

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ВЫСОКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ИЗНАШИВАНИЮ СХВАТЫВАНИЕМ

В.В. ОСИН

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

В ИЭС им. Е.О. Патона разработаны порошковые проволоки, обеспечивающие получение наплавленного металла с включениями сульфидов или графита, которые выполняют роль твердой смазки и препятствуют изнашиванию схватыванием. Сравнительные исследования термостойкости и износостойкости при трении металла по металлу при комнатной и повышенной температурах показали, что порошковая проволока ПП-Нп-20Х5М3ФС(С) может быть рекомендована для наплавки деталей, которые эксплуатируются в условиях повышенных механических нагрузок и умеренных циклических термических нагрузок. Порошковая проволока ПП-Нп-50Х9С3Г(С), обеспечивающая получение наплавленного металла с высоким сопротивлением схватыванию при комнатной температуре, может с успехом применяться для наплавки деталей тяжело нагруженных пар трения. Имеющая относительно невысокую стоимость, но требующая сложной технологии наплавки, порошковая проволока ПП-Нп-150С2Ю может найти ограниченное применение при наплавке деталей пар трения, эксплуатирующихся при высоких механических нагрузках, в том случае, если это будет оправдано экономически. Библиогр. 13, рис. 5, табл. 4.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковые проволоки, наплавленный металл, изнашивание схватыванием, износостойкость, термическая стойкость

Практически во всех отраслях народного хозяйства эксплуатируются машины и механизмы, в конструкции которых есть тяжело нагруженные пары трения. Это инструменты и оснастка для горячей и холодной обработки металлов давлением, различные ролики, валы, оси, шкивы, крановые колеса и т.п. Одной из основных причин выхода из строя этих деталей является изнашивание схватыванием (рис. 1) [1]. Этот вид изнашивания характеризуется процессами установления связей (узлов схватывания) между двумя поверхностями трения на молекулярном уровне и последующего механического разрушения этих связей. Б.И. Костецкий [2] предложил различать изнашивание схватыванием первого и второго рода. Изнашивание схватыванием первого рода наблюдается при трении скольжения с малыми скоростями и невы-

сокими температурами и удельными давлениями, а изнашивание схватыванием второго рода — при трении скольжения с высокими скоростями, большими удельными давлениями и повышенными температурами. Существующие наплавочные материалы, как правило, не обеспечивают получение наплавленного металла, стойкого против изнашивания схватыванием, и единственным способом борьбы с ним остается применение смазок.

В данной работе обобщен опыт им. Е.О. Патона по созданию порошковых проволок, которые обеспечивают получение наплавленного металла с включениями, которые выполняют роль твердой смазки и препятствуют изнашиванию схватыванием [3–6].

В качестве прототипов новых наплавочных материалов использовали стали, легированные се-

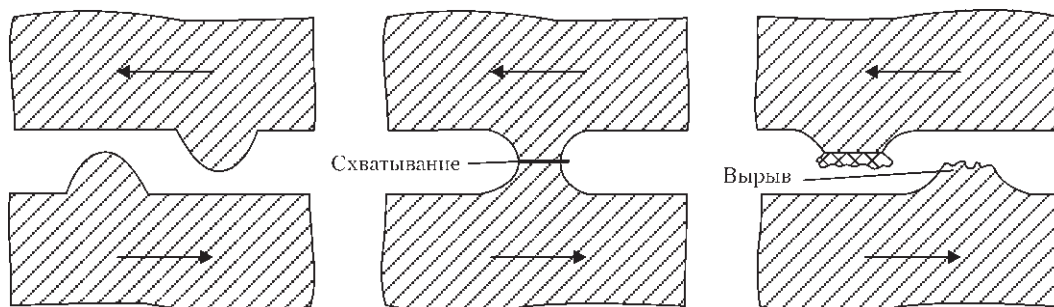


Рис. 1. Схема изнашивания схватыванием двух трущихся металлических поверхностей

Таблица 1. Оптимальный химический состав и твердость металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(S), ПП-Нп-50Х9С3Г(S) и ПП-Нп-150С2Ю

Марка порошковой проволоки	Массовая доля элементов, %							Твердость <i>HRC</i>
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Другие	
ПП-Нп-20Х5М3ФС(S)	0,25	0,63	0,92	4,72	2,98	0,54	0,78 S	44-46
ПП-Нп-50Х9С3Г(S)	0,64	0,55	2,65	9,25	-	-	0,70 S	56-58
ПП-Нп-150С2Ю	1,80	0,58	1,46	-	-	-	0,09 Al 0,02 Ca	41-44

рой, а также графитизированные стали. Известно, что в обоих типах этих материалов свободные включения сульфидов или графита улучшают обрабатываемость при механической обработке и снижают коэффициент трения [7–9].

