

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛОПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО БИМОРФА ПРИ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКОЙ.

Ю.Г. Задорожный, канд. техн. наук. г. Чернигов), М.И.Зорин инженер, Ю.М. Довгий инженер («Пьезосенсор»).

Предложена методика оценки механической прочности сварного соединения в конструкции металлопьезокерамического биморфа по величине поверхности разрушения по пьезокерамике. Даны зависимости формирования прочности сварной металлопьезокерамической конструкции от режимов сварки. Определен режим сварки, обеспечивающий необходимый уровень качества сварного биморфа.

Ключевые слова: диффузионная сварка, биморф, пьезокерамика, сварная конструкция, прочность.

Широкое распространение в измерительной технике получили акселерометры, использующие пьезокерамику (ПК). Их применение обусловлено высокой стабильностью изделий и широким диапазоном эксплуатационных характеристик. Известны конструкции пьезоакселерометров и пьезодвигателей, использующие в качестве преобразователей пьезокерамические биморфы [1]. Биморфы в основном изготавливаются по клееной технологии и в силу наличия в них эластичной клееной прослойки имеют нестабильные во времени и при изменении температуры пьезоэлектрические характеристики. Это ограничивает их ресурс работы и рабочий диапазон температур. Кроме того механическая прочность клееного шва значительно ниже прочности пьезокерамики (самого низко прочного элемента конструкции) что не позволяет использовать его в конструкциях с повышенными внутренними механическими напряжениями. Улучшить эксплуатационные характеристики конструкции можно применив для соединения пьезокерамики с металлом технологию диффузионной сварки.

Цель работы разработка методики оценки механической прочности металло-пьезокерамического биморфа и определение режима диффузионной сварки, обеспечивающего максимальную прочность сварного узла.

Механическая прочность металлопьезокерамической конструкции зависит от многих факторов. Основные из них это прочность переходной зоны сварного соединения (сварного шва) и уровень механических напряжений в сварной конструкции. Прочность переходной зоны сварного соединения может иметь высокие значения и даже превышать прочность одного из свариваемых материалов. Однако при значительном уровне механических напряжений в сварном узле его прочность будет минимальна. При проведении измерений на отрыв, на срез, на изгиб следует учитывать влияние конструкции на прочность сварного узла.

При проведении испытаний изделий, полученных диффузионной сваркой на статический отрыв, срез, изгиб разрушающим методом измеряемые напряжения распределяются во всем объеме металлокерамической конструкции[2]. Это накладывает уровень собственных механических напряжений (из-за разности коэффициентов термического расширения) на разрушающие напряжения и может вносить значительную ошибку в измерения. На практике стараются оценить механическую прочность по макетам, имеющим близкие размеры с реальной конструкцией и таким образом получить значения разрушающих величин, учитывающие влияние конструкции. Для слоистых конструкций, включающих металлический электрод, присоединенный к поверхности керамики, измерить корректно его прочность сварки с керамикой методически сложная и трудоемкая задача.

Оценка взаимодействия керамики с металлом при сварке в твердой фазе показывает, что для целей анализа переходную зону сварного соединения можно искусственно разделить на три зоны (Рис.1). Это 1 - зона диффузионного проникновения элементов керамики в металлический сплав; 2 - зона реакционной диффузии и 3 - зона диффузионного проникновения элементов сплава в керамику. Конструктивно зоны располагаются непосредственно прилегая друг к другу, а их толщина зависит от особенностей взаимодействия материалов. Зона 1 проникновение элементов керамики в металл (сплав) может быть проанализирована по двойным диаграммам[3]. Зона 2, зона реакционной диффузии, это продукт химического взаимодействия входящих в керамику элементов и металлического сплава. Формирование этой зоны описывается химическим взаимодействием материалов очень подробно данным в работе[4]. Зона 3 – проникновение элементов сплава в керамику и может быть проанализирована по изменению состава (структуры) керамики.

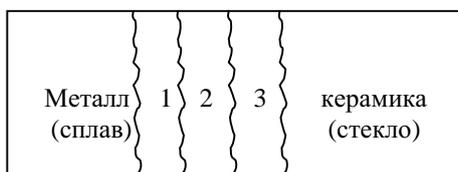


Рис 1. Схема переходной зоны соединения

1 - зона диффузионного проникновения элементов керамики в металлический сплав; 2 - зона реакционной диффузии; 3 - зона диффузионного проникновения элементов сплава в керамику.

