

Левашова Елена Евгеньевна, аспирант, старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: pee5152@rambler.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Аннотация: В статье представлен обзор методов поверхностного упрочнения для повышения твердости и износостойкости быстроизнашиваемых деталей, на основе данного обзора и исследований механических свойств и металлографическом анализе структуры импортной детали «ось» карьерного экскаватора P&H 2800 XPC, обеспечивающего грузоподъемность 80 тонн, составлен алгоритм технологического процесса восстановления быстроизнашиваемых деталей карьерного экскаватора. Целью работы является получение технологии процесса восстановления и упрочнения быстроизнашиваемых деталей горных машин и оборудования с механическими свойствами, идентичными зарубежной детали.

Ключевые слова: восстановление, наплавка, механические свойства, микротвердость, металлографические исследования.

Информация о статье: принята 12 декабря 2019 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-25-32

При эксплуатации карьерных экскаваторов вследствие больших нагрузок, приходящихся на оборудование (например, у экскаватора P&H 2800 XPC с номинальной полезной нагрузкой 59,0 м. т и номинальной емкостью ковша 26,8-33,6 м³, а у экскаватора P&H 4100XPC – 108,9 м. тонн и 52,8-61,2 м³ соответственно), происходит интенсивный износ подвижных соединений рабочего оборудования [1]. К таким соединениям относятся пары «ось-втулка» в местах соединения (рис. 1): ковш с трапецией и ковш с рукоятью; рукоять с тягой и рукоять со стрелой; тяга с трапецией; стрелковый цилиндр со стрелой и стрелковый цилиндр с рамой.

Частой причиной поломки экскаватора является износ оси в узловом соединении ковша со стрелой. Износ происходит из-за появления на поверхности задиры, что приводит к увеличению зазоров и ускоренному разрушению пары (рис. 2).

При выявлении неисправностей детали подвергаются ремонту или заменяются новыми. Замена новыми деталями существенно повышает затраты, связанные с эксплуатацией оборудования. Принятие решения относительно состояния детали принимается на основании проведенного входного контроля деталей, который заключается в измерении допустимого отклонения в размерах. Для оценки поврежденных детали выделены 3 группы [4]:

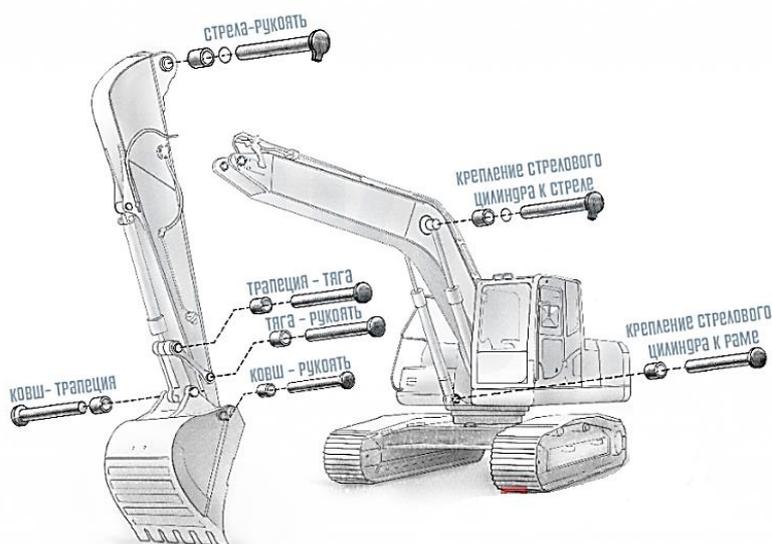


Рис. 1. Расположение осей и втулок на карьерном экскаваторе

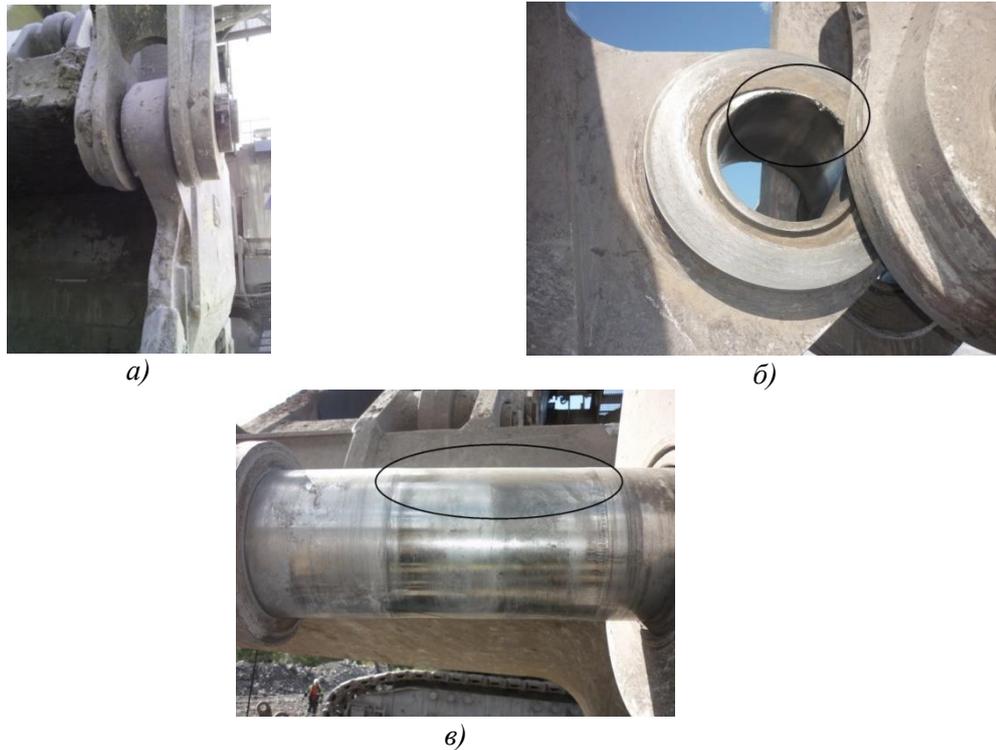


Рис. 2. Характер повреждения пары ось-штулка, а – пара ось-штулка; б – повреждение штулки; в – повреждение оси



Рис. 3. Ковш карьерного экскаватора (а) и износ детали «ось» (б) и детали штулка (в) выше допустимых пределов

I – годные детали, износ которых лежит в пределах допускаемых величин;

II – детали, износ и повреждения которых могут быть устранены;

III – детали, окончательно забракованные вследствие полного износа или серьезных повреждений, а восстановление их невозможно или экономически нецелесообразно.

Детали, относящиеся ко II группе, подвергают ремонту. Основным способом восстановления габаритных размеров деталей горных машин является

дуговая наплавка, которая представляет наиболее дешевым и эффективным средством повышения их функциональных свойств [4-7]. Недостатком данного способа является возникновение остаточных напряжений, что характеризуется хрупким разрушением, коррозионным растрескиванием и снижением выносливости. Для предотвращения перечисленных явлений необходимо снять либо уменьшить напряжения, это можно добиться, проведя термическую

