

УДК 621.791.75.042

Малыгина С. В., Бережная Е. В., Турчанин М. А., Кассов В. Д.

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЦЕССА СВАРКИ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ

В литейных отливках по различным причинам возникают раковины, газовые пузыри, шлаковые включения, недоливы, подрезы при удалении прибылей и другие дефекты [1]. Возможность и целесообразность проведения ремонтных работ, а также их эффективность зависят от целого ряда факторов, из которых наиболее важными являются характер разрушения (дефекта) и его размеры; обеспечение получения после ремонта требуемых геометрических размеров деталей; обеспечение служебных характеристик деталей за счет получения необходимых механических свойств сварного соединения, а при необходимости – и идентичности химического состава металла шва с основным металлом [2, 3]. При этом важное значение приобретают вопросы повышения качества, производительности процесса и экономии наплавленного металла [4, 5], что невозможно без разработки специальных технологических приемов ремонта. Ранее [6] была разработана методика определения устойчивости процесса сварки. Однако используемый при этом вариант измерительной системы малоэффективен при выполнении большого объема измерений, поскольку требует визуального считывания информации с цифровых индикаторов ее фиксирования (детальной записи) с последующей обработкой и анализом полученных результатов без возможности последующего воспроизведения необходимого потока данных, получаемых при сварке.

Целью работы является разработка микроконтроллерной системы мониторинга стабильности процесса ремонтной сварки дефектов литья.

Установлено, что если поверхность подготовленная под сварку при контакте с каплей (брызгой) расплавленного электродного металла нагревается до температуры несколько выше температуры плавления металла изделия $T_{кон} > T_{пл}$, то имеет место приваривание брызги к основному металлу изделия. Чтобы определить зону проплавления, рассмотрим, как распределяется температура по оси OZ , направленной вглубь тела. Расчет будем вести, используя формулу распределения температуры предельного состояния при нагреве полубесконечного тела неподвижным нормально-круговым источником. После упрощений имеем:

$$T(O, Z) = T_T \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{1+x^2} e^{-\frac{\varphi}{x^2}}, \quad (1)$$

где T_T – предельная температура центральной точки неподвижного нормально-кругового источника в полубесконечном теле;

φ – коэффициент.

В уравнении (1) обозначим интеграл через:

$$D = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\frac{\varphi}{x^2}}}{1+x^2} dx. \quad (2)$$

Поскольку при $\varphi \leq 0$ функция расходится, примем $\varphi > 0$. Сделаем преобразования переменных:

$$y = \frac{1}{x^2}; \quad x = -\frac{1}{\sqrt{y}}. \quad (3)$$

Тогда:

$$dy = \frac{-2dx}{x^2} = 2y\sqrt{y}dx. \quad (4)$$

Откуда:

$$dx = \frac{dy}{2y\sqrt{y}}. \quad (5)$$

Тогда формула (2) примет вид:

$$D = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\frac{\varphi}{x^2}}}{1+x^2} dx = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\varphi y}}{\sqrt{y}(1+y)} dy. \quad (6)$$

Положим, что $f(y) = \frac{1}{\sqrt{y}(1+y)}$ – оригинал, а соответствующее операторное изображение обозначим $f(y)'$. Произведем преобразование Лапласа:

$$\frac{1}{2} f(y)' = \frac{1}{2} \varphi \int_0^{\infty} \frac{e^{-\varphi y}}{(1+y)\sqrt{y}} dy = \frac{1}{2} \pi \varphi e^{\varphi} \operatorname{erfc} \sqrt{\varphi}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует:

$$\frac{1}{2} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\varphi y}}{(1+y)\sqrt{y}} dy = \frac{\pi}{2} e^{\varphi} \operatorname{erfc} \sqrt{\varphi} = \frac{\pi}{2} e^{\varphi} (1 - \operatorname{erfc} \sqrt{\varphi}). \quad (8)$$

Полученное выражение для интеграла D подставим в уравнение (1):

$$T(O, Z) = T_T e^{\varphi} (1 - \operatorname{erfc} \sqrt{\varphi}). \quad (9)$$

По формуле (9) был произведен расчет и построена кривая (рис. 1) распределения температуры в зоне контакта брызги с основным металлом.

