

УДК 620.1.08

Особенности записи и обработки термических циклов при сварке

Дорохина А.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

Лисняк А.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Технологии сварки и диагностики»*

Научный руководитель: Королёв С.А., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
aleshin@bmstu.ru*

Введение. В процессе сварки соединение двух заготовок происходит посредством взаимного расплавления их соединяемых кромок, образования общей сварочной ванны и ее последующей кристаллизации (затвердевания). Сварочная ванна при сварке сталей обычно нагревается до температур 1900 – 2000°С. Непосредственно у линии сплавления свариваемый металл нагревается до температуры плавления (приблизительно 1500 °С). Более удаленные от шва точки нагреваются до меньших температур. Зона, нагреваемая выше 723°, претерпевает структурные превращения, образуя так называемую зону термического влияния. Таким образом, различные участки сварных соединений имеют отличающуюся друг от друга структуру и свойства. Типичный вид макроструктуры сварного соединения приведен на рисунке 1.

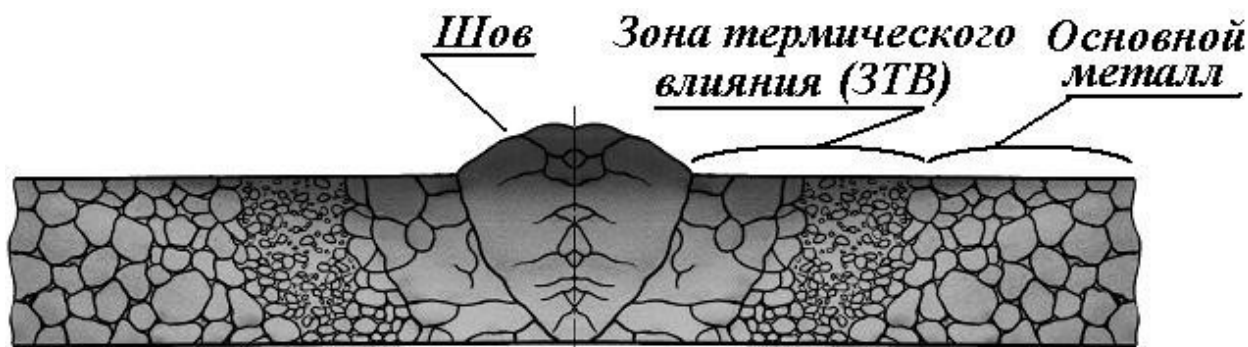


Рис. 1. Схема характерных зон сварного соединения

Вид структура и свойства конкретного участка сварного соединения зависит от характера протекания в нем процессов нагрева и охлаждения. Основным инструментом

для изучения этих процессов в некоторой локальной области тела является сварочный термический цикл (СТЦ). Типичный вид сварочного термического цикла приведен на рисунке 2.

