

Обоснование требований к системе нагрева имитатора сварочных термических циклов

01, январь 2016

Муртазина З. Х.^{1,*}, Сударева А. А.¹, Коновалов А.В.¹

УДК 62-1

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

*zulphiya.murtazina@gmail.com

Введение

Вследствие локального тепловложения при сварке структура и свойства различных зон сварного соединения заметно различаются [1-4]. Так, рядом со швом образуется зона термического влияния (ЗТВ), которая, в свою очередь, состоит из нескольких характерных участков. В непосредственной близости от шва, где максимальные температуры нагрева превышали 1000°C, располагается участок перегрева с крупным зерном. Рядом с ним расположен участок полной перекристаллизации, в котором максимальные температуры превышали A_3 и $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение произошло полностью с образованием мелкого зерна аустенита. Далее расположены участок неполной перекристаллизации, участок отпуска и т.п.

В связи с тем, что размеры указанных участков ЗТВ невелики, исследовать свойства материала непосредственно на сварном соединении очень сложно. Поэтому в практике сварочного материаловедения обычно используют образцы основного металла, обработанные имитированным сварочным термическим циклом (СТЦ) [5-7].

Для проведения таких исследований на кафедре сварки МГТУ им. Н.Э. Баумана разрабатывается имитатор сварочных термических циклов с компьютерным управлением, реализующий идею высокоскоростного нагрева образца протекающим током и его ускоренное охлаждение водо-воздушной смесью. Установка включает в себя корпус, рабочую камеру, блок электронного управления и компьютер со специализированным программным обеспечением.

Поскольку СТЦ характеризуется высокими скоростями нагрева и охлаждения, то к устройству нагрева образца предъявляются следующие требования: нагрев образца должен быть равномерным по всему сечению и скорость нагрева должна легко регулироваться. Проще всего указанные требования выполняются при нагреве образца протекающим током. Именно так устроена лабораторная установка ЛТП 3-5 [2-3], предназначенная для исследований высокотемпературной хрупкости металлических материалов.

1. Расчет токов для обеспечения необходимых скоростей нагрева

Имеется образец 10х10х120 (рис.1), который обрабатывается имитированным СТЦ.

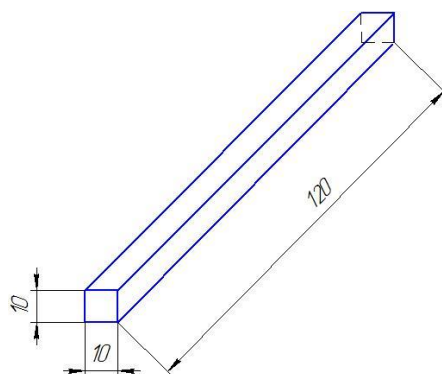


Рис. 1. Исследуемый образец

Запишем тепловой баланс [1] для сечения бесконечно малой толщины dx (рис.2)

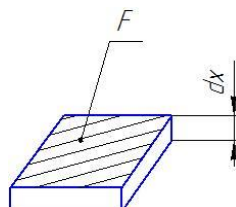


Рис. 2. Рассматриваемое сечение

Образец можно рассматривать, как проводник с током, поэтому по закону Джоуля-Ленца полученная теплота

$$dQ_{\text{получ}} = I^2 \cdot R \cdot dt = I^2 \cdot r_0 \cdot \frac{dx}{F} dt$$

где I – ток, протекающий через это сечение, r_0 – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен образец, dx – длина проводника, F – площадь поперечного сечения проводника.

Теплота идет на нагрев образца и потери в окружающую среду

$$dQ_{\text{отд}} = dQ_{\text{нагр}} + dQ_{\text{потерь}} = c\rho \cdot F \cdot dx \cdot dT + \alpha \cdot (T - T_c) \cdot P \cdot dx \cdot dt$$

где $c\rho$ – объемная теплоемкость материала, из которого изготовлен образец, α – коэффициент поверхностной теплоотдачи, T – температура, до которой был нагрет образец, T_c – температура окружающей среды, P – периметр.

$$dQ_{\text{отд}} = dQ_{\text{получ}}$$

$$c\rho \cdot F \cdot dx \cdot dT + \alpha \cdot (T - T_c) \cdot P \cdot dx \cdot dt = I^2 \cdot r_0 \cdot \frac{dx}{F} dt$$

Разделим обе части уравнения на dx :

$$c\rho \cdot F \cdot dT + \alpha \cdot (T - T_c) \cdot P = \frac{I^2 \cdot r_0}{F} dt$$

$$c\rho \cdot F \cdot dT = \left(\frac{I^2 \cdot r_0}{F} - \alpha \cdot (T - T_c) \cdot P \right) \cdot dt$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{r_0}{c\rho} \cdot \left(\frac{I^2}{F^2} \right) - \frac{\alpha \cdot P}{c\rho \cdot F} \cdot (T - T_c)$$

