

1.



УДК 620.179.142.6:544,72

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ГРАФИТА

Юров Виктор Михайлович

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «Восток», Караганда, Казахстан

Жангозин Канат Накошевич

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «Восток», Усть-Каменогорск, Казахстан

Гончаренко Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт,
Москва, Россия

Олешко Владимир Станиславович

Кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт,
Москва, Россия



<https://doi.org/10.5281/zenodo.10882905>

Аннотация: Поверхностный слой графита состоит из двух частей $R(I)$ и $R(II)$. Слой $R(I)$ параллельно плоскости $x = a = b$ и перпендикулярно этой плоскости $x = c$ равен: $R(I)_a = 0,9$ (3) нм; $R(I)_c = 2,46$ (3) нм, где число в скобках означает число монослоев графита. Нетрудно скотчем отделить два монослоя графита, чтобы получить графен. Слой $R(I)$ представляет собой наноструктуру, где размерные эффекты являются эффектами коллективного типа. Слой $R(II) \approx 9 R(I)$, представляет собой мезоструктуру, где размерные эффекты являются эффектами другого типа. В статье показано, что поверхностная энергия слоя $R(I)$ в три раза меньше поверхностной энергии основного кристалла. Чтобы разделить слой $R(I)$ от остального кристалла, нужно затратить энергию, которая называется энергией адгезии. В статье вычислены энергия адгезии W_a , внутренние напряжения σ_b , барьер $F(I)$ и напряжения $\sigma(I)$ Пайерлса – Набарро графита и графена. Внутренние напряжения σ_b у графена почти на порядок больше, чем у графита, что приводит к короблению однослойного листа графена. Показано, что барьер Пайерлса – Набарро для чистого графена $F(I)_{ПН} = 0,26 \cdot 10^{-9}$ Н, а для типичной стали $F(I)_{ПН} = 0,5 \cdot 10^{-9}$ Н. Моновакансия обладает большим барьером Пайерлса – Набарро, который является тормозом движения дислокаций в графене и приводит к его упрочнению.

Ключевые слова: графит, графен, поверхностный слой, наноструктура, мезоструктура, размерный эффект, барьер Пайерлса – Набарро, энергия адгезии.

Abstract: The surface layer of graphite consists of two parts $R(I)$ and $R(II)$. The layer $R(I)$ parallel to the plane $x = a = b$ and perpendicular to this plane $x = c$ is equal to: $R(I)_a = 0.9$ (3) nm; $R(I)_c = 2.46$ (3) nm, where the number in brackets means the number of graphite monolayers. It is not difficult to separate two monolayers of graphite with tape to obtain graphene. The $R(I)$ layer is a nanostructure where size effects are collective-type effects. The layer $R(II) \approx 9 R(I)$ is a mesostructure, where size effects are effects of a different type. The

PEIERLS–NABARRO BARRIER IN THE SURFACE LAYER OF ALLOTROPIC MODIFICATIONS OF CARBON

V. Yurov,

Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan

K. Zhangozin

Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
TSK Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10609838>

Abstract

The purpose of this article is to determine the thickness of the surface layer of carbon materials and calculate the Peierls–Nabarro barrier in this layer. It is shown that for diamond the thickness of the surface layer is $R(I) = 0.58$ nm and contains only (2) monolayers. It is shown that at a graphite density of 1.75 g/cm^3 in the longitudinal direction $R(I)_a = 1.17$ (4) nm, and in the transverse direction $R(I)_c = 3.19$ (4) nm. It was shown that for α -carbyne $R(I)_a = 38.6$ (43) nm and $R(I)_c = 196.7$ (128) nm, which is significantly more than 100 nm. It turned out that carbyne is the strongest of all known materials. For fullerenes, for C_{60} $R(I) = 85.6$ (60) nm, for C_{70} $R(I) = 93.4$ (64) nm. We compare the $R(I)$ monolayer with the Peierls–Nabarro barrier, which is equal to the force of interatomic interaction. We compared the thickness of the surface layer $R(I)$ to the length of nanocracks L_{cr} , which appears in any solid during the formation of its surface. In this case, the surface layer $R(I)$ is subjected to internal stresses due to relaxation or reconstruction of the surface. It is shown that the height of the Peierls–Nabarro barrier is maximum: carbyne $\rightarrow C_{70} \rightarrow$ diamond. If we want to increase strength and strengthen the material, then we need to increase the height of the Peierls–Nabarro barrier for moving dislocations (nanocracks) in the crystal structure. It has been shown that the height of the Peierls–Nabarro barrier for graphite is 5 times less than for diamond. It is shown that the Peierls–Nabarro stress $\sigma(I) = 4.3$ GPa, which leads to warping of graphene. Also, the Stone–Wales defect can be considered as a dislocation dipole. The Peierls–Nabarro barrier is equal to $F(I) = 1.29 \cdot 10^{-9}$ N for α -carbyne, which is greater than that of diamond. This means dislocation inhibition for α -carbyne and means its strength. It has been shown that, in addition to carbyne, C_{70} fullerene and diamond, most crystals, including steels, have Peierls–Nabarro barriers that do not exceed $1 \cdot 10^{-9}$ N, so they are not as strong as diamond.

Keywords: Diamond, graphite, carbyne, fullerene, carbon, nanocrack, dislocation, strength.

Introduction

Carbon exists in several allotropic modifications and in various isomorphous states with very diverse physical properties [1-4]. There are three basic geometries for the carbon atom: tetrahedral, trigonal, and diagonal. The tetrahedral geometry of the carbon atom (sp^3 hybridization) corresponds to the allotropic modifications of carbon: diamond and lonsdaleite. The trigonal modification is formed by mixing one s - and two p -electron orbitals. The carbon atom has three equivalent $\sigma_{x,y}$ bonds located in the same plane at an angle of 120° to each other. The p_z orbital, which is not involved in hybridization and is located perpendicular to the

plane of σ bonds, is used to form a π bond with other atoms. It is this carbon geometry that is characteristic of graphite (sp^2 hybridization) [5]. Carbon with diagonal atomic geometry forms a special allotropic modification - carbyne (sp -hybridization), however, in the materials synthesized to date, the length of straight carbyne without bends and interchain bonds is less than a hundred atoms [6]. The work [7] depicts all known forms of existence of free carbon in the form of a triangle diagram (Fig. 1), at the vertices of which there are chemical compounds characterized by one type of hybridization of the carbon atom (sp , sp^2 or sp^3).

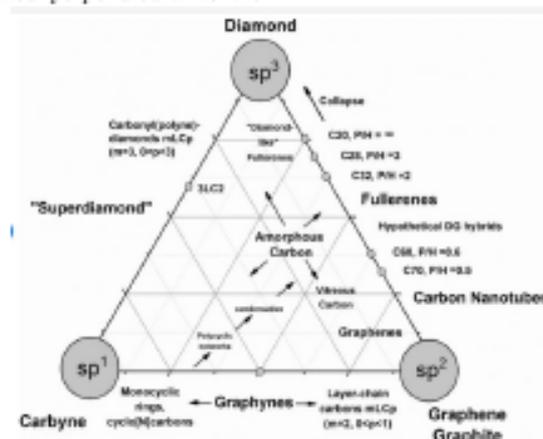


Figure 1. Schematic representation of allotropic modifications of carbon [7].

3.

DOI 10.24412/2709-1201-2024-218-224

UDK 620.179.142.6:544.72

THE THICKNESS OF THE SURFACE LAYER OF DIAMONDS

YUROV VICTOR MIKHAILOVICH

Candidate of phys.-math. sciences, associate professor, Vostok LLP, Karaganda, Kazakhstan

ZHANGOZIN KANAT NAKOSHEVICH

Candidate of phys.-math. sciences, associate professor, Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

GONCHARENKO VLADIMIR IVANOVICH

Doctor of technical sciences, professor, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

OLESHKO VLADIMIR STANISLAVOVICH

Candidate of technical sciences, associate professor, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Abstract: *a model of a surface layer of diamond is proposed, which occurs due to the reconstruction of its surface. The surface layer of diamond consists of two parts - R(I) and R(II). At the same time, $R(II) \approx 9R(I)$, and R(I) depends on the molar mass and density of the diamond. The total thickness of the surface layer of diamond $H_{(hkl)}$ is from 3 nm for the plane (100) to 7 nm for the plane (111) and is a nanostructure in which dimensional effects of the collective type occur. Between the surface layer and the rest of the crystal there are large internal stresses, leading to diamond-graphite hybrids with sp^{3-x} -hybridization. The surface energy of the $H_{(hkl)}$ layer is three times less than that of the rest of the volume, the strength of the surface layer is three times less than that of the rest of the volume. This effect is used by jewelers, I polish diamond diamonds. The fact that in the surface layer of the diamond is located graphite follows from the fact that it is a "cost" to turn the diamond into graphite when it is heated to temperatures of 2000-3000 °C without oxygen access.*

Key words: *diamond, graphite, surface layer, nanostructure, surface.*

Introduction

There are two approaches to today: Gibbs approach [1], in which the surface layer is conditionally considered as a geometric surface that does not have thickness; The approach of Van-Der Vaals, Guuggenheim, Rusanov, in which the surface layer is considered as a layer of final thickness [2]. According to modern representations [3], a super thin film (surface layer), which is in an equilibrium state with a crystalline base (substrate), the properties and structure of which are different from volumetric properties, is understood as a superficial phase. However, the question of the theoretical "thickness" of this surface layer for various substances until 2018 remained open. Only after our works [4, 5] became clear how theoretically could it determine the thickness of the surface layer, which plays a large role in nanotechnology [6].

In the work [4, 5], for the first thickness of the R(I) of the surface layer, we received:

$$R(I) = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot v \text{ (m)}. \quad (1)$$

Schematically this model is presented in Fig. 1a [7]. Equation (1) shows that R(I) is determined by one parameter - a molar (atomic) volume of the element ($v = M/\rho$, M - molar mass (kg/mol), ρ - density (kg/m³), $\alpha = 1 \text{ mol/m}^2$, in order to preserve the size of the values), which periodically changes in line with the table D.I. Mendeleev (Fig. 1b) [7].

PEIERLS BARRIER - NABARRO AND MIGRATION MONOVACANCIES AND MULTIVACANCIES IN GRAPHENE

Yurov V.,

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10515013>

Abstract

In the article, we compare a graphene monolayer with the Peierls–Nabarro barrier, which is equal to the force of interatomic interaction. This barrier is calculated from the formation energy of monovacancies, divacancies and other structural defects and the length of the newly formed carbon bond. It is shown that the Peierls–Nabarro barrier is maximum for a monovacancy and then decreases for complex defects.

Keywords: graphene, monolayer, monovacancy, divacancy, defect, carbon, barrier, dislocation.

Introduction

Defects and impurities have a significant impact on the mechanical, electrical, optical and other properties of solids, and, in particular, graphene, discovered at the beginning of the 21st century [1]. Graphene has two types of defects: (i) natural defects known as intrinsic defects in graphene, such as Stone–Wells defects, single vacancy defects, multiple defects, linear defects, and carbon adatoms; and (ii) physically introduced defects, known as extrinsic defects in graphene, which are foreign adatoms and foreign impurities [2-4].

In this article, we will consider the effect of monovacancies and multivacancies on the physical properties of graphene. Then we compare the energy of their formation and migration with the Peierls–Nabarro barrier in graphene.

Monovacancy in graphene

A monovacancy (SV) or Schottky defect is the absence of an atom or ion at a site in a crystal lattice. A monovacancy (SV) was experimentally observed in graphene in [4-7] and its image is shown in Figure 1.

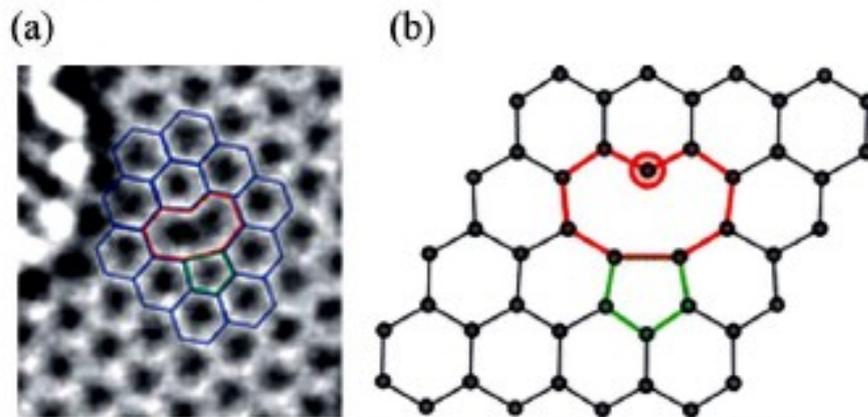


Figure 1. Monovacancy in graphene: experimental TEM image (a); atomic structure obtained as a result of calculations using the DFT method (b) [4].

