

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМИТНЫХ СМЕСЕЙ

Ковалевский С. В., Хмелевая Ю. А.

Точечное воздействие источниками энергии может обеспечивать требуемое качество поверхностного слоя. Создана модель распространения волны горения при обработке цилиндрической поверхности вала с приведенными значениями скорости и подачи движения температурного источника на базе использования клеточных автоматов. Моделирование тепловых процессов в наружном слое деталей позволило найти основные особенности и соотношения между характеристиками термосмесей и достигаемым результатом для различных материалов. Выявлены особые режимы обработки, удовлетворяющие максимальной температуре нагрева поверхности и стабильности ее свойств.

Точковий вплив джерелами енергії може забезпечувати необхідну якість поверхневого шару. Створена модель розповсюдження хвилі горіння при обробці циліндричної поверхні вала з наведеними значеннями швидкості і подачі руху температурного джерела на базі використання клітинних автоматів. Моделювання теплових процесів в зовнішньому шарі деталей дозволило знайти основні особливості та співвідношення між характеристиками термосумішей і досягається результатом для різних матеріалів. Виявлено особливі режими обробки, що задовольняють максимальній температурі нагріву поверхні і стабільності її властивостей.

Point impact energy sources can provide the desired quality of the surface layer A model of propagation of the combustion wave in the processing of the cylindrical surface of the shaft c The values of the velocity and flow of movement of the temperature source based on the use of cellular automata. Modeling of thermal processes in the outer layer of the parts has to find the key features and relationships between the characteristics termosmesey and achieve results for the different materials. Identified special processing modes satisfying the maximum surface temperature of the heating and the stability of its properties.

Ковалевский С. В.

Хмелевая Ю. А.

д-р техн. наук, проф. каф. ТМ ДГМА
prorector.uo@dgma.donetsk.ua

магистр ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.78.015

Ковалевский С. В., Хмелевая Ю. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМИТНЫХ СМЕСЕЙ

Процессы упрочнения поверхности, путем ее термообработки, занимают большое место в изготовлении деталей машин. Известно достаточно много способов упрочнения деталей. Среди них ставшие традиционными поверхностно-пластическое деформирование, термическая и химико-термическая обработки, термообработка токами высокой частоты, а также новые методы повышения эксплуатационных характеристик, такие как: плазменное напыление, лазерная и электронно-лучевая наплавка, плакирование, термопластическое упрочнение, термоциклическая обработка и пр. Эти методы позволяют решить проблему упрочнения поверхностного слоя, однако, обладают рядом недостатков, к которым можно отнести высокие энергозатраты, высокую стоимость оборудования, трудоемкость и длительность процесса, наличие неблагоприятных факторов окружающей среды и трудового процесса. Поэтому существует необходимость в поиске альтернативных методов термообработки как одного из этапов технологического процесса механообработки [1–4].

Целью исследования является определение условий эффективного воздействия точечного источника тепловой энергии сгорания термитной смеси на рабочую поверхность детали для изменения ее свойств.

Упрочнение детали на основе применения термитной смеси подразумевает использование тепла от ее сгорания, выделяющегося в результате высоко экзотермических реакций, что впоследствии обеспечивает термические процессы в поверхностном слое детали. Термитные смеси представляют собой группу пиротехнических смесей, использование которых позволяет получать металлы и сплавы путем восстановления оксидов металлов активным металлом со значительным выделением тепла, в результате чего происходит изменение потенциального состояния энергии и рекристаллизация компонентов, участвующих в процессе. Наиболее распространенной разновидностью термитной смеси является железоалюминиевый термит (25 % алюминия и 75 % оксида железа (Fe_3O_4)). Учитывая, что алюминий – один из основных высококалорийных горючих с относительно невысокой стоимостью, а в качестве оксида железа можно использовать ржавчину (77 % Fe_2O_3), можно гарантировать минимальные сырьевые затраты, что частично обеспечивает выполнение поставленной задачи.

