

друг от друга зонах на линейных стадиях (рис. 3 б). При этом на площадке текучести материал за фронтом находится в деформированном состоянии (B19'), а материал перед фронтом - в исходном, недеформированном (B2) (рис. 1 б). По мере деформирования зоны локализации перемещаются вдоль образца со скоростями $\sim 10^{-5}$ м/с. Фронт зон локализации наклонен под углом 60° к оси растяжения, что близко к ориентации габитусной плоскости мартенситного превращения в образцах использованной ориентации.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что площадке текучести и линейным стадиям при растяжении монокристаллов никелида титана соответствует движение фронтов деформации, связанных с фазовым превращением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко, В.С. Обратимая пластичность кристаллов / Бойко В.С., Гарбер Р.И., Косевич А.М. - М.: Наука, 1991. - 279 с.
2. Зуев Л.Б., Карташова Н.В., Данилов В.И., Полетика Т.М. Закономерности локализации деформации в материале с пластичностью превращения (монокристаллы TiNi) // ЖТФ. - 1996. - Т. 66. - № 11. - С. 190-196.
3. Зуев, Л.Б. Физика макролокализации пластического течения / Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. - Новосибирск: Наука, 2008. - 327 с.
4. Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Овсянников А.В., Сехитоглу Х., Караман И., Майер
5. Г. Влияние дисперсных частиц Ti3Ni4 на мартенситные превращения в монокристаллах никелида титана // ФММ. - 2008. - Т. 106. - № 6. - С. 597-609.

ДВУХТЕМПЕРАТУРНАЯ ДВУМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПОДЗЕМНОГО НАГРЕВА СЛАНЦЕВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

С.М. Мартемьянов, А.Л. Маслов

Научный руководитель: профессор, д.ф.м.н. А. Г. Князева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: masloaleksey@rambler.ru

TWO-TEMPERATURE TWO-DIMENSIONAL MODEL UNDERGROUND OIL-SHALE HEATING UNDER THE ACTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD

S. M. Martemyanov, A. L. Maslov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.G. Knyazeva

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Was formulated the model of thermal decomposition of oil shale action of electromagnetic field. Also were considered phenomena of filtration and thermal effect of chemical reactions.

Всё более актуальным становится вопрос о возможности переработки горючих сланцев с целью получения горючего газа и жидких продуктов [1]. При этом одной из перспективных представляется технология нагрева пластов породы электромагнитными источниками непосредственно под землёй [2, 3]. Такой способ переработки позволяет избавиться от необходимости поднимать породу на поверхность, что должно существенно снизить экономические затраты. В [1] динамика температуры рассчитывается на основе двух- и трехмерных задач теплопроводности с эффективными свойствами, зависящими от температуры и частоты электромагнитного поля. В [2] предложена модель разложения сланцев, учитывающая сложные химические реакции. Целью данной работы является разработка модели нагрева сланцевого пласта высокочастотным электромагнитным полем с учетом теплоотвода, химических превращений, и, в первом приближении, явлений фильтрации газа в пласте.

Сланец будем считать пористым твёрдым веществом, поры в котором заполнены газом. В сланце находятся нагревающие электроды в виде стержней.

Учитывая анизотропию свойств породы, пласт моделируем плоскостью, в которой равномерно распределены источники тепла, расстояние между которыми L принимается много большим их радиусов (далее везде принимается $L = 0.5$ м).

Уравнение теплопроводности для твёрдой фазы имеет вид

$$c_s \rho_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \lambda_s \Delta T_s + Q_1 W_1 + \Phi_s - \frac{\alpha_T}{1-\zeta} (T_s - T_g) \quad (1)$$

где T_s, c_s, ρ_s – соответственно температура, теплоёмкость и плотность твёрдой фазы, t – время, x, y – пространственные координаты; λ_s – коэффициент теплопроводности твёрдой фазы, W_1 – сток тепла, связанный с химической реакцией, Φ_s – источник тепла, связанный с действием электромагнитного поля на твёрдую фазу, α_T – коэффициент теплообмена между газом и твёрдой фазой, ζ – пористость, T_g – температура газа.