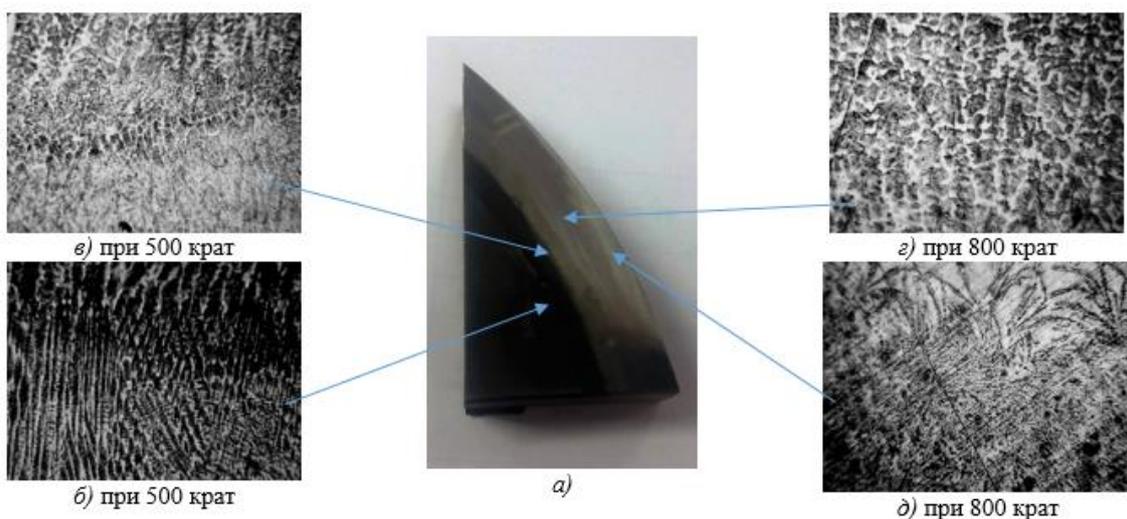


Рис. 4. Структура образца импортной детали «ось» карьерного экскаватора P&H 2800

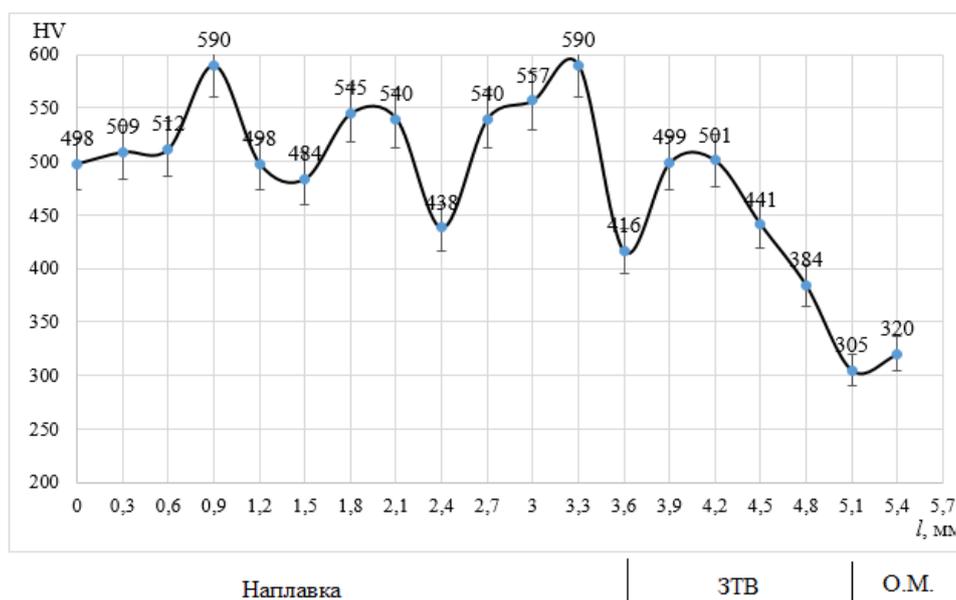


Рис. 5. Микротвердость наплавленного слоя и зоны термического влияния детали «ось»

обработку детали. Для деталей горных машин и оборудования применяют закалку или поверхностную термическую обработку (упрочнение) [8].

В настоящее время на карьерные экскаваторы устанавливаются новые отечественные детали «ось», изготовленные из сталей марок 40, 40Х, 40ХН, 34ХН1М, 34ХН3М и т.д., которые подвергаются улучшению или поверхностной закалке. В результате работы детали изнашиваются за короткий период времени (3-4 месяца) или эксплуатируются до размеров, противоречащих безопасной работе карьерного экскаватора (рис. 3).

У импортных деталей «ось», идущих в комплектации оборудования, ресурс составляет год, после чего они подвергаются восстановлению или замене на отечественные детали.

Для разработки алгоритма технологии восстановления деталей, которая позволит повысить ресурс работы отечественных деталей, проведены механические и структурные исследования [2, 3]

импортной детали «ось» карьерного экскаватора P&H 2800 ХРС. Установлено, что стойкость к ударным нагрузкам детали «ось» обеспечивается достаточными свойствами пластичности основы детали, изготовленной из стали перлитного класса, содержащей 3,8% никеля, высокая твердость поверхности оси, которая обеспечивается поверхностной закалкой наплавленного металла мартенситного класса (рис. 4).

В настоящее время изучаются такие способы поверхностного термического упрочнения, как упрочнение плазменной дугой [9-15], обработка лазером [16, 17]. Также существует закалка с нагревом пламенем газокислородной горелки [18-20], сущность способа заключается в быстром нагреве поверхности до температуры 2000...3000°C и охлаждением водой, на данное время метод малоизучен, не выявлены зависимости механических свойств от режимов обработки.