Формирование сварного шва при сварке в твердой фазе проходит стадии создания физического контакта по всей поверхности сварки (начального контакта материалов) и формирования переходной зоны между свариваемыми материалами с необходимой прочностью. На первой стадии происходит деформация формоизменения свариваемых изделий, а на второй формируется переходная зона. По всей свариваемой поверхности стадии взаимодействия проходят последовательно. Величина переходной зоны и ее механические характеристики определяют прочность "сварного шва". Поскольку деформация сварных изделий при сварке проходит неравномерно это приводит к неодинаковому времени протекания стадии 1 и 2 в зоне контакта материалов и следовательно неодинаковому распределению прочности по всей поверхности сварки. Это происходит при неполном формировании сварного соединения или режиме сварки не обеспечивающем «максимальный провар».

Величина механической прочности переходной зоны влияет на характер разрушения сварной конструкции. Это показали проведенные исследования изменения прочности сварного соединения пьезокерамики на основе титаната висмута ТВ-2 через медную прокладку с коррозионностойким сплавом ХН67ВМТЮ [5]. При диффузионной сварке конструкции по режиму, близкому к оптимальному прочность полученного сварного шва пьезокерамика + медь пренебрежимо мала из-за отрицательного влияния легкоплавкого металла - висмута. Разрушение сварной конструкции проходит по поверхности контакта материалов при разборке приспособления для сварки. Использование барьерной прослойки (БПр) хрома между ПК и медью повышает прочность сварного соединения. Увеличение толщины БПр хрома в интервале $\delta_{Cr} = 0 - 0,09$ мкм сопровождается увеличением прочности сварного соединения ПК ТВ-2 с металлом. При этом разрушение сварной конструкции проходит по поверхности контакта свариваемых материалов (Рис. 2). Использование БПр хрома толщиной большей $\delta_{Cr} = 0,09$ мкм сопровождается изменением характера разрушения. Разрушение сварной металлпьезокерамической конструкции при испытании на растяжение проходит по пьезокерамической детали. Использование БПр хрома толщиной $\delta_{Cr} = 0,09 - 0,5$ мкм, показывает, что прочность сварной конструкции не увеличивается. В диапазоне толщины БПр $\delta_{Cr} = 0,9 - 1,5$ мкм величина, разрушающей сварную конструкцию, нагрузки уменьшается. Разрушение при этом проходит по ПК. Максимальные значения величины разрушающего усилия сварной конструкции достигаются при использовании БПр хрома между свариваемыми материалами, толщиной $\delta_{Cr} = 0,09 - 0,9$ мкм.

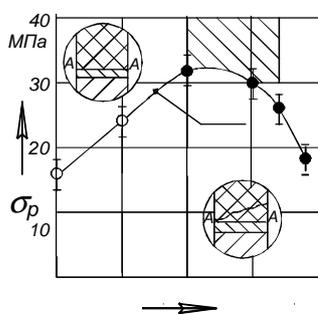


Рис. 2. Зависимость механической прочности сварного соединения ТВ-2 +ХН67ВМТЮ от толщины барьерной прослойки хрома (при $T=1074$ К; $P=15$ МПа, $V \leq 1,3 \cdot 10$ Па, $t = 300$ с);

δ_{Cr} - толщина барьерной прослойки хрома (мкм);

σ_p - механическая прочность сварного соединения (МПа);

А-А - поверхность разрушения соединений;

● - разрушение соединения по пьезокерамике;

○ - разрушение соединения по поверхности контакта материалов;

Таким образом, используя результат разрушения сварной конструкции – величину поверхности разрушения по пьезокерамике, можно качественно оценить величину прочности сварного узла.

Методика проведения оценки механической прочности по величине поверхности разрушения по пьезокерамике включает разрушение сварной конструкции методом отслаивания [6]. При реализации этого метода усилие прикладывается на гибкий металлический электрод и максимальные разрушающие напряжения сварной конструкции реализуются не во всем объеме конструкции а в переходной зоне сварного соединения. Рис 3.

