

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ****Рахмонкулов Раимкул**

канд. физ.-мат. наук, доцент Алмалыкского филиала Ташкентского Государственного университета
имени Ислама Каримова,
Узбекистан г. Алмалык

E-mail: raimkul.rakhmonkulov@yandex.ru

Эргашев Махмуд

ст. преп. Алмалыкского филиала Ташкентского Государственного университета имени Ислама Каримова,
Узбекистан г. Алмалык

**MODELING OF THERMAL FIELDS DURING WELDING OF COMPOSITE MATERIALS
BASED ON MATHEMATICAL REGULARITY****Raimkul Rakhmonkulov**

candidate of physical and mathematical Sciences, associate Professor of Almalyk branch
of Tashkent state University named after Islam Karimov,
Uzbekistan, The Almalyk City

Mahmud Ergashev

is a senior lecturer at the Almalyk branch of the Tashkent state University named After Islam Karimov,
Uzbekistan, The Almalyk City

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы распространения тепловых потоков при электродуговой сварке сталей. Составлена программа на языке Delhi 7, позволяющая визуально наблюдать за процессом сварки. Программа составлена для сварки разнородных сталей и учитывает различных коэффициенты сварочных металлов при распространении тепловых потоков в зоне сварки.

ABSTRACT

The article deals with the propagation of heat flows during electric arc welding of steels. A program in the language of Delhi 7 has been compiled that allows you to visually observe the welding process. The program is designed for welding dissimilar steels and takes into account various coefficients of welding metals when heat flows propagate in the welding zone.

Ключевые слова: сварка, тепловое поле, теплопроводность, тепловая мощность, металл шва, блок схема, Delhi 7, процесс, скриншот экрана.

Keywords: welding, thermal field, thermal conductivity, thermal power, weld metal, flowchart, Delhi 7, process, screenshot of the screen.

Введение. Под сварочными процессами принято называть достаточно широкую группу технологических процессов соединения, резки и обработки материалов с использованием местного нагрева деталей. Сварка плавлением отличается от других видов изготовления деталей и конструкций термическим циклом обработки, где материал нагревается до состояния расплавления. Одним из основных элементов получения качественного сварного шва является необходимость регулирования тепловых процессов сварки, зависящих от множества факторов. В этом отношении применение расчетных методов, модели-

рование протекания процесса плавления и распространения тепла являются эффективными способами, облегчающими при минимальных количествах экспериментов получить необходимые технологические параметры сварки плавлением.

Развитие теории тепловых процессов при сварке плавлением связаны с именами академиков Н. Н. Рыкалина, Б. Е. Патона, а также крупных ученых Н. А. Ольшанского, М. А. Дятлова, А. В. Николаева, Г. И. Шоршорова и др.

Сварка плавлением применяется для получения сварных швов различных форм и размеров, различных форм и размеры свариваемых изделий. Если

при расчетах учесть конфигурацию и размеры свариваемых изделий и сварных швов, различные теплофизические коэффициенты свариваемых материалов, то расчеты тепловых процессов усложняются до того, что практическое использование их в инженерных расчетах становится невозможным, особенно для композитно-свариваемых сталей. Для упрощения расчетов формы рассматриваемых тел принимаются в виде простых – пластинки, цилиндры и другие. При расчетах принимается также, что теплофизические коэффициенты материалов не зависят от температуры свариваемых изделий и сварного шва.

Для дуговой сварки плавлением при неподвижном источнике тепла можно считать, что распределение теплового потока происходит по нормальному закону, рисунок 1, кривая **а**, при подвижном источнике тепла или подвижной детали, изотермы имеют вид кривой **б**.

Для случая, рассматриваемой в данной работе, принята схема распространения тепла на поверхности сплошного цилиндра. Сварка ведется по винтовой линии и можно принимать допущение, что тепло от точечного источника распространяется по кольцу на поверхности сплошного цилиндра.

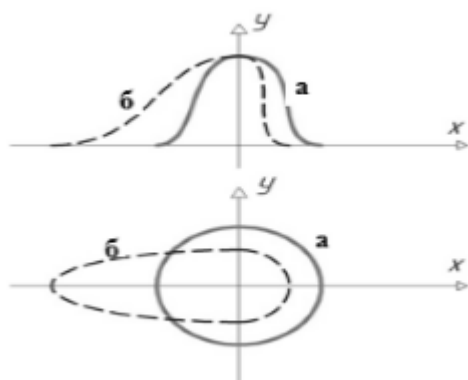


Рисунок 1.

Обеспечение необходимой скорости сварки достигается вращением цилиндра с регулируемой частотой, источник тепла остается неподвижной, что эквивалентно схеме подвижного источника тепла.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования выбран расчет и визуализация результатов расчета тепловых процессов сварки композитных материалов. Автоматизация и визуализация тепловых процессов сварки основана на обработке информации, выполняемых в определенной последовательности. Универсальным устройством современных вычислительных систем, реализующим заданной программой процесс решения задачи, является процессор компьютера. Созданные на основе специальных программ расчеты тепловых процессов дают возможность оптимизировать режимы сварки, прогнозировать надежности результатов и экономически оправдывают затраты.

