

Способ восстановления деталей горнодобывающей техники, эксплуатирующейся в условиях Севера

Н.И. Голиков*, Ю.Н. Сараев**, Р.П. Тихонов*, С.В. Семёнов*, К.В. Степанова*, Н.Н. Харбин*

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Россия

**Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: n.i.golikov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблема износа деталей горнодобывающей техники, работающей во взаимодействии с мерзлыми грунтами в условиях низких климатических температур, и разработка способа восстановления коронок зубьев ковшей экскаватора и рыхлителя бульдозера с повышенными эксплуатационными характеристиками. Исследованы наплавленные слои, полученные наплавкой самозащитной порошковой проволокой и наплавочными электродами Т590 (широко применяемые в производстве) при наплавке постоянным током (НПТ) и в импульсном режиме модулированным током (НМТ). Показано, что при наплавке импульсно-дуговым способом электродами Т590 содержание основных легирующих элементов (марганец, кремний, никель, хром) в наплавленном слое больше, чем при наплавке постоянным током, а микротвердость наплавленных слоев при НПТ больше, чем при НМТ. Установлено, что микроструктура наплавленного металла, полученная самозащитной порошковой проволокой, обладает равномерной среднedisперсной структурой. Предложен способ восстановления геометрических размеров изношенных деталей горнодобывающей техники с применением импульсно-дуговой наплавки электродами типа Э-50А и дальнейшего упрочнения поверхностного слоя восстановленных деталей наплавочными материалами с повышенными физико-механическими свойствами. Натурные испытания и последующая эксплуатация на предприятиях Республики Саха (Якутия) восстановленных данным способом деталей показали их достаточную работоспособность и экономическую целесообразность.

Ключевые слова: импульсно-дуговая наплавка, наплавленный слой, микроструктура, коронка рыхлителя бульдозера, микротвердость, износ, восстановление.

Благодарности: работа выполнялась при финансовой поддержке в соответствии с проектом «Арктика» в 2014–2017 гг. в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» на 2014–2018 годы.

The Rework Method of Mining Equipment Parts Operating in Conditions of the North

N.I. Golikov*, I.Y.N. Saraev**, R.P. Tikhonov*, S.V. Semyonov*, K.V. Stepanova*, N.N. Xarbin*

* Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia

** Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia

e-mail: n.i.golikov@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of wear and tear of parts of mining equipment working with frozen soils under low climatic temperatures and the development of a method for restoring the crowns of

ГОЛИКОВ Николай Иннокентьевич – к.т.н., в.н.с.; САРАЕВ Юрий Николаевич – д.т.н., доцент, г.н.с.; ТИХОНОВ Руслан Прокопьевич – вед. инженер-электроник; СЕМЕНОВ Сергей Владимирович – вед. инженер; СТЕПАНОВА Ксения Валерьевна – н.с.; ХАРБИН Николай Николаевич – н.с.

excavator buckets teeth and bulldozer ripper with increased performance characteristics. Deposited layers obtained by overlaying surfacing with self-shielded flux cored wire and surfacing electrodes T590 (widely used in production) for surfacing with direct current and pulse mode modulated current are investigated. It is shown that when surfacing by a pulse-arc method with T590 electrodes, the content of the main alloying elements (manganese, silicon, nickel, chromium) in the weld layer is higher than in the case of surfacing by a direct current. It has been established that the microhardness of the deposited layers at surfacing by direct current is greater than when surfacing with modulated current. The way of rework of geometrical sizes of worn-out details of mining equipment using electrodes of the E-50A type at pulsed arc welding and further hardening of a surface layer of rework details using coating material with the increased physicomechanical properties is offered. Full-scale tests of the details reworked by this method and further operation at the enterprises of the Republic of Sakha (Yakutia) have shown their operability and economic reasonability.

Key words: pulsed arc welding, deposited layer, microstructure, drill bit of bulldozer ripper, microhardness, wear, rework.

Acknowledgments: the work was carried out with a financial support in accordance with the «The Arctic» project in 2014–2017 under the Basic Research Program of the Presidium of RAS «Fundamental Exploratory Research in the Interests of the Russian Arctic Development» for 2014–2018.

