



МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БАНДАЖЕЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ (Обзор)

С. М. КОЗУЛИН, инж., И. И. ЛЫЧКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
М. Г. КОЗУЛИН, канд. техн. наук (Тольяттинский гос. ун-т, Россия)

Приведен анализ причин выхода из строя бандажей вращающихся печей в процессе эксплуатации. Рассмотрены существующие методы ремонта сквозных трещин в бандажах без их демонтажа с корпуса печи. Дан сравнительный анализ эффективности выполнения ремонтных работ с применением электродуговой и электрошлаковой сварки.

Ключевые слова: вращающиеся печи, бандажи, трещины, методы ремонта, монтажные условия, сварка электродуговая, автоматическая, электрошлаковая, многослойная электрошлаковая сварка

Основными элементами технологических линий по производству цемента, обжига сырьевых материалов в металлургической, химической промышленности и других являются такие металлоемкие крупногабаритные агрегаты, как вращающиеся печи диаметром 3,6... 7 м и длиной 75...230 м (рис. 1) [1]. В печах, эксплуатируемых в непрерывном режиме, для получения цементного клинкера, извести, гипса, глинозема, металлургических окатышей и др., проводят высокотемпературную обработку сырья. В зависимости от типоразмера номинальная часовая производительность, например, цементных печей составляет 22...125 т клинкера. Поэтому аварийная остановка цементной печи диаметром 5×185 м (только от недовыпуска продукции) приводит к убыткам предприятия, достигающим 75 т клинкера за каждый час простоя.

Корпус вращающейся печи [1] представляет собой относительно тонкостенную ($S = 16...30$ мм) цилиндрическую оболочку с утолщенными подбандажными обечайками ($S = 40...100$ мм), нагруженную по длине усилиями от собственного веса, веса футеровки и веса перерабатываемого материала, и в то же время нагруженную сосредоточенными силами, действующими на площадках контакта между корпусом и бандажами. Сосредоточенные силы вызывают наибольшие напряжения в корпусе и узлах печи в районе опор. В зависимости от длины печи на ее корпусе установлено от четырех до девяти опорных бандажей. В печах диаметром 5 и более метров (в местах установки бандажей) на корпус передается опорная реакция, достигающая 4000 кН и более [2].

Наиболее тяжело нагруженными и аварийноопасными деталями вращающихся печей являются опорные бандажи сплошного прямоугольного сечения, надеваемые на корпус печи с опреде-

ленным радиальным зазором, а также бандажи сплошного фигурного сечения, ввариваемые в корпус печи [3].

Для печей диаметром более 4,5 м широко используются негабаритные бандажи, изготовленные из двух окончательно обработанных литых половин с применением электрошлаковой сварки (ЭШС) на месте монтажа печей [4]. Большинство бандажей изготавливают из среднеуглеродистых сталей 35Л, 30ГСЛ и 34Л-ЭШ. Размеры поперечных сечений сварнолитых бандажей составляют (355...500)×(900...1350) мм.

К настоящему времени накоплен большой опыт изготовления сварнолитых бандажей в производственных и монтажных условиях из сталей 30Л, 35Л, 25ГСЛ и 30ГСЛ. Оптимальной является технология сборки и сварки окончательно обра-



Рис. 1. Вращающиеся обжиговые печи диаметром 5×185 м с бандажами прямоугольного сечения, установленными на корпусе печи с радиальным зазором (а), и вварными бандажами фигурного сечения (б)



Рис. 2. Типичное разрушение бандажа вращающейся печи в результате образования сквозной поперечной трещины

ботанных половин бандажа в точный размер [5]. Оба стыка бандажа одновременно заваривают ЭШС, после чего осуществляют местную термическую обработку сварных швов с помощью переносных электрических печей.

Полный средний срок службы бандажей должен составлять не менее 21 года при количестве оборотов 0,6...2,0 об/мин и не менее 19 лет при количестве оборотов 2,1...3,5 об/мин [2]. Однако на практике не все бандажи вырабатывают нормативный срок эксплуатации из-за разрушения по поперечному сечению, чрезмерного износа и выкрашивания металла поверхности катания и др.

Многолетняя практика показала, что основной причиной длительного простоя указанных технологических линий является образование сквозных поперечных трещин в бандажах вращающихся печей (рис. 2).

Учитывая, что в странах СНГ насчитывается более 100 цементных заводов, на каждом из которых эксплуатируется две и более технологические линии непрерывного цикла производства, на вращающихся печах в постоянной работе находится более 1200 сварнолитых бандажей. Согласно анкетным данным бюро надежности ЗАО «Волгоцеммаш», являющимся в течение сорока лет головным предприятием по выпуску вращающихся печей, в целом только по цементной отрасли в результате появления трещин ежегодно выходит из строя от трех до семи бандажей, причем в 86 % случаев образуются сквозные трещины [6].

