Aktaş, Lenar R. Tagirov, Faik Mikailov – 2004 – Springer Netherlands ISBN: 978-1-4020-2004-9 DOI 10.1007/978-1-4020-2200-5 – p.443
8.Chunlong Fei, Yue Zhang, Zhi Yang, Yong Liu, Rui Xiong, Jing Shi. Xuefeng Ruan. Synthesis and magnetic properties of hard magnetic (CoFe2O4)–soft magnetic (Fe3O4) nano-composite ceramics by SPS technology // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 323, 1811–1816(2011)
9.W. Chen, U. Anselmi-Tamburini, J.E. Garay, J.R. Groza, Z.A. Munir. Fundamental investigations on the spark plasma sintering/synthesis process I. Effect of dc pulsing on reactivity // Materials Science and Engineering A, 394, 132–138(2005)
10. Zhoungwu Wang, S.K. Saxena. Pressure induced phase transformations in nanocrystaline maghemite (γ-Fe2O3) // Solid State Communications, 123, 195-200(2002)
11. Папынов Е.К., Ткаченко И.А., Майоров В.Ю., Квач А.А., Кучма А.С., Портнягин А.С., Драньков А.Н., Шичалин О.О., Кайдалова Т.А., Сокольницкая Т.А., Авраменко В.А. Темплатный синтез пористых оксидов железа с магнитными и каталитическими свойствами // Фундаментальные исследования. 2014. №11(ч.4). С. 816-821.
12. Saravanan P., Hsu Jen-Hwa, Sivaprahasam D., Kamat S.V.. Structural and magnetic properties of γ-Fe2O3 nanostructured compacts processed by spark plasma sintering // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 346, 175–177(2013)
13. Anthony Bertrand, Julie Carreaud, Gaëlle Delaizir, Jean-René Duclere, Maggy Colas, Julie Cornette, Marion Vandenhende, Vincent Couderc, Philippe Thomas. A Comprehensive Study of the Carbon Contamination in Tellurite Glasses and Glass-Ceramics Sintered by Spark Plasma Sintering (SPS) // J. Am. Ceram. Soc., 97 (1) 163–172 (2013) doi: 10.1111/jace.12657
14. Goss C.J., Saturation magnetisation, coercivity and lattice parameter changes in the system Fe3O4 –γ-Fe2O3, and their relationship to structure // Physics and Chemistry of Minerals, 16, 164–171(1988)
15. Berkowitz AE, Schuele W J, Flanders PJ // J Appl Phys, 39, 1261-1263(1968)
16. Papynov E.K., Tkachenko I.A., Portnyagin A.S., Modin E.B., Avramenko V. A. Fabrication of magnetic ceramic materials based on nanostructured hematite powder by Spark Plasma Sintering // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(9), 5864-5870 (2016)
17. Papynov E.K., Mayorov V.Yu., Portnyagin A.S., Shichalin O.O., Kobylyakov S.P., Kaidalova T.A., Nepomnyashiy A.V., Sokolʹnitskaya T.A., Zub Yu.L., Avramenko V.A.. Application of carbonaceous template for porous structure control of ceramic composites based on synthetic wollastonite obtained via Spark Plasma Sintering // Ceramics International, 41(1, Part B), 1171–1176 (2015)
18. Папынов Е.К., Майоров В.Ю., Модин Е.Б., Каплун Е.В., Сокольницкая Т.А., Авраменко В.А. Темплатный синтез пористых моносиликатов кальция с использованием силоксан-акрилатных эмульсий // Фундаментальные исследования. 2015. №12. С. 505-510
19. Long L.H., Chen L.D., Bai S.Q., Chang J., Lin K.L., Preparation of dense β-CaSiO3 ceramic with high mechanical strength and Hap formation ability in simulated body fluid // J. Eur. Ceram. Soc., 26, 1701-1706(2006)
20. Maryasev I.G., Mikhailovskaya L.M., Bocharov L.D., Chaika E.F., Tereshchenko D.A., Platonov A.A., Platonova G.R., Pores: their classification and role in actual refractory material structures // Refract. Ind. Ceram. 52, 202-211(2011)
21. Булатов В.И., Калюжная Т.А., Кузубова Л.И., Лаврик О.Л. Радиоактивные отходы: экологические проблемы и управление: библиогр. обзор в 3 ч . Ч. 2. Хранение радиоактивных отходов. Н., 1998. – 229 с.
22. Trocellier P., Delmas R. Chemical durability of zircon // Nucl Instr and Met in Phys Res Bull, 181, 408-412 (2001)
23. Жиганов А.И., Гузеев В.В., Андреев Г.Г. Технология диоксида урана для керамического ядерного топлива – Томск: STT, 2002. -328 с.

