

УДК 621.791.16

DOI 10.18698/0536-1044-2017-12-37-44

Разработка систем автоматического управления процессом ультразвуковой сварки пластмасс

С.С. Волков¹, А.Л. Ремизов¹, Л.А. Шестель²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

² Омский государственный технический университет, 644050, Омск, Российская Федерация, пр-т Мира, д. 11

Developing Systems for Automatic Control of the Process of Ultrasonic Welding of Plastic Materials

S.S. Volkov¹, A.L. Remizov¹, L.A. Shestel²

¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

² Omsk State Technical University, 644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11



e-mail: map@bmstu.ru, remizoff.andrew@mail.ru, weldtechn@mail.ru



Рассмотрены и сформулированы основные требования и принципы построения систем автоматического управления процессом ультразвуковой сварки пластмасс. Предложена типовая структурная схема систем автоматического управления установками для ультразвуковой сварки пластмасс, дающая возможность не только описать работу существующих систем, но и разработать новые на основе типовых элементов структуры и микропроцессов. Приведены критерии, используемые для сварочных операций, позволяющие в некоторых пределах скомпенсировать влияние изменения амплитуды и частоты колебаний, статического давления и времени сварки на качество соединений. Представлен алгоритм, обеспечивающий выполнение операций по заданному для каждой из них времени. Для реализации систем управления процессом ультразвуковой сварки создан магнитострикционный датчик, с помощью которого можно получать полезную информацию о ходе сварки или состоянии полимера в каждый момент времени технологического процесса.

Ключевые слова: ультразвуковая сварка, амплитуда колебаний волновода, статическое давление, фиксированная осадка, система управления, ультразвуковая частота



In this paper, the main requirements and principles of designing systems for automatic control of the processes of ultrasonic welding of plastic materials are considered and formulated. A standard block diagram of systems for automatic control of installations for ultrasonic welding of plastics is developed. It can be used not only to describe the operation of the existing systems but also to develop new systems based on standard structural elements and microprocesses. The paper describes the criteria applied to welding operations that can, to a certain extent, compensate for the influence of the change in amplitude and frequency of vibrations, static pressure, and time of welding on the quality of the welded joints. An algorithm is developed that ensures that each operation is performed according to a set time. A magnetostrictive sensor that can be used to collect valuable information about the welding process or the condition of the polymer at each instant of the technological process is developed to control the ultrasonic welding processes.

Keywords: ultrasonic welding, waveguide vibration amplitude, static pressure, fixed settling, control system, ultrasonic frequency

Способ ультразвуковой сварки (УЗС) пластмасс заключается в следующем. Электрические колебания ультразвуковой частоты (18...50 кГц), вырабатываемые ультразвуковым генератором (УЗГ), преобразуются в механические продольные колебания магнитострикционного преобразователя 2, вводятся в свариваемые детали 5 с помощью продольно-колеблющегося волновода-инструмента 4, расположенного перпендикулярно связываемым поверхностям (рис. 1). Часть энергии механических колебаний переходит в тепловую, что приводит к нагреву зоны контакта соединяемых деталей до температуры вязкотекучего состояния. Надлежащие условия ввода механических колебаний и создание тесного контакта свариваемых деталей, расположенных на опоре 6, обеспечиваются статическим давлением $p_{ст}$ рабочего торца волновода-инструмента. Это давление способствует также концентрации энергии в зоне соединения [1, 2].

В настоящее время существуют различные схемы, по которым можно проводить УЗС полимерных материалов. Это обусловлено разнообразием свойств и структур соединяемых материалов, конфигурации и размеров деталей, требований, предъявляемых к сварным швам и изделию в целом [1, 3, 4].