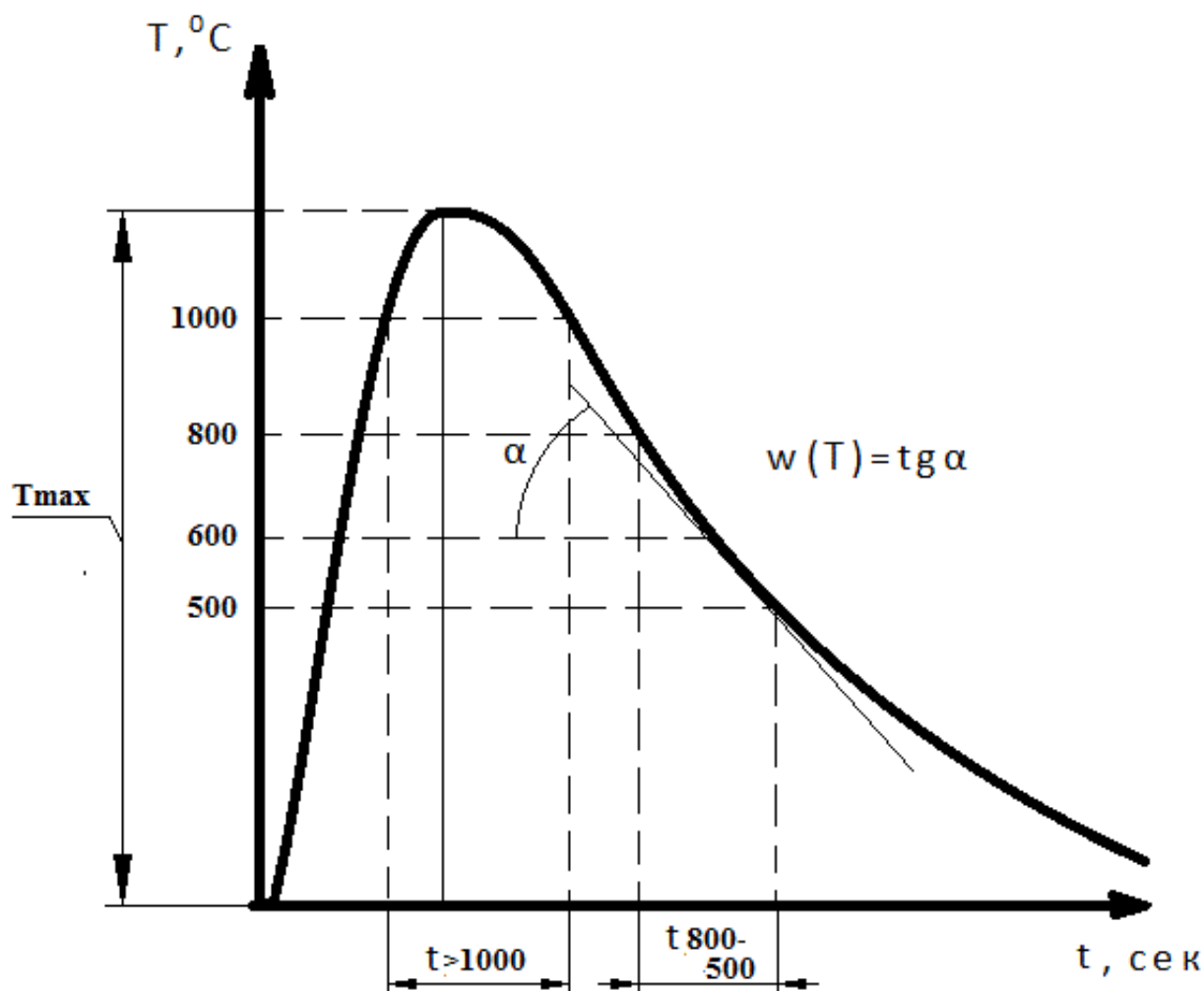


Рис. 2. Сварочный термический цикл

СТЦ отличается от простого термического цикла обычной термической обработки:

- 1) более высокой максимальной температурой для шва и прилегающей к нему зоны;
- 2) быстрым нагревом металла до температуры плавления (для точек, лежащих у линии сплавления);
- 2) быстрым охлаждением металла от высоких температур с уменьшением скорости охлаждения по мере падения температуры;
- 3) уменьшением максимальной температуры нагрева по мере удаления от оси шва.

СТЦ зависит от технологии сварки, режима сварки, вида свариваемых заготовок, условий окружающей среды и т.д.

Основными параметрами, описывающими СТЦ являются:

- 1) максимальная температура нагрева ($T_{\max}$, °C);
- 2) время пребывания металла выше температуры 1000 °C ($t_{>1000}$, с), от которого зависит размер зерна;
- 2) время охлаждения в интервале температур 800 – 500°C ($t_{8/5}$, с), в котором происходят структурные превращения;
- 3) скорости охлаждения в интервале температур 600 – 500 °C ($\omega_{6/5}$, °C/с).

Увеличение погонной энергии или подогрев стали перед сваркой увеличивает время пребывания выше 1000 °C и время охлаждения от 800 до 500 °C.

Цель работы состояла в регистрации и обработки сварочных термических циклов при многослойной сварке.

Работа проводилась в несколько этапов.

Подготовка образцов к сварке. На первом этапе проводилась подготовка образцов к сварке. Разделка кромок образцов приведена на рисунке 3.