В твердой фазе

$$\frac{d\eta_{PS}}{dt} = W_1 - \frac{\alpha_m}{1-\zeta} (\eta_{PS} - \eta_{Pg}),$$

$$W_1 = k_1 (1 - \eta_{PS}) \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right)$$

где η_{PS} – доля газообразного продукта первичной реакции разложения, k_1, E_1 – предэкспонент и энергия активации для этой реакции, α_m – коэффициент массообмена между фазами.

Уравнение переноса тепла в газовой фазе имеет вид

$$c_g \rho_g \frac{dT_g}{dt} = \lambda_g \Delta T_g + Q_2 W_2 + \Phi_g + \frac{\alpha_T}{\zeta} (T_s - T_g) \quad (2)$$

где T_g, c_g, ρ_g – соответственно температура, теплоёмкость и плотность газа; Φ_g – источник тепла, связанный с действием электромагнитного поля на газ.

$$\frac{d\eta_{Pg}}{dt} = -W_2 + \frac{\alpha_m}{\zeta} (\eta_{PS} - \eta_{Pg}) \quad (3)$$

где $\frac{d...}{dt} = \frac{\partial...}{\partial t} + V_x \frac{\partial...}{\partial x} + V_y \frac{\partial...}{\partial y}$, V_x, V_y – компоненты вектора скорости газа.

$$W_2 = k_2 \eta_{pg} \exp\left(-\frac{E_2}{RT_g}\right)$$

Обозначения аналогичны предыдущему.

Скорость газа находилась из закона Дарси.

Требуется найти пространственные распределения температуры, степени химического превращения в твердой и газовой фазах по мере нагрева области.

Для расчетов были приняты следующие значения параметров [2, 4]:

$\rho_s = 1200$ кг/м³; $\rho_g = 0.6$ кг/м³, $\alpha_T = 20$ Вт/(м²·К), $T_0 = 300$ К, $E_1 = 8 \cdot 10^4$ Дж/моль; $E_2 = 9 \cdot 10^4$ Дж/моль, $Q_1 = -6 \cdot 10^9$ Дж/кг, $Q_2 = 3 \cdot 10^5$ Дж/кг, $\varepsilon_1 = 30$ Ф/м, $\varepsilon_2 = 0.1$ Ф/м, $\sigma_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ См, $\sigma_2 = 1 \cdot 10^{-7}$ См, $\text{tg}\delta_1 = 10$, $\text{tg}\delta_2 = 0.1$, $k_1 = k_2 = 5 \cdot 10^{11}$, $\lambda_g = 0.02$ В/(м·К), $\lambda_s = 2$ В/(м·К), $\eta_{pg0} = 0.01$.

Задача решена численно с использованием неявной схемы расщепления по координатам. Представим некоторые численные результаты для частных вариантов модели.

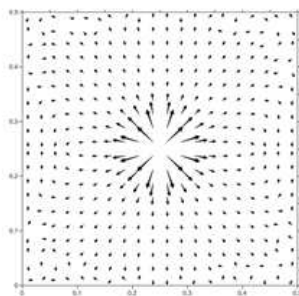


Рис. 1. Поле скоростей в газовой фазе в окрестности одного электрода, $t = 1100$ с.,

$$\varphi = 20000 \text{ В}, f = 10 \text{ кГц}$$

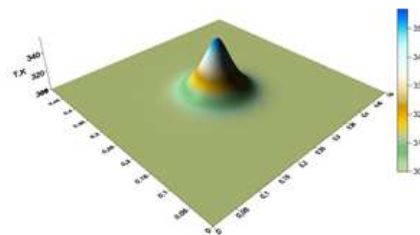


Рис. 2. Поле температур в газовой фазе (показана область, содержащая один электрод), $t = 1100$ с.,

