

Редакционный совет

Голенков В.А. д-р техн. наук, проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц., секретарь
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Редколлегия

Главный редактор
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки Российской Федерации

Заместители главного редактора
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Члены редколлегии

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф., член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчанинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук, проф., академик РАН
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф., академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск
Григорьева О.Ю.

Адрес редакции

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
55-05-81
www.gu-unpk.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-47351 от 03 ноября 2011 года

Подписной индекс **29504**

по объединенному каталогу «Пресса России»

© Госуниверситет – УНПК, 2012

Содержание

Естественные науки

Витковский И.В., Хорошилова М.В., Шоркин В.С., Аль-Шатеби Сами Энергия активации частицы при ее диффузии в сплошной среде.....	3
Корнеев А.Ю., Ли Шенбо Методика расчета динамических характеристик металлорезиновых колец. Круговова Е.А. Оценка влияния колебаний моста на динамику поезда в программном комплексе «универсальный механизм».....	10
	16

Моделирование технологических процессов

Букатый А.С., Букатый С.А., Андреев И.Б. Оптимизация замковых соединений ГТД на основе параметрического моделирования и энергетического критерия.....	24
---	----

Конструирование, расчеты, материалы

Карелин О.О., Ремизов А.Е. К вопросу расчета углов потока в межтурбинных переходных каналах на стадии предварительного проектирования турбин авиационных и промышленных газотурбинных двигателей.....	30
Савин Л.А., Сливинский Е.В., Климов Д.Н., Митина Т.Е., Суздальская Е.А. Перспективное торсионное рессорное подвешивание для магистральных и промышленных тепловозов с челюстными тележками.....	36
Шутин Д.В., Поляков Р.Н. Анализ и подбор программно-аппаратных средств системы управления радиальным мехатронным гидростатодинамическим подшипником.....	46
Вдовин С.И., Дорофеев О.В., Лукин К.С. Адаптивное управление гибкой трубой по круглому копиру.....	54
Попиков А.А., Майоров С.В. Анализ динамики ротора компрессора технологического газа.....	58

Машиностроительные технологии и инструменты

Бабичев А.П., Вернигоров Ю.М., Фролова Н.Н. Режимы работы устройства тонкого помола порошка SmCo_5	64
Голенков В.А., Радченко С.Ю., Дорохов Д.О., Грядунов И.М. К вопросу о повышении эксплуатационных характеристик полых осесимметричных деталей машин методами интенсивной пластической деформации. Рубин П.С., Тарапанов А.С. Перспективы развития способов обработки цилиндрических колец с арочными зубьями.....	71
	78
Стеблецов Ю.Н. Экспериментальная адекватность результатов прогнозирования шероховатости обработки зубчатых колес передачи Новикова.....	86
Ковальчук А.В., Самсонов А.Г., Юленец Ю.П. Диагностика характеристик плазмохимических процессов высокочастотного емкостного разряда.....	91

Инновации и кадры в машиностроении

Пронюшкина Т.Г., Морозова А.В. Профессиограмма как модель формирования конкурентоспособного специалиста в области машиностроения.....	98
---	----

Приборостроение и биотехнические системы

Андросова Е.Б., Корндорф С.Ф. Причины, вызывающие нарушение целостности рабочих поверхностей шариковых подшипников качения.....	102
Жилин Е.В. Повышение эффективности информационно - измерительных и управляющих систем автоматизированных электроприводов.....	107
Королёв М.В., Иванов Ю.Б., Ларкин Е.И. Перспективные направления применения систем виброакустического зашумления речевой информации.....	113
Киселев Д.В., Киселева Т.П., Тин Чжо, Хтет Мин Пью Оптимизация выбора элементов технической системы с помощью интеллектуального анализа данных.....	123

Испытания, контроль, диагностика и управление качеством

Сычев С.Н., Подмастерьев К.В., Гаврилина В.А., Пахолкин Е.В. Применение метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для исследования смазочных материалов. Часть 1. Анализ базовых масел и кислородсодержащих соединений.....	128
Тютякин А.В., Кондрашин А.А., Борисов О.М. О выборе профилей фильтров изображений в системах технической диагностики.....	136
Чернышов В.Н., Мишин В.В., Селихов А.В., Рыбакова Н.В. Исследование закона распределения активного сопротивления подшипника при различных режимах трения.....	143

Editorial council

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidate Sc.
Tech., Assistant Prof., secretary

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichuk A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.,
honored worker of science of Russian
Federation

Editor-in-chief Assistants

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichuk A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech.,
Prof.

Member of editorial board

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Corresponding Member of RAS

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph.-Math, Prof.

Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech.,
Prof., Academician of RAS

Kopylov Y.R. Doc. Sc. Tech., Prof.

Malinin V.G. Doc. Sc. Ph.-Math., Prof.

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Academician of RAS

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.

Smolenzev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition

Grigorieva O.Yu.