В результате исследований разработано три порошковых проволоки, две из них обеспечивали получение наплавленного металла с включениями сульфидов (проволоки ПП-Нп-20Х5М3ФС(S) и ПП-Нп-50Х9С3Г(S)), а одна — с включениями графита (проволока ПП-Нп-150С2Ю).

Прототипом порошковой проволоки ПП-Нп-20Х5М3ФС(S) была известная проволока ПП-Нп-25Х5ФМС, которая широко применяется для восстановления и упрочнения инструментов для горячего деформирования [10]. Из легирующих элементов в этой проволоке основное внимание было уделено молибдену, который образует дисульфид MoS_2 . По данным работы [11] этот дисульфид обеспечивает наибольший эффект в качестве твердой смазки. Он имеет слоистое строение, эти слои достаточно прочны, но могут двигаться относительно друг друга, в результате чего достигается улучшение триботехнических характеристик пар трения.

Сталь 50Х9С3Г, известная под торговой маркой «сильхром», применяется для изготовления инструментов холодного деформирования металла, в частности, для штампов глубокой холодной вытяжки, а также для тяжело нагруженных деталей некоторых пар трения. Процесс эксплуатации этих деталей характеризуется минимальными термическими нагрузками при значительных механических нагрузках, и выходят они из строя чаще всего в результате изнашивания схватыванием первого рода. С учетом того, что термическая

стойкость сталей подобного типа минимальна, их применение в этих условиях вполне оправдано.

Для восстановительной наплавки штампов холодной вытяжки в ИЭС им. Е.О. Патона разработана порошковая проволока ПП-Нп-50Х9С3Г, обеспечивающая получение наплавленного металла по составу, аналогичному основному металлу [10]. В этой стали молибден отсутствует и чтобы не увеличивать стоимость порошковой проволоки, были проведены исследования возможности получения в наплавленном металле сульфидных включений других легирующих элементов, которые могут улучшить триботехнические свойства наплавленного металла этого типа [12].

Порошковая проволока ПП-Нп-150С2Ю обеспечивает получение наплавленного металла типа графитизированной стали. Применение таких материалов является одним из способов улучшения триботехнических характеристик деталей пар трения, при этом включения графита выполняют роль твердой смазки. Основная проблема при этом — обеспечение получения оптимального количества глобулярных включений графита без высокотемпературной термической обработки [6].

В табл. 1 приведены химический состав и твердость металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(S), ПП-Нп-50Х9С3Г(S) и ПП-Нп-150С2Ю.

Химический состав наплавленного металла и, соответственно, состав шихты проволок выбраны в соответствии с ранее проведенными исследованиями [4–6].

Эти исследования показали, что для обеспечения необходимых свойств наплавленного металла 20Х5М3ФС(S) и 50Х9С3Г(S) объемное содержание сложных сульфидов основных легирующих