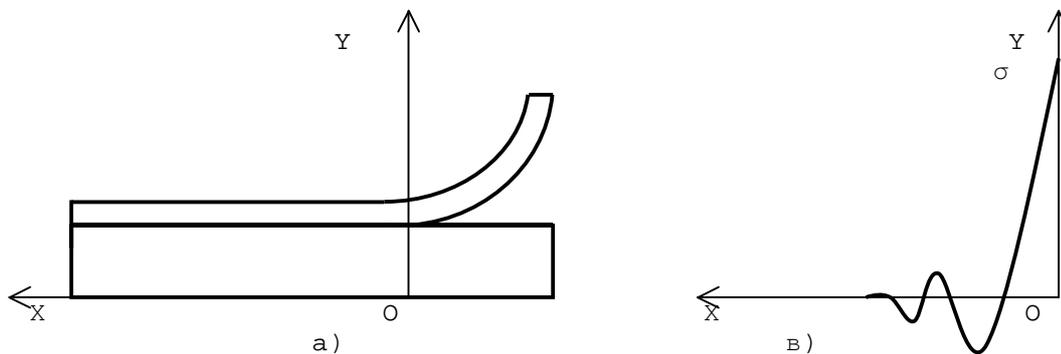


Рис 3. а) разрушение слоистой конструкции; в) распределение нормальных напряжений на границе металл-пьезокерамика, О – точка начала расслоения.

При этом они реализуются не одновременно по всей поверхности а последовательно, что позволяет получить поверхность разрушения, расположенную максимально вблизи зоны начального контактирования материалов. Характер разрушения сварной конструкции связан с величиной ее прочности. Разрушение сварного шва по пьезокерамике характеризует поверхность имеющую механическую прочность выше прочности пьезокерамики. Разрушение по зоне начального контакта материалов характеризует поверхность с низкими значениями механической прочности сварного шва. Величина поверхности разрушения по пьезокерамике прямо пропорциональна величине прочности сварной конструкции и может быть использована при определении режима сварки, обеспечивающего максимальную прочность сварной конструкции. Таким образом по величине площади разрушения сварного шва по пьезокерамике можно сделать заключение о прочности сварного биморфа и дать рекомендации по корректировке режима сварки.

Однако при всей простоте и возможности оперативно приводить оценку режима сварки методика имеет ограничение поскольку не дает абсолютных значений прочности всей конструкции и не учитывает влияние ее уровня механических напряжений. Это требует проведения итогового измерения конструкции с максимальными прочностными характеристиками на статический отрыв или изгиб.

Предложенная методика использовалась при определении режима сварки металлопьезокерамического биморфа, обеспечивающего максимальную прочность сварной конструкции.

Конструкция биморфа (См рис. 4) включает два пьезоэлемента из пьезокерамики ЦТС-83Г, соединенные между собой через металлический электрод из титана ВТ-6, толщиной 0,2 мм. Металлические обкладки биморфа выполнены из титановой фольги той же толщины. Поляризация пьезоэлементов в зависимости от использования может быть в одном направлении или встречно.

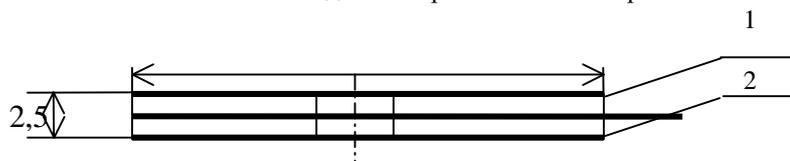


Рис. 4. Металлопьезокерамический биморф.
1 – пьезокерамика; 2 – титановый электрод.

Оценку влияния параметров процесса диффузионной сварки на механическую прочность биморфа проводили в режиме однофакторного эксперимента. На основании данных [4,7] определен режим, обеспечивающий близкий к максимальному «провар» по всей поверхности начального контактирования материалов. Затем, изменяя один из параметров режима, определяли его влияние на величину поверхности разрушения сварного соединения по пьезокерамике. Все изделия подготавливали с одинаковой плоскопараллельностью и использовали керамику из одной поставки. Процесс проводили при остаточном давлении газа в камере менее 0,01 Па.