Условия для инициирования экзотермической реакции с использованием термитной смеси:

1. Термитная смесь должна быть рассчитана так, чтобы в ходе реакции выделилось необходимое количество тепла для расплавления и перегрева конечных продуктов реакции.
2. Компоненты термитной смеси: алюминиевый порошок и окислы железа должны быть мелких фракций и тщательно перемешаны.
3. Для начала реакции в точке термитной смеси необходимо создать температурный толчок (снизу вверх), после чего волна горения распространится на всю смесь [1].

Для компьютеризированного исследования возможностей и особенностей упрочнения рабочих поверхностей деталей машин нами принят подход, при котором моделирование процесса нагрева до технологических температур осуществляется на основе клеточных автоматов [2].

Для машинного эксперимента создана модель распространения волны горения (при обработке цилиндрической поверхности вала диаметром d с приведенными значениями скорости и подачи движения температурного источника) на базе использования табличного процессора Excel. Процесс моделирования включает следующие этапы.

1. Создание двух полей, первое из которых – поле состояний клеточных автоматов, второе – поле их реализации.
2. Установка первого клеточного поля в исходное состояние (обнуление с помощью макроса 1).
3. Формирование значений полей клеточных автоматов как среднее значение, включая окружение (соседей):

$$t_i = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 i \tag{1}$$

4. Копирование значений клеточного поля в поле состояний (макрос 2).

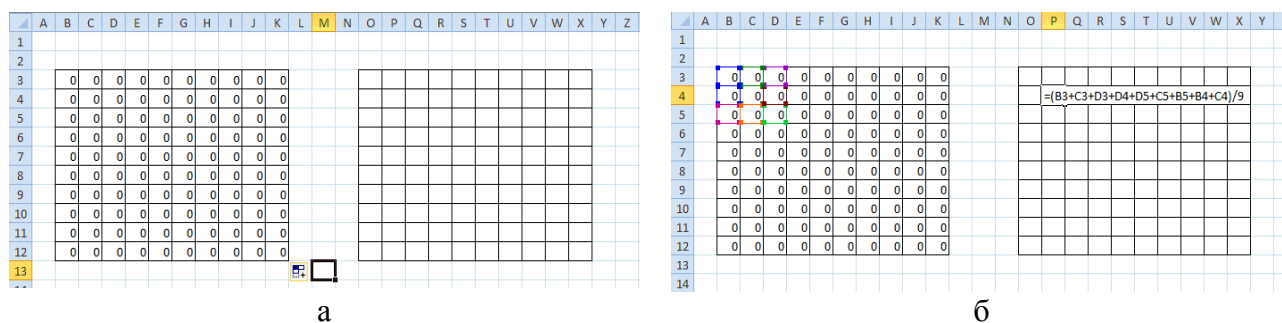


Рис. 1. Поля модели:
 а – обнуление поля состояния; б – поле реализации клеточных автоматов

5. Заполнение поля состояний, скопировав и вставив значение поля реализации:

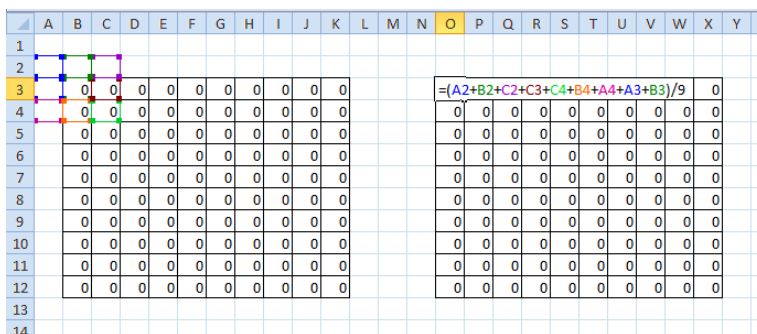


Рис. 2. Задание значений всем клеткам

Замечание: крайние клеточные автоматы учитывают значения ячеек с учетом развертки цилиндра, т. е. выполняется «склейка» развертки цилиндра.