Calculations have shown that the local threefold symmetry of graphene D_{3h} is broken to the C_{2v} symmetry due to the Jahn-Teller distortion [8-11]. A monovacancy has a 5/9 structure, where a new bond with length b_{CV} arises between a pair of three atoms with dangling bonds, forming a pentagon with a displacement d_{CV} of the third atom from the graphene plane [2, 12-14]. This moment is depicted in Figure 2. The energy of formation of monovacancies is $E_{CV} = 7.6-7.9$ eV and the length of the newly formed bond is $b_{CV} =$

$0.18 - 0.2$ nm, the migration barrier is $\Delta E_{CV} = 1.3$ eV at $100 - 200$ °C and out-of-plane movement $d_{CV} = 0.018$ nm [4, 8-10]. If we take the average values of E_{CV} , ΔE_{CV} and energy converted into joules, we get $E_{CV} = 12.4 \cdot 10^{-19}$ N/m, $\Delta E_{CV} = 2.1 \cdot 10^{-19}$ J = $2.1 \cdot 10^{-19}$ N/m. The force of formation of monovacancies is equal to $F_{CV} = E_{CV}/b_{CV} = 12.4 \cdot 10^{-19}$ N/m/ $1.9 \cdot 10^{-10}$ m = $6.5 \cdot 10^{-9}$ N, The force of movement of the migration barrier is equal to $\Delta F_{CV} = \Delta E_{CV}/d_{CV} = 2.1 \cdot 10^{-19}$ N/m/ $0.18 \cdot 10^{-10}$ m = $11.7 \cdot 10^{-9}$ N.

ON THE QUESTION OF STONE–WELES DEFECTS IN GRAPHENE

Yurov V.,

Karaganda Technical University, candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Karaganda

Zhangozin K.

TSK Vostok LLP, candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk<https://doi.org/10.5281/zenodo.10492440>**Abstract**

In this article, we examined the SW defect in graphene and, after a brief review of previous studies, proposed a model for its origin. This model is based on the thickness of the surface layer $R(l)$ of graphene, equal to the length of the nanocrack L_{nc} . Based on this model, elastic parameters for graphite and graphene are calculated. It is shown that large internal stresses between the graphene plane and the air gap lead to warping of the graphene surface, detected experimentally and theoretically. These internal stresses arise due to the relaxation of the graphene surface. For the same reason, SW defects and other defects arise in graphene through the Frank-Read model. We considered the SW defect from the standpoint of: birth \rightarrow migration \rightarrow annihilation \rightarrow destruction of a graphene sheet. We have already considered the birth of the SW defect. This dislocation (nanocrack) has an autowave character. The maximum speed of movement (migration) of a dislocation (nanocrack) for graphene is $V_{max} \approx 10^4$ m/s. The brake on the movement of dislocations in pure graphene can be the Peierls–Nabarro barrier and internal friction. The Peierls–Nabarro barrier is significantly less than the energy of motion of the dislocation $F(l)_{p-N} L \ll m V_{max}^2/2$. The brake on the movement of SW dislocations is terahertz oscillations or plasmons in graphene. Annihilation of edge dislocations of opposite signs occurs with the dipole arm in the range $l > 11.5 - 16$ Å. We have presented all the parameters of graphene for calculating the force, deformation and energy criteria for destruction.

Keywords: graphene, defect, surface layer, nanocrack, dislocation, birth, migration, annihilation, destruction of a graphene sheet.

Introduction

In quasi -alarm solids there are topological defects that arise as a result of regrouping of intermediary ties [1]. In Grafen [2] - a crystal with a hexagonal grate - a simple defect of this type is a defect of Stone -Wels (SW) [3]. It is formed when one of the bonds of C-C in the plane of the monofry at an angle of 90° (transformation of Stone -Wels [1]), which leads to the appearance of two seven -angles and two pentagons.

In addition to graphene, graphan [4], graphin [5], graphdin [6], diaman on the SiC (0001), fluorine diamond (F-diaman) on the CuNI substrate (111) [8], as well as quasi-alarmed were synthesized. Composite of polyanilin and oxide graphene [9]. Theoretically proposed a number of stable two-dimensional allotles of

carbon: metal R-10 graphene [10]; carbon monoxide 123-E8Y24-1 [11], two sp^2+sp^3 hybridized structures [12]; PHH-graphite [13]. Most recently, theoretically predicted thermodynamically stable single -layer structures - azuratial [14] and Stone - Wales graphene (SWG) [15]. Stone - Wales graphene, in his two-layer modification, was considered in the work [16].

In this article, we will consider SW - defect in graphene, after a brief review of previous studies, from the standpoint of the causes of its origin.

Structure and properties SW - defect

In [17], two types of SW defects are proposed, namely S-W1 and S-W2, which are caused by a rotation of 90° C-C connections in different directions, as shown in Fig. 1.

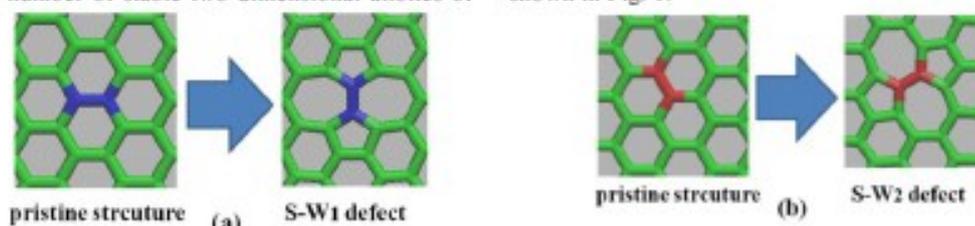


Figure 1. Two types of defects of Stone-Wales: (a) Blue connection CC rotates 90° to the defect S-W1; (b) the red bond CC is rotated 90° to the defect of the S-W2 [17].

At the stress of deformation for the graphene sheet $\varepsilon = 0.0125$, the energy barrier for the S-W1 defect is 53.9 eV, which is slightly lower than for the S-W2 61.1 eV defect (Fig. 2). In Fig. 3a shows a change in energy

barriers. For the formation of defects S-W1 and S-W2 with an increase in mechanical deformation. Regardless of the level of deformation, the barrier for the S-W1 defect is constantly lower than for S-W2,

AT THE MECHANISM OF GRAPHITE SPLITTING BOUBY AQUEOUS SOLUTIONS

Yurov V.M.,

*Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.N.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

Abstract

A review of the methods of graphite by aqueous solutions is given. Of particular interest are experimental results indicating the intercalation of graphite microclaster water. A review of the structure of microclaster water is given. Our model is proposed by the splitting of graphite by aqueous solutions. When the graphite breakdown by aqueous solutions, cracks were not taken into account, which are formed in any solid body. We received a model of splitting graphite by aqueous solutions, using only experimental data.

Keywords: graphite, carbon, splitting, crack, water, solution, intercalation, model, atom.

Introduction

Graphite is one of the most stable of all existing forms of carbon [1] and the best known example of substances with a layered structure, in which layers formed by covalently bonded carbon atoms in sp^2 hybridization (with a binding energy of ≈ 524 kJ/mol) are connected by Van-forces. der-Waals (with binding energy ≈ 7 kJ/mol) [2]. In nature, the process of graphite formation can be divided into three main stages: the transformation of organic material into peat, then into coal, and finally into graphite [3]. The process of artificially forming graphite involves heating coal to very high temperatures in special graphitizing mixtures. These mixtures contain various additives that promote the transformation of coal into graphite. This process, known as graphitization, produces high-quality and uniform graphite used in many technical and scientific fields [4, 5]. By splitting graphite, we obtain monoatomic monolayers, otherwise known as graphene, which has unique physicochemical properties. To obtain graphene from graphite, there are several methods, a review of which is given in [6-8].

The purpose of this article is to propose a mechanism for the splitting of graphite by aqueous solutions in order to obtain graphene-like structures.

Method of splitting graphite with aqueous solutions

In pure water, graphite practically does not react. Its layered structure does not allow water molecules to penetrate between the layers of graphite. Therefore, graphite remains stable and does not dissolve [9]. However, if the water contains other chemical compounds such as acids or alkalis, then the graphite may be susceptible to corrosion [10]. Graphite can react with hydrogen, which is produced by the electrolysis of water, and form graphite, a single-layer carbon structure [11]. During the electrolysis of water, in addition to hydrogen, oxygen is formed, which leads to the formation of carbon oxides [12]. In [13], a laboratory technology for producing few-layer graphene particles in aqueous solutions, in the presence of surfactants and organic substances, was developed by direct exfoliation of natural graphite under the influence of ultrasound (Fig. 1).

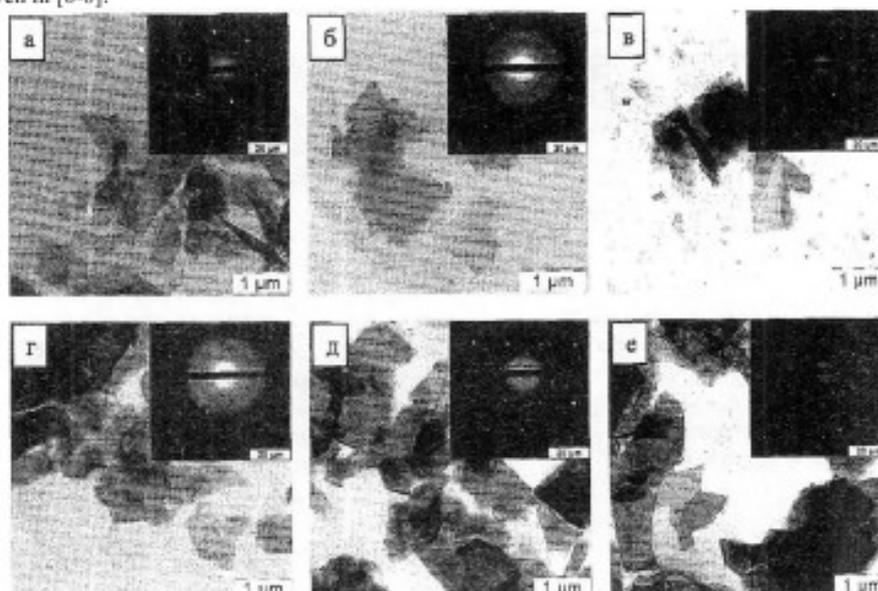


Figure 1. Results of a TEM study of graphene particles from an aqueous suspension (a) and from suspensions containing OD: FPAS (b), APAS (c), PVP (d), PEG (e), naphthalene (f), benzene (g) after six hours of ultrasonic treatment [13].

ABOUT THE MECHANISM OF MICA SPLITTING

Yurov V.,

Karaganda Technical University, Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Karaganda

Zhangozin K.

TSK Vostok LLP, Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

ABSTRACT

The article provides an overview of experimental and theoretical methods for splitting mica using muscovite as an example, starting from the 30s of the last century. From a review of these works, it follows that when chopping (splitting) crystals, the structure of its surface layer, which is different from the structure of the main crystal, is not taken into account. In 2018, we proposed an empirical model by which it is theoretically possible to calculate the thickness of the surface layer of solids and its anisotropy. Subsequently, it turned out that the thickness of the surface layer is equal to the length of the nanocrack, which is formed in any solid body, obtained by any method in nature or artificially, and along which the crystal splits. The muscovite splitting model we propose includes: determination of the melting temperature of muscovite mica; determination of adhesion energy using the obtained equations; splitting of muscovite in the cleavage plane due to the creation of frictional forces in the rollers that exceed the adhesion energy.

Keywords: mica, muscovite, surface layer, cleavage, adhesion energy, cleavage plane, melting point.

Introduction

Micas are a group of aluminosilicate minerals with a layered structure, of which we will consider muscovite - $\text{KA}l_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ [1, 2], which is widely used in industry and in everyday life [3-5]. GOST 10698-80 Mica [6] is a standard that applies to the main types of mica (muscovite and phlogopite) and establishes types, grades, basic parameters and primary areas of application in the national economy. GOST 10918-82. Mica plates and parts [7] applies to mica plates of arbitrary shape and rectangular mica parts without internal holes (except for radio components, television mica and muscovite mica for "3000" devices), used as a dielectric material and various types of insulation (electrical, thermal, hydrothermal). GOST 26858-86. Electrical insulating mica paper [8] covers electrical insulating mica paper made from muscovite and phlogopite without a binder, used for the manufacture of electrical insulating materials. GOST 25045-81. Electrical insulating materials based on plucked mica [9] applies to electrical insulating materials made from plucked mica

from muscovite and phlogopite, intended for use in electrical machines and apparatus. For the materials listed above, it is necessary to split (exfoliate) mica, which we will review below.

The purpose of this article is to review experimental and theoretical methods for mica cleavage and to propose our new model for muscovite cleavage.