Введение

Рабочие элементы горнодобывающих машин и механизмов, эксплуатирующихся в экстремальных природно-климатических условиях Севера, подвергаются износу в огромных масштабах [1, 2]. Вследствие изнашивания режущих деталей землеройной техники возрастает усилие резания грунта, повышаются нагрузки на отдельные детали и машину в целом, снижается производительность труда, увеличиваются количество простоев и объем затрат на ремонт изношенных деталей [2, 3]. Потери металла из-за окончательного износа рабочих деталей горнодобывающей техники составляют около десяти тысяч тонн в год. Повышение износостойкости, восстановления, а также разработки и внедрения эффективных технологий упрочнения и ремонта деталей горнорудной техники являются весьма актуальными задачами [4].

Коронки ковшей экскаваторов (рис. 1, а) и рыхлителей бульдозеров (рис. 1, б) являются одними из наиболее изнашиваемых деталей, которые приходят в соприкосновение с горной породой и разрушают ее, подвергаясь при этом ударно-абразивному износу.

Наиболее эффективным способом восстановления утраченной геометрии детали или прида-

ния ей новой формы, образования поверхностного слоя с заданными физико-механическими свойствами (такими как повышенная твердость, износостойкость, антифрикционность, коррозионная стойкость, жаростойкость и пр.) является наплавка [5]. Известны различные виды наплавки, применяемые на производстве, в том числе ручная дуговая покрытым электродом, полуавтоматическая и автоматическая дуговая порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения с защитой дуги газом или флюсом, плазменно-порошковая, электрошлаковая, вибро-дуговая, газовая ручная, газовая автоматическая и др. [6–8].

Вместе с тем ручная дуговая наплавка покрытыми электродами относится к основному способу, применяемому в промышленности, в силу ее простоты, удобства, отсутствия необходимости в специальном оборудовании. В ремонтных участках горнодобывающих предприятий для восстановления геометрических размеров деталей наплавкой широко используются сварочные электроды марки УОНИ 13/55 (тип Э50А), а для создания упрочняющего поверхностного слоя наплавочные электроды – Т590. Как правило, ручная дуговая наплавка производится покрытыми электродами на постоянном токе. Однако



Рис. 1. Изношенные коронки зубьев ковша экскаватора Komatsu PC400-7 (а) и рыхлителя бульдозера Komatsu D155A-5 (б) по сравнению с начальными размерами коронки в состоянии заводской поставки (желтый цвет)

выбор технологии наплавки и рецептурного состава материала покрытия для конкретных условий эксплуатации до сих пор является сложной научно-технической задачей, поскольку восстановленные детали с применением традиционных технологий на постоянном токе по сравнению с новыми расходными изделиями имели малый ресурс и быстро выходили из строя.

Ранее на основе экспериментальных исследований нами было установлено [9], что наплавленные слои металла, полученные импульсно-дуговой наплавкой электродами УОНИ 13/55, имеют повышенное содержание марганца и значений ударной вязкости, мелкозернистую структуру по сравнению с ручной дуговой наплавкой на постоянном токе, а также более сглаженный вид микротвердости наплавленного слоя.

Отмеченные достоинства импульсно-дуговой наплавки достигаются направленной кристаллизацией сварочной ванны и усилением гидродинамических процессов в расплавленном металле, способствующим интенсивной дегазации сварочной ванны и равномерному распределению легирующих элементов по всему объему расплава.

При импульсно-дуговой наплавке на основную сварочный ток непрерывно горящей дуги налагают кратковременные импульсы тока, которые ускоряют перенос капель металла и позволяют контролировать их размер [10]. При наложении на дугу импульсов определенной энергии и частоты достигается управляемый перенос электродного металла с минимальным разбрызгиванием. Это позволяет осуществлять наплавку в различных пространственных положениях [7].