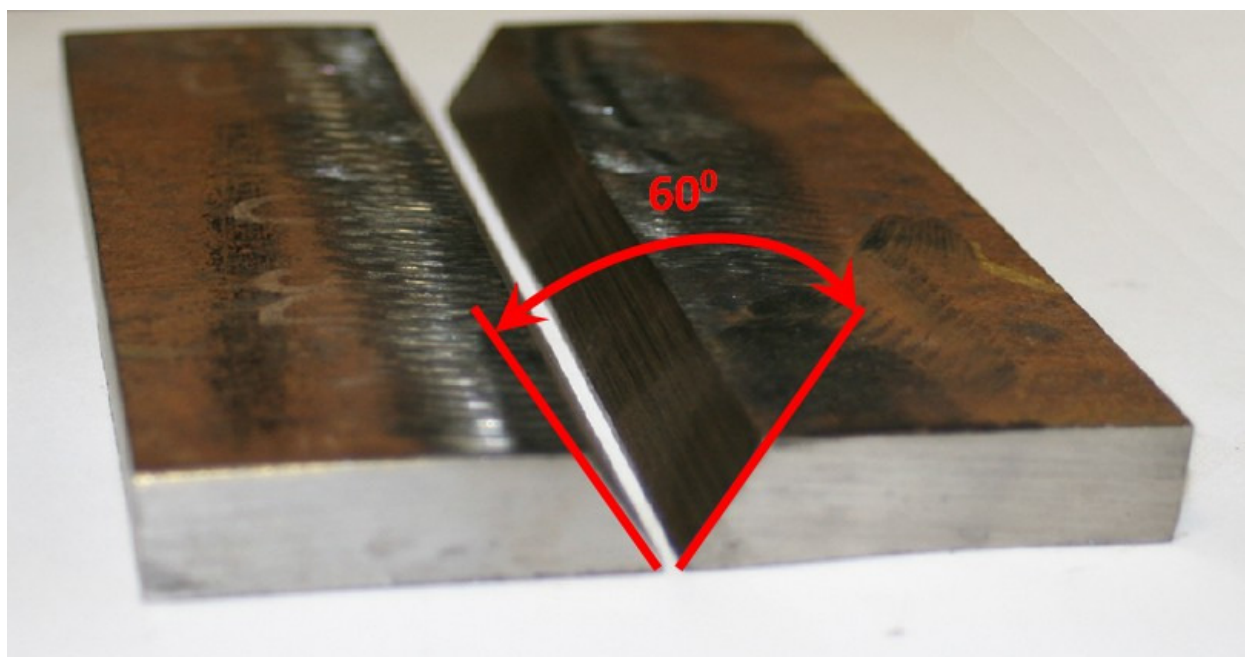


Рис. 3. Разделка кромок образцов на заготовках

Данная операция применяется в тех случаях, когда из-за большой толщины свариваемого металла, отсутствия источников питания достаточной мощности или из-за других технологических соображений нельзя обеспечить полный провар соединения путем проплавления основного металла. Полный провар является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом.

Выбор способа измерения температур. В общем случае температуры при сварке могут измеряться контактными термометрами, термокарандашами, пирометрами и термопарами. В данной работе использовались термопары, к преимуществам которых можно отнести следующее:

- высокая точность измерения значений температуры (вплоть до $\pm 0,01$ °C);
- большой температурный диапазон измерения: от -200 °C до 2500 °C;
- простота;
- дешевизна;
- надежность.

Термопара (термоэлектрический преобразователь температуры) – термоэлемент, применяемый в измерительных и преобразовательных устройствах, а также в системах автоматизации.

Международный стандарт на термопары МЭК 60584 (п.2.2) дает следующее определение термопары: Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце и формирующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.

Принцип действия термопары основан на эффекте Зеебека или, иначе, термоэлектрическом эффекте. Суть этого эффекта состоит в следующем. Между соединёнными проводниками имеется контактная разность потенциалов. Если стыки связанных в кольцо проводников находятся при одинаковой температуре, сумма таких разностей потенциалов равна нулю. Когда же стыки находятся при разных температурах, разность потенциалов между ними зависит от разности температур. Коэффициент пропорциональности в этой зависимости называют коэффициентом термо-ЭДС. У разных металлов коэффициент термо-ЭДС разный и, соответственно, разность потенциалов, возникающая между концами разных проводников, будет различная. Помещая спай из металлов с отличными коэффициентами термо-ЭДС в среду с температурой T_1 , мы получим напряжение между противоположными контактами, находящимися при другой температуре T_2 , которое будет пропорционально разности температур T_1 и T_2 .

Некоторые типы термопар по ГОСТ Р 8.585-2001 приведены в таблице 1.

Химический состав основных типов ТП и пределы измеряемых температур

Тип термопары	Обозначение МЭК	Буквенное обозначение НСХ	Химический состав термоэлектродов, мас. %		Пределы измеряемых температур, Со		
			положительный	отрицательный	нижний	верхний	Кратковременно
Медь-константановая ТМКн	Cu-CuNi	T	Cu	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	350	400
Хромель-копелевая ТХК	—	L	Ni+9,5 Cr	Cu+(42-44)Ni+0.5Mn+0.1Fe	-200	600	800
Хромель-константановая ТХКн	NiCr-CuNi	E	Ni+9,5 Cr	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	700	900
Железо-константановая ТХК	Fe- CuNi	J	Fe	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	750	900
Хромель-алюмелевая ТХА	NiCr-NiAl	K	Ni+9,5 Cr	Ni+1Si+2Al+2,5Mn	-200	1200	1300
Нихросил-нисиловая ТНН	NiCrSi-NiSi	N	Ni+14,2Cr+1,4Si	Ni+4,4Si+0,1Mg	-270	1200	1300
Платинородий-платиновые ТПП13	—	R	Pt+13Rh	Pt	0	1300	1600
ТПП10	—	S	Pt+10Rh	Pt	0	1300	1600
Платинородий-платинородиевая	—	B	Pt+30Rh	Pt+6Rh	600	1700	—
Вольфрамений-Вольфрамениевые (А-1; А-2; А-3)	—	—	W+5%Re	W+20%Re	0	2200	2500

Термопары из вольфрам-рениевого сплава являются самыми высокотемпературными контактными датчиками температуры. Такие термопары незаменимы в металлургии для контроля температуры расплавленных металлов.

Так как в нашей работе планировалось регистрировать СТЦ в зоне термического влияния, то использовались хромель-алюмелевые термопары, так как их верхний предел рабочего диапазона измеряемых температур лежит в устраиваемом нас интервале 1300 – 1500 °С (ниже температуры плавления стали).

Изготовление термопар. Изготовить термопару (соединить два разнородных проводника) можно различными способами:

- сваркой неплавящимся электродом;
- контактной сваркой;
- конденсаторной сваркой и др.

В работе использовался первый способ - аргонодуговая сварка неплавящимся электродом.