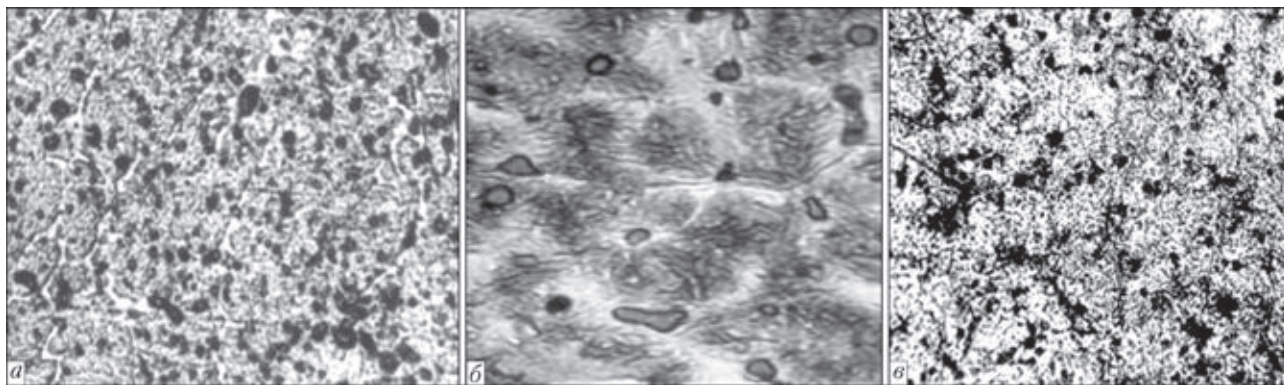


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла 20Х5М3ФС(S) (а), 50Х9С3Г(S) (б) и 150С2Ю (в); а, в — $\times 500$; б — $\times 1000$

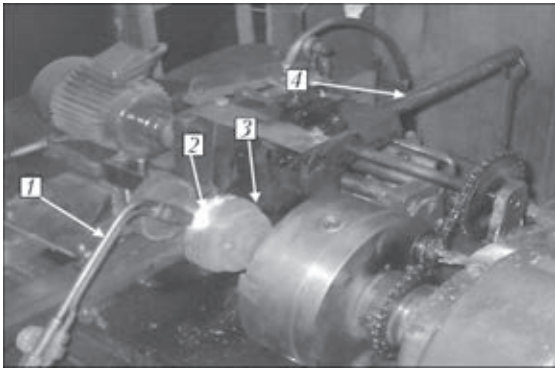


Рис. 3. Испытание износостойкости наплавленных образцов при повышенных температурах: 1 — газовый резак для нагрева истирающего кольца-контртела; 2 — истирающее кольцо-контртело; 3 — испытуемый образец; 4 — рычаг для подвески груза

элементов должно составлять 1,5...2,0 %, а их размеры не должны превышать 0,02 мм (рис. 2, а, б). Для выполнения этих условий содержание серы в наплавленном металле должно составлять 0,5...0,8 %, а суммарное содержание основных легирующих элементов (молибдена, хрома, ванадия, марганца) 8...10 % [4, 5].

Экспериментально было также определено объемное содержание в структуре наплавленного металла включений графита (1,0...1,3 %), которое обеспечивает минимальный износ наплавленного металла типа графитизированной стали 150С2Ю. Для получения такого количества графитных включений наплавленный металл должен содержать 1,35...1,50 % углерода, 1,5...2,0 % кремния, 0,1...0,2 % алюминия и 0,02...0,05 % кальция, наплавка должна проводиться с подогревом до 400° С и отпуском непосредственно после наплавки при этой же температуре [6]. Следует отметить, что именно такая температура предварительного подогрева необходима для того, чтобы избежать появления трещин в высокоуглеродистом наплавленном металле 150С2Ю. Структура наплавленного металла этого типа приведена на рис. 2, в.

Сравнительную оценку износостойкости наплавленного металла указанных типов при трении скольжения металла по металлу без смазки при комнатной температуре проводили на машине трения, описанной в работе [13]. Испытания проводили методом вытирания лунок по схеме «вал–плоскость» без дополнительной подачи смазки в зону трения. Вырезанные из верхних слоев наплавленного металла образцы для триботехнических испытаний имели размеры 3×17×20 мм. Изнашивание происходило по плоскости 3×20 мм. Контртело диаметром 40 мм и высотой 12 мм было изготовлено из закаленной стали 45 с твердостью HRC 42.

При испытаниях образца определяли износ наплавленного металла по объему вытертой лунки. Объем вытертой лунки на наплавленном образце рассчитывался по известным формулам по сред-

Таблица 2. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(С), ПП-Нп-50Х9С3Г(С) и ПП-Нп-150С2Ю, при комнатной температуре

Марка порошковой проволоки	Износ образца, мм ³ /м	Износ контртела, г/м
ПП-Нп-20Х5М3ФС(С)	0,0017	0,0046
ПП-Нп-50Х9С3Г(С)	0,0026	0,0035
ПП-Нп-150С2Ю	0,0020	0,0031
Эталон, сталь 45	0,0076	0,0037

нему значению ширины вытертой лунки при помощи инструментального микроскопа с погрешностью не более 0,01 мм. Суммарная погрешность определения износа образца не превышала 1 %. Износ контртела определяли по потере его массы с погрешностью не более 0,0001 г.