Сведения об авторах

Авраменко Валентин Александрович, д.х.н., член-корр. РАН, зав.отделом, Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, avramenko1@yandex.ru;

Папынов Евгений Константинович, к.х.н., ст.н.с., Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, Papynov@mail.ru;

Шичалин Олег Олегович, инженер, Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, oleg_shich@mail.ru;

Майоров Виталий Юрьевич, к.х.н., н.с., Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, 024205@inbox.ru;

Портнягин Арсений Сергеевич, м.н.с., Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, arsuha@gmail.com;

Сокольницкая Татьяна Аркадьевна, к.х.н., н.с., Институт химии ДВО РАН, 690022, Россия, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159, +7(423)2215286, ttt@ich.dvo.ru;

Корявец Евгений Геннадьевич, главный специалист, Дальневосточный федеральный университет, 690091, Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8,+7(902)556-47-21, keg@mail.ru

УДК 621.78
doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-90-94

Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности сталей бором совместно с хромом, вольфрамом и титаном

А. М. Гурьев[1*], С. Г. Иванов[1], М. А. Гурьев[1], Б. Д. Лыгденов[2], Мэй Шунчи[3]

[1]Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия, 656038, Алтайский край, тел.+7 (3852) 29-07-06 пр. Ленина, д.46, *e-mail: gurievam@mail.ru

[2] Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, 670013, ул. Ключевская 40в, Россия, e-mail: lygdenov59@mail.ru

[3]Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай, e-mail: 1533876320@qq.com

Аннотация

В настоящей работе изучены процессы упрочнения сталей и чугуна различного состава. Проведены комплексные исследования структуры и свойств образцов после процессов совместного насыщения бором и другими элементами.

Установлено, что при насыщении поверхности бором и хромом, по разработанной авторами технологии, на стали образуется диффузионный слой толщиной 20 – 50 мкм.

Исследование совместного насыщения бором и титаном показало, что в первоначальный период насыщения наблюдается активная диффузия бора вглубь металла, а в последующем идет рост диффузионного слоя за счет наращивания атомами титана.

Многокомпонентное насыщение разными элементами или насыщение ими наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами.

Ключевые слова: диффузия, структура, твердость, бор, титан, химико-термическая обработка

Multicomponent Diffusion Surface Hardening of Steels with Boron together with Chromium, Tungsten and Titanium

A. M. Guriev[1*], S. G. Ivanov[1], M. A. Guriev[1], B. D. Lygdenov[2], Mei Shunqi[3]

[1]Polzunov Altai State Technical University, 46, Pr. Lenina, Barnaul 656038 Russia, tel: + 7 (3852) 290706, *e-mail: Gurievam@mail.ru

[2] East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, 670013, Klyuchevskaya Str., 40b, Russia, e-mail: lygdenov59@mail.ru

[3]Wuhan Textile University, Wuhan, China, e-mail: 1533876320@qq.com

Abstract

The work studies the processes of steel hardening and cast iron of different composition. Complex studies of their structure and properties after the processes of joint saturation with boron and other elements have been conducted.

It has been established that at the saturation of the surface with boron and chromium by the authors' technology a diffusion layer with a thickness of 20–50 μm is appearing on the steel.