- б. Для моделирования процесса распространения тепловой волны заносится значение 1 в клетки со смещением на *n*-е число клеток при каждой реализации, моделируя таким смещением скорость перемещения теплового источника (макрос 3).

Одной из главных задач машинного эксперимента является нахождение характерных режимов обработки и, как следствие, обеспечение максимальной температуры прохождения реакции горения и стабильности свойств материала. Поэтому эксперимент рассматривает пять вариантов осуществления реакции горения. Для каждого варианта задается разная скорость, соответствующая порядковому номеру варианта ($V = 1-5^\circ\text{C}/\text{с}$). При этом изменение подачи рассматриваем как смещение ряда перехода, соответствующего подаче от 1 до 4 мм на оборот вала ($S = 1-4 \text{ мм/об}$).

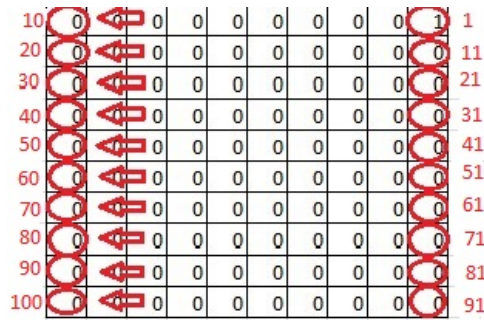


Рис. 3. Моделирование перемещения теплового источника со приведенной скоростью $V = 1^\circ\text{C}/\text{c}$ и приведенной подачей $S = 1 \text{ мм}/\text{об}$

Фрагмент машинного эксперимента представлен на рис. 4.

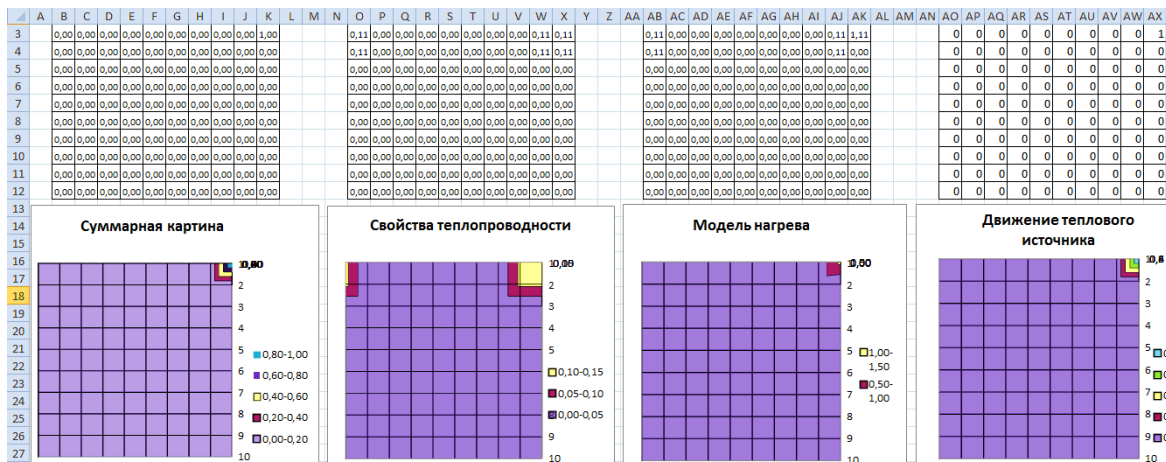


Рис. 4. Моделирование начального этапа реакции волнового горения термитной смеси

По результатам эксперимента были построены зависимости температуры поверхности от особенностей перемещения теплового источника (рис. 5).

