

УДК 621.791

Камманн Д., Блиднер Д., Мюллер Х., Цвейнерт К., Хессе О.

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ УДЛИНЕНИЯ ТИПА FIBER-BRAGG-GRATING

Процессы точечной сварки на сегодняшний день широко используются при производстве кузовов легковых автомобилей. Однако применение оцинкованного стального листового материала привело к возникновению ряда проблем, что повлияло на качество сварных соединений. Проблемы были связаны с тем обстоятельством, что цинк с листа осаждается на поверхности электродов сварочных аппаратов и постепенно образует диффузионный слой латуни. В результате этого происходит изменение контактного электрического сопротивления под электродом, смещая при этом параметры процесса от оптимальных. Кроме этого поверхность электрода становится хрупкой, что обуславливает усиленный контактный износ электрода. С другой стороны наблюдается возникновение в сварочной зоне ряда специфических дефектов. К таким дефектам относится так называемое склеивание поверхностей, при котором расплавляются только поверхностные слои цинка, предотвращая тем самым образование зоны сплавления самой стали (так называемой линзы). Очевидно, что механическая прочность таких соединений будет существенно снижена. Также испарение цинка в процессе сварки повышает вероятность образования пор и разбрызгивания расплавленного металла. На рис. 1 показана типичная зона точечной сварки низкого качества.

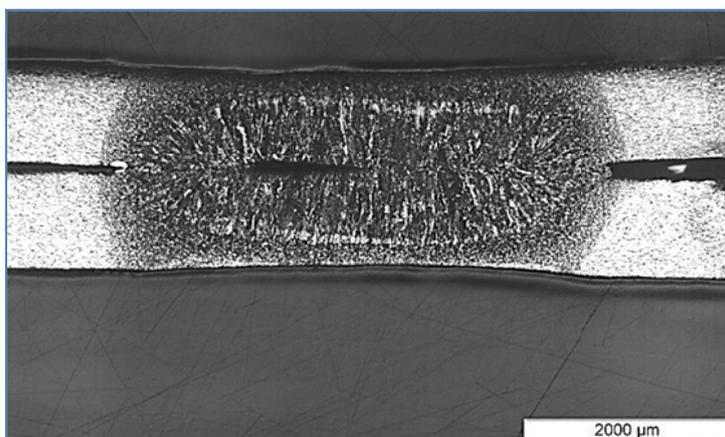


Рис. 1. Поперечный шлиф зоны точечной сварки с местом непроплава. Слева в зоне термического влияния видно место скопления цинка

Для предотвращения таких проблем на линиях по производству кузовов была внедрена специальная методика ручного ультразвукового контроля, при помощи которой на каждом кузове по заранее разработанной схеме проверяется определенное количество сварных соединений. Методика контроля включает классификацию дефектов сварки по группам, например: качественная бездефектная сварка в соответствии с требованиями, дефект в виде маленькой линзы, пониженная толщина в месте сварки, склеивание, непроплавы, поры большого размера или усадочные раковины.

Регулярное проведение ультразвукового контроля также дает возможность оценки стабильности процесса сварки. Более детальное рассмотрение технологии и возможностей ультразвукового контроля точечной сварки кузовов автомобилей можно найти в обзорной статье [1, 3].

С другой стороны для обеспечения стабильности качества точечной сварки на линиях производства кузовов были введены установки для обтачивания электродов. Сварочный робот после установленного числа произведенных сваренных соединений передает электрод в установку для обтачивания электродов.

Следует также отметить, что мониторинг процессов точечной сварки при помощи ультразвукового контроля происходит не в процессе самой технологической операции сварки, а с существенным запаздыванием. Кроме того процесс точечной сварки подвергается влиянию большого числа возмущающих факторов, неблагоприятное сочетание которых может привести к существенному ухудшению качества сварного соединения. В связи с этим для обеспечения стабильности сварочного процесса требуется непосредственный контроль самого процесса сварки. Еще в 1995 г. Н. Porolniczak из института SLV Duisburg рассматривал возможности применения различных методов неразрушающего контроля качества сварных соединений и дал оценку многочисленным методам, с помощью которых можно осуществить непосредственный прямой контроль за сварочным процессом [2, 4].