Проведенный статистический анализ показал, что большинство разрушений бандажей наблюдалось на цементных заводах, оснащенных наиболее крупными печами длиной 95 м и диаметром 6,4/7,0 м (около 70 %) для сухого способа про-

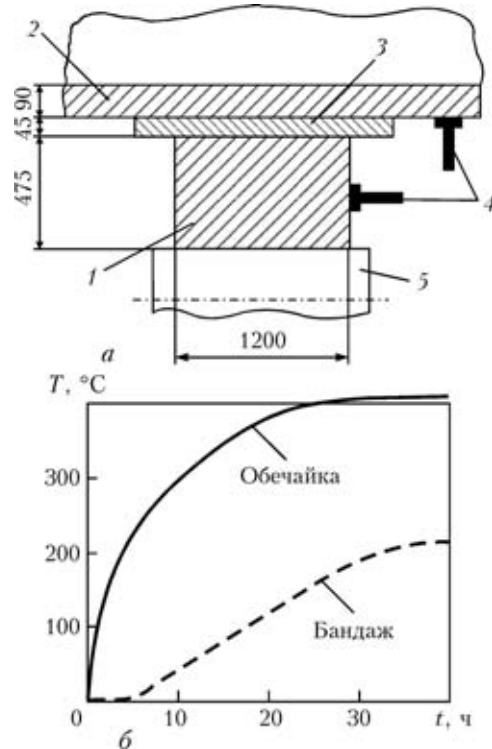


Рис. 3. Схема расположения температурных датчиков (а) и график нагрева (б) бандажа и подбандажной обечайки горячего конца вращающейся печи диаметром 6,4/7×95 м в пусковой период: 1 — бандаж; 2, 3 — соответственно подбандажная обечайка и накладка; 4 — термометры; 5 — ролик подбандажный

изводства цемента. Характерной особенностью эксплуатации этих печей является ускоренный разогрев горячей зоны в пусковой период, что приводит к образованию большой разности температур нагрева подбандажной обечайки и бандажа. При этом в начальный момент (6 ч) в результате нагрева подбандажной обечайки (230 °C) и увеличения ее диаметра ликвидируется заданный радиальный (тепловой) зазор (с 7,5 до 0 мм) между бандажом и обечайкой (рис. 3). С этого момента наступает состояние распора бандажа силами, создаваемыми температурными напряжениями в подбандажной обечайке и наличием собственных напряжений в бандаже от перепада температур по его толщине. Вторым фактором, влияющим на несущую способность бандажей, являются поперечные деформации изгиба от реакций роликоопор и условия перераспределения механических нагрузок на опорах печи в связи с искажением ее геометрической формы в процессе работы (рис. 4).

Косвенную оценку деформаций изгиба бандажей осуществляют путем измерения поперечных деформаций корпуса печи в районе установки бандажей. Для этого на корпус печи устанавливают механический портативный прибор (деформациограф Д9-А) с магнитным креплением [7], содержащий самопишущее устройство, позволяющее получать в масштабе 100:1 геометрически

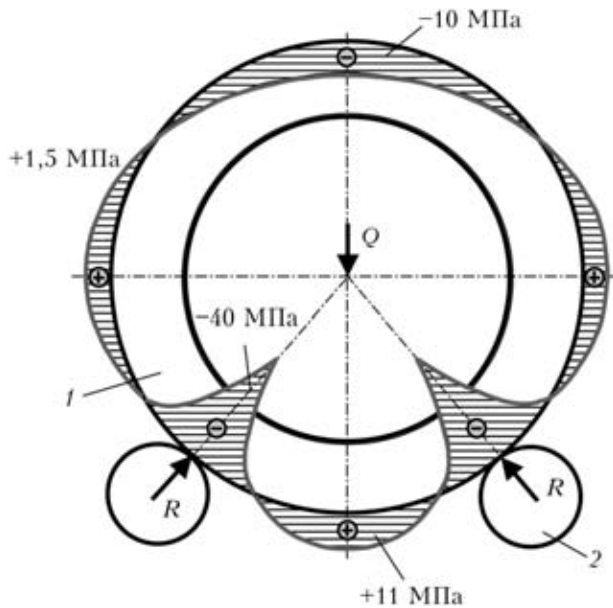


Рис. 4. Эпюра напряжений в наружных слоях бандажа вращающейся печи от реакций роlikоопор (без учета момента вращения): 1 — бандаж; 2 — опорный ролик ($Q = 7,2$ МН; $R = 4,16$ МН)

