

## **Анализ существующего оборудования для дилатометрических исследований в условиях сварочных термических циклов**

# 07, июль 2016

Муртазина З. Х.<sup>1,\*</sup>, Сударева А. А.<sup>1</sup>, Коновалов А. В.<sup>1</sup>

УДК: 62-1

<sup>1</sup>Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

\*[zulphiya.murtazina@gmail.com](mailto:zulphiya.murtazina@gmail.com)

### **Введение**

Дилатометрия – весьма важное и перспективное направление для исследований структурных превращений металла. Дилатометрический метод основан на регистрации изменений размера выбранной базы дилатации на свободном незакрепленном образце в процессе его нагрева и охлаждения. Этот метод менее металлоёмок, более оперативен и, следовательно, обеспечивает более высокую производительность при проведении исследований.

Дилатометры для имитации сварочного термического цикла должны обеспечивать характерные для сварки скорости нагрева и охлаждения, что значительно усложняет их конструкцию в сравнении с обычными дилатометрами. С появлением новых технологий сварки требования к дилатометрам повышаются, в частности, требуются более высокие скорости нагрева и охлаждения.

При термической обработке изделие обычно равномерно нагревается по всему объёму. При сварке интенсивный нагрев происходит только в зонах, близлежащих к шву.

Термический цикл сварки отличается от простого термического цикла термической обработки. Термический цикл сварки характеризуется:

- 1) быстрым нагревом металла до температуры плавления (для точек, лежащих у линии сплавления);
- 2) малой продолжительностью нагрева до высоких температур;
- 3) быстрым охлаждением металла от высоких температур с уменьшением скорости охлаждения по мере падения температуры;
- 4) уменьшением максимальной температуры нагрева по мере удаления от оси шва.

Наибольшие структурные изменения свариваемого металла происходят непосредственно у линии сплавления, где металл нагревается до температуры плавления. В этих точках происходит значительный перегрев металла, сопровождающийся ростом зерна и ухудшением механических свойств металла.

В настоящее время наиболее используемыми являются: дилатометр Коттрелла, дилатометр ИЭС им. Патона и дилатометр ЛТП-4, разработанные более 50-ти лет назад, существует также и более современный - Камат-ГАНГ. Помимо специализированных дилатометров для исследований можно использовать универсальные установки, например, американскую систему Gleeble.

## 1. Дилатометр Коттрелла

В дилатометре Коттрелла (рис. 1) применен тонкостенный трубчатый образец 1, помещённый внутри кварцевой трубки 2 в горизонтальном положении. Нагрев образца с целью моделирования СТЦ выполняется ТВЧ с помощью спирального индуктора 3. Охлаждение образца регулируется расходом пропускаемого через него азота или инертного газа. Газ подается через штуцер 8 в камеру 5 и через три отверстия 7 поступает внутрь кварцевой трубки. Выходит газ через выходное отверстие 6. Изменение размера по длине образца воспринимается кварцевым толкателем 4 с индуктивным датчиком. Температура образца измеряется хромель-алюмелевой термопарой, приваренной в центре внутренней поверхности образца.

