

УДК 621.791

**В.В. Каратыш, Н.А. Худяков, А.В. Фаткулин**  
**V.V. Karatysh, N.A. Khudyakov, A.V. Fatkulin**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

**ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЙ  
ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ  
И ТАРИРОВКА ЕГО ДАТЧИКОВ**

**TOOL FOR FRICTION STIR WELDING,  
AND CALIBRATION OF ITS SENSORS**

Сконструировано приспособление для измерения осевого и продольного усилий при сварке трением с перемешиванием. Изготовлен датчик для измерения продольного усилия. Разработана методика тарировки датчиков. Произведен процесс сварки трением с перемешиванием пробных образцов. Получены сигналы с датчиков.

**Ключевые слова:** сварка, трение, перемешивание, установка, датчики усилий.

Made a device for measuring the axial and longitudinal force when friction stir welding. Made sensor to measure longitudinal force. Developed a method of calibration of the sensors. Made the process of friction stir welding for of specimens. From sensors were obtained an indications.

**Keywords:** welding, friction, stir, device, forcesensors, indications.

Сварка трением с перемешиванием (СТП), протекающая в твердофазном состоянии свариваемого материала, по сравнению с большинством видов и методов сварки обладает многими преимуществами металлургического, технико-экономического, и экологического характера. Наряду с этим СТП обладает и рядом существенных недостатков:

– сварочный инструмент оказывает большое силовое воздействие на свариваемое изделие, из чего следует требование жесткого закрепления деталей перед сваркой, что, в свою очередь, определяет сложность и высокую стоимость изготовления необходимой оснастки;

– невозможно использовать присадочный материал и осуществлять легирование сварного шва;

– трудно вести процесс сварки криволинейных швов в любых пространственных положениях;

– СТП себя оправдывает в полной мере при условии высокой стоимости оборудования, инструмента и оснастки, при высокой степени автоматизации. В настоящее время это могут себе позволить только предприятия атомной энергетики, космонавтики и нефтегазового комплекса;

– образование отверстия при выходе инструмента из свариваемых деталей (этот недостаток сейчас успешно преодолевается).

В силу физических процессов, протекающих в процессе СТП, первые два недостатка, очевидно будут наиболее трудно преодолеваемы, и следовательно, необходимо прежде всего иметь сведения о силовом воздействии инструмента на свариваемые детали. Только после этого можно изыскивать способы устранения этих коренных недостатков СТП. На рис. 1 представлена схема процесса СТП.

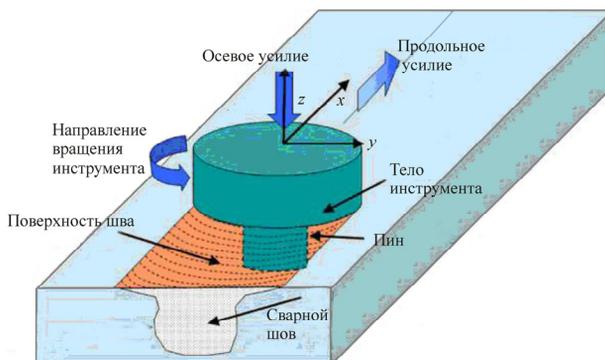


Рис. 1. Сварка трением с перемешиванием

На базе фрезерного станка модели СФ-676 собрана установка для осуществления СТП алюминиевых сплавов и измерения осевых и продольных усилий в момент сварки (рис. 2).

На подвижном столе размещается три приспособления: первое – приспособление для измерения осевого усилия типа К-18М. Нижняя плита этого приспособления жестко закреплена в пазах подвижного стола фрезерного станка, а на верхней плите жестко закреплено второе поворотное устройство с салазками суппорта токарного станка со скользящим соединением типа «ласточкин хвост» для измерения продольного усилия. На салазках суппорта жестко закреплено приспособление в виде сварочного стола с зажимами для закрепления сварочных образцов. Первое и третье приспособления при проведении процесса сварки оказались работоспособными, а второе приспособление для измерения продольного усилия работало неудовлетворительно:

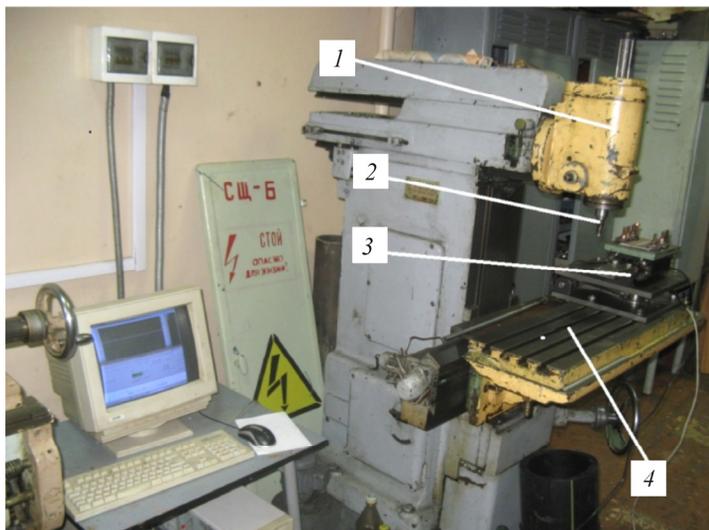


Рис. 2. Общий вид установки: 1 – фрезерная головка; 2 – инструмент; 3 – установка для снятия усилий; 4 – подвижный стол

при больших осевых нагрузках в момент сварки создавалось большое трение скольжения в соединении «ласточкин хвост». По этой причине приспособление для измерения продольного усилия пришлось переделать, отказавшись от суппорта токарного станка. Переделанное приспособление использует четыре пары подшипников качения между неподвижной направляющей и подвижными салазками. Таким образом, в настоящее время установка имеет две степени свободы и позволяет одновременно измерять и осевое и продольное усилие в момент сварки.

Установка позволяет сваривать образцы с различной скоростью вращения инструмента и перемещения стола, а также измерять усилия, действующие на образец в процессе сварки, а именно – осевое усилие (осуществляется за счет перемещения верхней части основания) и продольное усилие, осуществляемое за счет перемещения подвижных салазок.

Для измерения усилий используются два датчика, осевой и продольной нагрузки, сигнал с которых через АЦП обрабатывается с помощью ПК и программного пакета WaveScan 2.0. Сигнал, получаемый с датчиков перемещения по экранированным проводам, передается на блок усиления. Для уменьшения времени подключения датчиков и простоты транспортировки датчики и провода выполнены с разъемами USB.

Блок усиления (рис. 3) выполнен в корпусе от системного блока компьютера и включает в себя: блок питания LOGO!Power 6EP1331-1SH02, два модуля нормализации сигналов тензодатчика ADAM-3016, клеммную плату PCLD-8115D выключателя и платы подключения датчиков.

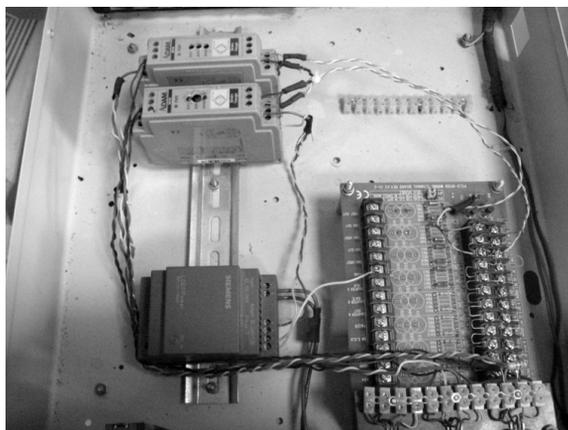


Рис. 3. Устройство усилительного блока

На рис. 4 представлена блок-схема измерительной аппаратуры.

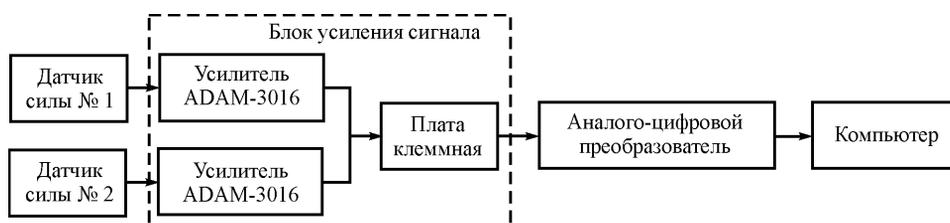


Рис. 4. Блок-схема измерительной аппаратуры

Для снятия осевой нагрузки используется датчик К-18М, установленный так, что его вертикальная ось расположена в одной плоскости с вертикальной осью инструмента.

