

УДК 669.14

**ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВОГО  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ С ЦЕЛЬЮ ПАССИВАЦИИ  
ПОВЕРХНОСТИ В УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ**

**THE FORMATION METAL FULLERENE SURFACE LAYER WITH  
THE AIM OF SURFACE PASSIVATION IN CARBON STEELS**

Габдуллина М.Р., Кузеев И.Р., Никифорова Д.К., Габдуллин М.Ф.,  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический  
университет», г. Уфа, Российская Федерация

Gabdullina M.R., Kuzeev I.R., Nikiforova D.K, Gabdullin M.F.,  
FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,  
Ufa, the Russian Federation  
e-mail: milya0102@yandex.ru

**Аннотация.** В процессе переработки углеродсодержащего сырья элементы оборудования нефтепереработки и нефтехимии подвергаются дополнительному насыщению углеродом, играющим большую роль во всех технологических процессах нефтепереработки.

Исследования показали, что при определенных условиях модифицирования поверхностных слоев сталей и чугунов образуются фуллереновые комплексы, которые существенно влияют на эксплуатационные свойства материала.

С целью максимального формирования фуллеренов при науглероживании стальных образцов необходимо подобрать оптимальный температурный режим. Чем выше температура, тем меньшую роль играют адсорбционные и когезионные эффекты и большую роль начинают играть процессы деструкции полимерных углеродных структур. Температура ограничена температурой размягчения нефтяного пека и перехода его в

маловязкое состояние для улучшения подвижности молекул и возможности их диффузии к поверхности металла.

Отшлифованные и обезжиренные образцы стали 20 полностью погружали в среду полученного пека. Далее под постоянным контролем производится процесс науглероживания, который длится 360, 480 и 720 минут при температуре 360 °С. Изменением времени науглероживания предполагалось выявить различия в структуре поверхности, зависящей от количественного содержания фуллеренов в ней.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что толщина металлофуллеренового поверхностного слоя на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  при науглероживании в среде нефтяного пека при температуре 720 °С зависит от выдержки в печи. Так при науглероживании в течении 6 часов его толщина составляет 1 мм; 8 часов – 1,2 мм; 12 часов – 1,4 мм. При этом максимальное значение фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  наблюдается на расстоянии 0,6; 0,8; 1,0 мм от поверхности металлофуллеренового слоя соответственно.

Экстремальный характер распределения микротвердости при науглероживании в среде нефтяного пека аналогичен зависимости распределения фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ .

На основе ИК-спектрального анализа установлено количество фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в металлофуллереновом поверхностном слое стали 20 в зависимости от времени науглероживания.

Результаты расчетов количественного анализа показали, что от 0,38 до 0,45% углерода, внедренного из среды нефтяного пека в металл, участвует в образовании фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в зависимости от времени науглероживания.

**Abstract.** Elements of the oil refining and petrochemical equipment during the process of the refining of carbon-containing feedstock are subject to

additional saturation of carbon, which plays a big role in all processes of oil refining.

Studies have shown that, under certain conditions, modification of surface layers of steel and cast iron are formed fullerene complexes, that can significantly affect the performance properties of the material.

In order to maximize the formation of fullerenes in the steel sample during carbonization, it is necessary to find perfect temperature. A high temperature makes adsorption and cohesive effects slower; it leads to the beginning of the destruction of polymeric carbon structures. The temperature is limited by softening point of the petroleum pitch and its transition to the low friction condition which improves the mobility of the molecules and their possible diffusion to the metal surface.

Polished and degreased samples of the steel 20 were fully immersed in the environment of the resulting pitch. Further, the carburizing process is carried out under constant supervision that lasts 360, 480, and 720 minutes at the temperature of 360 °C. It is suggested the difference in the structure that depends on quantitative content of fullerenes was identified by the time change of carburization process.

The results of experimental studies have shown the thickness of the surface layer, which consists from fullerenes  $C_{60}$  and  $C_{70}$  after carburization in petroleum pitch at the temperature of 720 °C, depends on exposure time in the furnace. For example, after carburization during 6 hours the thickness equals 1mm, 8 hours – 1.2 mm, 12 hours – 1.4 mm. While the maximum value of fullerene complex is observed at 0.6; 0.8; 1.0 mm from the surface of metallofullerene layer.

The extreme nature of the microhardness distribution during carbonization in the petroleum pitch environment is similar to the distribution pattern of fullerene complex based on fullerenes  $C_{60}$  and  $C_{70}$ .

The quantity of fullerene complex based on the time of carburization was found using infrared spectroscopic analysis.

The results of calculation have shown that 0.38-0.45 % of carbon embedded from the petroleum pitch is involved in formation of fullerene complex.

**Ключевые слова:** сталь 20, фуллерен, металлофуллереновый поверхностный слой, ИК-Фурье спектроскопия, микроструктура, энергодисперсионный спектрометр.

**Key words:** steel 20, fullerenes, metal-fullerene layer, IR-Fourier spectroscopy, microstructure, energy dispersive x-ray spectrometer.