Method of splitting (stratification) of mica (muscovite)

Obreimov I.V. back in 1930, he proposed a method for determining the surface tension of muscovite [10]. The idea of this work is as follows. A plate splits off from the crystal along the cleavage plane, which, under the influence of the moment of forces acting against the forces of surface tension, is partially bent. This plate can be used as a dynamometer to measure the peeling force. Indeed, the work done by the moment M acting at the edge of a plate of thickness t (Figure 1), when the separation region is lengthened by an amount δx , is equal to $M - \partial\delta\varphi/\partial x = M \delta x \partial^2\varphi/\partial x^2$.

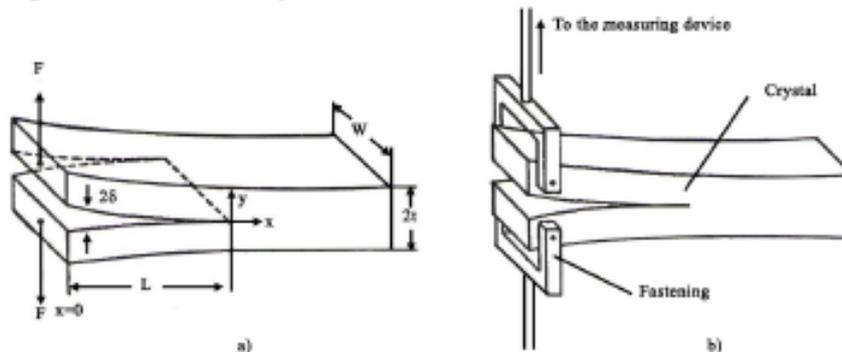


Figure 1. - Scheme of detachment of a layer from a crystal [10]

This work under equilibrium conditions must be equal to the change in the surface energy of the system, i.e. $2\gamma \delta x$. Taking into account the expression for the moment bending the plate $M = Et^3/12(1-x^2) \partial^2\varphi/\partial x^2$, we

can obtain an expression for γ :

$$\gamma = \frac{Et^2}{24(1-x^2)} \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2}, \quad (1)$$



УДК: 544.653.3

МОДЕЛЬ РАСЩЕПЛЕНИЯ ГРАФИТА КЛАСТЕРНОЙ ВОДОЙ

Юров Виктор Михайлович

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
 Караганда, Казахстан,

Жангозин Канат Накошевич

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
 Усть-Каменогорск, Казахстан

Аннотация: Предложена модель расщепления графита водными растворами. При расщеплении графита водными растворами не учитывались трещины, которые образуются в любом твердом теле. Получена модель расщепления графита водными растворами, используя при этом только экспериментальные данные.

Ключевые слова: графит, графен, модель, расщепление, водный раствор, трещина, микрокластерная вода.

В работе [1] впервые получены экспериментальные результаты, свидетельствующие об интеркаляции графита микрокластерной водой (МКВ) в центробежном (рис. 1) и электрическом полях (рис. 2) с образованием графеновых наноструктур.

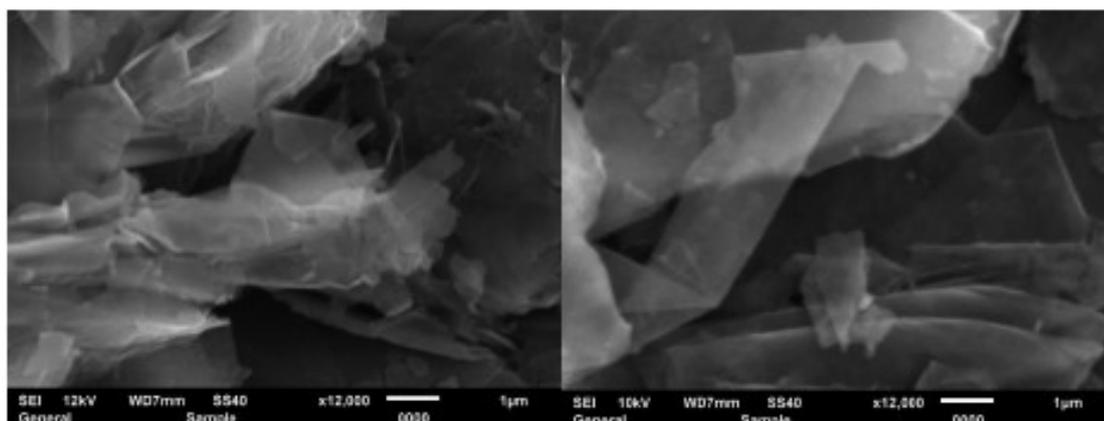


Рисунок 1. СЭМ снимок графита с МКВ после центрифугирования [1].

Поскольку в дистиллированной воде никаких изменений не наблюдалось, в работе [1] делается вывод, что происходит интеркаляция «микрокластеров» в межслойное пространство графита, вызывая его расширение от 3,44 Å до 6 Å и при длительном воздействии увеличивая это расширение в некоторых местах.

На рис. 2б эти же сосуды после 80 минут экспозиции в переменном электрическом поле 500 В (частота 50 Гц). Температура комнаты 22 °С. Видно, что уровень МКВ уменьшился (сосуд слева), причем объем уменьшения, сопоставим с объемом графита, что говорит о том, что произошло внедрение МКВ в значительную часть межслойного пространства графита.



УДК 620.179.142.6:544,72

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ГРАФИТА

Юров Виктор Михайлович

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «Восток», Караганда, Казахстан

Жангозин Канат Накошевич

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «Восток», Усть-Каменогорск, Казахстан

Гончаренко Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт,
 Москва, Россия

Олешко Владимир Станиславович

Кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт,
 Москва, Россия



<https://doi.org/10.5281/zenodo.10882905>

Аннотация: Поверхностный слой графита состоит из двух частей $R(I)$ и $R(II)$. Слой $R(I)$ параллельно плоскости $x = a = b$ и перпендикулярно этой плоскости $x = c$ равен: $R(I)_a = 0,9$ (3) нм; $R(I)_c = 2,46$ (3) нм, где число в скобках означает число монослоев графита. Нетрудно скотчем отделить два монослоя графита, чтобы получить графен. Слой $R(I)$ представляет собой наноструктуру, где размерные эффекты являются эффектами коллективного типа. Слой $R(II) \approx 9 R(I)$, представляет собой мезоструктуру, где размерные эффекты являются эффектами другого типа. В статье показано, что поверхностная энергия слоя $R(I)$ в три раза меньше поверхностной энергии основного кристалла. Чтобы разделить слой $R(I)$ от остального кристалла, нужно затратить энергию, которая называется энергией адгезии. В статье вычислены энергия адгезии W_a , внутренние напряжения $\sigma_{\text{в}}$, барьер $F(I)$ и напряжения $\sigma(I)$ Пайерлса – Набарро графита и графена. Внутренние напряжения $\sigma_{\text{в}}$ у графена почти на порядок больше, чем у графита, что приводит к короблению однослойного листа графена. Показано, что барьер Пайерлса – Набарро для чистого графена $F(I)_{\text{ПН}} = 0,26 \cdot 10^{-9}$ Н, а для типичной стали $F(I)_{\text{ПН}} = 0,5 \cdot 10^{-9}$ Н. Моновакансия обладает большим барьером Пайерлса – Набарро, который является тормозом движения дислокаций в графене и приводит к его упрочнению.

Ключевые слова: графит, графен, поверхностный слой, наноструктура, мезоструктура, размерный эффект, барьер Пайерлса – Набарро, энергия адгезии.

Abstract: The surface layer of graphite consists of two parts $R(I)$ and $R(II)$. The layer $R(I)$ parallel to the plane $x = a = b$ and perpendicular to this plane $x = c$ is equal to: $R(I)_a = 0.9$ (3) nm; $R(I)_c = 2.46$ (3) nm, where the number in brackets means the number of graphite monolayers. It is not difficult to separate two monolayers of graphite with tape to obtain graphene. The $R(I)$ layer is a nanostructure where size effects are collective-type effects. The layer $R(II) \approx 9 R(I)$ is a mesostructure, where size effects are effects of a different type. The

НАУЧНАЯ ИНИЦИАТИВА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

**Сборник статей
по итогам
Международной научно-практической конференции
03 апреля 2024 г.**

Стерлитамак, Российская Федерация
Агентство международных исследований
Agency of international research
2024

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Караганда, Казахстан
Гончаренко В. И.
доктор технических наук, профессор,
Московский авиационный институт, Москва, Россия
Олешко В. С.
кандидат технических наук, доцент,
Московский авиационный институт, Москва, Россия
Жангозин К. Н.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Астана, Казахстан

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА

Аннотация.

В статье предлагается модель поверхностного слоя дисульфида молибдена, его свойства и как оперативно определять поверхностную энергию. Модель может быть использована для любых конструкционных материалов.

11.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ 2024

Сборник статей
по итогам
Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием

06 апреля 2024 г.

Стерлитамак, Российская Федерация
Агентство международных исследований
Agency of international research
2024

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ 2024

Юров В. М.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Караганда, Казахстан

Гончаренко В. И.

доктор технических наук, профессор,
Московский авиационный институт, Москва, Россия

Олешко В. С.

кандидат технических наук, доцент,
Московский авиационный институт, Москва, Россия

Жангозин К. Н.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Астана, Казахстан

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ДИСЕЛЕНИДА МОЛИБДЕНА

Аннотация.

Предложенная нами модель трения твердого тела, на примере актуальных веществ – MoSe₂, включает, кроме энергии адгезии двух трущихся материалов, толщину поверхностного слоя этого материала.

Ключевые слова.

Диселенид молибдена, монослой, наноструктура, поверхность, модель.

Yurov V. M.

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor.
"TSK Vostok", Karaganda, Kazakhstan

Goncharenko V. I.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Oleshko V. S.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

Zhangozin K. N.

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor.
"TSK Vostok", Astana, Kazakhstan

SURFACE LAYER OF MOLYBDENUM DISELENIDE

Annotation

The model we propose for friction of a solid body, using the example of actual substances - MoSe₂, includes, in addition to the adhesion energy of two rubbing materials, the thickness of the surface layer of this material.

Keywords

Molybdenum diselenide, monolayer, nanostructure, surface, model.

12.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС: ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАНИЗМ

**Сборник статей
по итогам
Международной научно-практической конференции
09 апреля 2024 г.**

Стерлитамак, Российская Федерация
Агентство международных исследований
Agency of international research
2024

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Караганда, Казахстан
Жангозин К. Н.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Астана, Казахстан

О ТЕОРИИ ВЯЗКОСТИ РАСТВОРОВ

Аннотация.

В статье сделан обзор по моделям вязкости жидкостей, начиная с моделей вязкости прошлых столетий, затем модели вязкости XX столетия и, наконец, реологические модели XX и XXI столетий. В области реологии жидкостей пока не существует удовлетворительной количественной теории, связывающей реологические свойства сред с параметрами их структуры. Предлагается модель вязкости жидкостей, в которой рассматривается жидкость, как система

13.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

Сборник статей
по итогам
Международной научно-практической конференции
12 апреля 2024 г.

Стерлитамак, Российская Федерация
Агентство международных исследований
Agency of international research
2024

Yurov V. M.

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor.
"TSK Vostok", Karaganda, Kazakhstan

Zhangozin K. N.

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor.
"TSK Vostok", Astana, Kazakhstan

SURFACE LAYER OF ALLOTROPIC MODIFICATIONS OF CARBON

Annotation

The purpose of this article is to determine the thickness of the surface layer of carbon materials and calculate the Peierls–Nabarro barrier in this layer. It is shown that for diamond the thickness of the surface layer is $R(I) = 0.58$ nm and contains only (2) monolayers. It is shown that at a graphite density of 1.75 g / cm^3 in the longitudinal direction $R(I)_a = 1.17$ (4) nm, and in the transverse direction $R(I)_c = 3.19$ (4) nm. It was shown that for α - carbyne $R(I)_a = 38.6$ (43) nm and $R(I)_c = 196.7$ (128) nm, which is significantly more than 100 nm. It turned out that carbyne is the strongest of all known materials. For fullerenes, for C_{60} $R(I) = 85.6$ (60) nm, for C_{70} $R(I) = 93.4$ (64) nm. We compare the $R(I)$ monolayer with the Peierls–Nabarro barrier, which is equal to the force of interatomic interaction. We compared the thickness of the surface layer $R(I)$ to the length of nanocracks L_{cr} , which appears in any solid during the formation of its surface. In this case, the surface layer $R(I)$ is subjected to internal stresses due to relaxation or reconstruction of the surface. It is shown that the height of the Peierls–Nabarro barrier is maximum: carbine $\rightarrow C_{70} \rightarrow$ diamond. If we want to increase strength and strengthen the material, then we need to increase the height of the Peierls - Nabarro barrier for moving dislocations (nanocracks) in the crystal structure. It has been shown that the height of the Peierls–Nabarro barrier for graphite is 5 times less than for diamond. It is shown that the Peierls–Nabarro stress $\sigma(I) = 4.3$ GPa, which leads to warping of graphene. Also, the Stone - Wales defect can be considered as a dislocation dipole. The Peierls - Nabarro barrier is equal to $F(I) = 1.29 \cdot 10^{-9}$ N for α - carbine, which is greater than that of diamond. This means dislocation inhibition for α - carbine and means its strength. It has been shown that, in addition to carbyne, C_{70} fullerene and diamond, most crystals, including steels, have Peierls - Nabarro barriers that do not exceed $1 \cdot 10^{-9}$ N, so they are not as strong as diamond.