Температурное поле представляет совокупность мгновенных значений температур во всех точках изучаемого пространства или рассматриваемого тела в данный момент времени. Температурное поле изображается при помощи изотермических линий или изотермических поверхностей.

Исходя из этого, для объекта исследования была составлена программа расчета и визуального наблюдения за изменением температурного поля применительно для станка с числовым программным управлением в целях полной автоматизации технологических операций.

Полученные результаты и их обсуждение. При сварке изделия сосредоточенным источником тепла производится интенсивный кратковременный местный нагрев металла до высоких температур. Тепло, выделяемое источником нагрева, расплавляет небольшой объем металла в месте сварки и вследствие теплопроводности выделенное тепло распространяется в прилегающие слои основного металла.

Теоретическая часть. За короткое время температура металла в месте сварки изменяется в широких пределах, от температуры окружающей среды до температуры плавления, затем по мере удаления источника нагрева металл остывает. При этом в сварочной ванне происходят физико-химические и металлургические процессы, а в наплавленном и основном металле – структурные и объемные изменения. Большая скорость нагрева при сварке и сравнительно быстрое охлаждение создают в свариваемом металле неравномерное температурное поле со значительным падением температуры, при переходе от места сварки к холодным участкам металла. С учетом этих факторов для визуализации процесса сварки и распространении тепловых полей была составлена программа на языке Delphi 7.

Известно что, эффективная тепловая мощность сварочной дуги определяется формулой:

$$Q = \eta I_{\text{сл}} U \quad (5)$$

Где η – коэффициент полезного действия дуги, $I_{\text{сл}}$ сила тока, U напряжения.

Значение η для различных способов сварки:
в среде защитного газа с вольфрамовым электродом – 0,6

покрытым электродом – 0,75

под флюсом – 0,8-0,9

Для описания температурного поля $T(x,y,z,t)$ используется известное дифференциальное нелинейное уравнение теплопроводности [1]:

$$c(T)\rho(T) \frac{dT}{dt} = \lambda(T) \left[\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + \frac{d^2 T}{dz^2} \right]$$

где $\rho(T)$ – плотность, кг/м³; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); $c(T)$ – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С). Зависимость теплофизических свойств стали от температуры $\rho(T)$, $\lambda(T)$, $c(T)$ можно найти [2].

Согласно теории распространения тепла, при сварке температура точек, находящихся на расстоянии «г» от места ввода тепла для времени «t» при нагревании массивного изделия мощным быстро движущимся сосредоточенным (точечным) источником энергии, определяется уравнением

$$T(r) = \frac{q}{2\pi\lambda vt} e^{-\frac{r^2}{4at}} \quad (2)$$

где q — тепловая мощность дуги $\left[\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}\right]$; λ — коэффициент теплопроводности металла; $\left[\frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}}\right]$ v — скорость сварки; $\left[\frac{\text{м}}{\text{мин}}\right]$ t — время, прошедшее с момента прохождения дугой рассматриваемого сечения; a — коэффициент температуропроводности свариваемого металла $\left[\frac{\text{см}^2}{\text{сек}}\right]$.

Для удобства вычисления скорости изменения температуры производной $\left(\frac{dT}{dt}\right)$ логарифмируем выражение (1):

$$\ln T = \ln \frac{q}{2\pi\lambda vt} - \ln t - \frac{r^2}{4at} \quad (2)$$

Далее дифференцируем почленно (2), имея в виду, что первый член правой части для данного режима сварки — величина постоянная:

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = -\frac{1}{t} + \frac{r^2}{4at^2} = \frac{1}{t} \left(\frac{r^2}{4at} - 1 \right) = 0$$

Максимум температуры будет достигнут при:

$$\left(\frac{r^2}{4at} - 1 \right) = 0 \quad (3)$$

Из (3) можно получить максимальное время нагрева:

$$t = \frac{r^2}{4a} \quad (4)$$

На основе этих формул и с использованием методики [3,4,5] была составлена программа на языке Delhi 7, блок схема которой приведена рис. 2.

Из схемы видно, что в программе применены в основном 3 подпрограммы процедур, которые в свою очередь управляются дополнительными процедурами. Эти процедуры управляют скоростью сварки, величиной тока сварки. В программе время максимального удержания электрода вычисляется по формуле (4).

Программа составлена с учетом показателей оборудования и металлов:

сварочный трансформатор ТДФ – 1002

номинальный сварочный ток, А 1000

диапазон регулирования сварочного тока, А 380 – 800

потребляемая мощность, кВа 120

напряжение сети, В 380.

композитный электрод ЭА-395

Материал Температуропроводность; $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

Сталь, 1 % углерода $1,172 \times 10^{-5}$

Нержавеющая сталь $4,2 \times 10^{-6}$

Нержавеющая сталь $3,352 \times 10^{-6}$



Рисунок 2. Блок схема программ

Для пользования программой на основе блок-схемы (рис. 2) поступают следующим образом:

- Запускается процесс «подача»;

В процессе предусмотрен расчет траектории заготовки и скорости сварки. Скриншот экрана приведен на рисунке 3.