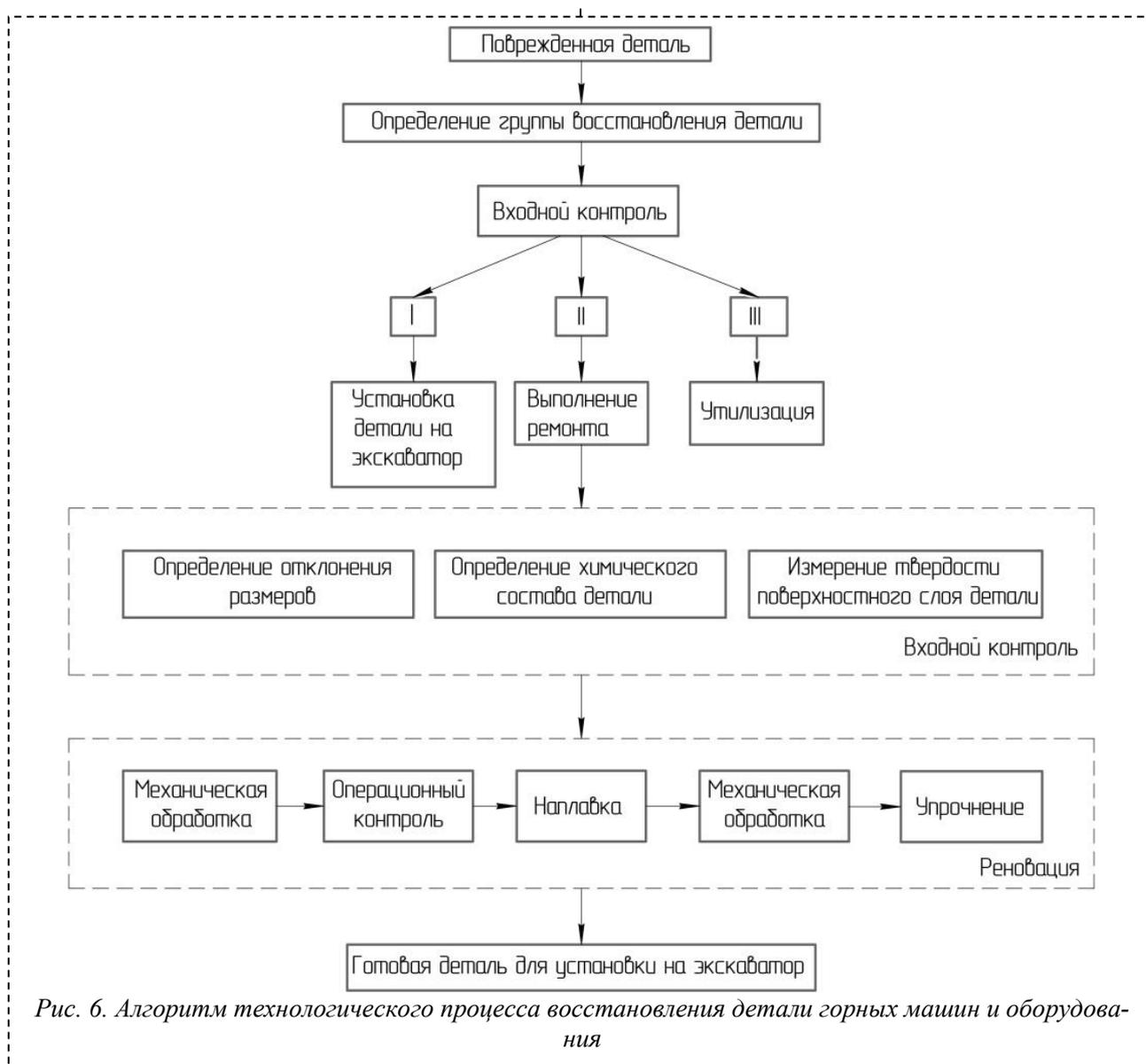


Рис. 6. Алгоритм технологического процесса восстановления детали горных машин и оборудования

Принцип поверхностной обработки плазменной дугой заключается в высокоскоростном локальном нагреве поверхностного слоя изделия выше критических температур (A_{c1} , A_{c3} , A_{cm}) и быстром охлаждении. При этом повышаются значения твердости на 2...4 единицы HRC (по сравнению с объемной закалкой и токами высокой частоты), износостойкости и сопротивлению разрушению. Глубина упрочненного слоя составляет порядка 2,5...3,5 мм, но зачастую браковочным признаком служит износ на 0,5...0,9 мм, такая глубина упрочненного слоя затрудняет последующее восстановление детали. Недостатком известного способа является выбор плазматрона со специализированным высоковольтным выпрямителем холостого хода 180...300 В, работа устройств сопровождается повышенным воздействием вредных и опасных производственных факторов (таких как излучение дуги, аэрозоли, шум и металлическая пыль), из-за чего требуется специальное защитное сооружение.

