

УДК 691.175 : 667.6

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОВ К ИК ИЗЛУЧЕНИЮ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НАСЫЩЕННОГО НАНОМАТЕРИАЛАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО КОМПОЗИТНОГО СЛОЯ

© 2018 Д.В. Мухин, А.А. Федоров, Р.А. Салаев

Ульяновский государственный технический университет,  
обособленное структурное подразделение  
«Институт авиационных технологий и управления», Ульяновск

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

Разработан новый приповерхностный насыщенный углеродными нанотрубками композитный слой, который повышает поглощающую способность приемника инфракрасного излучения. Авторами статьи были анализированы прочностные характеристики слоя, его теплопроводность и поглощающие способности. В статье содержатся выдержки из ряда опытов, проводимых авторами, которые показывают улучшение вышеперечисленных характеристик при применении углеродных нанотрубок, а также выводы из проведенных работ по дальнейшему исследованию процесса.  
*Ключевые слова:* углеродные нанотрубки, инфракрасное излучение, энергоэффективность, поверхностный слой, нагрев.

Повышение энергоэффективности производства является одним из важнейших факторов снижения производственных затрат и, следовательно, получения промышленным предприятием большей прибыли, и как следствие, повышения его конкурентоспособности. С учетом постоянного роста цен на энергетические ресурсы, влияние уровня энергетической эффективности на успешную деятельность предприятия усиливается с каждым годом, а вопрос повышения энергоэффективности производства должен стать одной из приоритетных сторон экономической деятельности предприятия. Повышение энергоэффективности предприятий включает в себя достаточно большой комплекс [1] организационных, финансовых и технических мероприятий важнейшее место среди которых занимает внедрение в производственный процесс предприятия современных энергосберегающих технологий.

Среди технологических процессов, требующих значительного энергопотребления существенную роль играют процессы нагрева, осуществляемые электрическими инфракрасными нагревателями. Коэффициент полезного действия таких нагревателей определяется как совершенством нагревателя, то есть его способностью максимально эффективно преобразовать

электрическую энергию в энергию инфракрасного излучения и способностью направить поток инфракрасного излучения к приемнику так и совершенством приемника, то есть его поглощающей способностью и способностью передать тепло с минимальными потерями нагреваемой субстанции.

Авторы данной статьи в своих исследованиях решали задачу сокращения затрат электроэнергии на нагрев поверхностей изделий (типа варочной посуды) излучением путем повышения поглощающей способности поверхности нагреваемого изделия к инфракрасному излучению.

Повышение поглощающей способности приемника инфракрасного излучения традиционно решается путем создания на его поверхности специальных поглощающих покрытий. Известны различные составы, предназначенные для нанесения на поверхность тела, с целью повышения поглощающей способности к инфракрасному излучению. В большинстве таких составов, например [2] в качестве поглощающего пигмента-красителя используется сажа. Также известны примеры использования вместо сажи углеродных нанотрубок, например, в [3] способ изготовления поглощающего покрытия включает формирование на пластине-носителе последовательно адгезионного слоя; полиимидного слоя с углеродными нанотрубками из раствора пиромилитового диангидрида и оксидианилина в полярном растворителе методом центрифугирования или полива с последующей сушкой. Общим у всех существующих методов является способ удержания покрытия – адгезия, что при работе в промышленных условиях при воздействии высоких температур и механических

*Мухин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение».*

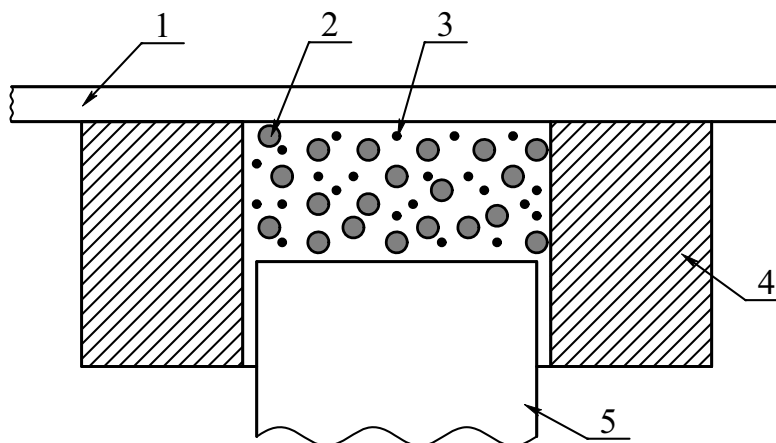
*E-mail: dmuhin123@mail.ru*

*Федоров Александр Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Самолетостроение».*

