

УДК 621.791.92.03-52

Гулаков С.В.¹, Носовский Б.И.², Новохацкая А.С.³, Бурлака В.В.⁴

**МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА
СВАРКИ (НАПЛАВКИ)**

Разработана установка для моделирования термических циклов сварки (наплавки), позволяющая имитировать возникновение дефектов при наплавке рабочих слоев высокоуглеродистых трудносвариваемых сталей, что дает возможность выработать методы их устранения. Установка позволяет также производить механическую деформацию образца в процессе испытания. Дано описание оборудования установки и приведена принципиальная электрическая схема электрической части с подробным описанием.

Детали и инструмент металлургического оборудования работают в тяжелых условиях. В связи с этим основная их доля изготавливается из высокоуглеродистых легированных сталей. Интенсивный износ в процессе эксплуатации требует частой их замены, что влечет за собой высокие затраты на ремонт или приобретение новых. Одним из вариантов продления срока службы деталей и инструмента металлургического оборудования является дуговая наплавка [1, 2].

Наплавка рабочего слоя на высокоуглеродистые трудносвариваемые стали сопряжена с рядом трудностей, одной из которых является возможность появления отколов в околошовной зоне. Это связано с появлением закалочных малопластичных структур в этой области и остаточных напряжений. Вследствие этого возможно образование холодных микротрещин, которые могут формироваться в процессе наплавки, вылеживания вала после наплавки и развиваться в процессе его эксплуатации [3, 4].

С целью исследования влияния параметров термического и механического циклов дуговой сварки на градиент свойств сварного соединения предлагается имитировать их на отдельных образцах с последующими испытаниями.

Следует отметить высокие градиенты изменения свойств в околошовной зоне, затрудняющие их определение.

Авторами разработана установка, позволяющая в требуемом диапазоне скоростей и температур формировать термомеханический цикл, аналогичный циклу сварки (наплавки).

Через образец размерами 3×6×40 мм пропускается электрический ток, для чего он подключается ко вторичной обмотке силового трансформатора, первичная обмотка которого через блок тиристоров подключена к сети.

Параметры термического цикла, различные для различных точек зоны термического влияния программируются с помощью компьютера и сравниваются с действительной температурой образца. Измерение температуры образца осуществляется хромель-алюмелевой или хромель-копелевой термопарой диаметром 0,15 – 0,2 мм, приваренной к нему ударной конденсаторной сваркой, обеспечивающей стабильные результаты измерения. ЭДС термопары усиливается усилителем постоянного тока и через АЦП поступает на микроконтроллер. Микроконтроллер сравнивает заданную температуру с действительной, вычисляет ошибку и управляет углом открытия (включения) тиристоров.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

³ПГТУ, студент

⁴ПГТУ, аспирант

Скорость охлаждения отдельных образцов меньше реальных скоростей при наплавке и для ее увеличения в систему управления включены устройства для обдува образца воздухом (газом) или орошения водой.

Это позволяет достаточно точно воспроизвести термические циклы сварки как на ветви нагрева, так и на ветви охлаждения.

Для имитации деформационного цикла сварки используется замкнутый силовой контур, включающий динамометр с датчиком усилий, образец и систему «винт-гайка», обеспечивающую деформацию образца. Для получения деформаций образца, близких к сварочным, используется логарифмический редуктор с передаточным отношением 1:10; 1:100; 1:1000 и электродвигатель с частотным регулированием, позволяющим реверсировать и регулировать скорость вращения выходного вала в диапазоне 1:10.

Термические и деформационные циклы записываются с помощью контроллера.

Функциональная схема управления термо-механическим циклом сварки приведена на рис. 1.

Силовая электрическая часть установки состоит (рис. 1) из сварочного трансформатора Т, нагрузкой которого является испытуемый образец. Температура образца измеряется с помощью приваренной к нему термопары ВТ. Сигнал с термопары усиливается с использованием усилителя с импульсной стабилизацией (принцип «модулятор-демодулятор») [5], преобразуется в цифровую форму и поступает на обработку в микроконтроллер. Предусмотрена компенсация влияния температуры холодного спая термопары. Микроконтроллер имеет возможность связи с ПК посредством блока преобразователей уровня RS232↔TTL. Кроме того, предусмотрены выходы для управления включением принудительного охлаждения с помощью вентилятора или путем орошения водой. Для управления преобразователем частоты (т.е., в конечном итоге, деформацией образца) предусмотрен выход аналогового сигнала напряжением 0...+5 В для установки задания на скорость приводного двигателя.

В схему управления установкой (рис. 2) входят: система импульсно-фазового управления (СИФУ) силовыми тиристорами VS1, VS2; измеритель ЭДС термопары ВТ1; преобразователи уровня RS232↔TTL для связи с компьютером; однокристалльный микроконтроллер; схемы управления подачей воды, включением вентилятора и схема формирования задания на скорость преобразователю частоты.

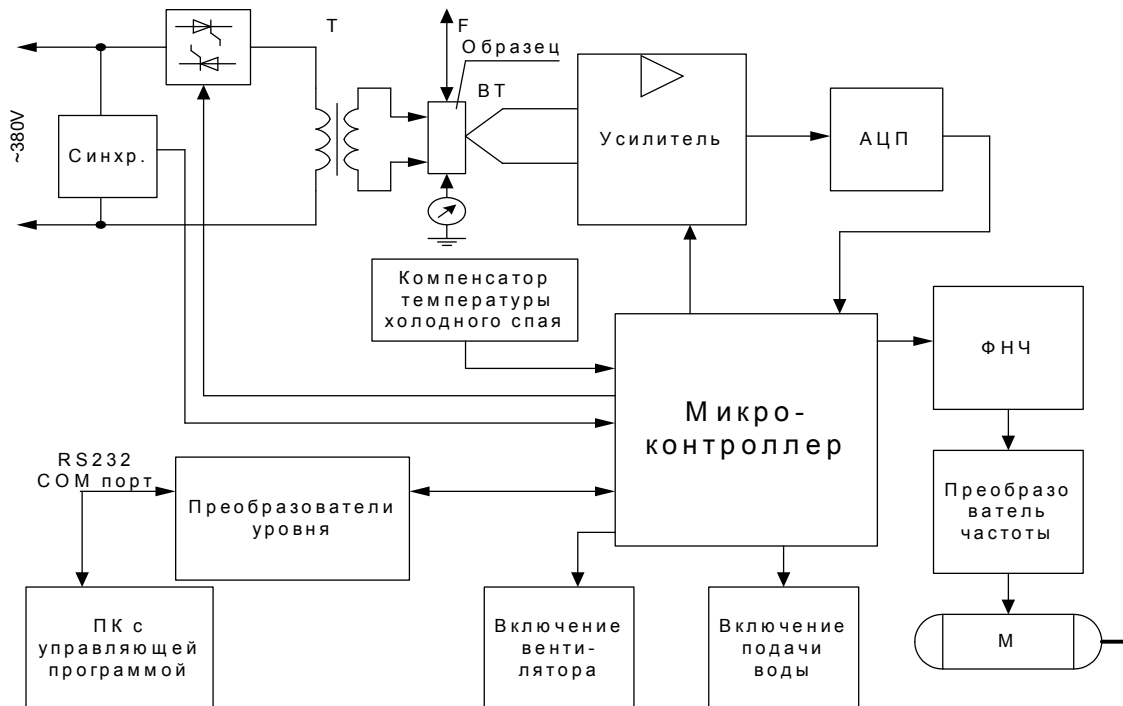


Рис.1 – Функциональная схема управления термо-механическим циклом сварки

Система импульсно-фазового управления тиристорами VS1, VS2 включает элементы: VD1, VD2, R1, R2, DA1 и схему синхронизации с частотой сети (на рис. 2 не показана). Включением тиристоров управляет контроллер DD2 по линии порта PD5. При появлении на выводе PD5 логической 1 загорается светодиод оптопары DA1 типа MOC3023, при этом резистором R2 осуществляется ограничение тока на уровне 10 – 15 мА. Оптосимистор DA1 открывается, что приводит к протеканию прямого тока через управляющий электрод одного из силовых тиристоров, в зависимости от полярности напряжения сети. Для ограничения тока оптосимистора последовательно с ним установлен резистор R1. Диоды VD1 и VD2 защищают управляющие электроды тиристоров VS1, VS2 от подачи обратного напряжения. Демпфирующая цепочка RD, CD ограничивает скорость изменения напряжения на запирающемся тиристоре, улучшая условия выключения.

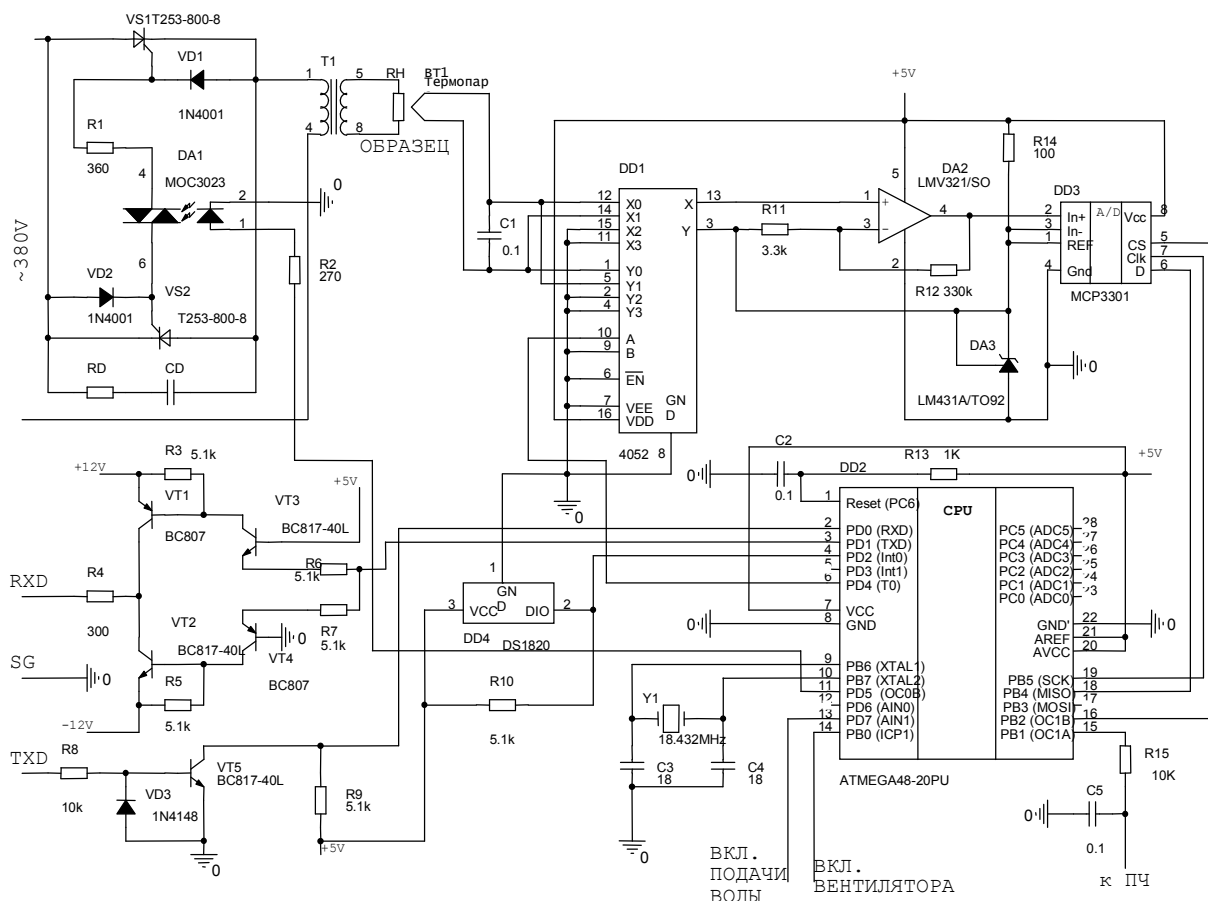


Рис. 2 – Принципиальная электрическая схема установки

Измеритель ЭДС термопары состоит из дифференциального коммутатора DD1, неинвертирующего усилителя на ОУ DA2 с коэффициентом усиления порядка 100, 13-битного АЦП последовательного приближения DD3 и источника опорного напряжения (ИОН) на микросборке DA3. Коммутатор DD1 превращает постоянное напряжение, снимаемое с термопары, в прямоугольное напряжение с соответствующей амплитудой. Этот сигнал усиливается в 100 раз усилителем на ОУ DA2 и оцифровывается АЦП DD3. В процессе усиления и оцифровки в сигнал вносятся ошибки смещения усилителя и АЦП. Но благодаря тому, что обрабатывается переменное напряжение, эти ошибки можно устранить путем вычисления размаха оцифрованного сигнала [6, 7]. Таким образом, удается скомпенсировать дрейф нуля (смещение) и получить измерительный тракт, точность которого определяется лишь резисторами R11, R12, задающими усиление, и ИОН DA3. Связь АЦП DD3 с контроллером осуществляется посредством последовательной 3-проводной шины SPI, в которой используется 2 из 3 линий обмена данными и дополнительный сигнал CS – выбор микросхемы. Преобразование осуществляется в такой последовательности: контроллер активизирует сигнал CS, обозначая

начало обмена данными; затем на линии SCK генерируются 16 тактовых импульсов, по фронтам которых АЦП выставляет на линии MISO биты данных; по окончании чтения контроллер деактивирует сигнал CS и АЦП сбрасывается в исходное состояние. Для компенсации температуры холодного спая термопары установлен цифровой датчик температуры DD4 типа DS1820. Он имеет диапазон измерения температуры ($-55...+125$ °C) с точностью 0,5 °C. Связь его с контроллером осуществляется по 1-проводному интерфейсу 1-Wire.

Преобразователи уровня RS232 \leftrightarrow TTL служат для связи с компьютером через COM-порт стандарта RS232. Необходимость их применения объясняется тем, что контроллер имеет уровни логического «0» – 0 В, логической «1» – +5 В, а для RS232 уровень лог. «0» – +12 В, лог. «1» – 12 В. Передающий тракт собран на VT1 – VT4, R3 – R7. При уровне лог. «0» на выходе TXD контроллера открыты VT1 и VT3, при этом на выходе каскада (коллектор VT1) напряжение равно +12 В. Аналогично, при лог. «1» на выходе контроллера отпираются VT2 и VT4, на выходе появляется –12 В. Резистор R4 служит для ограничения выходного тока в случае короткого замыкания в линии связи. Приемный тракт образован R8, VD3, VT5, R9. Резистор R8 ограничивает ток базы VT5. При наличии на входе лог. «0» (+12В) отпирается VT5, напряжение на его коллекторе становится близким к нулю, что соответствует уровню лог. «0» контроллера. Если на входе лог. «1» (–12 В), то VT5 заперт, при этом входной ток идет через диод VD3, защищающий базоэмиттерный переход VT5 от пробоя обратным напряжением. На коллекторе VT5 за счет R9 будет +5 В, что и соответствует уровню лог. «1» контроллера.

В процессе имитации термического цикла может возникнуть ситуация, когда скорость естественного остывания образца недостаточна. В таком случае предусмотрена возможность включения принудительного обдува образца с помощью вентилятора (линия PB0). Если же и воздушного охлаждения оказывается недостаточно, включается система водяного охлаждения (линия PD7).

Для имитации механических нагрузок в системе применен частотно-регулируемый привод, работающий на растяжение образца. Для задания скорости на преобразователь частоты подается напряжение в диапазоне (0...+5) В, пропорциональное требуемой скорости. Формирование плавно изменяющегося напряжения выполняет один из аппаратных таймеров контроллера, работающий в режиме генератора с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). ШИМ-последовательность, снимаемая с выхода OC1A, фильтруется цепочкой R15C5 с постоянной времени 1 мс. При этом на конденсаторе C5 выделяется постоянная составляющая ШИМ-сигнала, пропорциональная скважности. Таким образом, при изменении скважности от 0 до 100 % напряжение на C5 будет изменяться от 0 до +5 В.

Благодаря возможности имитации термических циклов и механических нагрузок при наплавке валков данная установка позволяет, проведя ряд испытаний, оценить требуемые свойства наплавленного металла, а также подобрать оптимальные режимы и материалы для наплавки, которые позволят избежать возникновения закалочных структур и вызванных ими дефектов.

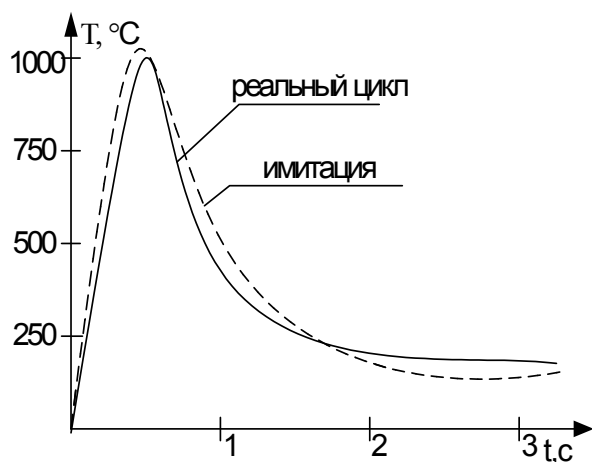


Рис.3 – Сварочный и имитированный термические циклы

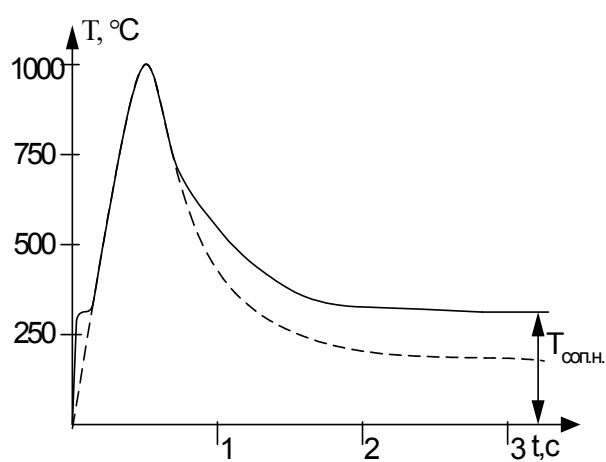


Рис. 4 – Программа для имитации термического цикла сварки с предварительным подогревом

С целью проверки точности воспроизведения термических циклов сварки температуру измеряли хромель-алюмелевой термопарой ($T_{\max} = 1300$ °С), записывали на компьютер и вводили в программатор, после чего осуществляли имитацию этого цикла на образцах. Имитированный термический цикл сравнивали с реальным (рис. 3).

Для исследования влияния параметров предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{соп.н}}$) в программе изменяли величину постоянной составляющей цикла (рис. 4).

Анализ рис. 3, 4 показывает достаточно высокую сходимость реальных и имитированных циклов, не превышающую 5 %, что в полной мере удовлетворяет требованиям технологического процесса дуговой сварки (наплавки).

С применением разработанного оборудования проведен комплекс исследований свойств околосшовной зоны высокоуглеродистых валковых сталей и выданы технологические рекомендации для формирования качественного наплавленного слоя при восстановлении и упрочнении прокатных валков. Разработанный технологический процесс апробирован и внедрен в производство.

Выводы

1. Предложенная методика оценки влияния имитированного термического и механического циклов сварки на распределение свойств сварных соединений и разработанное испытательное оборудование позволяют в широких пределах управлять параметрами нагрева и охлаждения испытуемого образца с возможностью одновременного силового воздействия на него по заданной программе.
2. Разработанное оборудование позволяет дифференцированно исследовать влияние термического, механического циклов, а также их взаимодействие.
3. Для приближения имитированных термических циклов к реальным в систему введены устройства, интенсифицирующие охлаждение образцов потоком воздуха или орошением водой.
4. Имитация термических циклов на образцах позволила определить распределение свойств зоны термического влияния, объяснить природу разрушений и разработать технологию наплавки, обеспечивающую высокие эксплуатационные характеристики наплавленных изделий.

Перечень ссылок

1. Фрумин И.И. Технология механизированной наплавки / И.И. Фрумин, Ю.А. Юзвенко, Е.И. Лейначук. – М.: Высшая школа, 1965. – 306 с.
2. Псарева И.С. Пути совершенствования технологии и оборудования для наплавки рабочих поверхностей с регламентированным распределением свойств / И.С. Псарева, В.В. Чигарев, В.П. Иванов // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2003. – Вип. 13. – С. 185 – 189
3. Гулаков С.В. Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский. – Мариуполь: ПГТУ, 2005. – 170 с.
4. Прохоров Н.Ник. Технологическая прочность сварных швов в процессе эксплуатации / Н.Ник. Прохоров. – М.: Металлургия, 1979. – 248 с.
5. Титце У. Полупроводниковая схмотехника: Справочное руководство: пер. с нем. / У. Титце, К. Шенк. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
6. Хоровиц П. Искусство схмотехники: В 2-х т.; т. 1: пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1985. – 598 с.
7. Хоровиц П. Искусство схмотехники: В 2-х т.; т. 2: пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1986. – 590 с.

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 18.03.2008