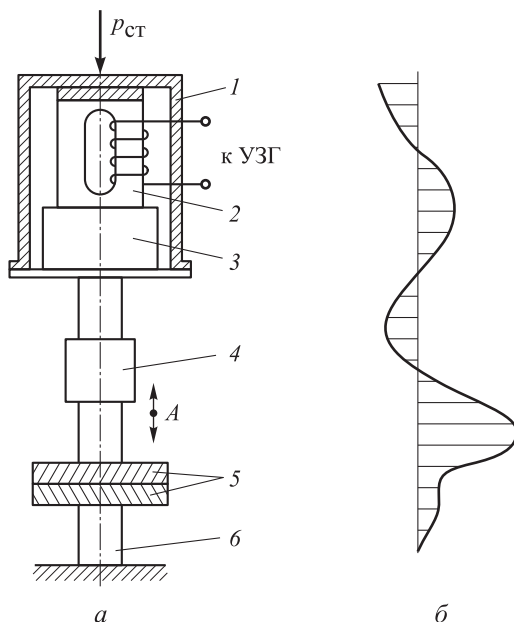


Рис. 1. Схема установки для УЗС с нормальным вводом колебаний (а) и эпюра амплитуды колебаний колебательной системы (б): 1 — корпус преобразователя; 2 — магнитострикционный преобразователь; 3 — трансформатор упругих колебаний; 4 — волновод-инструмент; 5 — свариваемые детали; 6 — опора; А — амплитуда колебаний волновода

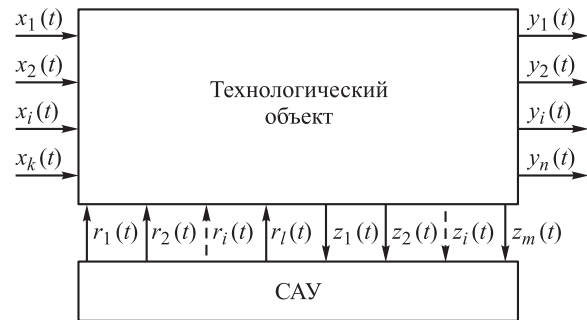


Рис. 2. Блок-схема технологического объекта

Классификацию схем УЗС пластмасс следует проводить с учетом основных признаков УЗС. К ним относятся подвод энергии механических колебаний к свариваемому изделию, передача и концентрация ее в зоне сварки, дозирование вводимой энергии, взаимное перемещение волновода-инструмента и соединяемых деталей для получения швов необходимой конфигурации и протяженности [1, 3].

Накопленный опыт автоматизации УЗС позволяет сформулировать основные требования и принципы построения систем автоматического управления (САУ) процессом УЗС пластмасс [5, 6].

Цель работы — разработка САУ сварочными установками и технологическим процессом УЗС пластмасс.

Для разработки САУ процессом УЗС пластмасс, действующих по единым принципам, необходимо отвлечься от конкретной химической, физической и технологической природы характеристик свариваемого изделия и технологического процесса и на основе языка теории управления [7] представить процесс УЗС в виде многомерного абстрактного технологического объекта, блок-схема которого приведена на рис. 2.

Поступающие на ультразвуковую сварочную машину изделия несут в себе информацию об их стоимости, физических и химических свойствах, геометрических размерах, состоянии (температура, внутренние напряжения) и т. д. Эта информация рассматривается как входной вектор $X(t)$, а его компоненты $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_i(t)$, ..., $x_k(t)$ есть ее переменные. Ход технологического процесса УЗС определяется вектором $R(t)$, составляющие которого $r_1(t)$, $r_2(t)$, $r_i(t)$, ..., $r_l(t)$ — параметры управляющих воздействий: частота колебаний магнитострикционного преобразователя (сварочного узла), амплитуда колебаний рабочего торца волновода-

инструмента, статическое давление, время сварки и др.

Параметры, описывающие ход технологического процесса УЗС, являются следствием воздействия вектора управляющих воздействий $\mathbf{R}(t)$, составляют вектор $\mathbf{Z}(t)$ внутренних состояний процесса с компонентами $z_1(t)$, $z_2(t)$, $z_i(t)$, ..., $z_m(t)$, такими как температура в зоне расплава, изменение геометрических размеров и т. д. Выходные переменные этого процесса описываются вектором $\mathbf{Y}(t)$, компоненты которого $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_i(t)$, ..., $y_n(t)$ представляют собой характеристики готового изделия: механическую прочность, стоимость, геометрические размеры, цвет и т. д.