Эксперименты показали, что при определении максимальных температур как на поверхности, так и в глубине металла (в высверленных углублениях) разброс результатов не существен (определяется с точностью $\pm 5\%$). На рис. 2 представлена осциллограмма типичных импульсов сварочных брызг, фиксируемых осциллографом.

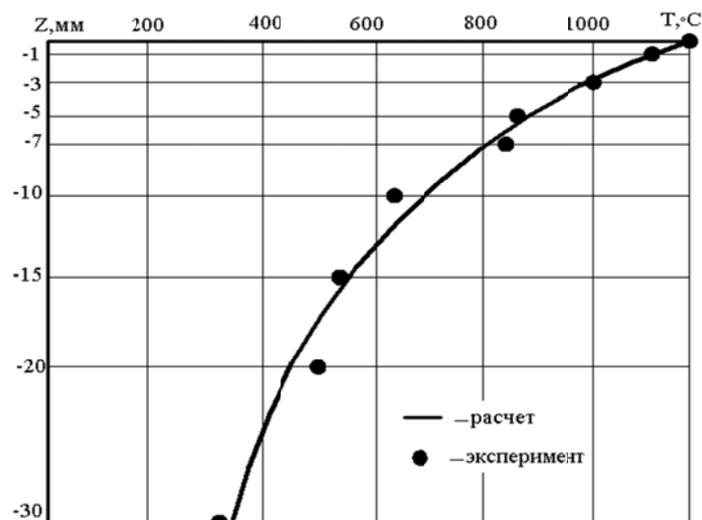


Рис. 1. Распределения температуры в глубь основного металла X18H9T

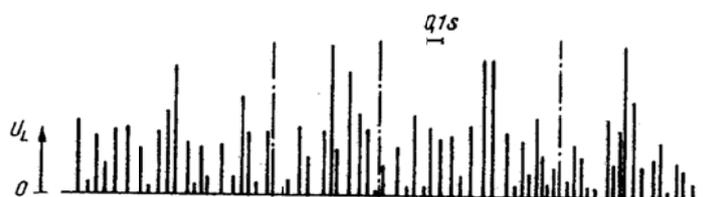


Рис. 2. Осциллограмма типичных импульсов сварочных бризг

Таким образом в точке соприкосновения капли расплавленного металла с наружной поверхностью металла изделия, образуется зона, в которой материал изделия нагревается до высоких температур. После охлаждения этого участка поверхности изделия появляются пластические деформации, сопровождаемые высокими растягивающими усилиями. Эксперименты показали, что область нагрева основного металла в этом случае не велика. Она расположена непосредственно на наружной поверхности изделия и ограничена по глубине материала лежащими ниже слоями.

Для оценки влияния состояния поверхности, подготовленной под сварку на потери электродного металла на разбрызгивание была разработана микроконтроллерная система мониторинга стабильности дугового процесса, предусматривающая использование микроконтроллера для регистрации, хранения и передачи на ПЭВМ измеренной информации. Ее функциональная схема представлена на рис. 3.

Существующая установка [6] подключается к разъему XS3 измерительной системы. Основой измерительной системой является 32-разрядный микроконтроллер LPC2124 архитектуры ARM7 фирмы Philips (DD1). Особенностью микроконтроллера является наличие быстродействующего 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с временем измерения 2,44 мкс. Сигнал напряжения с индикаторов через схему защиты подается на аналоговые входы AIN0 (11), AIN1 (13) микроконтроллера, где преобразуется в цифровую форму и сохраняется во внутренней памяти данных общим объемом 16 кБайт.

Благодаря архитектуре ARM7 микроконтроллер способен выполнять операции по цифровой обработке полученного сигнала в реальном режиме времени. Встроенные часы реального времени позволяют синхронизировать результаты измерения с точностью до 1 с. К линиям RxD (21), TxD (19) порта UART микроконтроллера подключена микросхема преобразователей уровня MAX232 (DD2), обеспечивая реализацию интерфейса RS232 для связи измерительной системы и ПЭВМ. Так как процессы измерения и последующего скачивания измеренной информации разделены во времени, гальваническая развязка RS232 не предусмотрена.