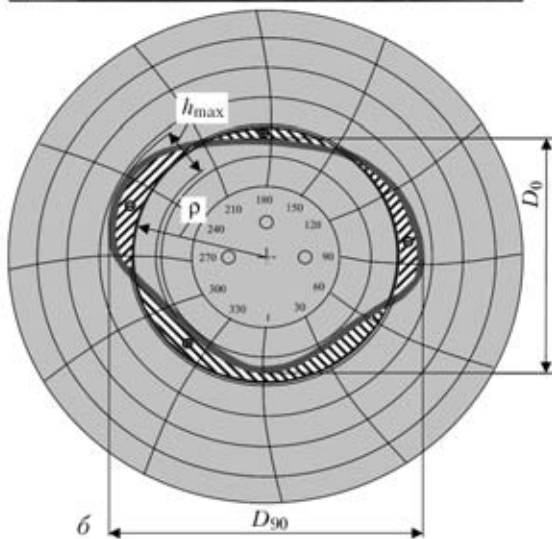


Рис. 5. Фрагмент проведения измерения деформаций (а) и иллюстрация деформациограммы (б) фактического состояния прогиба подбандажной обечайки вращающейся печи диаметром 5,6/5,0×185 м: 1 — бандаж; 2 — подбандажная обечайка; 3 — деформациограф Д-9А; h_{\max} — разность максимальных прогибов; D_0 и D_{90} — вертикальный и горизонтальный размеры деформациограммы (масштаб записи 100:1), мм; ρ — радиус нейтральной окружности, мм

подобные картины деформаций корпуса в процессе вращения печи (рис. 5, а).

Деформации записывают в поперечных сечениях корпуса, расположенных на расстоянии половины диаметра корпуса печи с обеих сторон от среднего диаметра бандажа [7]. В каждом поперечном сечении деформации записывают в трех точках, расположенных равноудаленно на наружной окружности корпуса печи. При этом точки замеров в различных поперечных сечениях располагают на одной и той же образующей корпуса печи (см. рис. 5).

Измерения поперечных деформаций корпусов печей диаметром 5 м и более показали, что наибольшие перегрузки опор, превышающие средние значения более чем в 1,5 раза и приводящие к значительным изгибным напряжениям в бандажах, установленных на подбандажных обечайках с радиальным зазором, возникают на вторых опорах с холодного конца и предпоследних на горячем конце [7].

Измерения прямолинейности корпуса печи выявили значительные искривления ее продольной оси, что повлекло за собой неравномерное распределение нагрузок по опорам [8]. Установлено, что перегрузки опор, возникающие вследствие местного искривления геометрической оси печи в период ее работы, в 2...3 раза превышают расчетные нагрузки.

Очевидно, что при совпадении перегрузок опор и превышении допустимых прогибов возможно развитие трещин, которое в дальнейшем может привести к полному разрушению бандажа. Анализ разрушений бандажей показал, что наиболее часто аварии происходят именно на вторых с краю опорах, а также соседних с ними [7, 9]. Замеры (с участием одного из авторов настоящей статьи) поперечных деформаций корпуса печи диаметром 5×185 м в ПО «Новоросцемент», на которой в горячей зоне установлены сварные бандажи, изготовленные методом ЭШЛ, показали, что деформации данного типа практически отсутствуют, что объяснимо существенным увеличением жесткости корпуса в районе опор. Установка сварных бандажей позволила значительно повысить стойкость футеровки печи. Однако такая конструкция бандажа создает сечение с большим моментом инерции, что неблагоприятно влияет на работоспособность пролетных обечайек. Повышенная жесткость корпуса печи в районе установки сварных бандажей и погрешности установки роlikоопор также часто приводят к перегрузкам опор (наблюдаются отрывы поверхности катания бандажей от роlikоопор), а это к разрушению сварных бандажей. При этом изначально трещины зарождаются в обечайках, к которым приварен бандаж, а затем поражают тело бандажа.

Таким образом, из всего многообразия факторов, отрицательно влияющих на несущую способность бандажей вращающихся печей, в качестве основных можно выделить следующие (рис. 6):

неравномерные температурные нагрузки в результате быстрого нагрева корпуса в пусковой период вращающихся печей диаметром более 5 м и ликвидации радиального (теплого) зазора между бандажом и подбандажной обечайкой;

неравномерное распределение механических нагрузок на опорах вращающихся печей диаметром 5 м и более, вызывающих высокие изгибные напряжения;

ослабление поперечного сечения бандажей в результате наличия скрытых металлургических дефектов в литье и дефектов сварных соединений таких, как неоднородность механических свойств, усадочные раковины, флокены, трубчатые поры, непровары, трещины в сварном шве и др.

Влияние первого фактора уменьшают путем совершенствования технологии эксплуатации обжиговых агрегатов, второго — изменением конструкции опорного узла печи (например, с помощью установки роликоопор на пневмоподушки конструкции ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) [9], третьего — путем улучшения качества литья заготовок, технологии их сварки, термообработки и совершенствования методов контроля качества при изготовлении бандажей.

Однако и в настоящее время вопрос проведения ремонтных работ вышедшего из строя оборудования на месте его эксплуатации не теряет своей актуальности.

Ремонт таких крупных деталей, как бандаж вращающихся печей, практически невозможен без применения сварки. Восстановительные работы с использованием сварочных процессов всегда были актуальными при ликвидации аварий в технологических линиях с непрерывным циклом производства. В практике известны и применяются два варианта ликвидации последствий образования разрушений в бандажах:

замена разрушившегося бандажом новым [10];
ремонт трещины в бандаже непосредственно на корпусе печи различными способами сварки плавлением (таблица) [11].

