Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Способ диспергирования наноразмерных порошков с помощью ультразвука в режиме акустической кавитации является эффективным и перспективеным, при этом получается готовый к реализации продукт, который может быть использован в традиционных условиях эксплуатации в различных технических системах.

2. Модифицирующие нанодобавки разной природы и способов получения могут значительно повлиять на характеристики трения, что доказывается вышеизложенным исследованиям. При использование модифицирующих нанодобавок значительно улучшаются технико-экономические показатели технических агрегатов.

3. Наши исследования носят пионерский характер, но полученные результаты свидетельствуют о том, что это направление нанотехнологий имеет перспективный характер и они могут быть расширены и систематизированы. Надеемся, что аналогичные исследования в мире проводятся, но результаты таких исследований, скорее всего, составляют коммерческую тайну. Очевидно поэтому в открытой печати публикаций по этой теме не много.

**Литература**

1.Хитерхеева Н.С., Номоев А.В., Бадмаев С.С., Батороев С.Б., Радов В.В. Особенности ультразвукового диспергирования наноразмерного порошка меди в базовом моторном масле/Инновационные технологии в науке и образовании/ Изд. Бур.ГУ, Улан-Удэ. 2015. – с. 63-69.

2. Патент на изобретение RU2508963 C2. Способ диспергирования наноразмерного порошка диоксида кремния ультразвуком. Хитерхеева Н.С., Бардаханов СП., Номоев А.В., Уладаева С.С., бюл. №7, 2014.

3. Патент на изобретение RU2591918 C2. Способ диспергирования наноразмерного порошка меди в базовом моторном масле. Хитерхеева Н.С., Бардаханов СП., Номоев А.В., Батороев С.Б., бюл. № 20, 2016.

4.Бардаханов, С.П. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении / С.П. Бардаханов, А.И. Корчагин, Н.К. Куксанов, А.В. Лаврухин, Р.А. Салимов, С.Н. Фадеев, В.В. Черепков // Доклады Академии Наук. 2006. т. 409. №3. С. 320-323.

5.Nomoev A.V., Lygdenov V.T., Impact of silica nanopowder on wear resistance of paint coating. Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal. 3 (2010) 19-20.

6.Syzrantsev V.V., Zobov K.V., Zavjalova A.P., Bardakhanov S.P., The associated layer and viscosity of nanoliquids. Doklady Physics. 60 (2015) 46–48.

7.Blackstock D.T., Fundamental of Physical Acoustics, Chapter 7: Horns, John Wiley & Sons, 2000.

8.Ensminger D. and Bond L.J., Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications, CRC Press, 3rd edition, (2012).

9.Аметов, В.А. Оценка влияния металлосодержащих присадок на работоспособность трибосистемы ДВС-масло / В.А. Аметов, Е.Н. Спирин // Вестник ТГАСУ. 2002. – с. 27–31.

10. Аметов, В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: диссертация доктора технических наук : Тюмень, 2006. – 382 с.

**Сведения об авторах**

Хитерхеева Надежда Сергеевна – генеральный директор ООО «НАНОХИТ»; старший научный сотрудник лаборатории физики наносистем, кандидат технических наук, доцент БГУ. 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а, +7 902-160-8113; e-mail: nanohit69@gmail.com

Номоев Андрей Валерьевич – ведующий научный сотрудник лаборатории физики наносистем, доктор физико-математических наук, БГУ.

Болоев Петр Антонович – доктор технических наук, профессор кафедры машиноведение БГУ, 670000, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а.

Радов Валерий Владимирович – аспирант БГУ.

Ринчинов Александр Петрович – студент БГУ.

Самбилов Дамдин Жамсаранович – магистрант БГУ.

Батороев Сократ Баторович – аспирант БГУ.

УДК 537.533+661.8/061/1+661/571+546.302
doi:10.18.101/978-5-9793-0883-8-124-126

## Особенности создания наноструктурированных поверхностных слоев на штамповые стали при воздействии интенсивных электронных пучков в вакууме

**А. С. Милонов, Б. А. Данжеев, Н. Н. Смирнягина[1]**

[1]Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Россия,
г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: terwer81@mail.ru

**Аннотация**

Насыщение поверхностных слоев металлов и сплавов бором проводят с целью повышения их поверхностной твердости, износостойкости и т. д. Многокомпонентные слои, содержащие в своем составе бориды тугоплавких металлов, как правило, формируют методами химико-термической обработки в результате взаимодействия борирующего компонента с тугоплавким, либо за счет насыщения бором тугоплавкой примеси металла или сплава.