Следует отметить, что размер векторов $\mathbf{X}(t)$, $\mathbf{R}(t)$, $\mathbf{Z}(t)$ и $\mathbf{Y}(t)$ очень велик, и учесть все их составляющие принципиально невозможно. Поэтому неконтролируемые параметры приходится рассматривать как случайные функции, а связь между входными и выходными параметрами полностью определяется лишь в вероятностном смысле. Выбор же входных переменных, контролируемых системой управления, зависит не от степени и формы их влияния на выходную переменную, а от имеющихся средств измерений. Например, амплитуда колебаний рабочего торца волновода-инструмента является одним из основных параметров, характеризующих технологический режим УЗС. Однако датчики, измеряющие ее в процессе сварки, пока не производят серийно. Кроме того, приходится ограничиваться косвенными параметрами, например измерением амплитуды колебаний нерабочей части волновода-инструмента или электрической мощности, подводимой к магнитострикционному преобразователю. Такая замена равносильна введению в систему некоторого вектора шума, увеличивающего ее энтропию (степень неопределенности).

Как и другие реальные объекты, технологический процесс УЗС характеризуется ограничениями на отдельные параметры состояния, например, на температуру расплава из условия сохранения свойств материала и отсутствия продуктов деструкции или на величину управляющих воздействий вследствие ограниченности мощности источников энергии. Важной особенностью процесса УЗС является дискретный характер производства — изготовление отдельных изделий с повторяющимся циклом операций. Оборудование, выпускаемое для

УЗС, с точки зрения управления имеет такой недостаток, как дискретный характер управляющих воздействий [6, 7].

Например, УЗГ не позволяют автоматически изменять их мощность. Самая существенная особенность УЗС заключается в отсутствии контроля над выходными переменными, при этом он оторван от сварочной установки (как по времени, так и в пространстве) и не автоматизирован. Исключение составляет линейный размер шва в зоне сварки, который для некоторых изделий можно определять по положению волновода-инструмента в процессе УЗС [1, 2].

Замыкание системы управления пока можно осуществить только для некоторых изделий и то по единственному параметру, поэтому САУ, применяемые при УЗС, приходится строить по принципу стабилизации технологического регламента. Такие САУ с точки зрения теории управления являются системами разомкнутого типа. Замыкание системы выполняет оператор сварочной установки, оценивающий качество соединяемых изделий и вносящий корректировку в технологический процесс.

В качестве примера рассмотрим функции САУ сварочной установкой ИЛ100-7, оснащенной генератором ИЛ10-1.0 с расширенным диапазоном частот 20...60 кГц, серийно выпускаемой компанией «Ультразвуковая техника ИНЛАБ». В состав установки входит регулятор давления воздуха, подаваемого в камеры пневмопривода, и дискретная система управления циклического типа, осуществляющая три основные операции путем воздействия на подачу воздуха в камеры пневмопривода сварочного узла, включения и выключения УЗГ. Оператор выполняет транспортные операции по установке и снятию изделий, включает циклическую программу, визуально оценивает качество сварного соединения, регулирует частоту и мощность УЗГ, устанавливает ток подмагничивания магнитострикционного преобразователя и задает с помощью органов управления длительность каждой из трех операций. Очевидно, что оператор выполняет основную функцию управления — корректировку управляющих воздействий для компенсации возмущений (вектор $\mathbf{X}(t)$), поэтому качество изделий будет в значительной мере определяться индивидуальными особенностями оператора (интуицией, опытом и т. п.) [1, 8].