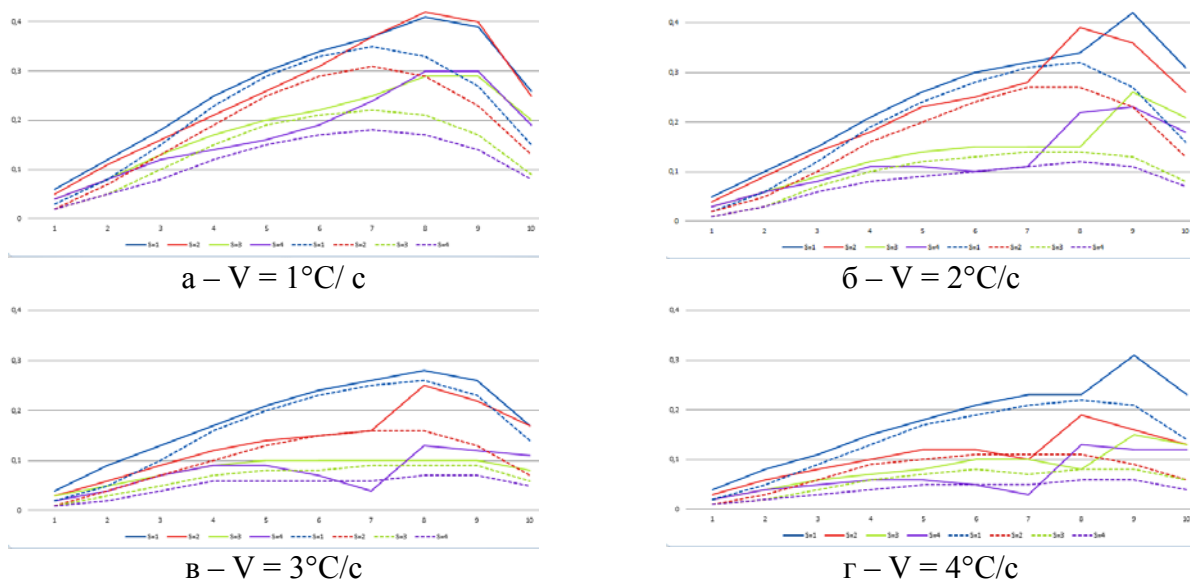


Рис. 5. Качественные относительные характеристики зависимости максимальных и минимальных значений приведенной температуры поверхности от приведенной скорости перемещения источника тепла и приведенной подачи

В результате анализа выявлены особые режимы обработки, удовлетворяющие максимальной температуре нагрева поверхности и стабильности ее свойств (минимальный разброс температур нагрева). Максимальная температура нагрева возникает в результате полного завершения горения термитной смеси, чему соответствует приведенная скорость $V = 1^\circ\text{C}/\text{с}$ и приведенная подача $S = 2 \text{ мм/об.}$ Стабильность свойств достигается при $V = 3^\circ\text{C}/\text{с}$, $S = 1 \text{ мм/об.}$

Предполагая, что приведенная скорость пропорциональна приведенной подаче:

$$S_{\text{гор}} \equiv V_{\text{гор}} \equiv t_{\text{гор}} \quad (2)$$

а также

$$V_{\text{max}} = 2S; \quad (3)$$

$$3V_{\text{ст}} = S; V_{\text{ст}} = \frac{S}{3}, \quad (4)$$

где $S_{\text{гор}}, V_{\text{гор}}, t_{\text{гор}}$ – площадь, объем, и время горения термитной смеси соответственно и площадь слоя термитной смеси:

$$\frac{\pi(d+h)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = S_{\text{гор}}; \quad (5)$$

где d – диаметр детали; h – толщина слоя термитной смеси.

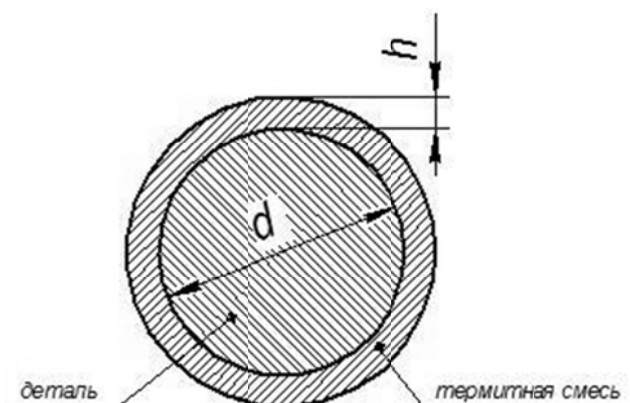


Рис. 6. Эскиз обрабатываемой детали в сечении

Из рис. 6 следует:

$$\frac{\pi}{4} [(d+h)^2 - d^2] = S_{\text{гор}} \equiv t_{\text{гор}}$$

$$\frac{\pi}{4} [(50+h)^2 - 50^2] = S_{\text{гор}} \equiv t_{\text{гор}}$$

$$\frac{\pi}{4} [100h - h^2] = S_{\text{гор}} \equiv t_{\text{гор}}$$

$$0,7[100h - h^2] = S_{\text{гор}} \equiv t_{\text{гор}}$$

При $d = 50 \text{ мм}$ имеем нелинейную зависимость времени горения от толщины слоя термитной смеси:

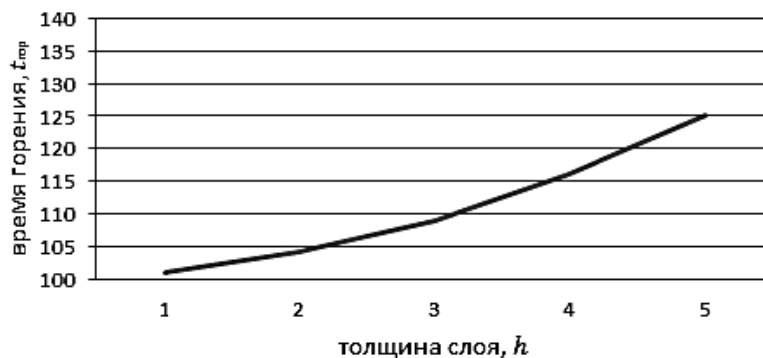


Рис. 7. Зависимость времени горения от толщины слоя термитной смеси

Полученные результаты свидетельствуют об одновременном протекании эндо- и экзотермических реакций, что отражено схемой, представленной на рис. 8.

