

УДК 621.791.16

DOI: 10.18698/0536-1044-2016-1-18-26

# Расчет магнитоупругого датчика контроля качества сварного соединения при ультразвуковой сварке пластмасс

С.С. Волков, А.А. Дерябин, М.А. Прилуцкий

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

## The Calculation of the Magnetoelastic Sensor for Controlling the Quality of Welded Joints during Ultrasonic Welding of Plastic Materials

S.S. Volkov, A.A. Deryabin, M.A. Prilutskiy

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: map@bmstu.ru, aad1\_2000@mail.ru

**i** Дан обзор существующих способов дозирования ультразвуковой энергии при соответствующей сварке. Рассмотрен способ ограничения продолжительности ультразвукового импульса, основанный на контроле энергетических параметров ультразвуковых колебаний, прошедших через свариваемое изделие и опору, на которой проводится сварка. Экспериментальные исследования подтвердили четкую взаимосвязь амплитуды колебаний опоры с нагревом образцов, их толщиной и свойствами. Такая взаимосвязь получила название кинетической характеристики. Ее использование для определения оптимальной продолжительности времени сварки позволяет стабилизировать качество сварных соединений. Кинетическая характеристика при ультразвуковой сварке определяется с помощью специального датчика-опоры. В статье приведена методика расчета магнитоупругого датчика для получения кинетических характеристик полимерных материалов. Согласно приведенным расчетам, спроектирован и изготовлен магнитоупругий датчик с рабочим элементом из никеля для измерения амплитуды колебаний опоры датчика, позволяющий определять кинетические характеристики полиэтилена, полиметилметакрилата и других полимерных материалов. Рассмотрен метод сопутствующего контроля по кинетической характеристике, используемый при разработке ультразвукового сварочного оборудования, что позволяет повысить точность измерения амплитуды колебаний рабочего торца волновода и опоры в процессе ультразвуковой сварки.

**Ключевые слова:** магнитоупругий датчик, опора, кинетическая характеристика, амплитуда, пластмасса, ультразвуковая сварка.

**i** The article provides an overview of the existing methods of ultrasonic energy batching during ultrasonic welding. A method of limiting the duration of an ultrasonic pulse is considered. The method is based on the control of energy parameters of the ultrasonic vibrations passing through the welded product and the support structure on which welding is performed. The experimental studies confirmed a clear correlation between the vibration amplitude and the heating of the samples as well as their thickness and properties. This correlation is called the kinetic characteristic. The use of this characteristic to determine the optimal welding time allows stabilizing the quality of welded joints. The kinetic characteristic for ultrasonic welding is determined using a special sensor support. The article presents a

method of calculating magnetoelastic sensors to obtain kinetic characteristics of polymeric materials. Based on the calculations, a magnetoelastic sensor with nickel working element is designed and manufactured. It is used to measure vibration amplitude of the sensor support and determine the kinetic characteristics of polyethylene, polymethylmethacrylate and other polymeric materials. The article describes a method of collateral control with respect to the kinetic characteristic that is used to develop ultrasonic welding equipment. It allows improving the accuracy of measurement of vibration amplitude of the waveguide and the support during ultrasonic welding.

**Keywords:** magnetoelastic sensor, support, kinetic characteristic, amplitude, plastic material, ultrasonic welding.

В созданном за последнее время отечественном и зарубежном сварочном оборудовании дозирование ультразвуковой энергии обычно осуществляется регулированием продолжительности ультразвукового импульса  $t_{уз}$  тремя способами:

- вручную сварщиком-оператором на основании его практических навыков;
- сваркой по «фиксированному времени»;
- сваркой с «фиксированной осадкой», что означает постоянство глубины вдавливания волновода в свариваемую деталь [1, 2].

Однако перечисленные способы не полностью отвечают требованиям стабильности и надежности процесса ультразвуковой сварки полимеров. На кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан более совершенный **способ ограничения продолжительности ультразвукового импульса, основанный на контроле энергетических параметров ультразвуковых колебаний, прошедших через свариваемое изделие.** Рассмотрим этот способ.