Address

302020 Orel,
Nauorskoe Chosse, 29
(4862) 41-98-48, 55-55-24, 41-98-03,
55-05-81

www.gu-unpk.ru

E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Agency
of supervision in sphere of commun-
ication, information technology and
mass communications. The certificate
of registration PI № FS77-47351 from
03.11.2011

Index on the catalogue of the «Pressa
Rossii» 29504

© State University – ESPC, 2012

Contents

Natural science

Vitkovsky I.V., Shorkin V.S., Khoroshilova M.V., Al-Shatebi Sami The activation energy of a particle diffusion in a continuous medium.....	3
Korneyev A.Yu., Li Sheng-bo The calculation procedure of the dynamic characteristics of metal-rubber rings.....	10
Krugovova E.A. Assessment of the impact of fluctuations of the bridge on the dynamics of a train in the software package «universal mechanism».....	16

Process modeling

Bukatyi A.S., Bukatyi S.A., Andreev I.B. The optimization of the turbine blade-disk interlock on the basis of parametric modeling and energy criterion.....	24
---	----

Construction, calculation, material

Karelin O.O., Remizov A.E. To the question of calculation of flow twisting angle in adapter channels on the stage of preliminary designing of aero-engines and power generation gas turbine.....	30
Savin L.A., Slivinsky E.V., Klimov D.N., Mitina T.E., Suzdal'skaya E.A. Perspective torsional springing for the main and industrial diesel locomotives with pedestal bogie.....	36
Shutin D.V., Polyakov R.N. Hardware and software analysis and selection for the control system of a radial mechatronic hydro-static-dynamic bearing.....	46
Vdovin S.I., Dorofeev O.V., Lunin K.S. Adaptive control of tube bending at circular copying templet.....	54
Popikov A.A., Majorov S.V. Rotordynamics analysis of process gas compressor.....	58

Machine building technology and toolware

Babichev A.P., Vernigorov Y.M., Frolova N.N. Operating modes of the device of the high milling of the powder SmCo ₅	64
Golenkov V.A., Radchenko S.J., Dorohov D.O., Gryadunov I.M. On performance improving of hollow axisymmetric details of machines by intensive plastic deformation methods.....	71
Rubin P.S., Tarapanov A.S. Prospects of development of modes of machining of cylindrical wheels with arch teeth.....	78
Steblesov Y.N. Experimental prediction of adequacy of roughness processing gears transmission Novikova.....	86
Kovalchuk A.V., Samsonov A.G., Yulenets Yu.P. Diagnostics of discharge characteristics for surface modification processes in plasma.....	91

Innovation and frame in machine building

Pronyushkina T.G., Morozova A.V. Professiogram as a model of the formation of competitive engineering specialist.....	98
---	----

Instrument making and biotechnological system

Androsova E.B. [Korndorf S.F.] Reasons for breach of integrity working surfaces of ball bearings.....	102
Gilin E.V. Efficiency increase is information - measuring and operating systems of the automated electric drives.....	107
Korolyov M.V., Ivanov Y.B., Larkin E.I. Perspective directions of vibro-acoustic noising systems of voice data.....	113
Kiselev D.V., Kiseleva T.P., Htin Kyaw, Htet Min Phyu Optimization of a choice of elements of technical system by means of data mining.....	123

Tests, control, diagnostics and quality control

Sychev S.N., Podmasteryev K.V., Gavrilina V.A., Paholkin E.V. Application by hplc to investigate the lubricant. Part 1. Analysis of base oils and oxygenated compounds.....	128
Tiutiakin A.V., Kondrashin A.A., Borisov O.M. On the selection of image filter profiles in technical diagnostics systems.....	136
Chernyshov V.N., Mishin V.V., Selikhov A.V., Rybakova N.V. Research of the distribution of resistance in different modes bearing friction.....	143

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 539.3

И.В. ВИТКОВСКИЙ, М.В. ХОРОШИЛОВА, В.С. ШОРКИН, АЛЬ-ШАТЕБИ САМИ

ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ ЧАСТИЦЫ ПРИ ЕЕ ДИФФУЗИИ В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ

Предложен метод оценки величины энергии активации при определении коэффициента диффузии частиц-включений в сплошной упругой среде. Метод основан на гипотезе о равенстве энергии активации и потенциальной энергии взаимодействия частицы с упругой средой, в которой она оказалась. Эта энергия определяется методами нелокальной модели упругой среды, опирающейся на представление о парном потенциальном взаимодействии ее частиц. Потенциал взаимодействия известен. Его параметры определяются через характеристики упругого состояния, используемыми классической линейной теорией упругости. Результаты расчета энергии активации сравниваются с ее значениями, представленными в научной литературе.

Ключевые слова: энергия активации, потенциальная энергия, нелокальное парное взаимодействие, теория упругости.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс диффузии, рассматриваемый с точки зрения термодинамики, характеризуется несколькими физическими параметрами, которые рекомендуется определять экспериментально. Тем не менее, даже для организации этих экспериментов и обработки их результатов важна предварительная оценка значений этих параметров. Целью данной работы является построение математических выражений, позволяющих теоретически оценить величину энергии активации частиц-включений из известного материала, диффундирующих в известном материале-матрице. Эти выражения строятся на основании косвенных оценок энергии активации, которые, однако, можно сделать, не прибегая к детальному анализу физического процесса диффузии отдельных частиц в среде-матрице.