$$\varphi = 20000 \text{ В}, f = 10 \text{ кГц}$$

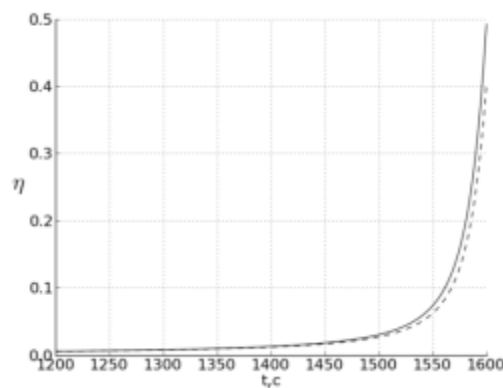
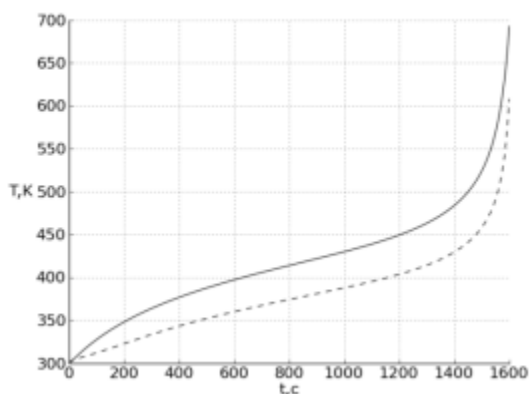


Рис. 3. Динамика температуры (а) и степени превращения (б) в окрестности электрода $\varphi = 20000 \text{ В}, f = 10 \text{ кГц}$

1. Химических реакций нет. Скорость газа, содержащегося в порах, определяется градиентом температуры в окрестности электродов. Пример типичного поля скоростей газа показан на рис. 1. На рис. 2 показано соответствующее ему двумерное температурное поле. Вследствие симметричности нагрева поле скоростей оказывается также симметричным, при этом увеличение пористости делает процесс

течения газа более интенсивным.

2. При учете химических реакций физическая картина существенно усложняется. Появляются критические условия инициирования реакций, и давление зависит не только от температуры, но и от скорости накопления продуктов реакции, обладающих свойствами, отличными от свойств исходных веществ (в первую очередь, иным удельным объемом).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Margot G. Gerritsen, Louis J. Durlofsky. Modeling fluid flow in oil reservoirs. Annual Review of Fluid Mechanics. – 2005. – V. 37. – P. 211–238.
2. Y.Fan, L.J. Durlofsky, H. Tchelepi. Numerical Simulation of the In-situ Upgrading of Oil Shale. – 2010. – 15. – P. 368–381.
3. Князева, А.Г., Лопатин, В.В., Мартемьянов, С.М., Маслов, А.Л., Хан Вэй. Моделирование подземного нагрева сланцев в электромагнитном поле // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54. – № 11/3. – С. 5–11.
4. Лопатин В.В., Мартемьянов С.М. Исследование диэлектрических свойств горючих сланцев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Том 55. – № 5. – С.35–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА ПРИ РАСПЫЛЕНИИ МИШЕНИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

Е.С. Мельников, Т.М. Мухаметкалиев

Научный руководитель: Р.А. Сурменев, к.ф.-м.н., доцент каф. ТиЭФ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: melnikov.evgeniy92@mail.ru

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF RF-MAGNETRON DISCHARGE PLASMA BY SPUTTERING OF TARGET BASED ON HYDROXYAPATITE

E.S. Melnikov, T.M. Mukhametkaliyev

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. R.A. Surmenev
National research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: melnikov.evgeniy92@mail.ru

In this study characteristics of RF-magnetron discharge as temperature of electrons, plasma density and electrons speed were investigated by a Langmuir double probe. The goal was to find out the dependence between different deposition modes and RF-magnetron plasma parameters.

Проблема нанесения биосовместимых покрытий на различные имплантаты с каждым годом принимает все более важное значение и становится одним из определяющих направлений исследований в современном мире. Различные биоматериалы призваны восполнять утраченные функции организма. В настоящее время практически все имплантаты имеют биосовместимое покрытие, которое улучшает их