

вале 540 – 525 °С кремний перемещается в обратном направлении, из фазы (Al).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пикун М.В., Баженов В.Е. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 11. С. 3 – 12.

2. Пикун М.В., Беляев И.В., Сидоров Е.В. Кристаллизация сплавов и направленное затвердевание отливок. – Владимир: ВлГУ, 2002. – 214 с.
3. Баженов В.Е., Пикун М.В. // Физика металлов и материаловедение. 2013. Т. 114. № 3. С. 1 – 7.

© 2013 г. В.Е. Баженов, М.В. Пикун
Поступила 22 ноября 2012 г.

УДК 621.791

В.А. Коротков

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТВЕРДЫХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Исследована в производственных условиях износостойкость деталей с твердой наплавкой при различных видах абразивного воздействия.

Ключевые слова: наплавка, износостойкость.

INDUSTRIAL CONDITIONS HARD FACED SOLID MATERIALS WEAR RESISTANCE STUDY

Abstract. Investigated in a production environment durability of parts, hard faced with different types of abrasion.

Keywords: surfacing, wear.

Исследование износостойких наплавочных материалов принято проводить в лабораторных условиях на специальных машинах (устройствах), воспроизводящих условия изнашивания. Результаты производственных испытаний в этих случаях рассматриваются как доказательства достоверности лабораторных исследований. Но при переходе из лаборатории в производство изменению в той или иной мере подвержены и условия изнашивания, и условия наплавки испытываемых поверхностей. Как следствие, результаты могут существенно отличаться. Например, в работе [1] показано, что коэффициент износостойкости плужных лемехов, наплавленных сплавом 500X38CGH, в зависимости от обрабатываемой почвы изменяется от 1,5 до 8,0. В связи с этим сведения об износостойкости в производственных условиях можно расценивать как самостоятельный научный результат. В настоящей работе приводятся данные об износостойкости наплавленных деталей горно-металлургического оборудования, полученные при испытаниях в производственных условиях.

Наплавленный металл

Твердые наплавочные материалы преимущественно представляют собой высокохромистые стали и чугуны [1, 2]. Высокую износостойкость им обеспечивают твердые карбиды хрома, образующиеся в количестве 10 – 30 % из расплава в процессе кристаллизации. На-

пример, порошковые проволоки и лента: ПП-АН125 (190X17Г1С1Т), ПП-АН103 (170X12М), ПЛ-АН101 (300X25НЗСЗ). Для увеличения износостойкости, за счет создания в структуре более твердых, чем карбиды хрома, боридов, высокохромистую сталь легируют бором: ПП-Нп-80X20РЗ, а для работы с ударами при пониженных температурах – ниобием: ПП-Нп-350X10Б8Т2.

В 70-х годах прошлого века в Уральском политехническом институте был разработан новый тип твердого наплавочного материала (70X4М4Г2ФТР) с пониженным содержанием хрома и дополнительным легированием Мо, Ti, В, V. Это измельчило упрочняющую фазу, поскольку вместо крупных литых карбидов хрома появились дисперсные карбобориды и сложные карбиды, прочно удерживающиеся в износостойкой аустенитно-мартенситной матрице [3]. На рис. 1 показано структурное отличие нового сплава от наиболее твердой наплавки ПП-АН170. В настоящее время он под различными марками выпускается в России (ПП-ПМ 41, ПП-ЗСМ022) и в Украине (ПП-ВелТек620Н).

С 90-х годов на постсоветском пространстве активно продвигаются наплавочные материалы от западных производителей. Анализ показал, что они во многом аналогичны советским, тем не менее, некоторые из них были использованы в производственных испытаниях: ПП-80/3/D (60 % карбидов хрома в оболочке из аустенитной стали) и ПП-НС 333 (350X32С с легированием для создания вязкой аустенитно-мартенситной матрицы) [4].

