

ÒÀÕÍ È × ÂÑÊÈ Â  
Í ÀÓÊÈ



УДК 623.486

**А.Т. Байдулин**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

### ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ

Детали из чугуна составляют до 25 % общей массы автомобиля или трактора. В процессе эксплуатации сопряжения этих деталей изнашиваются и требуют восстановления до первоначальных параметров. Чугун относится к конструкционным материалам, плохо поддающимся сварке (сварка основной процесс в технологии восстановления). На многих авторемонтных предприятиях, в том числе на Ивановском авторемзаводе, этот процесс заменили пайкой при индукционном нагреве токами высокой частоты (ТВЧ).

Быстрый кратковременный нагрев детали ТВЧ выше 900 °C и последующее охлаждение на воздухе или в жидкости благоприятен для чугуна, так как не вызывает образования хрупкого ледебурита и твердых закалочных структур.

Основные детали автомобилей, подвергающиеся пайке: задняя, верхняя и передняя крышки коробки передач автомобиля ГАЗ-51, изготовленные из чугуна СЧ 18-36; картер механизма рулевого управления автомобиля ЗИЛ-130 (чугун КЧ 25-10); ступицы колес автомобилей ГАЗ (чугун СЧ 35-10) и др. В этих деталях возникают следующие дефекты: задняя крышка коробки передач автомобиля ГАЗ-51 имеет прилив, в который запрессовывают палец крепления рычага центрального тормоза. Около 10 % деталей поступают в ремонт с обломами приливов. В верхней крышке коробки передач наиболее распространенный дефект - износ резьбы головки и фасонной расточки под шаровую опору рычага переключения передач около отверстия под фиксатор рычага. Восстановлению подлежат 26-30 % крышек с такими дефектами. В ступицах колес изнашиваются гнезда подшипников, возникают трещины на ребрах жесткости и галтелих приливов под болты крепления дисков колес. В картере рулевого механизма основной дефект - обломом прилива под сальник вала рулевой сошки (12 % деталей, поступающих в ремонт).

Микрометраж и исследование ремонтного фонда выявили, что имеется большое количество чугунных деталей, например: корпусов коробок передач, задних мостов тракторов, всевозможных картеров, крышек и т. п., с дефектами в виде трещин, обломов, износами посадочных мест под подшипники и т. д.

Большая часть из указанных дефектов могут быть устранены методами пайки. Рассматриваемые чугунные детали восстанавливают последовательно: обрабатывают дефектные места; изготавливают дополнительные ремонтные детали; подбирают соответствующие припой и флюс; делают сборку для пайки; паяют, а затем механически обрабатывают.

Так, верхнюю крышку коробки передач с обломом резьбовой головки для рычага переключения передач восстанавливают следующим образом. Резьбовую головку отрезают до конического прилива, отверстие растачивают до диаметра 40 мм. Вместо удаленной части припаивают вновь изготовленную бобышку из чугуна СЧ 18-36. Припой в этом

случае - латунное проволочное кольцо, а флюс - синтетический шлак АН-ШТ2. Нагревают деталь в петлевом индукторе от генератора Л13-267М. Температура пайки - 950 °C, продолжительность - 50 с. После этого механически обрабатывают деталь до ее nominalных размеров.

В период эксплуатации в галтели ступицы заднего колеса появляются трещины. Для их устранения трещину обрабатывают фасонной фрезой с радиусом рабочей части 60 мм на глубину радиуса фрезы.

После этого в полученную канавку впаивают стальной стержень, изготовленный из стали 30. В качестве припоя используют латунную пластинку толщиной 0,5 мм, изогнутую по форме канавки. Флюс АН-ШТ2 насыпают с избыtkом. Паяют нагревом ламповым генератором Л13-267М в кольцевом индукторе диаметром 173 мм в течение 5 мин. После охлаждения ступицы впаянный стержень протачивают заподлицо с корпусом и фланцем.

Описанные способы восстановления деталей позволяют эффективно паять чугун с чугуном, чугун со сталью. Предпочтительнее применять дополнительную ремонтную деталь из стали, так как сталь более прочный материал по сравнению с чугуном. Эксплуатационные свойства рассмотренных паяных соединений не ниже свойств основного металла - серого и ковкого чугунов.

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом (свыше 2,11-2,14 %), в котором обычно содержатся также кремний (до 3 %), марганец (до 1%), сера, фосфор и могут присутствовать легирующие добавки – хром, никель, ванадий, алюминий, магний и др. Чугун без легирующих добавок или термообработки – достаточно хрупкий материал с низкими прочностью, твердостью и пластичностью.

Углерод может присутствовать в чугуне в виде цементита  $Fe_3C$  и графита. По количеству цементита и форме графита чугуны подразделяются на следующие виды:

- белый;
- серый;
- ковкий;
- половинчатый;
- высокопрочный.

Белый чугун – это чугун, в котором весь углерод присутствует в виде цементита. Цвет излома – светлый. Белый чугун имеет очень высокую твердость и не может обрабатываться режущим инструментом. Его используют преимущественно в качестве полупродукта для получения ковкого чугуна.

В сером чугуне весь углерод или его большая часть присутствует в виде графита. Цвет излома – серый. Серый чугун благодаря высоким литейным свойствам используется в качестве основного материала для литья. В отличие от белого чугуна хорошо поддается металлической обработке.

Ковкий чугун получают в результате отливки и последующей термической обработки белого чугуна с образованием хлопьевидного графита. Ковкий чугун применяется в основном при производстве автомобилей, сельскохозяйственных машин и тракторов.

Половинчатый (отбеленный) чугун – это чугун, в котором углерод присутствует как в виде графита, так и в виде цементита. Используется как трикционный материал для работы в условиях сухого трения, для производства деталей повышенной износостойкости.

В высокопрочном чугуне содержится шаровидный графит, образуемый в процессе кристаллизации. Обычно используется для производства ответственных изделий в машиностроении, для изготовления высокопрочных труб водоснабжения, нефтегазопроводов.

Чугун обладает плохой технологической свариваемостью:

- быстрое охлаждение сварного шва и околошовной зоны приводит к возникновению отбеленных участков (участков с выделениями цементита, обладающих высокой твердостью), что крайне затрудняет последующую механическую обработку металла;
- в связи с высокой хрупкостью чугуна при его неравномерном нагреве и охлаждении высока вероятность появления трещин в сварном шве и околошовной зоне;
- чугун является жидкотекучим сплавом, что усложняет удержание расплавленного металла от вытекания и затрудняет формирование шва;
- из-за интенсивного выделения газов из жидкой сварочной ванны, продолжающегося и на стадии кристаллизации, в сварном шве могут образовываться поры;
- в результате окисления кремния, а иногда и других элементов на поверхности сварочной ванны могут образовываться тугоплавкие оксиды, приводящие к непроварам.

Однако сварка металла весьма распространена при ремонте чугунных изделий, для исправления брака чугунного литья, а в некоторых случаях при изготовлении сварно-литых конструкций.

Особенности сварки чугуна - причины, по которым она затруднена: склонности чугуна к отбелению; трещинообразования при сварке; резкий переход при нагреве из твердого состояния в жидкое.

Чугун называется отбеленным, если большая часть углерода в нем находится в химически связанном состоянии, т.е. в виде цементита  $Fe_3C$ . Отбеливание происходит при быстром охлаждении расплавленного чугуна. Углерод не успевает выделиться в виде графита, а выделяется в виде цементита, ледебурита и мартенсита; чугун становится твердым и не поддается механической обработке. В сером чугуне углерод находится в виде графита. Графитизация чугуна происходит не только при переходе чугуна из жидкого состояния в твердое, но и при дальнейшем охлаждении, причем чем медленнее охлаждается деталь, тем полнее происходит графитизация. Холодная масса чугунной, чаще всего большой по массе детали ускоренно отводит тепло сварки, поэтому происходит интенсивное отбеливание сварного шва, а вследствие различия коэффициентов расширения серого и белого чугунов возникают внутренние трещины.

Избежать этих затруднений при сварке чугуна можно двумя способами:

1. Выполняется горячая сварка чугуна с последующим медленным охлаждением после сварки.
2. Выполняется холодная сварка чугуна, но в шов вводят элементы, препятствующие образованию цементита, или используются способы упрочнения швов.

Сварка чугуна может выполняться покрытыми или угольными электродами, порошковой проволокой, оборудованием для газовой сварки и другими способами.

Существуют три основных технологических направления сварки чугуна:

- сварка, обеспечивающая получение в металле шва чугуна;
- сварка, обеспечивающая получение в металле шва низкоуглеродистой стали;
- сварка, обеспечивающая получение в металле шва сплавов цветных металлов.

Важным способом борьбы с образованием отбеленных и закаленных участков, а также возникновением трещин является предварительный подогрев свариваемой детали. В зависимости от температуры предварительного подогрева различают следующие виды сварки металла:

- горячая сварка - с температурой предварительного подогрева 600-650 °C;
- полугорячая сварка - с температурой предварительного подогрева до 400-450 °C;
- холодная сварка - без предварительного подогрева.

Горячая и полугорячая сварки чугуна используются в случаях, когда требуется полу-

чение в металле шва чугуна со свойствами, близкими к свойствам основного металла детали. Предварительный подогрев изделия до температуры 600-650 °С при горячей сварке чугуна создает условия для сравнительно равномерного нагрева и более медленного охлаждения металла после сварки, что обеспечивает графитизацию чугуна - выделение углерода в виде графита - и предотвращение его выделения в виде цементита.

При полугорячей сварке чугуна улучшение графитизации металла достигается за счет введения в зону сварки графитизирующих веществ (кремния, титана, алюминия) и предварительного подогрева изделия с меньшей температурой, чем при горячей сварке.

Холодная сварка чугуна выполняется в случаях, когда чугун в металле шва не предусмотрен, и может применяться в ряде случаев, когда в металле шва требуется получить чугун - с использованием графитизирующих веществ при незначительных или средних по размеру дефектах, при несквозных дефектах или сквозных дефектах небольшой протяженности и глубины.

Рассмотрим случай дуговой сварки с получением в металле шва чугуна. Процесс горячей сварки чугуна осуществляется в несколько этапов:

- подготовка свариваемого изделия;
- предварительный подогрев;
- сварка;
- последующее замедленное охлаждение.

При подготовке свариваемого изделия выполняется тщательная очистка дефектного места от загрязнений и разделка кромок для обеспечения доступности при манипулировании электродом (проволокой) и при воздействии дуги. Для предотвращения вытекания жидкого металла сварочной ванны, а иногда для придания металлу определенной формы, производится формовка места сварки. Формы изготавливают из графитовых пластинок, которые скрепляются формовочной массой из смеси кварцевого песка с жидким стеклом, другими формовочными материалами или в опоках формовочными материалами, используемыми в литейном производстве. Для горячей ручной дуговой сварки чугуна применяются плавящиеся электроды со стержнями из чугуна марок А или Б, а также могут использоваться угольные электроды. Горячая сварка производится непрерывно на больших токах до окончания заварки дефекта. При значительных объемах сварку выполняют поочередно два сварщика. Покрытие литьих прутков диаметром 5-20 мм содержит легирующие (карборунд, графит, силикокальций, ферросилиций и др.) и стабилизирующие материалы. Держатель электрода должен быть снабжен щитком для защиты руки сварщика от теплового излучения. Сварку угольными электродами (диаметром 8-20 мм) выполняют на постоянном токе прямой полярности.

Горячая сварка чугуна позволяет получить в сварном шве чугун, практически не отличающийся от основного металла изделия (по плотности, механическим свойствам, обрабатываемости и т.п.). Однако она имеет и ряд недостатков:

- трудоемкость процесса, связанная с необходимостью формовки места сварки, сложностью обеспечения равномерного нагрева всего изделия;
- длительность и дороговизна процесса.

В то же время в некоторых случаях к сварным швам из чугуна предъявляются менее жесткие требования, например обеспечение только определенной плотности или равнопрочности швов. Этого можно достичь с применением специальных технологических и металлургических средств при сварке с незначительным подогревом или совсем без предварительного подогрева - при полугорячей или холодной сварке чугуна.

Для предотвращения отбеливания чугуна в наплавленный металл может быть введено

большое количество графитизаторов и легирующих элементов. Например, сварочные электроды марки ЭМЧ имеют чугунный стержень с повышенным содержанием кремния (до 5,2 %) и двухслойное покрытие, первый слой которого является легирующим, а второй предназначен для обеспечения газовой и шлаковой защиты.

При холодной сварке электродами марки ЭМЧ изделий из чугуна с толщиной стенки до 12 мм удается получить швы и окколошовную зону без отбеленных и закаленных участков.

При сварке электродами марки ЭМЧ массивных изделия из чугуна для получения бездефектных швов требуется предварительный подогрев до  $T=400$  °C в зависимости от жесткости изделий и толщины чугуна.

Электроды из никелевых чугунов позволяют получать сварные швы с хорошей обрабатываемостью, однако при этом повышается вероятность образования горячих трещин. Сварка осуществляется в несколько слоев с возвратно-поступательными перемещениями электрода.

Электроды марки ЭМЧС обеспечивают легирование через покрытие. Их стержень состоит из низкоуглеродистой проволоки, а покрытие из трех слоев: легирующего, газа - и шлакообразующего, газозащитного. При толщине свариваемого изделия от 8 до 10 мм для получения бездефектных сварных соединений с помощью этих электродов может использоваться холодная сварка, а при больших толщинах - горячая сварка.

Полуавтоматическая горячая, полугорячая и холодная сварка чугуна выполняется, как правило, порошковыми проволоками ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3 и др. В проволоках содержится комплекс модифицирующих элементов, вводимых в шихту в виде лигатуры на основе кремния.

Газовая сварка чугуна считается надежным способом получения металла швов, практически не отличающегося от основного металла изделия. По сравнению с дуговой сваркой нагрев и охлаждение при газовой сварке - более длительные и равномерные, благодаря чему обеспечиваются лучшие условия для графитизации углерода и снижается вероятность возникновения отбеленных участков в сварном шве и окколошовной зоне.

Газовую сварку желательно выполнять с предварительным подогревом (общим или местным). Скос кромок делается односторонним (V-образным), с углом раскрытия 90°. Кромки тщательно очищаются от грязи, ржавчины и масла с помощью щетки или пескоструйного аппарата и прогреваются газовым пламенем.

Присадочные прутки обычно представляют собой чугунные стержни следующих марок:

- «А» (для горячей газовой сварки чугуна);
- «Б» (для газовой сварки чугуна с местным нагревом);
- «НЧ-1» (для низкотемпературной газовой сварки тонкостенных отливок из чугуна);
- «НЧ-2» (для низкотемпературной газовой сварки толстостенных отливок из чугуна);
- «БЧ» и «ХЧ» (для износостойкой наплавки чугуна).

Диаметр прутка выбирается из диапазона от  $\delta/2$  до  $(\delta/2 + 1)$  мм, где  $\delta$  – толщина основного металла изделия.

Для газовой сварки металла необходимо применение флюса, который выполняет следующие функции:

- обеспечивает защиту сварочной ванны от окисления;
- переводит тугоплавкие окислы железа, марганца и кремния в легкоплавкие шлаки;
- улучшает сплавляемость, создавая микроуглубления при окислении и частичном растворении графитных включений чугуна;
- повышает жидкотекучесть металла сварочной ванны и шлаков.

Некоторые марки флюсов, применяемых при газовой сварке чугуна:

- флюс ФСЧ-1, используемый в основном для заварки крупных дефектов; состав: бура прокаленная (23 %), азотнокислый натрий (50 %), углекислый натрий (27 %);

- флюс ФСЧ-2, используемый для низкотемпературной сварки и заварки небольших деталей из чугуна; отличается от флюса ФСЧ-1 добавкой в состав углекислого лития;

- газообразный флюс БМ-1; состоит из летучей бороганической жидкости.

Во время сварки следует чаще погружать пруток во флюс, а флюс подсыпать в сварочную ванну. Скорость подачи ацетилена на 1 мм толщины металла должна составлять от 100 до 120 дм<sup>3</sup>/ч. Скашивание кромок осуществляется только при толщине стенки выше 4 мм.

Необходимо, чтобы сварочное пламя было нормальным или науглероживающим, поскольку окислительное пламя приводит к сильному местному выгоранию кремния с образованием в сварном шве зерен белого чугуна. Металл нужно хорошо прогреть. Сварка выполняется в нижнем положении быстро, а для крупных деталей желательно двумя горелками одновременно. Для предотвращения образования пор в сварном шве требуется постоянно перемешивать металл сварочной ванны концом присадочного прутка, облегчая выход растворенных газов.

Во время сварки присадочный пруток погружают в ванну только тогда, когда его конец нагреется до температуры светло-красного каления, поскольку погружение ненагретого прутка может привести к появлению отбеленных участков. Проток вынимают из сварочной ванны как можно реже и только для покрытия его флюсом.

Допускается периодическое удаление ядра пламени от поверхности сварочной ванны, однако восстановительная часть пламени должна постоянно закрывать поверхность ванны. При чрезмерной задержке пламени на одном участке происходит выгорание углерода и кремния, что может привести к отбеливанию чугуна.

Сварку чугунных деталей сложной формы (с отверстиями, перемычками, неодинаковым сечением в различных частях) во избежание появления дефектов, вызванных неравномерным нагревом, необходимо выполнять только с общим предварительным подогревом.

По окончании сварки изделие закрывают слоем асбеста для медленного остывания.

При электрошлаковой сварке чугуна в качестве электродов используют литые чугунные пластины, а в качестве флюсов - фторидные обессеривающие и неокислительные флюсы. Электрошлаковая сварка позволяет получить удовлетворительные свойства швов из серого чугуна без закаленных и отбеленных участков, пор, трещин и других дефектов.

Горячая сварка чугуна проводится на предварительно нагретых до 600 .... 650 °C деталях. После сварки происходит охлаждение всей массы нагретой детали, поэтому скорость охлаждения сварного шва будет ниже, чем при холодной сварке. В сварном шве успевает произойти графитизация, скорость усадки уменьшается и поэтому не образуется трещин в околосшовной зоне.

При заварке трещин в конструктивно сложных деталях с целью устранения возможного трещинообразования проводится 2-ступенчатый нагрев: сначала до температуры 200 ...250 °C нагревают с относительно невысокой скоростью до 600 °/час, а далее - с большей скоростью до 1600 °/час. Сварка выполняется электродами типа ОМЧ-1, состоящими из чугунных прутков со специальным покрытием, или при газовой сварке - чугунными прутками без покрытия.

Горячая сварка позволяет получить наилучшие результаты, но процесс технологически сложный и очень трудоемкий, поэтому широкого распространения не получил.

Чаще применяется холодная сварка чугуна, выполняемая следующими способами:

1. Стальным малоуглеродистым электродом.
2. Специальными электродами ПАНЧ-11, МНЧ-1, МНЧ-2, ОЗЧ-1 и др.
3. Биметаллическим электродом или пучком электродов.

Для повышения надежности сварки стальными малоуглеродистыми электродами в разделенные кромки шва ставят резьбовые шпильки или используется способ отжигающих валиков. При наложении второго и последующего валиков первые сварные швы вновь нагреваются и уже остыдают с меньшей скоростью, поэтому значительная часть цементита распадается, получается более мягкий сплав с меньшей степенью отбелования. Структура различных зон сварки получается неодинаковой, однако в среднем она лучше, чем при обычной сварке. Эффективно использовать способ отжигающих валиков в комплексе со шпильками.

Для устранения продолжения трещины на ее оси сверлятся отверстия диаметром 2..3 мм, зубилом или шлифовальным кругом проводят V-образную разделку трещины и сверлят по ее длине отверстия, нарезают в них резьбы и заворачивают шпильки, которые сначала обвариваются кругом, а затем наплавляют весь сплошной шов.

Однако эти способы холодной сварки малопроизводительны, поэтому, чаще всего, используются другие способы сварки чугунных деталей.

Если требуется хорошая обрабатываемость шва и допускается невысокая прочность, то используются электроды МНЧ-1, МНЧ-2. Никель, входящий в состав электродов, не образует соединений с углеродом, поэтому шов имеет невысокую твердость, но хорошо механически обрабатывается. Хорошие результаты при сварке чугуна дают использование сварочной проволоки ПАНЧ-11.

Электроды ОЗЧ-4, изготавляемые из медной проволоки с фтористо-кальциевой обмазкой, обеспечивают прочный, но труднообрабатываемый шов, представляющий собой медь, насыщенную железом.

При отсутствии специальных электродов изготавливаются биметаллические электроды намоткой медной проволоки или надеванием медной трубы (меди до 70 % от железа) на стальной стержень или малоуглеродистый стальной электрод. Сварной шов также представляет собой медь с вкраплениями железа, прочность его составляет до 60 ...70 % от прочности основного металла.

Для сварки толстостенных чугунных деталей используют пучок электродов: стальной электрод диаметром 3...4 мм с обмазкой УОНИ-13/55, медный стержень диаметром 4...5 мм и латунный пруток диаметром 1,5...3 мм. Электрическая дуга автоматически перемещается с одного электрода на другой, поэтому тепло распространяется на большую площадь, шов медленнее охлаждается и поэтому меньше отбеливается. Пучок может также состоять из одного медного и одного стального, или двух медных и одного стального электродов.

Газовую ацетиленокислородную сварку чугуна ведут нейтральным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. Присадочный материал - чугунные прутки диаметром 6 ...8 мм. При газовой сварке используются флюсы:

- 1) бура;
- 2) смесь: 50 % буры, 47 % двууглекислого натрия и 3 % окиси кремния;
- 3) смесь: 56 % буры, 22 % углекислого натрия и 22 % углекислого калия.

На машиностроительных заводах по большей части производится ковкий ферритный чугун и в незначительных количествах перлитный, несмотря на то, что последний отличается более высокой износостойчивостью, прочностью, отлично работает при высоких

температурах, имеет высокую усталостную прочность, глушил вибрации. Из ковкого перлитного чугуна изготавляются такие детали, как распределительные и коленчатые валы, поршни дизельных моторов, клапанные коромысла, элементы сцепления и многое другое. Материал с шаровидным графитом нашел применение в автопромышленности в качестве современного конструкционного чугуна и заменителя углеродистой стали, а также серого и ковкого чугуна.

Список литературы

1. Ремонт военной автомобильной техники. - 1986.
2. Учебник по ремонту автомобильной техники / И.Е. Писковой. - Пенза: Изд-во Пенза, 2007.

Получено 13.11.2014

---

УДК 621.337.1

**А.Т. Жапарова, А.И. Квасов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**АВТОНОМНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ,  
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время в большинстве стран используются системы освещения с питанием высокого напряжения – 220, 110 вольт. В то же время развитие новых технологий в области альтернативной энергетики и производства высокоэффективных, надёжных светодиодных кристаллов повышенной мощности даёт возможность изменения старого подхода к организации освещения здания. Основным принципиально новым моментом является совпадение питания светодиодных элементов освещения и альтернативных источников электроэнергии (солнечных батарей) – 24 вольта, что позволяет разработать новую архитектуру систем освещения с возможностью автономной работы. В данное статье предлагаемое нами решение позволит осуществить переход на системы освещения повышенной энергоэффективности и сделать Республику Казахстан патентообладчиком в системах освещения нового поколения. Изменение системы питания позволит значительно уменьшить потребление энергии за счёт использования светодиодных осветительных приборов.

В Казахстане запрет на производство и продажу электрических ламп накаливания мощностью 100 Вт и выше введен с 1 июля 2012 года, мощностью 75 Вт и выше – с 1 января 2013 г., а с 1 января 2014 г. утилизированы лампочки от 25 Вт. Прогноз консалтинговой компании McKinsey – уже к 2015 г. светодиоды потеснят традиционные лампы накаливания и люминесцентные, заняв 50 % рынка в денежном выражении, а к 2020 г. – уже 90 % рынка в денежном выражении и 75-80 % в натуральном.

Низковольтные системы питания используют, в основном, для освещения и подсветки зеркал, книжный полок, портретов, фотографий, а также для ландшафтного освещения, домов и садовых участков. Предлагаемое низковольтное питание на 24 вольта позволяет перейти на светодиодное освещение с интеграцией с возобновляемыми источниками энергии [1-2].

Применение низковольтных источников выгодно, в первую очередь, за счет высокой

надежности работы, позволяющей значительно увеличить срок работы энергопитающих устройств. Также использовать низковольтные системы питания, повышающие электрическую и пожарную безопасность помещения.

Замена традиционных источников на альтернативные предполагает создание качественных, надежных устройств электропитания светодиодов, позволяющих значительно снизить пульсации света и повысить эффективное использование электрической энергии.

Широкое распространение среди возобновляемых источников энергии получили солнечные батареи. Различные устройства, позволяющие преобразовывать солнечное излучение в тепловую и электрическую энергию, являются объектом исследования гелиоэнергетики. Солнечные батареи бывают различного размера: от встраиваемых в микрокалькуляторы до занимающих крыши автомобилей и зданий [1-2].

Использование солнечных батарей под управлением специализированных контроллеров позволяет решать задачи автономного освещения как внутренних, так и внешних объектов. Примером таких объектов могут служить: удаленные здания (охотничьи заимки, юрты, турбазы, передвижные вагончики, буровые установки); труднодоступные местности (высокогорье); участки, требующие освещения в ночное время суток (улицы, парки, дворы, садовые участки); подзарядка аккумуляторов бытовой техники (мобильных телефонов, ноутбуков, портативных телевизоров).

На рис. 1 показана общая схема использования солнечных батарей в системе освещения. Выработанная солнечной батареей электроэнергия поступает в преобразователь, где его напряжение с 24 вольт повышается до 220 вольт. После преобразователя полученная электроэнергия идет на освещение и бытовые нужды.

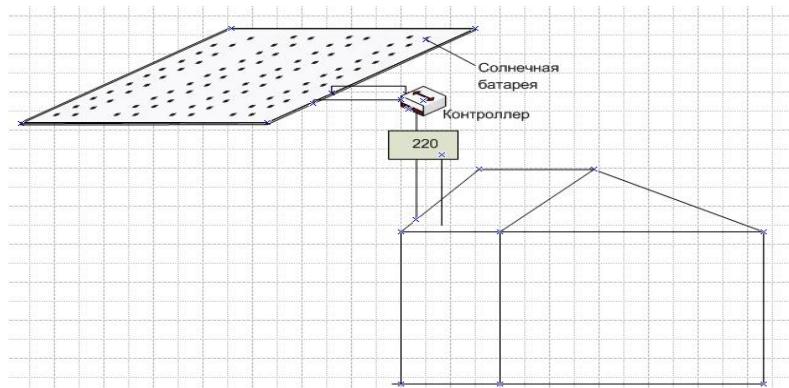


Рисунок 1 – Схема использования солнечных батарей в системе освещения

На рис. 2 приведен внешний вид юрты с автономным освещением, вертикальная полоса - это солнечная батарея.



Рисунок 2 – Организация автономного режима работы внутреннего освещения юрты

Для обеспечения устойчивой работы автономной системы освещения одним из ключевых элементов является контроллер, управляющий током зарядки аккумуляторных батарей и обеспечивающий необходимое напряжение в нагрузке системы, [2-4, 9]. Контроллер с системой управления и прожектора на светодиодных элементах, освещдающих юрту, показаны на рис. 3 и 4.



Рисунок 3 – Контроллер с системой управления

Используемый в нашей схеме контроллер позволяет автоматически переключать уровень напряжения с 12 В на 24 В и, наоборот, при использовании различных типов солнечных батарей. Также автоматически изменяется напряжение при изменении типов аккумуляторных батарей для их подзарядки и для обеспечения необходимого напряжения нагрузки.

На рис. 4 показан прожектор со светодиодными элементами, которые освещают юрту.

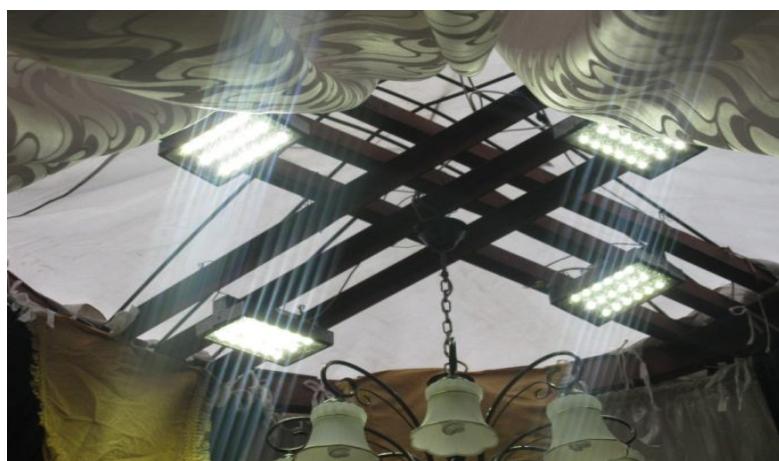


Рисунок 4 – Светодиодные прожекторы соединены с низковольтной системой питания

Рассмотрим более подробно контроллер с системой управления, схема которой приведена на рис. 5.

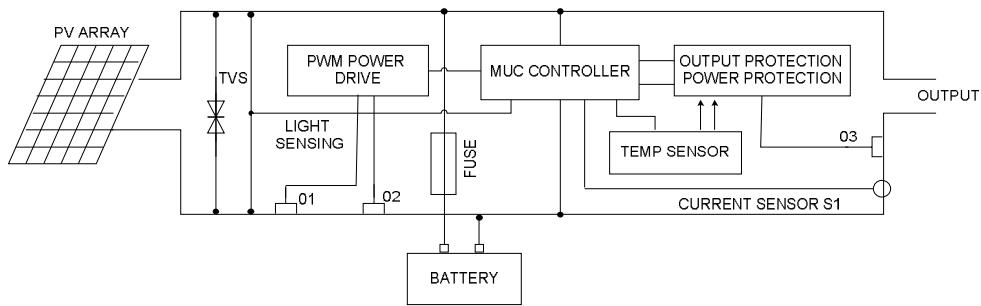


Рисунок 5 – Структурная схема используемого контроллера

Напряжение солнечной батареи поступает на вход контроллера, имеющего диодную развязку. Далее положительное напряжение подается через систему, выравнивающую в соответствии с уровнем зарядки аккумулятора ток зарядки. Данная возможность осуществляется благодаря управлению транзисторами Q1, Q2 с помощью изменения тока база-коллектор (PWM Power Drive) регулируемого встроенного микропроцессора (MUC Controller). В зависимости от уровня зарядки аккумуляторной батареи и уровня напряжения, поступающего от солнечной батареи, с помощью транзистора Q3 осуществляется управление напряжением (током) для выходной нагрузки, подключенной к контроллеру. В целом, осуществляя управление зарядкой аккумулятора и уровнем выходного напряжения, обеспечивается бесперебойная работа устройств, подключенных к данному контроллеру. Контроль работы подключенных устройств обеспечивается работой сенсора S1 и цифровой индикацией, выведенной на переднюю панель контроллера.

Программно-целевой подход при решении данного вопроса позволит показать принципиальные преимущества в эффективности и безопасности применения низковольтных систем освещения на основе светодиодных осветительных приборов, а также даст возможность апробировать и осуществить сравнения эффективности.

Схема использования низковольтного освещения без преобразователей энергий пока-

зана на рис. 6.

Как видно из рис. 6 выработанная электрическая энергия с напряжением 24 В из солнечной батареи подается в систему освещения. Напряжение выработанной электрической энергии с солнечных батарей совпадает с напряжением светодиодных ламп [8-9].

Таким образом, автономные светодиодные низковольтные системы освещения, интегрированные в «умный дом», используют:

- 1) низковольтную систему освещения;
- 2) светодиоды LED;
- 3)  $U_{LED}=U_{\text{сол. бат.}}$ .

Низковольтное освещение имеет следующие преимущества:

- использование альтернативных источников энергии в системе освещения;
- экономия энергии до 70 % в системе освещения промышленных и административных зданий;
- срок эксплуатации системы освещения увеличивается в 10-50 раз;
- амортизационные расходы уменьшаются в 50-100 раз (за счёт высокой надёжности и продолжительности работы светодиодов, солнечных элементов и разрабатываемого источника питания);
- обеспечивается безопасная работа с системой за счёт перехода на рабочее напряжение в сети освещения 24 вольта.

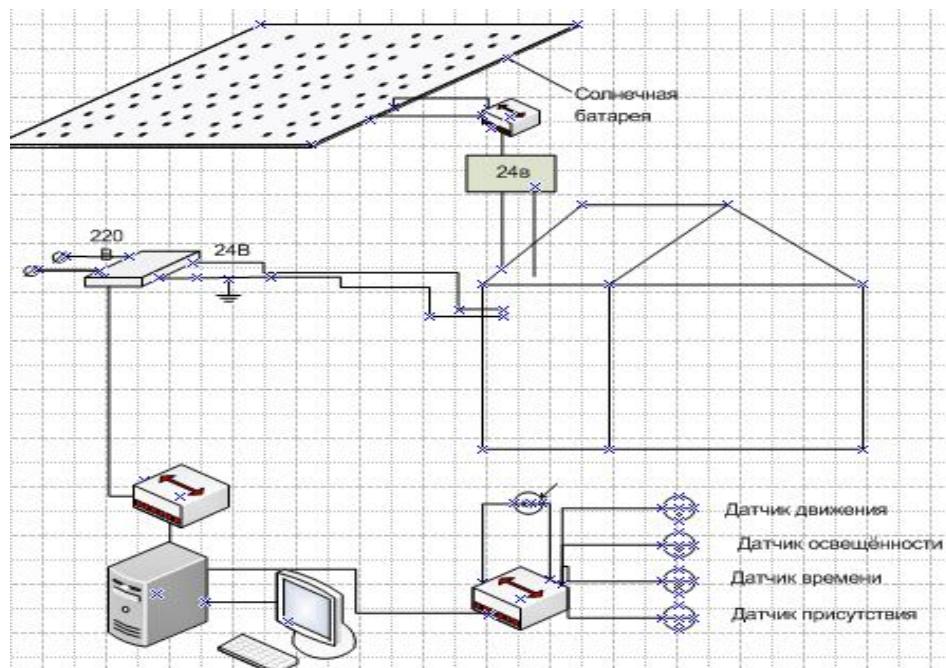


Рисунок 6 – Схема использования солнечных батарей в системе низковольтного освещения

Сфера применения систем освещения очень разнообразны. Для простоты рассмотрено построение системы освещения в отдельных комнатах с окнами [2], обеспечивающей заданный уровень освещения и с 6 до 22 часов. Суточный цикл освещенности помещения (рис. 7) соответствует естественному освещению. Согласно графику с 9 часов утра до 17 часов нет необходимости в искусственном освещении. Более того, есть избыток естеств-

венного освещения, который необходимо устраниить путем ограничения доступа естественного света в помещение. С 6 до 9 утра и с 17 до 22 часов естественного освещения не достаточно, необходимо включать естественное освещение.

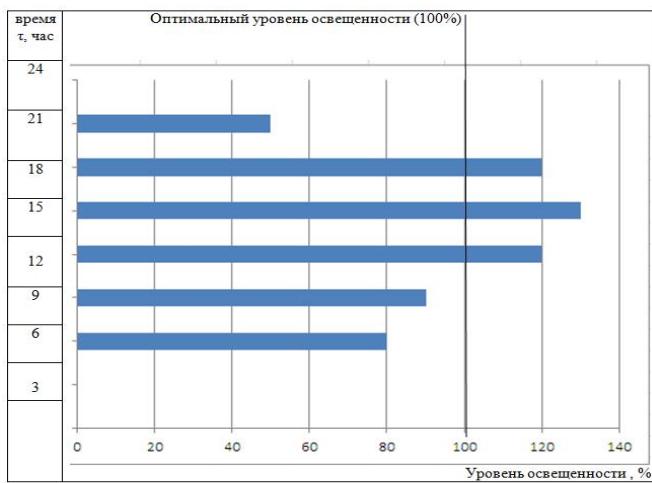


Рисунок 7 – Суточный цикл освещенности помещения

При этом существует потенциальная возможность экономии электроэнергии, если включать освещение не на полную мощность, а ровно настолько, чтобы пополнить недостаток в естественном освещении. Естественно, суточный цикл освещенности помещения не является постоянным, а подвержен календарным и погодным изменениям.

Схема системы освещения с распределенным сетевым автоматическим освещением [2, 10-12] показана на рис. 8, где изображена реальная низковольтная система освещения, реализованная в учебном корпусе ВКГТУ им Д. Серикбаева. Показан 5 этаж со светодиодным управлением света и системой управления. Система освещения строится на основе интеллектуальных актуаторов (actuator), управляющих исполнительными устройствами, и интеллектуальных сенсоров (sensor). Слово «интеллектуальный» подчеркивает тот факт, что в составе каждого устройства имеется искусственный интеллект – микроконтроллер.

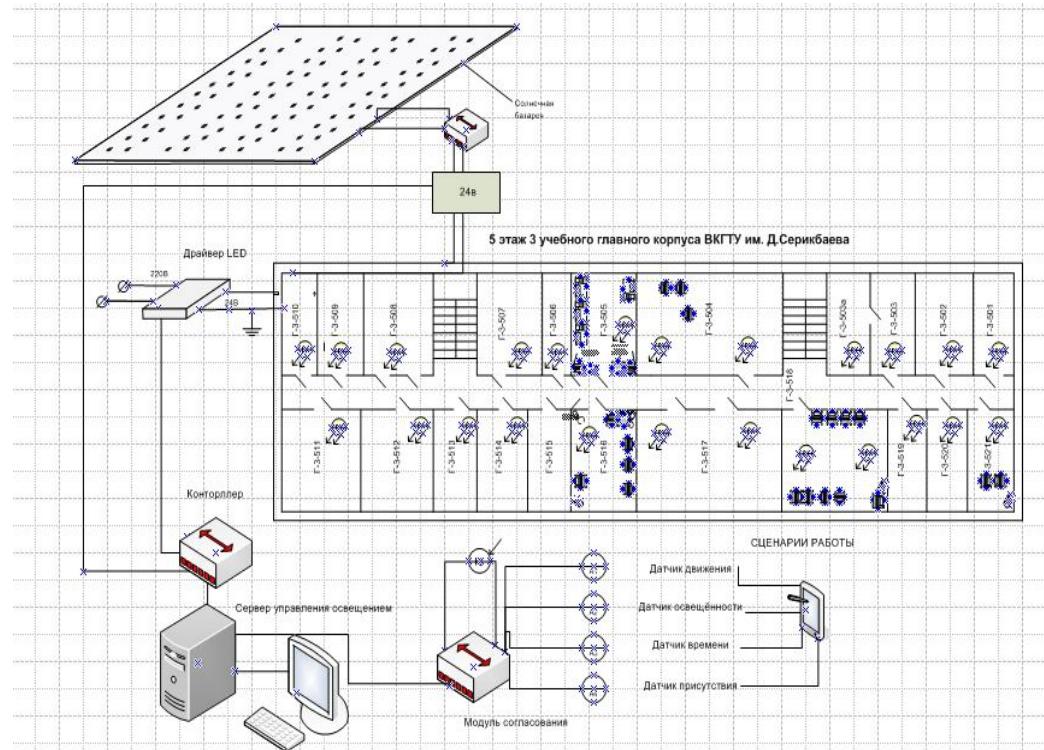


Рисунок 8 – Схема системы освещения с распределенным сетевым автоматическим освещением

Сенсоры и актуаторы запитываются от общей электрической сети и могут обмениваться сообщениями через локальную сеть на основе информационной шины в соответствии с определенным стандартным протоколом. Такая шина может быть реализована в виде витой пары проводников, виртуального канала с частотным управлением непосредственно в силовой сети или в виде радиоканала. Кроме экономии цветных металлов, такая система имеет дополнительно два очень существенных преимущества. Первое из них состоит в том, что просто реализуется подключение дополнительных устройств и, следовательно, расширение функций.

Например, можно подключить датчик присутствия людей в помещении и отключать освещение полностью в случае, если людей нет в помещении. Нетрудно предположить, что за счет такой дополнительной функции можно получить существенную экономию электроэнергии, особенно во вспомогательных помещениях: складах, коридорах, туалетах, лифтах и т.п. Второе преимущество состоит в возможности построения иерархической сети, позволяющей объединить локальные сети отдельных помещений в систему освещения этажа, а системы управления этажей – в систему управления здания и т.п. Подключение к такой иерархической сети компьютера, связанного с интернетом, делает возможным дистанционное управление системой из любой точки мира.

Результатом введения в эксплуатацию системы освещения с элементами солнечной батареи позволит сократить расход электроэнергии в 8 раз по сравнению с люминесцентными.

Использование распределенного сетевого управления позволяет интегрировать систему управления освещением в интеллектуальную систему управления типа «Умный дом»

[10-12]. Это позволит сэкономить электрическую энергию в 5-7 раз.

Для реализации всех указанных функций достаточно добавить в систему определенный набор интеллектуальных сенсоров и актуаторов, приведенных в таблице.

### *Сенсоры и актуаторы системы «Умного дома»*

Функция	Сенсоры	Актуаторы
Управление освещением	Освещения Присутствия людей Реального времени	Управления светильниками Управления жалюзи
Кондиционирование воздуха	Температуры воздуха Влажности воздуха Метеорологических параметров	Управления системой отопления Управления кондиционерами Управления системой вентиляции
Охрана от несанкционированного вторжения	Охранной сигнализации Видеокамеры наблюдения Идентификации личности	Управления аудиоаппаратурой Управления замками Управления тревожной сигнализацией Связи с ремонтными службами
Управление безопасностью технических систем	Состояния электроснабжения Затопления Утечки газа	Управления аварийными отключениями Связи с ремонтными службами
Дистанционное управление	Пультов дистанционного управления (инфракрасными, радио и т.п.)	Управления информационными дисплеями

Таким образом, весьма перспективно построить систему управления электрическим освещением по принципу распределенного сетевого управления. С этой целью необходимо разработать целый ряд промышленных стандартов на интерфейсы и протоколы для построения систем по низковольтным освещениям.

### Список литературы

1. Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Applications. Navigant Consulting: Washington, D.C., 2008.
2. Sampath R. Green Lighting: Solar-based HBLED Lighting Solutions//Beyond Bits, Issue 3, 2008. - pp. 10-12. ([www.freescale.com](http://www.freescale.com)).
3. Dilouie C., Daylighting is the use of daylight as a primary source of general illumination in a space: Part 1//Automated Building, August 2007. ([www.automatedbuildings.com](http://www.automatedbuildings.com)).
4. Using a PIC Microcontroller for DMX512 Communication. Application Note AN 1076. Microchip Technology, Inc., 2007 ([www.freescale.com](http://www.freescale.com)).
5. Как сделать ваш дом по-настоящему «умным» Meeten // ([www.merten.de](http://www.merten.de))
6. «Умный дом»: идеология или технология?// [www.intelkey.ru/system/for/articles/intel-house.htm](http://www.intelkey.ru/system/for/articles/intel-house.htm).
7. Харке В. Объединение в сеть бытовой техники и системы коммуникаций в жилищном строительстве // Умный дом. - М.: Техносфера, 2006. - 288 с.
8. Gyorok, S. Grigoryeva, "Search of optimal parameters for work of LED lighting system", International scientific-practical conference "Green Economy - the future of humanity", vol.2, pp. 62-71, May 2014, Ust-Kamenogorsk.
9. Adding Intelligence to Lighting Applications. LED Lighting Design Guide. Microchip Technology, Inc., 2008 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)).
10. Богданов С.В. Умный дом. - СПб.: Наука и техника, 2005. - 208 с.
11. Тесля Е. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире. - Санкт-Петербург, 2008. - 224 с.
12. Элсенпитер Р.К. «Умный дом» строим сами / Р.К. Элсенпитер, Т.Д. Велт. - М.: КУДИЦ-Образ, 2005. - 384 с.

Получено 3.11.2014

УДК 621.184

**А.К. Кинжибекова**

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар

**Е.В. Приходько**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

#### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Анализ реального состояния инфраструктуры котлов малой мощности (автономных котельных установок) показал, что большая часть котельного оборудования устарела и требует комплексной модернизации основных фондов. Коэффициент полезного действия (КПД) данных агрегатов колеблется в пределах до 60 %, а у некоторых среднестатистический коэффициент полезного использования энергии составляет не более 40 %, то есть около половины тепловой энергии, генерируемой в котельных, теряется на непроизводственные цели (подготовка и сжигание топлива, подготовка и циркуляция воды, потери теплоты через неэффективную теплоизоляцию и др.).

Так, тепловые потери в окружающую среду превышают нормативные. Объяснение этому кроется в просчётах при конструировании, неудовлетворительном состоянии обмуровки при эксплуатации (наблюдается нарушение не только теплоизоляционных свойств обмуровки, но и нарушение герметичности котла, что влияет на потери теплоты теплопроводностью и с уходящими газами), применении материалов, не подходящих для использования в нерасчётных условиях. При этом в абсолютном большинстве используются материалы, не отвечающие конъюнктуре рынка и современным требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам.

Процессы, связанные с эффективной работой котлов малой мощности, использующих слоевой метод сжигания топлива, можно рассматривать как случайные и анализировать их с помощью вероятностных методов. Для эффективного анализа работы этих агрегатов необходимо выявить взаимосвязи между факторами, определяющими ход процесса, и выходом данного процесса, а также представить их в количественной форме – в виде математической модели:

$$q = q(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где  $q$  – коэффициент полезного действия котла;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – факторы, оказывающие влияние на ход этого процесса.

Необходимо получить не только вид данной зависимости, опираясь на данные эксперимента, но и оценить влияние каждого фактора на величину к.п.д.

Зависимость (1) на практике часто бывает неизвестна, и тогда её пытаются найти путём обработки экспериментальных данных. Данная задача решается методом наименьших квадратов [1-4].

Малые котельные Павлодарского региона включают в себя достаточно широкий спектр котлов как по производителю, так и по году изготовления. Это такие котлы, как «Универсал», «Энергия», «Тула», «Братск», «Минск», «Жалын», КВ, КТ и др.

Для определения основных факторов, влияющих на коэффициент полезного действия котла, сжигающего топливо слоевым методом, были рассмотрены водогрейные котлы типа КВ производства ТОО «Петр и К» (г. Павлодар). Водогрейные котлы этого типа,

мощностью 0,4; 0,6; и 1,0 Гкал, предназначены для сжигания твёрдого топлива (газообразное топливо – на заказ).

Они сжигают следующие виды топлива: экибастузский и майкубенский каменные угли. Характеристика органической и минеральной части данных углей представлены в табл. 1.

Исходя из анализа оценки влияния различных факторов на коэффициент полезного действия котла при слоевом сжигании топлива, в качестве факторов эксперимента выбираем:

- $x_1$  – теплота сгорания топлива, ккал/кг;
- $x_2$  – химический и механический недожог, %;
- $x_3$  – унос, %;
- $x_4$  – потери тепла в окружающую среду, %;
- $x_5$  – размеры кусков топлива, мм.

Таблица 1

*Характеристика органической и минеральной части  
экибастузского и майкубенского углей*

Показатель	Экибастузский	Майкубенский уголь		
	$A^d = 45\%$	$A^d = 13\%$	$A^d = 22\%$	$A^d = 28\%$
Рабочая влажность $W_t^r$ , %	5,0	18,0	18,0	18,0
Гигроскопическая влажность $W^{rh}$ , %	2,5	9,5	9,0	8,7
Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	30,4	41,1	42,1	42,9 i
Содержание серы $S_t^d$ , %	0,5	0,62	0,52	0,46
Теплота сгорания $Q_i^r$ , ккал/кг	3850	4670	4090	3700

В табл. 2 представлены интервалы варьирования факторов эксперимента.

Таблица 2

*Интервалы варьирования факторов эксперимента*

Факторы	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
Основной уровень ( $x_i = 0$ )	4180	10	20	2	60
Интервал варьирования	485	2,8	1	1	20
Верхний уровень ( $x_i = +1$ )	4670	12,8	21	3	100
Нижний уровень ( $x_i = -1$ )	3700	8,2	19	1	40

Верхний и нижний уровни – это предельные значения варьируемых переменных. Область планирования эксперимента:  $-1 \leq x_i \leq 1$ . Это было получено путем перехода к безразмерным переменным или к так называемому кодированию факторов:

$$x_i = \frac{a_i - \bar{a}_i}{|\Delta a_i|},$$

где  $a_i$  – фактор (значение  $i$ -й переменной в натуральном масштабе измерения);  $\bar{a}_i$  – средний уровень;  $|\Delta a_i|$  – шаг варьирования.

Таким образом, фактор  $x_i$  принимает значение только на двух уровнях. Без ограничения общности можно считать, что эти знания суть +1 и -1. В дальнейшем будем обозначать эти величины соответственно знаком «+» и «-».

В табл. 2 представлены основные факторы эксперимента и пределы их изменения, т.е. условия проведения опытов в некоторых границах. Эти экспериментальные точки могут быть выбраны с условием достижения точности оценок. В этом и заключается основная идея планирования эксперимента: добиться требуемых свойств (например максимальной точности), выбирая условия проведения опытов.

Из физических соображений можно предположить, что взаимосвязь (1) имеет следующий вид:

$$y(b, x) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n \sum_{l=k+1}^n b_{ikl} x_i x_k x_l + \dots + b_{12\dots n} x_1 x_2 \cdots x_n, \quad (2)$$

где  $b_0$  - свободный член, равный выходу при  $x=0$ ;  $b_i$  - коэффициент регрессии, указывающий влияние фактора на процесс;  $b_{ij}$  - коэффициенты регрессии, определяющие степень воздействия на процесс взаимодействия факторов.

Определив коэффициенты регрессии этого уравнения, получим представление о влиянии изучаемых факторов на величину тепловых потерь. Расчет коэффициентов регрессии ведется по следующим формулам [1]:

$$\begin{aligned} b_i &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{q}_j x_i^j, i = 0, \dots, n, \\ b_{ij} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{q}_j x_i^j \dots x_\mu^j, i, \mu = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\bar{q}_j$  - значение среднего выхода процесса в  $j$ -м варианте;  $x_i^j$  - значение фактора в  $j$ -м варианте.

Для оценки значимости коэффициентов регрессии необходимо найти их выборочную дисперсию  $S^2[b_i]$ . Значимость коэффициентов регрессии определяется по неравенству

$$b_i \succ S[b_i] \cdot t_p(f), \quad (4)$$

где  $t_p(f)$  - коэффициент Стьюдента для заданной достоверности  $p$  и числа степеней свободы  $f = (v-1) \cdot N$ .

Таким образом, математическая модель данного процесса может быть достаточно точно описана с помощью интерполяционной формулы (2) с учетом оценки влияния каждого из факторов эксперимента на целевую величину.

Необходимое число экспериментов для нашего исследования составляет величину:  $N=2^n$ , где  $n$  – количество исследуемых факторов. Для получения оценок коэффициентов модели типа (2) в принципе можно использовать полные факторные планы. Однако, как правило, модель включает не все, а лишь некоторые взаимодействия первого порядка (парные взаимодействия), редко взаимодействия второго порядка и почти никогда не содержит взаимодействий выше третьего порядка [1].

Для упрощения задачи будем рассматривать только линейную модель процесса без учета парных взаимодействий. Постановка задачи формулируется следующим образом: требуется экспериментальным путем найти интерполяционную формулу, с помощью ко-

торой можно было бы описать зависимость коэффициента полезного действия котла при слоевом сжигании топлива от перечисленных пяти факторов:

$$y(b, x) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 . \quad (5)$$

В каждой экспериментальной точке поставим по два эксперимента. Для расчета оценок коэффициентов будем использовать среднее арифметическое этих наблюдений для каждой точки  $\tilde{y} = \frac{\tilde{y}^{i1} + \tilde{y}^{i2}}{2}$ . Далее, базируясь на данных экспериментов, рассчитываем

оценки коэффициентов по формулам (3) и получаем вид интерполяционной формулы (5). Последним этапом является оценка значимости коэффициентов регрессии и проверка адекватности модели.

Как было уже сказано выше, количество основных факторов, влияющих на величину КПД котла, равно 5. Поэтому количество взаимодействий  $N = 2^n = 2^5 = 32$ . Таким же будет минимальное количество необходимых опытов. Так как наша цель состоит в том, чтобы, пользуясь по возможности малым числом опытов, извлечь необходимую информацию об исследуемом объекте, оказывается целесообразным для построения модели типа (1) применить дробный факторный план.

Дробные планы типа  $2^{n-p}$  строятся так же, как и для линейных моделей, т.е. матрицу полного факторного плана для ( $n-p$ ) основных факторов дополняют столбцами, элементы которых представляют произведения элементов определенных столбцов основных факторов. Обычно предполагается, что только некоторые парные взаимодействия и взаимодействия высших порядков являются значимыми. При этом значимые взаимодействия рассматриваются как самостоятельные факторы, а незначимые приравниваются к фактограм, не вошедшим в число основных. Для определения способа образования каждого из  $p$  столбцов дробного факторного плана вводится понятие генератора плана. Генератор представляет собой произведение основных факторов, определяющее значение элементов каждого из дополнительных  $p$  столбцов матрицы плана.

Для изучения возможности повышения коэффициента полезного действия котла, используем дробный факторный план типа  $2^{5-2}$ , т.е. четверть реплики полного факторного плана. Дробный план типа  $2^{5-2}$  содержит восемь опытов по сравнению с  $2^5 = 32$  опытами полного факторного плана.

Очевидно, что в нашем случае (случае плана типа  $2^{5-2}$ ) должно иметься два генератора для образования столбцов факторов. Исходя из анализа процесса сжигания топлива в слоевых топках, для построения плана используем следующие генераторы плана:

$$x_4 = x_1 x_2; \quad x_5 = x_1 x_2 x_3.$$

Опираясь на порядок оценивания коэффициентов при использовании данного плана, можно, составив план эксперимента, получить матрицу планирования эксперимента (табл. 3). В нижней части таблицы приведены рассчитанные оценки коэффициентов.

Таблица 3

*Матрица планирования эксперимента*

Номер опыта	Планирование							Выход процесса
	№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
1	+	+	+	+	+	+	+	65,55
2	+	-	+	+	-	-	-	54,2
3	+	+	-	+	-	-	-	75,35

4	+	-	-	+	+	-		56,8
5	+	+	+	-	+	-		69,75
6	+	-	+	-	-	+		52,2
7	+	+	-	-	-	+		72,35
8	+	-	-	+	+	-		57,8
b <sub>i</sub>	63,00	21,95	13,675	-1,925	-1,275	27,475		

Таким образом интерполяционная формула (5) имеет следующий вид

$$\hat{y} = 63,00 + 21,95x_1 + 13,675x_2 - 1,925x_3 - 1,275x_4 + 27,475x_5.$$

Следующими этапами исследования являются анализ значимости входящих в уравнение регрессии коэффициентов, проверка адекватности предлагаемой модели, а также проверка значимости квадратичных эффектов.

#### Список литературы

- Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
- Мусин И.А. Планирование экспериментов при моделировании погрешности средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 135 с.
- Зажигаев Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян, Ю.И. Романиков. – М.: Атомиздат, 1978. – 231 с.
- Математическая теория планирования эксперимента / Под ред. Ермакова С.М. – М.: Наука, 1983. – 391 с.

Получено 13.11.2014

УДК 621.791.927.5

### Ю.И. Лопухов, Р. Габдысалык

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАПЛАВКИ MAG ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ

Аустенитно-ферритные дисперсионно-твердеющие Cr – Ni – Si стали, используемые для наплавки уплотнительных поверхностей затворов теплоэнергетической арматуры высоких параметров, надежно заменяют кобальтовые стеллиты.

Для механизированной износостойкой наплавки уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры применяется порошковая проволока ПП-АН133 (тип 10Х17Н8С5Г2Т), ПП-АН157 (тип 10Х19Н9С5М2РГТ) под флюсом и в аргоне. Широко-слойную наплавку производят порошковыми лентами ПЛ-АН150 (10Х17Н8С5Г2Т), ПЛ-АН151(13Х16Н8М5С5Г4Б), ПЛ-АН152 (10Х17Н8С5ГРТ) под флюсом. Эти материалы обладают экономичностью в сравнении с дефицитными кобальтовыми стеллитами, которые находят все большее применение в отрасли взамен электродов ЦН-6Л, ЦН-12М [1]. Они имеют высокую стойкость против коррозионного и эрозионного изнашивания и задирания в пароводяной среде высоких параметров и сохраняют свои характеристики в течение длительного срока эксплуатации.

Исследования и опыт применения этих сталей показывает, что наплавленные покры-

тия с более высоким уровнем твердости имеют более высокую противозадирную стойкость. Однако стойкость их против трещинообразования и технологичность при этом падают, особенно резко при твердости выше 45 HRC [1].

Твердость наплавочных хромоникелевых сталей резко зависит от наличия в их составе легирующих элементов - кремния и хрома, от количества ферритной фазы и степени её распада при нагреве. Поэтому приходится жестко регламентировать температурно-временные режимы наплавки и нагрева деталей, включая и режим последующей термообработки. Незначительное отклонение химического состава наплавленного металла по хрому и особенно превышение по кремнию выше 6 % всего на несколько сотых процента существенно снижают его технологические эксплуатационные характеристики [1, 2]. В результате дисперсионного твердения металл теряет пластические свойства. В особенностях большое влияние оказывает временно-температурные условия при наплавке массивных деталей, что приводит к охрупчиванию и образованию трещин в наплавленном металле [4].

В работе [2] установлено, что в процессе кристаллизации Cr – Ni – Si наплавленного металла образуется сигма-фаза. Она вызывает охрупчивание стали и возникновение трещин в наплавленном металле. Сигма-фаза может возникать также в результате температурно-временных условий процесса наплавки и последующей термической обработки, длительном старении при температурах эксплуатации арматуры 500 ... 600 °C на тепловых электрических станциях, что в целом снижает служебные свойства наплавленного металла [1-5].

Используя положительные свойства Cr – Ni – Si - наплавленного металла и с целью повышения его технологичности и служебных свойств, проводили исследования по влиянию легирования азотом на изменение физико-механических свойств, в зависимости от температуры отпуска и температуры длительного теплового воздействия в условиях работы тепловых электрических станций, задиростойкости и эрозионной стойкости сплавов 10X17H8C5Г2Т, 10X9Н9С5М2ГРТ. Дуговую наплавку проводили в защитной атмосфере аргона и азотсодержащей атмосфере N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>.

*Механические свойства.* Испытания образцов на ударный изгиб проводились на маятниковом копре КМ-0,3 с оптоэлектронной системой регистрации энергии разрушения. Полный запас потенциальной энергии маятника составлял 300 Дж. Потери на трение в оси маятника во всех случаях не превышали 0,4 %. Испытания проводились на образцах типа 1 по ГОСТ 9454-78 с V-образным надрезом. Твердость наплавленных образцов при нормальной температуре определяли на твердомере ТК-2 при нагрузке 0,29 кг и выдержке 30 с. Фактурографические исследования поверхности образцов, полученных от разрушений при испытаниях на ударную вязкость, проводили на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV.

Исследования механических свойств азотсодержащего наплавленного металла (табл. 1) показывают, что азот повышает прочность и ударную вязкость исследуемых сплавов.

Таблица 1  
*Механические свойства Cr–Ni–Si наплавленного металла*

Наплавленный металл	Задающая атмосфера	Режим термообработки	$\sigma_B$ , МПа	$a_H$ , Дж/см <sup>2</sup>
		Исходное состояние	$\frac{88,2 - 92,5}{90,3}$	$\frac{5,2 - 9,8}{5,5}$

10X17H8C5Г2Т	Ar	Отпуск 650 °C, 3ч	<u>86,0 – 90,6</u> 88,3	<u>5,0 – 5,6</u> 5,3
		Отпуск 850 °C. 3 ч	<u>66,8 – 77,2</u> 72,0	<u>2,8 – 4,6</u> 3,7
		Старение 650 °C, 1000 ч	<u>62,4 – 68,3</u> 65,4	<u>0,25 – 1,1</u> 0,67
10X17H9C5Г2АТ	70 % N <sub>2</sub> + 30 % CO <sub>2</sub>	Исходное состояние	<u>94,2 – 115,0</u> 104,6	<u>10,6 – 12,4</u> 11,5
		Отпуск 650 °C, 3ч	<u>80,0 – 100,5</u> 90,2	<u>8,8 – 11,5</u> 9,9
		Отпуск 850 °C, 3 ч	<u>68,2 – 78,4</u> 73,0	<u>5,6 – 6,4</u> 6,0
		Старение 650 °C, 1000 ч	<u>63,8 – 67,9</u> 65,6	<u>2,3 – 3,8</u> 3,5
10X9H9C5M2ГРТ	Ar	Исходное состояние	<u>86,0 – 99,2</u> 92,6	<u>3,5 – 5,2</u> 4,4
		Отпуск 650 °C, 3ч	<u>78,8 – 92,0</u> 85,4	<u>3,1 – 4,6</u> 3,9
		Отпуск 850 °C. 3 ч	<u>79,8 – 94,</u> 86,9	<u>2,6 – 4,2</u> 3,4
		Старение 650 °C, 1000 ч	<u>71,2 – 84,6</u> 77,9	<u>3,1 – 4,6</u> 3,9
10X19H9C5M2ГРАТ	70 % N <sub>2</sub> + 30 % CO <sub>2</sub>	Исходное состояние	<u>89,0 – 99,8</u> 94,4	<u>4,8 – 7,0</u> 5,9
		Отпуск 650 °C, 3ч	<u>79,4 – 94,0</u> 86,7	<u>4,1 – 6,3</u> 5,2
		Старение 650 °C, 1000 ч	<u>71,2 – 85,4</u> 78,3	<u>3,1 – 4,6</u> 3,9

Оптимальное значение твердости и ударной вязкости зарегистрировано в сплаве 10X17H8C5Г2Т, полученным при наплавке в защитной атмосфере 70 % N<sub>2</sub>+30 % CO<sub>2</sub>. Оптимальное значение твердости и ударной вязкости зарегистрировано в сплавах, полученных при наплавке в защитной атмосфере 70 % N<sub>2</sub>+30 % CO<sub>2</sub>. Повышение твердости и снижение ударной вязкости отмечается при использовании защитной атмосферы 100 % азота (рис. 1).

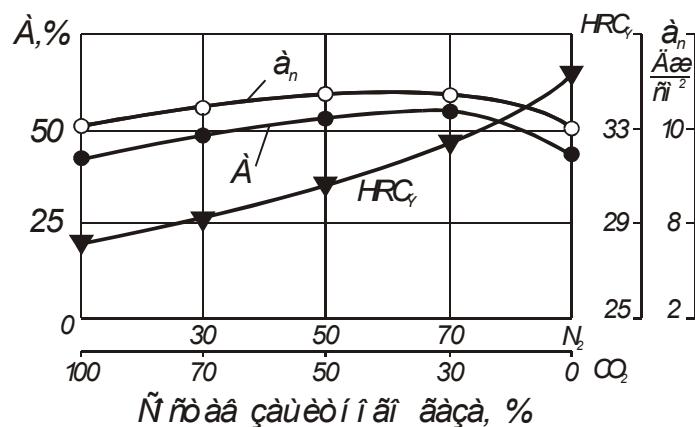


Рисунок 1 - Характер изменения ударной вязкости, твердости и содержания аустенита в наплавленном металле 10X17H8C5Г2Т в зависимости от состава защитной атмосферы

Исследование фрактограмм при разрушении образцов на ударную вязкость (рис. 2) показывает, что наплавка в атмосфере 30 %  $N_2 + 70\% CO_2$  приводит к существенному увеличению доли вязкой составляющей в изломе в сравнении с аргоном (рис. 2,*b*). При этом излом стали можно охарактеризовать как вязкий чашечный с отдельными включениями участков хрупкого скола. В металле, наплавленном в смеси 70 %  $N_2 + 30\% CO_2$ , доля вязкой составляющей повышается и дисперсность структуры остается на достаточно высоком уровне (рис. 2,*c*), что обеспечивает энергоемкость разрушения.

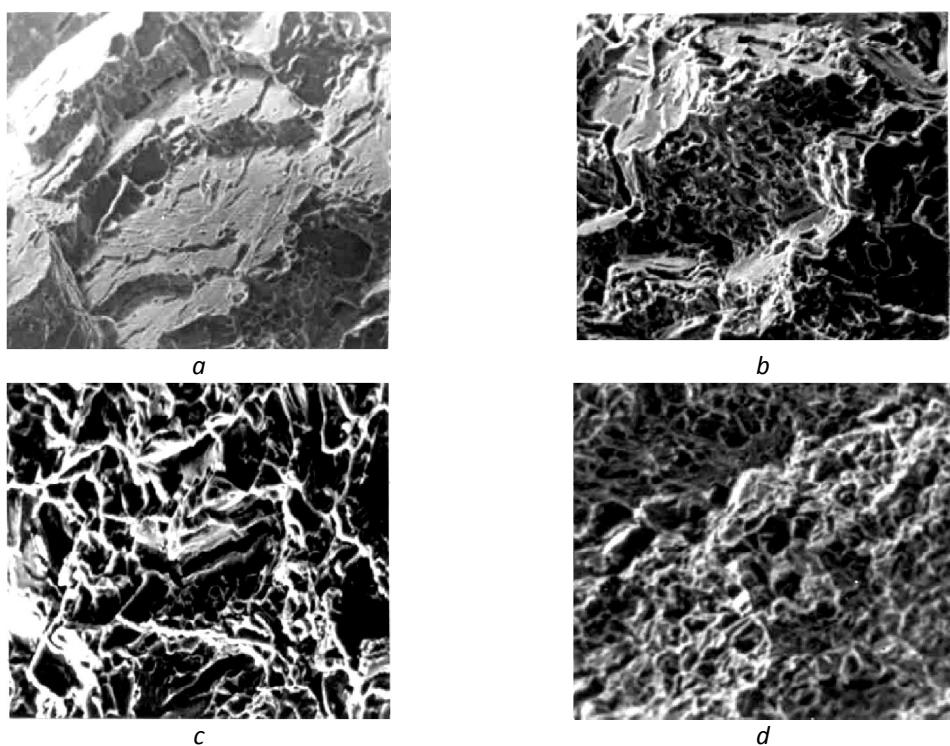


Рисунок 2 - Эволюция вида излома при наплавке порошковой проволокой ПП-АН133 (x580).

Зашитная атмосфера: a) Ar; b) 30 % N<sub>2</sub> + 70 % CO<sub>2</sub>; c) 70 % N<sub>2</sub> + 30 % CO<sub>2</sub>; d) N<sub>2</sub>

Дальнейшее увеличение процентного содержания в смеси азота выше 70 % приводит к увеличению склонности материала к хрупкому разрушению. Металл, наплавленный в атмосфере 100 % азота, одновременно упрочняет аустенит, приводит к охрупчиванию излома (рис. 2,d). Это свидетельствует о появлении на поверхности излома площадок скола с ярко выраженной кристаллографической ориентацией.

Измерение горячей твердости исследуемых сплавов проводили на приборе «Помея» фирмы «Помп Сельтик». Измерение осуществляли на наплавленных образцах диаметром 37 мм и высотой 5 мм при рабочих температурах и нагрузке на индентор 108 Н, выдержке 60 сек и давлении воздуха в рабочей камере 1,33 МПа. На каждом образце при одной и той же температуре было произведено по три отпечатка и по ним вычисляли среднюю величину. После охлаждения образцов и извлечения их из прибора диагонали отпечатков алмазной пирамиды измеряли на инструментальном микроскопе.

Установлено, что горячая твердость сплавов 10X17H8C5G2AT, 10X20H9C5M2РГАТ с азотом превышает значения твердости этих сплавов, наплавленных в аргоне на всем диапазоне рабочих температур (рис. 3).

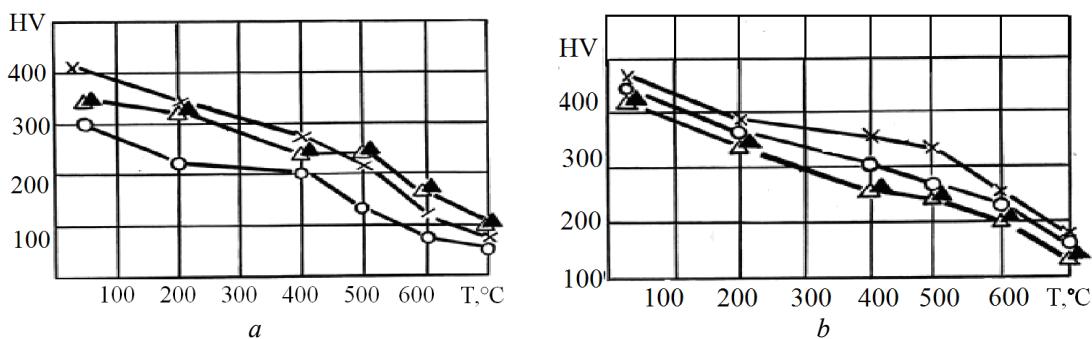


Рисунок 3 - Горячая твердость сплавов 10X17H8C5G2T (а) и 10X19H9C5M2РГТ (б), наплавленных в аргоне и в азотсодержащей атмосфере: ○ – Ar исходное состояние; Δ – Ar после старения 600 °C, 1000 часов; × – 70 % N<sub>2</sub> + 30 % CO<sub>2</sub> исходное состояние; ▲ – 70 % N<sub>2</sub> + 30 % CO<sub>2</sub> после старения 600 °C, 1000 часов

При этом последующее старение обоих азотсодержащих сплавов при 600 °C в течение 1000 час не оказывает существенного влияния на изменение горячей твердости от исходного состояния. Это свидетельствует о том, что азот повышает пластичность в сплаве за счет увеличения объемной доли аустенита и снижает склонность к образованию сигма-фазы и растрескивания сплава при длительных тепловых нагрузках.

*Исследование служебных свойств Cr – Ni – Si наплавленного металла.* Определяющим фактором стойкости материалов против задиров и эрозионного изнашивания является тип легирования, структура и твердость наплавляемого металла, а также параметры рабочей среды и другие факторы.

С целью получения сопоставимых данных по служебным свойствам наплавочных материалов уплотнительных поверхностей затворов энергетической арматуры проводили комплексные экспериментальные исследования сплавов на склонность к образованию задиров и эрозии при параметрах среды и условиях, близких к рабочим.

Испытания на стойкость к задиранию проводились в паровой среде при температуре 350 °C и удельном давлении 80 ... 100 МПа на специализированном стенде, схема которо-

го представлена на рис. 4.

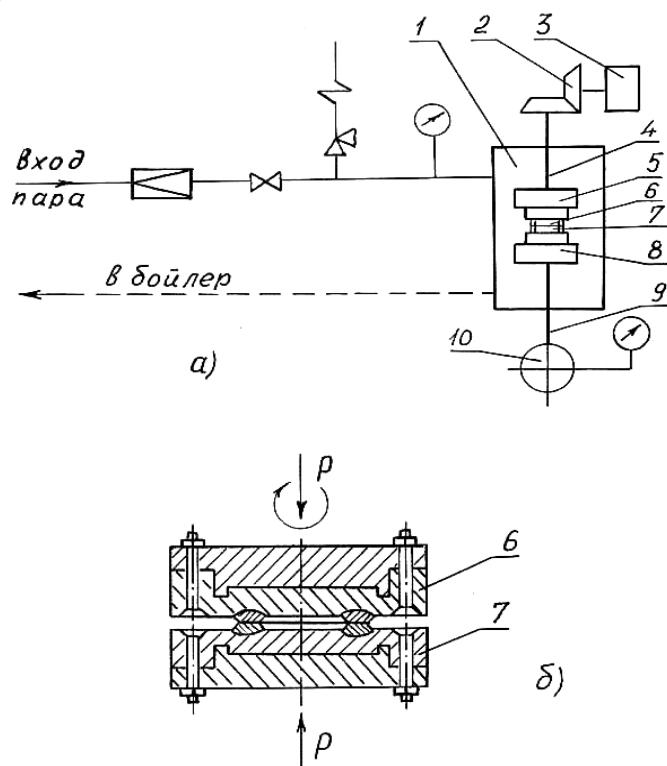


Рисунок 4 – Схема испытаний на стойкость к задиранию: а) кинематическая схема установки: 1 – рабочая камера, 2 – коробка передач, 3 – электродвигатель, 4 – шпиндель, 5 – верхний диск с элементами крепления образца, 6 – верхний подвижный образец, 7 – нижний неподвижный образец, 8 – нижний плавающий диск с элементами крепления образца, 9 – плунжер, 10 – масляный пресс с манометром; б) - расположение испытуемых образцов

Исследовались сплавы IOX17H8C5Г2Т и IOX19H9C5М2РГТ, полученные наплавкой соответственно проволоками ПП-АН133 и ПП-АН157 в защитных газах или их смесях - Ar, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>. Исследование материалов на стойкость к задиранию проводили путем моделирования процесса контактного силового взаимодействия уплотнительных поверхностей деталей затвора арматуры. Установка позволяет проводить испытания образцов паром при температурах до 500 °С и давлении до 20 МПа.

Минимальная удельная нагрузка, при которой начинали испытания, составляла 10 МПа. Затем нагрузку повышали ступенчато через 10 МПа до наступления задира или достижения заданной величины удельного давления. После испытания определяли площадь контакта (трения) образцов и глубину задирания. Измерения проводили с помощью микроскопа МИС-11.

Критерием стойкости к задиранию условно принимали появление на рабочей (контактной) поверхности образцов задиров глубиной 10 мкм и более. Удельную нагрузку, вызывающую задир указанной величины, считали максимально допустимой для данного материала.

Из представленных данных (табл. 2) следует, что все пары образцов сплава 10Х17Н8С5Г2Т, кроме образцов, наплавленных в атмосфере аргона, обладают высокой

стойкостью против задиров при удельных давлениях 91,2 ... 96,6 МПа, но лучшими свойствами обладает металл, наплавленный проволокой ПЛ-АН133 в атмосферах 50 % N<sub>2</sub> + + 50 % CO<sub>2</sub> (96,0 МПа) и 70 % N<sub>2</sub> + 30 % CO<sub>2</sub> (96,6 МПа).

Таблица 2  
*Противозадирные свойства исследуемых сплавов*

Тип сплава исследуемых пар образцов	Защитный газ, при наплавке, %	Твердость, HRC <sub>3</sub>	Удельные нагрузки, вызывающие задир более 10 мкм, Мпа
10X17H8C5G2T	100 Ar	36	57,7
	100 CO <sub>2</sub>	32	71,2
	100 N <sub>2</sub>	36	93,0
	50 N <sub>2</sub> + 50 CO <sub>2</sub>	35	96,0
	70 CO <sub>2</sub> + 30 N <sub>2</sub>	33	93,0
	70 N <sub>2</sub> + 30 CO <sub>2</sub>	35	96,6
10X17H8C5G2T (нижний)	100 N <sub>2</sub>	32/36	70,0
10X20H9C5M2PГТ (верхний)	70 N <sub>2</sub> + 30 CO <sub>2</sub>	35/38	77,0

При испытании разноименных пар образцов 10X17H8C5G2T + 10X20H9C5M2PГТ высокие противозадирные свойства (93,0 МПа) зарегистрированы в металле, наплавленном соответствующими проволоками в смеси газов 50 % N<sub>2</sub> + 50 % CO<sub>2</sub>.

Противозадирные свойства одноименной пары из сплава 10X17H8C5G2T, легированного азотом, не уступают этим свойствам при испытании разноименных пар 10X17H8C5G2T + 10X20H9C5M2PГТ, что имеет экономическую и практическую ценность.

#### Список литературы

1. Степин В.С. Применение дисперсно-твердеющих Cr-Ni-Si сталей для элементов затворов и наплавки уплотнительных поверхностей арматуры ТЭС и АЭС / В.С. Степин, Е.Г. Старченко, А.А. Андреев // Арматуростроение. - 2006. - № 3. - С. 66-68.
2. Лопухов Ю.И. Легирование азотом как способ подавление сигма-фазы в наплавленном металле для энергосберегающего оборудования // Проблемы загрязнения территорий. Материалы Междунар. Казахстанско-Российской науч.-практич. конф. - Усть-Каменогорск, ВКГТУ, 2004. - Ч. 3. - С. 118-121.
3. Еремеев В.Б. Разработка порошковой проволоки и ленты для наплавки трубопроводной арматуры / В.Б. Еремеев, Ю.В. Стреляный, И.И. Фрумин // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1978. - С. 3-7.
4. Лопухов Ю.И. Исследование многопроходной наплавки порошковой лентой ПЛ-АН150 крупной трубопроводной арматуры / Ю.И. Лопухов, В.Б. Еремеев, Ю.В. Стреляный // Теоретические и технологические основы наплавки. Новые процессы наплавки, свойства наплавленного металла и переходной зоны. - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1984. - С. 98-104.
5. Лопухов Ю.И. Формирование структуры хромоникелькремнистой стали в условиях газоэлектрической дуговой наплавки // Физическая инженерия поверхности. - 2009. - Т. 7. - № 1-2. - Суммы, 2009. - С. 27-30.

Получено 12.12.2014

УДК 621.791.927.5:66.971

**Ю.И. Лопухов, Д.С. Кабдуллина**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА  
10X17H8C5Г2Т И 10X19H9C5M2РГТ**

Для механизированной износстойкой наплавки уплотнительных поверхностей деталей трубопроводной арматуры применяются порошковые проволоки ПП-АН133 (тип 10X17H8C5Г2Т), ПП-АН157 (тип 10X19H9C5M2РГТ) под флюсом и в аргоне. Исследования и опыт применения этих сталей показывает, что наплавленные покрытия с более высоким уровнем твердости имеют более высокую противозадирную стойкость. Однако стойкость их против трещинообразования и технологичность при этом падают, особенно резко при твердости выше 45 HRC [1].

Существенное влияние на повышение твердости сплава оказывает длительное старение при температуре 600 °С. Резкое упрочнение наплавленного металла типа 10X17H8C5Г2Т после температуры 400 °С приводит к образованию в структуре сигма - фазы ( $\text{Cr}_{615}$ ,  $\text{Ni}_{2(5)}\text{Si}$ ) и силицидов  $\text{CrNi}_5\text{Si}_2$ . Это свидетельствует о значительном охрупчивании сплава и является его существенным недостатком [2].

В процессе эксплуатации арматуры и даже при термической обработке наплавленных деталей это может привести к образованию на уплотнительных поверхностях трещин, сколов и нарушения герметичности затвора арматуры.

Согласно ОСТ 5.9937-84, металл, наплавляемый на уплотнительные поверхности теплоэнергетической арматуры, в зависимости от марки основного металла, подвергается отпуску при температурах 650° и 850 °С в течение 2-3 часов. На наплавленные уплотнительные поверхности теплоэнергетической арматуры также воздействуют длительные тепловые нагрузки до 600 °С. Поэтому важно знать температурные влияния на структуру и свойства исследуемых сплавов.

Исследования выполняли на дифференциальном дилатометре Шевенара при нагреве и охлаждении в защитной среде аргона, целью которых является изучение структурной чувствительности сплавов к последующему нагреву и охлаждению.

Образцы для дилатометрических исследований размером 3,5×3,5×50 мм изготавливались из металла типов 10X17H8C5Г2Т и 10X19H9C5M2РГТ, наплавленного соответственно порошковыми проволоками ПП-АН 133 и ПП-АН 157 в среде аргона.

В связи с этим, в процессе исследований отпуск наплавленного металла имитировался непосредственно на дилатометре путем нагрева и выдержки образцов при заданной температуре. Скорость нагрева образцов составляла 2,5-3,3 °С/мин, скорость охлаждения - 40 °С/мин.

Для всех режимов нагрева получали дилатометрические кривые, по которым оценивали прохождение базовых и структурных превращений, а также определяли коэффициенты термического расширения.

Дилатометрические кривые наплавленного металла в исходном состоянии в результате непрерывного нагрева до 1000 °С приведены на рис. 1.

В процессе непрерывного нагрева в интервале температур 600-800 °C наблюдается уменьшение объема (длины) образцов, что свидетельствует о протекании превращений. В процессе охлаждения кривые не возвращаются в исходную точку, и наблюдается гистерезис. Это свидетельствует о необратимости превращения. Для наплавленного металла типа I0XI9H9C5M2РГТ объемный эффект и гистерезис больше, чем для наплавленного металла типа I0XI7H8C5Г2Т, что свидетельствует о более интенсивном протекании фазовых превращений.

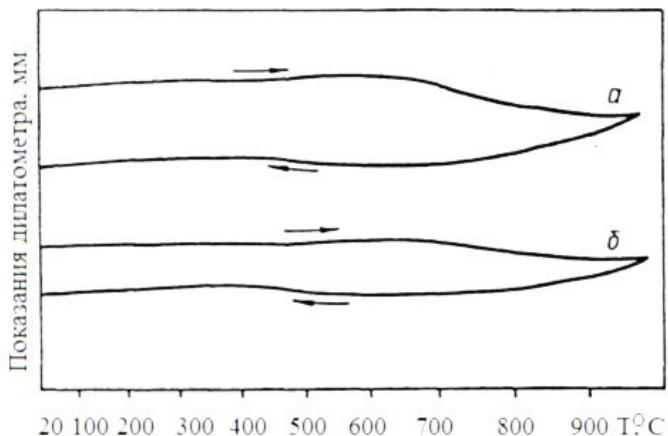


Рисунок 1 - Дилатометрические кривые при нагреве и охлаждении образцов наплавленного металла: а – I0XI9H9C5M2РГТ, б – I0XI7H8C5Г2Т

Отпуск при 650 °C сопровождается уменьшением длины и гистерезисом при охлаждении (рис. 2).

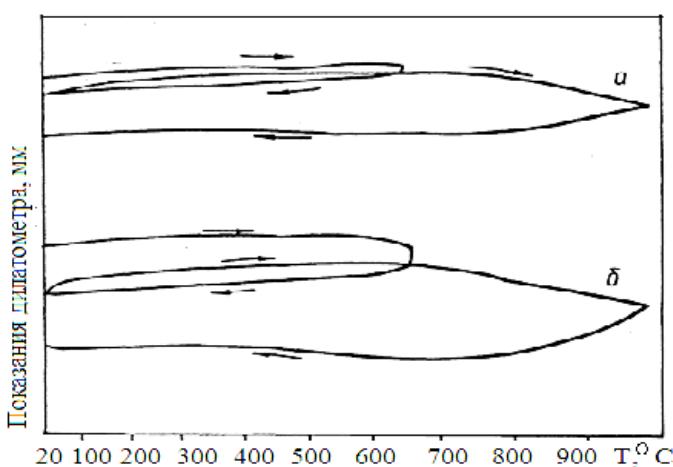


Рисунок 2 - Дилатометрические кривые при старении (650 °C, 3 часа) и последующем нагреве и охлаждении образцов наплавок: а – I0XI9H9C5M2РГТ, б – I0XI7H8C5Г2Т

Для металла типа I0XI9H9C5M2РГТ их величина в два-три раза меньше, чем для ме-

тала типа I0XI7H8C5Г2Т. При последующем непрерывном нагреве наблюдается уменьшение длины при температуре выше 650 °С. Это доказывает, что при температуре отпуска 650 °С еще не достигается равновесная структура.

При отпуске 850 °С также наблюдается уменьшение длины и гистерезис при охлаждении (рис. 3). Однако в этом случае дилатометрические эффекты для обоих типов наплавленного металла практически одинаковы. В результате отпуска при 850 °С структура наплавленного металла стабилизируется и при повторном нагреве до 1000 °С и охлаждении дилатометрические кривые возвращаются в исходную точку (рис. 3). Характерно, что дилатометрические кривые имеют небольшой наклон вверх, а коэффициент термического расширения несколько увеличивается (см. табл.). Это результат того, что в процессе отпуска при 850 °С, наряду с выделением из твердого раствора вторичных фаз, происходит частичное превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$ .

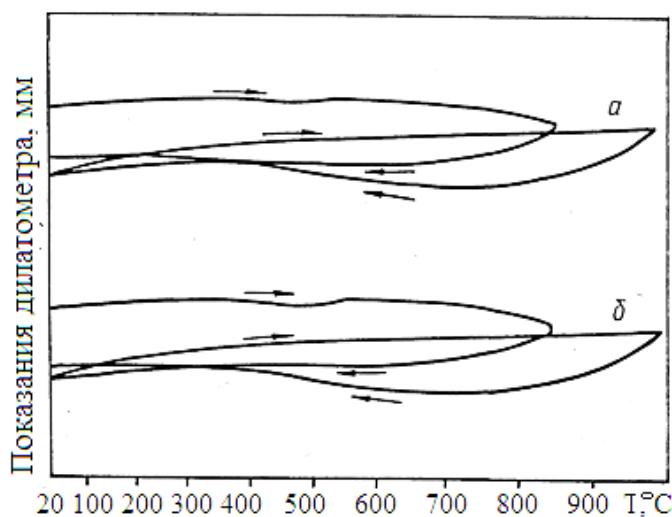


Рисунок 3 - Дилатометрические кривые при старении (850 °С, 3 часа) и последующем нагреве и охлаждении образцов наплавок: а – I0XI9H9C5M2РГТ, б – I0XI7H8C5Г2Т

В процессе отпуска при 650 °С превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$  не происходит и коэффициент термического расширения либо не изменяется (I0XI7H8C5Г2Т), либо изменяется незначительно (I0XI9H9C5M2РГТ).

По данным рентгеноструктурного анализа структура наплавленного металла I0XI7H8C5Г2Т в исходном состоянии состоит из аустенита (50 %) и легированного кремнием феррита (50 %). После отпуска при Т 650 °С и 850 °С в сплаве происходит выделение сложного силицида  $\text{Cr}_3\text{Ni}_5\text{Si}_2$ .

Структура наплавленного металла I0XI9H9C5M2РГТ состоит из аустенита, феррита 15-20 %, боридной эвтектики, состоящей в основном из боридов типа  $\text{Ni}_4\text{B}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$  и незначительного количества силицида  $\text{CrSi}_2$ . После отпуска при Т 650 °С фазовых превращений в сплаве не происходит. При повышении температуры отпуска до 850 °С в структуре происходят фазовые превращения, что приводит к появлению в структуре сплава небольшого количества силицида типа  $\text{Ni}_5\text{Si}_2$ .

После длительного (1000) часов старения при Т 650 °С в структуре наплавленного металла типа I0XI7H8C5Г2Т наблюдалось образование сигма-фазы и увеличение количества

ва силицидов типа  $\text{Cr}_{6(5)}\text{Ni}_{2(5)}\text{Si}$ , а в наплавленном металле I0XI9H9C5M2РГТ – сигмафазы типа  $\text{CrNiFeMo}$  и увеличение количества силицидов  $\text{Ni}_5\text{Si}_2\text{B}$ .

*Значения среднего коэффициента термического расширения наплавленного металла,  
 $\alpha \cdot 10^{-6}$  наплавленного металла*

Наплавленный металл	Режим нагрева образца	Температура, Т °C								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
I0XI9H9C5M2PT	Непрерывный нагрев в исходном состоянии	12,8	13,9	14,4	14,6	15,4	15,8	16,0	16,2	16,5
	Нагрев до 650 °C, выдержка 3 час.	14,1	14,3	14,4	14,6	15,4	15,9			
	Непрерывный нагрев после выдержки 650 °C	14,1	14,5	14,7	14,9	15,5	15,9	16,3	16,5	16,7
	Нагрев до 850 °C, выдержка 3 часа	14,1	13,9	14,3	14,4	15,1	15,6	15,9	16,2	
	Непрерывный нагрев после выдержки 850 °C	15,0	15,1	15,2	15,3	15,9	16,3	16,7	17,1	17,5
	Непрерывный нагрев после старения 600 °C, 1000 час	13,2	13,6	13,8	14,0	14,6	15,0	15,3	15,3	15,2
I0XI7H8C5T2T	Непрерывный нагрев в исходном состоянии	13,4	13,9	14,2	14,4	15,1	15,7	16,0	16,4	16,7
	Нагрев до 650 °C, выдержка 3 часа	14,5	14,3	14,6	14,7	15,3	15,7			
	Непрерывный нагрев после выдержки 650 °C	15,5	14,7	15,2	15,2	15,8	16,1	16,5	16,6	16,7
	Нагрев до 850 °C, выдержка 3 часа	14,1	14,3	14,3	14,4	15,1	15,7	16,2	16,7	
	Непрерывный нагрев после выдержки 850 °C	15,0	15,1	15,2	15,3	15,9	16,3	17,1	17,4	17,5
	Непрерывный нагрев после старения, 600 °C, 1000 час	15,0	14,7	14,9	14,9	15,5	15,9	16,2	16,5	16,6

На дилатометрической кривой, полученной при непрерывном нагреве до 1000 °C металла типа I0XI9H9C5M2РГТ, прошедшего длительное старение, наблюдается значительное уменьшение длины образца в интервале температур 650°-850 °C и наибольший гистерезис (рис. 4), а также снижение коэффициента термического расширения (см. табл.).

Это свидетельствует о том, что в процессе старения при  $T = 600^{\circ}\text{C}$  в наплавленном металле I0XI9H9C5M2PT фазовые превращения происходят не в полном объеме.

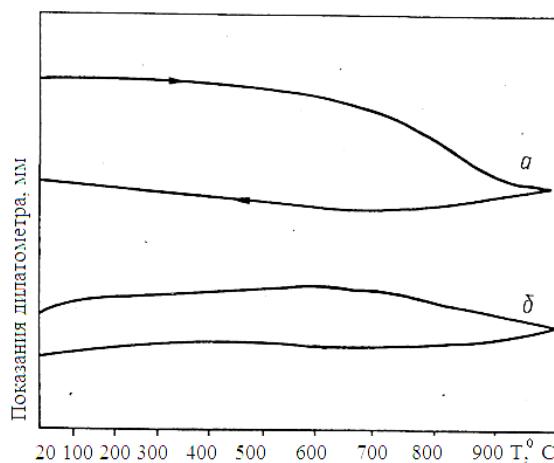


Рисунок 4 - Дилатометрические кривые при нагреве и охлаждении образцов наплавок после предварительного старения  $600^{\circ}\text{C}$ , 1000 часов: а – I0XI9H9C5M2PT, б – I0XI7H8C5Г2Т

В сплаве I0XI7H8C5Г2Т фазовые и структурные превращения в процессе старения при  $T = 600^{\circ}\text{C}$  протекают более интенсивно, и поэтому на дилатометрической кривой непрерывного нагрева образца, прошедшего старение, изменения не такие значительные, а коэффициент термического расширения практически не изменяется.

#### Список литературы

- Степин В.С. Применение дисперсно-твердящих Cr-Ni-Si сталей для элементов затворов и наплавки уплотнительных поверхностей арматуры ТЭС и АЭС / В.С. Степин, Е.Г. Старченко, А.А. Андреев // Арматуростроение. – 2006. – № 3. – С. 66-68.
- Лопухов Ю.И. Легирование азотом как способ подавления сигма-фазы в наплавленном металле для энергосберегающего оборудования // Проблемы загрязнения территорий: Материалы Междунар. Казахстанско-Российской науч.-практ. конф. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2004. – Ч. 3. – С. 118-121.

Получено 10.12.2014

по страницам



## ПОЛУПРОВОДНИКИ ВМЕСТО ЛАМП

Яркие, экономичные и экологически безопасные светодиодные источники света все активнее вытесняют традиционные лампы. Смоленский инженерный центр «Электролуч» разработал и начал производство защищенных диодных светильников, предназначенных для применения в шахтах с повышенной опасностью, обусловленной наличием рудничного газа, а также в других взрывоопасных условиях. Кроме того, под светодиодные источники там же были адаптированы сиг-

нальные огни взлетно-посадочных полос и вертолетных площадок, осветительные устройства самолетов и многие другие промышленные источники света.

«Наука и жизнь» № 9, 2014