \cdot 10^6$  циклов нагружения, предел выносливости в зоне галтели шейки составил 149,5 МПа, что составляет 0,76

нормативного значения (195,0 МПа) и соответствует среднему сроку эксплуатации 11,4 года;

- учитывая, что восстанавливаться будут оси разных сроков эксплуатации, разных типов и разных годов изготовления, рекомендуется срок эксплуатации восстановленных осей установить в пределах 10 лет;

- технология плазменно-дуговой металлизации шеек и подступичных частей осей колесных пар грузовых вагонов позволяет получать параметры увеличения поверхностной твердости и глубины упрочненного слоя после накатки, которые отвечают требованиям нормативной документации.

В настоящий момент согласно программе испытаний партия восстановленных осей проходит эксплуатационные испытания на замкнутом испытательном маршруте Роковатая – Ужгород – Кошице.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Восстановление шеек осей колесных пар напылением [Текст] / В. П. Кузьмин и др. // Ж.д. транспорт. – 2002. – № 1. – С. 46-49.
2. Технологическая инструкция И32-ВНИИЖ 0501/6-95 [Текст].
3. Влияние рода газа спутного потока на характеристики дуговой плазмы, создаваемой плазмотроном с проволокой – анодом [Текст] / М. Ю. Харламов и др. // Автоматическая сварка. – 2008. – № 6. – С. 19-24.
4. Кузьмин, В. П. Восстановление шеек осей вагонных колесных пар электродуговой металлизацией напылением [Текст] / В. П. Кузьмин, А. Н. Пурехов // Вестник ВНИИЖТ. – №1. – 2002. – С. 46.
5. ГОСТ 30237-96 Оси чистовые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия [Текст].
6. ТИ 32 ЦВ ВНИИЖТ-86 «Технологическая инструкция по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар вагонов» [Текст]. – М.: Транспорт, 1987.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.

Поступила в редколлегию 18.03.2009.

Принята к печати 26.03.2009.