Производство работ по первому варианту включает разрезание корпуса печи, снятие бандажом с подбандажной обечайкой, а в ряде случаев — дополнительно снятие двух смежных обечаек, установку новой подбандажной обечайки с новым бандажом и приварку ее к корпусу печи [10]. Этим мероприятиям предшествуют работы по удалению огнеупорной футеровки печи и последующее ее восстановление. В зависимости от готовности и организации работ такой ремонт может длиться от 12 до 60 сут и является наиболее трудоемким и дорогостоящим (таблица, п.1).

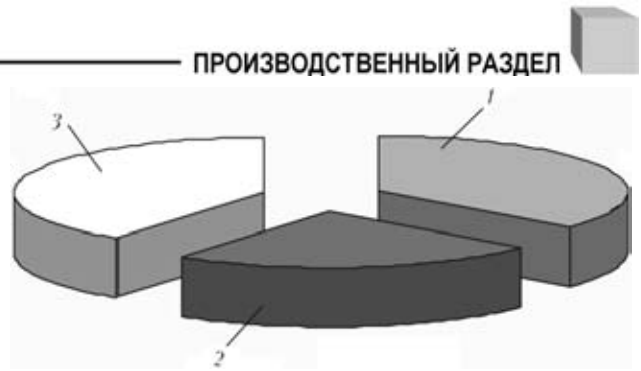


Рис. 6. Диаграмма результатов статистического анализа причин разрушения бандажей вращающихся обжиговых печей: 1 — дефекты сварных швов (36 %); 2 — дефекты литья при изготовлении бандажей (24 %); 3 — нарушения правил эксплуатации печей (40 %)

Известен также метод замены изношенных бандажей, исключаящий разрезание корпуса печи [12]. На одном из цементных заводов США изношенные бандаж вращающихся печей заменяли новыми, выполненными из двух половин. Дефектный бандаж разрезали в горизонтальной плоскости на две части и демонтировали половины. На подбандажную обечайку надевали поочередно две половины нового бандаж, которые временно скрепляли фиксирующим кольцом. Затем обе половины бандаж скрепляли стяжными болтами. После замены фиксирующего кольца стяжные болты заменяли стальными стержнями, которые приваривали изнутри и снаружи. Фиксирующие кольца приваривали к подбандажным пластинам. Вся операция замены изношенного бандаж новым занимала двое суток. Такая технология ремонта применима для печей малого диаметра, где используют бандаж несплошного сечения, однако на практике ни в Украине, ни в СНГ применение бандажей такой конструкции неизвестны.

В большинстве случаев ремонт трещин выполняют по второму варианту, т. е. производят заварку трещин, не снимая бандаж с корпуса печи. Для этого бандаж поворотом корпуса печи устанавливают аварийным местом строго в верхнее положение. Для размещения сварочного оборудования на корпусе печи монтируют площадку с деревянным настилом и брезентовым шатром, изготавливают двухмаршевую лестницу.

Чаще всего трещины в бандаже исправляют с помощью ручной электродуговой сварки покрытыми электродами [13]. В таких случаях разделку трещин производят газопламенной резкой с приданием разделке V или X-образной формы (таблица, п. 2, 3). Для обеспечения провара корня шва применяют медные подкладные пластины толщиной 8 мм. Сварку осуществляют известным способом «горка» от середины стыка к торцам бандаж. Формирование шва по торцам разделки свободное. Сварку выполняют непрерывно и одновременно два сварщика с проковкой каждого слоя шва. Для сварки применяют электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 5 мм. Общая длитель-