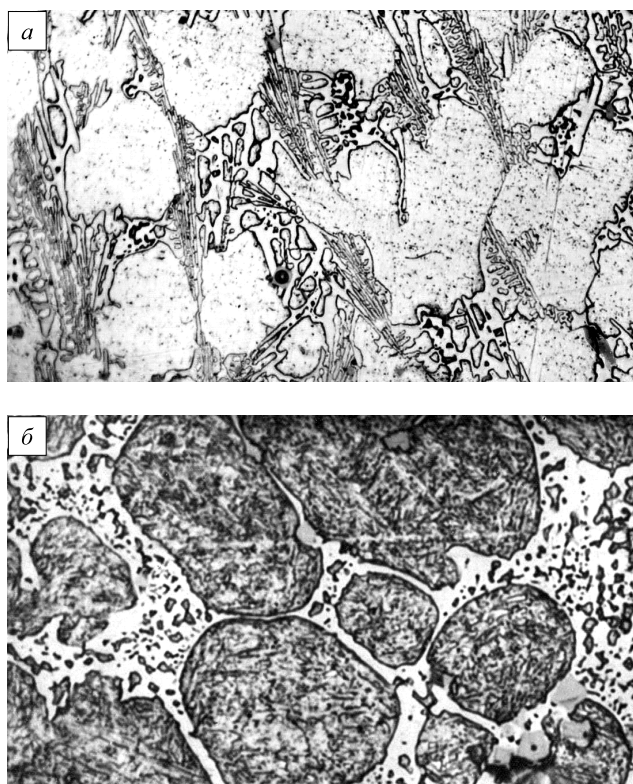


Рис. 1. Структура наплавленного слоя проволокой: ПП-АН170 (а) и ПП-3СМ022 (б), $\times 2000$

Валки дробилок

Дробилка ЦМП-4 имеет двухвалковую конструкцию и используется для дробления алюмомagneзовой шпинели до фракции 3 мм. Наплавка ее валков диаметром 400 мм твердыми материалами производилась на промежуточный мягкий слой, наплавленный проволокой Св-08А. Высокопрочная (HRC 58 – 66) наплавка проволокой ПП-АН170 (80Х20Р3) показала стойкость 78 т дробленой массы. Придание наплавленному слою вязкости за счет введения меди (проволока ПП-ОЛН24, 60Х12Д5Р2Т) снизило твердость (HRC 56 – 60), но увеличило наработку валков до 90 т дробленой массы. Наибольшую стойкость проявила проволока ПП-ПМ41 (70Х4М4Г2ФТР) – 180 т дробленой массы.

Дробилка Д4 – 950×700 используется для дробления кокса и представляет собой четырехвалковую конструкцию. Подлежащая дроблению масса проходит (с производительностью 16 т/ч) сначала через верхнюю пару валков, установленных с зазором 8 мм, а затем через нижнюю пару, установленную с зазором 4 мм. Изнашивание поверхности валков протекает неравномерно: наибольший износ сосредоточен в средней части и убывает по направлению к торцам. Чтобы устранять неравномерность зазора (следствие неравномерного износа) валки два раза в месяц калибруют проточкой, для чего на дробилке предусмотрен суппорт с держателем резцов. За полгода эксплуатации нижняя пара валков в результате проточек уменьшается в диаметре с 950 до

840 мм и подлежит утилизации. Для уменьшения расходов на закупку валков их выполняют составными. Это позволяет заменять не весь валок, а только его дробящую часть – бандаж. Но и расходы на бандажи достаточно велики. Их стоимость при массе 1,9 т составляет 160 тыс. руб/шт (цены 2012 г.). Чтобы снизить расход бандажей, проведены исследовательские работы по их восстановлению и упрочнению наплавкой.

Изначально была выбрана наиболее твердая наплавочная проволока ПП-АН170 (80Х20Р3Т), но ее применение осложнилось следующим. При наплавке твердыми сплавами неизбежно образуются трещины. Важно, чтобы частота расположения трещин была по возможности больше. Это снижает их глубину, не дает им переходить в основной металл. Такие трещины не влияют на работоспособность наплавленных деталей. Однако при наплавке бандажей желаемую картину трещин при использовании проволоки ПП-АН170 получить не удалось. Происходило образование, наряду с мелкими трещинами, глубоких трещин, располагающихся на значительном расстоянии друг от друга вдоль образующей бандажа. Эти глубокие трещины переходили в основной металл и вызывали разрывы бандажей (рис. 2). Поэтому перешли к наплавке проволокой ПП-ПМ41 (70Х4М4Г2ФТР).