The study of combined saturation with boron and titanium showed that at the initial loading phase there is active diffusion of boron into the metal and further the diffusion layer is growing through increasing the titanium atoms.

Multicomponent saturation with different elements or the saturation with them of external and internal surface of the product allows creating multilayer composite materials with unique properties.

Keywords: the diffusion, structure, hardness, boron, titanium, chemical-heat treatment

Технический прогресс во многих областях науки и техники неразрывно связан с разработкой и внедрением эффективных упрочняющих и защитных покрытий, в том числе и диффузионных. Эта тенденция обусловлена проблемой экономии стратегических металлов (хром, кобальт, вольфрам, марганец, ванадий, молибден, ниобий, металлы платиновой группы) и перехода к массовому потреблению экономно-легированных сталей.

В последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностного упрочнения сталей. В процессе эксплуатации деталей машин и инструмента наиболее интенсивным внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, поэтому нередко структура и свойства именно поверхностных слоев оказывают определяющее влияние на работоспособность изделий в целом.

Существует множество способов упрочнения поверхности: напыление, лазерное упрочнение, наплавка, накатка, применение различных технологий нанесения покрытий. Однако применение данных технологий требует использования сложного, часто уникального, дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, дорогостоящих упрочняющих сплавов, высококвалифицированного персонала. Поэтому особый интерес представляет разработка новых высокоэффективных методов упрочнения деталей машин и инструмента за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами, метод химико-термической обработки (ХТО). Одним из наиболее перспективных методов ХТО является диффузионное борирование, которому принадлежит лидерство в повышении таких свойств материалов как износостойкость, теплостойкость и твердость поверхности.

Широко используемая традиционная химико-термическая обработка хотя и повышает износостойкость инструмента, но кроме выше перечисленных достоинств, требует большого расхода электроэнергии в связи с длительностью высокотемпературных диффузионных процессов. Всё это приводит к повышению стоимости изделия.

Исследования воздействия насыщающих сред в виде обмазок при ХТО показали, что использование соединений бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, значительно увеличивает срок службы деталей машин и инструмента. Борирование, хромирование, титанирование и совмещенные процессы (борохромирование, боротитанирование и боровольфрамирование) эффективнее, чем тра-

диционно используемые цементация, азотирование и др. практически по всем параметрам свойств поверхностных слоев материала. Боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных. Работоспособность борохромированных слоев почти в два раза выше, чем борированных. Однако, известные методы получения таких упрочняющих покрытий несовершенны и достаточно трудоемки.

В настоящей работе изучали процессы упрочнения сталей и чугуна различного состава. Провели комплексные исследования структуры и свойств образцов после процессов совместного насыщения бором и другими элементами. Химико-термическую обработку проводили из насыщающих обмазок (паст) на основе карбида бора, нанесенных на поверхность упрочняемых изделий и образцов. В качестве добавок использовались как чистые металлы, так и их соединения (оксиды, карбиды, бориды). Изучали структуру, фазовый и химический состав полученных диффузионных слоев слоев. Металлографические исследования проводили на поперечных шлифах при помощи инвертированного микроскопа Carl Zeiss Axio Observer Z1m и методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном растровом микроскопе JSM-6510 LV JEOL с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе ЭМ-125К и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе «FEMTOSKAN» в режиме сканирования рельефа поверхности. Механические свойства определяли по стандартным методикам. Износостойкость определяли в лабораторных условиях на машине Амслера по ГОСТ 47421-73. Дюрометрические исследования производили на твердомере Роквелла TP 5005 согласно ГОСТ 9013–82 и на приборе ПМТ-3М по ГОСТ 9450–76.

Проведено борохромирование быстрорежущей стали Р6М5 из насыщающей обмазки на основе карбида бора. В результате анализа структуры поперечных микрошлифов исследуемых образцов была показана принципиальная возможность упрочнения вольфрам и молибденсодержащих быстрорежущих сталей из насыщающих обмазок на основе карбида бора.

