

Для цитирования

Ушаков А.Д. Сварные соединения. Определение размеров участков зоны термического влияния / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 276–279.

УДК 006.05

**СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УЧАСТКОВ ЗОНЫ
ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ**

Ушаков А.Д., ведущий инженер ГЦСТнТ, РУТ «МИИТ», г. Москва

Статья рассматривает актуальную задачу о необходимости разработки нового государственного стандарта по определению размеров участков зоны термического влияния (ЗТВ) по классическому в сварке подходу, а именно, по распределению максимальных температур. Актуальность обусловлена наличием существенных разночтений в существующей нормативной документации относительно терминологии и определений, касающихся ЗТВ. Отсутствие единого подхода и утвержденной методики затрудняет проведение объективных исследований и снижает точность оценки воздействия тепловых процессов на материалы и конструкции. Создание единого стандарта обеспечит согласованность и точность измерений.

Ключевые слова: зона термического влияния, основной металл, размер, сварной шов, структура металла, термин, термический цикл, участок.

**WELDED CONNECTIONS. DETERMINING THE SIZE OF AREAS
IN THE HEAT-AFFECTED ZONE**

Ushakov A.D., Leading Engineer RUT MIIT, Moscow

The article addresses an urgent task regarding the need to develop a new state standard for determining the dimensions of heat-affected zone areas based on the classical welding approach—namely, by distributing maximum temperatures. The urgency is due to significant discrepancies in existing regulatory documentation concerning terminology and definitions related to the heat-affected zones. Lack of a unified approach and approved methodology complicates objective research and reduces the accuracy of assessing thermal process impacts on materials and structures. Establishing a single standard will ensure consistency and precision in measurements.

Keywords: o heat-affected zone, base metal, size, welded Joint, metal structure, term, thermal cycle, section.

При формировании сварных швов сваркой плавлением помимо самого шва образуется область, подверженная воздействию высоких температур. Впервые в работе В.Н. Шумкина [4] эта область получила название «зона термического влияния» (далее – ЗТВ). Определение ее размеров важно для понимания процессов, происходящих в металле, оценки качества соединения и разработки методов контроля сварочного процесса.

Следует уточнить определение термина «ЗТВ». Ранее действовавший ГОСТ 2601–84 определял ЗТВ следующим образом: *участок основного металла, не подвергшегося расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке*. Современный ГОСТ Р 58904–2020 определяет ЗТВ иначе: *участок нерасплавленного основного металла, микроструктура которого изменилась*.

Важно отметить, что новый стандарт исключает указание на изменение свойств металла. Однако в большинстве случаев для снятия остаточных напряжений используют различные виды отпуска, при этом свойства металла изменяются, а структура нет.

Таким образом, старый ГОСТ давал более правильное определение.

Формирование структур в ЗТВ происходит под воздействием термических циклов, изменяющихся по мере удаления от сварного шва. В свою очередь, простой термический цикл описывают с использованием 4 параметров [1–2] (рис. 1): T_{max} – максимальная температура нагрева; ω_n – время нагрева; ω_o – время охлаждения; t_n – время нахождения выше температуры A_{C3} . Однако, определяющим параметром, оказывающим влияние на формирование структуры, считается максимальная температура.

Поскольку структура в пределах ЗТВ изменяется, в 1941 году Г.И. Погодиным-Алексеевым [3], было предложено определять участки ЗТВ по кривой распределения максимальных температур (рис.2). Этот метод качественно объясняет образование участков во взаимосвязи с диаграммой железо-углерод (см. табл. 1). В работе [2] впервые предложено назвать этот метод методом Г.И. Погодина-Алексеева.