Однослойная наплавка этой проволокой на изношенный бандаж из стали 30Л отработала 1232 ч. Для увеличения износостойкости предприняли двухслойную наплавку, в которой содержание легирующих элементов увеличилось за счет меньшего перемешивания наплавленного металла с нелегированным основным металлом. Это увеличило наработку до 1800 ч. Однако двухслойная наплавка проявляла повышенную склонность к образованию крупных трещин, грозящих разрывами бандажей. Для их предупреждения было ре-



Рис. 2. Разрушение бандажа при наплавке ПП-АН170

шено уменьшить длину двухслойной наплавки. Перед наплавкой отказались от калибровочной проточки, выравнивающей изношенную поверхность. Первый слой наплавлялся с отступлением от обоих торцов на 100 мм, в средней части банджа на длине 500 мм, где имеет место локальная выработка. Второй слой наплавлялся по всей длине банджа (рис. 3). При новом порядке двухслойной наплавки крупные трещины не образовывались даже при замене бандажной углеродистой стали 30Л на легированную сталь 65Г. При этом стойкость наплавленных бандажей увеличилась до 2300 ч.

Увеличение срока службы бандажей в результате наплавки позволило изменить порядок их употребления. Выше уже отмечалось, что при работе с ненаплавленными бандажками их два раза в месяц протачивают для устранения неравномерности износа. С появлением наплавленных бандажей их установку стали производить только на верхнюю пару валков и эксплуатировать без калибровочных проточек. Отказ от проточек произошел по двум причинам. Первая состоит в том, что твердая наплавка не поддается обработке резцом. Вторая причина заключается в отсутствии самой потребности в проточке из-за незначительного износа твердой наплавки. Новый порядок отработки бандажей уменьшил их годовой расход на четыре дробилки с 24 до 20 шт, из которых 8 бандажей – наплавленные.

Годовая экономия при этом составляет:

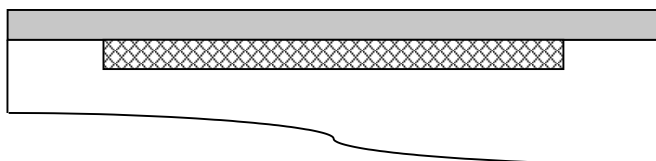


Рис. 3. Схема двухслойной наплавки: первый (нижний) слой не доходит до торцов банджа на 100 мм

$$\Xi = 24 \cdot 160 \text{ тыс. руб} - [12 \cdot 160 \text{ тыс. руб} + (8 \cdot 90 \text{ тыс. руб})] = 1200 \text{ тыс. руб},$$

где 90 тыс. руб – стоимость наплавки одного банджа при эффективности вложений в наплавку:

$$1200/720 = 1,7 \text{ руб. экономии на 1 руб затрат.}$$

Отводы большого диаметра

Отвод насоса 2ГрТ 8000/71 представляет собой круто загнутую трубу диаметром 1020 мм со стенкой 20 мм из стали 17ГС. Его изнашивание происходит по внутренней поверхности перекачиваемой пульпой, содержащей абразивную фракцию. Изнашивание обычно происходит неравномерно, с образованием сквозных (на всю толщину стенки) промывов. Нехватка отводов на горно-обогатительном комбинате приводила к необходимости установки заплат на места промывов, что было не эффективным, так как быстро образовывались новые промывы. Частая замена отводов давала большие простои насосов, что не позволяло своевременно убирать шламовые отходы и тем ограничивало выработку основного производства всего горно-обогатительного комбината. Последнее послужило основанием к поиску вариантов по увеличению срока службы отводов.

Исследования начали с того, что одновременно с установкой заплат стали производить износостойкую наплавку. Стойкость восстановленных отводов поднялась. Это снизило остроту их дефицита и позволило перейти к проведению предварительной наплавки новых отводов.