*E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru*

*Салаев Роман Андреевич, аспирант.*

*E-mail: rayzer75@yandex.ru*



**Рис. 1.** Схема установки для ультразвуковой виброударной обработки деталей с плоской поверхностью:  
1 – обрабатываемая деталь; 2 – деформирующие элементы; 3 – частицы углеродных нанотрубок;  
4 – корпус приспособления; 5 – волновод ультразвукового преобразователя



**Рис. 2** Внешний вид необработанной и обработанной поверхностей

воздействий приводит к быстрому разрушению покрытия. В силу вышеуказанного авторы предлагают альтернативный подход к созданию поглощающего ИК излучение поверхностного слоя. Поставленная задача решается за счет обработки поверхности в виброударной ультразвуковой установке предназначенной для поверхностного упрочнения поверхности деталей, схема которой представлена на рис.1. В которую наряду с деформирующими элементами добавляются углеродные нанотрубки. Внешний вид получаемого покрытия показан на рис. 2.

В процессе обработки поверхности в установке происходит дробление кристаллов поверхности и их разориентировка относительно исходного положения, при этом в структуре металла образуются микрополости активно заполняемые нанотрубками. В дальнейшем при последующей обработке эти полости деформируются, предотвращая возможность извлечения нанотрубок из полости. Таким образом, после обработки поверхность представляет собой композитный слой, состоящий из дробленых кристаллов основного материала в возникшие

зазоры между которыми внедрены кусочки волокон углеродных нанотрубок. Внедрение последних и обеспечивает изменение теплофизических свойств поверхности.

Как показали проведенные авторами исследования, внедрение в структуру поверхностного слоя углеродных нанотрубок увеличивает не только поглощающую способность поверхности, но и существенно увеличивает теплопроводность приповерхностного слоя, что способствует быстрому отводу тепла от поверхности к сердцевине материала, что в свою очередь существенно снижает температуру поверхности и, в соответствии с законом Стефана-Больцмана, уменьшает ИК излучение в обратном направлении и потери тепла. Таким образом, создание приповерхностного насыщенного углеродными нанотрубками композитного слоя обладает качественными преимуществами перед покрытиями, наносимыми путем адгезии, где само покрытие наоборот затрудняет теплопроводность от поверхности вглубь материала.

Режим обработки выбирается по той же методике, как и для поверхностного пластическо-

го деформирования, так как именно этот режим обеспечивает максимальную эффективность дробления кристаллов и из разориентировки.

Исследования проводились на установке радиационного нагрева. В качестве исследуемых материалов использовались алюминиевый сплав АМг5 и нержавеющая сталь 12Х18Н9Т. Типовая картина, наблюдаемая при нагреве образцов без обработки наноматериалами и после обработки, представлена на рис. 3 и 4.

Обработка в виброударной ультразвуковой установке выполняет и свое изначальное предназначение – улучшает механические свойства поверхностных слоев материала. Подробные исследования влияния внедряемых нанотрубок на механические свойства обработанной поверхности авторами не проводились, но измерение твердости показывает стабильное увеличение на 5-10 единиц по Роквеллу поверхности обработанной с нанотрубками по сравнению с поверхностью из того же материала, обработанной на той же установке, с теми же параметрами но без добавления нанотрубок.

Данный результат позволяет предсказать увеличение изностостойкости материалов, обработанных предлагаемым методом. Более подробное исследование механических свойств приповерхностного насыщенного наноматериалами композитного слоя будет темой дальнейших исследований авторского коллектива.