Целью данной работы является представление новой методики наблюдения за процессом точечной сварки и анализ перспектив ее применения.

Очевидно, что процесс точечной сварки из-за образования зоны расплавленного металла должен оказать обратное механическое воздействие на сварочную установку. Поэтому в качестве одного из методов непосредственного прямого контроля над сварочным процессом может быть применен метод измерением изгиба зажимов сварных электродов, как это показано на рис. 2.

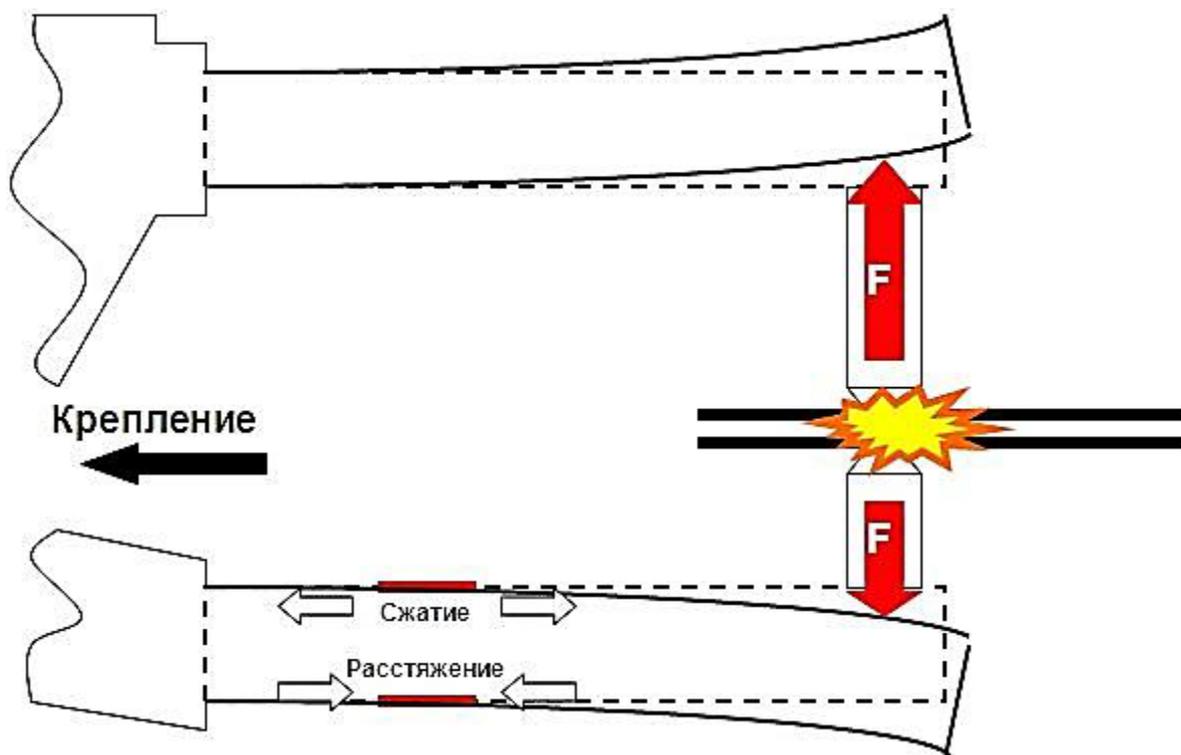


Рис. 2. Новый принцип мониторинга процесса точечной сварки

Обычно для такого рода задач применяют резистивные тензодатчики. В таких датчиках используют изменение электрического сопротивления резистивных слоев меандрической формы при деформации. Однако в данном случае из-за большого тока, протекающего через изучаемый объект, на измерение электрического сопротивления накладываются существенные помехи от сварочных токовых импульсов даже в лабораторных условиях.