Механические колебания, возникающие в магнитострикционном преобразователе 1 (рис. 1, а), посредством волновода 2 вводятся в свариваемое изделие 3, лежащее на опоре 4. Подведенная энергия распространяется в полимере от волновода к опоре. При сварке температура и толщина полимерного изделия изменяются, поэтому приведенную схему сварки можно заменить эквивалентной схемой (рис. 1, б), в которой свариваемый материал между волноводом и опорой заменяется суммой нелинейных акустических проводимостей  $1/R_h$  и  $1/R_t$ , определяемых толщиной материала и его температурой. При постоянной амплитуде входа (колебания торца волновода) амплитуда выхода (колебания торца опоры) будет изменяться во времени вследствие изменения проводимостей  $1/R_h$  и  $1/R_t$  и в результате нагрева и осадки полимера.

Считая внешние условия сварки неизменными, можно предположить, что амплитуда колебаний опоры  $a$  является полной характеристикой состояния полимерного материала во время сварки. Экспериментально установлена четкая взаимосвязь амплитуды колебаний опоры  $a$  с нагревом образцов, их толщиной и свойствами. Если нагрев образцов из полиметилметакрилата и полиэтилена одинаково изменяет амплитуду колебаний опоры  $a$ , то влияние изменения их толщины существенно различное (рис. 2). Изменение толщины полиметилметакрилата, имеющего значительно меньший коэффициент затухания, практически не влияет на величину  $a$ , уменьшение же толщины полиэтилена приводит к значительному затуханию энергии ультразвуковых колебаний и заметно снижению амплитуды колебаний опоры  $a$ .

В процессе сварки сначала происходит нагрев изделия, затем уменьшается его толщина в зоне сварки, поэтому графическая зависимость амплитуды колебаний торца опоры от

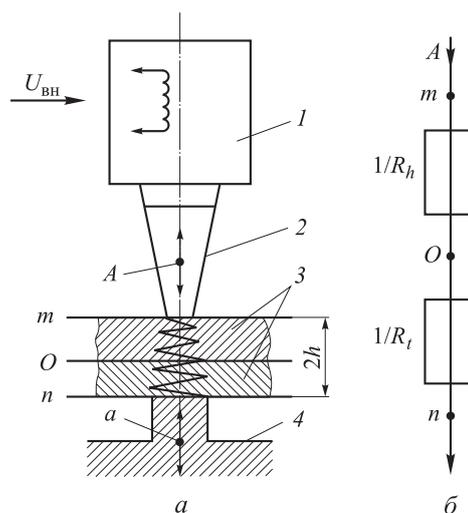


Рис. 1. Схема ультразвуковой сварки пластмасс (а) и эквивалентная схема (б):

1 — магнитострикционный преобразователь; 2 — волновод; 3 — свариваемые детали; 4 — опора

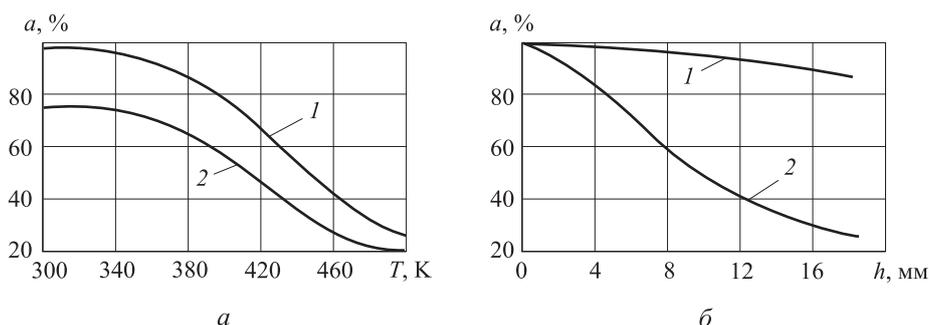


Рис. 2. Влияние температуры  $T$  (а) и толщины свариваемой детали  $h$  (б) на относительное изменение амплитуды колебаний опоры  $a$  для полиметилметакрилата (1) и полиэтилена (2)

времени сварки при воздействии этих параметров в своей первой половине будет соответствовать кривым, приведенным на рис. 2, а, а во второй (на рис. 2, б) — с учетом того, что деформируется уже нагретый полимер. Таким образом, амплитуда колебаний опоры, на которой происходит сварка, определяется интенсивностью ультразвуковой волны, прошедшей через полимер [3, 4].

