

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

И.С. Гареев, С.А. Собко, А.Г. Филимоненко, М.В. Малых

Объект и методика расчета

1. Построение расчетной твердотельной модели
2. Построение сетки конечных элементов:
 - поверхностная – для назначения теплообмена между исследуемыми объектами и окружающей средой;
 - объемная – для решения задачи теплопроводности.
3. Задание параметров режима сварки и тепловых свойств
4. Аналитическая модель объемного тепловыделения двойного эллипсоида Голдака:

$$Q(x, y, z) = Q_f \exp\left(-\left(\frac{x_2^2}{a_f^2} + \frac{y_2^2}{b_2} + \frac{z_2^2}{d_2}\right)\right)$$

$$Q(x, y, z) = Q_r \exp\left(-\left(\frac{x_2^2}{a_r^2} + \frac{y_2^2}{b_2} + \frac{z_2^2}{d_2}\right)\right)$$

Мощность (дуги) определяется как тройной интеграл

$$\text{по объему фигуры: } P = \iiint_V Q$$

Q_f, Q_r – объемное тепловыделение, Вт/мм³; a_f, a_r, b, d – геометрические характеристики модели сварочной ванны, мм

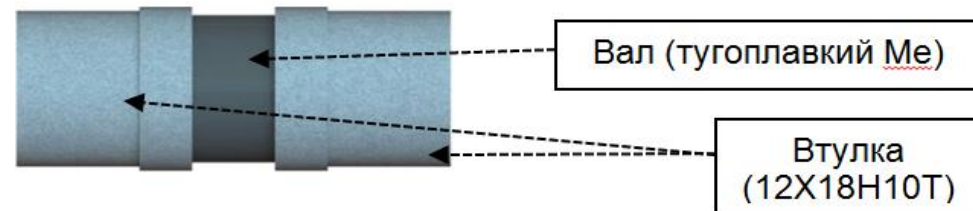
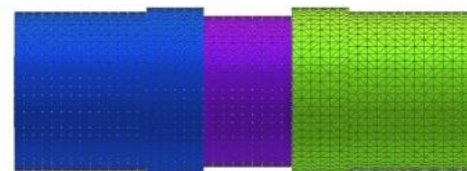
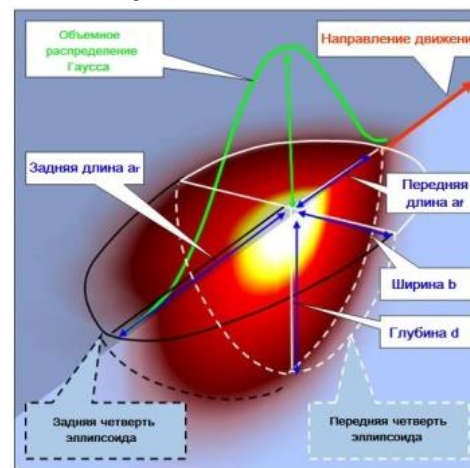


Схема расчетной 3D-модели



метод разбиения квадротриангуляционный, максимальный размер элемента – 1 мм

Упорядоченная конечно-элементная модель



Модель Голдака

Характеристики сварочной ванны

Параметр	Значение
a_f	3
a_r	7
b	2.5
d	15

5. Задание граничных условий:

- теплообмен между объектами и воздухом определяли следующими зависимостями:

конвекция $Q_c = -hA(T_1 - T_2)$;

передача тепла через поверхность контакта $Q_{снт} = \alpha A(T_1 - T_2)$;

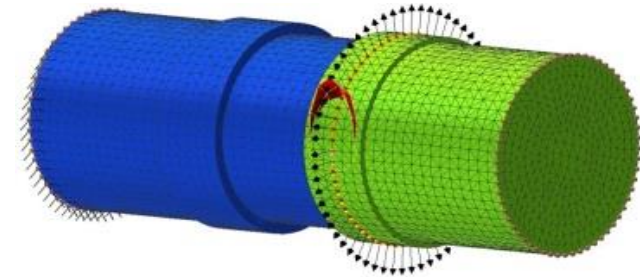
излучение (уравнение Стефана-Больцмана) $Q_E = -\epsilon A(T_1^4 - T_2^4)$.