Процесс изготовления термопары состоял из следующих этапов:

- 1 – скрутка концов проволок;
- 2 – фиксация их в медных пластинах;
- 3 – возбуждение сварочной дуги и сварка концов с образованием шарика;
- 4 – изоляция входящих в термопару проводников.

На рисунке 4 показан момент начала сварки концов соединяемых проводников термопары.



Рис. 4. Процесс изготовления ТП

Полученная термопара представлена на рисунке 5. Она состоит из общего спая, изолирующего материала и клемм на свободных концах для удобства дальнейшей эксплуатации.

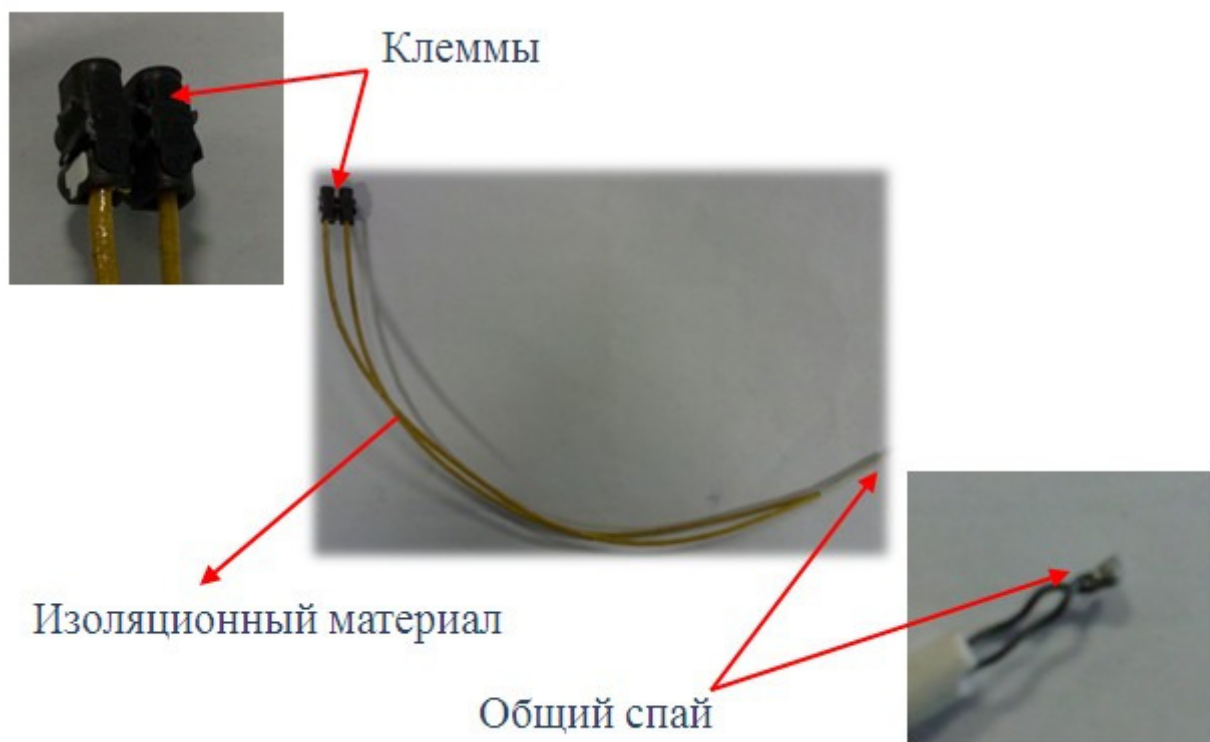


Рис. 5. Полученная термопара

Калибровка аналого-цифрового преобразователя. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код.

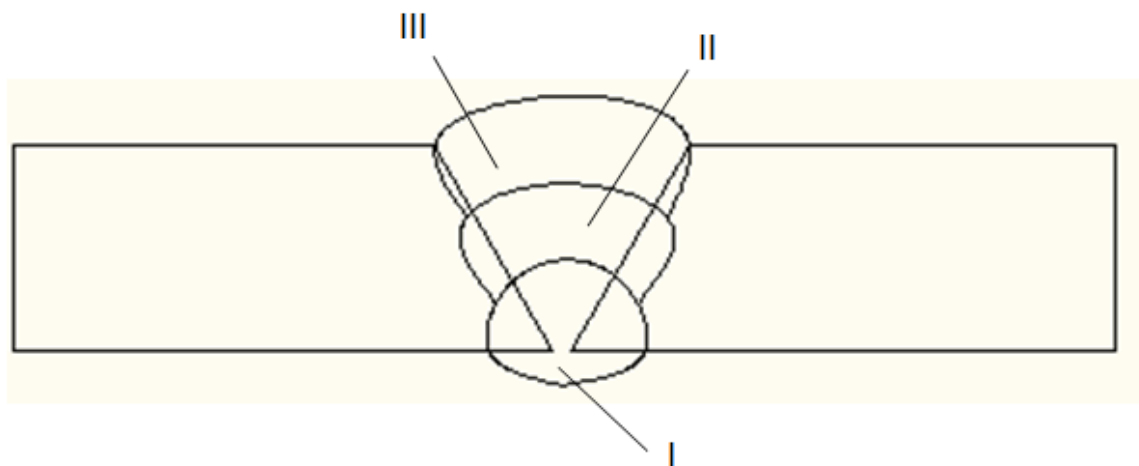
В процессе подготовки к эксперименту проводилась калибровка каналов АЦП для используемых термопар. Процесс калибровки изображен на рисунке 6.