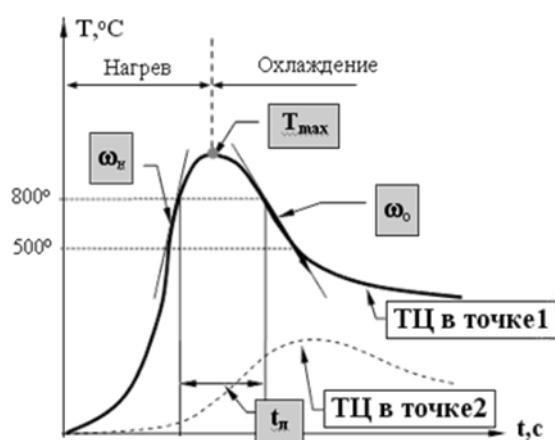


Рис 1. Термический цикл

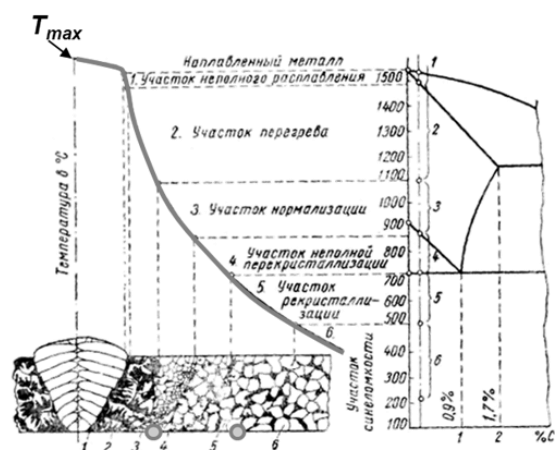


Рис 2. Строение зоны термического влияния

Таблица 1

Характеристики участков зоны термического влияния

Характеристики участков			
№	Структура металла	Температура, °C	Ширина, мм
	Столбчатая, литая, с пониженными механическими свойствами	$> T_L$	$\frac{1}{2}$ ширины шва
1	Рост зерна, образование игольчатой структуры с повышенной хрупкостью	$T_L - T_{сл}^*$	0,1 – 0,4
2	Крупнозернистое строение с пониженной ударной вязкостью и пластичностью	$T_{сл} - 1100$	3–4
3	Измельчение зерна, повышение механических свойств	1100 – 880	0,2 – 4,0
4	Смешанное строение из мелких и крупных зерен с пониженными механическими свойствами	880 – 730	0,1 – 3,0
5	Восстановление формы и размеров зерен металла	730 – 510	0,1 – 1,5
6	Структурных изменений не имеет	510 – 200	0,8 – 12

*) T_L – температура ликвидус; $T_{сл}$ – температура солидус.

Следует отметить, что в некоторых стандартах, например в ГОСТ Р 50.05.02–2022 «Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль

сварных соединений и наплавленных поверхностей», наблюдается не вполне корректное использование самого термина – ЗТВ. Так, в примечании к п. 3.10 данного стандарта говорится: «Сварное соединение включает три характерные зоны, образующиеся во время сварки: зону сварного шва, зону сплавления и зону термического влияния (околошовную зону)». Здесь использован термин – зона сварного шва, однако в соответствии с ранее действовавшим ГОСТ 2601 есть термин № 65 – сварной шов. В действующем в настоящее время ГОСТ Р 58904–2020 «Сварка и родственные процессы. СЛОВАРЬ. Часть 1. Общие термины» в п. 2.1.2.1 введен новый термин – металл шва, определение которого совпадает с термином № 65 в ГОСТ 2601. Таким образом, одному и тому же определению соответствует три термина – зона сварного шва, сварной шов, металл шва.

Кроме того, в ГОСТ Р 50.05.02–2022 использован термин – зона сплавления, что не соответствует классическому подходу по методу Г.И. Погодина-Алексеева, где используется термин – участок № 1 – неполного расплавления.

Следует подчеркнуть, что на протяжении многих десятилетий (с 1974 по 2020 г.) инженеры-сварщики руководствовались положением, изложенным во введениях в ГОСТ 2601 как в 1974 г., так и в 1984 г.: «... Термины, установленные стандартом, обязательны для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе. Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. **Применение терминов-синонимов стандартизованного термина запрещается...**». Однако в ГОСТ Р 50.05.02–2022 использовано два термина-синонима, а именно: зона термического влияния, околошовная зона.

Одним из основных вопросов является: как определить общий размер ЗТВ?