Оценка влияния температуры сварки показала, что с ростом температуры в диапазоне 610 – 645 град С поверхность разрушения по ПК увеличивается. При температуре равной 645 град. С разрушение проходит по ПК до 95 % от поверхности начального контактирования материалов. Дальнейший рост температуры сопровождается появлением трещин в пьезокерамике. Это может быть вызвано неравномерным сжатием на начальной стадии контактирования материалов или текучестью пьезокерамики

при высоких температурах. Максимальные значения величины площади разрушения по ПК и таким образом максимальная прочность сварной конструкции достигается в диапазоне температур 640 – 650 град.С.

Оценка влияния усилия сжатия показала что в диапазоне усилий 8 – 33 МПа величина поверхности разрушения по ПК увеличивается. Дальнейший рост сопровождается появлением трещин в ПК. Максимальные значения площади разрушения по пьезокерамике достигаются в диапазоне усилий 27 – 33 Мпа.

Оценка влияния времени сварки показала, что рост времени также приводит к росту площади разрушения по ПК. В интервале 10 – 40 минут увеличение времени сопровождается увеличением площади разрушения сварного узла по пьезокерамике. Режим, обеспечивающий максимальные значения площади разрушения по ПК составляет 55 - 65 мин.

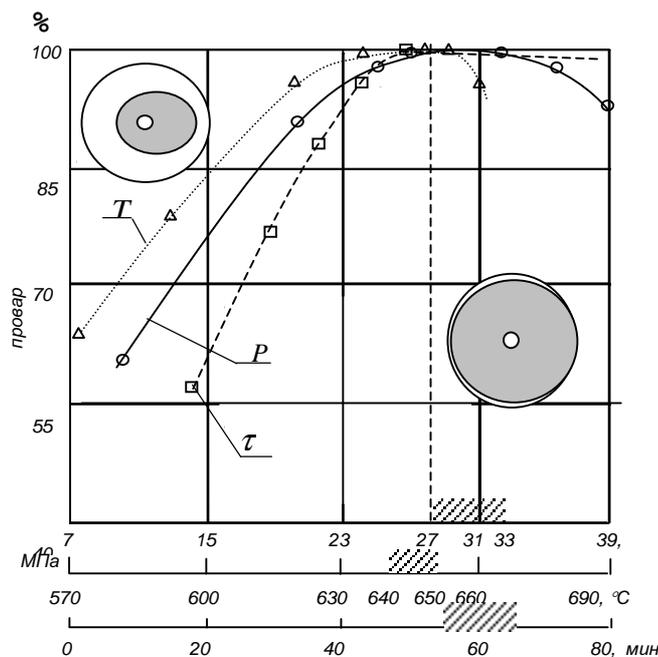


Рис. 5. Зависимость поверхности разрушения сварного соединения по пьезокерамике от режима сварки. P - усилие сжатия, T - температура сварки, τ - время сварки.

Оценка влияния изменения режима диффузионной сварки на характер разрушения материалов показывает, что все однофакторные зависимости имеют тенденцию роста прочности. Прочность конструкции или величина площади разрушения по пьезокерамике имеет максимальные значения в определенном диапазоне и дальнейшее увеличение режима сопровождается разрушением пьезокерамической детали.

Выводы:

1. Предложена методика оценки прочности сварной, слоистой металлопьезокерамической конструкции по величине площади разрушения материалов вблизи их зоны начального контактирования.
2. Определены диапазоны режима сварки, обеспечивающие максимальную величину прочности сварной конструкции металлопьезокерамического биморфа: температура 640 – 650 град.С., усилие сжатия 27-33 МПа, время сварки 55-65 минут.

Литература.

1. Глозман И.А. Пьезокерамика. -М.: Энергия, 1972. - 288 с.
2. Метелкин И.И., Павлова М.А., Поздеева Н.В. Сварка керамики с металлом./-М:Металлургия,1977.-160 с.
3. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. – 2-е изд., пераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1989. –336 с. ил.
4. Мусин Р.А., Конюшков Г.В. Соединение металлов с керамическими материалами.- М.: Машиностроение, 1991. – 224 с. ил.
5. Задорожный Ю.Г. Исследование особенностей формирования механической прочности сварной конструкции высокотемпературной пьезокерамики с конструкционным сплавом. Новые огнеупоры, № 12, 2003. С 43 – 46.
6. Углов А.А., Анищенко Л.М., Кузнецов С.Е. Адгезионная способность пленок/ -М.: Радио и связь, 1987. – 104 с.: ил.
7. Бачин В.А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами .-М.: Машиностроение.-1986.-184с.