

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Болтян А.В., Крючкова А.В..
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Essence of process of electroerosive processing and difficulties arising up here is expounded in the article. Construction of model processed detail with the appendix of intensive thermal loading is offered. With use of a method of final elements distribution of heat on processed detail is calculated at electroerosive processing. Distributing of the temperature fields is found on the purveyance and their numeral values. Recommendations on the use of the got distributing of temperatures are given.

1. Введение. Одним из перспективных направлений новых технологий, позволяющих значительно увеличить производительность обработки труднообрабатываемых материалов, а также стойкость инструментов является электроконтактная обработка (ЭКО), сущностью которой является создание искусственного источника тепла в зоне обработки от ввода технологического тока.

Поскольку электроконтактная обработка характеризуется повышенным разогревом заготовки, [1], то это требует создания новых методов решения задач тепловых процессов, происходящих при ЭКО. Знание характера протекания тепловых процессов, умение управлять ими и проводить широкий круг теплофизических расчётов, необходимы для правильного определения режимов ЭКО, т.е. значений тока и напряжения. Кроме того, определение температур в поверхностных слоях металла при обработке заготовок позволяет учитывать влияние температуры на структуру и напряжённое состояние этих слоёв, а, значит, и качество готовой продукции.

Одним из важнейших параметров, характеризующий технологические условия протекания при ЭКО, является температура, которая определяет как работоспособность применяемого инструмента, так и качество поверхностей обрабатываемых деталей. Это связано со структурными изменениями при высокой температуре, что приводит к повышению интенсивности изнашивания инструмента и, как следствие, ухудшению точности и качества обрабатываемой заготовки. Наряду с экспериментальными исследованиями тепловых задач, в настоящее время всё большее распространение получают теоретические методы исследования, позволяющие рассчитать уровень температур и температурных напряжений во всем объеме заготовки, [1, 2].

Цель исследований: получить распределение тепловых полей по заготовке и их числовые значения при электроконтактной обработке.

Задачи исследований:

1. Рассчитать плотность теплового потока, воздействующего на обрабатываемую поверхность заготовки.
2. Решить задачу при помощи программного пакета ANSYS.
3. Проанализировать полученные результаты.

2. Основное содержание и результаты работы. Как следует из анализа литературных источников, например, [1, 2], точно рассчитать температуру в окрестностях области разряда не представляется возможным. Поскольку процесс ЭКО является совмещенными во времени и пространстве многочисленными дуговыми разрядами (аналогичными разрядам, проходящим при электродуговой сварке), которые происходят между микронеровностями поверхностей двух электродов (заготовки и инструмента), то при рассмотрении теплопередачи от электрода-инструмента до

электрода-заготовки следует учитывать суммарный поток тепла по всем одновременное действующим единичным дуговым импульсам. При этом примем, что единичные импульсы тока, проходящие в зоне «инструмент-заготовка», распределены равномерно по всей площади контакта указанных двух электродов. Тогда, площадь реального теплового контакта двух электродов можно в первом приближении принимать равной половине площади геометрического контакта этих электродов.

В данной статье решена задача определения температурного состояния заготовки из высокопрочного чугуна при черновой электроконтактной обработке. Расчет плотности теплового потока проведен для рабочего колеса шламового насоса, обрабатываемого с помощью ЭКО. Выполнено приближенное решение задачи с помощью программы ANSYS.

На первом этапе заготовка рабочего колеса шламового насоса была разбита на конечные элементы, [3]. В основе метода конечных элементов лежит принцип разбиения сплошной непрерывной среды на конечные элементы, характер взаимодействия которых известен. Критерием оптимизации при решении задачи принят минимум потенциальной энергии тела.

К торцу полученной конечно-элементной модели была приложена тепловая нагрузка, рис.1, [4].

Алгоритм решения задачи был реализован за ряд этапов:

- 1) задание исходных данных;
- 2) построение твердотельной модели;
- 3) разбиение модели на конечные элементы;
- 4) задание тепловых потоков;
- 5) определение свойств решателя и запуск решателя.