При лазерной обработке упрочнение поверхностного слоя происходит в результате фазовых переходов за счет изменения структуры из-за высокоскоростного нагрева и охлаждения в зоне

термического влияния. В процессе воздействия концентрированного потока энергии образуется структура закалочного типа, обладающая повышенной прочностью, твердостью и износостойкостью. Для создания поверхностного слоя с такими показателями необходимо использовать мощные лазеры непрерывного излучения, которые имеют высокую стоимость, низкий КПД (до 15%) и характеризуются высокими эксплуатационными расходами.

Рассмотренные способы поверхностной обработки отличаются принципом действия и эффективным КПД нагрева (согласно [9] – при аргодуговом нагреве горелкой составляет 0,65...0,75, плазменной дугой – 0,6...0,75, а плазменной струей – 0,10...0,50) и требуют специального и дорогостоящего оборудования.

На основе проведенного анализа предлагаем способ дугового упрочнения, заключающийся в нагреве поверхности детали электрической дугой, зажигаемой между неплавящимся электродом и поверхностью детали, с последующим охлаждением водой для образования закалочных структур.

Сущность предлагаемого способа заключается в восстановлении геометрических размеров детали

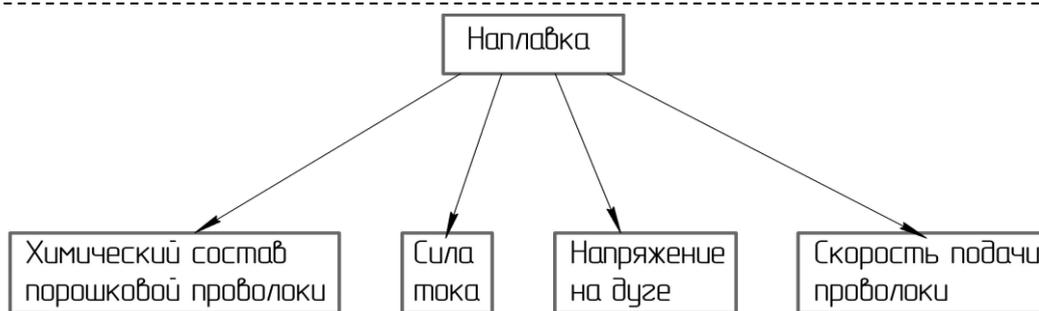


Рис. 7. Схема данных для наплавки

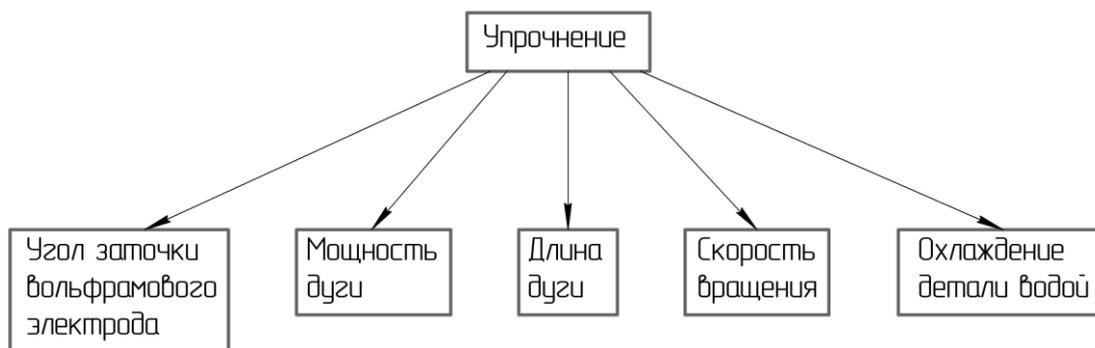


Рис. 8. Схема параметров для выполнения упрочнения

порошковой проволокой с гарантированной твердостью 50-55 HRC и повышении значений до 60 HRC за счет электродугового термического упрочнения, при котором применяется оборудование, доступное на каждом горном предприятии, а именно горелка с вольфрамовым электродом, охлаждаемая водой, и защитный газ. В качестве защитного газа применяется аргон, обладающий сравнительно невысоким потенциалом ионизации, применение диоксида углерода не рассматривается, вследствие повышенной склонности к трещинообразованию слоев, упрочненных таким способом. В процессе метода планируем получить структуру остаточного аустенита, который при эксплуатации (ударные нагрузки и абразивное изнашивание) позволяет реализовать энергопоглощающий процесс деформированного мартенситного превращения, что приведет к увеличению износостойкости.