Способы ремонта трещин в бандажах без их демонтажа с корпуса вращающихся печей

№ п/п	Предприятие, размеры вращающейся печи	Место расположения трещины	Свариваемое сечение, мм	Форма разделки кромок	Объем разделки кромок, см ³	Способ заварки трещины	Машинное время сварки, ч	Масса наплавленного металла, кг	Способ подогрева и термообработки	Общее время ремонта, ч
1	ПО «Вольскцемент», Ø5×185 м	Сварной шов	-	Замена дефектного бандажа новым путем демонтажа бандажного блока с корпуса печи						276...1440
2	ПО «Мордовцемент», Ø5,6/5,0×185 м	Основной металл	1000×400		26000	Ручная сварка покрытыми электродами	105	225	Газовые горелки	290
3	ПО «Акмьянцемента», Ø5×185 м	Сварное соединение	1000×400		22000	То же	91	172	Коксовая печь	170
4	Топкинский цементзавод, Ø5×185 м	Околошовная зона	1000×400		24000	Механизированная сварка порошковой проволокой	76	187	То же	126
5	Себряковский цементзавод, Ø5×185 м	Сварной шов	1000×400		30000	То же	106	270	Газовые горелки	291
6	ОАО «Полтавский ГОК», Ø6×60 м	Основной металл, сварное соединение	1118×500		72670	Автоматическая сварка под флюсом	288	567	То же	384
7	Ачинский глиноземный комбинат, Ø5×185 м	То же	1000×450		101250...202500	Автоматическая дуговая сварка под флюсом	183...367	790...1580	Электрическая накидная печь	255...440
8	Навоитский цементзавод, Ø6,4/7,0×95 м	Сварное соединение	1200×475		75600	Автоматическая сварка под флюсом	240	650	То же	864
9	«Tilden Mining Co.», USA Ø7,5×48 м	Сварной шов	1016×508		38400	То же	336	306	— " —	504
10	ПО «Брянскцемент», Ø5×185 м	Основной металл	1000×310		12170	Многослойная ЭШС глухих отверстий	16	95	Газовые горелки	72
11	Ново-Спасский цементзавод, Ø6,4/7,0×95 м, Ульяновский цементзавод, Ø5/5,6×170 м	Сварной шов, основной металл	1200×475 1000×450		31350 25030	Однопроходная ЭШС плавящимся электродом	4 2,5	245 196	Электрическая накидная печь	96 96

ность ремонта сквозной трещины в бандаже вращающейся печи диаметром 5×185 м с применением ручной сварки составляет 7...12 сут.

Известен опыт заварки трещин в бандажах с применением механизированной дуговой сварки порошковыми проволоками (табл. 2, п. 4, 5). В этих случаях подварку корня шва производят ручной электродуговой сваркой. При использовании Х-образной формы разделки кромок возникает необходимость вырезки окна в подбандажной обечайке, которую осуществляют после разборки футеровки. Сварку выполняют так же, как и в предыдущем случае, два сварщика одновременно, но в два этапа. Вначале заваривают наружную часть разделки (со стороны поверхности катания бандажа), затем корпус печи поворачивают на 180° и производят заварку оставшейся части разделки внутри корпуса печи через вырезанное окно.

Учитывая, что бандажи изготавливают из углеродистых сталей, а также высокую жесткость закрепления кромок, проведение ремонта требует

предварительного подогрева стыка перед сваркой до температуры 150...200 °С с последующей местной термической обработкой (высокий отпуск для снятия остаточных сварочных напряжений).

Известны способы ремонта трещин в бандажах с применением автоматической сварки под флюсом [14]. Разделку кромок трапецидальной формы производят газокислородной резкой (таблица, п. 6–8). При этом размеры разделки выбирают в зависимости от отклонения трещины от образующей поверхности катания бандажа, а также в радиальной плоскости. Эти отклонения могут достигать 150...300 мм. Кромки зачищают наждачным камнем, затем приваривают выводные планки. Корень шва заваривают ручной сваркой на высоту 20 мм по медной подкладной пластине, которую заводят в зазор между бандажом и корпусом печи, либо вваривают стальную остающуюся пластину. Автоматическую сварку под флюсом выполняли одной дугой с возвратно-поступательным движением аппаратами типа АВС, ТС-

17МУ или одновременно двумя дугами с помощью аппарата А1412. В качестве сварочных материалов используют сварочную проволоку Св-08А и флюс АН-348А. Местную термообработку заваренных швов проводят с помощью нестандартных накладных электропечей или мощных газовых горелок. Общее время восстановительных работ составляет от 11 до 36 сут.

В США для ремонта сквозной трещины, обнаруженной в бандаже обжиговой печи на заводе «Tilden Mining Co.» по производству железных окатышей, использовали технологию и оборудование для сварки в узкий зазор [15] (таблица, п. 9). Трещину вырезали двумя параллельными резами, установив на корпусе печи станок, имеющий дисковую пилу большого диаметра. Размеры прямоугольной разделки кромки следующие: ширина — 76,2 мм, длина — 1016 мм, глубина — 508 мм. Посередине глубины разделки вварили стальную пластину толщиной 12 мм. Автоматическую сварку верхней части разделки осуществляли сварочным трактором, снабженным головкой для выполнения сварки в узкий зазор. Внутреннюю часть разделки заварили одной проволокой марки Lincoln L-61 диаметром 2,72 мм через окно, вырезанное в корпусе печи. Всего потребовалось наложить 900 слоев сварного шва. Перед началом сварки осуществляли предварительный подогрев стыка до температуры 150 °С, а после сварки произвели высокий отпуск при температуре 620 °С с выдержкой в течение 10 ч. Машинное время заварки разделки составило 14 сут, а общее время восстановительных работ — 21 сут.

Приведенные технологические приемы исправления разрушившихся бандажей вращающихся печей имеют следующие существенные недостатки: низкая производительность сварочных работ; большие трудовые и материальные затраты; сложность ведения процесса сварки; не всегда обеспечивается стабильное качество металла сварного соединения; неудовлетворительные (особотяжелые) условия гигиены труда исполнителей.