Установлено, что при насыщении поверхности бором и хромом, по разработанной авторами технологии, на стали образуется диффузионный слой толщиной 20 – 50 мкм. Слой имеет характерное для боридных слоев игольчатое строение. В силу того, что сталь Р6М5 является высоколегированной и имеет сложный химический состав, боридные иглы имеют закругленные концы и значительный диаметр. Между иглами заметно выделение различных фаз, премущественно карбоборидов сложного состава на основе хрома, молибдена и вольфрама

Исследования показали, что при борохромировании химический состав претерпевает значительные изменения в направлении от поверхности вглубь. Так, содержание бора изменяется от 22,67% на поверхности слоя до 7,35% на глубине 80 мкм. Содержание вольфрама, молибдена, хрома и углерода – соответственно от 6,68 до 6,41; 5,10 – 5,32; 7,25 – 4,27 и 0,12 – 0,84. Причем на глубине около 30 мкм, где проходит граница между слоем сплошных боридов и переходной зоной химический состав изменяется наиболее кардинально – содержание таких элементов как B, C, W, Mo, V, Cr находится соответственно на уровне 16,49; 1,83; 5,63; 4,81; 1,86; 4,68%.

Испытания на износостойкость в лабораторных условиях показали 2,5 кратный рост ресурса работы упрочненного изделия по сравнению с неупрочненным при нагрузке вплоть до 40 МПа/мм^2. Однако при нагрузках, превышающих эту величину, происходит продавливание упрочненного слоя и снижение износостойкости упрочненного изделия до значений в 1,5 – 2 раза меньших, чем у неупрочненной детали. Это объясняется тем, что в процессе диффузионного насыщения под упрочненным боридным слоем образуется переходная зона со значительно меньшей твердостью. При больших нагрузках происходит продавливание мягкого слоя разрушающимися более твердыми кристаллами боридов, а образовавшиеся в результате разрушения их мелкие осколки, как абразив, значительно ускоряют износ. Поэтому для деталей, испытывающих при работе нагрузки, превышающие 40 МПа/мм^2 необходимо проводить закалку изделия непосредственно от температуры диффузионного насыщения. В этом случае переходная зона упрочняется и продавливания боридного слоя не наблюдается.

При введении в смесь для борирования вольфрама, либо его соединений (карбидов или оксидов) структура диффузионного слоя по сравнению с борированием изменяется: боридные иглы становятся толще и по большей части закругляются. Часть игл при этом начинает расти под углом к поверхности образца, по границам бывших зерен. Количество высокобористой фазы незначительно возрастает, так как вольфрам способствует ее образованию. Наряду с этим добавка вольфрама в насыщающую смесь увеличивает хрупкость низкобористой фазы Fe_2B. Усредненная толщина образующегося боридного слоя в случае боровольфрамирования составляет порядка 20 мкм, что 3–3,5 раза меньше, чем при однокомпонентном борировании. Существенные изменения в случае боровольфрамирования с приме-

нением в качестве инертной добавки углерода претерпевают переходная зона и сердцевина образца. Исчезает видманштеттова структура, количество перлита увеличено по сравнению с количеством, характерным для равновесной структуры этой стали.

При испытаниях на износостойкость при абразивном износе при удельной нагрузке 40 МПа/мм^2 оба покрытия на стали Ст3 показывают примерно одинаковый результат, при нагрузке выше 40 МПа/мм^2 лучший результат показывает бор-никелевое покрытие, за счет большей толщины. Характер износа бор-никелевого покрытия – микровыкрашивание, аналогичный характер износа наблюдается при испытании бор-вольфрамового покрытия, однако в силу его более высокой хрупкости микротрещины формируются задолго до выкрашивания. При адгезионном износе лучший результат показало бор-вольфрамовое покрытие, очагов схватывания на нем обнаружено не было. Это можно объяснить тем, что в месте контакта покрытия и контртела повышения температуры было достаточно для окисления покрытия и образовавшиеся окислы выступили в роли твердой смазки.