В соответствии с методом Г.И. Погодина-Алексеева этот размер определяют по расположению $T_{max} = 200^{\circ}\text{C}$. Однако на сегодняшний момент в ряде нормативных документов нормируется определение ЗТВ по замерам твердости металла (табл. 2). Исходя из логики и физического смысла термина, оценка размера ЗТВ должна проводиться исключительно на основании измерения температуры (в градусах), а не косвенно оцениваемых показателей, таких как твердость поверхности (в МПа).

Таблица 2

Определение ЗТВ по твердости

СНиП 3.06.04–91	п. 10.58 ... На сварных технологических пробах, кроме того, определяют коэффициент формы провара, ширину и очертание зон термического влияния (ЗТВ), измеряют твердость различных зон сварного шва
СТО-ГК «Трансстрой» – 012-2018	п. 11.31 ... На технологических пробах или контрольных образцах, кроме того, определяют коэффициент формы провара, ширину и очертание ЗТВ, измеряют твердость различных зон сварного шва

Анализируя распределение максимальных температур вдоль оси сварного шва, можно определить размеры различных участков зоны термического влияния. Ниже приведена Методика определения участков ЗТВ:

1. По заданной марке стали, предназначенной для сварки, определяют содержание в ней углерода;
2. Исходя из содержания углерода по диаграмме равновесного состояния железо-углерод определяют критические температуры – Ac_1 , Ac_3 , $T_{с\gamma}$, T_L ;
3. Задают режимы и производят сварку;
4. В предварительно заданных местах методами тепловизионного контроля измеряют значения максимальных температур – T_{max} ;
5. Строят распределение максимальных температур в выбранном сечении;
6. Соотносят измеренные максимальные температуры с критическими и определяют размер участков ЗТВ и по равновесной диаграмме железо-углерод прогнозируют структуру, в

частности, в участках 2–4 в зависимости от степени аустенизации (т.е. диапазонов температур образования и роста аустенита) в стали.

7. Для распределения максимальных температур по сварному соединению могут использоваться следующие методы:

Дополнительно к п. 1 методики следует уточнить, что в различных сталях легирующие элементы изменяют положение критических точек, в результате чего они расширяют или сужают область аустенита и могут способствовать образованию карбидов. Поэтому целесообразно использовать критерий $C_{экв}$, который основан на приведении основных химических элементов металла к углероду.

Выводы:

1. В результате научного анализа ряда стандартов выявлены следующие аспекты: используются термины-синонимы, что недопустимо для применения в документации всех видов, научно-технической, учебной и справочной литературе; одному и тому же определению соответствуют три термина – зона сварного шва, сварной шов, металл шва; на сегодняшний момент в ряде нормативных документов нормируется определение ЗТВ по замерам твердости металла.

2. В настоящее время отсутствует стандарт по регламентации определения размеров участков и общего размера зоны термического влияния, на основании чего предлагается разработать национальный стандарт РФ «Сварные соединения. Определение размеров участков зоны термического влияния».

Список литературы

1. Петров С.Ю. Сварка развитие основных понятий. – М.: Из-во «МБА», 2021. – 40 с.
2. Петров С.Ю. Теоретические подходы к описанию структурных превращений в зоне термического влияния. Анализ имеющихся подходов // Сварочное производство. № 10, 2021. – С. 3–11.
3. Погодин-Алексеев Г.И. Теория сварочных процессов. – М.-Л.: Машгиз, 1945. – 368 с.
4. Шумкин В.Н. Теоретические основы сварки. Конспект лекций. II часть. – Владивосток: 1937. – 122 с.

References

1. Petrov S.Yu. Welding Development of Basic Concepts. – M.: MBA Publ., 2021. – 40 p.
2. Petrov S.Yu. Theoretical Approaches to Describing Structural Transformations in the Heat-Affected Zone. Analysis of Existing Approaches. // Welding Production, no. 10, 2021, pp. 3–11.
3. Pogodin-Alekseyev G.I. Theory of Welding Processes. – M.-L.: Mashgiz Publ., 1945. – 368 p.
4. Shumkin V.N. Theoretical Foundations of Welding. Lecture Notes. Part II / Vladivostok, 1937. – 122 p.