- Запускается процесс «пуск»;

Во время работы процесса «пуск» автоматически вычисляется максимальное время нагрева поверхности по формуле (4) свариваемого материала с учетом коэффициента температуропроводности. Вычисля-

ются и отображается на мониторе изоклины распространение температурного поля и другие параметры сварки (рисунок 4).

- Запускается процесс «Выгрузка»; (рисунок 5)

Во время работы с программой не требуется специальной подготовки и обучение персонала. Программа дает возможность наглядно следить за процессом в реальном режиме времени.

Выводы. На основе формулы распространения температурных полей составлена программа визуального наблюдения за процессом сварки и изменением температурного поля, за процессом загрузки и разгрузки деталей. С учетом физических и технологических свойств композитных материалов имеется возможность менять режимы сварки.

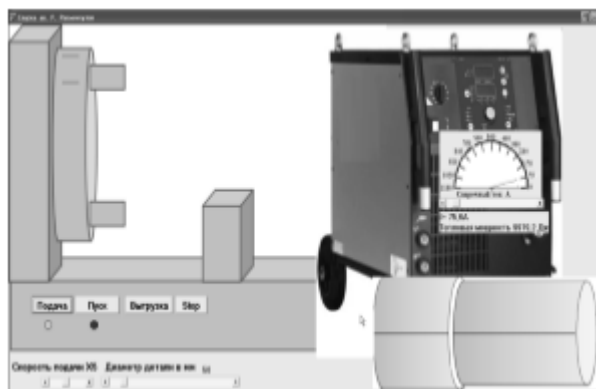


Рисунок 3. Визуализация подачи заготовку
«Процесс подача»

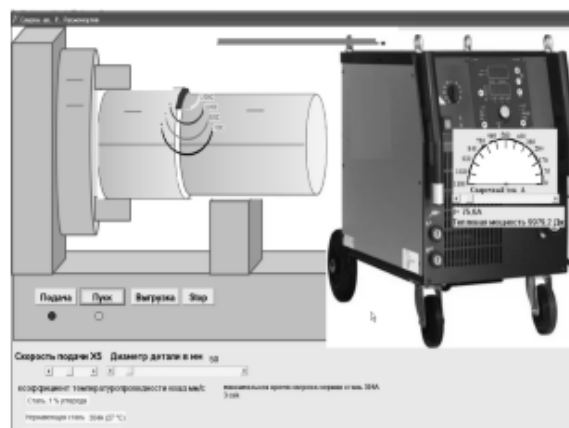


Рисунок 4. скриншот экрана в режиме процесса
«пуск»

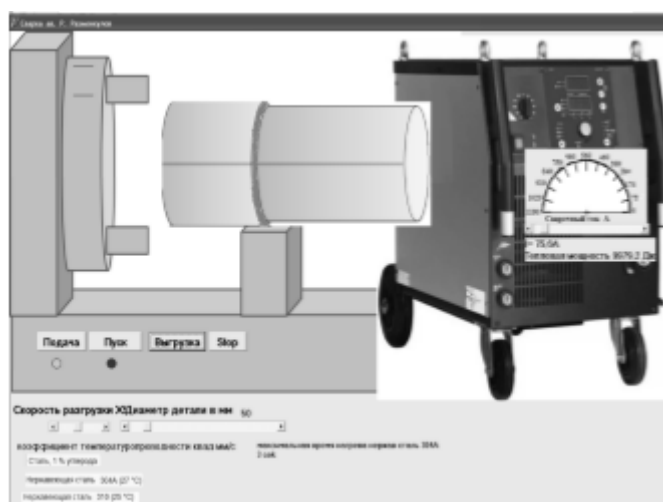


Рисунок 5. Скриншот экрана в режиме «Выгрузка»

Применяя двухкоординатные станки с ЧПУ можно полностью автоматизировать процесс сварки и расчеты тепловых процессов.

Список литературы:

1. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением: Из-во Машиностроение 1974 г
2. Сорокин В. Г., Гервасьева М. А.. Стали и сплавы. Марочник. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 608 с.
3. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы Москва 1951
4. Давыдов А. Ю., Давыдов Ю. С. Сравнение параметров плавления высокохромистой порошковой проволоки при дуговой сварке замыканиями. Сварка реновация триботехника. Материалы IX Уральской научно-практической конференции Нижний Тагил 2019 г. 40-46 с.
5. Чудинов А. А. Инновационный подход к ремонтной сварке. Сварка реновация триботехника Материалы IX Уральской научно-практической конференции Нижний Тагил 2019 г. 82-91 с

6. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
7. Рахмонкулов Р. Бекмуродов У. Применение компьютерных программ для проектирования фрикционных передач. Зарегистрирован в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан в г. Ташкенте, 22.06.2018 г. DGU № 05463
8. Рахмонкулов Р., Бекмуродов У., Бутунов Ж. Автоматический расчет статистического равновесия технических конструкций. Зарегистрирован в государственном реестре программ для электронно-вычислительных машин Республики Узбекистан в г. Ташкенте, 31.01.2019 г. DGU № 06029