Для генерации напряжения порядка 100В используется импульсный преобразователь на MOF-SET транзисторе VT1, который управляется через внешний вывод PWM2 (31), встроенным в микроконтроллер широтно-импульсным модулятором. Цепью обратной связи по напряжению через канал AIN2 (14) АЦП обеспечивается стабилизация напряжения. На светодиодной панели измерительной системы (светодиоды VD5-VD7) отображается режим работы, который может быть изменен с управляющей клавиатуры SW1-SW3. К разъему XS2 предусмотрено подключение внешних замыкающих контактов для синхронизации запуска процесса измерения. На графической жидкокристаллической панели LCD1 отображаются сервисные сообщения, выполняется настройка режимов работы и выводятся измеренные параметры.

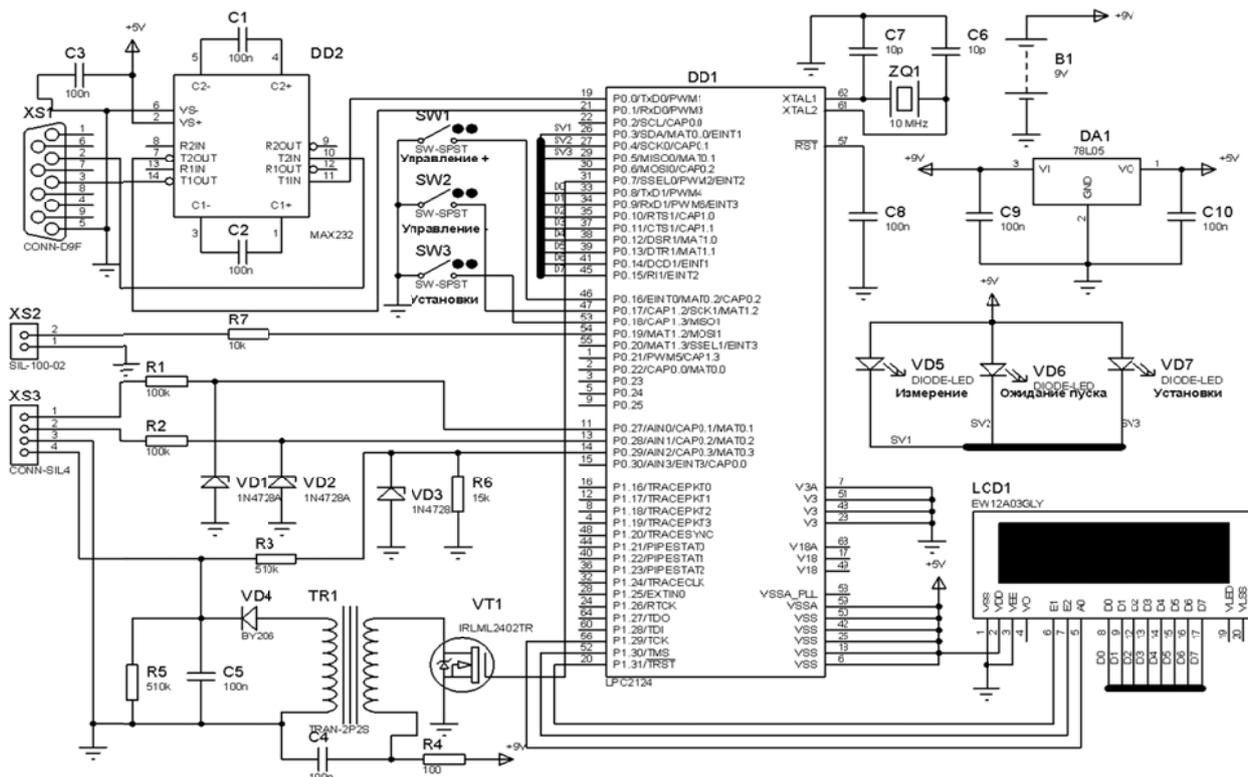


Рис. 3. Функциональная схема измерительного модуля

Измерительная система функционирует в четырех основных режимах:

1. «Энергосбережение». Генератор на VT1 не работает. Жидкокристаллическая панель LCD1 отключена, светодиодная панель VD5-VD7 погашена. Контроллер переведен в режим Power Down и полностью остановлен. Выход из режима ожидания происходит при нажатии любой кнопки SW1-SW3 в режим ожидания.