Зависимость между амплитудой колебаний опоры  $a$  и другими параметрами имеет вид

$$a = AD\sqrt{re^{\beta h}},$$

где  $A$  — амплитуда колебаний волновода;  $D$  и  $r$  — коэффициент пропускания и рассеивания соответственно;  $e^{\beta h}$  — экспоненциально убывающая величина с показателем степени — произведением коэффициента затухания  $\beta$  на толщину слоя полимера  $h$ .

Согласно экспериментальным данным, при использовании акустических систем мощностью от 0,6 до 1,5 кВт амплитуда  $A$  во время сварки практически не изменяется, коэффициент  $D < 1$  и зависит от соотношения произведения плотности и теплоемкости  $\rho c$  металла волновода и полимерного материала. В процессе сварки вследствие нагрева полимерного материала коэффициент  $D$  может незначительно изменяться. Доминирующее влияние на амплитуду колебаний опоры  $a$  оказывают изменения значений  $\beta$  и  $h$ .

Анализ приведенного выражения показывает, что параметр  $a$  является комплексной характеристикой состояния материала в процессе сварки и отражает изменение температуры материала через коэффициенты  $D$ ,  $r$ ,  $\beta$  и его толщину  $h$ .

В ходе исследования было установлено, что изменение амплитуды колебаний опоры при сварке, зависящее от перечисленных парамет-

ров, полно и всесторонне описывает изменение свойств полимера и процесс образования сварного соединения. Поэтому изменение амплитуды колебаний торца опоры от времени при сварке, определяемое зависимостью  $a = f(t)$ , получило название кинетической характеристики процесса [1, 2, 5].

Поскольку амплитуда колебаний опоры связана во времени с важнейшими параметрами сварки — температурой в сварном шве и деформацией полимерного материала, зависимость  $a = f(t)$  можно использовать для связи продолжительности сварочного импульса с состоянием полимерного материала, т. е. таким образом контролировать качество сварного соединения.

Исследования, проведенные в сварочной лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана, подтвердили, что кинетическая характеристика качественно описывает процесс сварки, поскольку показывает изменение энергии, прошедшей через полимер, с изменением физического состояния последнего.

Кинетическую характеристику можно условно подразделить на два участка: нисходящий, определяемый нагревом полимера, и восходящий, зависящий от толщины детали при сварке. Продолжительность сварочного импульса от начала сварки до момента времени  $t_1$  является оптимальной. К этому моменту полимерный материал в месте сварки имеет максимальную температуру при минимальной осадке, что подтверждается осциллограммами температуры, осадки полимера и кинетической характеристики (рис. 3).

В процессе механических испытаний сварных образцов установлено, что максимальная прочность зависит от частоты ультразвукового импульса  $t_1$ . При отключении ультразвуковых колебаний в момент времени  $t_1$  изменение ча-

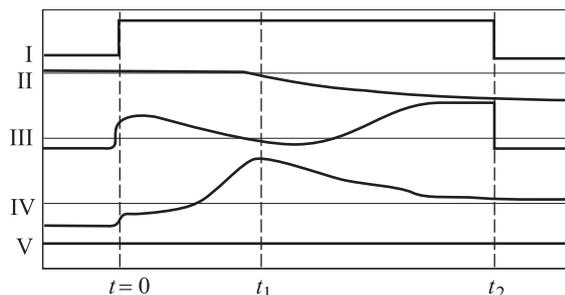


Рис. 3. Осциллограммы сварочного цикла:  
 I — напряжение высокой частоты в обмотке магнитоисториктора, при  $t=0$  происходит включение ультразвука; II — осадка полимера; III — кинетическая характеристика; IV — температура в месте сварки; V — нулевая отметка

стоты генератора или исходной толщины свариваемого материала не влияет на механические характеристики изделия. При изменении режима сварки кинетическая характеристика растягивается или сжимается во времени, сохраняя постоянным характер изменения [3].