Сведения об износостойкости наплавленных и ненаплавленных отводов приведены в табл. 1, по которой можно заключить следующее. Наплавочные проволоки ПП-ПМ41 и ПП-АН125 на новых отводах и на отводах,

Таблица 1

Коэффициент износостойкости наплавленных отводов грунтового насоса

Год, п.п.	Отводы		Наплавочная проволока
	Новые наплавленные	Восстановленные наплавкой	
1	2,07	1,15	ПП-ПМ 41 (70X4M4Г2ФТР)
	2,05	0,92	ПП-АН 125 (190X17Г1С1Т)
2	2,26	1,36	– " –
3	2,16	1,08	– " –

Примечания.

1. Коэффициент износостойкости определялся как отношение часов, отработанных отводами с наплавкой, к часам, отработанным новыми отводами без наплавки, на одних и тех же насосах.
2. Каждое значение коэффициента износостойкости получено по результатам испытаний 5 – 12 пар (восстановленный наплавкой – ненаплавленный новый) отводов.
3. С четвертого года эксперимента введена 100 % наплавка новых отводов, а восстановление изношенных отводов наплавкой прекращено.

бывших в употреблении (восстановленных) показали примерно равную износостойкость. Решение о дальнейшем применении проволоки ПП-АН125 принято по организационным мотивам.

Новые отводы с наплавкой вдвое долговечнее новых отводов без наплавки и отводов, восстановленных наплавкой. Эта закономерность подтверждалась на протяжении второго и третьего годов эксперимента. На четвертый год эксперимента из-за возросшей стойкости отводов в результате наплавки их дефицит был ликвидирован. При этом оставалась дилемма: продолжать на прежнем уровне закупку новых отводов или уменьшить за счет применения восстановленных. Второй вариант предполагал более частые замены, а значит и более длительные простои насосов. Выбор сделали в пользу первого варианта, т.е. восстановление изношенных отводов прекратили, но все поступающие в работу новые отводы стали подвергать износостойкой наплавке.

Была исследована возможность повышения стойкости отводов за счет наплавки импортными проволоками фирмы Welding Alloys: ПП-НС333 и ПП-80/3/D. Для этого опытный отвод наплавляли различными проволоками чередующимися полосами по 70 мм (рис. 4) и пос-

ле эксплуатации составили сравнительную табл. 2. По приведенным в ней сведениям можно отметить следующее. За время эксплуатации отвода участки с отечественной наплавкой изнашивались на всю толщину наплавки, а на участке с наплавкой ПП-АН125 образовался промыв. Проволока ПП-ПМ41, как и в предыдущих испытаниях (см. табл. 1), показала некоторое превосходство в износостойкости над проволокой ПП-АН125. Наплавки импортными проволоками изнашивались существенно меньше, чем отечественная наплавка, что позволяло рассчитывать на эффективное их применение, несмотря на существенное удорожание в цене. Однако этот результат не нашел подтверждения при последующем испытании. Отвод, полностью наплавленный ПП-НС 333, отработал до образования промыва на 11 % меньше, чем отвод, полностью наплавленный ПП-АН125. Объяснение этому видится в следующем. Промывы, образующиеся в отводах, указывают на то, что разрушающее действие перекачиваемой пульпы имеет максимум на некотором локальном участке. Вероятно, что в отводе с чередующимися наплавками он пришелся на участки с отечественной наплавкой, а импортная наплавка не испытала максимального воз-