В промышленности широко применяются углеродистые стали в термически обработанном состоянии, в частности после цементации, при которой используется диффузионное насыщение поверхностного слоя углеродом. В работах [1-3] установлена возможность дополнительного образования фуллеренов при диффузии углерода в поверхность металла из внешней среды.

В работе [1] установлено, что после науглероживания в среде нефтяного пека происходит формирование фуллеренов и эндометаллофуллеренов, проникающих в подповерхностные слои, что приводит к значительному изменению свойств стальных образцов, обусловленных наноструктурированием поверхности. Так, металлофуллереновый поверхностный слой при модифицировании в среде нефтяного пека углеродистых сталей позволяет существенно снизить износ, увеличить прочность, повысить коррозионную стойкость.

Модифицирование поверхности осуществлялось в среде нефтяного пека, представляющего собой систему широкого углеводородного состава и отличающегося от других тяжелых остатков переработки нефти преимущественным содержанием высококонденсированных ароматических соединений. При умеренных температурах наблюдаются преимущественно процессы циклизации и поликонденсации углеводородов, входящих в состав сырья, последующей адсорбции

высококонденсированных ароматических соединений поверхностью  $\alpha$ -железа, дегидрированием адсорбированной молекулы асфальтена с дальнейшей самоорганизацией полученного графенового фрагмента в молекулу фуллерена.

Сформировавшись, фуллерены изменяют распределение напряжений в поверхностном слое, приводят к его деформации как бы «сдвигая» отдельные атомы верхнего слоя металла. Впервые такая способность фуллеренов «зарываться» в поверхностный слой металла была обнаружена на примере серебра международной группой ученых и опубликованных в журнале *Physical Review Nature*sx [4].

По предварительным результатам, полученным в работе [1] установлено, что скорость коррозии образцов стали 20 с металлофуллереновым слоем в концентрированных растворах соляной и плавиковой кислот, уменьшается в 2 раза по сравнению с образцами стали 20 без модифицирования. Этот результат свидетельствует о актуальности метода модифицирования углеродистой стали с помощью фуллеренов с целью защиты от коррозии и требует дальнейших исследований.

Создание материала с поверхностным слоем, модифицированным наноразмерными частицами, является перспективным направлением. В настоящее время еще не до конца изучено распределение молекул фуллеренов по глубине поверхностного слоя материалов. В связи с этим, актуальной задачей является более детальное изучение процесса формирования металлофуллеренового слоя в углеродистых сталях.

### **Методика эксперимента**

В качестве объектов исследования выбрана углеродистая сталь 20. Данная сталь была выбрана с целью определения влияния химического состава стали на формирование металлофуллеренового слоя. Сталь 20 после цементации широко используется для изготовления малонагруженных шестерен, толкателей, осей, крепежных деталей.

В качестве сырья для получения нефтяного пека использовалась смола пиролиза с высоким содержанием высококонденсированных ароматических соединений и низким содержанием серы, препятствующей процессу формирования упорядоченных структур.

Для определения концентрации фуллеренов в поверхностном слое использовали ИК-Фурье спектрометр Avatar E.S.P. 370 с программным обеспечением Omnic от фирмы Nicolet. Применяли ранее разработанный способ идентификации фуллеренов с помощью ИК-Фурье спектроскопии методом твердых проб [2]. Получали осадок при обработке стружки исследуемой стали плавиковой кислотой, тщательно измельчали полученный осадок с бромидом калия. Полученная смесь исследуемого порошка с бромидом калия выдерживалась в атмосфере плавиковой кислоты, под действием паров которой происходит интенсивное окрашивание анализируемой смеси в оранжевый цвет, обусловленный формированием экзоэдральных бромидов фуллеренов.

Калибровка прибора осуществлялась по эталонным образцам фуллеренов чистотой 99,7% после их взаимодействия с бромидом калия.

На рисунке 1 представлен полученный в ходе исследований спектр бромпроизводных фуллеренов  $C_{60}$ .