Цель работы – разработка способа восстановления изношенных деталей горнодобывающей техники с высокой сопротивляемостью ударно-абразивному износу по сравнению с традиционными методами

В работе предложен способ восстановления геометрических размеров деталей с применением импульсно-дуговой наплавки электродами типа Э-50А и дальнейшего упрочнения поверхностного слоя восстановленных деталей наплавочными материалами с повышенными физико-механическими свойствами. Исследованы характеристики наплавленных слоев, полученных с применением электродов Т590 (широко используемых в производстве) и самозащитной порошковой проволоки марки ПП 70Х4М3Г2ФТР диаметром 2,4 мм.

Материалы и методика исследований

Для получения наплавленных слоев использовались сварочные аппараты «ДУГА-318М1» – для ручной дуговой сварки и наплавки на по-

стоянном токе (НПТ) и инверторный источник питания «ФЭБ-315 МАГМА», реализующий адаптивный импульсно-дуговой режим сварки и наплавки (модулированным током – НМТ). Наплавку порошковой проволоки производили сварочным полуавтоматом VarioSynergic 5000-2. Электродугую наплавку проб производили в один слой в нижнем положении на пластины и на материал коронки. При всех случаях использованы стандартные энергетические режимы наплавки, рекомендуемые для каждого сварочного материала.

Структуру и свойства сварных соединений исследовали на образцах по стандартным схемам. Структурные исследования производили на металлографическом микроскопе METAM PB 21 с мультимедийной насадкой. Микротвердость измеряли на приборе Лесо LM 700 при нагрузке на индентор 980,7 мН, время выдержки составляло 15 с. Определение химического состава сталей коронок и наплавленного металла проведено с помощью стационарного оптического эмиссионного анализатора «Foundry-Master» в соответствии с ГОСТ 18895–97.

Результаты и обсуждение

Результаты спектрального анализа сталей коронок зубьев ковша экскаватора и рыхлителя бульдозера, а также наплавленных слоев металла самозащитной порошковой проволоки ПП 70Х4М3Г2ФТР и электродов Т590, полученных различными сварочными режимами – наплавкой постоянным и модулированным током, приведены в таблице.

По химическому составу стали коронок наиболее близки к отечественной улучшаемой легированной конструкционной стали 35ХГСА (ГОСТ 4543–71). Содержание всех основных легирующих элементов (марганец, медь, никель, хром, молибден) в наплавленном слое электрода Т-590, полученном при НПТ, меньше по сравнению с содержанием этих элементов в слое наплавленного металла, полученного при НМТ. Уменьшение содержания легирующих элементов при наплавке на постоянном токе происходит за счет более интенсивного выгорания легирующих элементов из-за повышенного тепловложения по сравнению с импульсно-дуговой наплавкой [9, 10].

Структура наплавленного металла, полученного при НПТ, представлена резко выраженными границами кристаллов, наблюдается упорядоченная ориентация зерен с образованием закалочных структур (рис. 2, а). Наплавленный металл, полученный при НМТ, характеризуется более однородной и равномерной структурой (рис. 2, б).

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

Химический состав, мас. %

Материал	C	Si	Cu	Mn	Ni	P	Cr	S	Mo	Al
Коронка зубьев ковша	0,33	1,40	0,03	0,64	0,02	0,01	1,55	0,007	0,1	0,07
Коронка рыхлителя	0,39	1,40	0,21	1,1	0,14	0,01	1,26	0,03	0,06	0,01
Ст. 35ХГСА (ГОСТ 4543–71)	0,32–0,39	1,1–1,4	≤0,30	0,80–1,10	≤0,30	≤0,025	1,10–1,40	≤0,025		
Наплавленный металл электрода Т590, полученный НПТ	2,33	1,35	0,159	1,08	0,190	0,0319	11,1	0,0191	0,015	0,009
Наплавленный металл электрода Т590, полученный НМТ	2,86	1,51	0,154	1,16	0,212	0,0399	12,8	0,0254	0,0119	0,0077
Наплавленный металл порошковой проволоки ПП 70Х4МЗГ2ФТР	0,54	0,26	0,196	1,15	0,0754	0,03	2,78	0,0245	2,40	0,0101