Для достижения поставленной цели работы, заключающейся в повышении ресурса работы восстановленной детали «ось» с характеристиками, схожими с импортной деталью карьерного экскаватора, разработан алгоритм технологического процесса восстановления и упрочнения деталей горных машин и оборудования (рис. 6) с механическими свойствами, идентичными зарубежной детали.

Как было сказано выше, при проверке и сортировке деталей, бывших в эксплуатации, они делятся на три группы [4]:

I – годные детали, износ которых лежит в пределах допускаемых величин;

II – детали, износ и повреждения которых могут быть устранены;

III – детали, окончательно забракованные вследствие полного износа или серьезных повреждений, а

восстановление их невозможно или экономически нецелесообразно.

Детали, относящиеся ко II группе, согласно алгоритму проходят входной контроль, который подразумевает определение:

- отклонения размеров детали или свободные ремонтные размеры (размеры деталей, устанавливаемые в конкретном случае по фактическим износам сопрягаемых деталей). Измерения размером детали происходят в соответствии с РД 03-606-03, металлической линейкой или другими средствами измерения, позволяющими получить точные линейные данные, приборы должны быть поверенными;

- химического состава поверхностного слоя детали. Анализ химических элементов выполняется спектральным способом, допускается применение метода стилоскопирования, при котором не требуется специально вырезанного образца;

- твердости. Измерение твердости выполняется для проверки наличия или отсутствия упрочненного слоя на поверхности, применяется универсальный переносной твердомер.

Следующей операцией является реновация, предполагающая последующую цепочку:

- механическая обработка детали выполняется для устранения поврежденной поверхности и дефектов с учетом обеспечения равномерности линейных размеров по всей поверхности детали; используется токарный станок;

- операционный контроль проводится для определения полной выборки дефектов и измерения линейных размеров детали, при этом используется приборы согласно РД 03-606-03;

- наплавка слоя специальной порошковой проволокой, схема необходимых показателей представлена на рис. 7;

- механическая обработка, проводится после выполнения наплавки (восстановления линейных размеров), для обеспечения требуемой величины детали;
- упрочнение поверхностного наплавленного слоя направленное на повышение механических и специальных свойств поверхностей деталей горных машин, необходимые параметры указаны на рис. 8.