Для наблюдения за свойствами материала при его сварке необходимо непрерывно измерять амплитуду колебаний опоры или ее деформацию, что возможно с применением датчиков различных типов: сопротивления, емкостных, индуктивных и др. Для измерения деформации опоры спроектировали и изготовили серию датчиков, принцип работы которых основан на магнитоупругом эффекте. Магнитоупругие датчики обладают высокой механической прочностью, надежностью при длительной эксплуатации, чувствительностью, стабильностью работы при изменении влажности, температуры и просты в изготовлении [6, 7].

Для измерения амплитуды колебаний торца опоры использовался магнитоупругий датчик с рабочим элементом из никеля. Описанные в работах [8, 9] магнитоупругие датчики различного типа (дрессельного, трансформаторного, «прессдуктор» и др.) предназначены для измерения статических деформаций или перемещений.

**Рассмотрим методику расчета магнитоупругого датчика для измерения быстропеременных усилий с частотой 20...40 кГц при ультразвуковой сварке пластмасс.** Датчик выполнен в виде настроенной четвертьволновой опоры (рис. 4). Исходя из условия отсутствия отражения колебаний от нерабочего торца датчика, выбираем длину его рабочей части, равной четверти длины волны. При этом пользуемся из-

вестным расчетом настроенных волноводных систем [2].

Резонансная длина стержня, у которого первая узловая плоскость совпадает с зажатым концом, определяется по формуле

$$h = \frac{c}{4f}, \tag{1}$$

где  $c$  — скорость звука;  $f$  — частота ультразвуковых колебаний.

Скорость звука

$$c = \sqrt{E/\rho}, \tag{2}$$

где  $E$  — модуль упругости;  $\rho$  — плотность материала.

Чувствительность магнитоупругого датчика с учетом геометрии стержня определяется выражением

$$S = c \left[ 1 - \frac{2\pi\nu^2(a+b)^2}{3\lambda} \right], \tag{3}$$

где  $\nu$  — коэффициент Пуассона;  $a, b$  — стороны сечения датчика-опоры;  $\lambda$  — длина волны в металле, равная  $c/f$ .

Размеры  $a$  и  $b$  задаем из конструктивных соображений. Тогда формула (1) примет вид

$$h = \frac{\sqrt{E/\rho} \left[ 1 - 2\pi\nu^2(a+b)^2/3\lambda \right]}{4f}. \tag{4}$$

Соотношение линейных размеров датчика-опоры проверяем, руководствуясь максимальной чувствительностью и устойчивостью при статической нагрузке  $P_{ст}$ .

Как видно из рис. 4, средняя длина пути

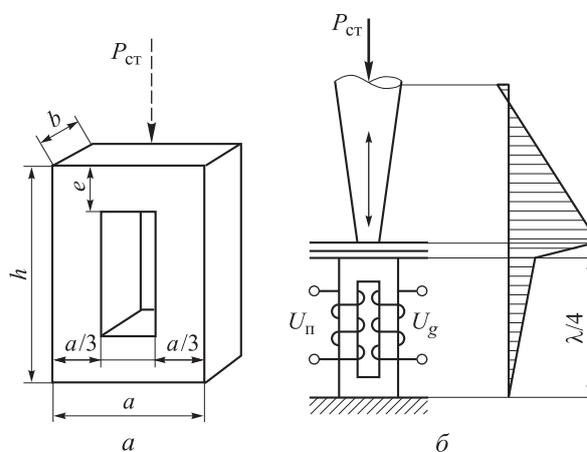


Рис. 4. Магнитоупругий датчик для измерения колебаний торца опоры (а) и характер распространения продольных колебаний по длине волновода и датчика-опоры (б)

магнитного потока в сердечнике датчика равна сумме длин стержней  $h$  — активных полей магнитопровода, состоящего из верхнего и нижнего ярма  $e$  пассивной части магнитопровода.

Магнитное сопротивление датчика-опоры

$$R_M = \sum \frac{l_i}{\mu_i q_i} = \frac{2h}{\mu_h q_h} + \frac{2a}{\mu_a q_a}, \quad (5)$$

где  $\mu_i$  — магнитная проницаемость магнитопровода;  $q_i$  — площадь сечения магнитопровода.