Выход из этого положения возможен при использовании оптических тензодатчиков типа Fiber Bragg Grating. Такие датчики работают на чисто оптических принципах и сигналы от них передаются по стекловолоконному каналу. Тем самым весь информационный канал становится не подвержен электрическим помехам.

В рамках проекта также была модифицирована система считывания информации, что позволило повысить верхнюю частоту детектируемых механических колебаний до частот порядка 10^4 Гц. Кроме того был разработан специальный каркас-носитель для чувствительного элемента, позволяющий осуществить надежный монтаж и демонтаж датчика без его выхода из строя.

Чувствительный элемент датчика состоит из стекловолокна, в котором вдоль оси пропускания света сформирована оптическая структура с периодическим изменением показателя преломления. Если амплитуда изменения показателя преломления и число периодов достаточно высокие, то такой элемент может работать как оптический фильтр. При этом характерная длина волны фильтра линейно связана с периодом структуры чувствительной зоны. Принцип действия датчика схематически изображен на рис. 3. В чувствительную зону датчика направляют «белый» свет. Тогда для анализа деформации датчика целесообразно использовать изменение длины волны отраженного света, которая в определенном диапазоне деформаций чувствительной зоны датчика вдоль оптической оси будет линейной.

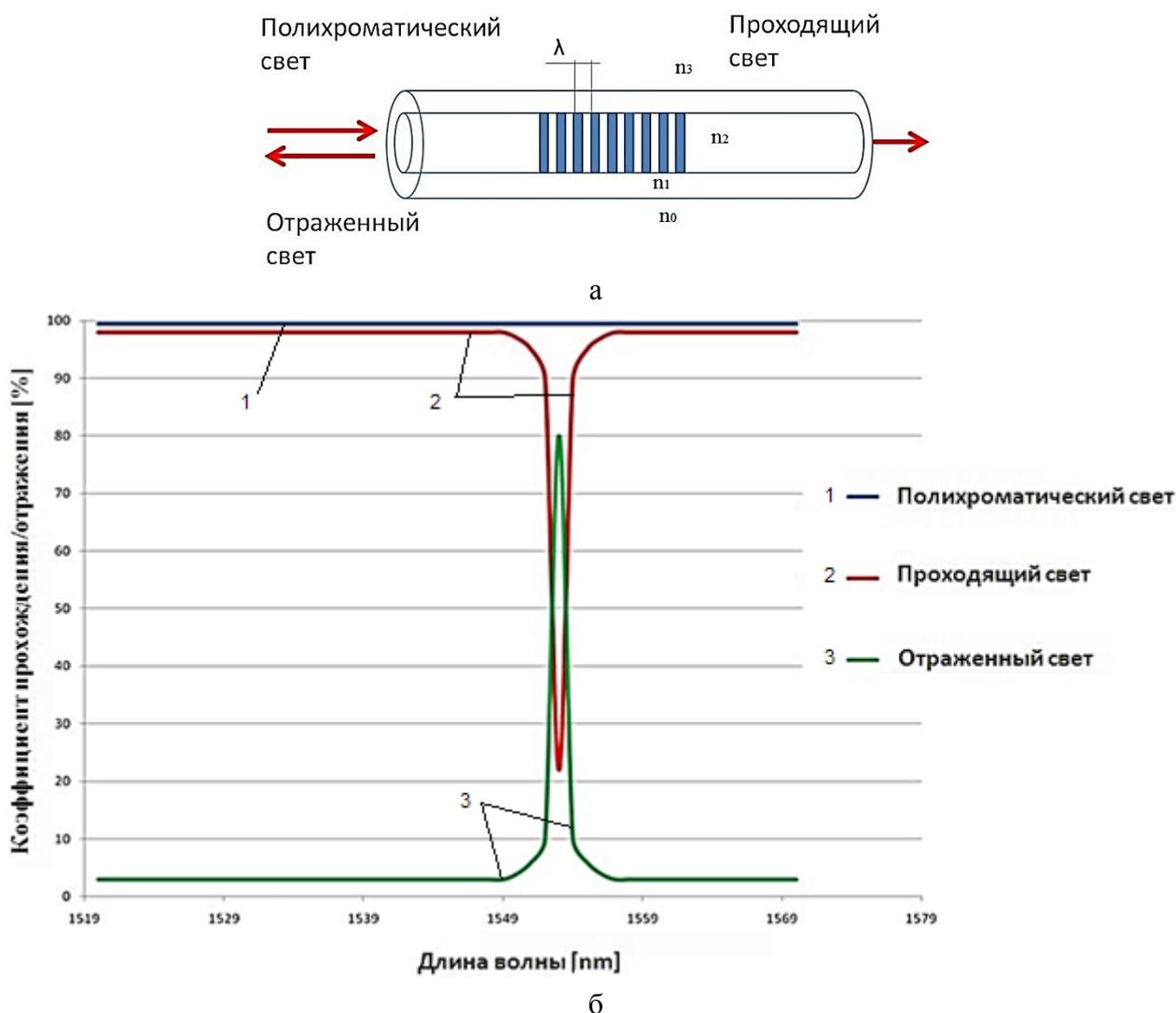


Рис. 3. Принцип действия оптического датчика типа Fiber-Bragg-Grating: а – структура чувствительного элемента и путь световых лучей; б – спектры