Keywords

Diamond, graphite, carbyne, fullerene, carbon, nanocrack, dislocation, strength.

14.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ НАУКИ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

**Сборник статей
по итогам
Международной научно-практической конференции
15 апреля 2024 г.**

Стерлитамак, Российская Федерация
Агентство международных исследований
Agency of international research
2024

Юров В. М.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Караганда, Казахстан

Жангозин К. Н.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК Восток», Астана, Казахстан

РАСШЕПЛЕНИЕ ГРАФИТА МИКРОКЛАСТЕРНОЙ ВОДОЙ

Аннотация.

Дан обзор методам расщепление графита водными растворами. Особый интерес представляют экспериментальные результаты, свидетельствующие об интеркаляции графита микрокластерной водой. Дан обзор по структуре микрокластерной воды. Предложена наша модель расщепление графита водными растворами. При расщеплении графита водными растворами не учитывались трещины, которые образуются в любом твердом теле. Нами получена модель расщепления графита водными растворами, используя при этом только экспериментальные данные.

Ключевые слова.

Графит, углерод, расщепление, трещина, вода, раствор, интеркаляция, модель, атом.

DOI 10.34660/INF.2024.27.51.198

与维德曼-弗朗茨定律的偏差
DEVIATIONS FROM THE WIEDMAN-FRANZ LAW

Yurov Viktor Mikhailovich

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor
VNS LLP "Vostok",
Karaganda, Kazakhstan*

Goncharenko Vladimir Ivanovich

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Moscow Aviation Institute,
Moscow, Russia*

Oleshko Vladimir Stanislavovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow Aviation Institute,
Moscow, Russia*

抽象的。 本文从固体（包括金属）结构的角​​度研究了与维德曼-弗朗茨定律的偏差。 $R(I)$ 层中的尺寸效应由系统中的整个原子集合（集合过程）决定。 这种尺寸效应仅在纳米颗粒和纳米结构中观察到。 $R(II)$ 层（我们称之为介观结构）延伸到大约 $h \approx 9 R(I)$ ，即体相开始的地方。 介观结构和纳米结构与体相之间的区别在于，仅在这些系统中观察到闪烁噪声。 结果表明，考虑到塔曼表面态，纳米层 $R(I)$ 中的洛伦兹数逐步减小。

关键词：维德曼-弗朗兹定律、表面层、金属、尺寸效应、纳米结构、洛伦兹数。

Abstract. *This article examines the deviation from the Wiedemann-Franz law from the point of view of the structure of solids, including metals. Size effects in the $R(I)$ layer are determined by the entire collective of atoms in the system (collective processes). Such size effects are observed only in nanoparticles and nanostructures. The $R(II)$ layer, which we will call the mesostructure, extends to approximately $h \approx 9 R(I)$, where the bulk phase begins. The difference between mesostructures and nanostructures and the bulk phase is that flicker noise is observed only in these systems. It is shown that the Lorentz number in the nanolayer $R(I)$ decreases in a stepwise manner, taking into account Tamman surface states.*

Keywords: *Wiedemann-Franz law, surface layer, metal, size effect, nanostructure, Lorentz number.*

DOI 10.34660/INF.2024.82.92.085

石墨和石墨烯的摩擦机理

FRICITION MECHANISM OF GRAPHITE AND GRAPHENE

Yurov Viktor Mikhailovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin Kanat Nakoshevich,

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Astana, Kazakhstan*

Kargin Djumat Beisenbekovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan*

摘要。本文提出了一种石墨的摩擦模型，石墨是一堆石墨烯片。该模型基于表面层的厚度，对于石墨而言，表面层为3个单层石墨烯。表面层中产生较大的内应力，导致位错和纳米裂纹的出现。摩擦过程可以描述为表面层的弹塑性变形过程。对于石墨烯，当石墨上发生摩擦时，纳米层起着重要作用，纳米层是一种量子纳米结构。石墨烯摩擦以逐步的方式发生。结果表明，在摩擦过程中，会发生振荡和耗散过程，形成湍流碎片，并发生贝纳德细胞形式的自组织。得出了一个公式，可作为选择由石墨烯或其复合材料制成的减摩涂层的标准。

关键词：摩擦，石墨，石墨烯，表面，单层，变形。

Abstract. *The article proposes a model of friction of graphite, which is a stack of graphene sheets. The model is based on the thickness of the surface layer, which for graphite is 3 monolayers of graphene. Large internal stresses arise in the surface layer, leading to the occurrence of dislocations and nanocracks. The friction process can be described as a process of elastic-plastic deformation of the surface layer. For graphene, when friction on graphite, an important role is played by the nanolayer, which is a quantum nanostructure. Graphene friction occurs in a stepwise manner. It is shown that during friction, oscillatory and dissipative processes occur, a turbulent fragment is formed, and self-organization in the form of Benard cells occurs. A formula is obtained that can serve as a criterion for selecting an antifriction coating made of graphene or its composites.*

Keywords: *friction, graphite, graphene, surface, monolayer, deformation.*

ОБ ЭФФЕКТЕ ИОФФЕ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ**ЮРОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Караганда, Казахстан**ГОНЧАРЕНКО ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**Доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ОЛЕШКО ВЛАДИМИР СТАНИСЛАВОВИЧ**Кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ЖАНГОЗИН КАНАТ НАКОШЕВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Эффект Иоффе может наблюдаться только в поверхностном слое твердого тела, размер которого определен в статье. Этот слой представляет собой наноструктуру, размерные эффекты в котором приводят к уменьшению поверхностной энергии, к снижению прочности, возникновению нанотрещин и прочее, т.е. к проявлению эффекта Иоффе.*

***Ключевые слова:** эффект Иоффе, поверхностный слой, наноструктура, твердое тело, нанотрещина, деформация.*

В 20-х годах XX столетия академик А.Ф. Иоффе провел ряд экспериментов с кристаллом NaCl и он получил разрыв этой соли в размере $0,4 \text{ kg/mm}^2$ вместо 200 kg/mm^2 по теории М. Борна [1]. А.Ф. Иоффе связал это с существованием микротрещин в поверхностном слое. Затем он кристалл NaCl опускал в воду и измерял твердость его поверхности, которая увеличилась при растворении поверхности, приближаясь к теоретическому значению. Этот эксперимент был назван «эффектом Иоффе» [2]. Этому эффекту было посвящено много работ (см. обзор [3]). Это связано, прежде всего, с особенностью деформаций в поверхностном слое, чему посвящены работы [4, 5] и продолжают до сих пор. Все эти неудачи связаны с тем, что отсутствует понятие о размерах толщины поверхностного слоя. Вообще существуют два подхода: подход Гиббса [6], в котором поверхностный слой условно рассматривается как геометрическая, не имеющая толщины поверхность; подход Ван-дер-Вальса, Гуггенгейма, Русанова, в котором поверхностный слой рассматривается как слой конечной толщины [7]. Согласно современным представлениям [8] под поверхностной фазой γ_1 понимают сверхтонкую пленку (поверхностный слой), находящуюся в равновесном состоянии с кристаллической основой (подложкой), свойства и структура которой отличны от объемных свойств γ_2 . Однако вопрос о теоретической «толщине» этого поверхностного слоя для различных веществ до 2018 оставался открытым. Лишь после наших работ [9, 10] стало ясно как теоретически можно определить толщину поверхностного слоя, которая играет большую роль в нанотехнологиях и мезомеханике.

Цель настоящей статьи заключается в описании модели поверхностного слоя и расшифровка эффекта Иоффе.

Поскольку поверхностный слой R(I) твердого тела представляет собой наноструктуру [9, 10], в которой происходят процессы релаксации или реконструкции поверхности [8], то

УДК 004:539

DOI 10.17513/snt.40089

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТА, ГРАФЕНА И ФТОРОГРАФИТА, ФТОРОГРАФЕНА

¹Юров В.М., ¹Жангозин К.Н., ²Гончаренко В.И., ²Олешко В.С.

¹ТОО «ТСК Восток», Караганда, Астана, e-mail: exciton@list.ru;

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, e-mail: OleshkoVS@mai.ru

В настоящей работе предлагается эмпирическая модель определения толщины поверхностного слоя графита и фторографита. Она оказалась равной для графита – $R(1) = 0,9$ нм, $R(1) = 2,46$ нм; для фторографита – $R(1) = 2,2$ нм, $R(1) = 6,41$ нм, т.е. она представляет собой наноструктуру. Число графеновых монослоев равно: у графита – 3, у фторографита – 4. Схема модели твердого тела выглядит следующим образом: нанослой → мезослой → объемная фаза. Нанослой и мезослой отличаются друг от друга природой размерного эффекта. В объемной фазе размерный эффект отсутствует. В рамках модели рассчитаны упругие параметры графита, фторографита и графена, фторографена. Большие внутренние напряжения в графене приводят к короблению его поверхности. Малые внутренние напряжения в фторографене обуславливают лучшие трибологические свойства. Графен, содержащий более 3 слоев, превращается в графит, а содержащий свыше 4 слоев фторографен превращается во фторографит. Внутренние напряжения в графене возникают из-за большой величины модуля Юнга, который почти в 3 раза больше, чем у вольфрама. У фторографена и внутренние напряжения, и модуль Юнга в 3 раза меньше, чем у графена. У фторографена энергия адгезии почти в 7 раз меньше, чем у графена.

Ключевые слова: модель, графит, графен, фторографит, фторографен, монослой, наноструктура, адгезия

Данная научная статья опубликована в рамках выполнения грантового финансирования на 2024-2026 годы ИРН № AP32488258 «Разработка инновационной технологии получения графена интеркаляцией графита микрокластерной водой и модификация графеном ВТСР керамики» (исследование финансируется МОН РК).

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF GRAPHITE, GRAPHENE AND FLUOROGRAPHITE, FLUOROGRAPHENE

¹Yurov V.M., ¹Zhangozin K.N., ²Goncharenko V.I., ²Oleshko V.S.

¹TSC Vostok LLP, Karaganda, Astana, e-mail: exciton@list.ru;

²Moscow Aviation Institute (national research university, Moscow, e-mail: OleshkoVS@mai.ru

This paper proposes an empirical model for determining the thickness of the surface layer of graphite and fluorographite. It turned out to be equal for graphite - $R(1) = 0.9$ nm, $R(1) = 2.46$ nm; for fluorographite - $R(1) = 2.2$ nm, $R(1) = 6.41$ nm, i.e. it is a nanostructure. The number of graphene monolayers is equal: for graphite – 3, for fluorographite – 4. The diagram of the solid body model is as follows: nanolayer → mesolayer → bulk phase. The nanolayer and mesolayer differ from each other in the nature of the size effect. In the bulk phase there is no size effect. Within the framework of the model, the elastic parameters of graphite, fluorographite, graphene, and fluorographene were calculated. Large internal stresses in graphene lead to warping of its surface. Low internal stresses in fluorographene lead to better tribological properties. More than 3 layers of graphene turns into graphite, and over 4 layers of fluorographene turns into fluorographite. Internal stresses in graphene arise due to the large value of Young's modulus, which is almost 3 times greater than that of tungsten. Fluorographene has both internal stresses and Young's modulus three times less than graphene. Fluorographene has adhesion energy almost 7 times less than graphene.

Keywords: model, graphite, graphene, fluorographite, fluorographene, monolayer, nanostructure, adhesion

This scientific article was published within the framework of the grant funding for 2024-2026 IRN No. AR32488258 "Development of an innovative technology for obtaining graphene by intercalation of graphite with microcluster water and modification of high-temperature superconducting ceramics with graphene" (the research is funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan).

Введение

Графит является аллотропной модификацией углерода с атомной массой 12,0107 г/моль, плотностью 2,26 г/см³ и sp²-гибридизацией атомов углерода [1, с. 28]. Если к углеродным атомам графита присоединить атомы фтора, то sp²-гибридизация

меняется на sp³-гибридизацию, но сохраняется гексагональная симметрия [2, с. 84]. Структура показана на рисунках 1а и 1б.

Если отщипнуть у графита один слой, то получается графен [3] (рис. 2а), а если отщипнуть один слой у фторографита, то получается фторографен [2, с. 84] (рис. 2б).