Устранить перечисленные недостатки можно прежде всего, используя для выполнения ремонтных работ ЭШС, которая нашла достаточно широкое распространение при исправлении трещин в крупногабаритных толстостенных металлоконструкциях и деталях машин металлургического, машиностроительного, горно-обогатительного, кузнечно-прессового, прокатного и другого оборудования [16,17]. Например, с применением ЭШС плавящимся мундштуком был успешно произведен ремонт таких уникальных изделий, как цилиндр пресса усилием 9000 т и массой 28 т, изготовленного из стали 35Л, валок листогибочной машины диаметром 750 мм и длиной 11500 мм, разрушившаяся боковина станины па-

кетир-пресса, коленчатый вал привода рабочей клетки стана ХПТ-4,5 и др. [17].

В приведенных примерах применяли каноническую ЭШС плавящимся мундштуком с использованием многоэлектродного специализированного оборудования и мощных источников питания, рассчитанных на работу на токах до 9000 А. При этом проводили демонтаж агрегата и извлечение разрушившейся детали для транспортирования ее частей на производственный участок, имеющий необходимое сварочное оборудование и сборочно-сварочный стенд под ЭШС восстанавливаемых элементов. Такой метод является очень эффективным при выполнении ремонтных работ, проводимых непосредственно на территории машиностроительных заводов. Для ремонта бандажей вращающихся печей на месте их эксплуатации, т. е. в монтажных (практически полевых) условиях, он оказался малоприменимым.

Известны примеры ремонта сквозных трещин в бандажах без их демонтажа с корпуса печи с помощью ЭШС плавящимся мундштуком за один проход [18] (таблица, п. 11). Для осуществления такого метода ремонта потребовалось применение трех аппаратов А-1304 с мощными трансформаторами, что в монтажных условиях вызывает серьезные затруднения в плане организации работ, необходимости подведения сети электропитания большой установленной мощности, а также по технике выполнения ЭШС.

Основными причинами, сдерживающими применение традиционной ЭШС при ремонте бандажей на месте их эксплуатации без демонтажа последних с корпуса вращающейся печи являются:

отсутствие специализированного малогабаритного оборудования для ЭШС на предприятиях, эксплуатирующих вращающиеся печи;

отсутствие мобильных бригад, имеющих опыт эффективного проведения ремонтно-восстановительных работ и оснащенных необходимым сварочным оборудованием;

большие затраты времени и средств на доставку крупногабаритного оборудования для ЭШС; сложности размещения и монтажа многоэлектродного оборудования на большой высоте (более 20 м);

трудности в обеспечении гарантированного сплавления нижних кромок бандажа из-за конструктивного наклона корпуса печи к горизонту (4...5 %).

По нашему мнению, для проведения ремонтных работ в таких условиях наиболее перспективны способы ЭШС, при которых свариваемый металл по толщине соединяют не за один проход, а путем выполнения нескольких вертикальных слоев в определенной последовательности [19]. Этими способами, несмотря на увеличение машинного времени сварки (по сравнению с тра-

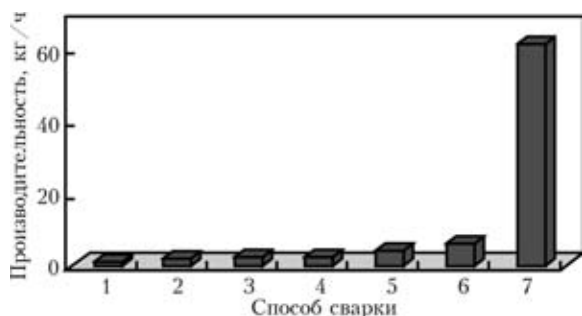


Рис. 7. Зависимость производительности ремонта сквозных трещин в бандажах вращающихся печей от применяемых способов сварки: 1 — автоматическая сварка под флюсом в узкий зазор; 2 — ручная сварка покрытыми электродами; 3 — механизированная сварка порошковой проволокой; 4 — автоматическая сварка под флюсом; 5 — автоматическая сварка под флюсом двумя дугами; 6 — МЭШС пробковыми швами; 7 — ЭШС плавящимся мундштуком

диционной ЭШС за один проход), легче обеспечить гарантированное сплавление нижних кромок. Появляется возможность повысить механические свойства металла сварного соединения за счет эффекта автотермообработки предыдущих слоев последующими [19]. Кроме того, важным является и то, что при многослойной электрошлаковой сварке (МЭШС) можно использовать несложное мобильное малогабаритное оборудование и сварочные источники питания малой мощности, имеющиеся практически на всех предприятиях, эксплуатирующих крупные машины и механизмы.