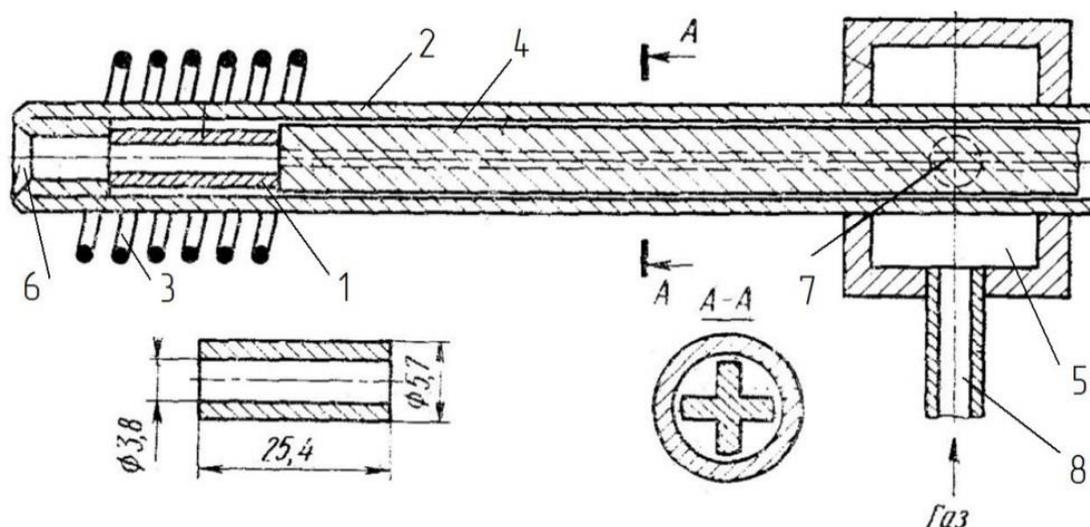


Рис. 1. Схема дилатометра Коттрелла

К достоинствам такой конструкции дилатометра можно отнести настольное исполнение и высокие скорости нагрева вследствие малых размеров образца, а к основным недостаткам - неравномерное распределение температуры по длине трубчатого образца (перепад которой при средней скорости охлаждения достигает  $60^{\circ}\text{C}$  и возрастает с увлечением скорости охлаждения) и недостаточные скорости охлаждения, поскольку охлаждение осуществляется газом. Кроме того, хрупкие кварцевые детали легко ломаются, и прибор может быстро выйти из строя. Также возникают определённые трудности с приваркой термопары из-за малых размеров образца.

## 2. Дилатометр ИЭС им. Патона

Нагрев образцов осуществляется проходящим электрическим током, замер температуры – хромель-алюмелевой термопарой, привариваемой в центре образца. Деформация образца регистрируется по его ширине. Призматический образец 1 (рис. 2) сечением 3х3мм одной гранью базируется на П-образном упоре на конце кварцевой трубки 2, а его противоположная грань находится в контакте с кварцевым толкателем 3. Последний связан с ёмкостным датчиком 4, после соответствующего преобразования сигнал датчика совместно с температурой записывается на осциллографе.

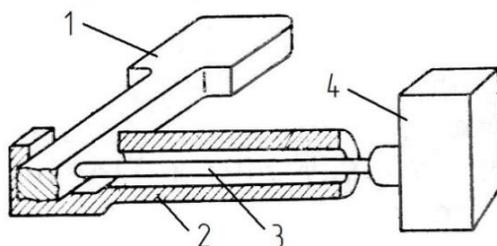


Рис. 2. Схема дилатометра ИЭС для исследования околошовной зоны

Благодаря измерению температурных деформаций в поперечном сечении, неравномерность нагрева образца не влияет на точность измерения, и, в отличие от дилатометра Коттрелла, термопара приваривается к образцу в месте измерения деформаций, что также позволяет повысить точность. Однако из-за использования газа, скорости охлаждения образца недостаточны.

## 3. Дилатометр ЛТП-4

В быстродействующих дилатометрах ЛТП-4 (Рис. 3) применяют простые по форме и изготовлению пластинчатые образцы. Образец 1 закрепляют в подвижном 2 и неподвижном 3 медных токоподводящих зажимах и нагревают проходящим электрическим током промышленной частоты. Деформации образцов регистрируются индуктивным датчиком с записью дилатограмм электронными потенциометрами на широкую диаграммную бумагу.

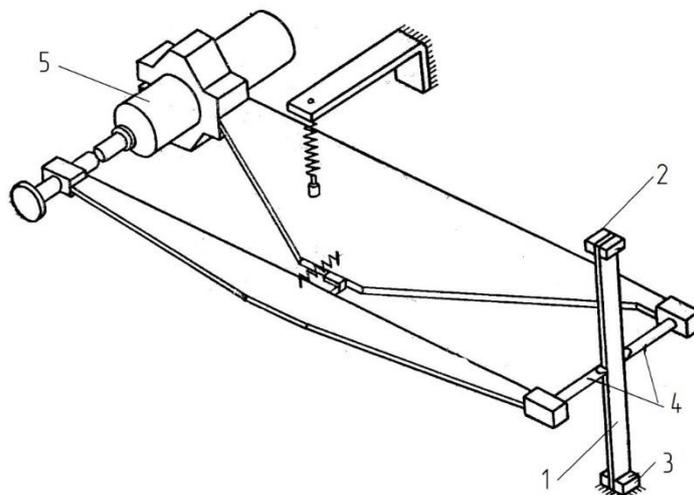


Рис. 3. Схема дилатометра ЛТП-4

Измерительная часть дилатометра представляет собой рычажную конструкцию. Измерение размера образца по ширине воспринимается кварцевыми стержнями 4 и передается на индуктивный датчик 5. Температура образца измеряется хромель-алюмелевой термопарой, привариваемой конденсаторной сваркой к центру образца, и её изменение во времени записывается электронным потенциометром.