Выводы

1. Установлены особенности строения оси карьерного экскаватора, которые заключаются в слоистой структуре детали, а именно в мягкой основе сплава перлитного класса и более твердого поверхностного слоя мартенситного класса и плавного перехода между слоями, обеспечивающие продолжительную работу детали относительно восстановленных деталей.
2. Для обеспечения этих свойств у восстановленной детали требуется разработать технологию восстановления поверхностного слоя с механическими свойствами и структурными особенностями, идентичными импортной детали.
3. На основании этих данных разработан алгоритм, учитывающий последовательность действий и основные параметры наплавки и поверхностного упрочнения, обеспечивающие механические свойства идентичные импортной детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://mining.komatsu/docs/default-source/product-documents/surface/electric-rope-shovels/electric-rope-shovel-brochure-russian.pdf?Status=Temp&sfvrsn=f4ffcf6b_48
2. Князьков В.Л. Исследования характера повреждения деталей машин с целью оптимизации технологии их восстановления/ Князьков В.Л., Петрова Е.Е., Пимонов М.В., Мелкозерных Н.В.// ИННОВАЦИИ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ (ТЭК-2017) сборник трудов Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 92-98.
3. Князьков В.Л. Механические свойства и химический состав, слоистой структуры детали «ось» соединения подъемной проушины ковша и коромысла экскаватора Р&Н 2800 ХРС/ Князьков В.Л., Петрова Е.Е., Мелкозерных Н.В.// Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2016. - № 1 (113). - С. 141-144.
4. Воробьев Л.Н. Технология машиностроения и ремонта машин. – М.: Машиностроение, 1981.
5. Восстановление деталей машин: Справочник / Под ред. Ф.И. Пантелеенко. – М. Машиностроение, 2003. - С. 672.
6. Трегубов Н.М., Акастелов Л.Ф. Ремонт горных машин. – М.:Недра, 1978.
7. Волокин Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. М.:Колос, 1981. - 351с.
8. Термическая обработка в машиностроении. Справочник / под ред. Ю. М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
9. Малаховский, В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве: учеб. пособие / В. А. Малаховский. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.
10. Коротков, В. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями / В. А. Коротков, А. А. Бердников, И. А. Толстов. – Челябинск: Металл, 1993. – 144 с.
11. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комар. – Киев: Тэхника, 1990. – 109 с.
12. Устройство плазменной закалки изделий из стали и чугуна в автоматическом и ручном режиме двухдуговым плазмотроном: пат. на полезную модель RUS № 95665 / Е. Н. Сафонов, В. С. Демин, И. С. Дружинин, Л. В. Чадин. – Заявл. 29.12.2009; опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.
13. Домбровский, Ю. М. Обработка стали воздушно-плазменной дугой со сканированием / Ю. М. Домбровский, А. В. Бровер // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1999. – № 1. – С. 10–13.
14. Упрочнение чугунных валков методом плазменной закалки / А. А. Бердников, В. С. Демин, Е. Л. Серебрякова [и др.] // Сталь. – 1995. – № 1. – С. 56–59.
15. Плазменная закалка деталей машин : монография / Е. Н. Сафонов ; М-во образования и науки РФ ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. пер-вого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. – 116 с.
16. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов: справ. / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
17. Методы поверхностной лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1987. – 191 с.
18. Сафонов, Е. Н. Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев // Сварочное производство. – 1997. – № 10. – С. 30–32.
19. Сафонов, Е. Н. Принципы электродугового поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев, В. В. Стариков // «Синергетика – 96»: материалы Междунар. симп. – М., 1996. – С. 25–27.
20. Поверхностное упрочнение чугуна с шаровидным графитом электрической дугой прямого действия / В. И. Журавлев, Е. Н. Сафонов, В. В. Стариков [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 10. – С. 48–49.

Elena E. Levashova, Post-graduate student, senior lecturer

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS ALGORITHM FOR RESTORATION OF FAST-WEARING PARTS OF A MINING EXCAVATOR

Abstract: The article provides an overview of surface hardening methods to increase the hardness and wear resistance of fast-wearing parts. Based on this overview and on the studies of mechanical properties and the metallographic analysis of the structure of an imported part, namely, the axis of a P&H 2800 XPC mining excavator with a load capacity of 80 tons, the technological process algorithm for the restoration of fast-wearing parts of a mining excavator has been compiled. The aim of the work is to obtain technology for the process of restoration and hardening of fast-wearing parts of mining machines and equipment with mechanical properties identical to those of a foreign part.

Keywords: reconditioning, surfacing, mechanical properties, micro-hardness, metallographic examination.

Article info: received December 12, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-25-32