В настоящей работе исследованы особенности формирования боридов ванадия и железа на поверхности инструментальных сталей У8А и Р18 под воздействием интенсивных электронных пучков в непрерывном и импульсном режимах.
**Ключевые слова:** Электронный пучок, бориды, микротвердость, структура, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

## Features of Creation of the Nanostructured Surface Layers on Die Steels at Influence of Intensive Electron Streams in Vacuum

**A. S. Milonov, B. A. Danzheev, N. N. Smirnyagina** [1]
[1] Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Sakhyanova Str., 6, Ulan-Ude 670047, Russia, e-mail: terwer81@mail.ru

**Abstract**

The saturation of the surface layers of metals and alloys with boron is conducted with the purpose of increasing their surface hardness, wear resistance, etc. Multicomponent layers containing borides of refractory metals, as a rule, are formed by the methods of chemical-thermal processing resulted from the interaction of boriding component with refractory one or by saturation of refractory impurities metal or alloy with boron.

The work presents the studied features of formation of vanadium and iron borides on the surface of instrumental steels U8A and R18 under the influence of intense electron beams at continuous and pulse modes.
**Keywords:** electron beam, borides, alloys, microhardness, structure, the self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

Современное машиностроение и инструментальная отрасли промышленности предъявляют к поверхности изделий повышенные и зачастую противоречивые требования, которые не могут быть реализованы в рамках использования одной технологии. Особо жесткие требования предъявляются к сплавам, работающим в экстремальных условиях высоких температур, больших механических нагрузок, агрессивных контактирующих сред и внешнего облучения. Для выполнения этих требований наиболее эффективно использовать технологии, которые оказывают на поверхность функционально различные действия. Например, после оптимизации микрорельефа поверхности методами механической обработки (вибрационное накатывание, вибрационное выглаживание и т.п.) с целью упрочнения поверхности деталей применяют обработку пучками ионов, импульсной плазмой, электронными пучками [1-3].

Термодинамические расчеты позволили при каждой температуре определить мольные составы фаз, давление газообразных компонентов, термодинамические свойства, в том числе полную энтальпию H, энтропию S, равновесную теплоемкость $C_p$. Анализ зависимости H(T) в определенных температурных интервалах предоставил возможность выявить резкие изменения, которые можно было отнести к фазовым или химическим равновесным превращениям, связанным с образованием новых или промежуточных соединений (рис. 1). Изменение полной энтальпии H при температуре завершения превращения, отнесенное к числу молей конденсированного вещества при температуре начала резкого увеличения H, близко к величинам тепловых эффектов ΔH равновесных превращений.

Термодинамические расчеты выполнены с использованием многоцелевого комплекса TERRA. Расчеты проведены в температурном интервале 273 – 2173 К (температура плавления чистого железа Fe 1812 К) в диапазоне давлений $10^5$–$10^{-4}$ Па для стехиометрических составов, в которых предполагалось образование боридов ванадия $VB_2$, $V_3B_4$ и VB.

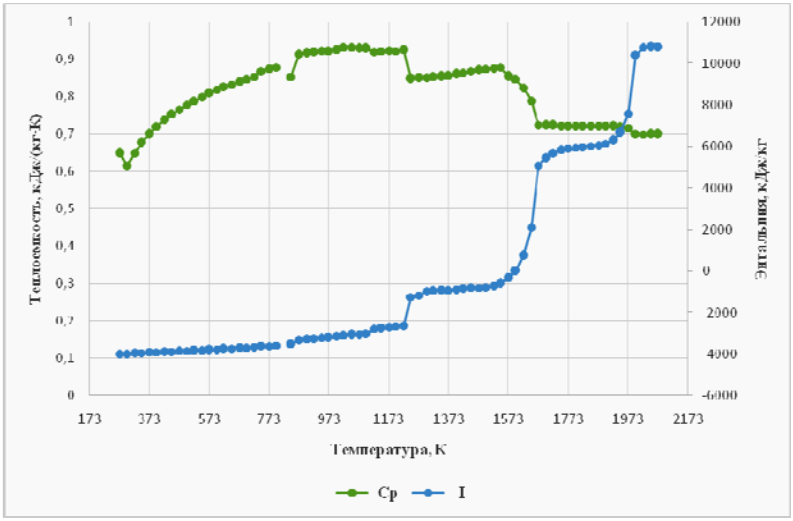


Рис. 1. Термодинамические свойства при образовании $VB_2$ (Fe84Cr12Mo0.5V0.2C1.5 – 5%) + (V44.5B18.9C15.7O20.9 – 95%) при P=$10^{-3}$ Па