Основная цель САУ — оптимизация технологического процесса, которая математически

описывается как минимизация некоторого функционала \bar{Q} , зависящего от векторов $\mathbf{R}(t)$ и $\mathbf{X}(t)$:

$$\bar{Q}[\mathbf{R}(t), \mathbf{X}(t)] = \min. \quad (1)$$

Функционал \bar{Q} должен отражать требования к готовым изделиям. Можно выделить общие требования двух категорий и соответствующие им функционалы экономического \bar{Q}_1 (достижение максимальной производительности или минимального расхода энергии) и качественного \bar{Q}_2 характера (требования к прочности и внешнему виду готового изделия). За редким исключением в процессе УЗС пластмасс одновременная минимизация \bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 не имеет места, поэтому в качестве общей целевой функции можно было бы использовать «компромиссный» функционал

$$\bar{Q} = \alpha_1 \bar{Q}_1 + \alpha_2 \bar{Q}_2, \quad (2)$$

где α_1 , α_2 — коэффициенты.

Однако непосредственное применение функционала (2) затруднено тем, что в теории управления определение коэффициентов α_1 и α_2 является неформальной задачей. Поэтому исследователи формулируют цель как минимизацию одного из функционалов при ограничении на значение другого:

$$\bar{Q}_1 = \min; \quad \bar{Q}_2 \leq Q_2^{\text{огр}}.$$

Например, достижение минимального времени технологического процесса при прочности сварного изделия не ниже заданной.

Для реализации автоматического управления процессом в соответствии с целевой функцией (1) или (2) необходима разработка САУ более высокого уровня по сравнению с применяемыми. При этом потребуется использование ЭВМ. Однако эффективность таких систем может быть обеспечена пока только в области автоматизации исследований и при достаточно совершенных локальных САУ. Основная причина та же — контроль сварного изделия может быть выполнен только после его изготовления, при этом он не автоматизирован [9].

Анализ САУ ультразвуковыми сварочными установками показал, что все САУ представляют собой комплекс из одного или нескольких стабилизирующих регуляторов, обеспечивающих стабилизацию параметров управляющих воздействий, и логического автомата, осуществляющего жесткую циклическую программу в соответствии с фазами технологического процесса. Кон-

структивно стабилизирующие регуляторы не всегда являются элементами самоуправляемого устройства. Например, система автоматической подстройки частоты может входить в состав генераторов ИЛ10-04, ИЛ10-1.0, ИЛ10-1.5 [2, 10].

Для описания циклов САУ целесообразно принять следующие определения.

Цикл САУ состоит из жесткой последовательности операций. *Операция* — это состояние системы управления, характеризующееся неизменными или монотонно изменяющимися значениями управляющих воздействий. Каждая операция может проводиться за один или несколько шагов. С точки зрения технологического процесса в цикле можно выделить сварочные, подготовительные и транспортные операции [6, 7]. *Шаг САУ* — неизменное внутреннее состояние логического автомата, входящего в состав САУ.

В настоящее время используют циклы, состоящие из следующих сварочных операций, выполняемых последовательно одна за другой:

- *сжатие* — осуществляется с приложением статического давления; технологическое назначение — образование физического контакта между связываемыми поверхностями;
- *сварка* — характеризуется подачей в рабочую зону ультразвуковых колебаний при наличии статического давления; технологическое назначение — разогрев деталей и образование шва;
- *формовка* — в частном случае может отсутствовать; проводится под воздействием ультразвуковых колебаний на пластицированный материал при отсутствии статического давления; технологическое назначение — перемешивание расплава и формирование из него сварных швов, в основном рантовых;
- *проковка* — выполняется с приложением статического давления после выключения ультразвука; технологическое назначение — завершение процессов развития объемных взаимодействий и стабилизация формы шва при охлаждении его зоны.

К подготовительным операциям относятся подведение волновода-инструмента к свариваемым деталям, его отведение от готового изделия и исходное состояние автомата до начала цикла, характеризующееся отсутствием управляющих воздействий.

Транспортными операциями являются транспортирование, установка и закрепление деталей или готового изделия. В простейших

системах управления, таких как САУ сварочной установкой ИЛ100-7, транспортные операции не входят в состав цикла логического автомата и выполняются оператором этой установки [1, 2].