PHYSICAL SCIENCES

SURFACE LAYER OF YBCO CRYSTALS

Yurov V.M.

*Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
TSK Vostok LLP, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.N.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Astana, Kazakhstan*

Kargin D.B.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University",
Astana, Kazakhstan*

[DOI: 10.5281/zenodo.13786008](https://doi.org/10.5281/zenodo.13786008)

Abstract

The article presents a model of the thickness of the surface layer of YBCO crystals, from which its domain structure follows. It is shown that in the surface nanolayer, the temperature of the transition to the superconducting state increases by 2 times compared to the bulk phase. Lamels in the monodomain are determined as Abrikosov vortices, and there are 15 of them in the surface layer of YBCO.

Keywords: Superconductivity, surface layer, nanostructure, crystal.

Introduction

At the beginning of the 21st century, in his work [1], V.L. Ginzburg outlined the history of superconductivity research in three periods: "the day before yesterday (1911-1941), yesterday (1942-1986),

and today (1987-?)". The present period is actively developing at the present time, this is especially related to high-temperature superconductivity (SC) of cuprates (Table 1).

Table 1.

Experimental values of the SC transition temperature in cuprates.

Chemical compound	T_c , K	Chemical compound	T_c , K	Chemical compound	T_c , K
$\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$	36 [2]	$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$	80 [5]	$\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4.12}$	97 [7]
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	93 [3]				
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_2(\text{CaO}_x)$	86 [4]	$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_2(\text{CaO}_x)$	108 [6]	$\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$	[7]
	108 [4]	$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3(\text{Ca}_2\text{O}_{10})$	120 [6]	$\text{HgBa}_2\text{Cu}_3(\text{Ca}_2\text{O}_x)$	138
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3(\text{Ca}_2\text{O}_{10})$	120 [5]	$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12}$	102 [5]		[7]

The highest superconductor is achieved in mercury cuprates – 138 K (Table 1). More recently [8], Korean physicists Lee, Kim et al. reported the discovery of a superconductor at room temperature under ambient pressure: $\text{Pb}_{10-x}\text{Cu}_x(\text{PO}_3)_6\text{O}$ with $0.9 < x < 1.1$. They had previously named this material LK-99 after their initials and the year of the first synthesis. In the same year (2023), a number of articles [9-11] appeared that cast doubt on the results of [8]. We will not delve into the listed works, but will consider the

classic example of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, otherwise known as YBCO material.

The aim of this article is to model the surface layer of YBCO material and its properties.

Crystal structure of YBCO

Figure 1 a, b and c show the structures of the unit cells of YBCO in three main modifications corresponding to oxygen stoichiometries with indices 6, 6.5 and 7 [12].

CRACK MODEL IN GRAPHENE CONCRETE

Yurov V.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Astana, Republic of Kazakhstan*

Kargin D.

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University",
Astana, Kazakhstan*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13619789>

Abstract

A model of nanocracks in concrete is proposed. The length of a nanocrack is taken as the thickness of the surface layer of a solid, which is from 1 to 6 nm for metals and about 60 nm for standard concrete, i.e. it represents a nanostructure. For standard concrete: $L_{nm} = 60$ nm; $L_{\mu n} = 6$ microns; $L_c = 0.6$ mm. These data are typical without external load, without changing the environment. The number of cracks in concrete in the nanostructure region I is 10^3 , in the mesoscopic region II is 10^7 and in the pre-destruction region III is about 10^9 . Adding graphene and graphene oxide to the cement mortar significantly strengthens (by 4-5 times) standard concrete and reduces the number of nanocracks.

Keywords: model, concrete, cement, nanocrack, nanostructure, graphene.

Introduction

Cracks in concrete, which determine their durability, have been studied for a very long time. Theoretical and experimental methods for studying cracks in concrete can be found in recent dissertations, monographs and reviews [1-9]. But none of them talk about nanocracks, their length and their further development, up to the destruction of concrete.

In minerals, the formation of nanocracks was recently discovered in works [10, 11] using the fractoluminescence method. The essence of the method is that when a mineral is destroyed, atomic bonds on the surface are broken and a luminescence signal appears within 1 to 2 nanoseconds. In this case, surface dislocations create primary nanocracks with a length of 10 to 30 nm. In works [12, 13], we proposed a model for the formation of nanocracks in metals and alloys. The essence of this model is that the surface layer of a metal (like all solids) is a nanolayer (1 to 6 nm in size for a

metal), the properties of which differ from the properties of the bulk phase. The surface layer of a solid leads to the formation of nanocracks and the destruction of structural materials.

The purpose of this article is to propose a model for the formation of nanocracks in standard concrete, the kinetics of their development up to its destruction.

Nano cracks in concrete

Concrete consists of cement paste, which is a porous and hierarchical material with different phases. When cement powder is mixed with water, the hydration reaction results in the formation of the main chemical products: calcium silicate hydrate (C-S-H), calcium hydroxide (CH), ettringite, and monosulfaluminate. C-S-H accounts for approximately 70% of the fully hydrated products and is the main contributor to the mechanical strength of the material [14]. The silicate phases react with water to form calcium hydroxide and a rigid calcium silicate hydrate gel, the C-S-H gel [15]:



The thickness of the surface layer of a solid $R(I)$ and the length of nanocracks L_{nm} are given by the formula [16]:

$$R(I) = L_{nm} = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot v \quad [\text{m}]. \quad (3)$$

In equation (3) it is necessary to know one parameter – the molar volume of the element, which is equal to $v = M/\rho$ (M is the molar mass, ρ is its density), $\alpha = 1 \text{ m}^{-2}$ is a constant to maintain the dimensionality ($R(I)$ [m]). Considering that the rigid calcium silicate gel of the C-S-H hydrate is a homogeneous solid solution, it is easy to estimate the molar mass from equations (1) and (2) – $M_1 = 1070 \text{ g/mol}$; $M_2 = 922 \text{ g/mol}$. The crystal structure obtained from equation (2) is closer to the mineral tobermorite [17], which is a layered crystalline

form of calcium silicate. The density of the C-S-H gel is closely related to the water content in the pores of the gel. Neutron and X-ray scattering methods were used to determine with high accuracy [18] the density and water content of saturated globules. The density is 2.604 g/cm^3 ,

The thickness of the surface layer of the C-S-H gel according to equation (3) is equal to – $L_{nm} = R(I) = 60.3 \text{ nm}$, and the number of layers is $n = R(I)/a$ (a is the interlayer distance, equal to $a = 1.4 \text{ nm}$ [15]). This means that the number of C-S-H layers is $n = 43$. According to our work [16], the diagram of the crystalline form of calcium silicate will look like that shown in Fig. 1a, and the silicate chain (monolayer of calcium silicate) is shown in Fig. 1b.

DOI 10.34660/INF.2024.16.86.180

SURFACE LAYER THICKNESS AND ANANOMALOUS SKIN EFFECT IN METALS

Yurov Viktor Mikhailovich

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor
VNS LLP "Vostok",
Karaganda, Kazakhstan*

Goncharenko Vladimir Ivanovich

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Moscow Aviation Institute,
Moscow, Russia*

Oleshko Vladimir Stanislavovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow Aviation Institute,
Moscow, Russia*

Abstract. *This article discusses the thickness of the surface layer $R(I)$ of pure metals, which ranges from 1 to 6 nm, i.e. represents a nanostructure. Then comes the layer $R(II) \approx 9 R(I)$, called the mesolayer. Both of these layers are smaller than the size l - the mean free path of electrons in the metal. In the nanolayer $R(I)$ and mesolayer $R(II)$, the laws of Ohm, Wiedemann-Franz and others do not work. An anomalous skin effect is observed, leading to a stepwise dependence of all electrical and magnetic parameters of the metal. The relaxation time of electrons τ can be determined for the $R(I)$ layer, knowing the speed of sound in the metal. Their frequency falls into the terahertz range, which, until recently, did not have sources and receivers of this radiation.*

Keywords: *skin effect, nanolayer, mesolayer, metal, size effect.*

We will take as a basis our work [1], where an empirical equation was proposed for the thickness of the surface layer $R(I)$ of a solid body:

$$R(I) = \beta \cdot 0.17 \cdot 10^{-9} \nu \text{ (m)}, \quad (1)$$

where β = where the coefficient $\beta = 1$ (kg/m³) at.%*m.

Equation (1) shows that the thickness of the surface layer of an atomically smooth crystal (excluding surface roughness) $R(I)$ is determined by one funda-

INFLUENCE OF ULTRASONIC RADIATION ON INTERCALATION OF GRAPHITE WITH MICROCLUSTER WATER

Yurov V.

*Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.

*Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
TSK Vostok LLP, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan,*

Kargin D.

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University",
Astana, Kazakhstan*

ABSTRACT

The article presents a model of the thickness of the surface layer of water, from which its cluster structure flows. The presence of vibrations or ultrasound leads to the stratification of graphite into thin plates or flakes. The magnitude of these effects depends on their power and the surface tension of the liquid. A model of the splitting of graphite with water is constructed as a Stefan problem with a moving phase boundary.

Keywords: Graphite, graphene, surface layer, nanostructure, ultrasound, delamination, crystal.

Introduction

To obtain graphene, graphite must be split. The first successful splitting of graphite by ultrasonic treatment was achieved in the organic solvent N-methylpyrrolidone [1]. It was also proposed to exfoliate graphite by ultrasonic treatment in the presence of surface-active substances (surfactants). This was first reported in [2], where dodecylbenzenesulfonate was used as a surfactant. In [3, 4], it was shown that graphene structures obtained by ultrasonic treatment of graphite and its de-

rivatives contain a lot of oxygen. In [5], multilayer graphene was obtained by ultrasonic splitting of graphite microparticles in a surface-active solvent, a mixture of nonane and water, a surface-active surfactant was selected that ensures dispersion of graphene in hydrophilic systems. In [6], a technology was developed for obtaining polymers modified with graphene structures using ultrasonic dispersion (Fig. 1). A complete review of methods for obtaining graphene by splitting graphite is given in [7-10].

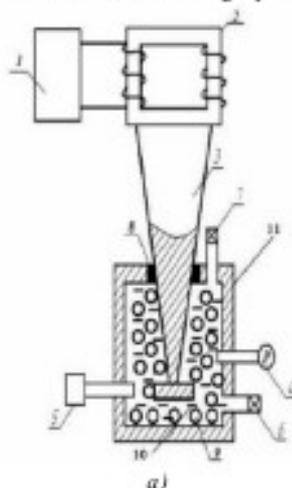


Figure 1. Schematic (a) and external view (b) of the ultrasonic unit of the setup for liquid-phase exfoliation of graphite [6].

The aim of this article is a theoretical model of graphite intercalation with microcluster water in ultrasound.

Intercalation of graphite with microcluster water

We obtained graphene nanoflakes by intercalation of graphite with microcluster water (MKW) (Fig. 1) [11-13].

DEFORMATION OF GRAPHENE SHEETS

Yurov V.

TSK Vostok LLP, Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Karaganda

Zhangozin K.

TSK Vostok LLP, Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Astana

Kargin D.

NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University", Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor,
Kazakhstan, Astana

ABSTRACT

The article analyzes the issue of warping of graphene sheets in a suspended state. Various mechanisms for the formation of corrugations, wrinkles and folds on graphene sheets have been proposed. A new model of graphene warping has been proposed. Its essence lies in the fact that graphene is obtained, in most cases, from graphite, where significant internal stresses are present, and in the graphite nanolayer all physical (thermal, etc.) and chemical (adsorption, etc.) parameters of graphene change.

Keywords: graphite; graphene; nanolayer; mesolayer; warping.

Introduction

Graphene, discovered 20 years ago [1-2], is an amazing material used in various fields of human activity (Fig. 1) [3-5]. Today, the global graphene market is only just forming (Figure 2a) and is represented by companies in various countries (Figure 2b), where China and the USA are leaders. The methods for obtaining graphene are quite diverse. They are reviewed

in [2-5]. In [7-9], an original innovative method for obtaining graphene using microcluster water in combination with ultrasound and an electric field is proposed.

However, it is not possible to obtain large-sized graphene due to the warping of graphene sheets.