Для импульсного плавления поверхностных слоев использован источник сильноточных низкоэнергетических импульсных электронных пучков (энергия электронов eU = 10-30 кэВ, плотность энергии ES = 2-100 Дж/см$^2$, длительность импульса t = 2-200 мкс), который по совокупности параметров не имеют аналогов. Следует отметить, что импульсные электронные пучки с указанными параметрами обеспечивают закалку из расплава поверхностных слоев со скоростями охлаждения в интервале от $10^6$ (t = 50…200 мкс, толщина расплава h до 20 мкм, общая толщина напыляемого слоя, подвергаемого миксингу, h до 3 мкм) до $10^9$ (t = 2…5 мкс, h до 5 мкм, H до 1 мкм) К/с. Данные условия синтеза создают возможность формирования поверхностных слоев с нано- и субмикрокристаллической многофазной структурой, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

На рисунке 2 представлена строение слоя $VB_2$ на стали Х12МФ (ток дугового разряда I=30А, напряжение высоковольтного блока питания U=10кВ, частота импульсов F=10Гц, количество импульсов N=400). Измерение микротвердости показало неравномерное распределение ее по толщине в поперечном разрезе (рис. 3). Отдельные включения имеют HV≈ 11000 МПа и располагаются в приповерхностных слоях.

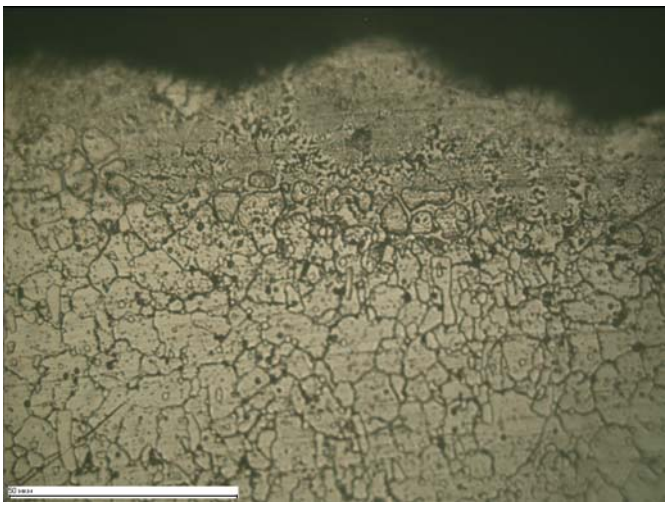

Рис. 2. Строение слоя $VB_2$ на стали Х12МФ

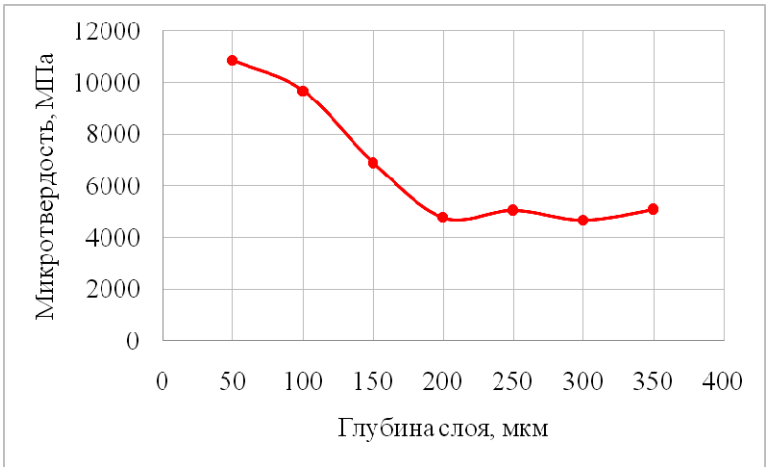


Рис. 3. Микротвердость слоя $VB_2$ на стали Х12МФ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 15-48-04217 р_сибирь_а.

**Литература**

1.Прохоров А.М. Физические принципы обработки материалов импульсной лазерной плазмой // Научные основы прогрессивной технологии. М.: Машиностроение, 1982. – С. 164-211.

2.Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1975. – 370 с.

4.Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева. – Минск: «Навука і тэхніка», 1995. – 280 с.