REFERENCES

1. https://mining.komatsu/docs/default-source/product-documents/surface/electric-rope-shovels/electric-rope-shovel-brochure-russian.pdf?Status=Temp&sfvrsn=f4ffcf6b_48
2. Knjaz'kov V.L. Issledovaniya haraktera povrezhdeniya detalej mashin s tsel'ju optimizatsii tehnologii ih vosstanovleniya/ Knjaz'kov V.L., Petrova E.E., Pimonov M.V., Melkozernyh N.V.// INNOVATsII v TOPLIVNO-`ENERGETICHESKOM KOMPLEKSE I MASHINOSTROENII (TEK-2017) sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauch-no-prakticheskoy konferentsii. 2017. - S. 92-98.
3. Knjaz'kov V.L. Mehanicheskie svoystva i himicheskij sostav, sloistoj struk-tury detali «os» soedineniya pod"emnoj proushiny kovsha i koromysla `ekska-vatora P&H 2800 XPC/ Knjaz'kov V.L., Petrova E.E., Melkozernyh N.V.// Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. 2016. - № 1 (113). - S. 141-144.
4. Vorob'ev L.N. Tehnologija mashinostroeniya i remonta mashin. – M.: Mashino-stroenie, 1981.
5. Vosstanovlenie detalej mashin: Spravochnik / Pod red. F.I. Panteleenko. – M. Mashinostroenie, 2003.
6. Tregubov N.M., Akastelov L.F. Remont gornyh mashin. – M.: Nedra, 1978.
7. Volokin E.L. Spravochnik po vosstanovleniju detalej. M.:Kolos, 1981. 351s.
8. Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii. Spravochnik / pod red. Ju. M. Lah-tina, A.G. Rahshtadta. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 783 s.
9. Malahovskij, V. A. Plazmennye protsessy v svarochnom proizvodstve: ucheb. posobie / V. A. Malahovskij. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 72 s.
10. Korotkov, V. A. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej i instrumenta plaz-mennymi tehnologijami / V. A. Korotkov, A. A. Berdnikov, I. A. Tolstov. – Cheljabinsk: Metall, 1993. – 144 s.
11. Plazmennoe poverhnostnoe uprochnenie / L. K. Leschinskij, S. S. Samotugin, I. I. Pirch, V. I. Komar. – Kiev: T`ehnika, 1990. – 109 s.
12. Ustrojstvo plazmennoj zakalki izdelij iz stali i chuguna v avtomaticheskij i ruchnom rezhime dvuhdugovym plazmotronom: pat. na poleznuju model' RUS № 95665 / E. N. Safonov, V. S. Demin, I. S. Druzhinin, L. V. Chadin. – Zajavl. 29.12.2009; opubl. 10.07.2010. Bjul. № 19.
13. Dombrovskij, Ju. M. Obrabotka stali vzdushno-plazmennoj dugoj so skani-rovaniem / Ju. M. Dombrovskij, A. V. Brover // Metallovedenie i termicheskaja obra-botka metallov. – 1999. – № 1. – S. 10–13.
14. Uprochnenie chugunnych valkov metodom plazmennoj zakalki / A. A. Berdnikov, V. S. Demin, E. L. Serebrjakova [i dr.] // Stal'. – 1995. – № 1. – S. 56–59.
15. Plazmennaja zakalka detalej mashin : monografija / E. N. Safo-nov ; M-vo ob-razovaniya i nauki RF ; FGAOU VPO «UrFU im. per-vogo Prezidenta Rossii B.N.El'tsina», Nizhnetagil. tehnol. in-t (fil.). – Nizhnij Tagil : NTI (filial) Ur-FU, 2014. – 116 s.
16. Lazernaja i `elektronoluchevaja obrabotka materialov: sprav. / N. N. Rykalin, A. A. Uglov, I. V. Zuev [i dr.]. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 496 s.
17. Metody poverhnostnoj lazernoj obrabotki / A. G. Grigor'jants, A. N. Safo-nov; pod red. A. G. Grigor'jantsa. – M.: Vysshaja shkola, 1987. – 191 s.
18. Safonov, E. N. Poverhnostnoe uprochnenie zhelezouglerodistykh splavov du-govoj zakalkoj / E. N. Safonov, V. I. Zhuravlev // Svarochnoe proizvodstvo. – 1997. – № 10. – S. 30–32.

19. Safonov, E. N. Printsipy `elektrodugovogo poverhnostnogo uprochnenija zhe-lezouglerodistyh splavov / E. N. Safonov, V. I. Zhuravlev, V. V. Starikov // «Siner-getika – 96»: materialy Mezhdunar. simp. – M., 1996. – S. 25–27.

Библиографическое описание статьи

Левашова Е.Е. Разработка алгоритма технологического процесса восстановления быстроизнашиваемых деталей карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 25-32.

20. Poverhnostnoe uprochnenie chuguna s sharovidnym grafitom `elektricheskoy dugoju prjamogo dejstvija / V. I. Zhuravlev, E. N. Safonov, V. V. Starikov [i dr.] // Izvestija vuzov. Chernaja metallurgija. – 1994. – № 10. – S. 48–49.

Reference to article

Levashova E.E. Development of the technological process algorithm for restoration of fast-wearing parts of a mining excavator. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 6 (146), pp. 25-32.