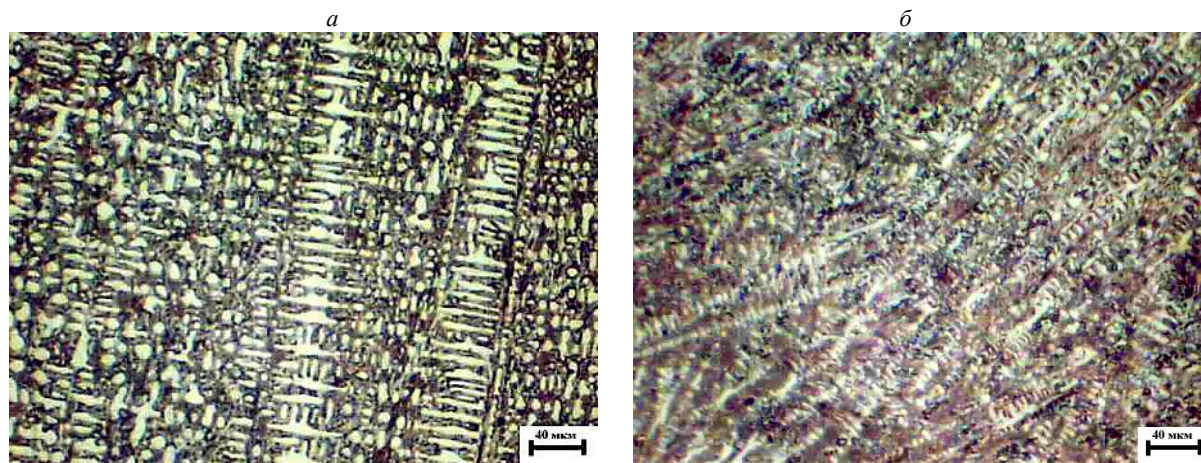


Рис. 2. Микроструктура наплавленного слоя, полученного электродами Т590, х500: *а* – при постоянном токе (НПТ), *б* – при модулированном токе (НМТ)

При наплавке без предварительного подогрева электродами Т590 при постоянном и модулированном токах в наплавленных слоях наблюдались множественные трещины в зонах с повышенной микротвердостью.

Микроструктура наплавленного слоя порошковой проволоки, полученного с помощью полуавтоматической сварки, представлена расплавленными частицами круглой формы (рис. 3), которые состоят из соединений железа, углерода, хрома, марганца, молибдена и ванадия.

Микротвердости светлых фаз структур наплавленных слоев электродами Т-590 для двух режимов ручной дуговой наплавки одинаковы и составляют от 3500 до 3700 МПа. Различие значений микротвердостей наблюдается в темных фазах структур наплавленных слоев: для НПТ – от 4700 до 5200 МПа, для НМТ – от 4500 до 4700 МПа. Повышение значений микротвердости при НПТ связано с более высоким тепловложением, чем при НМТ. Таким образом, структура наплавленного слоя при импульсно-

дуговой наплавке более мягкая, чем при наплавке постоянным током (традиционным способом).

Микротвердость внутри круглых частиц наплавленного слоя порошковой проволоки варьирует от 2700 до 2750 МПа. В зоне тер-



Рис. 3. Микроструктура наплавленного слоя, полученного порошковой проволокой, х500



Рис. 4. Распределение микротвердости металла по толщине образца, наплавленного порошковой проволокой на материал коронки ковша экскаватора

мического влияния микротвердость изменяется от 1500 до 2900 МПа, в зоне наплавки – от 3500 до 4500 МПа (рис.4).

Для повышения работоспособности в условиях ударно-абразивного износа и с целью сохранения геометрии восстановленной путем импульсно-дуговой наплавки детали на восстановленную деталь наносили упрочняющий слой порошковой проволоки. Наплавка велась в один слой вдоль оси восстановленной детали, причем длина наплавляемого валика должна быть больше размера износа зуба и заканчиваться на неизношенной части подложки с перекрытием не менее одного сантиметра, что обеспечит требуемую ударно-изгибную прочность.