Такой принцип используется при работе системы считывания, примененной в данном проекте. Принципиальное устройство этой системы показано на рис. 4. Центральным узлом этого устройства является преобразователь длины волны анализируемого света в амплитудный сигнал. Этот узел включает два полупропускающих зеркала, имеющих очень резкий переход к прозрачности у одного и к непрозрачности у другого зеркала в области характерной длины волны датчика. Изменение длины волны отраженного света этим узлом преобразуется в сигнал интенсивности проходящего через преобразователь света, который с помощью АЦП переводится в цифровой сигнал, который регистрируется и подвергается цифровой обработке.



Рис. 4. Блок-схема системы считывания

Датчики в паре с примененной системой считывания допускают измерения длины с точностью до 1 μm при частотах колебаний до 15 кГц. Эти характеристики соответствуют уровню характеристик резистивных тензодатчиков при существенно более низкой чувствительности к электрическим помехам.

Датчик при помощи специального каркаса-носителя (рис. 5) смонтирован на зажиме электрода установки для точечной сварки (рис. 6).

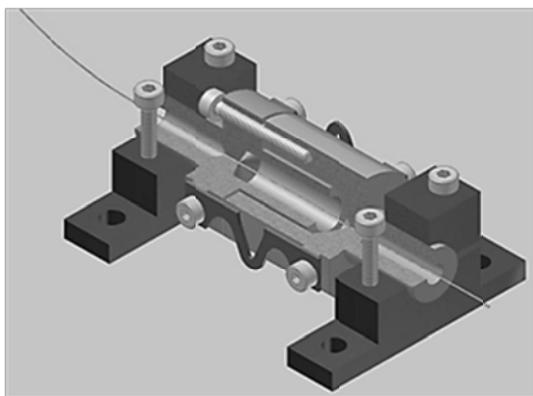


Рис. 5. Каркас-носитель датчика с предохранителем и узлом для первоначального натяжения датчика

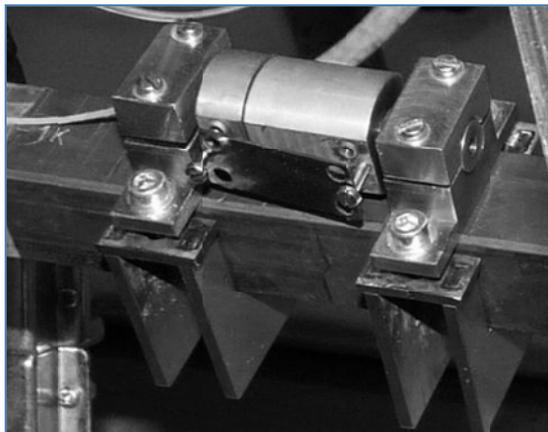


Рис. 6. Монтаж датчика на зажиме верхнего электрода для точечной сварки; предохранитель еще не удален

На лабораторной установке для точечной сварки сваривались опытные образцы из оцинкованного стального листа, обычно применяемого для кузовов легковых автомобилей. В экспериментах варьировались значения зажимающего усилия и тока сварки (рис. 7). Параметром качества служил диаметр сварочной линзы, который определялся при помощи проекционного микроскопа после растяжения сваренных половин (рис. 8).