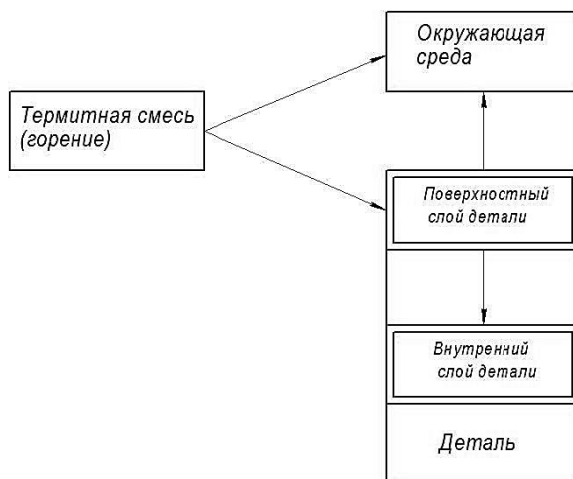


Рис. 8. Схема протекания эндо- и экзотермических процессов

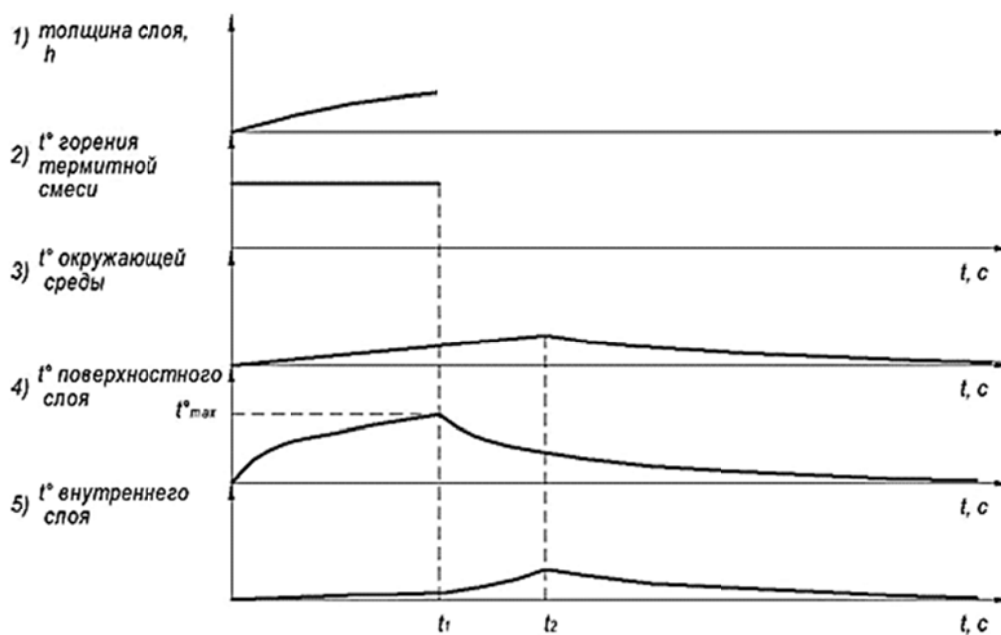


Рис. 9. Качественная зависимость температуры и толщины слоя от времени протекания реакции с учетом схемы рис. 8.

Зависимость температуры и толщины слоя от времени протекания реакции отражает следующие свойства модели:

1. Чем больше слой, тем больше время горения (см. выше).
2. $A = Q$ согласно первому началу термодинамики, т. е. количество теплоты, полученное системой, направляется на изменение её внутренней энергии и совершение работы против внешних сил.
3. Потери теплоты в окружающей среде.
4. Эффективная часть теплоты преобразовывается в температуру поверхностного слоя.
5. Часть теплоты, перешедшая с поверхностного слоя во внутренний, с последующим охлаждением.

Нагрев поверхностного слоя описывается формулой:

$$t^{\circ} = t_{\max} \cdot e^{-\lambda_{\text{ст}} \cdot t} \quad (6)$$

где t_{\max} – максимальная температура нагрева, °C;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности для стали, Вт/м°C

t – время горения, с.

Охлаждение поверхностного слоя подчиняется зависимости:

$$t^{\circ} = t_{\max} \cdot e^{(-\lambda_{\text{ст}} \cdot t)^{-1}} \quad (7)$$

Также по формулам 6 и 7 изменяется температура окружающей среды и во внутреннем слое детали, при этом коэффициент теплопроводности изменяется.

Таким образом, зная максимальную температуру горения, время ее достижения и толщину слоя, можно обеспечить необходимую микроструктуру и соответствующие прочностные характеристики поверхности детали, используя диаграмму состояния Fe–C.

ВЫВОДЫ

1. Точечное воздействие источниками энергии может обеспечивать требуемое качество поверхностного слоя.
2. Моделирование тепловых процессов в наружном слое деталей может позволить находить на этапе численного основные особенности и соотношения между характеристиками термосмесей и достигаемым результатом для различных материалов.
3. Результаты исследований, приведенные в статье, позволяют предположить, что замена термитной смеси на высокотемпературный источник может позволить получить такой же эффект без использования термитных смесей. Однако, это предположение следует соотносить с затратами на такой альтернативный метод упрочнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкин Б. В. Термитная сварка / Б. В. Малкин, А. А. Воробьев – М. : Издательство МХК РСФСР, 1963. – 105 с.
2. Тоффолы Т. Машины клеточных автоматов / Т. Тоффолы, С. Марголус; под ред. Б. В. Баталова. – М. : МИР, 1991. – 284 с.
3. Kovalevskyy S. Energy use thermal mixture for engineering product lifecycle / S. Kovalevskyy, I. Starodubcev, M. Taric // International conference "Research and Development in Mechanical Industry." – RaDMI 2014, Torola, Serbia, 18–21 September. – Vrnjcka Banja, Serbia, 2014. – Vol. 1. – P. 258–264.
4. Ковалевский С. В. Методика классификации комбинированных методов обработки деталей машин / С. В. Ковалевский, И. Н. Стародубцев // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (12E). – С. 107–114.