Полагая  $\mu_h = \mu_a$ ,  $q_h = q_a$ , получим

$$R_M = \frac{2(h+a)}{\mu_h q_h}. \quad (6)$$

Чувствительность  $S$  (%) магнитоупругого датчика будет характеризоваться отношением разности между его полными магнитными сопротивлениями при отсутствии  $R_{M0}$  и наличии  $R_{M\sigma}$  деформации к полному сопротивлению  $R_{M0}$ :

$$S = \frac{R_{M0} - R_{M\sigma}}{R_{M0}} = \frac{R_{Mh0} + R_{Ma0} - R_{Mh\sigma} - R_{Ma\sigma}}{R_{Mh0} + R_{Ma0}} = \frac{R_{Mh0} - R_{Mh\sigma}}{R_{Mh0} + R_{Ma0}}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что чувствительность  $S$  будет изменяться при изменении полного магнитного сопротивления тем больше, чем меньше  $R_{Ma}$ .

Поскольку  $R_{Ma} = a/(\mu_h q_h)$  и  $R_{Mh} = h/(\mu_h q_h)$ , для увеличения чувствительности  $S$  длина пассивной части датчика-опоры должна быть значительно уменьшена относительно величины активной части магнитопровода  $h$ . Исходя из условия отсутствия деформации пассивной части магнитопровода, принимаем  $e = 2a/3$ . Чрезмерное увеличение высоты  $h$  может привести к потере устойчивости датчика при нагружении силой  $P_{ст}$ . При постоянных размерах площади поперечного сечения стержня высотой  $h$ , работающего на сжатие, зависимость критической нагрузки от его высоты определяется по известному уравнению:

$$P_{кр} = \frac{\sigma}{h^2}, \quad (8)$$

где  $\sigma$  — жесткость стержня.

Из графической зависимости устойчивости сжимаемого стержня с квадратным сечением от отношения его высоты  $h$  к ширине основа-

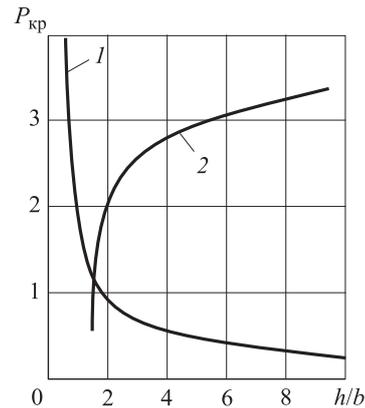


Рис. 5. Зависимость критической силы  $P_{кр}$  от соотношения высоты  $h$  и ширины основания  $b$  датчика-опоры: 1 и 2 — устойчивость и чувствительность датчика-опоры соответственно

ния  $b$  (рис. 5, кривая 1) видно, что устойчивость быстро уменьшается при изменении отношения  $h/b$  от 0 до 4, затем с дальнейшим увеличением относительной высоты стержня плавно снижается до весьма малых величин.

Из графической зависимости чувствительности датчика-опоры от отношения  $h/b$  (см. рис. 5, кривая 2) следует, что особенно быстрое нарастание чувствительности характерно для участка  $0 < h/b < 4$ . С дальнейшим увеличением этого отношения чувствительность повышается незначительно.

На основании изложенного целесообразно принять отношение  $h/b = 3...4$ . Размер активной части магнитопровода  $h$  определен по формуле (4), поэтому следует проверить размеры  $a$  и  $b$ :

$$a \approx b = \frac{h}{3...4}.$$

При соответствии размеров  $a$  и  $b$  ранее принятым значениям продолжают расчет датчика проверкой на предельно допустимые значения напряжений в нем. Величина статического поджатия  $P_{ст}$  волновода к опоре обычно задана, известно также сечение активной части датчика-опоры:

$$q_d = 2 \frac{a}{3} b.$$

При действии одной статической нагрузки  $P_{ст}$  должно выполняться условие

$$\sigma_{расч} < \sigma_{-1}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{расч}$  — расчетное напряжение в датчике при действии  $P_{ст}$ .

