

УДК 621.787

Разработка математической модели холодной дуговой сварки серого чугуна

Никишкина Алевтина Борисовна

abnikishkina@bmstu.ru

SPIN-код: 6739-3155

Булычев Всеволод Валериевич

vvbul@bmstu.ru

SPIN-код: 4096-5425

Труханов Константин Юрьевич

konstantin.truhanov@bmstu.ru

SPIN-код: 1564-4885

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

В процессе изготовления литьем и эксплуатации корпусных деталей машин, часто возникают дефекты в виде раковин и трещин. При этом высокая стоимость деталей приводит к целесообразности из ремонта. Одним из способов их устранения является ремонтная сварка. Однако процесс сварки вносит значительные изменения в структуру и напряженное состояние материала. Работа посвящена численному моделированию процесса сварки детали из серого чугуна источником теплоты. Полученная численная модель позволяет проанализировать влияние режимов холодной сварки на распределение температурных полей и напряженно-деформированное состояние зоны сварки.

Ключевые слова: чугун, источник теплоты, компьютерное моделирование, холодная сварка

Многие металлоемкие детали машин изготавливают из серых чугунов. В процессе изготовления подобных деталей литьем, а также в процессе их эксплуатации могут возникать поверхностные дефекты в виде местных износов, раковин и коротких трещин. Одним из низко затратных способов устранения подобных дефектов является их дуговая заварка штучными электродами без предварительного подогрева ремонтируемого изделия (холодная сварка), что позволяет снизить энергоемкость ремонтной технологии по сравнению с методами, предусматривающими подогрев всего изделия, минимизировать общие деформации обрабатываемого изделия. Однако существенным недостатком технологий холодной сварки является повышенная вероятность возникновения в зоне термического влияния трещин, вызванных охрупчиванием основного металла и возникающими остаточными напряжениями растяжения.

В результате литературного обзора статей и патентов за последнее десятилетие по сварке серого чугуна можно сделать вывод, что большинство работ, направленных на совершенствование технологий ремонтной сварки чугуна, связаны с экспериментальными исследованиями особенностей применения новых сварочных материалов, режимов сварки и условий ее реализации [1–4].

Для получения научно-обоснованных направлений совершенствования технологий сварки широкое применение нашли методы математического мо-

делирования. Так, в работе [5] с целью оптимизации процесса ремонтной сварки чугунных деталей было выполнено математическое моделирование температурных полей и напряженно-деформированного состояния (НДС) металла шва и околошовной зоны, на основании чего был выполнен прогноз наиболее вероятных мест образования трещин. В работе был исследован случай наплавки с предварительным подогревом детали до 200 °С.

Однако применительно к холодной сварке чугуна подобные исследования практически отсутствуют, что обуславливает актуальность разработки математической модели, позволяющей проанализировать температурное воздействие точечным источником теплоты, графически визуализировать поля напряжений и температур во всей анализируемой области с целью прогнозирования распределения трещин, температур и напряжений для управления НДС.

Разработка математической модели включала следующие этапы: создание геометрии модели, занесение данных о физических свойствах материалов, задание граничных условий и тепловой нагрузки, создание КЭ сетки, выбор результатов расчетов (напряжений по Мизесу).

При математическом моделировании температурных полей принимали следующие значения основных параметров наплавки и теплофизических характеристик материала: сила тока $I = (150 - 200) \text{ А}$; напряжение $U = 20 \text{ В}$; эффективный КПД нагрева $\eta_{\text{и}} = 0,7$; коэффициент температуропроводности $a = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Определяли количество тепла, выделяемое тепловым источником, а затем в выбранном интервале были выбраны несколько значений: 2100, 2300, 2500 Вт, а длительность горения дуги 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 с.

Рассматривались два этапа решения тепловой задачи:

- 1) стадия нагрева зоны сварки под действием теплового неподвижного теплового источника;
- 2) стадия остывания до комнатной температуры (+22 °С) при выключенном тепловом источнике.

Источник теплоты действовал на окружности диаметром 3 мм (рис. 1). Теплообмен между тепловым источником и поверхностью металла задавали с использованием граничного условия 2-го рода.

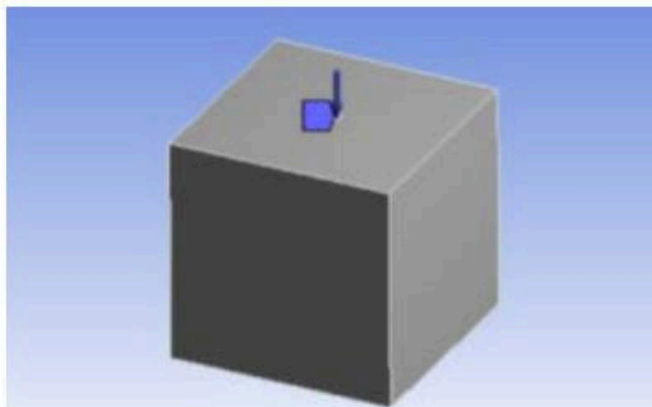


Рис. 1. Ввод теплоты через пятно нагрева

Результат моделирования температурного поля представлен на рис. 2.

Результаты решения тепловой задачи использовались для решения механической задачи. На рис. 3 представлено распределение напряжений по Мизесу после 2,95 с момента начала действия теплового источника.

