

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЬЕВ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ ИЗБИРАТЕЛЬНОМ ВЗРЫВНОМ УПРОЧНЕНИИ

В. В. Лотоус

ОАО «Полтавский ГОК»

ул. Строителей, 16, г. Комсомльск, 39802, Украина.

Е. А. Наумова, В. В. Драгобецкий

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Приведен анализ методов повышения износостойкости деталей горного оборудования. Описана последовательность выбора метода повышения износостойкости деталей. Установлен вид изнашивания для конкретных производственных условий. Основной причиной износа деталей горного оборудования являются процессы пластического оттеснения, хрупкого выкрашивания, микро- и макроцарапания. Резервы повышения износостойкости деталей, упрочненных взрывом, связаны с оптимизацией параметров процесса упрочнения и разработкой комбинированных технологий обработки. Предложен метод комбинированного упрочнения зубьев ковшей экскаваторов. Метод включает упрочнение накладным зарядом и упрочнение ударными волнами от соударения с метаемой пластиной. Разработаны схемы процессов, обеспечивающих высокую производительность упрочнения зубьев ковшей экскаваторов.

Ключевые слова: износостойкость, зубья ковшей экскаваторов, сталь Гадфильда, взрыво-термическая обработка, комбинированные технологии.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗУБІВ КОВШІВ ЕКСКАВАТОРІВ ПРИ ВИБОРЧОМУ ВИБУХОВОМУ ЗМІЦНЕННІ

В. В. Лотоус

ВАТ «Полтавський ГЗК»

вул. Будівників, 16, м. Комсомльск, 39802, Україна.

О. О. Наумова, В. В. Драгобецький

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Надано аналіз методів підвищення зносостійкості деталей гірничого обладнання. Описана послідовність вибору методу підвищення зносостійкості деталей. Встановлено вид зношування для конкретних виробничих умов. Основною причиною зносу деталей гірничого обладнання є процеси пластичного відтискування, крихкого викришування, мікро- і макродряпання. Резерви підвищення зносостійкості деталей, зміцнених вибухом, пов'язаних з оптимізацією параметрів процесу зміцнення та розробкою комбінованих технологій обробки. Запропоновано метод комбінованого зміцнення зубів ковшів экскаваторів. Метод

включає зміцнення накладним зарядом і зміцнення ударними хвилями від зіткнення з пластиною, що метається. Розроблені схеми процесів, що забезпечують високу продуктивність зміцнення зубів ковшів екскаваторів.

Ключові слова: зносостійкість, зуби ковшів екскаваторів, сталь Гадфільда, вибухово-термічна обробка, комбіновані технології.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Элементы деталей горного оборудования камнедробилок шаровых мельниц, породоразрушающий инструмент, измельчающие устройства ударного действия, пневмо- и гидроударники, буровые долота, зубья ковшей экскаваторов и рыхлителей, работающие в условиях экскавации стальной породы подвергаются ударно-абразивному изнашиванию. Причиной малого срока службы машин (менее одной смены) подобного действия являются не поломки, а износ. Затраты на ремонт и восстановление этих деталей чрезвычайно высоки и существенно увеличивают производственные затраты и снижают эффективность работы предприятий. Преждевременный износ этих деталей наиболее часто является следствием неудачного выбора метода упрочняющей обработки без учета характера воздействия абразива и эксплуатационных нагрузок. Поэтому решение вопросов повышения эксплуатационной долговечности и стойкости к износу деталей горного оборудования чрезвычайно актуально и сулит значительные экономические выгоды.

Для повышения износостойкости или работоспособности деталей применяют конструктивные и технологические способы. Наиболее изнашиваемые поверхности ковшей экскаваторов и зубьев упрочняют приваркой шипов [1], а также путем создания условий для их самозатачивания. Среди технологических способов упрочнения поверхности деталей наиболее часто применяют следующие: пластическое деформирование, термическая и термомеханическая обработка, химико-термическая обработка, наплавка и напыление, лазерное облучение, припеканием порошков, электровзрывное легирование и т.д. Среди методов пластического деформирования наиболее эффективны технологии упрочнения взрывом и взрывотермическая обработка [2]. При этих методах упрочнения достигается наиболее удачное сочетание для условий ударно-абразивного износа механических свойств деталей после упрочнения [2].