Известны примеры применения ЭШС в несколько проходов при ремонте крупных изделий в производственных условиях [20–24]. В Германии разработан способ «канальной» ЭШС [20], при котором разделку трещины производили в виде ряда прямоугольных отверстий размером 70×32 мм, образованных пазами на стыкуемых кромках с перегородками из основного металла между ними толщиной 10 мм. Сварку выполняли плавящимся или неплавящимся трубчатым мундштуком с применением электродной проволоки диаметром 2,5 мм. Этим способом была заварена сквозная трещина в бабе молота. Перед началом сварки был осуществлен общий подогрев последней до температуры 400 °С, а затем выполнена последовательная заварка 20 каналов электрошлаковым способом. Известен способ ЭШС [21], при котором разделку трещины на всю глубину производят путем сверления отверстий диаметром 40 мм, оставляя перемычки из основного металла толщиной 10 мм. Известен также прием, когда сварку каждого отверстия производят вращающимся трубчатым плавящимся мундштуком, по которому эксцентрично его оси подают сварочную проволоку [22]. Разработан способ МЭШС по методу «колодцев» [23], при котором разделку трещины осуществляют сверлением отверстий диаметром 50...75 мм, оставляя перемычки толщи-

ной 20...25 мм, а заварку отверстий производят трубчатым плавящимся мундштуком, через который подают три электродные проволоки. С помощью этого метода на Северском трубном заводе была восстановлена станина прокатного стана, в боковой стойке и основании которой образовались две сквозные трещины.

Известен способ [24], при котором разделку трещины производят сверлением отверстий диаметром 50 мм с шагом 0,8...0,9 диаметра, а сварку выполняют удлиненным неплавящимся мундштуком с подачей одной сварочной проволоки диаметром 5 мм. Этот метод был успешно использован для ремонта несквозной трещины в бандаже без его снятия с корпуса вращающейся печи [25] (табл. 2, п. 10). Трещину разделали путем сверления отверстий на всю глубину ее залегания с шагом между осями отверстий 52...53 мм. Для сверления использовали мощный радиально-сверлильный станок, который установили на корпусе печи на специально приваренных тумбах. Стык перед началом сварки нагрели газовыми горелками до температуры 300...350 °С. Для удержания шлаковой ванны в каждое отверстие, смежное свариваемому, устанавливали водоохлаждаемое медное устройство. Производительность ремонта в этом случае повысилась в 3 раза по сравнению с ручной сваркой, показатели ударной вязкости возросли в 2...3 раза за счет эффекта автотермообработки предыдущих слоев последующими, уменьшился объем наплавленного металла [26].

Однако приведенные способы МЭШС, отличающиеся значительными преимуществами перед электродуговыми способами сварки, имеют определенные недостатки, ограничивающие область их применения в монтажных условиях.

Широкого распространения для ремонта сквозных трещин в бандажах вращающихся печей перечисленные выше способы не получили по следующим причинам:

низкая стойкость слоев сварного шва к образованию кристаллизационных трещин, особенно при заварке отверстий глубиной более 100 мм;

сложность разделки трещин механическим путем непосредственно на корпусе печи;

при значительном отклонении трещины от радиального направления, в процессе ее разделки путем сверления отверстий практически невозможно охватить всю область залегания трещины; трудность исправления сильно разветвленных трещин, а также широкой сетки трещин.

Сравнительный анализ эффективности способов исправления сквозных трещин в бандажах вращающихся печей (рис. 7) показал, что наиболее перспективным технологическим процессом для ремонта разрушившихся бандажей непосредственно на месте их эксплуатации является ЭШС. Однако ее применение сдерживается

рядом приведенных выше причин. Для решения указанной задачи необходима разработка способа ремонта, свободного от указанных недостатков.

Выводы

1. Образованию сквозных трещин в бандажах вращающихся печей способствуют высокие напряжения, вызванные деформациями изгиба, неравномерные температурные нагрузки, нарушения правил эксплуатации вращающихся печей, наличие скрытых дефектов металлургического характера в основном металле, а также дефекты в сварных соединениях.

2. Разрушившиеся бандажи вращающихся печей восстанавливают на месте их эксплуатации различными способами сварки плавлением. Однако способы ремонта сквозных трещин в бандажах электродуговыми способами сварки, как правило, малопроизводительны и не всегда обеспечивают получение качественных сварных соединений, а также требуемых условий гигиены труда. Применение известных способов ЭШС для этих целей более предпочтительно, однако ограничено рядом технических и технологических трудностей.

3. Проблема ремонта сквозных трещин в бандажах вращающихся печей может быть решена с помощью разработки комплекса технологических приемов, включающих эффективный способ подготовки кромок, технику качественной заварки трещин и др., обеспечивающих возможность исправления трещин с большой степенью разветвления.