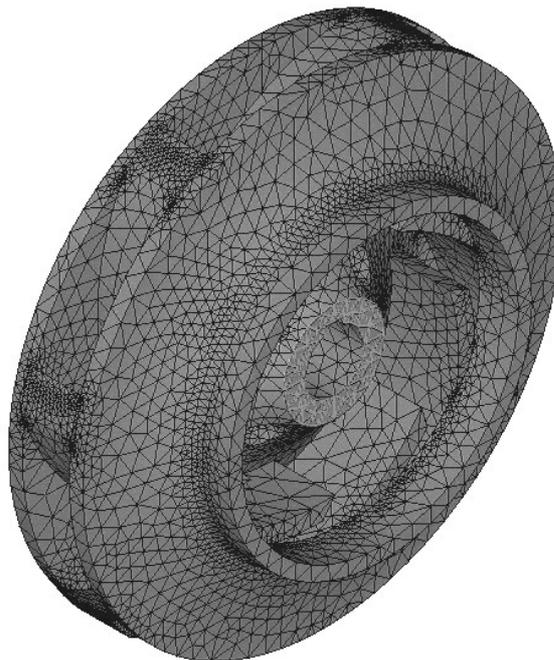


Рис. 1.- Конечно-элементная модель рабочего колеса шламового насоса с приложенной тепловой нагрузкой

Тепловая нагрузка, приложенная к торцу колеса, рассчитывалась аналогично количеству тепла, выделяемого при электродуговой сварке, [5],

$$q = 0.24 \cdot \eta_u \cdot U \cdot I,$$

где U - напряжение,

I - сила тока,

η_u - коэффициент полезного использования энергии, характеризующий долю энергии импульса, используемую на расплавление металла.

В соответствии с [1]:

$$\eta_u = (1 - K1) \cdot (1 - K2) \cdot (1 - K3) \cdot (1 - K4),$$

где $K1$ – потери теплоты на нагрев и испарение жидкости, образование ударной волны и газового пузыря;

$K2$ - потери теплоты на нагрев второго электрода (заготовки);

$K3$ – потери теплоты, зависящие от свойств рабочей среды;

$K4$ – потери теплоты, зависящие от изменения напряжения.

Найдем значения этих составляющих: $K1 \approx 0,47$, $K3 = 0$, $K4 \approx 0,1$. Составляющую $K2$ для заготовки находим по следующей зависимости, [1]:

$$K2 = 1 - 2 / (m + 1),$$

где m - коэффициент, учитывающий свойства материалов инструмента и заготовки.

$$m = \sqrt{\lambda_6 \cdot c_6 \cdot \rho_6 / (\lambda_n \cdot c_n \cdot \rho_n)}, [1],$$

где λ_6, λ_n - коэффициенты теплопроводности электродов (верхнего и нижнего, т.е. инструмента и заготовки);

c_6, c_n - удельные теплоемкости;

ρ_6, ρ_n - плотности материалов соответственно верхнего и нижнего электродов.

Приняв для используемых материалов (заготовка – высокопрочный чугун, инструмент – серый чугун) значения

$$\lambda_6 = 12,9 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}; \quad \lambda_n = 78 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}; \quad c_6 = 473 \frac{Дж}{м \cdot ^\circ C}; \quad c_n = 496 \frac{Дж}{м \cdot ^\circ C}; \quad \rho_6 = 7826 \frac{кг}{м^3},$$

$$\rho_n = 7810 \frac{кг}{м^3}, \text{ получим}$$

$$m = \sqrt{12,9 \cdot 473 \cdot 7826 / (78 \cdot 496 \cdot 7810)} = 0,398$$

Следовательно, потери теплоты на нагрев второго электрода $K2 \approx 0,7$.

Откуда находим коэффициент полезного использования энергии:

$$\eta_u = (1 - 0,47) \cdot (1 - 0,7) \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0,1) = 0,186.$$

Следовательно, положив $U = 30B$ и $I = 100A$, количество выделяемого тепла:

$$q = 0,24 \cdot 0,186 \cdot 30 \cdot 100 = 133,92 \text{ Дж} .$$

При этом количество теплоты, поступившее на единицу поверхности за время действия единичного импульса:

$$q' = \frac{q}{F \cdot \tau_u} ,$$

где F - площадь обрабатываемой поверхности;

τ_u - длительность импульса.