Рис. 6. Калибровка каналов АЦП

Для этого при помощи специального источника питания на каналы АЦП подавались заранее известные напряжения, соответствующее температурам 100, 500 и 1300 °С. Значения напряжений для соответствующих температур брались из ГОСТ Р 8.585-2001.

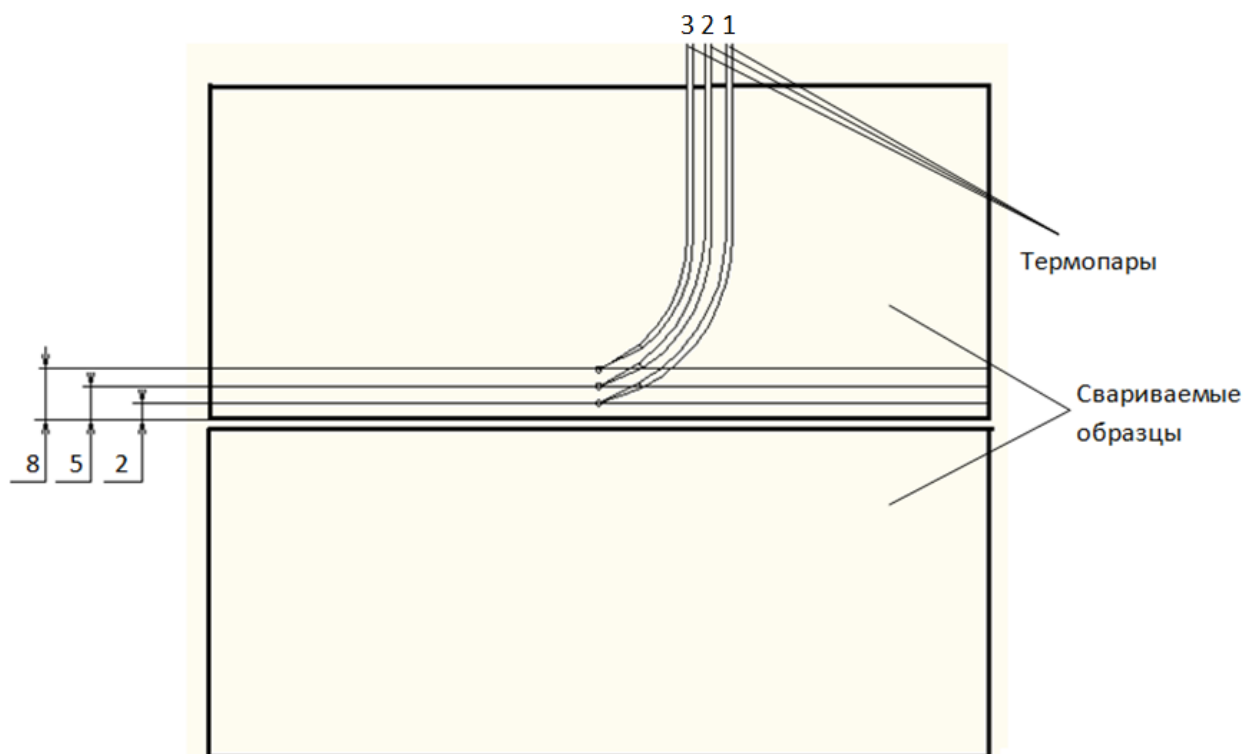
Сбор и подключение оборудования: приварка термопар. В данной работе проводилась запись и обработка СТЦ при механизированной сварке плавящимся электродом в среде защитных газов. Сварка выполнялась на следующих режимах: диаметр проволоки – 1.2 мм, сварочный ток 180 ... 200 А, скорость подачи проволоки – 7 ... 8 м/мин, расход защитного газа – 12 ... 14 л/мин. Сваривались образцы толщиной 12 мм, поэтому для получения качественного сварного соединения на них была выполнена разделка кромок (под углом 60 градусов). Заполнение разделки выполнялось за три прохода. Схема укладки проходов представлена на рисунке 7. Время между проходами составляло 10 минут.



(I, II, III – слои шва)

Рис. 7. Схема сварки заготовок

Выбранные ранее хромель – алюмелевые термопары устанавливались на разном расстоянии от сплавляемой кромки с обратной стороны: 2, 5 и 8 мм. Схема расположения термопар показана на рисунке 8. Приварка термопар выполнялась при помощи установки для конденсаторной сварки. Места приварки термопар предварительно зачищались.