Погрешности от неравномерного нагрева образца у этого дилатометра сведены к минимуму, так как деформацию измеряют в поперечном сечении по его толщине или ширине. К недостаткам можно отнести отсутствие компьютерного управления и отсутствие принудительного охлаждения образца.

#### 4. Дилатометр КАМАТ-ГАНГ

Конструкция и образцы схожи с конструкцией дилатометра Коттрелла, только нагрев малогабаритного образца сплошного сечения 1\*1\*10 мм выполняется с помощью мощных галогеновых ламп (рис. 4). В качестве датчика температуры используется хромель-алюмелевая термопара, которая приварена к закладной таблетке, размещаемой между торцом образца и кварцевым стержнем измерителя деформаций.

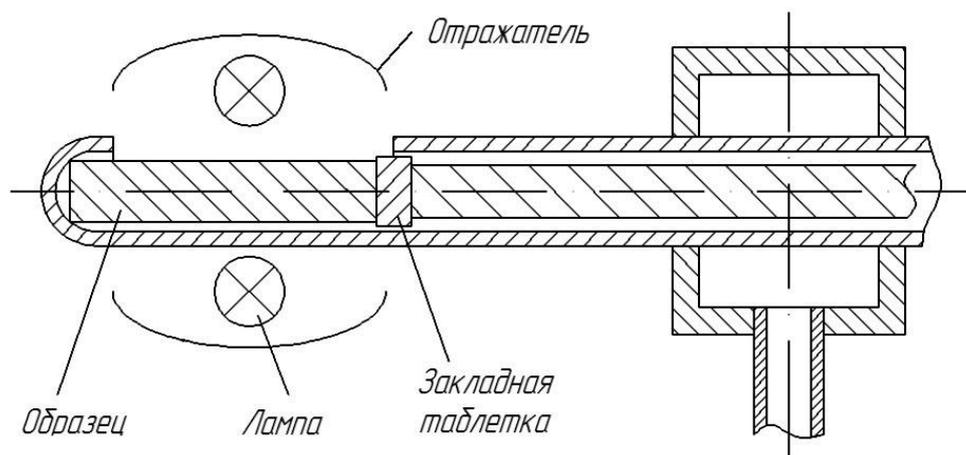


Рис. 4. Дилатометр КАМАТ-ГАНГ

Основные достоинства - возможность исследования неметаллических материалов, высокие скорости нагрева, компьютерная система управления и обработки результатов, которая позволяет управлять процессом программно, изменять в широком диапазоне параметры нагрева и получать данные сразу в цифровом виде, что значительно облегчает их обработку. Однако из-за инерционности ламп сложно обеспечивать заданный закон нагрева. Кроме того, достоверность измерения температуры образца через прижатую к нему таблетку вызывает сомнения. Охлаждение газом не позволяет получить высокие скорости охлаждения характерные для сварочного цикла. Хрупкие стеклянные детали ненадёжны и легко ломаются.

## 5. Установка GLEEBLE-3500

Установка Gleeble-3500 (рис. 5), продукт американской компании “Dynamic System Inc.”, - быстродействующая установка, позволяющая реализовывать большинство стандартных методик испытаний по исследованию свариваемости, в том числе и дилатометрические, путём моделирования сварочного термического цикла.



Рис. 5. Установка Gleeble-3500

Эта установка также имеет ряд недостатков. Во-первых, существует сложность в измерении деформаций. Для этих целей в комплект установки входит индукционный датчик (рис. 6), однако его щупы трудно установить на образец из-за ограниченности пространства между захватами, иногда для закрепления датчика используется резинка, наматываемая на кронштейны, что также крайне неудобно (рис. 7).