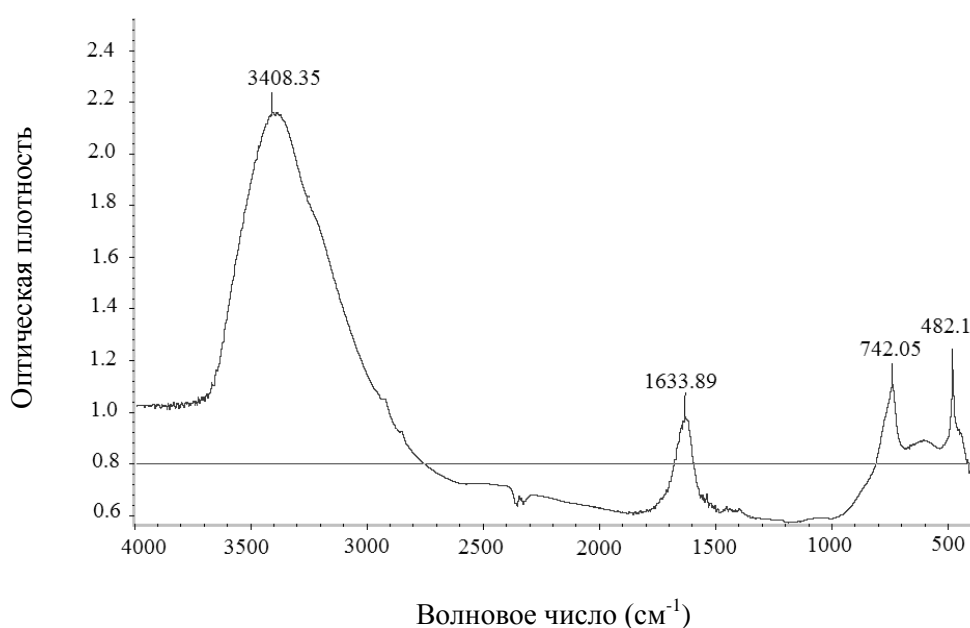


Рисунок 1. ИК спектр бромистого производного фуллерена  $C_{60}$

В полученных спектрах бромистых фуллеренов наблюдались интенсивные пики на частотах 482 и 742  $\text{см}^{-1}$ . Низкочастотные колебания обусловлены наличием дыхательных мод при колебании молекул  $\text{C}_{60}$  и  $\text{C}_{70}$ , совпадающих по частотным характеристикам для обоих фуллеренов. Широкий пик на частоте 3400–3420  $\text{см}^{-1}$  обусловлен присутствием –ОН группы вследствие адсорбцией влаги из воздуха. Пик на частоте 1632  $\text{см}^{-1}$  свидетельствует о наличии карбонильной связи  $\text{C} = \text{O}$  при взаимодействии молекул фуллерена с кислородом воздуха. Сравнение спектров фуллеренов и бромистых фуллеренов свидетельствует о более низкой реакционной способности первых при взаимодействии с кислородом воздуха.

Структурные и микрорентгеноспектральные исследования проводили на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV с энергодисперсионным спектрометром Oxford Inca Energy.

Распределение микротвердости устанавливали на микротвердомере ПМТ-3М согласно ГОСТ 9450-76 до и после химико-термической обработки. Исследование осуществлялось при нагрузке на индентор 100 грамм, время выдержки 10 секунд.

Для снятия потенциодинамических кривых и определение скорости коррозии использовали потенциостат IPC – Pro M. В качестве рабочего электрода использовали образцы углеродистой качественной стали 20 с различными условиями модификации поверхностного слоя. Перед испытаниями часть образцов науглероживали в среде нефтяного пека в течение 6, 8 и 12 часов в муфельной печи, а остальную часть при таком же времени выдерживали в печи без карбюризатора. Нерабочие поверхности электродов изолировались эпоксидной смолой. В качестве вспомогательного использовали платиновый электрод, а электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод. Испытания проводились в 3%-м растворе NaCl.

## Экспериментальные результаты и их обсуждение

Применение энергодисперсионного спектрометра Oxford Inca Energy позволило определить химический состав образцов по линии от края в глубину образца, в частности распределение углерода. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхностного слоя образцов стали 20 после науглероживания в печи представлены на рисунке 2.