Целью работы является изыскание резервов повышения износостойкости зубьев ковшей экскаваторов методами взрывного упрочнения, необходимого сочетания свойств деталей после упрочняющей обработки для обеспечения максимальной износостойкости зубьев ковшей экскаватора.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Выбор материала и методов упрочняющей обработки в значительной мере зависит от условий эксплуатации, которые определяются в основном виде изнашивания. При классификации видов изнашивания учитывающий степень закреплённости абразива и характер его воздействия на изнашиваемую деталь [1]. Преобладающим видом изнашивания зубьев ковшей экскаваторов в условиях экскавации стальной породы (Полтавский ГОК) является изнашивание жестко-закрепленным абразивом, а именно изнашивание о монолит [1]. При этом монолитом считаются крупные куски породы [1].

Выбор метода повышения износостойкости необходимо осуществлять в том же порядке, что и материала для работы деталей в условиях абразивного изнашивания [1]. Вначале определяют кратность необходимого срока службы детали n [1]. При этом следует учитывать, что срок службы зубьев ковшей экскаватора в зависимости от манеры работы и навыков экскаваторщика разный. Ориентируемся на наиболее изнашиваемые зубьев, используя диаграмму ресурса работоспособности зубьев ковшей экскаватора. Износостойкость желательно повысить либо на 15 %, либо в 1,15 раза; 2,15 и т.д.

Вид изнашивания определен ранее. Ударно-абразивное изнашивание зубьев ковшей экскаваторов происходит при ударном взаимодействии частиц или выступов абразива с изнашиваемой поверхностью. Зубья ковшей экскаваторов изготавливают из высокомарганцевистой аустенитной стали Г13Л. В закаленном состоянии эта сталь имеет аустенитную структуру, высокую вязкость и износостойчивость в условиях ударных нагрузок и больших давлений. Износ этой стали происходит в результате пластического оттеснения, хрупкого выкрашивания и микромакроцарапания. Анализ характера изношенных поверхностей показывает, что при их износе в условиях работы на Полтавском ГОКе на зубьях и ковше при эксплуатации появляются микро- и макроцарапины глубиной от $2,5 \cdot 10^{-7}$ до $500 \cdot 10^{-7}$ м, микро- и макрорывы площадью от $3 \cdot 10^{-4}$ до $100 \cdot 10^{-4}$ м² при глубине до $6 \cdot 10^{-2}$ м. Таким образом, на износостойкость деталей в условиях ударно-абразивного износа влияют твердость изнашиваемой поверхности, прочность и пластичность. Твердость повышает сопротивление царапанию, а прочность и пластичность – стойкость к выкрашиванию и пластическому оттеснению.

Согласно современной теории износа, последний, в условиях ударно-абразивного износа закрепленным абразивом, определяется по зависимостям, полученным Г.М.Сорокиным [3]

$$u = f \frac{H_a}{H_m} \frac{A}{\sigma_s \psi} \beta \gamma, \quad (1)$$

где u – износ по массе; f – коэффициент трения; A – работа, выполняемая внешними силами трения, ψ – относительное сужение; σ_s – временное сопротивление разрушению; γ – плотность стали; H_a, H_m – твердость материала абразива и зуба.

В свою очередь, коэффициент трения и работа, выполняемая внешними силами трения, также являются функциями твердости и пластичности. Установление зависимости износа от комплекса параметров в конечном итоге сводится к универсальному критерию долговечности – произведению предела прочности σ_s на относительное сужение ψ . Однако, зависимость износостойкости сталей от одновременного влияния прочности и пластичности не имеет оптимума по соотношению этих величин.

Среди методов упрочнения высокомарганцевистых сталей – взрывное, обеспечивает высокие показатели прочности и пластичности. Теория и практика взрывной обработки развивается и не все возможности и аспекты действия

взрыва раскрыты и нашли должного применения. Повышение эффективности существующих технологий, в частности, взрывного упрочнения может происходить по следующим направлениям:

- оптимизация параметров взрывного упрочнения;
- разработка комбинированных методов обработки;
- создание принципиально новых методов взрывной обработки.