Для снятия продольных усилий нами был изготовлен датчик, представляющий собой упругий элемент (месдозу), на которой наклеены тензодатчики, соединенные по мостовой схеме (рис. 5).

Упругий элемент представляет собой кольцо, при деформации которого происходит изменение сопротивления датчиков, вследствие чего возникает ток разбаланса, пропорциональный упругой деформации. Работа тензопреобразователя (погрешность, температурный диапазон и т.д.) в большой степени зависит от выбора клея и качества наклейки терморезистора на упругий элемент. Перед наклейкой поверхность упругого элемента тщательно очищают напильником и шкуркой от краски и грязи. Необходимо не зашлифовывать поверхность до зеркального блеска, а несколько матировать ее, чтобы риски были расположены перпендикулярно положению тензорезисторов. Также на поверхности не должно остаться крупных рисок, способных повредить

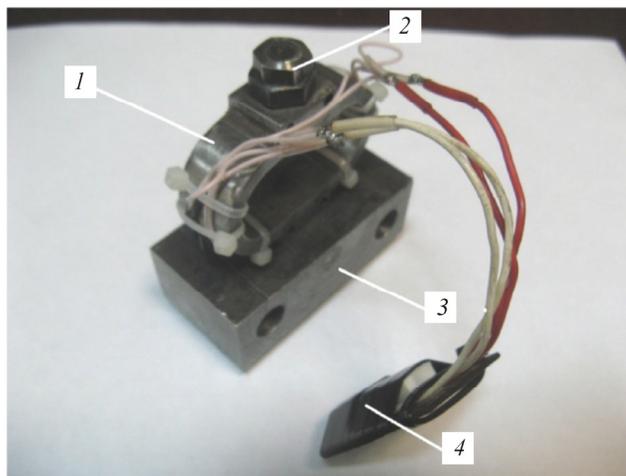


Рис. 5. Датчик продольного усилия: 1 – месдоза; 2 – точка приложения нагрузки; 3 – стойка направляющей; 4 – USB-разъем

изоляцию между тензодатчиком и металлической поверхностью месдозы. Сопротивление изоляции должно быть около 25–50 МОм.

При изготовлении датчика продольной нагрузки нами использовались тензодатчики 200КПА-3-100ХВ и бакелитно-фенольный клей БФ-2.

С помощью динамометра ДОРМ-3-0,3 была произведена тарировка датчиков продольного перемещения (рис. 6) и осевого усилия (рис. 7).

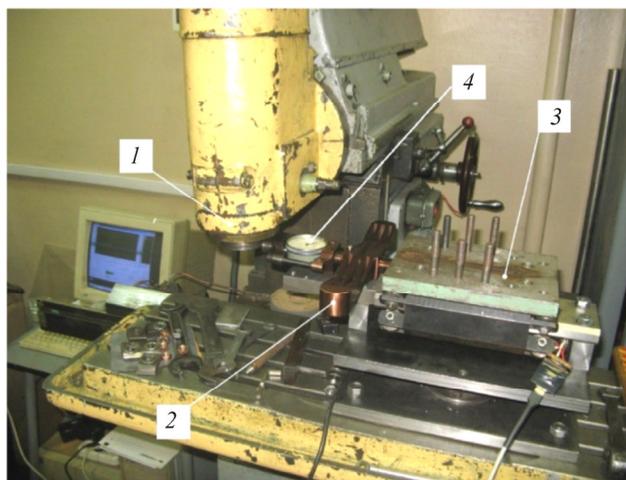


Рис. 6. Тарировка датчика продольного перемещения: 1 – фрезерная головка; 2 – динамометр; 3 – подвижная тележка; 4 – индикатор динамометра