6. Задание траектории движения источника сварки с нарастанием тока сварки 5 с

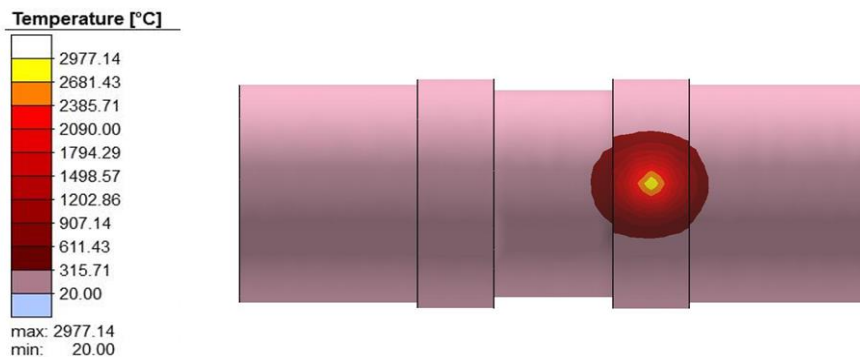
Для ориентации модели в пространстве к узлам кромок свободных торцов втулок прилагали ограничение перемещения по всем осям

7. Обзор и анализ полученных результатов

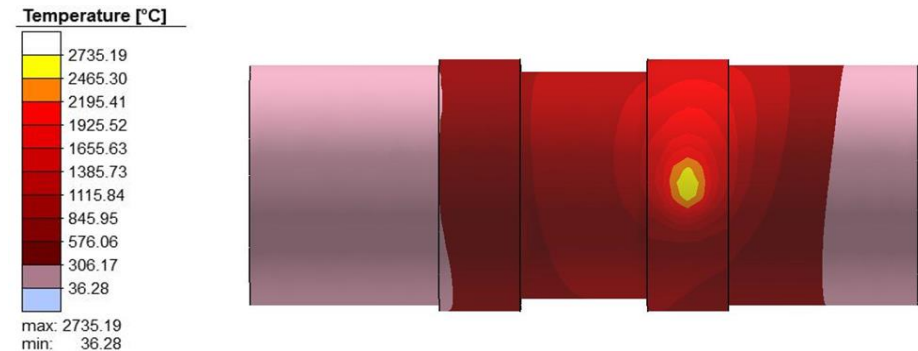
коэффициенты теплопередачи ($h=7$ Вт/м²·К (тугоплавкий металл), $h=30$ Вт/м²·К (12Х18Н10Т), при $\alpha=1000$ Вт/м²·К) и коэффициенте эмиссии $\epsilon=0,6$



Траектория перемещения источника сварки



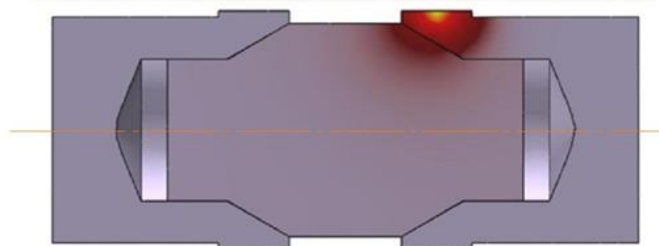
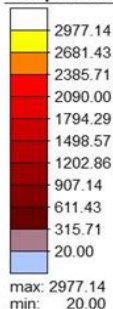
Распределение температурного поля в момент времени нагрева 5 секунд



Распределение температурного поля в момент времени нагрева 20 секунд

Обзор и анализ полученных результатов

Temperature [°C]



Распределение температуры под источником нагрева

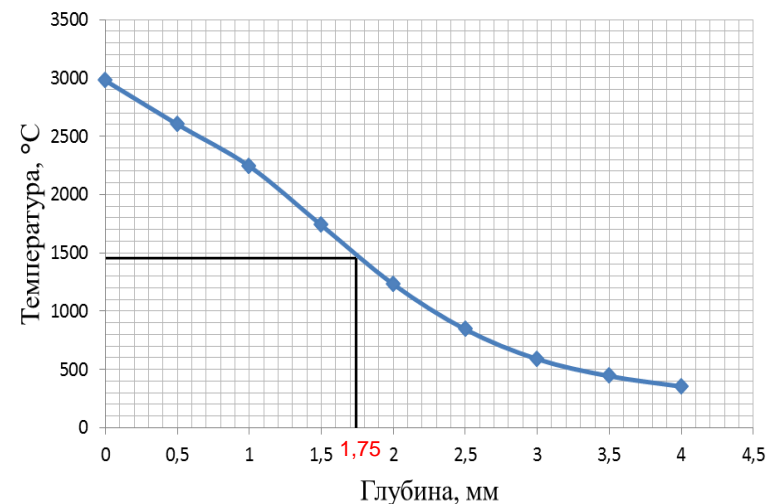


График изменения температуры по толщине в момент времени 5 секунд

Расчетное определение значений температуры в условных 3 точках

Координаты расчетных точек

№ точки	Объект модели	Координата x, мм	Угол (по направлению сварки)
1	Втулка	8	29,8°
2	Втулка	12	336,0°
3	Вал	-6	198,6°