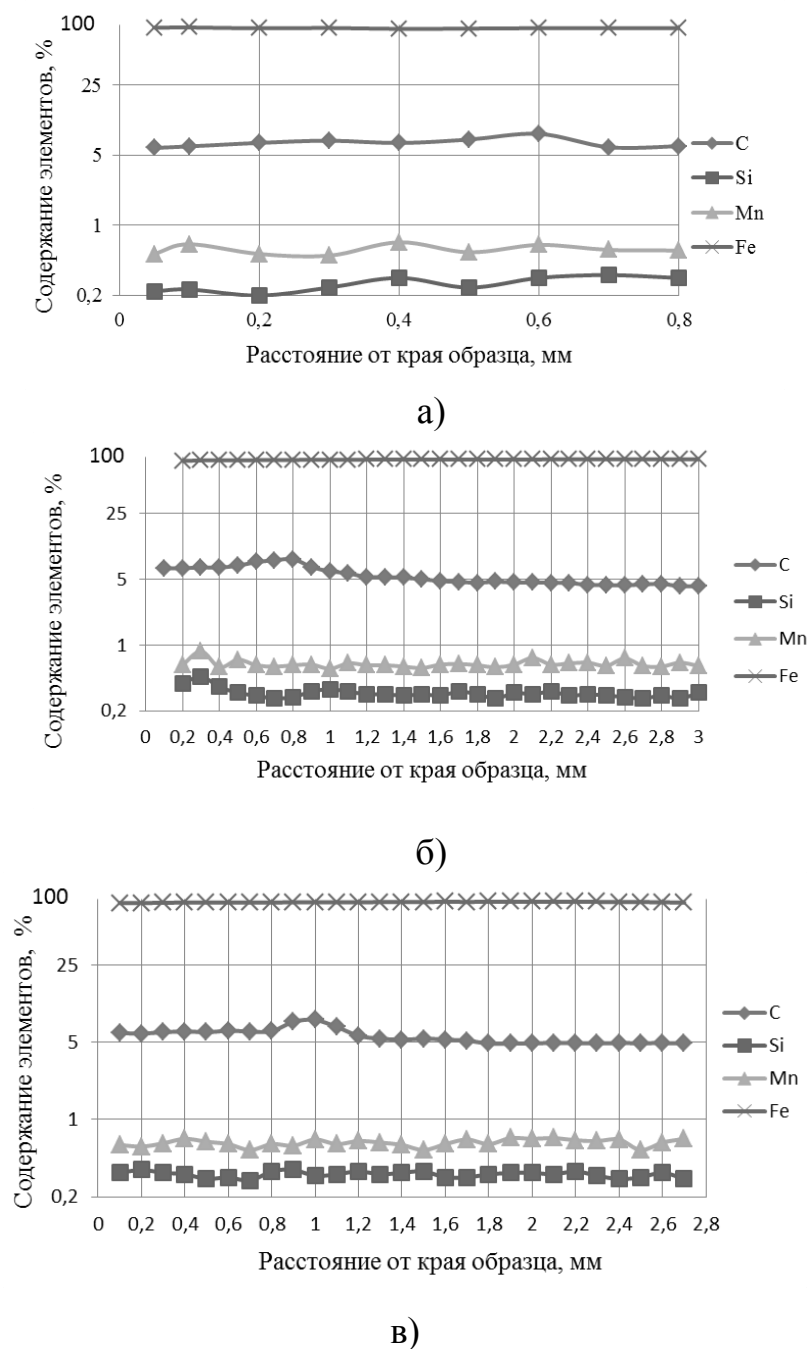


Рисунок 2. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхностного слоя образцов стали 20 после науглероживания в печи 6 часов(а), 8 часов (б) и 12 часов (в)



Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что глубина диффузионного слоя составляет 0,6 мм для образцов науглероженных в течение 6 часов, 0,8 мм для образцов науглероженных в течение 8 часов и 1 мм для образцов науглероженных в течение 12 часов, о чем свидетельствует увеличение концентрации углерода в скоплениях. Распределение других элементов (Mn, Si, Fe) существенно не влияет на диффузию углерода.

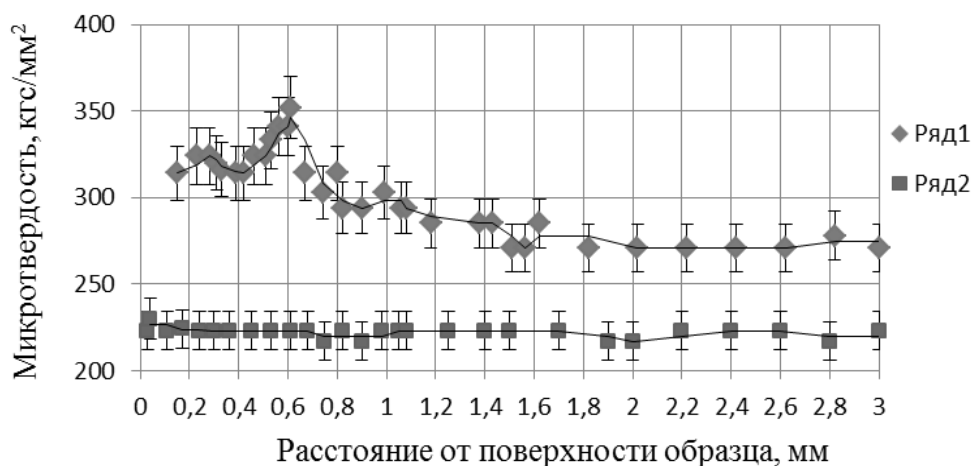
Предположительно, процесс диффузии происходит по следующей схеме: образование углеродных кластеров - образование фуллеренов - поглощение фуллеренов поверхностью - движение фуллеренов вглубь материала.

Таким образом, при реализации такой схемы диффузионного насыщения следует ожидать увеличение микротвердости на соответствующем расстоянии в поверхностном слое.

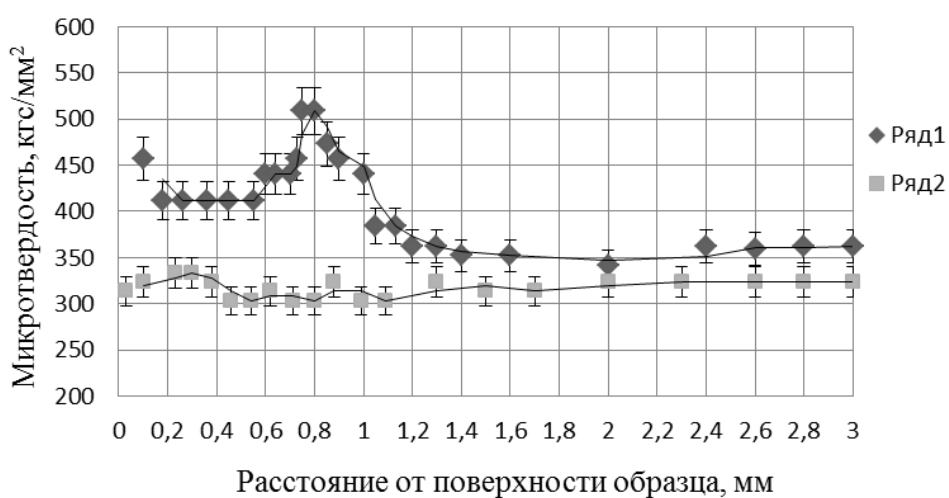
Графики распределения микротвердости по глубине образца приведены на рисунке 3.