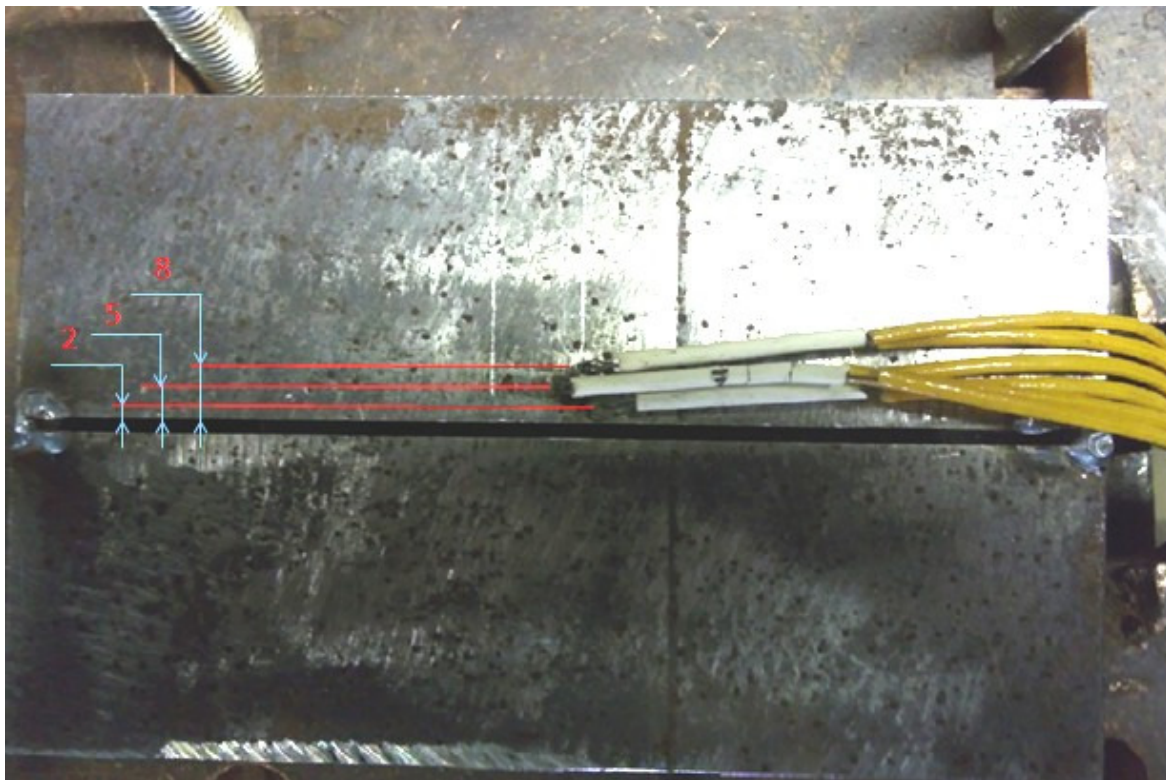


Рис. 8. Расположение термопар

Процесс сварки проходил при ускоренном охлаждении, для чего использовалась специально разработанная система, показанная на рисунке 9.