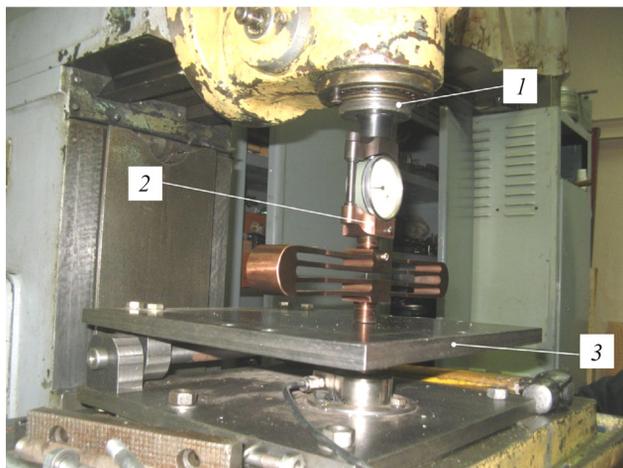


Рис. 7. Тарировка датчика осевого усилия: 1 – фрезерная головка; 2 – динамометр; 3 – радиальная плита

Для измерения осевого усилия динамометр устанавливался между головкой и плитой приспособления для измерения усилий. Датчик подключался к блоку усиления, который соединен с компьютером. При вертикальном перемещении плиты (датчик работает на сжатие) сигнал изменялся. Рабочие точки задавались с помощью динамометра с шагом 30 Н, а соответствующий сигнал записывался на компьютер.

Для измерения продольного усилия динамометр устанавливался между головкой и подвижными салазками приспособления. Сигнал изменялся при горизонтальном перемещении плиты станка.

Ниже приведены тарировочные таблицы и графики.

Сигналы с датчика осевого усилия:

Ордината сетки осциллограммы, деления	Показания динамометра, даН
0,01	0
0,22	30
0,46	60
0,72	90
0,96	120
1,22	150
1,88	180
2,16	210
2,42	240
2,69	270
2,95	300

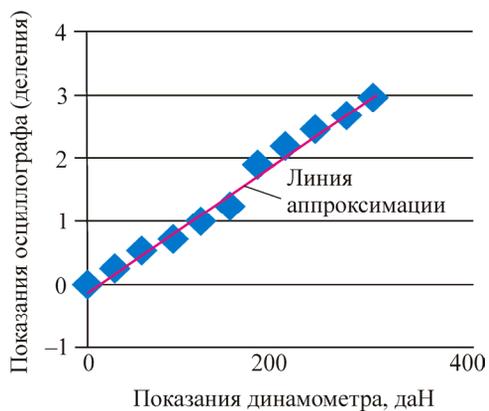


Рис. 8. Тарировочный график осевого усилия

Тарировка датчика продольного усилия:

Ордината сетки осциллограммы, деления	Показания динамометра, даН
2,38	0
2,4	30
2,42	60
2,43	90
2,45	120
2,5	150
2,51	180

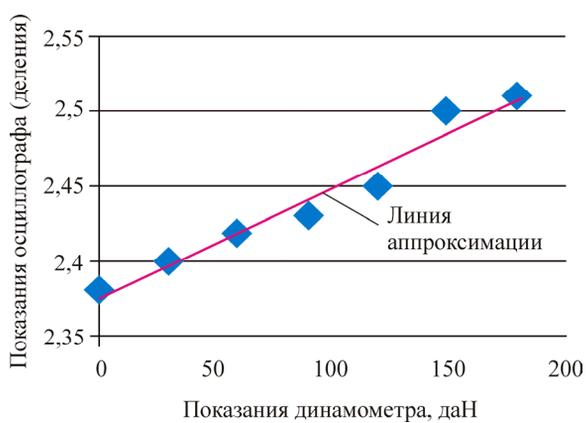


Рис. 9. Тарировочный график продольного усилия

На рис. 10 представлен непосредственно сам процесс сварки трением с перемешиванием.

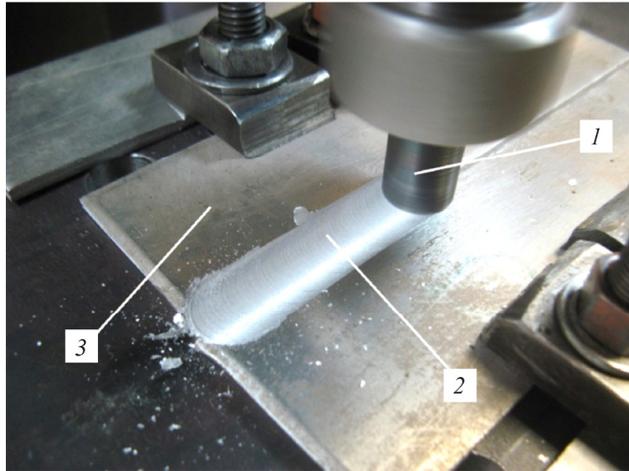


Рис. 10. Процесс сварки трением с перемешиванием:  
 1 – тело инструмента; 2 – сварной шов; 3 – образцы

В результате получен сваренный образец и произведена запись показаний, снятых с датчиков усилий. Графики усилий, полученные в процессе сварки, представлены на рис. 11, 12.