По результатам предварительных исследований выбрали следующий режим испытаний: скорость скольжения 1 м/с, нагрузка 30 Н, продолжительность испытания 600 с, который обеспечивал стабилизацию триботехнических характеристик всех исследованных образцов. Использование системы позиционирования позволило повторять испытания каждого образца не менее трех раз на новом участке поверхности трения образца и на новой дорожке трения того же контртела.

В табл. 2 приведены результаты оценки износостойкости трех типов наплавленного металла и эталона из закаленной стали 45 по одной и той же методике. Там же приведены данные по износу контртел из закаленной стали 45.

Как видно из приведенных данных, по уровню износостойкости исследуемые типы наплавленного металла можно расположить в такой последовательности (по убывающей): 20Х5М3ФС(С), 150С2Ю, 50Х9С3Г(С). Износостойкость контртел меняется следующим образом (в зависимости от контактирующего образца): 150С2Ю, 50Х9С3Г(С), 20Х5М3ФС(С).

Было проведено исследование износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(С) и ПП-Нп-150С2Ю, при трении металла по металлу при повышенных температурах применительно к инструментам для горячего деформирования металлов и сплавов. Как указывалось выше, испытания образцов,

Таблица 3. Износостойкость металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(С), ПП-Нп-150С2Ю и ПП-Нп-25Х5ФМС, при повышенных температурах

Марка порошковой проволоки	Износ образца, кг/м·10 ⁻⁴	Износ контртела, кг/м·10 ⁻⁴
ПП-Нп-20Х5М3ФС(С)	27,31	26,24
ПП-Нп-150С2Ю	31,60	59,48
ПП-Нп-25Х5ФМС (эталон)	26,23	70,24

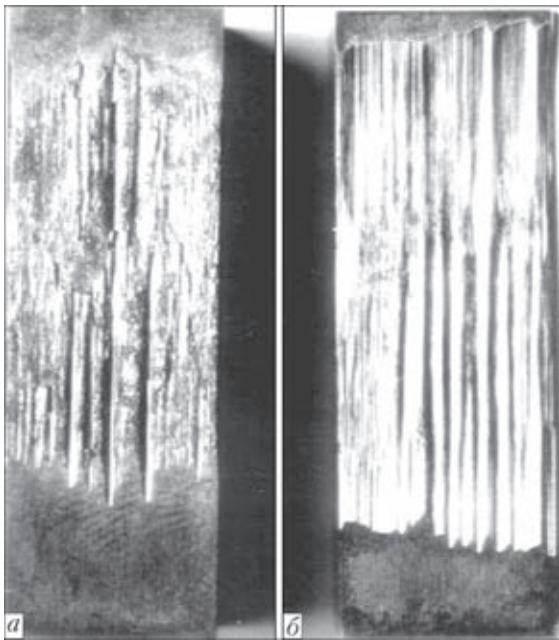


Рис. 4. Изношенные поверхности образцов наплавленного металла 20Х5МЗФС с содержанием серы 0,02 (а) и 0,76 % (б) наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-50Х9С3Г(S), по этой методике не проводили, так как эта проволока не предназначена для наплавки деталей, эксплуатирующихся при высоких температурах. Исследования проводили по схеме «вал–плоскость» без дополнительной подачи смазки в зону трения. Из наплавленных заготовок изготавливали образцы размером 40×10×17 мм, плоскость трения при этом имела размеры 10×40 мм. Толщина наплавленного слоя составляла 8...10 мм.

Истирающее кольцо нагревали газокислородным пламенем. Благодаря строго определенному расходу природного газа и кислорода температура истирающего кольца-контртела поддерживалась постоянной — 950...980 °С, что периодически контролировали с помощью оптического пирометра.