Если учитывать действие динамической высокочастотной нагрузки, то должно выполняться условие

$$\sigma_{\text{расч}} < \frac{\sigma_{-1}}{k_0 \alpha_d \gamma \delta}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{-1}$  — предел выносливости при симметричном цикле нагружения;  $k_0$  — коэффициент запаса;  $\alpha_d$  — эффективный коэффициент концентрации;  $\delta$  — коэффициент поверхности;  $\gamma$  — масштабный коэффициент.

При действии осевых сил

$$\sigma_{-1} = 0,7\sigma_{-1}^u, \quad (11)$$

где  $\sigma_{-1}^u$  — предел выносливости при изгибе.

Поскольку

$$\sigma_{-1}^u \approx 0,25(\sigma_{\text{вр}} + \sigma_{\text{т}}) + 500, \quad (12)$$

уравнение (10) приобретает следующий вид:

$$\sigma_{\text{расч}} < \frac{0,7[0,25(\sigma_{\text{вр}} + \sigma_{\text{т}}) + 500]}{k_0 \alpha_d \gamma \delta}. \quad (13)$$

Согласно работам [4, 5], для рассматриваемого случая:

$$k_0 = 2; \quad \alpha_d = 1,5 + 1,5 \frac{\sigma_{\text{вр}} - 4000}{11000}; \quad \gamma = 1,5; \quad \delta = 2.$$

Тогда

$$\sigma_{\text{расч}} < \frac{0,022(\sigma_{\text{вр}} + \sigma_{\text{т}}) + 44}{(\sigma_{\text{вр}} + 7000)/11000}. \quad (14)$$

В случае, когда напряжение в активной части датчика-опоры меньше допустимого, расчет продолжают проверкой размеров датчика-опоры на устойчивость. Как известно,

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{мин}}}{K_d^2 h^2}, \quad (15)$$

где  $K_d$  — коэффициент приведения длины;  $I_{\text{мин}}$  — интенсивность звуковой волны.

Для случая консольно закрепленной балки, к которому можно свести заземленный на нерабочем торце датчик,  $K_d = 2$ .

Поэтому

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{мин}}}{4h^2}. \quad (16)$$

Если значение критической нагрузки превышает величину  $P_{\text{ст}}$ , то переходят к электрическому расчету датчика-опоры.

В рабочем режиме во вторичной обмотке датчика будет индуцироваться ЭДС, мгновенное значение определяется выражением

$$\mathcal{E} = k_1 n_2 \frac{d\Phi}{dt} q_d, \quad (17)$$

где  $k_1$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров магнитопровода и окон в нем;  $n_2$  — число витков вторичной обмотки;  $\Phi$  — магнитный поток, сцепленный с витками;  $q_d$  — рабочее сечение датчика-опоры.

Полагаем

$$\frac{d\Phi}{dt} = k_2 \frac{d\sigma}{dt}, \quad (18)$$

где  $k_2$  — коэффициент, зависящий от свойств материала и напряженности магнитного поля;  $\sigma$  — напряжение в металле датчика.

Для периодически изменяющегося напряжения

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 \sin(\omega t). \quad (19)$$

Тогда уравнение (17) приобретает следующий вид:

$$\mathcal{E} = k_1 k_2 q_d n_2 \sigma_1 \omega \cos(\omega t). \quad (20)$$

Отверстия в магнитопроводе датчика вызывают концентрацию напряжения около них, чрезвычайно усложняя определение изменения величин, входящих в выражение (20). Составление полного аналитического выражения затрудняется также различными значениями напряженности магнитного поля на разных участках магнитопровода. При этом возможно не только изменение величины магнитострикции, но и перемена ее знака. Кроме того, коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  должны определяться экспериментальным путем. Исходя из изложенного, теоретически найти напряжение измерительной обмотки трудно. Рабочие характеристики датчика целесообразно определять на основании индивидуальной тарировки отдельных образцов датчиков-опор [10].

Таким образом, электрический расчет датчика-опоры сводится к ориентировочному определению числа витков вторичной его обмотки при заданной чувствительности  $S$  по эмпирической формуле [4]:

$$n_2 = \frac{S \rho_{\text{ср}} c_{\text{ср}} \left[ h + \frac{a}{3c} \left( \frac{a}{3} + 2a \right) \right] \cdot 10^8}{16\pi \alpha_m \mu a b \eta}, \quad (21)$$

где  $\alpha_m$  — магнитострикционная постоянная;  $\eta$  — акустико-механический КПД;  $\rho_{\text{ср}} c_{\text{ср}}$  — акустическое сопротивление среды.