Натурные испытания коронок рыхлителей бульдозеров и последующее использование восстановленных данным способом элементов на горнодобывающих предприятиях Республики Саха (Якутия) показали их достаточную работоспособность, сравнимую с их заводскими аналогами. Экономический эффект от использования данного способа восстановления изношенных деталей, рассчитанный с учетом себестоимости (стоимость материалов, электроэнергии, ФОТ, амортизация оборудования, накладные расходы и т.п.), составил около 25 %.

Выводы

Анализ химического состава наплавленных слоев электродами Т590 показал, что при наплавке постоянным током содержание основных легирующих элементов (марганец, кремний, никель, хром) меньше, чем при импульсно-дуговой наплавке. Наплавленный металл, полученный при наплавке модулированным током, характеризуется более однородной среднedisперсной структурой со значениями микротвердости до 4700 МПа. Однако при наплавке элект-

родами Т590 без предварительного подогрева могут образоваться трещины.

Микроструктура наплавленного металла, полученная самозащитной порошковой проволокой, имеет равномерную среднedisперсную структуру с микротвердостью до 4500 МПа. В исследованных пробах трещины в наплавленном слое отсутствовали.

Для обеспечения высокой сопротивляемости ударно-абразивному износу восстановленного наплавкой элемента горнодобывающей техники при наложении упрочняющего слоя рекомендуется использовать порошковую проволоку.

Предлагаемый способ восстановления изношенных коронок зубьев экскаваторов и рыхлителей бульдозеров представляет собой достаточно простые операции с широко применяемым в промышленности оборудованием и может использоваться в труднодоступных местах для получения деталей с высокими эксплуатационными показателями.

Натурные испытания и последующее использование восстановленных данным способом изношенных деталей (коронок рыхлителей бульдозеров и зубьев ковшей экскаваторов) на горнодобывающих предприятиях Республики Саха (Якутия) показали их достаточную работоспособность, а экономический эффект составил около 25 %.

Литература

1. Слепцов О.И., Шульгинов В.Е., Михайлов В.Е., Сивцев М.Н., Слепцов Г.Н. Повышение прочности сварных металлоконструкций горнодобывающей и транспортной техники в условиях Севера. Новосибирск: Наука, 2012. 183 с.
2. Винокуров Г.Г., Яковлева С.П., Кычкин А.К. и др. Изменение структуры и изнашивание породоразрушающего элемента бульдозера при

эксплуатации в условиях Севера // *Металлы*. 2009. № 5. С. 74–80.

3. *Воротников В.Я., Артеменко Ю.А., Иванов С.В., Калуцкий В.В.* Технология объемного упрочнения зубьев ковшей экскаваторов // *Сварочное производство*. 1979. № 3. С. 9–10.

4. *Коротков В.А., Замотин В.А.* Восстановление деталей горного оборудования // *Горный журнал*. 2001. № 8. С. 53–58.

5. *Иванов А.В., Пирозерская О.Л.* Перспективные способы наплавки и механической обработки восстанавливаемых деталей // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2010. №3. С. 7–9.

6. *Антонов А.А., Артемьев А.А., Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н., Зорин И.В., Вавуленко А.А., Королев М.П., Устинов Н.Н.* Аргондугловая наплавка порошковой проволокой с подачей модификатора в сварочную ванну // *Изв. ВолгГТУ*. 2016. № 15. С. 102–105.

7. *Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Гладковский С.В., Голиков Н.А.* Исследование свойств

сварных соединений марганцовистой стали, полученных низкочастотной импульсно-дуговой сваркой // *Деформация и разрушение*. 2016. № 4. С. 36–41.

8. *Sharma S.K., Maheshwari S.* A review on welding of high strength oil and gas pipeline steels // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017. No. 38. P. 203–217.

9. *Голиков Н.И., Сараев Ю.Н., Слепцов О.И., Степанова К.В., Семенов С.В.* Импульсно-дуговая наплавка для восстановления изношенных деталей // *Наука и образование*. 2015. № 3. С. 69–75.

10. *Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Гладковский С.В., Голиков Н.И.* Повышение надежности металлических конструкций при эксплуатации в условиях низких климатических температур посредством комплексного применения современных методов модифицирования зоны сварного соединения // *Сварочное производство*. 2016. № 9. С. 3–9.

Поступила в редакцию 06.10.2017