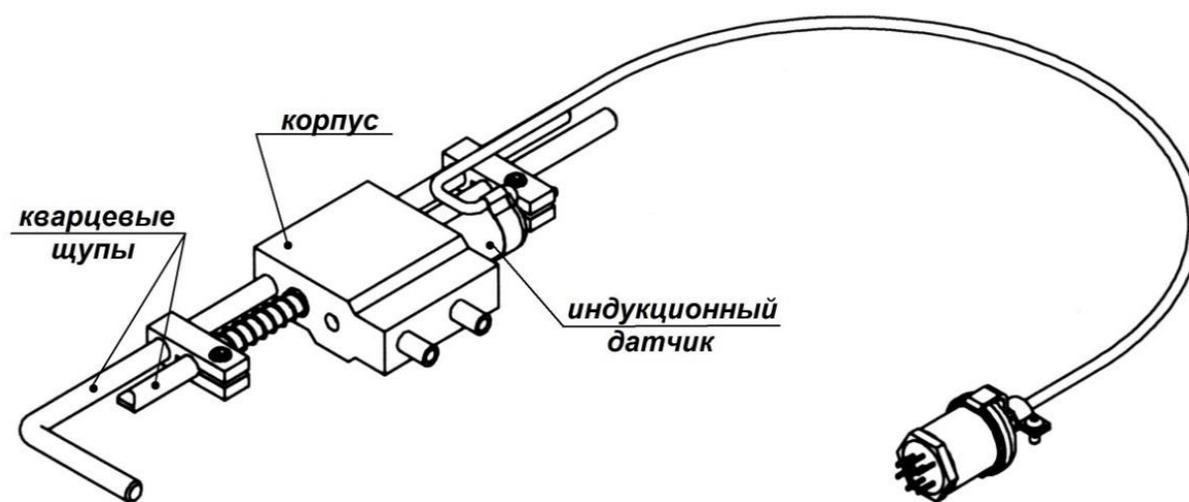


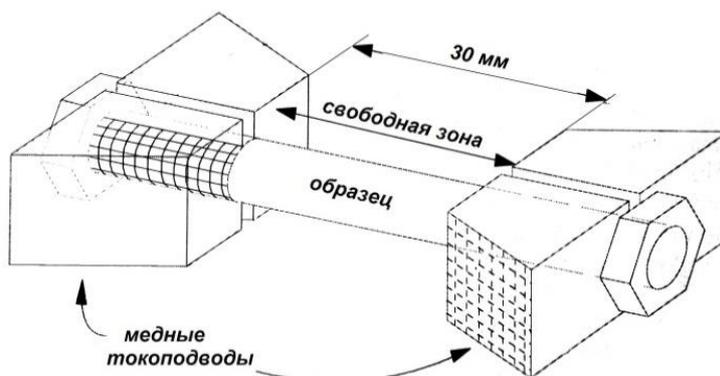
Рис. 6. Индукционный датчик (LVDT)



**Рис. 7.** Установка индукционного датчика

Во-вторых, существует сложность получения высоких скоростей охлаждения характерных для сварки, поскольку охлаждение образца осуществляется только за счёт водоохлаждаемых захватов.

Повысить скорости охлаждения можно только за счёт уменьшения базы самого образца, т.е. проточив диаметр или уменьшив длину, но это создаёт дополнительные трудности при использовании индукционного датчика, в этом случае его будет практически невозможно установить в рабочее положение.



**Рис. 8.** Охлаждение образца

## Заключение

Проведенный анализ существующего оборудования для дилатометрических испытаний показал, что на сегодняшний день, как в России, так и в мире существует очень мало установок, позволяющих проводить подобные исследования. Большинство из них имеют неопределённость в измерении или температуры, или деформации и не обеспечивают достаточных скоростей охлаждения.

В этой связи разработка нового дилатометра, свободного от указанных недостатков, является отдельной задачей.

## Список литературы

- [1]. Коновалов А.В., Куркин А.С., Макаров Э.Л. и др. Теория сварочных процессов: учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 752 с.
- [2]. Макаров Э.Л., Якушин Б.Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов / Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 487 с.
- [3]. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. Монография. М.: Машиностроение. 1981. 248 с.
- [4]. Сварка и свариваемые материалы: Справочник. В 3-х т. Т.1. Свариваемость материалов / Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия. 1991. 528 с.
- [5]. Макаров Э.Л., Коновалов А.В. Система компьютерного анализа свариваемости и технологии сварки конструкционных легированных сталей // Сварочное производство. 1995. № 3. С. 6-9.
- [6]. Шоршоров М.Х. Металловедение сварки сталей и сплавов титана. М.: Наука. 1965. 336 с.