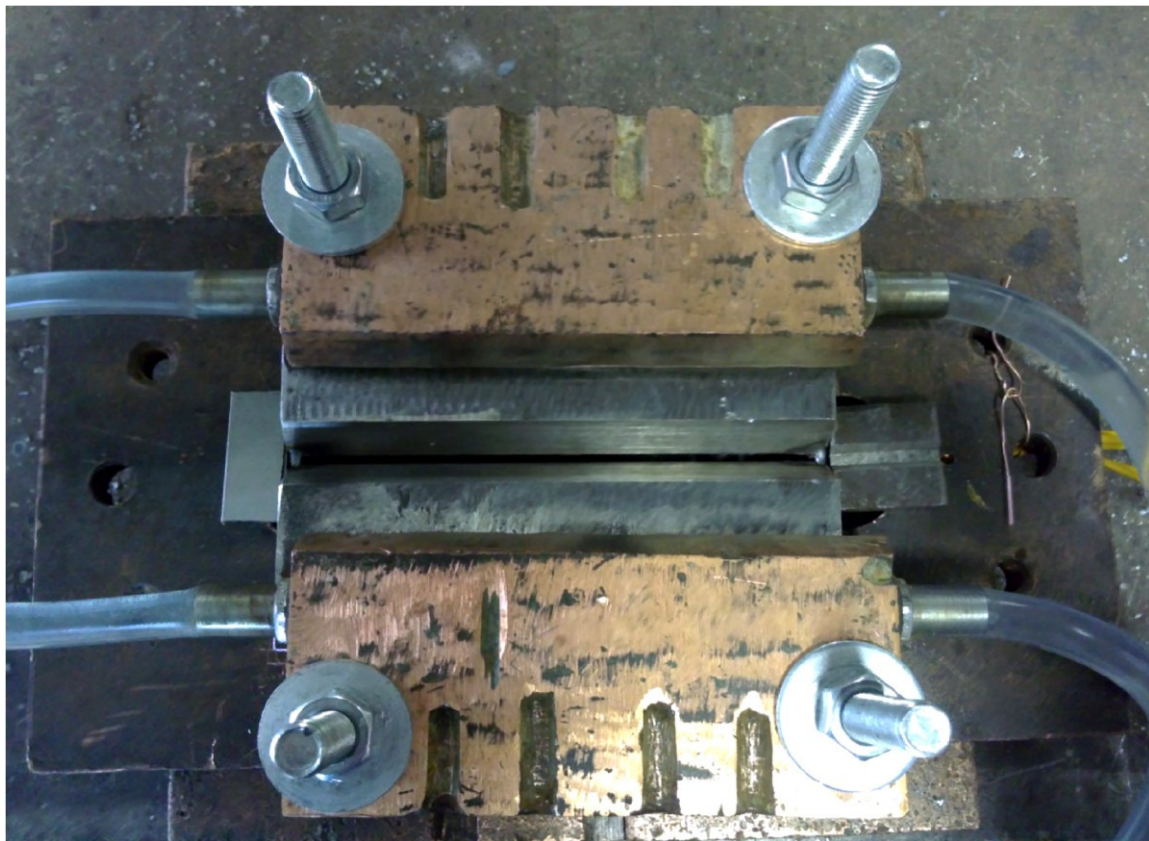


Рис. 9. Подключение системы ускоренного охлаждения

Для записи использовался комплект оборудования, состоящий из многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и промышленного компьютера, изображённых на рисунке 10.



Рис. 10. Комплект оборудования для записи СТЦ (АЦП и ПК)

После записи СТЦ сохранялись на персональном компьютере и обрабатывались в программе Excel, предназначенной для работы с табличными данными. В результате обработки определялись основные параметры сварочных термических циклов, которые определяют свойства сварного соединения.

Вид всего полученного СТЦ представлен на рисунке 11. Вид части СТЦ после первого прохода приведен на рисунке 12. Результаты обработки СТЦ приведены в таблице 2.