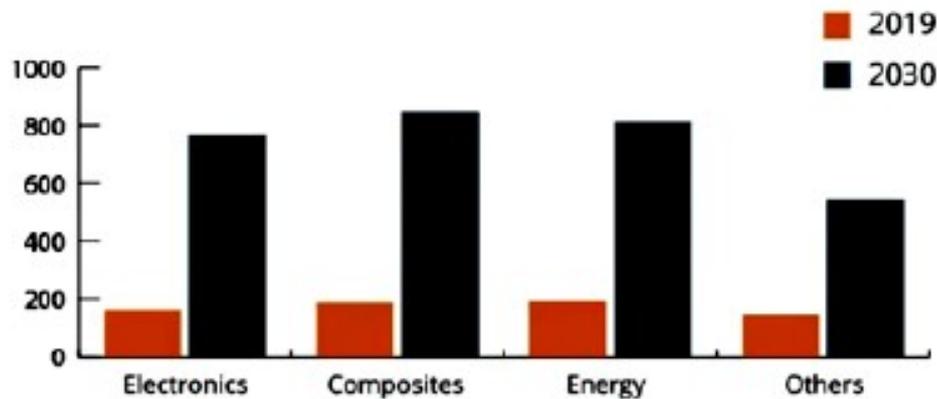
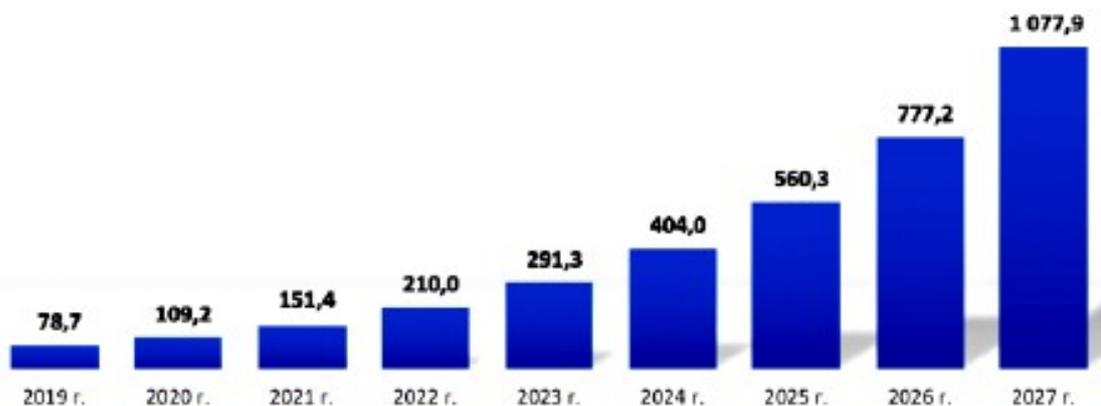


Figure 1. Graphene and its applications [6].



Global Graphene Market Dynamics in Million USD
(Source: Grand View Research)

磁场中石墨与微团簇水的插层
**INTERCALATION OF GRAPHITE WITH MICROCLUSTER
WATER IN A MAGNETIC FIELD**

Yurov Viktor Mikhailovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin Kanat Nakoshevich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Astana, Kazakhstan*

Kargin Djumat Beisenbekovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan*

摘要。本文提出了一种磁场中微团簇水剥离石墨的模型。该模型基于表面层厚度，对于石墨而言，表面层厚度为 3 个单层石墨烯。水的团簇结构与所有液体一样，是一种由表面和体积中原子相互作用的差异引起的物理现象。本文得出一个方程，该方程表明，任何对水的影响（化学杂质、振动、超声波、电场和磁场、温度升高等）都会导致水的表面张力增加，从而有助于石墨的剥离。利用本文中获得的方程（可以在磁场中通过水实现石墨剥离，并以环保的方式获得石墨烯）。

关键词：插层、石墨、磁场、水单层。

Abstract. *The article proposes a model of graphite exfoliation by microcluster water in a magnetic field. The model is based on the thickness of the surface layer, which for graphite is 3 monolayers of graphene. The cluster structure of water, like all liquids, is a physical phenomenon caused by the difference in the interaction of atoms on the surface and in the volume. The article obtains an equation that shows that any impact on water (chemical impurities, vibration, ultrasound, electric and magnetic fields, increased temperature, etc.) leading to an increase in the surface tension of water will contribute to the exfoliation of graphite. Using the equations obtained in the article (it is possible to obtain graphite exfoliation by water in a magnetic field and obtain graphene in an environmentally friendly way.*

Keywords: *intercalation, graphite, magnetic field, water monolayer.*

DOI 10.34660/INF.2024.13.77.051

石墨烯和氧化石墨烯增强混凝土
REINFORCEMENT OF CONCRETE WITH GRAPHENE AND
GRAPHENE OXIDE

Yurov Viktor Mikhailovich*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Karaganda, Kazakhstan***Zhangozin Kanat Nakoshevich***Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Astana, Kazakhstan***Kargin Djumat Belsenbekovich***Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan*

摘要：本文提出了一种石墨烯 (G) 和氧化石墨烯 (GO) 增强混凝土的模型。C-S-H凝胶表面层厚度为 $R(I) = 60.3 \text{ nm} (< 100 \text{ nm})$ ，为Gleiter纳米结构。结果表明，G和GO嵌入层间空间。限制在C-S-H凝胶层间区域的G和GO表现出不同的形貌。在石墨烯中，xy平面上有序排列的碳原子分布在远离C-S-H表面的位置。沿z方向没有观察到膨胀。GO中的C-C键在z方向上被拉伸，石墨烯片受到一定程度的破坏。与标准混凝土相比， $R(I)$ 值减半，混凝土的弹性参数发生变化。文章表明，在水泥砂浆中添加G和GO可显著增强(4-5倍)标准混凝土。关键词：混凝土，石墨烯，纳米层，中层，尺寸效应，强度。

Abstract. *In this paper, a model of graphene (G) and graphene oxide (GO) reinforced concrete is proposed. The thickness of the surface layer of C-S-H gel is $R(I) = 60.3 \text{ nm} (< 100 \text{ nm})$, which is a Gleiter nanostructure. It is shown that G and GO are embedded in the interlayer space. G and GO confined in the interlayer region of C-S-H gel exhibit different morphologies. In graphene, carbon atoms ordered in the xy plane are distributed far from the surface of C-S-H. No expansion along the z-direction is observed. The C-C bonds in GO are stretched in the z-direction, and the graphene sheet is damaged to some extent. Compared with standard concrete, the values of $R(I)$ are halved and the elastic parameters of concrete change. The article shows that adding G and GO to cement mortar significantly strengthens (4-5 times) standard concrete.*

Keywords: *concrete, graphene, nanolayer, mesolayer, size effect, strength.*

DOI 10.34660/INF.2024.53.88.024

防腐石墨烯涂层
ANTI-CORROSION GRAPHENE COATINGS

Yurov Viktor Mikhailovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin Kanat Nakoshevich,

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
VNS TOO "Vostok", Astana, Kazakhstan*

Kargin Djumat Beisenbekovich

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan*

摘要。保护金属结构免受腐蚀的常用方法之一是使用油漆和清漆涂层。为了将涂层应用于 08KP 钢，使用了丙烯酸涂料 COLOUR 和石墨烯粉末。结果表明，物质的腐蚀速率取决于缺陷数量、外力作用、温度和吉布斯能。结果表明，如果正确使用，石墨烯涂层是零件上最可靠的防腐涂层。结果表明，08KP 钢 + COLOUR + 石墨烯的腐蚀速率降低了近 22 倍。

关键词：石墨烯、丙烯酸涂料、腐蚀速率、钢、缺陷、温度、吉布斯能。

Abstract. Among the common methods of protecting metal structures from corrosion is the application of paint and varnish coatings. To apply the coating to steel 08KP, acrylic paint COLOUR and graphene powder were used. It is shown that the corrosion rate of a substance is determined by the number of defects, the work of external forces, temperature and Gibbs energy. It is shown that graphene coatings are the most reliable anti-corrosion coatings on parts when applied correctly. It is shown that the reduction in the corrosion rate for steel 08KP + COLOUR + graphene is almost 22 times.

Keywords: graphene, acrylic paint, corrosion rate, steel, defect, temperature, Gibbs energy.

To combat metal corrosion, Nobel Prize winner K.S. Novoselov proposed using graphene as a very effective anti-corrosion coating due to its chemical inertness and impermeability [1]. The excellent anti-corrosion properties of graphene

NUMBER OF GRAPHENE LAYERS IN NATURAL GRAPHITE

Yurov V.,

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor
KarTU, Karaganda, Kazakhstan

Zhangozin K.,

Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

Kargin D.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University",
Astana, KazakhstanDOI: [10.5281/zenodo.13378607](https://doi.org/10.5281/zenodo.13378607)

Abstract

The article presents a model for determining the number of monolayers in graphite, which turned out to be equal to three monolayers. The presented model is universal and can determine the number of layers of any solids and even liquids. The model requires knowing the molar mass and density of the material. For graphene, this model is confirmed by the Raman method and other methods, which confirms the proposed model.

Keywords: graphite, graphene, surface layer, nanostructure, surface, delamination, crystal.

Introduction

The exfoliation (intercalation) of layered crystals using mica (muscovite - $\text{KA}_2\text{Si}_2\text{O}_{12}\text{H}_2$) as an example was used by I.V. Obreimov back in 1930 [1] to determine the surface energy and adhesion energy of mica crystals. This method was implemented at a higher level in [2] and by us theoretically in [3]. Exfoliation of layered graphite crystals was carried out mechanically using adhesive tape in 2004 [4]. A single-layer graphite sheet was called graphene. However, it is impossible to use graphene obtained mechanically on an industrial scale. Therefore, various methods for obtaining graphene have appeared, a review of which is given in the monograph [5]. We also proposed a method for exfoliating layered graphite crystals with microcluster water

[6], the theoretical justification for which is given in [7, 8].

The purpose of this article is a theoretical model for determining the number of graphite layers and a comparison of this model with the Raman spectroscopy method.

Graphite

Graphite is a thermodynamically stable sp^2 -hybridized allotropic modification of carbon. The crystal structure of graphite [9] has hexagonal symmetry and consists of flat layers of carbon atoms located parallel to each other (Fig. 1a). The structure of graphite layers is shown in Fig. 1b, constructed according to the methodology of our work [10].

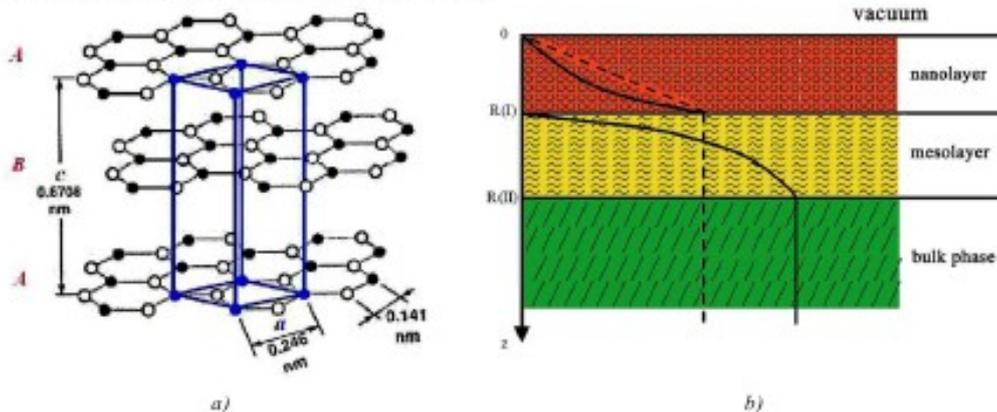


Figure 1. Graphite structure [9] (a); graphite layer structure [10] (b).

The $R(I)$ layer is described by the method [10] by the equation:

$$R(I) = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot \nu \text{ [m]}. \quad (1)$$

In equation (1) we need to know one parameter – the molar volume of the element, which is equal to $\nu =$

M/ρ (M is the molar mass, ρ is its density), $\alpha = 1 \text{ m}^{-2}$ is a constant to maintain the dimensionality ($R(I) = [\text{m}]$). Using formula (1), we calculate $R(I)$ (Table 1) for graphite parallel to the plane $x = a = b$ and perpendicular to this plane $x = c$.

Table 1.

Parameters $R(I)$ of graphite [11].					
Graphite	Structure	$M, \text{g/mol}$	$\rho, \text{g/sm}^3$	$R(I)_a, \text{nm}$	$R(I)_c, \text{nm}$
C	C6/mmc-D_{19h}^2	12,0107	2,26	0.90 (3)	2.46 (3)

PHYSICS AND MATHEMATICS

ABOUT THE SURFACE ENERGY OF GRAPHENE

Yurov V.

*Candidate of phys.-mat. sciences, associate professor
TSK Vostok LLP, Karaganda, Kazakhstan*

Zhangozin K.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
TSK Vostok LLP, Astana, Kazakhstan*

Kargin D.

*Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
NAO "L.N. Gumilyov Eurasian National University",
Astana, Kazakhstan*

DOI: [10.5281/zenodo.13582976](https://doi.org/10.5281/zenodo.13582976)

Abstract

The "sessile drop" method for determining the surface energy of solids - γ is considered. For graphite and graphene, this method yielded average values of $\gamma_2 = 53.6 \pm 2.1$ and $\gamma_1 = 44.8 \pm 14.7$ mJ/m². The crystal cleavage method for graphite yielded an average value of $\gamma_2 = 3250$ mJ/m², which is 60 times higher than the γ_2 value obtained by the "sessile drop" method. Analysis of both methods showed that the "sessile drop" method for determining the surface energy of solids cannot be used without modification. We propose new methods for determining the surface energy of solids: 1) through the melting point of the solid; 2) through the size dependence of a physical property on the thickness of the deposited coating; 3) through the measured value of the contact potential difference. The following values were obtained for graphene: $\gamma_1 = 947.1$; $\gamma_1 = 960$ mJ/m², which is an order of magnitude higher than in the "sessile drop" method. The values of γ_1 should be multiplied by 3 and we obtain the values for graphite - $\gamma_2 = 2841$; $\gamma_2 = 2922$, $\gamma_2 = 2880$ mJ/m², which differs slightly from the crystal splitting method.

Keywords: graphite, graphene, surface energy, sessile drop method, crystal cleavage, solid.

Introduction

The use of surface phenomena in human production activities allows for the intensification of existing technological processes. Surface phenomena such as lubricating friction and wear, contact interactions, structural changes in composite materials, as well as electrical and electrochemical processes and phenomena on the surfaces of solids are important for technology. Knowledge of surface phenomena in living nature allows for conscious influence on biological processes in order to increase agricultural productivity, develop the microbiological industry, and expand the capabilities

of medicine and veterinary science. In biology, surface phenomena play an important role, primarily at the cellular and molecular levels of organization of living systems. Various biological membranes separate the cell from the external environment and ensure its microheterogeneity. Fundamental processes for life occur on cell membranes. Experimental determination of the surface tension of solids is complicated by the fact that their molecules (atoms) are deprived of the ability to move freely. An exception is the plastic flow of metals at temperatures close to the melting point. Graphene, discovered 20 years ago [1, 2], is an amazing material used in various fields of human activity (Fig. 1) [3-5].

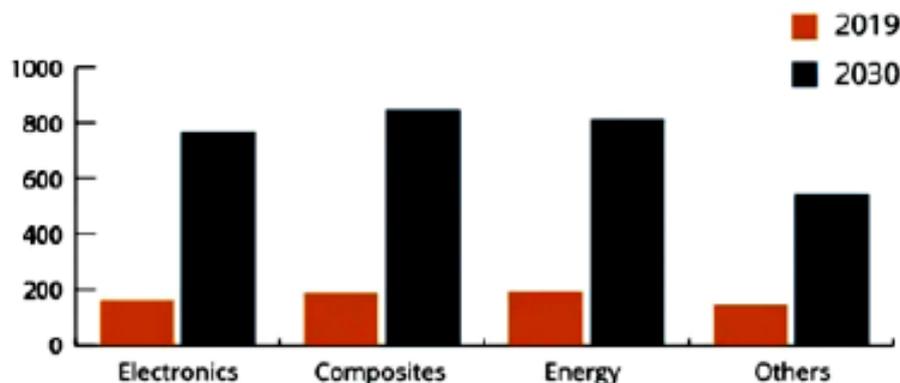


Figure 1. Graphene and its applications [6].

Graphene is a two-dimensional allotropic modification of carbon formed by a layer of carbon atoms one atom thick ($R(1) = a = 0.246$ nm is the lattice constant)

in the sp^2 hybridization state. Carbon atoms in graphene layers are in a three-coordinated state, i.e. each of them forms covalent bonds with three neighbors. As

Юров В.М.¹, Жангозин К.Н.¹, Жанабергенов Т.К.¹, Каргин Д.Б.²

¹«Восток», г. Астана, Караганда, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,
г. Астана, Казахстан

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ГРАФИТЕ И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ НЕГО ГРАФЕНА

Аннотация. В статье предложен обзор наших последних теоретических работ по графиту и графену. Предложена модель определения толщины поверхностного слоя графита, откуда можно вычислить прочность графита и графена, определить длину нанотрещин в поверхностном слое этих материалов. Предложена модель механизма расщепления графита и получения графена. Показано, что можно расщепить графит, используя для нагрева импульсный пикосекундный лазер. Предложена модель механизма расщепления графита водными растворами. В основу модели положена оригинальная инновационная методика применения для получения порошкового графена микрокластерной воды в сочетании с ультразвуком и электрическим полем. Предложена модель оценки барьера Пайерлса – Набарро, приводящего к торможению дислокаций в поверхностном слое графена. Показано, что барьер Пайерлса – Набарро в графене максимален для моновакансии.

Ключевые слова: графит, графен, поверхность, модель, дефект, механизм.

* * *

Түйіндеме. Мақалада графит пен графен туралы соңғы теориялық жұмысымызға шолу ұсынылады. Графиттің беткі қабатының қалыңдығын анықтауға арналған модель ұсынылған, оның негізінде графит пен графеннің беріктігін есептеуге және осы материалдардың беткі қабатындағы наножарықшалардың ұзындығын анықтауға болады. Графитті бөлу және графен алу механизмінің моделі ұсынылған. Қыздыру үшін импульстік пикосекундтық лазердің көмегімен графитті бөлуге болатыны көрсетілді. Графиттің сулы ерітінділермен бөліну механизмінің моделі берілген. Модель микрокластерлік суды ультрадыбыстық және графен ұнтағын алу үшін электр өрісімен үйлестіре пайдаланудың түпнұсқа инновациялық техникасына негізделген. Графеннің беткі қабатындағы дислокацияны тежеуге әкелетін Пейерлс-Набарро тосқауылын бағалау үшін модель ұсынылған. Графендегі Пейерлс-Набарро тосқауылының моновакансия үшін максималды болатыны көрсетілген.

Түйінді сөздер: графит, графен, бет, модель, ақау, механизм.

СТИМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЩЕСТВА В СТРАТЕГИЧЕСКОМ ПЕРИОДЕ

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
17 сентября 2024 г.

МЦИИ ОМЕГА САЙНС | ICOIR OMEGA SCIENCE
Оренбург, 2024

УДК 539.21

Юров В. М.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Караганда, Казахстан

Жангозин К. Н.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Астана, Казахстан

Картин Д. Б.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, ИАО «Еurasийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

СИСТЕМА YBCO / ГРАФЕН И ЕЕ СВОЙСТВА

Аннотация.

В статье показано, что число монослоев графита составляет три, что подтверждается экспериментально и отличается друг от друга, как и от объемной фазы в целом. Однослойный лист графита – графен – это уникальный материал. Толщина поверхностного слоя купрата YBCO равна 18 нм и он содержит 15 монослоев. Показано, что в поверхностном нанослое YBCO температура перехода в сверхпроводящее состояние увеличивается в 2 раза по сравнению с объемной фазой. Мы имеем следующую структуру по нашей модели – графен → поверхностный слой YBCO → объем YBCO. При этом, два элемента из этой структуры представляют квантовые системы даже при комнатной температуре. Электроны и дырки в системе графен / поверхностный слой YBCO будем рассматривать как систему взаимодействующих частиц, погруженную в термостат. Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием электронов с термостатом, будут диссипативными с вероятностью P . Эту вероятность определяем по модели Ландау - Зинера. Схожесть графена с d -полновыми сверхпроводниками приводит к близости и запутанности двух квантовых систем.

Ключевые слова.

Графен, купрат, сверхпроводник, температура перехода, поверхностный слой, электрон, квантовая система, термостат, диссипация.

**ПРОБЛЕМЫ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
ПОИСК И ВЫБОР
ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ**

**Сборник статей
Международной научно-практической конференции
12 августа 2024 г.**

**МЦИИ OMEGA SCIENCE | ICOIR OMEGA SCIENCE
Киров, 2024**

УДК 620.179.142.6:544,72

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Караганда, Казахстан
Жангозин К. Н.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Астана, Казахстан
Картин Д. Б.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, НАО «Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

**ЧИСЛО СЛОЕВ ГРАФЕНА,
ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИ И МЕТОДОМ РАМАНА**

Аннотация.

В статье представлена модель определения числа монослоев в графите, которая оказалась равной трем монослоям. Представленная модель универсальна и может

НОВАЯ НАУКА: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
17 августа 2024 г.

МЦНИ ОМЕГА САЙНС | ICOR OMEGA SCIENCE
Магнитогорск, 2024

УДК 541.138:541,452:621.357.2

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востоку», Караганда, Казахстан
Жангозин К. Н.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востоку», Астана, Казахстан
Картин Д. Б.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, НАО «Еurasийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

ИНТЕРКАЛЯЦИЯ ГРАФИТА МИКРОКЛАСТЕРНОЙ ВОДОЙ В УЛЬТРАЗВУКЕ

Аннотация.

В статье представлена модель толщины поверхностного слоя воды, откуда вытекает ее кластерная структура. Наличие вибраций или ультразвука приводит к расслоению графита на тонкие пластинки или чешуйки. Величина этих воздействий зависит от их мощности и поверхностного натяжения жидкости. Построена модель расслоения графита с водой как задача Стефана с подвижной границей раздела фаз.

Ключевые слова.

Графит, графен, поверхностный слой, наноструктура, ультразвук, расслоение, кристалл.

КОНЦЕПЦИИ, ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сборник статей
Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции
с международным участием
22 августа 2024 г.

МЦИИ ОМЕГА САЙНС | IJOIR OMEGA SCIENCE
Челябинск, 2024

УДК 53.03

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Караганда, Казахстан
Жангозин К. И.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Астана, Казахстан
Керим Д. Б.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, НАО «Еurasийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ YBCO МАТЕРИАЛОВ

Аннотация.

В статье представлена модель толщины поверхностного слоя кристаллов YBCO, откуда вытекает ее доменная структура. Показано, что в поверхностном нанослое температура перехода в сверхпроводящее состояние увеличивается в 2 раза по сравнению с объемной фазой. Определяются ламели в монокдомене за ширины Абрикосова, а их равно 15 в поверхностном слое YBCO.

Ключевые слова.

Сверхпроводимость, поверхностный слой, наноструктура, кристалл.

ЕДИНСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПЕРЕХОДА К ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМУ МИРУ

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
27 августа 2024 г.

МЦИИ ОМЕГА САЙНС | ICOIR OMEGA SCIENCE
Волгоград, 2024

УДК 69.059.7

Юров В. М.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Караганда, Казахстан
Жангозин К. Н.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Астана, Казахстан
Каргин Д. Б.
кандидат физ. - мат. наук, доцент, НАО «Евразийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

МОДЕЛЬ ТРЕЩИН В ГРАФЕНОВОМ БЕТОНЕ

Аннотация.

Предложена модель нанотрещины в бетоне. За длину нанотрещины взят размер толщины поверхностного слоя твердого тела, который для металлов составляя от 1 до 6 нм, а для стандартного бетона около 60 нм, т.е. представляет собой наноструктуру. Для стандартного бетона: $L_{\text{нн}} = 60$ нм; $L_{\text{мн}} = 6$ микрон; $L_{\text{с}} = 0,6$ мм. Эти данные характерны без внешней нагрузки, без изменения окружающей среды. Число трещин в бетоне в области наноструктуры I равно 10^5 , в области мезоскопии II равно 10^7 и в области предразрушения III около 10^9 . Добавление графена и оксида графена в цементный раствор значительно упрочняет (в 4 - 5 раз) стандартный бетон и уменьшает количество нанотрещин.

Ключевые слова.

Модель, бетон, цемент, нанотрещина, наноструктура, графен.

КООПЕРАЦИЯ НАУКИ И ОБЩЕСТВА – ПУТЬ К МОДЕРНИЗАЦИИ И ИННОВАЦИОННОМУ РАЗВИТИЮ

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
07 сентября 2024 г.

МЦИИ ОМЕГА САЙНС | ICOIR OMEGA SCIENCE
Калуга, 2024

УДК 620.193.197

Юров В. М.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Караганда, Казахстан

Жангозин К. Н.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, «ТСК - Востока», Астана, Казахстан

Каргин Д. Б.

кандидат физ. - мат. наук, доцент, НАО «Еurasийский национальный университет
им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ГРАФЕНОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Аннотация.

Для борьбы с коррозией металла предложено использовать графен в качестве очень эффективного антикоррозионного покрытия благодаря его химической инертности и непроницаемости. Было показано, что графеновые покрытия на металле могут служить барьерами для электрохимической коррозии в водных средах. Таким образом, для того, чтобы иметь длительную коррозионную стойкость и высококачественную пленку с полным барьерным эффектом, пленка должна полностью покрывать поверхность металла. Также должна быть хорошая адгезия между графеновой пленкой и подложкой с высокой устойчивостью к износу и трению. Нами предложена модель расчета антикоррозионного барьера металла, по которой скорость коррозии вещества определяется количеством дефектов, работой внешних сил, температурой и энергией Гиббса. Экспериментально нами показано снижение скорости коррозии стали ОКП с оксидом графена почти в 12 раз, а с покрытием COLOUR+графен – в 22 раза.