Оптимальным режимом взрывного нагружения поверхности детали с точки зрения упрочнения и обеспечения максимальной износостойкости является такой, который обеспечивает максимальное приращение предела прочности σ_e (или твердости) при минимальном изменении пластичности, по сравнению с их исходными значениями. Физический аспект процесса оптимизации заключается в выборе и обосновании параметров оптимизации, а технологический – в обеспечении условий нагружения (деформирования) поверхностного слоя детали, соответствующего выбранным значениям этих параметров. Для материала с заданными физико-механическими свойствами величина $\Delta \sigma_e$ (приращение предела прочности) обусловленная импульсным нагружением зависит от следующих основных физических факторов скорости перемещения ударного фронта (при накладном заряде взрывчатого вещества – скорости детонации); величины давления на фронте ударной волны; распределения остаточных напряжений после импульсного нагружения. Оптимальное физическое состояние определяется конкурирующим влиянием двух протекающих процессов физического упрочнения (наклепа), с одной стороны, и либо разупрочнения, либо повышения пластичности, обусловленного образованием, микродефектов и дробления структурных составляющих материала упрочняемой детали – с другой. В настоящее время установлено [3–5], что степень физического упрочнения с целью повышения износостойкости деталей оптимальна при максимальной интенсивности деформаций. Максимальная интенсивность деформаций в условиях ударно-волнового нагружения возникает при критической скорости удара, когда образец разрушается в точке удара. По Карману и Тейлору [2]

$$u_{кр} = \int_0^{\varepsilon_m} (\rho^{-1} d\sigma / d\varepsilon)^{0,5}, \quad (2)$$

где ρ – плотность материала; $\varepsilon, \varepsilon_m$ – степень текущей деформации и деформации, соответствующей пределу текучести; $d\sigma / d\varepsilon$; $d\sigma / d\varepsilon$ – тангенс угла наклона касательной к кривой упрочнения материала.

По экспериментальным данным Д.С.Кладка и Д.С.Вуда приведенным в работе [2], для марганцовистой стали Гадфильда $u_{кр} = 230 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Расчетные значения по (2) превышают в 2,5 раза это значение.

Относительная деформация по нормали к фронту ударной волны [2]

$$\varepsilon_r = u / D = 1 - \rho_0 / \rho = 1 - v / v_o, \quad (3)$$

где ε_r – относительная деформация к фронту ударной волны; ρ, ρ_0 – начальная и конечная (после прохождения ударного фронта) плотность металла; v_0, v – начальный и конечный объем металла.

Для гексогена $D=6200 \text{ мс}^{-1}$, $\varepsilon_r = 3,7\%$, $v/v_0=0,963$.

Полная деформация

$$\varepsilon_n = \frac{4}{3}v/v_0 = 0,050.$$

Для аммонита 6ЖВ $D=3600 \text{ мс}^{-1}$; $\varepsilon_r = 6,4\%$, $v/v_0=0,936$; $\varepsilon_n = 0,088$.

Эти данные соответствуют режимам взрывного упрочнения рекомендуемым для промышленного использования [2].

Что касается следующего направления, то в настоящее время наиболее высокая износостойкость стали Гадфильда достигается при взрывотермической обработке [4]. Последняя, включает упрочнение взрывом с последующим рекристаллизационным отжигом, который обеспечивает создание равновесной мелкозернистой структуры. Однако применение дополнительной термической обработки деталей в условиях карьера затратно и малопродуктивно. Более эффективно в этом случае использовать дополнительную взрывную обработку, которая приводит к образованию мелкодисперсных структур с реализацией недислокационного механизма пластичности [5]. Это возможно при дополнительном упрочнении поверхностей сходящимися ударными волнами [5], через промежуточную среду. В качестве последней, как правило, используется вода. В условиях карьерного производства более технологично использовать мелкие фракции добываемой продукции. Другой вариант предусматривает упрочнение поверхности «бегущей» косоугольной ударной волной соударением с метаемой технологической пластиной. Параметры процесса упрочнения соответствуют параметрам сварки взрывом, конкретнее верхней границе области сварки взрывом. В этом случае образовавшиеся на границе раздела расплавы не успевают застыть и сварное соединение разрушается. В поверхностном слое в результате быстрого охлаждения образуется микрокристаллическая структура. Проведенные испытания показали, что совмещение операций упрочнения взрывом плоской ударной волной с упрочнением сходящимися ударными волнами позволили достичь износостойкости зубьев, упрочняемых при взрывотермической обработке. При совмещении процессов упрочнения «бегущей» косоугольной волной или плоской волной с упрочнением ударными волнами от соударения с метаемой пластиной износостойкость повышается на 25–30 % по сравнению с взрывотермической обработкой. Для повышения производительности процесса комбинированной обработки процессы упрочнения можно совместить по следующей схеме (рис. 1, 2).