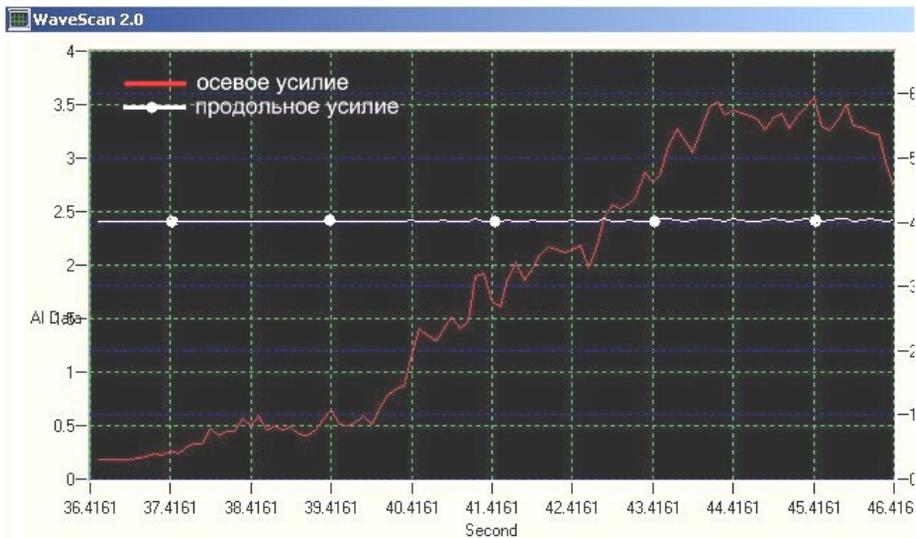


Рис. 11. Усилие во время заглубления инструмента

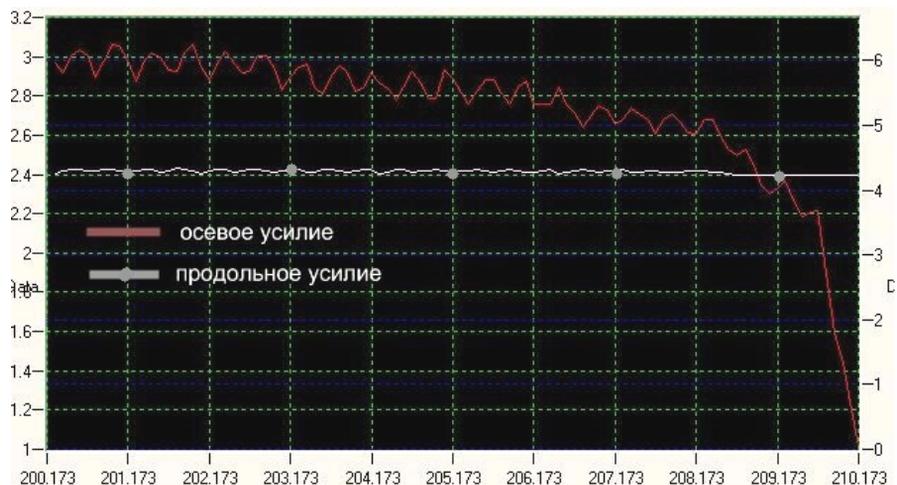


Рис. 12. Усилие во время извлечения инструмента

Таким образом, собранное устройство позволяет сваривать алюминиевые образцы и точно регистрировать показания, снятые с датчиков продольного и осевого усилий.

Получено 1.11.2013

**Каратыш Виктор Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vkaratysh@mail.ru).

**Худяков Николай Александрович** – инженер, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).

**Фаткулин Алексей Васильевич** – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).

**Karatysh Viktor Vasilevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Kom-somolsky av., 29, e-mail: vkaratysh@mail.ru).

**Khudyakov Nikolay Aleksandrovich** – Engineer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).

**Fatkulin Aleksey Vasilevich** – Graduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: svarka@pstu.ru).