При некоторых технологических режимах сварочные операции осуществляются с дискретным изменением управляющего параметра, например с изменением статического давления от $p_{ст1}$ до $p_{ст2}$. В таких случаях можно выделить этапы операции, например «проковка 1» и «проковка 2».

Граф переходов логического автомата САУ процессом УЗС показан на рис. 3. Здесь 0 соответствует исходному состоянию этого автомата, а 1, 2, ..., i , n — номеру шага операции.

На каждом шаге определяется некоторый критерий или функционал U_i , являющийся в общем случае функцией времени и некоторого набора контролируемых переменных. Переход к следующему шагу происходит, когда U_i будет равно или больше некоторого предельного значения U_i^{np} , которое либо задано заранее, либо вычисляется в процессе функционирования по текущим значениям измеряемых переменных.

Условие перехода можно записать в виде

$$U_i \geq U_i^{np}.$$

Если на i -м шаге $U_i = Kt_i$ (K — масштабный коэффициент, t_i — время с начала i -го шага), то реализуется задержка на время U_i^{np}/K , т. е. автомат работает как обычное реле времени.

В частном случае для нескольких шагов критерии U_i могут быть одинаковыми; например, для САУ установки ИЛ100-7 алгоритм работы имеет вид

$$U_i = t_i, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (3)$$

При реализации логического автомата обычно следует учесть необходимость прерывания цикла и перевод автомата в исходное состояние на случай возникновения аварийной ситуации, например с помощью кнопки аварийного останова «Стоп».

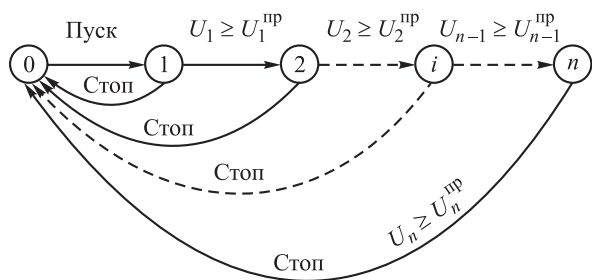


Рис. 3. Граф переходов логического автомата САУ

Алгоритм (3) реализует выполнение сварочных операций по заданному для каждой из них времени. Эффективность такого алгоритма можно обеспечить лишь при жесткой стабилизации входных переменных (векторов $X(t)$ и $R(t)$): управляющих воздействий (частоты и амплитуды колебаний, статического давления и т. п.); геометрических размеров, химических и физических свойств, состояния поверхностей соединяемых изделий и т. д. Осуществить такую стабилизацию практически невозможно.

Оптимальным был бы алгоритм, обеспечивающий заданное качество сварных изделий при изменении входных переменных, т. е. полную инвариантность качества к входным возмущениям. Полностью основываться на использовании принципа компенсации нельзя, так как большая часть входных переменных не измеряется. Основной путь, по которому в настоящее время идут исследования в области автоматического управления УЗС, — это разработка таких критериев, которые были бы в значительной мере нечувствительны к возмущениям [6, 7].

Так, в работах [1, 10] установлено, что стабилизация деформации (осадки) Δ в процессе сварки позволяет получать достаточную стабильность качества получаемых соединений при отклонении статического давления, частоты и амплитуды колебаний в широких пределах.

Для операции сварки при УЗС пластмасс предложены следующие критерии:

- *время сварки* — используется при изготовлении изделий, у которых геометрические размеры, физические свойства и состояние поверхностей соединяемых деталей изменяются в небольших пределах;
- *фиксированная осадка* — позволяет в некоторых пределах скомпенсировать влияние изменения амплитуды, статического давления и ряда других факторов на качество сварных соединений, но чувствительна к шероховатости поверхностей контакта и разнотолщинности изделий [1]. Для измерения деформации при осадке Δ применяют датчик, измеряющий перемещение сварочного узла относительно опоры. Осадка Δ определяется как разность между текущим положением сварочного узла S относительно опоры и его положением S_0 непосредственно перед началом операции «сварка» ($\Delta = S - S_0$);
- *толщина шва* — используется для получения изделий с заданными геометрическими размерами сварного шва. Его толщину δ опре-