Скорость диффузии определяет коэффициент диффузии

$$D = D_0 e^{-\frac{E_a}{kT}} \quad (1)$$

Здесь T – температура; k – постоянная Больцмана; E_a – энергия активации; D_0 – предэкспоненциальный множитель, равный коэффициенту диффузии при отсутствии необходимости активации ($E_a = 0$) или при очень большой температуре ($T = \infty$).

Параметр k является универсальным. Температура T задается. Параметры Q и D_0 характерны для пары материалов B и C и определяются обычно в опытах по диффузии B в C на специально приготовленных контрольных образцах. В данной работе величину одного из них – параметра Q , оценить теоретически.

В соответствии со своим физическим смыслом [1], энергия активации – это высота потенциального барьера, который должна преодолеть частица, чтобы перескочить из одного равновесного положения в другое.

В данной работе, опираясь на результаты, представленные в [2], предлагается вычислить величину этого барьера без учета внутренней структуры материала-матрицы, полагая его сплошным, однородным. Механизм диффузии также не учитывается. При этом считается, что величина потенциального барьера равна потенциальной энергии (потенциалу) взаимодействия диффундирующей частицы с ее окружением в материале-матрице при данной температуре.

МОДЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦЫ-ВКЛЮЧЕНИЯ И МАТЕРИАЛА-МАТРИЦЫ

Предполагается, что все рассматриваемые тела: диффундирующие частицы-включения, материал- матрица, являются сплошными, твердыми, упругими, изотропными, имеющими одинаковую температуру, распределенную равномерно по каждому из них.

Пусть B – частица-включение, занимающая область W_B с объемом V_B евклидова пространства, точки которого имеют радиус-векторы \vec{r} ; C – материал-матрица, занимающий область W_C с объемом V_C в том же пространстве; dB и dC их бесконечно малые элементарные частицы с объемами dV_B и dV_C и радиус-векторами \vec{r}_B и \vec{r}_C .

По аналогии с физикой твердого тела [2, 3] допускается, что между разными частицами dB и dC внутри материальных тел B и C , а также между частицами, принадлежащими разным телам, существует нелокальное потенциальное взаимодействие. Это взаимодействие может быть парным, тройным и т.д. В данной работе рассматриваются только парные взаимодействия между частицами dB и dC , принадлежащими разным телам B и C .

В соответствии с [4], потенциал $d^2\phi_{BC}$ пропорционален объемам dV_B и dV_C :

$$d^2\phi_{BC} = \Phi dV_B dV_C \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности Φ (далее потенциал) для изотропных сред зависит от расстояния $l_{BC} = |\vec{r}_C - \vec{r}_B|$ между взаимодействующими частицами. В данной работе эта зависимость определяется выражением, аналогичным потенциалу Морзе [5].

$$\Phi_{BC} = \Phi_{0BC} \left(e^{-\beta_{BC} l_{bc}} - e^{-2\beta_{BC} l_{bc}} \right) \quad (3)$$

В случае, когда материал B и C одинаков (рассматривается процесс самодиффузии) параметры этого выражения: Φ_0 и β , определяются формулами [6]

$$\Phi_{0BC} = \Phi_{0C} = \Phi_{0B} = \frac{5\beta^3}{12\pi} \lambda, \quad \lambda = \frac{\nu E}{\nu + 2\nu}, \quad \beta_{BC} = \beta_C = \beta_B = \frac{45\sqrt{3}}{2l_0}. \quad (4)$$

В этих равенствах: λ – параметр Ламэ, характеризующий упругие свойства материала тел B и C ; E и ν соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона того же материала; l_0 – среднее межатомное расстояние материала тел B и C . Если же материалы тел B и C разные, то предлагается принять (по аналогии с [7]):

$$\Phi_{0BC} = \sqrt{\Phi_{0B}\Phi_{0C}}, \quad l_{0BC} = \sqrt{l_{0B}l_{0C}}. \quad (5)$$

Выражение (2) определяет потенциал взаимодействия частицы-включения B с материалом-матрицей C с помощью равенства

$$\phi_{BC} = \int_{W_B} dV_B \int_{W_C} \Phi_{BC} dV_C. \quad (6)$$

Непосредственные вычисления записанного повторного интеграла реализуются с помощью равенств (3) – (5) и выбора удобной для этого системы координат.

ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ

При вычислении энергии активации E_a предлагается приравнять ее не всей потенциальной энергии ϕ_{BC} , а ее части φ_{BC} , преодоление которой позволяет сместиться центру инерции частицы B . Ее вычисление опирается на следующие рассуждения.

Для определенности поверхность частицы B будем считать сферической эффективного радиуса $R = \xi l_0$. Коэффициент ξ предлагается оценить по имеющимся в литературе данным о значениях энергии активации для различных пар материалов B и C как поправочный параметр, позволяющий уточнить предлагаемые в данной работе оценочные расчеты.