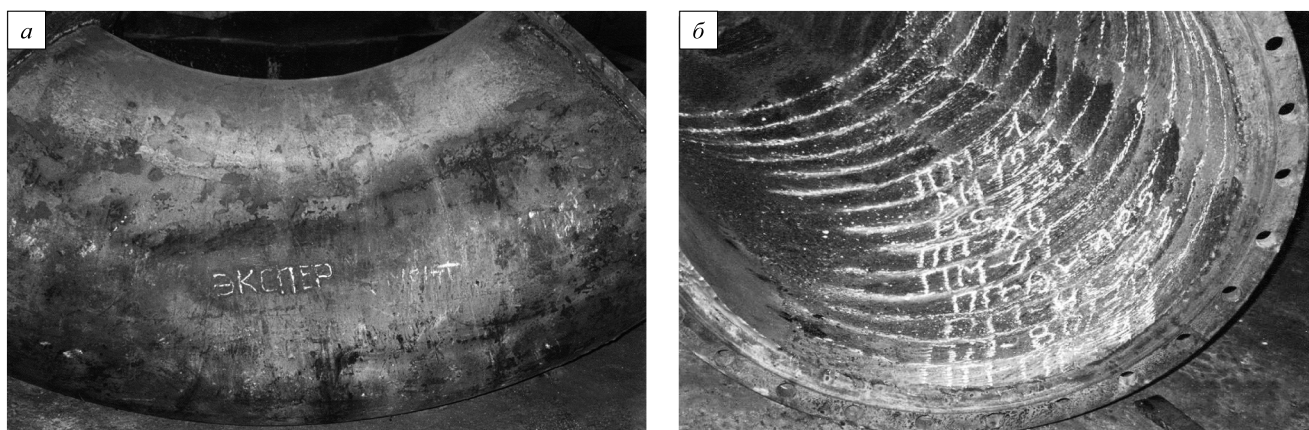


Рис. 4. Опытный отвод (а) с участками, наплавленными различными проволоками (б)

Таблица 2

Сравнение наплавочных проволок по цене и износостойкости*

Проволока	Твердость, (прибор УЗИТ-3)	Износ отвода по толщине, мм		Относительная цена проволоки
		наплавленный слой	основной металл	
ПП-АН125 (190X17Г1С1Т),	HRC54	4	20 (продув)	1
ПП-ПМ41 (70X4М4Г2ФТР).	HRC62	4	14	1
ПП-НС333 (350X32С)	HRC56	2-3	Отсутствует	3
ПП-80/3/D (карбиды хрома в оболочке из аустенитной стали)	HRC50	3-4	Отсутствует	9

* Всеми проволоками выполнялась наплавка толщиной около 4 мм

действия. Когда же наибольшее разрушающее воздействие было приложено к импортной наплавке, то ее сопротивляемость износу оказалась не выше чем у отечественных проволок. Поскольку стоимость импортной проволоки многократно (в 3 – 9 раз) выше, чем отечественной, то, при равной износостойкости, применение импортной проволоки нецелесообразно.

Экономия от применения наплавки одного отвода рассчитана с учетом, что наплавка (91 тыс. руб) высвобождает один новый отвод (109 тыс. руб) и затраты по его установке (130 тыс. руб), что в сумме составляет $109 + 130 - 91 = 148$ тыс. руб при эффективности вложений 1,6 руб. экономии на 1 руб. затрат.

Газовый отвод вакууматора предназначен для удаления запыленных газов, образующихся в процессе вакуумирования стали. Отвод, смонтированный при пуске вакууматора в эксплуатацию, имел твердую наплавку на внутренней поверхности и отработал 5 лет. При его замене был установлен ненаплавленный отвод, который вышел из строя через две недели. На следующий отвод было решено нанести износостойкую наплавку. Ее выполнили участками 250×250 мм, чередуя в шахматном порядке проволоки ПП – ВелТек Н620 (70X4M4Г2ФТР) и ПП–НС333 (350X32С). Через полгода эксплуатации было обнаружено глубокое локальное изнашивание третьего сектора на площади $\sim 500 \times 400$ мм (рис. 5). При этом величина износа на участках с различной наплавкой была одинаковой, т.е. преимущество какой либо из наплавочных проволок не выявилось. Причина же быстрого локального износа состояла в том, что в отводе, по сравнению с проектом, было уменьшено число секторов с пяти до четырех. Это изменило крутизну загиба и увеличило разрушающую способность газового потока. Данный пример показывает справедливость утверждения автора работы [5], что меры по снижению трудоемкости изготовления, массы и увеличению производительности машиностроительной продукции не должны приниматься без учета