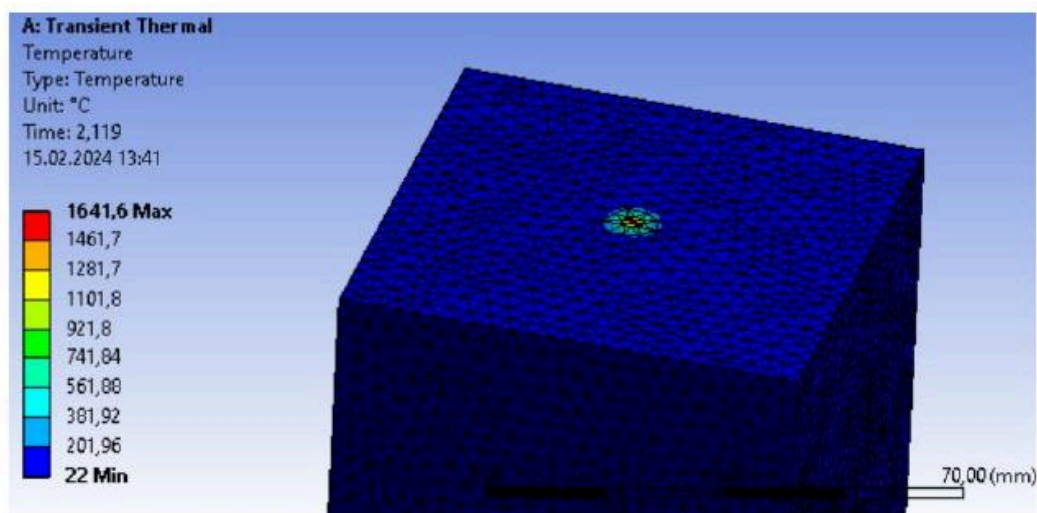


Рис. 2. Температурное поле для цикла 3 с и $q = 2100$ Вт

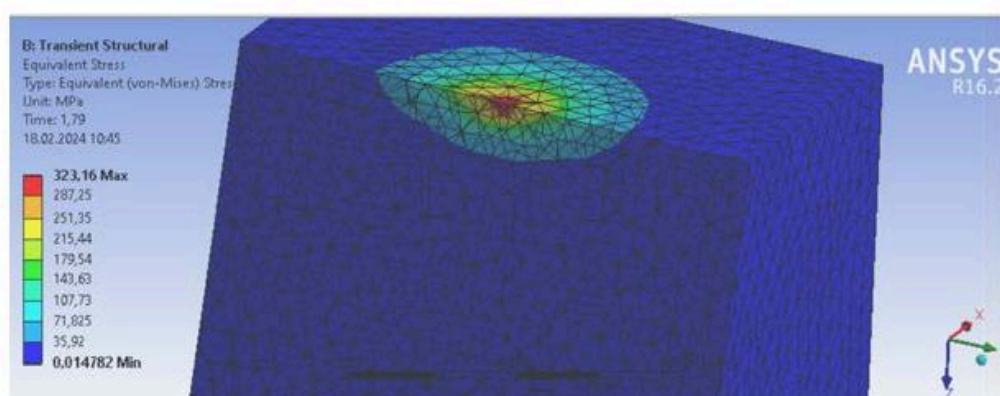


Рис. 3. Напряжения по Мизесу после 2,95 с момента начала действия теплового источника

Так, при длительности горения дуги 3 с и мощности 2100 Вт на расстоянии 1,37 мм от поверхности детали напряжения составили 167 МПа. Полученные результаты с погрешностью 15 % соответствуют результатам экспериментальных исследований [6], что позволяет рекомендовать разработанную математическую модель для прогнозирования результатов наплавки и проверки новых способов холодной дуговой наплавки чугуновых деталей.

Литература

- [1] Бриги́до О.Н., Журавле́в С.Ю. Технология восстановления чугуновых деталей сваркой. *Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века*, 2017, № 8, с. 47–49.

- [2] Чигрин В.Н. Сварка и наплавка при ремонте и восстановлении чугунных деталей. *Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. материалов*. Казань, ЧУДПО «Научно-исследовательский и образовательный центр», 2020, с. 89–93.
- [3] Леонтьев Л.Б., Доценников Е.Д., Погодаев А.В., Чабан П.В. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна. *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*, 2017, № 1 (30), с. 3–14.
- [4] Королев А.Г., Чернова Т.Г. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна. *Наука, техника и образование*, 2021, № 2 (33), с. 5–15.
- [5] Farahani E.B., Sarhadi A., M. Alizadeh-Sh, Fæster S., Danielsen H.K., Eder M.A. Thermomechanical modeling and experimental study of a multi-layer cast iron repair welding for weld-induced crack prediction. *Journal of Manufacturing Processes*, 2023, vol. 104, pp. 443–459. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.08.059>
- [6] Булычев В.В., Никишкина А.Б. *Способ электродуговой наплавки изделий из чугунов*. Патент № 2283709 РФ, 2023, бюл. № 30, 2 с.

Development of a mathematical model for cold arc welding of gray cast iron

Nikishkina A.B.	abnikishkina@bmstu.ru SPIN-code: 6739-3155
Bulychev V.V.	vvbul@bmstu.ru SPIN-code: 4096-5425
Trukhanov K.Y.	konstantin.truhanov@bmstu.ru SPIN-code: 1564-4885

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In the process of casting and operation of machine body parts, defects in the form of shells and cracks often occur. At the same time, the high cost of parts leads to the expediency of repair. One of the ways to eliminate them is repair welding. However, the welding process makes significant changes to the structure and stress state of the material. The work is devoted to numerical modeling of the welding process of a part made of gray cast iron by a heat source. The resulting numerical model makes it possible to analyze the effect of cold-welding modes on the distribution of temperature fields and the stress-strain state of the welding zone.

Keywords: cast iron, heat source, computer modeling, cold welding