Расчет тока выполнен для скорости нагрева $\omega_{нагр}=1000\text{K/с}$

При больших скоростях нагрева потерями в окружающую среду можно пренебречь [1], поэтому полученное дифференциальное уравнение примет вид:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{r_0}{c\rho} \cdot \left(\frac{I^2}{F^2} \right)$$

$$\omega_{нагр} = \frac{dT}{dt}, \quad \omega_{нагр} = \frac{r_0}{c\rho} \cdot \left(\frac{I^2}{F^2} \right) \Rightarrow I = \sqrt{\frac{\omega_{нагр} \cdot c\rho}{r_0}} \cdot F$$

Для стального образца:

$$c\rho = 5 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^3 \cdot \text{K}}; \quad r_0 = 14 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

$$I = \sqrt{\frac{\omega_{нагр} \cdot c\rho}{r_0}} \cdot F = \sqrt{\frac{1000 \cdot 5}{14 \cdot 10^{-6}}} \cdot 1 = 18898 \text{ А}$$

Для алюминиевого образца

$$c\rho = 2,7 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^3 \cdot \text{K}}; \quad r_0 = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

$$I = \sqrt{\frac{\omega_{нагр} \cdot c\rho}{r_0}} \cdot F = \sqrt{\frac{1000 \cdot 2,7}{2,7 \cdot 10^{-6}}} \cdot 1 = 31623 \text{ А}$$

2. Расчет токов для снятия кривых отпуска

Для снятия кривых отпуска образец длительное время должен находиться при заданной температуре [6, 7] (обычно в интервале от 100^0 до 600^0C). В этом случае необходимо рассмотреть тепловое равновесие:

$$T = \text{const} \Rightarrow \frac{dT}{dt} = 0$$

Тогда дифференциальное уравнение примет вид:

$$\frac{r_0}{c\rho} \cdot \left(\frac{I^2}{F^2} \right) = \frac{\alpha \cdot P}{c\rho \cdot F} \cdot (T - T_c)$$

Выражаем отсюда ток подогрева:

$$I = \sqrt{\frac{\alpha \cdot P}{r_0} \cdot (T - T_c)} \cdot F$$

График зависимости силы тока от необходимой температуры выдержки представлен на рисунке 3.

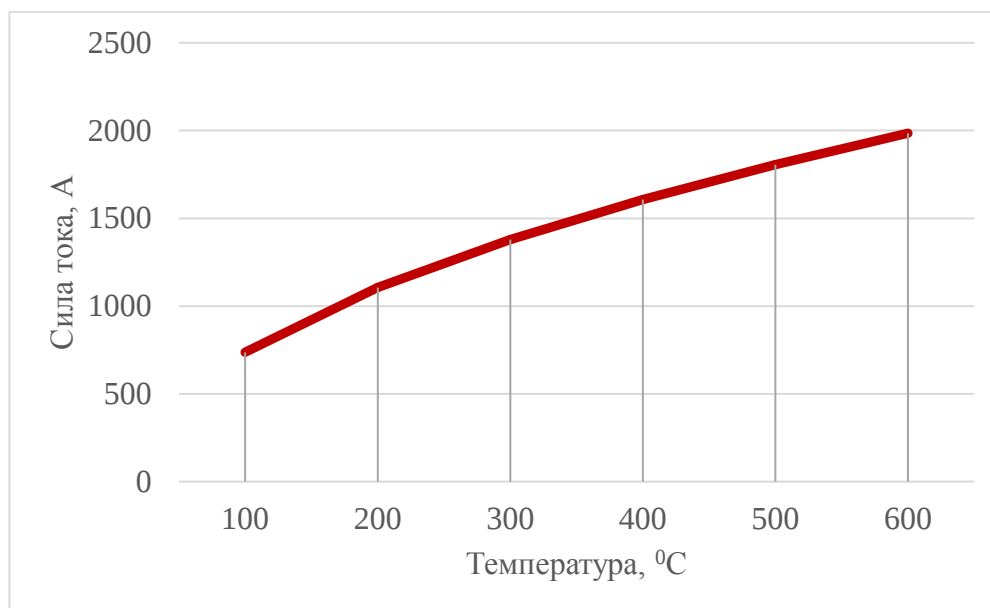


Рис. 3. График зависимости силы тока от температуры выдержки.

Заключение

Выполненные тепловые расчеты показывают, что для высокоскоростного нагрева стального образца сечением 10x10 мм сила протекающего тока должна составлять десятки тысяч ампер. Поэтому в качестве источника тока в лабораторном имитаторе следует использовать сварочный трансформатор от машины контактной сварки.

Список литературы

- [1]. Коновалов А.В., Неровный В.М., Куркин А.С. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Нероного. 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. М.: Машиностроение. 1981. 248 с.
- [4]. Сварка и свариваемые материалы: Справочник. В 3-х г. 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.
- [7]. Муртазина З.Х., Сударева А.А., Коновалов А.В. Анализ существующего оборудования для дилатометрических исследований в условиях сварочных термических циклов // Инженерный вестник. 2016. № 07. С. 508-514.