Ключевые слова.

Графен, оксид графена, покрытие, сталь, коррозия, металл, сплав.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сборник статей
Международной научно-практической конференции
12 сентября 2024 г.

МЦИИ ОМЕГА САЙНС | ICOIR OMEGA SCIENCE

Киров, 2024

УДК 538.975

Юров В. М., кандидат физ. - мат. наук, доцент,
«ТСК - Восток», Караганда, Казахстан

Гончаренко В.И., доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Оленко В.С., кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Жангозин К. Н., кандидат физ. - мат. наук, доцент,
«ТСК - Восток», Астана, Казахстан

ПРЕДПЛАВЛЕНИЕ ОЦК И ГЦК МЕТАЛЛОВ

Аннотация.

В статье предлагается модель количественного определения предплавления твердых тел на примере ГЦК и ОЦК металлов. Поверхностный слой R(I) представляет собой наноструктуру, его можно представить наночастицей, плавление которой рассмотрено в большом количестве работ. Предплавление в нанослое R(I) происходит ступенчатым способом с учетом таммовских поверхностных состояний. Нанослой R(I) существенно отличается от объемной фазы в связи с релаксацией и реконструкции поверхности кристаллов. Мезослой R(II) отличается от нанослоя R(I) и объемной фазы тем, что в нем происходят размерные эффекты другого типа, приводящие к предплавлению по другому закону. Предплавление начинается с наноструктурного слоя R(I), затем он продолжается в мезоструктурном слое R(II) и окончательное плавление объемной фазы происходит при постоянной температуре T_m . На процесс плавления и предплавления оказывает и скорость нагрева металла.

Ключевые слова.

Предплавление, поверхностный слой, металл, «квазивязкость», наноструктура, наночастица.

ОБ ЭФФЕКТЕ РЕБИДЕРА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ**ЮРОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Караганда, Казахстан**ГОНЧАРЕНКО ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**Доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ОЛЕШКО ВЛАДИМИР СТАНИСЛАВОВИЧ**Кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ЖАНГОЗИН КАНАТ НАКОШЕВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Описана модель поверхностного слоя твердого тела. Показано: снижение поверхностной энергии этого слоя по сравнению с объемом; большие внутренние напряжения на границе между слоем и объемом; возникновение нанотрещин не связано с эффектом Ребиндера. Влияние среды и приложенные нагрузки увеличивают все процессы в поверхностном слое, суммарное действие которых и называется эффектом Ребиндера.*

***Ключевые слова:** эффект Ребиндера, поверхностный слой, наноструктура, твердое тело, нанотрещина, деформация.*

Академик П.А. Ребиндер в 1956 году совершил открытие, посвященное понижению прочности металлов под действием расплавов металла [1], а в дальнейшем адгезионному понижению прочности твердых тел за счет окружающей среды [2]. Все это открыло новое направление в науке – физико - химическая механика [3, 4]. Обзор по эффекту Ребиндера по металлам и горным породам представлен в работе [5], по полимерам - в работе [6]. По современным представлениям основой эффекта Ребиндера является разрыв межатомных связей твердых тел при участии активных компонент внешней среды или под действием механической нагрузки. Макроскопическим индикатором этого процесса является снижение поверхностной энергии. Однако, по мнению авторов работы [5], отсутствие заметного снижения поверхностной энергии ненагруженного твердого тела в контакте со средой не означает невозможности проявления эффекта Ребиндера. Влияние деформации межатомных связей на взаимодействие адсорбционно-активных компонентов среды с атомами твердого тела может приводить к сильному снижению работы пластической деформации и удельной работы разрушения в целом. Механизм проявления эффекта Ребиндера остается вопросом дискуссионным.

Цель настоящей статье заключается в описании модели поверхностного слоя и расшифровка эффекта Ребиндера.

В основе нашей модели лежит толщина поверхностного слоя твердого тела, описанного уравнением [7, 8]:

$$R(I) = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot \nu [\text{ё}]. \quad (1)$$

В работе [8] нами предложена формула:

ОБ ЭФФЕКТЕ РОСКО В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ**ЮРОВ ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Караганда, Казахстан**ГОНЧАРЕНКО ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**Доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ОЛЕШКО ВЛАДИМИР СТАНИСЛАВОВИЧ**Кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт,
Москва, Россия**ЖАНГОЗИН КАНАТ НАКОШЕВИЧ**кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
Алматы, Казахстан

***Аннотация.** Показано, что металлы взаимодействуют с кислородом по разному. Например, для металлов Ag, Au, Mo при взаимодействии с кислородом идет не упрочнение, а разупрочнение. Для металлов Mg, Al, Cd – идет упрочнение. Эффект Роско наблюдается в поверхностном слое, когда поверхностная энергия оксидов значительно превышает поверхностную энергию чистого неокисленного металла.*

***Ключевые слова:** эффект Роско, поверхностный слой, наноструктура, металл, окисная пленка, упрочнение.*

Исследователь Роско Р. в 1936 году установил [1], что окисная пленка на кристаллах кадмия приводит к увеличению напряжения сдвига на 50%. Он считал, что окисная пленка приводит к упрочнению монокристаллов. Это упрочнение было обнаружено для многих металлов и получило название эффекта Роска [2]. В основе структурного упрочнения металлических и керамических материалов с кристаллической структурой лежит дислокационная теория [3]. Эффект Роско актуален при микродуговом оксидировании металлов и керамик [4], хотя окисление металла способствует его коррозии [5].

Цель настоящей статье заключается в описании модели поверхностного слоя и расшифровка эффекта Роска.

В основе нашей модели лежит толщина поверхностного слоя $R(I)$ твердого тела, описанного уравнением [6, 7]:

$$R(I) = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot \nu [\text{н}]. \quad (1)$$

Для дальнейшего нам понадобится формула [8]:

$$\gamma = 0,7 \cdot 10^{-1} \cdot T_m \{ \Delta \epsilon / \epsilon^2 = \dot{I} / \dot{\epsilon} \}, \quad (2)$$

где γ – поверхностная энергия, T_m – температура плавления твердого тела.

Схематическое представление формул (1) и (2) показано на рис. 1.



УДК: 620.179.142.6:544,72

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ И НАНОТРЕЩИНЫ В ГРАФИТЕ

¹Юров Виктор Михайлович

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК востоку»,
 Караганда, Казахстан¹,

²Жангозин Канат Накошевич

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК востоку»,
 Усть-Каменогорск, Казахстан²

Аннотация: В статье предложена эмпирическая формула, по которой определяется толщина поверхностного слоя $R(I)$ и длина нанотрещины L_{nm} твердого тела. Она применяется к графиту, обладающего анизотропной слоистой структурой.

Ключевые слова: толщина поверхностного слоя, нанотрещина, графит, структура, анизотропия, молярный объем, плотность.

Прочность графита значительно изменяется в зависимости от метода его изготовления, поэтому графиты с одинаковой плотностью, но разных марок, отличаясь структурой, могут иметь различную прочность [1]. Общим правилом является то, что более тонко структурированный графитовый композит обладает, как правило, большей прочностью. Графит является термодинамически стабильной аллотропной модификацией углерода [2]. Теоретическая плотность, равная $2,26 \text{ г/см}^3$, достигается лишь в природном графите. Плотность же искусственного графита находится в пределах $1,65\text{-}1,75 \text{ г/см}^3$ [3]. Низкая плотность искусственного графита связана с его пористостью.

Толщина поверхностного слоя $R(I)$ и длина нанотрещины L_{nm} дается эмпирической формулой [4, 5]:

$$R(I) = L_{nm} = 0,17 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha \cdot \nu [i]. \quad (1)$$

В уравнении (1) нужно знать один параметр – молярный объем элемента, который равен $\nu = M/\rho$ (M – молярная масса, ρ – ее плотность), $\alpha = 1 \text{ м}^2$ – постоянная, чтобы соблюдалась размерность ($R(I) = [м]$). По формуле (1) рассчитаем $R(I) = L_{nm}$ (табл. 1) для графита параллельно плоскости $x = a = b$ и перпендикулярно этой плоскости $x = c$.

Таблица 1. Параметры $R(I) = L_{nm}$ графита.

Графит	Структура	M, г/моль	ρ , г/см ³	$R(I)_a = L_{nma}$, нм	$R(I)_c = L_{nmc}$, нм
С	Сб/ммс-D ⁴ _{th}	12,0107	2,26	0.90 (3)	2.46 (3)
			1,75	1.17 (4)	3.19 (4)
			1,65	1.24 (5)	3.39 (5)

Из табл. 1 видно, что толщина слоя $R(I)_a$ (и длина нанотрещины L_{nma}) изменяется от 0.9 до 1.24 нм в верхней плоскости (рис. 1а), а толщина слоя $R(I)_c$ (и длина нанотрещины L_{nmc}) изменяется от 2.46 до 3.39 нм перпендикулярно этой плоскости (рис. 1а). Это связано с изменением плотности графита и его слоистой структурой. Слой $R(I)$ мы назовем поверхностным слоем и поверхностную энергию этого слоя обозначим γ_1 .

Размерные эффекты в слое $R(I)$ определяются всем коллективом атомов в системе (коллективные процессы). Такие «квазиклассические» размерные эффекты наблюдаются только в наночастицах и наноструктурах [6].

В работе [7] показано, что поверхностная энергия объемного металла γ_2 с точностью до 3% равна:

$$\gamma_2 = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m [\text{Åe}/\text{Å}^2], \quad (2)$$

где T_m - температура плавления металла (К).



УДК: 544.653.3

МОДЕЛЬ РАСЩЕПЛЕНИЯ ГРАФИТА КЛАСТЕРНОЙ ВОДОЙ

Юров Виктор Михайлович

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
 Караганда, Казахстан,

Жангозин Канат Накошевич

кандидат физ.-мат. наук, доцент, ТОО «ТСК восток»,
 Усть-Каменогорск, Казахстан

Аннотация: Предложена модель расщепление графита водными растворами. При расщеплении графита водными растворами не учитывались трещины, которые образуются в любом твердом теле. Получена модель расщепления графита водными растворами, используя при этом только экспериментальные данные.

Ключевые слова: графит, графен, модель, расщепление, водный раствор, трещина, микрокластерная вода.

В работе [1] впервые получены экспериментальные результаты, свидетельствующие об интеркаляции графита микрокластерной водой (МКВ) в центробежном (рис. 1) и электрическом полях (рис. 2) с образованием графеновых наноструктур.

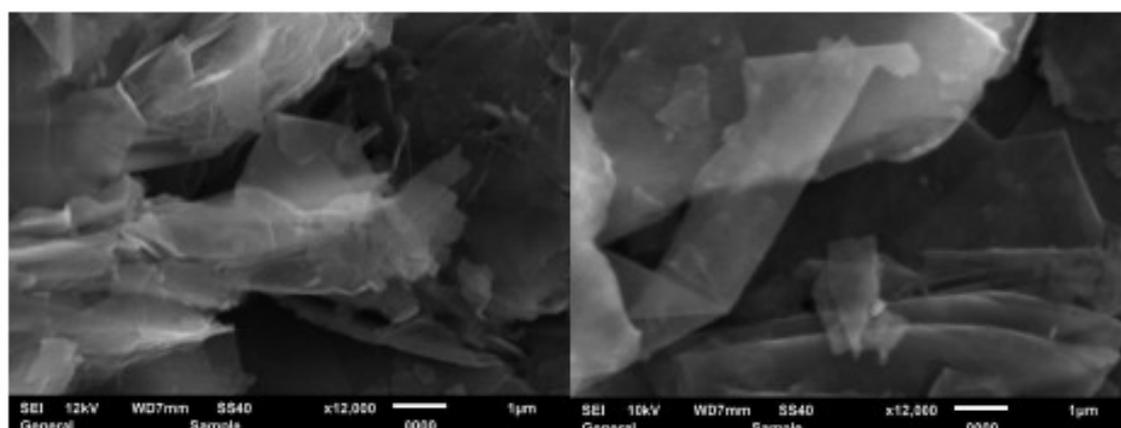


Рисунок 1. СЭМ снимок графита с МКВ после центрифугирования [1].

Поскольку в дистиллированной воде никаких изменений не наблюдалось, в работе [1] делается вывод, что происходит интеркаляция «микрокластеров» в межслойное пространство графита, вызывая его расширение от 3,44 Å до 6 Å и при длительном воздействии увеличивая это расширение в некоторых местах.

На рис. 2б эти же сосуды после 80 минут экспозиции в переменном электрическом поле 500 В (частота 50 Гц). Температура комнаты 22 °С. Видно, что уровень МКВ уменьшился (сосуд слева), причем объем уменьшения, сопоставим с объемом графита, что говорит о том, что произошло внедрение МКВ в значительную часть межслойного пространства графита.