Исследования показали, что наблюдается экстремальный характер распределения микротвердости по толщине металлофуллеренового поверхностного слоя. Максимальное значение которого при науглероживании в течение 6 часов составляет 350 кгс/мм<sup>2</sup> и наблюдается на расстоянии 0,6 мм от поверхности образца, для 8 часов составляет 500 кгс/мм<sup>2</sup> на расстоянии 0,8 мм и для 12 часов составляет 600 кгс/мм<sup>2</sup> на расстоянии 1,0 мм.

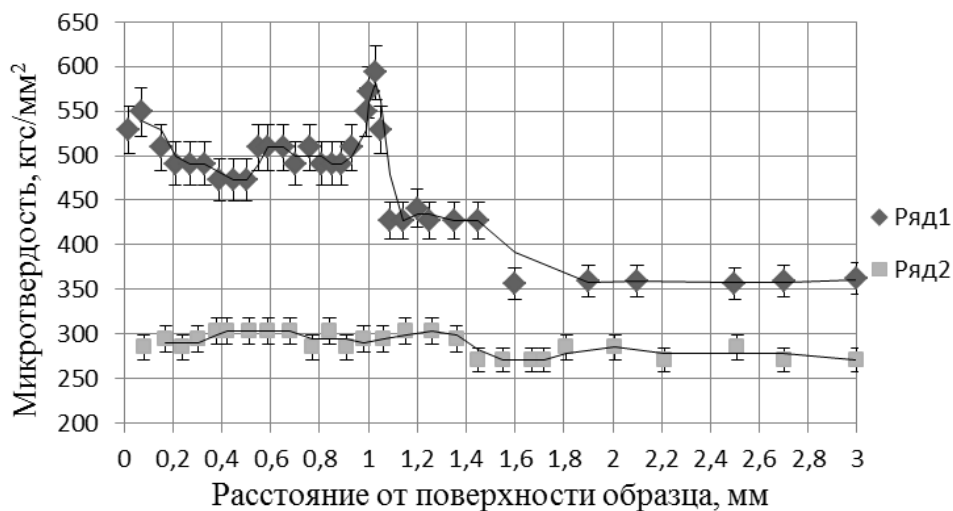
В соответствии с полученными распределениями углерода и микротвердости послойно была снята стружка послойно для приготовления проб с целью дальнейшего определения количественного содержания фуллереновых комплексов по глубине металлофуллеренового слоя.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Распределение микротвердости по толщине образцов стали 20: (ряд 1 – образцы, науглероженные в среде нефтяного пека, ряд 2 – образцы термообработанные в печи без карбюризатора) Время выдержки в печи: а) 6 часов; б) 8 часов; в) 12 часов

Используя методику идентификации и выделения фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  из железоуглеродистых сплавов [1], были получены зависимости распределения количества фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по толщине образцов стали 20.

ИК-спектральный анализ всех исследуемых проб показал наличие фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в разных количествах.

Для количественного определения содержания фуллеренов была использована методика оценки фуллеренов  $C_{60}$  в пробах из железоуглеродистых сплавов, разработанная в [3]. В ее основе лежит зависимость интенсивности частоты колебаний в спектре от их концентрации в пробе.