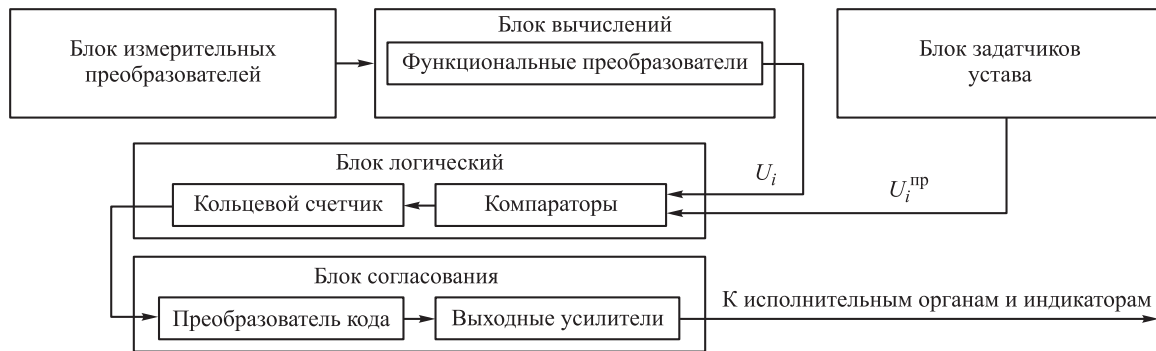


Рис. 4. Типовая структурная схема САУ установкой для УЗС

деляют как разность между текущим положением S сварочного узла и положением $S_{\text{оп}}$, когда волновод-инструмент касается опоры. Эту разность ($\delta = S - S_{\text{оп}}$) можно не вычислять, если соответствующим образом настроить датчик перемещения;

- *первая и вторая производные от осадки по времени* — позволяют получить удовлетворительное качество при существенных (до 100 %) колебаниях толщины свариваемых изделий;

- *амплитуда* — дает возможность определять момент достижения состояния расплава по снижению амплитуды колебаний волновода-инструмента или опоры. Амплитуду колебаний волновода-инструмента измеряют на его рабочей части. Для измерения амплитуды колебаний опоры используют преобразователи, основанные на обратном магнитострикционном или пьезоэффекте.

При автоматизации операций сжатия и проковки применяют два критерия: время и скорость останова. Использование второго критерия связано с тем, что из-за наличия неупругих деформаций пластмасс (особенно пористых и волокнистых материалов) после приложения статического давления деформация свариваемых изделий и установление контакта поверхностей происходят через определенное время, которое может достигать 2 и даже 6 с. Определить момент завершения деформации можно путем измерения скорости изменения положения волновода-инструмента, которая снижается и принимает в этот момент некоторое постоянное и достаточно малое значение. Практически эта скорость отличается от начальной скорости деформации на несколько порядков [3, 8].

Иногда для гарантии после фиксации момента останова волновода-инструмента время сварочного давления увеличивают на 1...2 с.

Несмотря на наличие расплава в начале проковки, ее кинетика аналогична таковой для

сжатия, поэтому с точки зрения управления эти операции эквивалентны и для них можно использовать одни и те же критерии.

При выполнении цикла с формовкой, чтобы избежать выплеска из зоны расплава, проковку целесообразно проводить в два этапа (проковка 1, проковка 2). Причем на первом этапе до останова волновода-инструмента процесс происходит при уменьшенном статическом давлении. Кроме времени, других критериев для операции формовки пока не разработано.

В принятом обобщающем подходе был дан алгоритм работы САУ процессом УЗС последовательного циклического автомата. Такой подход позволяет не только описать работу каждой из применяемых в настоящее время САУ установок для УЗС пластмасс, но и разработать новые САУ на основе типовых структурных элементов и микропроцессов. Типовая структурная схема САУ установкой для УЗС приведена на рис. 4.