Основные параметры магнитострикционных материалов

Материал	Параметр							
	Скорость звука $c$ , м/с	Плотность материала $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости $E$ , МПа	Коэффициент связи $k$	Удельное электрическое сопротивление $R \cdot 10^4$ , Ом	Критическая температура, К	Абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м	Индукция насыщения $B_s$ , Тл
Никель Н1 (более 98 % Ni)	5090	8,90	20 000	0,25	7	653	400	0,60
Пермендюр К49Ф2 (49 % Со, 1,5 % V, остальное — Fe)	5200	8,15	21 100	0,25–0,37	26	1253	700	2,40
Пермендюр К65 (65 % Со, остальное — Fe)	5000	8,25	22 000	0,20	8	1200	330	1,50
Альфер Ю-14 (14 % Al, остальное — Fe)	5100	6,70	17 000	0,28	90	773	1000	1,30
Гиперник (50 % Ni, остальное — Fe)	5100	8,30	14 000	0,20	46	780	350	0,80
Феррит Ф-38	5700	5,21	17 700	0,14	40	533	73	0,37
Феррит Ф-42	5900	5,27	18 000	0,33	45	773	330	0,54

Основные параметры магнитострикционных материалов приведены в таблице.

Ток подмагничивания первичной обмотки можно найти, задавшись начальной напряженностью магнитного поля  $H_0$  и числом витков  $n_1$ :

$$I_{\text{п}} = \frac{2H_0 \left[ h + \frac{a}{3c} \left( \frac{a}{3} + 2a \right) \right]}{0,8\pi n_1}. \quad (22)$$

Необходимый диаметр провода определяют исходя из того, что плотность тока в обмотке при длительной работе не должна превышать 2,5 А/см<sup>2</sup>. Учитывая, что в импульсных устройствах датчик работает в облегченном режиме, можно увеличить плотность тока в несколько раз [10].

Имея в виду, что увеличение числа витков  $n_2$  приводит к повышению сигнала на датчике опоры (формула (20)), можно, не прибегая к прикидочным расчетам по формуле (21), определить максимальное число витков, зная размер окна и задавшись приемлемым диаметром провода. При ручной челночной намотке датчика использование провода диаметром менее 0,08 мм вызывает существенные трудности.

В этом случае ориентировочное число витков определяется следующим образом:

$$n_2 = k_y n_a n_h, \quad (23)$$

где  $k_y$  — коэффициент укладки провода,  $k_y = 0,7 \dots 0,8$ .

$$n_a = \frac{a}{6d_{\text{пр}}}; \quad n_h = \frac{h - 2c}{d_{\text{пр}}},$$

$d_{\text{пр}}$  — диаметр обмоточного провода.

**Метод сопутствующего контроля по кинетической характеристике** можно использовать в двух вариантах — ручном и автоматическом [1, 2]. Первый из них применяют при сварке часто изменяемой номенклатуры изделий: сварщик по показанию индикатора (микроамперметра) наблюдает за изменением кинетической характеристики и, когда сигнал датчика принимает минимальное значение (в момент времени  $t_1$ ), отключает ультразвук.

Второй вариант с использованием автоматического устройства для отключения ультразвука при заранее заданном уровне сигнала, соответствующем  $a_{\text{min}}$ , применяют при сварке крупных партий изделий.

Для автоматического управления временем сварки на кафедре «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны приборы УВС-2 и УВС-4, которые, как и блоки визуального контроля, выполнены в виде переносных блоков-приставок к ультразвуковым сварочным машинам.

Приборы УВС-2 и УВС-4 работают следующим образом. Энергия ультразвуковых колебаний, проходящих через свариваемый материал, вызывает деформацию чувствительного элемента датчика-опоры и, следовательно, появление ЭДС на его обмотке. Сигнал датчика усиливается электронным усилителем и поступает на индикаторное устройство.