- Сила тока до 7 кА
- Зажимающие силы до 1200N
- Длительность 10 периодов
- Материал: 1.0032, 0,7 + 0,7mm и DC 01 + ZE 25/25, 1mm + 1mm (электролитически оцинкованный)

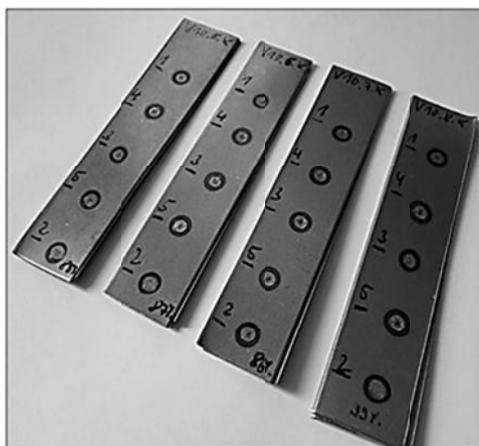


Рис. 7. Программа исследования



Рис. 8. Сварочная линза после растяжения

На рис. 9 и 10 показаны типичные записи деформации зажима электрода точечной сварки для разных режимов сварки и результирующего диаметра сварочной линзы. До этого датчик калибровался в специальной установке.

Рис. 9 представляет типичный сигнал, записанный во время полного периода сварки (предварительное зажимание деталей, пропускание тока, дальнейшая выдержка детали в зажиме).