Испытания на износ при трении металла по металлу при повышенных температурах проводили в течение 1 ч при нагрузке 17,5 кг; скорость вращения кольца-контртела 30 об/мин. В качестве кон-

тртел использовали кольца диаметром 120 мм из закаленной стали 45. Температура поверхности испытуемого образца в зоне истирания составляла около 600 °С. Во время испытаний образец совершает возвратно-поступательные движения в вертикальной плоскости: амплитуда колебаний 20 мм, частота колебаний 62 мин⁻¹ (рис. 3) [13]. Эталоном служили образцы, наплавленные порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС. Результаты испытаний (средние по трем образцам) приведены в табл. 3.

Введение серы в наплавленный металл 25Х5МФС практически не сказалось на износе наплавленных образцов, но в значительной мере снизило износ контртела. Износ образцов, наплавленных порошковой проволокой ПП-Нп-150С2Ю, был выше. Высоким был также износ колец-контртел, которые испытывали в паре с этими образцами.

Анализ изношенных поверхностей образцов наплавленного металла 20Х5МЗФС с содержанием серы 0,02 % (рис. 4, а) и 0,78 % (рис. 4, б) показывает, что сульфиды препятствуют изнашиванию схватыванием и изношенная поверхность образцов имеет более гладкий характер без следов схватывания.

Термическая стойкость — один из важнейших показателей для материалов, предназначенных для восстановления и упрочнения инструментов для горячего деформирования металлов. Испытания термостойкости наплавленных образцов проводили по следующей методике: размеры образца 30×40×40 мм, нагрев наплавленной шлифованной поверхности образца газовым резаком до 800 °С (пятно нагрева 15 мм, нагревается поверхность образца с размерами 40×40 мм), охлаждение нагретой поверхности струей воды до 60 °С. Циклы нагрев–охлаждение повторяли до появления видимой невооруженным глазом сетки трещин разгара (рис. 5, а, б). Оценку термостойкости проводили по количеству циклов нагрев–охлаждение до появления первых трещин и достижения определенной степени растрескивания — появления сетки трещин разгара.

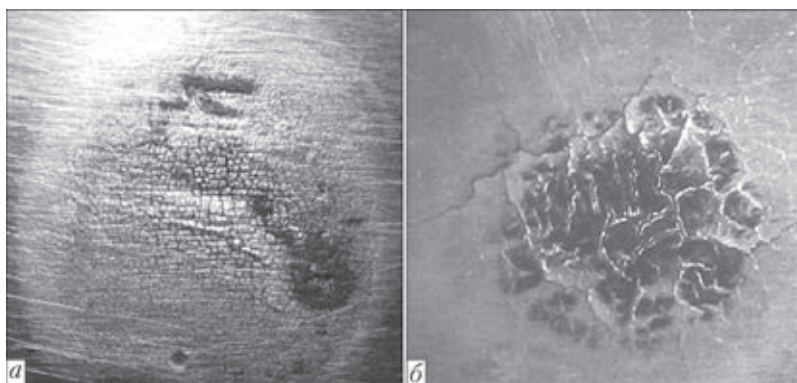


Рис. 5. Поверхность образцов после испытаний на термическую стойкость: а — наплавка порошковой проволокой 20Х5МЗФС(S); б — ПП-Нп-150С2Ю

Испытывали термостойкость образцов, наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5МЗФС(S) и ПП-Нп-150С2Ю. В качестве эталонных испытывали образцы, наплавленные стандартной порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5МЗФС. Результаты испытаний (средние по трем–пяти образцам каждого типа) приведены в табл. 4.

Сера понизила термостойкость наплавленного металла типа 25Х5МФС, хотя ее уровень остал-

Таблица 4. Термостойкость образцов, наплавленных порошковыми проволоками ПП-Нп-20Х5М3ФС(S), ПП-Нп-150С2Ю и ПП-Нп-25Х5МФС

Марка порошковой проволоки	Термостойкость, количество циклов	
	Появление первых трещин	Появление сетки трещин разгара
ПП-Нп-20Х5М3ФС(S)	25	125
ПП-Нп-150С2Ю	4	100
ПП-Нп-25Х5МФС (эталон)	67	180

ся достаточно высоким. По этому показателю наплавленный металл 20Х5М3ФС(S), легированный серой, не уступает металлу, наплавленному известной порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3ФС [10].