Блок измерительных преобразователей включает в себя измерительные преобразователи (датчики) перемещения, амплитуды колебаний волновода-инструмента и других параметров, контролируемых САУ. В блоке вычислений, состоящем из функциональных преобразователей, проводится расчет критериев U_i , а в блоке задатчиков уставок вычисляются или задаются их предельные значения U_i^{np} . В состав логического блока входят циклический автомат (кольцевой счетчик) и компараторы. Сигналы от функциональных преобразователей и блока задатчиков уставок поступают попарно на соответствующие компараторы, с помощью которых осуществляется сравнение значений критериев U_i и уставок U_i^{np} .

Кроме того, компараторы управляют кольцевым счетчиком, который организует программу работы, т. е. последовательность выполнения сварочных операций. Блок согласования согласует работу циклического автомата

и исполнительных и индикаторных элементов (электропневмоклапанов, сигнальных ламп, светодиодных индикаторов, схем включения ультразвуковых колебаний и т. д.). Этот блок включает в себя преобразователь кода, преобразующий код состояния циклического автомата в код управляющих воздействий в соответствии с циклограммой, и выходные усилители (реле, тиристоры и т. п.), служащие для согласования напряжения выхода логического блока с напряжением исполнительных органов и индикаторных элементов.

В качестве датчика перемещения применяют датчики с первичным преобразователем дифференциально-трансформаторного типа. Принцип работы такого преобразователя основан на изменении взаимной индукции между обмотками катушки при перемещении внутри нее стержня из ферромагнитного материала. Дифференциально-трансформаторные датчики обладают хорошей линейностью и весьма малой зоной нечувствительности. При питании их напряжением повышенной частоты (18...24 кГц) обеспечивается высокое быстродействие, которое бывает необходимо, когда время выполнения сварочных операций составляет менее 1 с.

Для реализации сварки по критерию амплитуды разработан магнитоупругий датчик [9, 10] (рис. 5), представляющий собой никелевый стержень, верхняя часть которого является опорой, где размещено свариваемое изделие. На никелевом стержне расположены: I — обмотка подмагничивания для создания постоянного магнитного потока; II — рабочая обмотка, в которой возникает измеряемая ЭДС при нагружении датчика внешней переменной механической нагрузкой. Колебания волновода-инструмента вызывают появление переменного напряжения в материале датчика, что приводит к изменению его магнитных ха-

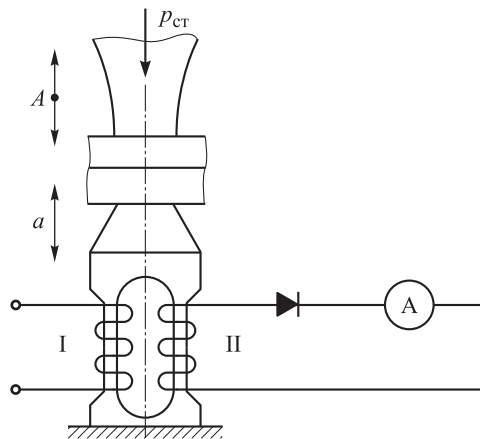


Рис. 5. Схема магнитоупругого датчика (a — амплитуда колебаний опоры)

рактеристик. Полезную информацию о ходе процесса УЗС пластмасс или о состоянии полимерного материала в каждый момент времени несет амплитудное значение переменного напряжения.

На основе созданного магнитоупругого датчика для автоматического управления процессом УЗС пластмасс на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана спроектированы и изготовлены автоматические устройства типа УВС-2 и УВС-3, встраиваемые в разрабатываемые ультразвуковые сварочные установки.

Выводы

1. Разработан алгоритм САУ процессом УЗС пластмасс.
2. Предложена типовая структурная схема САУ установкой для УЗС пластмасс, позволяющая не только описать работу каждой из применяемых в настоящее время систем управления, но и разработать новые САУ на основе типовых элементов и микропроцессоров.