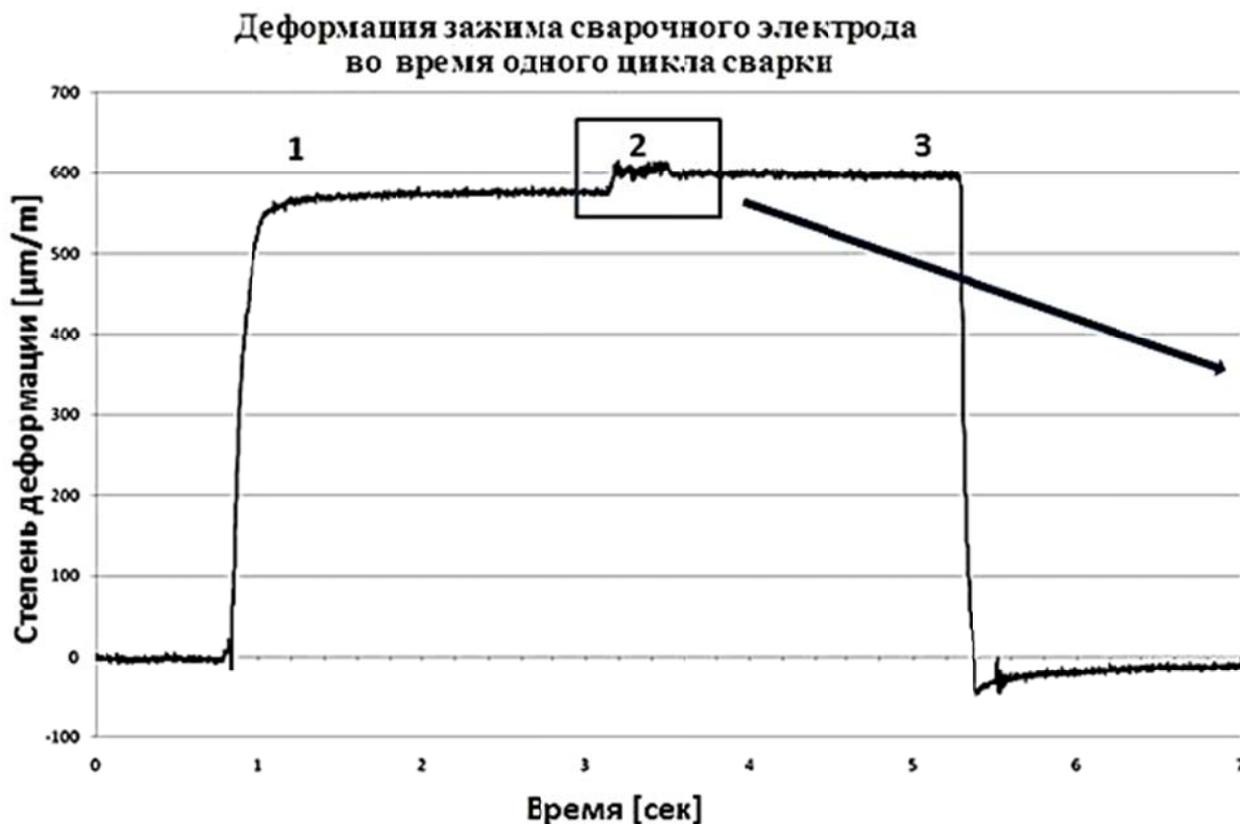


Рис. 9. Записи деформации верхнего зажима электрода аппаратуры для точечной сварки для полного цикла сварки:

1 – предварительное зажимание; 2 – пропускание тока; 3 – дальнейшая выдержка детали в зажиме

Рис. 10 демонстрирует явную корреляцию между дополнительной деформацией, полученной при пропускании тока, и полученным диаметром сварочной линзы. Чем больше диаметр линзы, тем больше должен был быть объем расплавленного металла и тем выше дополнительные усилия, действующие на зажим.

На сигналах деформации видны характерные колебания частоты, которые связаны с отталкивающими силами между встречно пропускающими ток верхним и нижним зажимами электродов. Кроме того на записанных сигналах явно видны характерные выбросы связанные с возникновением брызг в зоне сплавления.

Типичные сигналы, показанные на рис. 9 и 10, подтверждались в большом количестве проведенных опытов.

Данные, полученные в наших исследованиях, позволяют сделать вывод, что качество сварки, определенное через диаметр сварочной линзы, может оцениваться амплитудой дополнительной деформации зажимов электродов при пропускании сварочного тока.

В рамках проведенных лабораторных исследований измерительная система работала с подлежащей устойчивостью. Долговременная стабильность системы должна оцениваться в производственных условиях.

Система может быть откалибрована на месте, поскольку для установления определенной силы сжатия электродов сварочная аппаратура имеет автономное измерительное устройство и сигналы тензодатчика на зажиме могут быть соотнесены с величиной предварительной зажимающей силы.