Термическая стойкость наплавленного металла 150С2Ю недостаточно высока, так как первые трещины термической усталости появляются в наплавленном металле уже после первых циклов нагрев-охлаждение. При этом глубина трещин разгара достигала 1,5 мм, в то время как в наплавленном металле типа 20Х5М3ФС(S) глубина трещин разгара не превышала 0,5 мм.

Таким образом, сравнительные исследования износостойкости и термической стойкости металла, наплавленного разработанными в ИЭС порошковыми проволоками, подтвердили, что включения сульфидов или графита могут выполнять роль твердой смазки и препятствовать изнашиванию схватыванием. На основании этих исследований порошковая проволока ПП-Нп-20Х5М3ФС(S) может быть рекомендована для наплавки деталей, которые эксплуатируются в условиях повышенных механических нагрузок и умеренных циклических термических нагрузок. Порошковая проволока ПП-Нп-50Х9С3Г(S), обеспечивающая получение наплавленного металла с высоким сопротивлением схватыванию при комнатной температуре, может с успехом применяться для на-

плавки деталей тяжело нагруженных пар трения. Имеющая относительно невысокую стоимость, но требующая сложной технологии наплавки, порошковая проволока ПП-Нп-150С2Ю может найти ограниченное применение при наплавке деталей пар трения, эксплуатирующихся при повышенных механических нагрузках, в том случае, если это будет оправдано экономически.

1. *Рябцев И.А., Сенченков И.К.* Теория и практика наплавочных работ. – Киев: ЕкоТехнологія, 2013. – 400 с.
2. *Костецкий Б.И.* Надежность и долговечность машин. – Киев: Техника, 1975. – 404 с.
3. *Рябцев И.А., Осин В.В.* Влияние серы на свойства сплавов на основе железа и перспективы ее использования в наплавочных материалах // Автомат. сварка. – 2004. – № 10. – С. 22–26.
4. *Рябцев И.А., Осин В.В.* Исследование влияния серы на свойства наплавленного металла типа Х5МФС // Там же. – 2006. – № 12. – С. 14–18.
5. *Структура наплавленного металла типа графитизированных заэвтектоидных сталей / И.А. Кондратьев, И.А. Рябцев, И.Л. Богайчук, Д.П. Новикова // Там же. – 2008. – № 7. – С. 20–24.*
6. *Износ- и термостойкость наплавленного металла типа графитизированных сталей / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев, В.В. Осин, Г.Н. Гордань // Там же. – 2011. – № 8. – С. 38–43.*
7. *Гудремон Э.* Специальные стали. Т.1., т.2. – М.: ГНТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1959. – 1638 с.
8. *Химушин Ф.Ф.* Нержавеющие стали. – М.: Металлургиздат, 1963. – 600 с.
9. *Зубкова Е.Н.* Влияние серы на структуру и свойства наплавленной быстрорежущей стали // Металловедение и терм. обработка металлов. – 2002. – № 9. – С. 27–30.
10. *Рябцев И.А., Кондратьев И.А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. Справочное пособие. – Киев: ЕкоТехнологія, 1999. – 62 с.
11. *Самсонов Г.В., Барсегян Ш.Е., Ткаченко Ю.Г.* О механизме смазочного действия сульфидов и селенидов тугоплавких металлов // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. – 9, № 1. – С. 58–61.
12. *Осин В.В.* Триботехнические свойства наплавленного металла 50Х9С3Г, легированного серой // Автомат. сварка. – 2014. – № 12. – С. 11–13.
13. *Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В.* Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. – 2004. – № 1. – С. 18–20.

Поступила в редакцию 10.04.2015

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОДПЯТНИКОВОГО УЗЛА НАДРЕССОРНОЙ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ БАЛОК

Разработаны, исследованы и внедрены при ремонте узлов и деталей подвижного состава высокопроизводительные электроды марки ЭЖТ-1, порошковые проволоки марок ПП-АН180МН, ПП-АН180МС и технологические процессы восстановления с применением ручной дуговой и механизированной способов наплавки. Разработанные в ИЭС технологии обеспечивают повышение износостойкости подпятникового узла наддресорной и соединительной балок, поверхностей автосцепки, изготавливаемых из сталей 20ГЛ, 25Л в 2,5–3 раза.