Литература

- [1] Волков С.С. *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия, 2001. 376 с.
- [2] Волков С.С. Распределение мощности в ультразвуковой сварочной системе при сварке полимерных пленок. *Сварочное производство*, 2012, № 10, с. 42–46.
- [3] Volkov S.S. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Welding international*, 2011, no. 25(11), pp. 898–902.
- [4] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724.
- [5] Гладков Э.А. *Управление процессами и оборудованием при сварке*. Москва, Академия, 2006. 432 с.
- [6] Гладков Э.А., Бродягин В.Н., Перковский Р.А. *Автоматизация сварочных процессов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 426 с.

- [7] Климов А.С., Герасимов А.А., Ануиборов Н.П., Гончаров М.С. Компьютерный комплекс для исследования и управления процессами сварки. *Сварочное производство*, 2006, № 8, с. 18–20.
- [8] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastics. *Welding International*, 2013, vol. 27 (3), pp. 63–66.
- [9] Волков С.С. Энергетические показатели работы акустического узла при ультразвуковой сварке. *Сварка и диагностика*, 2012, № 6, с. 40–44.
- [10] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496.

References

- [1] Volkov S.S. *Svarka i skleivanie polimernykh materialov* [Welding and gluing of plastics]. Moscow, Khimiia publ., 2001. 376 p.
- [2] Volkov S.S. Raspredelenie moshchnosti v ul'trazvukovoi svarochnoi sisteme pri svarke polimernykh plenok [Power distribution in ultrasonic welding system at welding of polymer films]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2012, no. 10, pp. 42–46.
- [3] Volkov S.S. Main welding parameters of ultrasound contour welding of polyethylene vessels. *Welding international*, 2011, no. 25(11), pp. 898–902.
- [4] Volkov S.S. Using piezoelectric oscillating system for welding synthetic fabrics. *Welding international*, 2013, no. 27(9), pp. 720–724.
- [5] Gladkov E.A. *Upravlenie protsessami i oborudovaniem pri svarke* [Management of processes and equipment for welding]. Moscow, Akademiia publ., 2006. 432 p.
- [6] Gladkov E.A., Brodiagin V.N., Perkovskii R.A. *Avtomatizatsiia svarochnykh protsessov* [Automation of welding processes]. Moscow, Bauman Press, 2017. 426 p.
- [7] Klimov A.S., Gerasimov A.A., Anuiborov N.P., Goncharov M.S. Komp'yuternyi kompleks dlia issledovaniia i upravleniia protsessami svarki [Computer system for the study and control of welding processes]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2006, no. 8, pp. 18–20.
- [8] Volkov S.S. Ultrasonic butt welding of rigid plastics. *Welding International*, 2013, vol. 27 (3), pp. 63–66.
- [9] Volkov S.S. Energeticheskie pokazateli raboty akusticheskogo uzla pri ul'trazvukovoi svarke [The energy performance of the acoustic node during ultrasonic welding]. *Svarka i diagnostika* [Welding and diagnostics]. 2012, no. 6, pp. 40–44.
- [10] Volkov S.S., Shestel L.A., Sokolov V.A. Heated tool ultrasonic welding of elastic containers produced from fluoroplastic film. *Welding International*, 2016, vol. 30(6), pp. 492–496.

Статья поступила в редакцию 03.07.2017

Информация об авторах

ВОЛКОВ Станислав Степанович (Москва) — кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: map@bmstu.ru).

РЕМИЗОВ Андрей Леонидович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: remizoff.andrew@mail.ru).

ШЕСТЕЛЬ Леонид Александрович (Омск) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства». Омский государственный технический университет (644050, Омск, Российская Федерация, пр-т Мира, д. 11, e-mail: weldtechn@mail.ru).

Information about the authors

VOLKOV Stanislav Stepanovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).

REMIZOV Andrey Leonidovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Assistant Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: remizoff.andrew@mail.ru).

SHESTEL Leonid Aleksandrovich (Omsk) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Equipment and Technology of Welding Production. Omsk State Technical University (644050, Omsk, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: weldtechn@mail.ru).