## ВЫВОДЫ

Поводя итоги можно сказать, что достигнутый авторами технический результат заключается, во-первых, в повышении скорости нагрева жидкости в посуде, нагревательная поверхность которой снабжена предлагаемым покрытием на 40% по сравнению с аналогичной посудой с необработанной варочной поверхностью при одной и той же мощности нагревателя, а также обеспечении возможности равной скорости нагрева в посуде с обработанной поверхностью и без обработки, при этом нагреватель в первом случае работает с меньшей мощностью, во-вторых, в повышенной прочности получаемого покрытия, соизмеримой с прочностью основного материала, причем возникающие в процессе эксплуатации изделия с покрытием царапины и прочие повреждения поверхности не влияют на основное функциональное свойство покрытия и не являются причиной и начальными местами дальнейшего разрушения и отслоения покрытия. Проведенные исследования показали, что эффект повышения поглощающей способности обработанной описанным способом поверхности сохраняется до тех пор, пока сохраняется упрочненный поверхностный слой материала

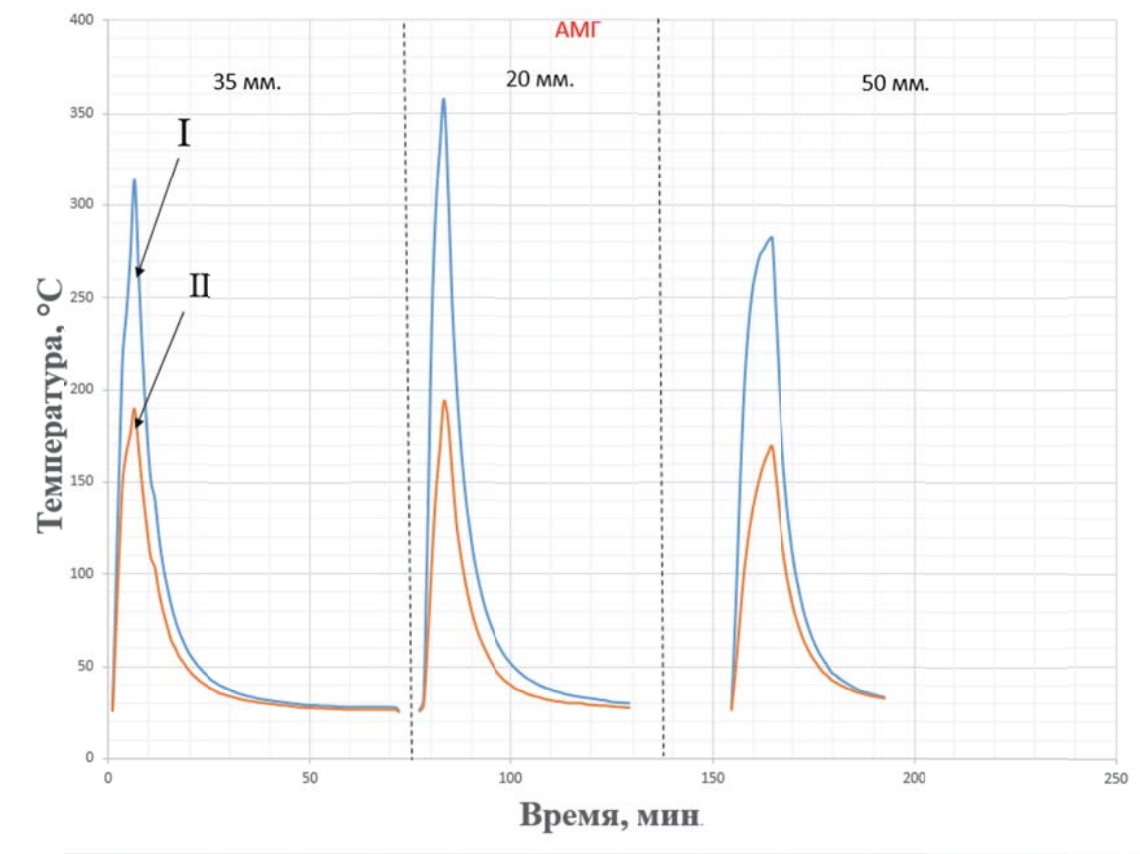


Рис. 3. График нагрева пластины из сплава АМг5 толщиной 3 мм: I – образец с нанесенным покрытием; II – образец без покрытия