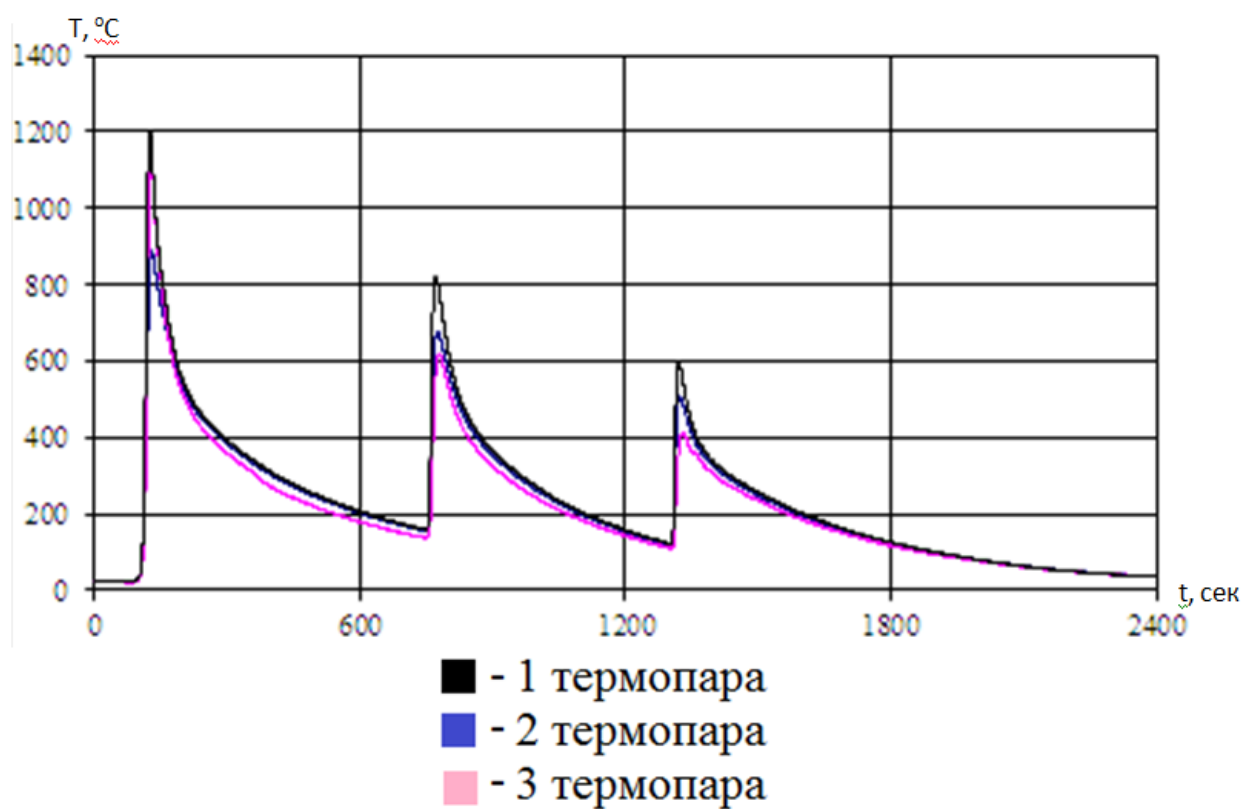


Рис. 11. Полный сварочный термический цикл

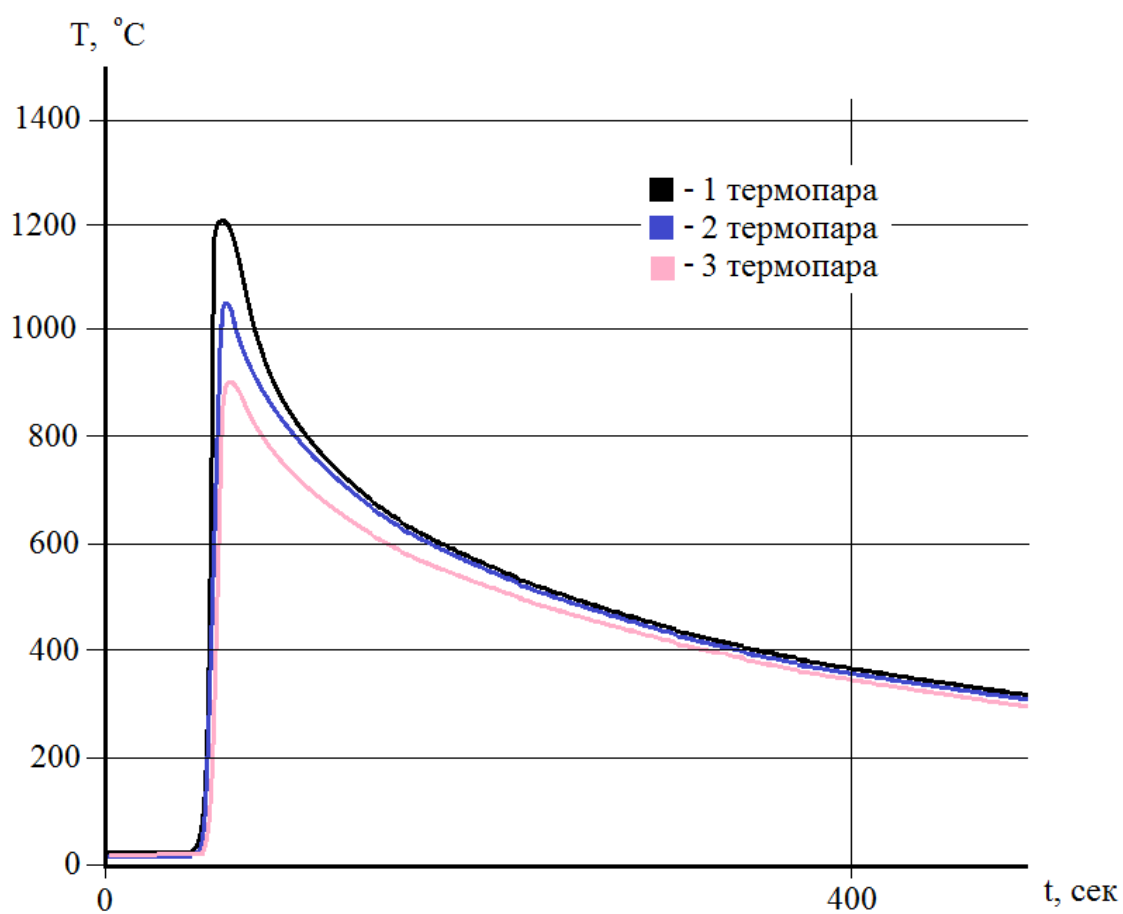


Рис. 12. Сварочный термический цикл для одного прохода

Основные параметры СТЦ

№ термопары	Номер прохода	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	$t_{>1000}, \text{с}$	$\omega_{6/5}, ^\circ\text{C/с}$	$t_{8/5}, \text{с}$
1	1	1204,8	17,4	2,94	65,0
	2	819,2	-	4,35	50,0
	3	593,5	-	5,88	-
2	1	1149,7	14	3,70	53
	2	618,7	-	4,76	-
	3	414,1	-	-	-
3	1	888,1	-	2,78	71,0
	2	676,8	-	4,17	-
	3	507,6	-	-	-

Заключение. Полученные параметры СТЦ будут использоваться для определения свойств исследуемых зон сварного соединения, полученного при указанных условиях сварки.

Дальнейшим продолжением работы является запись и обработка СТЦ для металла сварочной ванны. Для этого планируется использовать аналогичное оборудование, но уже более тугоплавкие вольфрам-рениевые термопары.

Список литературы

1. Гельман М.М. Аналого-цифровые преобразователи для информационно-измерительных систем /Гельман М.М. .М.: Изд-во стандартов, 2009. 317с
2. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства»/В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. 559с.: ил
3. Материаловедение. Учебник для вузов под редакцией Арзамасова. Б.Н. М.: Издательство МГТУ, 2008. 648с.
4. ГОСТ Р 8.585-2001. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. М., 2002. 83с.
5. МЭК 60584-1-2. Термопары – часть 1,2. Таблицы температура – ТЭДС и допуски.