1. Боганов А. И. Вращающиеся печи цементной промышленности / Под ред. П. В. Левченко, К. А. Долганова. — М.: Машиностроение, 1965. — 319 с.
2. ТУ 22-170-87. Бандажи вращающихся печей. — М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1987. — 27 с.
3. Наседкин И. В. Конструкции бандажей вращающихся печей // Цемент. — 1980. — № 5. — С. 23.
4. Электрошлаковая сварка негабаритных бандажей цементных печей из стали 35 Л / О. О. Розенберг, Л. Н. Коломиец, И. И. Сущук-Слюсаренко и др. // Внедрение новых способов сварки в промышленность. — Киев: Гостехиздат УССР, 1960. — С. 176-193.
5. Сущук-Слюсаренко И. И. Метод получения точных размеров изделий при электрошлаковой сварке. — Киев: УкрНИИТИ, 1969. — 42 с.
6. Козулин М. Г., Сущук-Слюсаренко И. И., Козулин С. М. Многослойная электрошлаковая сварка при ремонте трещин крупногабаритных изделий // Материалы науч. техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (Вторые Бенардосовские чтения). — Иваново, 1985. — С. 25-26.

7. Рояк Д. А., Михалев М. Ф., Мурзин А. Ф. Исследование деформированного состояния корпусов вращающихся печей // Тр. Гипроцемента. — 1969. — Вып. 34. — С. 126-174.
8. Билецкий С. М. и др. Искривление оси корпуса вращающейся печи в процессе эксплуатации // Цемент. — 1973. — № 3. — С. 14.
9. Опыт эксплуатации печи размером 5×185 м с опорами на пневмоподушках / С. М. Билецкий, К. Ф. Матвиенко, В. А. Чурюмов и др. // Там же. — 1976. — № 2. — С. 14-15.
10. Дроздов И. Е. Эксплуатация, ремонт и испытание оборудования предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. — М.: Высш. шк., 1979. — 224 с.
11. Козулин М. Г., Сущук-Слюсаренко И. И., Козулин С. М. Технология ремонта трещин в бандажах вращающихся печей // Сб. науч. тр. ВНИИЦЕММАШа. Исследование и создание нового оборудования для производства цемента. — Тольятти. — 1986. — Вып. XXIX. — С. 54-69.
12. Caldwell P. H. Replacing a worn kiln tire is a big job // Rock Products. — 1976. — № 3. — P. 64-66.
13. Куракин П. А. Заварка трещин на бандаже вращающейся действующей печи размером 4,5×170 м // Свароч. пр-во. — 1968. — № 12. — С. 33-34.
14. Талдыкин Ю. А., Порукевич В. М. Опыт заварки трещин бандажей трубчатых вращающихся печей // Там же. — 1977. — № 10. — С. 40.
15. A Narrow-groove process proves robust in a massive repair. The narrow — groove submerged arc welding process is used to repair a kiln tire / D. Dennis, P. Harwig, V. Fallara et al. // Welding J. — 1999. — № 1. — P. 45-48.
16. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
17. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах / И. И. Сущук-Слюсаренко, И. И. Лычко, М. Г. Козулин, В. М. Семенов. — Киев: Наук. думка, 1989. — 112 с.
18. Козулин М. Г. Технологии ремонта трещин в бандажах вращающихся обжиговых печей // Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. — Пермь, 2004. — Т. 3. — С. 133-138.
19. Сущук-Слюсаренко И. И. Электрошлаковая сварка и наплавка. — М.: ВИНТИ, 1977. — 81 с. — (Итоги науки и техники; Сер. сварка; Т. 9).
20. Pat.22086 DDR. Verfahren zum Verchweißen von großen Querschnitten mittels ElektroSchlacke-Schweißung / W. Anders, Maushake W. — Veroeff. 06.10.61.
21. Irausch R., Huttenes K., Becken O. Instandsetzung eines gebrochenen Hammerbaeren mit Hilfe des Kanalschweißverfahrens // Reinstahl-Technik. — 1969. — № 3. — S. 124-133.
22. Brenner W. Fertigungstechnologie beim partiellen Elektro-Schweißverfahren // ZIS-Mitteilungen. — 1965. — № 4. — S. 637-644.
23. Сущук-Слюсаренко И. И., Вергела А. Г., Шевченко Н. Т. Электрошлаковая заварка трещин // Автомат. сварка. — 1969. — № 4. — С. 72-73.
24. А. с. 721288 СССР. Способ электрошлаковой сварки / Д. И. Фильченков, М. Г. Козулин // Открытия. Изобретения. — 1980. — № 10.
25. Козулин М. Г., Фильченков Д. И. Восстановление бандажа вращающейся печи с применением электрошлаковой сварки // Автомат. сварка. — 1977. — № 3. — С. 64-65.
26. Фильченков Д. И., Козулин М. Г., Сущук-Слюсаренко И. И. Исправление дефектов отливок из стали 30ГСЛ многослойной электрошлаковой сваркой // Свароч. пр-во. — 1982. — № 9. — С. 19-20.

The causes for failure of the bands of rotary furnaces in operation are analyzed. The existing methods of repair of the through-thickness cracks in the bands without their dismantling from the furnace body are considered. Comparative analysis of the effectiveness of repair operations with application of arc and electroslag welding is given.

Поступила в редакцию 25.06.2007