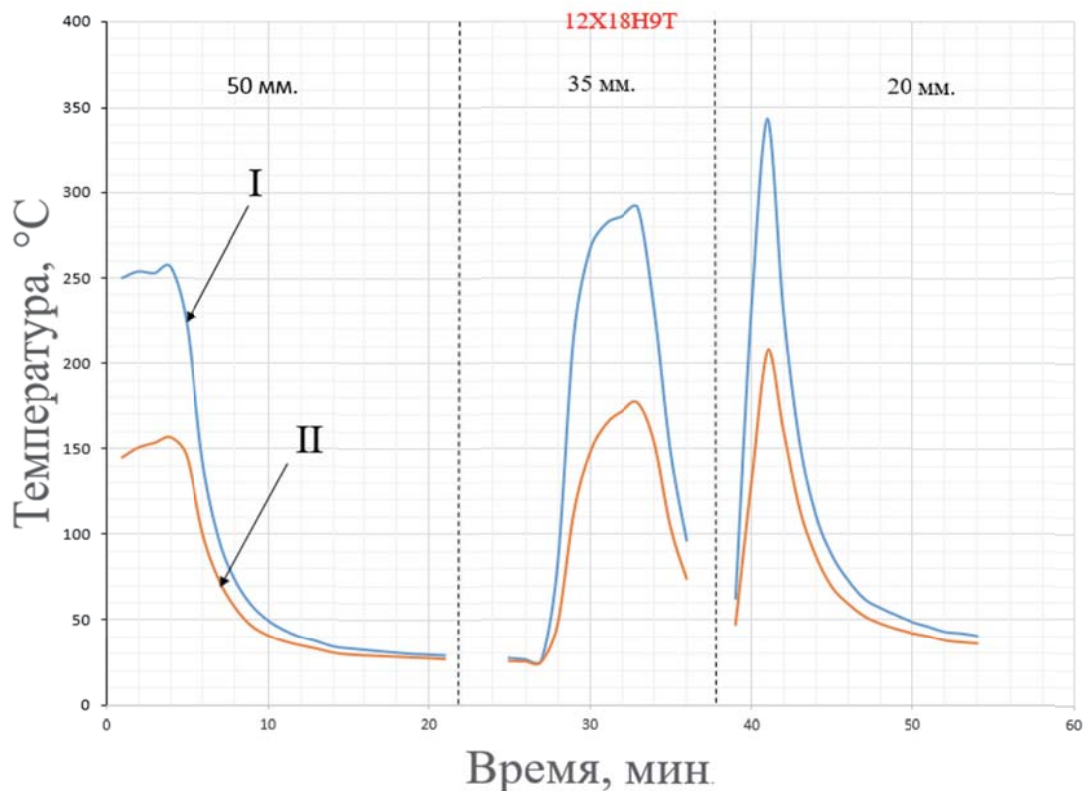


Рис. 4. График нагрева пластины из нержавеющей стали 12X18H9T толщиной 3 мм:  
I – образец с нанесенным покрытием; II – образец без покрытия

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неретина Е.А., Корокошко Ю.В. Анализ организации энергетических обследований и энергетического аудита: федеральный и региональный аспекты// Е.А.Неретина //Экономический анализ: теория и практика. – 2014. Т.2. - №36 - с.56.
2. Патент РФ № 2548475, 24.09.2013. Поглощающий инфракрасное излучение состав для пропитки текстильных изделий // Чистяков С.А, Чистяков С.С.
3. Патент РФ 2503103, 27.12.2013. Способ изготовления поглощающего покрытия// Жуков А.А, Корпунин А.С. Лаврищев В. П. [и др.].

#### RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE ABSORPTING ABILITY OF METALS TO IR RADIATION BY CREATING ANNOUNCED BY NANOMATERIALS SURFACE COMPOSITE LAYER

© 2018 D.V. Muhin, A.A. Fedorov, R.A. Salaev

Ulyanovsk State Technical University,  
a Separate Structural Unit «Institute of Aviation Technologies and Management», Ulyanovsk

A new near-surface carbon nanotube-saturated composite layer has been developed, which increases the absorptive capacity of the infrared radiation receiver. The authors of the article analyzed the strength characteristics of the layer, its thermal conductivity and absorption properties. The article contains excerpts from a series of experiments conducted by the authors, which show the improvement of the above characteristics when using carbon nanotubes, as well as conclusions from the work carried out to further study the process.

*Keywords:* carbon nanotubes, infrared radiation, energy efficiency, surface layer, heating.

Roman Salaev, Postgraduate Student.

E-mail: rayzer75@yandex.ru

Alexander Fedorov, Candidate of Technics, Head of the Aircraft Department. E-mail: aa.fedorov@ulstu.ru

Dmitriy Muhin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Department.