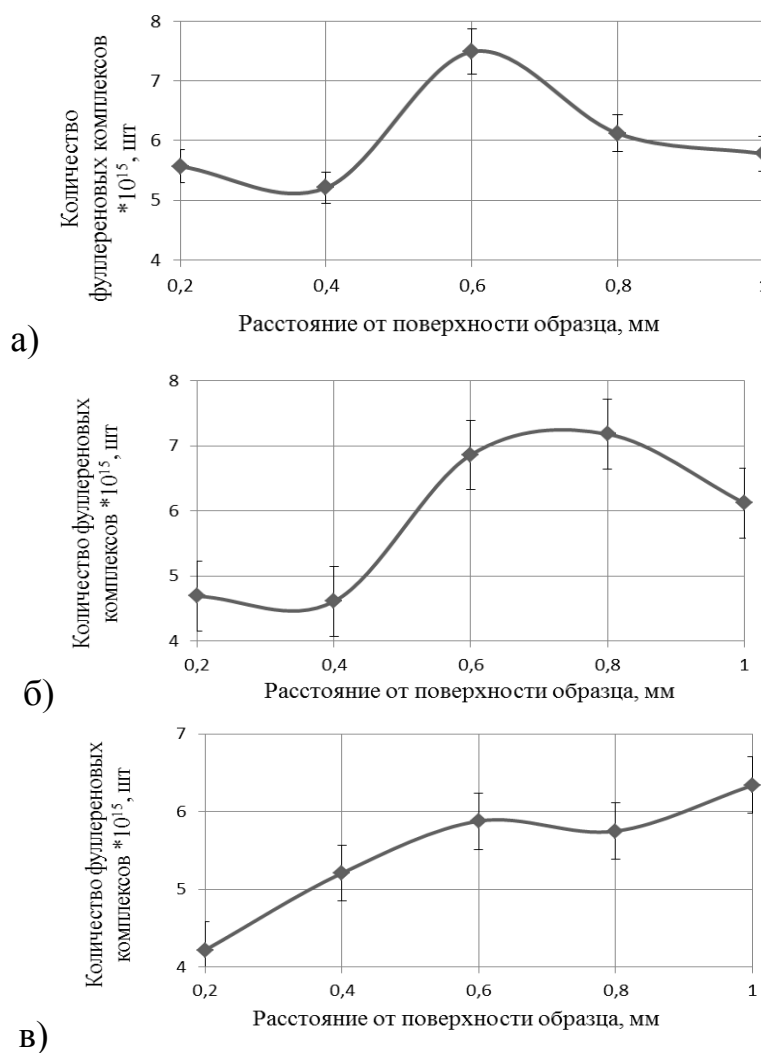


Рисунок 4. Распределение количества фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по толщине образцов  
Время выдержки в печи: а) 6 часов; б) 8 часов; в) 12 часов

Из графиков видно, что количественное содержание фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , максимальное значение которых составляет для 6 часов выдержки в печи  $7,5 \cdot 10^{15}$ , 8 часов  $7,2 \cdot 10^{15}$  и 12 часов  $6,34 \cdot 10^{15}$  штук.

С увеличением времени науглероживания максимум смещается вглубь поверхностного слоя, как показано на рисунке 5.

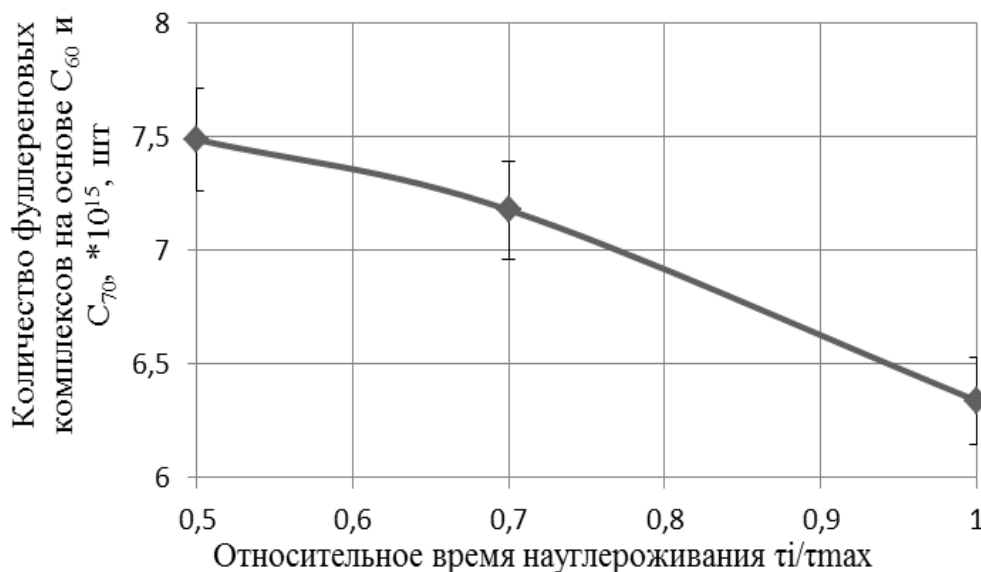


Рисунок 5. Зависимость количества фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  от времени науглероживания в среде нефтяного пека  $\tau_i$  – время науглероживания,  $\tau_{max}$  – общее время науглероживания

Экстремум, где количественное содержание фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  максимально, с увеличением времени науглероживания поверхностного слоя смещается вглубь по линейному закону. При этом количественное содержание фуллереновых комплексов в экстремуме снижается.

По методике Закирничной М.М. и Ткаченко О.И. был произведен расчет количества атомов углерода, идущих на образование фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ . Результаты расчета приведены на рисунке 6.

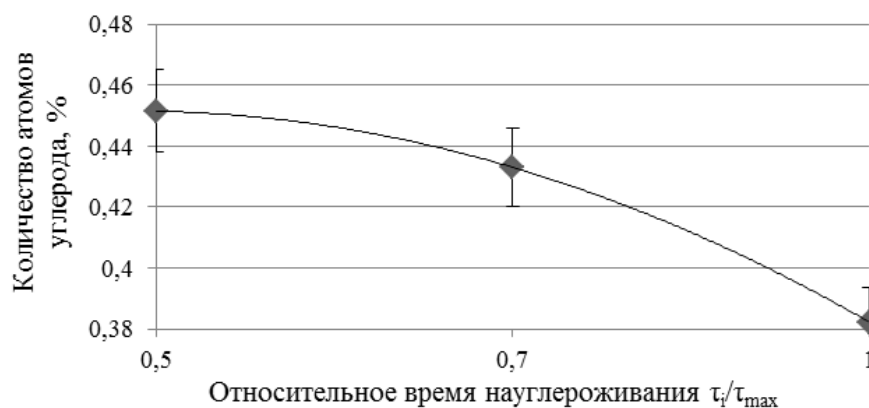


Рисунок 6. Зависимость количества атомов углерода, участвующих в образовании фуллереновых комплексов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , от времени науглероживания

Результаты расчетов показали, что от 0,38 до 0,45% углерода, внедренного из среды нефтяного пека в металл, участвует в образовании фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в зависимости от времени науглероживания.