2. «Подключение к ПЭВМ». Выполняется из режима ожидания. Генератор на VT1 не работает, жидкокристаллическая панель LCD1 отключена. На светодиодной панели горит светодиод VD7. Контроллер переведен в режим Idle, при котором вычислительное ядро контроллера останавливается, а периферийные устройства (в частности UART) продолжают работать. При возникновении прерывания от периферийного устройства (обмена данными) контроллер выходит из режима Idle, обрабатывает поступившие данные и вновь возвращается в режим Idle. Обмен осуществляется под управлением написанной на языке Delphi программы. Эта программа позволяет при помощи формы ввода изменить настройки измерительной системы и выполнить загрузку модуля математической обработки измеренных данных.

3. «Режим ожидания». Генератор на VT1 не работает. Жидкокристаллическая панель LCD1 включена. На светодиодной панели горит светодиод VD6. Контроллер переведен в режим Idle, но обрабатывает нажатия клавиш и обеспечивает просмотр установок и вывод

на экран сервисных сообщений. Является переходным для режимов «Подключения к ПЭВМ», «Изменения установок» и «Измерения». При отсутствии действий со стороны пользователя (например, нажатий на клавиатуру или включения одного из трех режимов) в течение 30 мин выполняется переход в режим Энергосбережения.

4. «Изменение установок». Генератор на VT1 не работает. Жидкокристаллическая панель LCD1 включена. На светодиодной панели горит светодиод VD7. Контроллер переведен в режим Idle, но обрабатывает нажатия клавиш и обеспечивает изменение установок и вывод на экран сервисных сообщений.

5. «Измерение». Запускается из режима ожидания при замыкании контактов XS2. Включен генератор на VT1, жидкокристаллическая панель LCD1 включена и показывает текущие результаты измерений. На светодиодной панели горит светодиод VD5. Контроллер переведен в нормальный режим, обеспечивается процесс измерения.

Режим «Измерения» функционирует по следующему алгоритму:

1. Измерительная система находится в режиме «Измерения» только в течение времени заданного пользователем в установках (базовое значение 10 с).
2. Выполняется подсчет количества импульсов ранжированных по амплитуде.
3. Выводится на индикаторы общее количество импульсов по каждому из каналов.
4. Выполняется интегральный подсчет амплитуд импульсов по ранжиру.
5. Выводится на индикатор суммарное значение интегральных амплитуд по каналам.
6. По окончании времени измерения полученные значения записываются в память контроллера, к записи добавляется значение текущего астрономического времени.
7. Измерительная система переходит в режим «Ожидания».

Оценка по результатам тестирования в промышленных и лабораторных условиях показала высокую степень достоверности полученного варианта измерительной системы мониторинга стабильности дугового процесса.

Направленность дальнейших исследований – разработка сварочных материалов с минимальным разбрызгиванием при ремонте крупногабаритных машин индивидуального производства.

ВЫВОДЫ

Получено выражение для расчета распределения температуры, позволяющее определить возможности снижения вредного влияния изменения физико-механических характеристик в зонах контакта расплавленной капли (брызги) с основным металлом. Разработана высокоэффективная измерительная система стабильности процесса сварки открытой дугой, использование которой позволяет минимизировать потери электродного металла на разбрызгивание и оптимизировать режимы ремонтной сварки дефектов литья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б. Е. Патон // Сварка и родственные технологии – в XXI век : сб. тр. Междунар. конф. – К. : НАНУ, ИЭС им О. Е. Патона, 1998. – С. 5–12.
2. Чигарев В. В. Влияние параметров импульсно-дуговой сварки на качество заварки дефектов литья / В. В. Чигарев, В. Д. Кассов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2004. – № 1. – С. 71–73.
3. Глазов В. В. Опыт Института сварки России в разработке технологий наплавки / В. В. Глазов, А. Н. Дьяков // Сварочное производство. – 2006. – № 2. – С. 20–24.
4. Кассов В. Д. Оптимизация расхода электродного металла при наплавке инструмента порошковой лентой / В. Д. Кассов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2001. – Вип. 12. – С. 36–37.
5. Малыгина С. В. Совершенствование технологий сварки деталей энергетических установок с использованием защитных покрытий / С. В. Малыгина // Вісник двигунобудування. – 2004. – № 3. – С. 64–68.
6. Малыгина С. В. Оценка эффективности покрытий с учетом современных требований к производственным технологиям / С. В. Малыгина, В. К. Лысак // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 2. – С. 41–46.

Статья поступила в редакцию 12.09.2012 г.