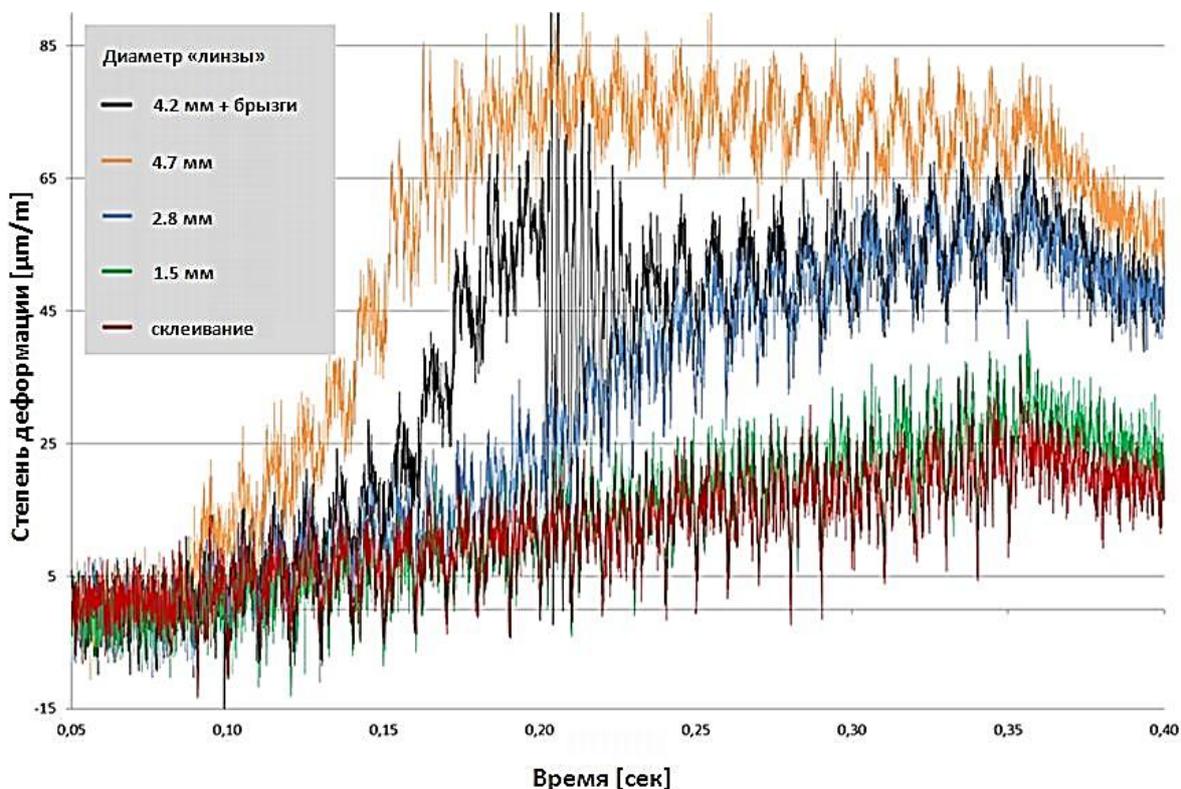


Рис. 10. Записи дополнительной деформации верхнего зажима электрода аппаратуры для точечной сварки при пропускании тока

ВЫВОДЫ

В рамках проведенных исследований была доказана работоспособность предложенного метода мониторинга процесса точечной сварки.

Необходимо исследовать долгосрочную стабильность системы и возможность использования системы для обратного воздействия на сварочный процесс.

Следует также отметить перспективу применения датчиков типа Fiber-Bragg-Grating в разных отраслях промышленности и в иных сферах деятельности как недорогого устройства, имеющего хорошую защищенность от наведенных внешних электрических помех.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Möglichkeiten der zerstörungsfreien Prüfung von Widerstandspunktschweißverbindungen [Elektronische Rerurs] / K.-H. Fischer, S. Schreiber, Duisburg; H. Wüstenberg. – Access-Modus <http://www.ndt.net/article/v05n01/wuesten/wuesten.htm>.
2. Зerstörungsfreies Prüfen, Überwachen und Regeln als Mittel der Qualitätssicherung beim Widerstandspunktschweißen; H. Polrolniczak, Duisburg DVS Berichte Band 165. – S. 54.
3. Polrolniczak H. Ultraschallprüfung als Mittel zur Qualitätssicherung beim Widerstandspunktschweißen : Konferenz-Einzelbericht : DVS-Berichte, Band 189 (1998) Seite 73-80 Düsseldorf : DVS-Verl.
4. High-speed C-scan imaging system with electronic scanning of 25 MHz ultrasonic beam / Sasaki S., Takishita Y., Iwasaki A., Kubota J., Musha Y., Okada H. (Hitachi Ibaraki, Japan) // Acoustical Imaging. 19th International Symposium on Acoustical Imaging, Bochum, D, 3.4.-5.4.1991, Band 19 (1992) Seite 251–256. New York: Plenum Press.