При температуре плавления 12X18H10T ($T=1430\text{ °C}$) расчетная глубина провара составила **d=1,75 мм** при экспериментальном значении **d=1,6 мм**

Для подтверждения адекватности расчетной модели реальному тепловому процессу выполнена сварка образцов из разнородных материалов

В процессе экспериментов температуру определяли с применением термопреобразователей, установленных в координатах 3 (расчетных) точек



Обзор и анализ полученных результатов

При обработке полученных данных установлено, что для точек 1 и 2 отклонения расчетных и экспериментальных значений по температуре удовлетворительно согласуются и составляют 25,47% и 24,6%, для точки 3 – 8,12%, что подтверждает адекватность расчетной модели.

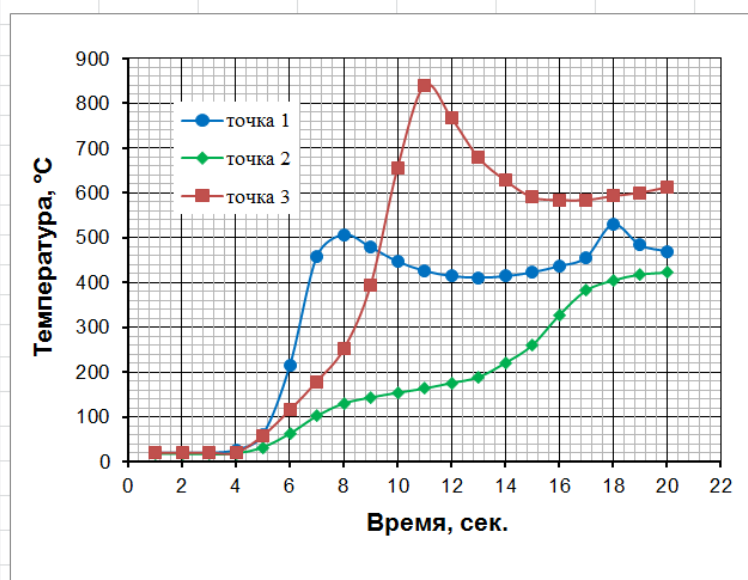


График зависимости расчетной температуры в условных точках

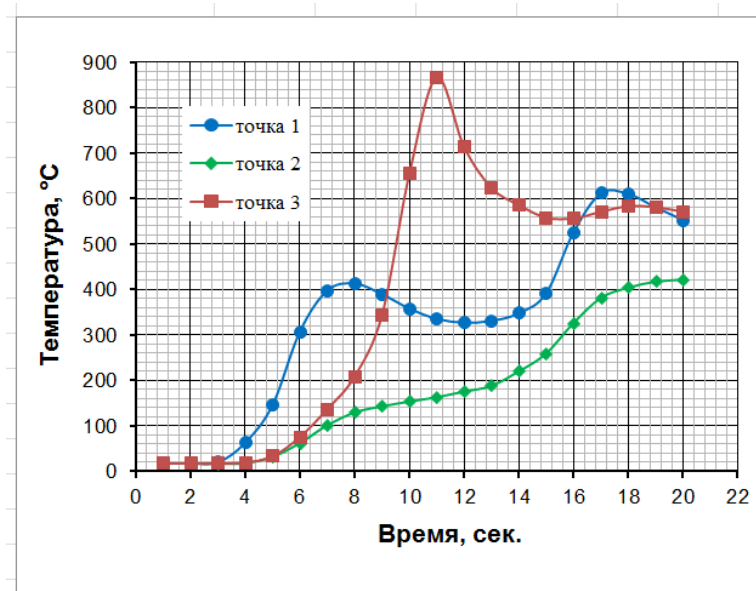


График зависимости экспериментальной температуры в условных точках

Разработанная модель позволяет определить и минимизировать температуру в любой момент времени и в любой точке детали, в том числе по толщине, при обеспечении требуемой глубины провара.