Были также проведены испытания бор-вольфрамового и бор-никелевого покрытия на стали Ст3 на коррозионную стойкость. Стойкость обоих покрытий в 20% растворе NaCl оказалась одинаковой, следов коррозии не обнаружено при выдержке образцов в течение 3 суток. При замене раствора поваренной соли на 10% раствор NaOH на боровольфрамовом покрытии были обнаружены незначительные следы питтинговой коррозии, однако зафиксировать потерю массы не удалось, на боронике-левом покрытии следов коррозии не обнаружено. При испытании этих покрытий в 15% водных растворах кислородсодержащих минеральных кислот (H_2SO_4 и HNO_3) наибольшую стойкость показало боровольфрамовое покрытие – потеря массы на нем составила в среднем в 1,5 раза меньше. Однако в растворе соляной кислоты наибольшую стойкость показало покрытие на основе бора и никеля – следов коррозии на нем не было обнаружено при изменении концентрации в пределах 3–15% .

Исследование совместного насыщения бором и титаном показано, что в первоначальный период насыщения наблюдается активная диффузия бора вглубь металла, а в последующем идет рост диффузионного слоя за счет наращивания атомами титана. В промежутке между этими слоями, согласно дюрометрических измерений, обнаруживается подслой с достаточно низкой микротвердостью. Установлено, что это обезуглероженные соединения железа с титаном. Бор оттесняет углерод вглубь металла, а титан, наоборот, вытягивает его, поэтому происходит образование мягкой «сердцевины», которая способствует лучшей притирке сопряженных поверхностей.

Таким образом, можно заключить, что комплексное насыщение бором и титаном на основе карбида бора и окиси титана является перспективным методом повышения эксплуатационных свойств поверхности деталей машин, при этом особую роль играет мягкая сердцевина диффузионного слоя.

Процессы многокомпонентного насыщения позволяют сформировать многофазную структуру поверхностного слоя, обладающего комплексом полезных свойств. В ряде случаев ХТО является единственно возможным способом получения требуемых эксплуатационных свойств не только поверхности, но и изделия в целом. Более того, химико-термической обработкой можно получать такое сочетание свойств упрочненного изделия, которое другими методами получить невозможно. В этом случае ХТО можно рассматривать не как определенную операцию изготовления детали, а как метод получения принципиально нового конструкционного материала. Многокомпонентное насыщение разными элементами или насыщение ими наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами.

Список дитературы

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. – Минск: Беларусь,-1981.-205 с.
2. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д. Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей // Изв. Вузов. Физика, №11. – 2000. – Т.43. – С. 269 – 270.
3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Особенности формирования диффузионного слоя при термоциклическом борировании углеродистой стали // В книге: Эволюция дефектных структур в конденсированных средах / сборник тезисов докладов 5-ой Международной школы-семинара. – 2000. – С.149-150.
4. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Крымских А.И., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2000. Т. 43. – № 11. – С. 60.
5. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite – pearlite steels Under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, – №2. – 2004. – С.54 – 60.
6. Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Гурьева О.А., Колядин А.А., Попова О.В. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей // Ползуновский вестник. – 2005. – № 2-2. – С. 36-43.
7. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Мосоров В.И., Инхеев Б.С. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп // Современные наукоёмкие технологии. – №5, – 2006, – С. 35 – 36.
8. Гурьев А.М., Хараев Ю.П., Гурьева О.А., Лыгденов Б.Д. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 3. С. 65-66.

9. Ворошнин Л.Г. Перспективы развития химико-термической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – №1. – С. 5 – 8.

10. Гурьев А. М., Лыгденов Б. Д., Попова Н. А., Козлов Э. В. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, -2008. – 250 с.

11. Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Чех С.А. Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30Х // Современные наукоёмкие технологии. – №3, – 2008, – С 54 – 55.

12. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. Комплексное насыщение сталей бором и хромом – борохромирование // Ползуновский альманах. – 2008. – № 3. – С. 53.

13. Гурьев А.М., Грешилов А.Д., Кошелева Е.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Долгоров А.А. Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора // Обработка металлов. – №2.- 2010.- С. 19-23.

14. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванов А.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Долгоров А.А. Структура и свойства упрочненных бором и бором совместно с титаном поверхности штамповых сталей 5ХНВ и 5Х2НМВФ // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. Т. 7. – № 1. -С. 27-31.

15. Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А., Иванов А.Г., Грешилов А.Д., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Околович Г.А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжелонагруженных деталей машин и инструмента // Ползуновский вестник. - 2010. -№ 1. – С. 114-121.

16. Гурьев М.А., Гурьев А.М., Иванов А.Г., Иванов С.Г. Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. – № 5. – С. 155-157.

17. Гурьев А.М., Иванов С.Г., Грешилов А Д., Земляков С.А. Механизм образования боридных игл при диффузионном комплексном борохромировании из насыщающих обмазок // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3. – С. 34-40.

18. Иванов С.Г., Гармаева И.А., Андросов А.П., Зобнев В.В., Гурьев А.М., Марков В.А. Фазовые превращения и структура комплексных боридны-х покрытий // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-1. – С. 106-108.

19. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Гармаева И.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Околович Г.А. Технология нанесения многокомпонентных упрочняющих покрытий на стальные детали // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-1. – С. 73-78.

20. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Русакова А.В., Гурьев М.А., Старостенков М.Д. Микроструктура поверхности многокомпонентных диффузионных покрытий на основе бора // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2013. Т. 10. – № 1. – С. 130-133.

21. Иванов С.Г., Гармаева И.А., Гурьев М.А., Гурьев А.М. Особенности многокомпонентного насыщения легированных сталей // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 1155-1160.

22. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Гурьев М.А., Шунчи М., Власова О.А. Борирование малоуглеродистой стали. – Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, -2015. – 141р.

23 Логинова М.В., Иванов С.Г., Яковлев В.И., Гурьев М.А., Дон Яджи, Гурьев А.М. Фазовый состав композиционных покрытий на углеродистых сталях // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, – 2015. -№1,- С.99-102.

Сведения об авторах

А.М. Гурьев, д.т.н., профессор, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия, 656038, Алтайский край, тел.+7 (3852) 29-07-06 пр. Ленина, д.46, профессор Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай e-mail: gurievam@mail.ru.

С.Г. Иванов, к.т.н., Алтайский государственный технический университет, Барнаул, Россия, 656038, Алтайский край, тел.+7 (3852) 29-07-06 пр. Ленина, д.46.

М.А. Гурьев, к.т.н., докторант, Алтайский государственный технический университет, Барнаул, Россия, 656038, Алтайский край, тел.+7 (3852) 29-07-06 пр. Ленина, д.46.

Б.Д. Лыгденов, д.т.н., профессор Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, 670013, ул.Ключевская 40в, Россия, профессор Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай, e-mail: lygdenov59@mail.ru.

Мэй Шунчи, профессор Уханьский текстильный университет, Ухань, Китай, e-mail: 1533876320@qq.com.

УДК 539.23
doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-94-98

Towards Multidimensional Carbon Materials: Turning Graphene into Thin Diamond Nanostructures

Dorj Odkhuu[1], Noejung Park[2], Rodney. S. Ruoff[3],

[1]Department of Physics, Incheon National University, Academy-ru 119, Incheon 460-772, Republic of Korea, e-mail: odkhuu@inu.ac.kr

[2]Department of Physics, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 689-798, Korea, e-mail: noejung@unist.ac.kr

[3]Department of Mechanical Engineering and the Materials Science and Engineering Program, The University of Texas, Austin, Texas 78712, United State of America, email: r.ruoff@mail.utexas.edu