На первом этапе происходит контактное упрочнение партии зубьев ковшевого экскаватора. На втором этапе упрочнение осуществляется по следующей схеме. Необработанные зубья – 4 располагают веерообразно (рис. 1). На упрочняемые поверхности устанавливают накладной заряд взрывчатого вещества 1. Между зарядами рядом расположенных зубьев располагают предварительно упрочненные зубья 5.

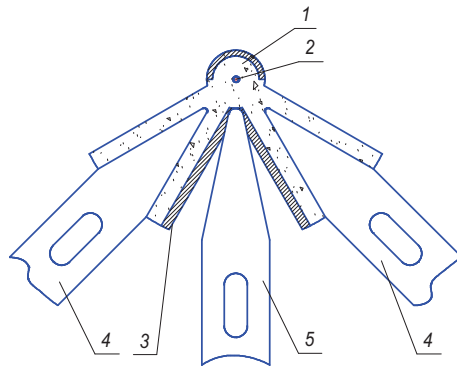


Рисунок 1 – Схема многократного упрочнения зубьев ковшей экскаваторов:

- 1 – взрывчатое вещество; 2 – электродетонатор; 3 – пластина ударника;
- 4 – зубья ковшей экскаватора, подвергаемые первичному упрочнению;
- 5 – зуб ковша экскаватора, подвергаемый вторичному упрочнению

В зависимости от повторной схемы нагружения можно реализовывать:

- 1) упрочнение зубьев 4 косым ударом метаемой пластины;
- 2) упрочнение сходящимися ударными волнами;
- 3) нагружение, обеспечивающее интенсивную пластическую деформацию в поверхностном слое упрочняемых поверхностей. В данном случае (рис. 2) между накладным зарядом взрывчатого вещества 1 и упрочняемой поверхностью устанавливают пластину ударник 3.

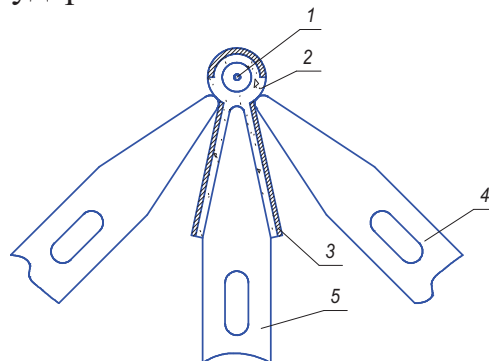


Рисунок 2 – Без пластины:

- 1 – взрывчатое вещество; 2 – электродетонатор; 3 – пластина ударника;
- 4 – зубья ковшей экскаватора, подвергаемые первичному упрочнению;
- 5 – зуб ковша экскаватора, подвергаемый вторичному упрочнению

Последнее направление видимо будет связано с образованием химических элементов в технически чистом железе и углеродистых сталях в процессе сверхглубокого проникновения микрочастиц и протеканием реакций «нового класса» (ядерных) в ударно-сжатых материалах. Развиваемый в работах В.В. Драгобецкого, В.К. Борисевича и В.В. Соболева [4] метод динамического воздействия и полученные результаты в перспективе могут быть использованы при разработке и создании принципиально новых технологий взрывной металлообработки.

Помимо этого следует учесть то, что режущая кромка зуба изнашивается крайне неравномерно. Особенно интенсивные изнашиваются кромки, приле-

гающие к боковым граням зуба. Дополнительно повысить твердость и износостойкость этих участков, возможно, если производить инициирование плоского накладного заряда взрывчатого вещества производить из трех точек линейными зарядами, расположенными вдоль оси зуба. Одна точка находится в центре кромки зуба, а две другие по краям. При подрыве линейных зарядов образуются встречные фронты детонационных волн. Это приводит к удвоению давлений на боковых кромках зуба и соответственно к повышению твердости и износостойкости этих участков.

ВЫВОДЫ. Резервом повышения износостойкости и долговечности деталей горного оборудования подвергнутых взрывному упрочнению является оптимизация параметров процесса, обеспечивающих высокие показатели твердости и пластичности упрочняемого материала, и разработка комбинированных методов взрывной обработки. Наиболее высокие показатели износостойкости в условиях ударно-абразивного износа, более чем в три раза, обеспечиваются при использовании комбинации схемы упрочнения плоской ударной волной с ударными волнами от соударения метаемой пластины с упрочняемой поверхностью и при трехточечном инициировании накладных зарядов взрывчатого вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абразивная износостойкость материалов: справочное пособие / А.Г. Добровольский, П.И. Кошеленко. – Киев: Техника, 1989. – 126 с.
2. Обработка материалов взрывом / А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Г.С. Попов, М.Р. Кръстев. – М.: Металлургия, 1991. – 496 с.
3. Сорокин Г. М. Новые критерии повышения долговечности машин. // Вестник машиностроения. – 2008. – № 5. – С. 19–23.
4. Драгобецкий В.В. Некоторые аспекты использования процессов сварки и упрочнения взрывом в металлообработке. // Технология машиностроения: журнал. – Российская федерация, 2003. – Вып. 5 (23). – С. 10–12.
5. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М.С. Дрозд, М.М. Матлин, Ю.И. Сидякин. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF EXCAVATOR BUCKET TEETH AT SELECTIVE EXPLOSIVE HARDENING

V. Lotous

"Poltava GOK"

vul. Stroiteley, 16, Komsomlsk, 39802, Ukraine.

E. Naumova, V. Dragobetsky

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine.

E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

The analysis of the methods of improvement of wear resistance of minig equipment parts is given. A sequence of choice of a method of part wear resistance increase is described. A mode of wear for concrete industrial conditions is established. The ba-

sic reason for deterioration of the mining equipment parts is processes of plastic bearing stress, fragile chipping and micro- and macro-scratching. Reserves of increase parts wear resistance hardened by explosion are connected with optimization of parameters of the hardening process and development of the combined technologies of treatment. A method of combined hardening of excavator bucket teeth is offered. The method includes hardening by a contact charge and shock waves from collision with the plate being thrown. Schemes of processes ensuring high efficiency of hardening of excavator bucket schemes are developed.

Key words: wear resistance, excavator bucket teeth, Gadfil'd steel, explosivothermal treatment, combined technologies.

REFERENCES

1. Dobrovolskiy, A.G., Koshelenko, P.I. (1989) *Abrazivnaya iznosostoykost materialov* [Abrasive wear resistance of materials], *Handbook*, Technology, Kiev, Ukraine.
2. Krupin, A.V., Soloviev, V.V., Popov, G.S. and Krastev, M.P. (1991). *Obrabotka materialov vzrivom* [Material Treatment by explosion], Metallurgy, Moskow, Russia.
3. Sorokin, G. M. (2008), "New criteria of improve ment of the durability of machines", *Journal of Engineering*, no. 5, pp. 19–23.
4. Dragobetsky V.V. (2003), "Some aspects of the use of welding and hardening by explosion in metal treatment", *Journal of Engineering Technology, The Russian Federation*, iss. 5 (23), pp. 10–12.
5. Drozd, M. S., Matlin, M.M. and Sidyakin, Y.I., (1986), *Ingernie raschety uprugoplasticheskoy kontaktnoy deformateii* [Engineering Calculations elastoplastic contact deformation], Mechanical Engineering, Moskow, Russia.

Стаття надійшла 24.12.2014.

УДК 624.15.001

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛИТЫ С РАСПОЛОЖЕННОЙ НА НЕЙ ТОЧЕЧНОЙ МАССОЙ НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА-ФУССА

В. Г. Шаповал, С. Л. Прошин

Государственное ВУЗ "Национальный горный университет"
просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.
E-mail: shap-ww@mail.ru, stanislavproshyn@gmail.com

В. С. Андреев

Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна
ул. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, 49010, Украина.

Выполнен анализ и математическое моделирование задачи, посвященной определению амплитуд вынужденных колебаний плитных фундаментов под