В процессе сварки значение сигнала датчика изменяется в связи с изменением акустического сопротивления свариваемого материала. В момент времени, соответствующий минимальному значению сигнала датчика, индикаторное устройство отключает ультразвуковой генератор. Таким образом, момент окончания сварки определяется автоматическим устройством и ошибки, вносимые сварщиком-оператором, не влияют на точность установки времени сварки.

Работа сварщика-оператора при использовании прибора автоматической установки выдержки времени сварки существенно упрощается и сводится к закладке свариваемых изделий и включению ультразвука. Качество единичного сварного соединения высокое. При сварке большого числа изделий стабильность прочности сварных соединений возрастает, поскольку исчезают ошибки, вносимые сварщиком-оператором.

## Выводы

1. Согласно приведенным расчетам, спроектирован и изготовлен магнитоупругий датчик с рабочим элементом из никеля для измерения амплитуды колебаний опоры датчика, позволяющий определять кинетические характеристики полиэтилена, полиметилметакрилата и других полимерных материалов.

2. Применение датчика-опоры в ультразвуковой сварочной установке в качестве устройства, автоматически управляющего продолжительностью ультразвукового импульса, повышает стабильность свойств сварных соединений, уменьшая при этом деформацию зоны шва.

## 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] Гладков Э.А. *Управление процессами и оборудованием при сварке*. Москва, Академия, 2006. 432 с.
- [4] Кархин В.А. *Тепловые процессы при сварке*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2013. 646 с.
- [5] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding on the fracture force of non-woven materials. *Welding International*, 2005, № 19(6), pp. 484–489.
- [6] Алешин Н.П., Чернышов Г.Г. *Сварка. Резка. Контроль: справочник. В 2-х т.* Москва, Машиностроение, 2004, т. 1, 624 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] Маслов Б.Г. *Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении*. Москва, Академия, 2008. 272 с.
- [9] Volkov S.S., Chesnokov A.A., Garanin I.N. Relationship of the kinetic characteristic and strength of butt joints in the ultrasound welding of rigid plastics. *Welding International*, 2000, № 14(10), pp. 822–824.
- [10] Volkov S.S., Orlov Yu.N., Garanin I.N. A magnetoelastic sensor for inspecting the quality of welded joints in ultrasound welding of plastics. *Welding International*, 2001, № 15(10), pp. 816–820.

## 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] Gladkov E.A. *Upravlenie protsessami i oborudovaniem pri svarke* [Management of processes and equipment for welding]. Moscow, Akademiia publ., 2006. 432 p.
- [4] Karkhin V.A. *Teplovye protsessy pri svarke* [Thermal processes in welding]. Sankt-Peterburg, Politekhnikeskii universitet publ., 2013. 646 p.
- [5] Volkov S.S. The effect of conditions of ultrasound welding on the fracture force of non-woven materials. *Welding International*, 2005, no. 19(6), pp. 484–489.
- [6] Aleshin N.P., Chernyshov G.G. *Svarka. Rezka. Kontrol': spravochnik* [Welding. Cutting. Control: guide]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004, vol. 1, 624 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] Maslov B.G. *Nerazrushaiushchii kontrol' svarnykh soedinenii i izdelii v mashinostroenii* [Non-destructive testing of welds and products in mechanical engineering]. Moscow, Akademiia publ., 2008. 272 p.
- [9] Volkov S.S., Chesnokov A.A., Garanin I.N. Relationship of the kinetic characteristic and strength of butt joints in the ultrasound welding of rigid plastics. *Welding International*, 2000, no. 14(10), pp. 822–824.
- [10] Volkov S.S., Orlov Yu.N., Garanin I.N. A magnetoelastic sensor for inspecting the quality of welded joints in ultrasound welding of plastics. *Welding International*, 2001, no. 15(10), pp. 816–820.

Статья поступила в редакцию 17.11.2015

## 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).

**ДЕРЯБИН Алексей Александрович** (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: aad1\_2000@mail.ru).

**ПРИЛУЦКИЙ Максим Андреевич** (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: map@bmstu.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 (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).

**DERYABIN Aleksey Aleksandrovich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: aad1\_2000@mail.ru).

**PRILUTSKIY Maxim Andreevich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Welding and Diagnostics Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: map@bmstu.ru).