Приняв $F = 2,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, $\tau_u = 8 \text{ с}$, получим:

$$q' = \frac{133,92}{2,77 \cdot 10^{-3} \cdot 8} = 6,04 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Далее определим количество теплоты, поступившее в тело за время обработки t :

$$Q = q' \cdot t .$$

Приняв $t = 600 \text{ с}$, получим:

$$Q = 6,04 \cdot 10^3 \cdot 600 = 3,63 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} .$$

Таким образом, при заданных режимах обработки, к обрабатываемому торцу рабочего колеса будет приложена тепловая нагрузка $Q = 3,63 \text{ МДж/м}^2$, см. рис. 1. В результате моделирования в ANSYS воздействия данной тепловой нагрузки на обрабатываемую поверхность на протяжении заданного времени обработки получена картина распределения температурных полей по всему объему заготовки, рис. 2.

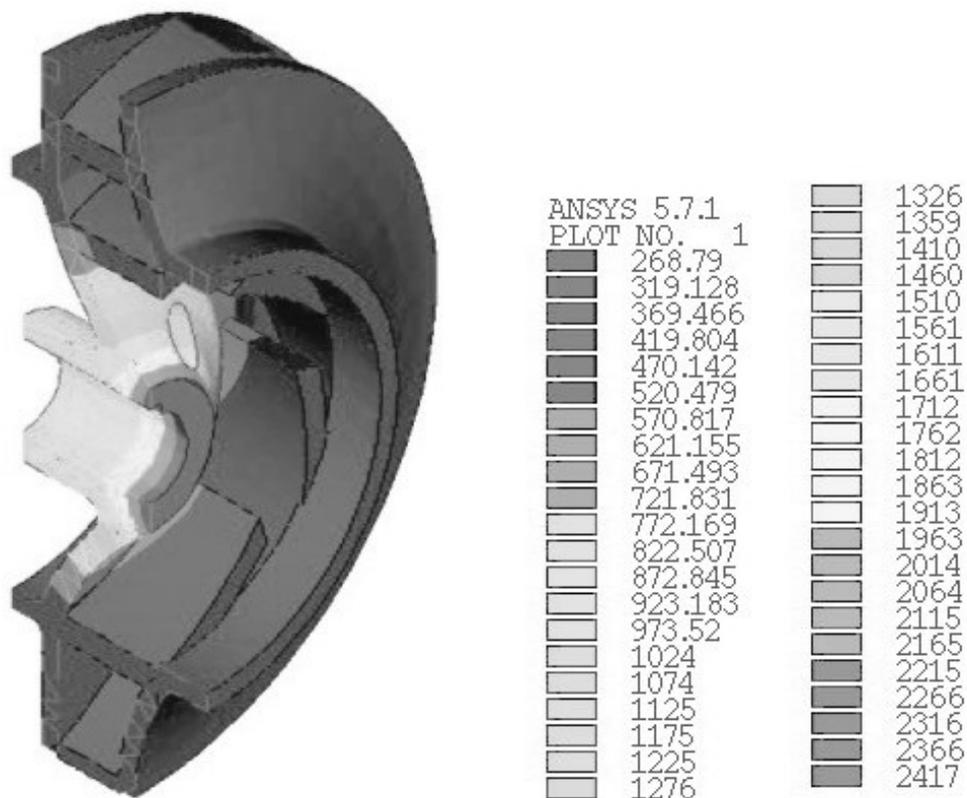


Рис. 2. – Распределение температур нагрева заготовки при ЭКО (разрез)

Из распределения температур по заготовке, приведенного на рис. 2, видно, что максимальная температура разогрева заготовки (2417°C) концентрируется на обрабатываемом торце колеса. При этом минимальная температура разогрева ступицы колеса насоса составляет только 268°C , что приводит к появлению температурных напряжений в заготовке.

3. Заключение. Предложенная методика расчета распределения температуры позволяет с приемлемой для инженерных расчетов точностью учитывать данные тепловых расчетов при определении режимов ЭКО с целью достижения требуемых точности и качества деталей, изготовленных из труднообрабатываемых материалов.

Список литературы: 1. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. Пособие (в 2-х томах). Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента/ Под ред. В.П.Смоленцева.- М.: Высшая школа, 1983.- 247 с. 2. Бирюков Б.Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. – М.: Машиностроение, 1981. - 128 с., ил. – (Б-ка станочника). 3. Метод конечных элементов: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. П.М.Варвака. – Киев: Вища школа, 1981. – 176 с. 4. Басков К. А. ANSYS в примерах и задачах / Под. ред. Д. Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, 2002 – 224 с. 5. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т./Редкол.: Г. А. Николаев (пред). и др. – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1/Под ред. Н. А. Ольшанского. 1978. - 504 с., ил.

Сдано в редакцию 15.02.07