Необходимо отметить, что при диффузионном насыщении поверхностного слоя углеродом в процессе газовой цементации, используемом в работе Закирничной М.М. и Ткаченко О.И., количество атомов углерода, которое идет на образование фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , на порядок меньше, чем при модифицировании поверхности в среде нефтяного пека.

При науглероживании углеродистой стали от 0,38 до 0,45% углерода, внедренного из среды нефтяного пека в металл, участвует в образовании фуллереновых комплексов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в зависимости от времени науглероживания. При внедрении углерода вглубь модифицированного слоя идет два параллельных процесса: образование в науглероженной зоне карбидов и металлофуллереновых комплексов. Это подтверждается результатами измерений микротвердости, ИК - Фурье спектроскопии и микрорентгеноспектроскопией.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований, установлено наличие и распределение фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по

глубине металлофуллеренового поверхностного слоя.

Анализ распределения количества фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по сечению образцов металлофуллеренового поверхностного слоя показал, что в науглероженной зоне количество фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  значительно больше, чем в основном металле. Характер распределения количества фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по сечению образцов аналогичен со значениями микротвердости по глубине образцов.

Потенциодинамический метод заключается в измерении зависимости плотности тока от электродного потенциала, который изменяется с заданной скоростью. Снятие поляризационных кривых осуществлялось с помощью потенциостата IPC – Pro M при поддержании постоянного потенциала.

По полученным данным была построена зависимость скорости коррозии от времени выдержки в печи образцов с металлофуллереновым слоем, представленная на рисунке 7.

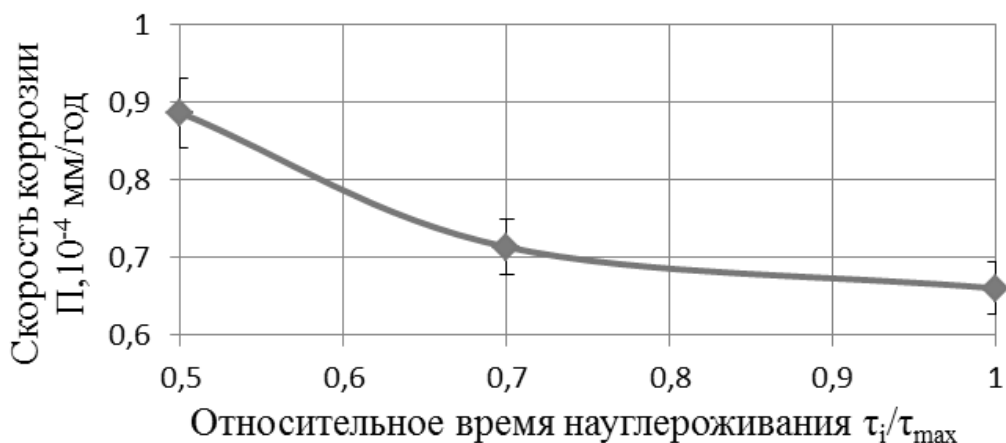


Рисунок 7. Зависимость скорости коррозии от времени выдержки в печи образцов с металлофуллереновым слоем

Полученный в среде нефтяного пека модифицированный слой, вследствие своей однородности и пассивности, играет роль барьера, препятствующего проникновению коррозионной среды к поверхности металла.

Фуллерены имеют высокое значение электроотрицательности. Связывая свободные электроны, они значительно снижают скорость окислительно-восстановительных процессов на поверхности металлов.

Таким образом, при науглероживании в среде нефтяного пека, экстремальное распределение фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  по глубине модифицированного слоя играет важную роль на скорость коррозии углеродистых сталей.

### **Выводы**

Установлено, что толщина металлофуллеренового поверхностного слоя на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  при науглероживании в среде нефтяного пека при температуре  $720\text{ }^{\circ}\text{C}$  зависит от выдержки в печи. Так при науглероживании в течение 6 часов его толщина составляет 1 мм; 8 часов – 1,2 мм; 12 часов – 1,4 мм. При этом максимальное значение фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  наблюдается на расстоянии 0,6; 0,8; 1,0 мм от поверхности металлофуллеренового слоя соответственно.

Экстремальный характер распределения микротвердости при науглероживании в среде нефтяного пека аналогичен зависимости распределения фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ .

На основе ИК-спектрального анализа установлено количество фуллереновых комплексов на основе  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в металлофуллереновом поверхностном слое стали 20 в зависимости от времени науглероживания. Максимальное значение которых составляет для 6 часов выдержки в печи  $7,5 \cdot 10^{15}$ , 8 часов  $7,2 \cdot 10^{15}$  и 12 часов  $6,34 \cdot 10^{15}$  штук.