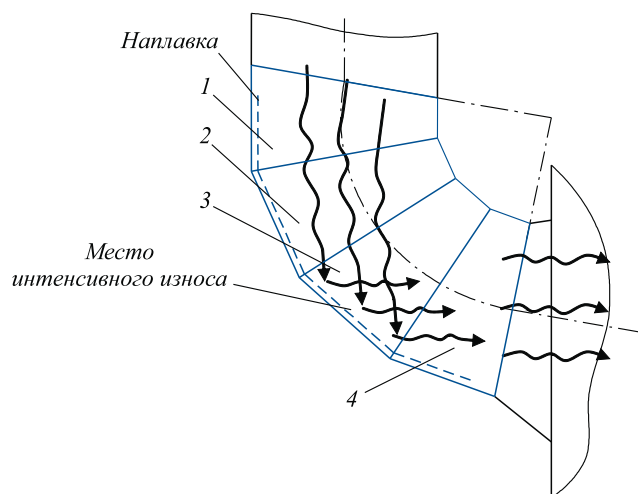


Рис. 5. Газовый отвод вакууматора:
1 – 4 номера секторов

их влияния на долговечность и надежность. В данном случае уменьшение трудоемкости изготовления отвода за счет сокращения числа секторов привело к многократному снижению его срока службы.

Сита грохотов применяются для гранулирования агломерата по окончании его спекания. Они представляют собой листовой настил со щелями. В результате абразивного и теплового (700°C) воздействия ширина щелей увеличивается, и сито выводится из эксплуатации.

Проводились исследования по наплавке кромок щелей с целью более длительного сохранения их ширины. Использовались проволоки: ПП-АН106 (10X14Т), ПП-АН125 (190X17Г1С1Т), ПП-ПМ41 (70X4M4Г2ФТР). Помимо износа кромок щелей происходит износ поверхности листового настила с одновременным короблением от неравномерного нагрева. Чтобы избежать преждевременной замены сита с наплавленными кромками щелей из-за уменьшения толщины и коробления листов, поверхность листов была наплавлена в виде сетки теми же проволоками. Эти меры позволили опытному сити (рис. 6) отработать более двух сроков. При этом замена его была произведена не из-за износа, а вследствие усталостного разрушения сварных швов, скрепляющих конструкцию грохота.

Износ наплавленных валиков (табл. 3) на кромках щелей составил: 4 мм (на всю высоту валика) для проволоки ПП-АН106 (10X14Т), 3 мм для проволоки ПП-ПМ41 (70X4M4Г2ФТР), 1 мм для проволоки АН125 (190X17Г1С1Т). Первая проволока с содержанием хрома 14 %, делающим ее стойкой к окислению при температурах работы сита, оказалась наименее износостойкой. Это можно объяснить низким сопротивлением абразивному изнашиванию из-за отсутствия в ней высокотвердых карбидов хрома, что обусловлено низким содержанием углерода (0,1 %). Равная в условиях работы отводов шламовых насосов износостойкость твердых наплавочных проволок (ПП-АН125 и ПП-ПМ41) в данном случае не подтвердилась. Значительный износ наплавки ПП-ПМ41 (70X4M4Г2ФТР) связан с окислением. В ней содержание хро-



Рис. 6. Фрагмент наплавленного сита грохота после двойного срока эксплуатации

Таблица 3

Износ наплавки на кромках щелей сита агломерационного грохота

Наплавочная проволока	Твердость, HRC	Износ, мм
ПП-АН106 (10X14Т)	40	4
ПП-ПМ41 (70X4М4Г2ФТР)	56	3
ПП-АН125 (190X17Г1С1Т)	56	1

ма (4 %) ниже уровня (7 %), необходимого для окалиностойкости при рабочей температуре сита 700 °С [6].

Ковш погрузо-доставочной машины (ПДМ) используется в шахтах для перемещения руды из забоя в транспортные вагонетки и подвергается интенсивному абразивному износу. С целью повышения долговечности был приобретен дорогостоящий импортный ковш из стали XARDOX 500. Однако его срок службы оказался существенно меньше того, на который рассчитывали. За четыре месяца эксплуатации (~100 тыс. т груза) износ составил 50 мм в средней части лезвия и по 120 мм на краях. При таких темпах изнашивания его срок службы не мог превысить 6 месяцев вместо планируемых 12 месяцев. Для сохранения ковша в эксплуатации произвели наплавку. Ее выполнили на верхней и на нижней поверхности лезвия проволокой ПП-ПМ41 (70X4М4Г2ФТР) в виде сетки 30×30 мм. Осмотром через два месяца эксплуатации (50 тыс. т груза) установлено, что наплавленная сетка на кромке лезвия полностью износилась, поэтому было решено наплавить кромку сплошным слоем шириной ~50 мм (рис. 7). Чтобы не спускать в шахту сварочный полуавтомат для небольшого объема наплавки, ее произвели электродами, близкими по химическому составу проволоке ПП-ПМ41: ОЗН-7М (Э-60Х4Г4СЗР1АФ) и ОЗИ-6 (Э-100Х4М7С1Ф1). Через 2 месяца эксплуатации (22 тыс. т груза) наплавка, выполненная электродами ОЗН-7М, заметно (на 1 – 2 мм) износилась, чего нельзя было сказать о наплавке электродами ОЗИ-6. Она сохранила свою толщину, поэтому возобновление наплавленного слоя в местах локального износа впоследствии выполняли электродами ОЗИ-6. В следующие 6 месяцев эксплуатации ПДМ перевезла 150 тыс. т груза. Таким

образом, благодаря наплавке отечественными материалами, изнашивание лезвия дорогостоящего импортного ковша из стали XARDOX 500 было остановлено, что увеличило его срок службы в ~ 2,2 раза.

Лопатки ротора эксгаустера

В условиях работы агломерационной машины газовый поток, создаваемый эксгаустером, имеет высокую запыленность, вследствие которой лопатки ротора эксгаустера быстро выходят из строя. Износ лопаток приводит к их укорочению и уменьшению (преимущественно у центрального диска) толщины, иногда с образованием продувов. Для придания износостойкости было предпринято решение о наплавке торцов лопаток и прилегающей к центральному диску полосы шириной 70 – 100 мм. Наплавка твердыми сплавами неизбежно сопровождается образованием в наплавленном слое трещин, поэтому были опасения разрушения наплавленных лопаток во время эксплуатации. Чтобы снизить риск разрушения, среднюю часть лопаток (1/3 длины) наплавляли полутвердой (HRC 40) проволокой Св-12Х15Г2, не дающей трещин [7]. После эксплуатации твердая наплавка (ПП-ВелТек620Н), выполненная на крайних частях лопаток, сохранилась, а в полутвердой наплавке образовались продувы. При этом они не переходили в твердую наплавку, а углубившись под нее в основной металл, остановились в развитии. Имеющиеся изначально в твердой наплавке ниточные трещины в ходе эксплуатации не увеличились. Таким образом, твердая наплавка показала преимущество в износостойкости, при этом опасения относительно разрушения лопаток с твердой наплавкой не подтвердились. Это позволило перейти к сплошной наплавке лопаток твердыми сплавами.

Лопатки ротора, бывшего в эксплуатации 31 сут с остаточной толщиной лопаток 5 – 7 мм, наплавляли различными проволоками. Наплавленный ротор отработал вдвое дольше (60 сут), после чего его разобрали и вырезали лопатки для обследования. Точное определение износа оказалось невозможным из-за неравномерностей остаточной толщины лопаток перед наплавкой и толщины слоя наплавки, соизмеримых с величиной износа (1 – 2 мм). Но то, что наплавленный слой после двойной эксплуатации сохранился на всех лопатках (рис. 8), позволило рекомендовать эти материалы к дальнейшему применению.

Наблюдения с 1999 г. за роторами эксгаустеров показывают, что наплавка продлевает срок их службы в 1 – 2 раза. Наиболее длительную эксплуатацию выдерживают новые роторы с наплавкой. Роторы, бывшие в эксплуатации, имеют толщину лопаток 3 – 7 мм, что существенно меньше, чем у новых роторов (8 мм у клепанных и 14 мм у сварных роторов), поэтому их срок службы короче. Экономия от наплавки клепанных роторов, бывших в эксплуатации, при равной их стойкос-



Рис. 7. Ковш ПДМ с опытной наплавкой

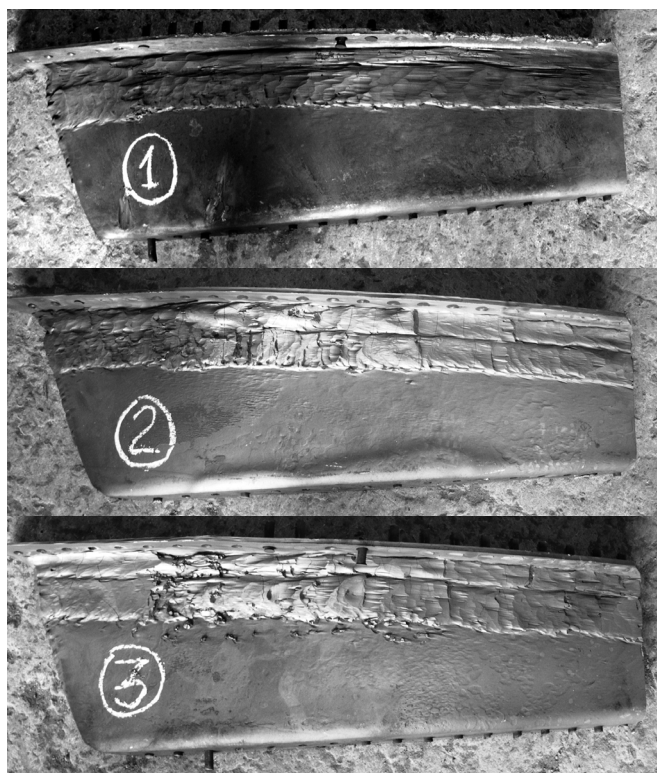


Рис. 8. Лопатки ротора эксгаустера после двойного срока эксплуатации с наплавкой:
ПП-50Х5МГС (1); ПП-ПМ 41 (2); ПП-ВелТек620Н (3)

ти с новыми, составляет разность между стоимостью ремонта по замене лопаток и стоимостью наплавки (~50 % стоимости ремонта). Сварные роторы ремонту с заменой лопаток не подлежат, поэтому экономия от их наплавки выше, так как составляет разность между ценой нового ротора (1 – 2 млн руб.) и стоимостью наплавки (0,2 – 0,5 млн руб.).

Выводы. Низкохромистый наплавленный металл (70Х4М4Г2ФТР) в условиях гидроабразивного (отвод насоса), газоабразивного (отвод вакууматора, лопат-

ки ротора эксгаустера) и контактноабразивного (валки дробилок) изнашивания не уступает или превосходит в износостойкости высокохромистые наплавочные материалы (190Х17Г1С1Т, 80Х20Р3Т, 350Х32С).

В условиях воздействия высоких температур и абразивного фактора (сита грохотов) его износостойкость значительно снижается из-за окалинообразования, обусловленного недостаточным (< 7 %) содержанием хрома.

В условиях ударноабразивного изнашивания ковша шахтной ПДМ низкохромистая твердая наплавка замедлила износ лезвия из дорогостоящей импортной стали XARDOX 500 в 2,4 раза.

Конструкторское решение по снижению трудоемкости изготовления газового отвода вакууматора за счет уменьшения числа секторов с пяти до четырех, повлекшее увеличение крутизны загиба, увеличило разрушающее воздействие газового потока и на порядок снизило стойкость как высокохромистой, так и низкохромистой наплавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрумин И.И. Современные типы наплавочных материалов и их классификация. //Наплавленный металл – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. Наукова думка, 1977. С. 3 – 17.
2. Технология сварки металлов и сплавов плавлением. / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
3. Королев Н.В, Рылов О.И, Мельников А.И. //Цветмет-информация: Цветная металлургия. 1977. № 5. С. 28 – 30.
4. Welding Alloys LTD: 35 лет – в Море, 7 лет – в России. //Санкт-Петербург: АОЗТ «Welding Alloys Russia», 2000. – 60 с.
5. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-метод. пособие. В 2-х кн. Кн. 1. /Под ред. П.Н. Учайева. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
6. Металловедение и термообработка стали и чугуна: Справ. / Под ред. Н.Т. Гудцова. – М.: Металлургиздат, 1956. – 420 с.
7. Пат. 2212991 РФ. Проволока для наплавки. //Бюл. № 27 от 27.09.2003.

© 2013 г. В.А. Коротков
Поступила 17 октября 2012 г.