Результаты расчетов количественного анализа показали, что от 0,38 до 0,45% углерода, внедренного из среды нефтяного пека в металл, участвует в образовании фуллереновых комплексов на основе фуллеренов  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в зависимости от времени науглероживания.

Для исследования влияния металлофуллеренового поверхностного слоя на пассивацию были проведены коррозионные исследования, которые показали значительное повышение коррозионной стойкости стали 20.

*Исследования выполнялись при поддержке лаборатории «Механика деформирования и разрушения конструкционных материалов» Межвузовского Центра коллективного пользования «Региональный научно-производственный комплекс «Недра»» Уфимского государственного нефтяного технического университета в рамках плана реализации «Программы совершенствования и развития инновационной инфраструктуры ФГБОУ ВПО УГНТУ»*

#### **Список используемых источников**

- 1 Попова С.В. Формирование металлофуллеренового слоя в ходе химико-термической обработки углеродистой стали: дис... канд. техн. наук. 2010. 95 с.
- 2 Закирничная М.М. Анализ фуллереновых структур в углеродистых сплавах на основе железа: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 1997. 138 с.
- 3 Ткаченко О.И. Образование фуллеренов в результате диффузионного насыщения сталей углеродом: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 1999. 129 с.
- 4 H. I. Li, K. Pussi, K. J. Hanna, L.-L. Wang, D. D. Johnson, H.-P. Cheng, H. Shin, S. Curtarolo, W. Moritz, J. A. Smerdon, R. McGrath, and R. D. Diehl Surface Geometry of C<sub>60</sub> on Ag(111) Selected for a Viewpoint in Physics PHYSICAL REVIEW LETTERS PRL 103, 056101 (2009) p. 056101-(1-4)
- 5 Transforming C<sub>60</sub> molecules into graphene quantum dots/Jiong Lu, Pei Shan Emmeline Yeo, Chee Kwan Gan, Ping Wu & Kian Ping Loh//Nature Nanotechnology 6, 247–252 (2011).



6 Шпилевский М.Э., Шпилевский Э.М., Стельмах В.Ф. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов// Инженерно-физический журнал. 2001. Т. 74, №6. С. 106-112.

7 Закирничная М.М. Образование фуллеренов в углеродистых сталях и чугунах при кристаллизации и термических воздействиях. Уфа: Гилем, 2002. 180 с.

8 Кузеев И.Р., Попова С.В., Савичева Ю.Н. Исследование углеродных форм в железоуглеродистых сплавах // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсах АН РБ. 2009, №14. С. 6-7.

### References

1 Popova S.V. Formirovanie metallofullerenovogo sloya v hode himiko-termicheskoy obrabotki uglerodistoy stali: Dis.... kand. tehn. nauk. M., 2010. 95 s. [in Russian].

2 Zakirnichnaya M.M. Analiz fullerenovyih struktur v uglerodistyih splavah na osnove zheleza: dis.... kand. tehn. nauk. Ufa, 1997. 138s. [in Russian].

3 Tkachenko O.I. Obrazovanie fullerenov v rezultate diffuzionnogo nasyischniya staley uglerodom: dis.... kand. tehn. nauk. Ufa, 1999. 129s. [in Russian].

4 H. I. Li, K. Pussi, K. J. Hanna, L.-L. Wang, D. D. Johnson, H.-P. Cheng, H. Shin, S. Curtarolo, W. Moritz, J. A. Smerdon, R. McGrath, and R. D. Diehl Surface Geometry of C<sub>60</sub> on Ag(111) Selected for a Viewpoint in Physics //PHYSICAL REVIEW LETTERS PRL 103. 056101. 2009 056101.1-4 p. [in English].

5 Transforming C<sub>60</sub> molecules into graphene quantum dots/Jiong Lu, Pei Shan Emmeline Yeo, Chee Kwan Gan, Ping Wu & Kian Ping Loh//Nature Nanotechnology. 2011. №6. S. 247–252.

6 Shpilevskiy M.E., Shpilevskiy E.M, Stelmah V.F. Fullerenyi i fullerenopodobnyie strukturyi – osnova perspektivnyih materialov// Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. 2001.T. 74, № 6. S. 106-112. [in Russian].

7 Zakirnichnaya M.M. Obrazovanie fullerenov v uglerodistyih stalyah i chugunah pri kristallizatsii i termicheskikh vozdeystviyah. Ufa: Gilem, 2002. 180 s. [in Russian].

8 Kuzeev I.R., Popova S.V., Savicheva Yu.N. Issledovanie uglerodnyih form v zhelezouglerodistyih splavah// Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnyih resursah AN RB. 2009. №14. S. 6-7. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Кузеев И.Р., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I.R. Kuzeev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Chair “Technological Machines and Equipment” FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

Габдуллина М.Р., аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M.R. Gabdullina, Postgraduate Student of the Chair “Technological Machines and Equipment”, FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: milya0102@yandex.ru

Никифорова Д.К., аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

D.K. Nikiforova, Postgraduate Student of the Chair “Technological Machines and Equipment” FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

Габдуллин М.Ф., магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

M.F. Gabdullin, Undergraduate Student of the Chair “Technological Machines and Equipment” FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation.