

УДК 66.018.83

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0041

**МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ  
РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

© 2021

**Алексеев Дмитрий Владимирович**, руководитель проекта

*АО НДЦ НПФ «Русская лаборатория»*

*(197229, Россия, г. Санкт-Петербург, тер. Ольгино, ул. Вокзальная, д. 2, корп. 3, стр. 1,*

*e-mail: Dmitrij.Alekseev@ruslab.org)*

**Аннотация.** Аварийные ситуации на предприятиях добычи и переработки нефти и газа наносят огромные финансовые и репутационные потери. Большинство аварий связано с разгерметизацией оборудования из-за высокого коррозионного износа его конструктивных материалов. Поэтому одной из главных задач в научном мире является улучшение механических и прочностных свойств сталей и других применяемых в промышленности материалов. В связи с этим особый интерес вызывает изучение влияния переменного частотно-модулированного потенциала на процесс кристаллизации, т.к. предварительные изучения влияния переменного частотно-модулированного потенциала на различные структуры, показывают положительные результаты. Впервые проведено экспериментальное сравнение методик обработки и способов влияния переменного частотно-модулированного потенциала на физико-механические свойства материалов. В лабораторных условиях выявлены явные конкурентные преимущества использования переменного частотно-модулированного потенциала в процессе кристаллизации относительно классических методов. Дальнейшее изучение процесса и внедрение процесса позволит значительно упростить и улучшить основные показатели данной методики.

**Ключевые слова:** авария, твердость, электрофизическая обработка, сплав, сталь, металлографическая структура, физико-механические свойства материалов, переменный частотно-модулированный потенциал, генератор, клетка Фарадея.

**TECHNIQUE FOR ELECTROPHYSICAL CONTROL OF PHYSICAL AND MECHANICAL  
CHARACTERISTICS OF CONSTRUCTION MATERIALS TO REDUCE  
THE RISK OF EMERGENCY SITUATIONS**

© 2021

**Alekseev Dmitriy Vladimirovich**, project manager

*RUSSIAN LABORATORY Ltd.*

*(197229, Russia, St. Petersburg, ter. Olgino, st. Vokzalnaya, 2, bldg. 3, bldg. 1, e-mail: Dmitrij.Alekseev@ruslab.org)*

**Abstract.** Emergency situations at oil and gas production and processing enterprises inflict huge financial and reputational losses. Most accidents are associated with equipment depressurization due to high corrosive wear of its structural materials. Therefore, one of the main tasks in the scientific world is to improve the mechanical and strength properties of steels and other materials used in industry. In this regard, of particular interest is the study of the influence of the variable frequency-modulated potential on the crystallization process, because preliminary studies of the influence of the variable frequency-modulated potential on various structures show positive results. For the first time, an experimental comparison of the processing methods and methods of the influence of the variable frequency-modulated potential on the physical and mechanical properties of materials is carried out. In laboratory conditions, clear competitive advantages of using a variable frequency-modulated potential in the crystallization process relative to classical methods have been revealed. Further study of the process and implementation of the process will significantly simplify and improve the main indicators of this technique.

**Keywords:** accident, hardness, electrophysical processing, alloy, steel, metallographic structure, physical and mechanical properties of materials, variable frequency modulated potential, generator, Faraday cage.

**Введение.** Значительно вырос процент техногенных аварий на различных предприятиях нашей страны. Чаще всего это связано с высокой скоростью износа конструктивных материалов, а возможность улучшения характеристик данных материалов на 10-15% без основательных изменений процесса производства выглядит очень перспективно.

Все имеющиеся на данный момент способы подразумевают значительное изменение производственных процессов, что ведёт за собой полный или частичный останов линии производства и значительные вложения в модернизацию процесса. Зачастую все эти

изменения ведут к улучшению качества выдаваемой продукции на те же 10-15%.

В этой связи изучение влияния переменного частотно-модулированного потенциала (далее – ПЧМЧ) на процесс кристаллизации представляется актуальным, т.к. предварительные изучения влияния ПЧМЧ на различные структуры, показывают положительные результаты [1-6].

**Целью** работы является экспериментальное исследование влияния ПЧМЧ на физико-механические свойства материалов, применяемых в нефтегазовой отрасли.

**Материалы и результаты исследования.** В качестве объекта исследования в данной работе использовали:

1) Сплав третник, который состоит из 37% свинца и 63% олова с температурой плавления 182°C (ГОСТ 21931-76);

2) Сталь марки У8 толщиной 5 мм;

3) Парафин очищенный (ГОСТ 16-960-71).

Для нагрева использовали муфельную печь МИМП-21УЭ. Расплавление производили в керамических тиглях с пределом нагревания 1200°C. Охлаждение проводили в воде с температурой 10-15°C. Кристаллизацию вели в керамической емкости цилиндрической.

Для электрофизической обработки применяли промышленный генератор, изготовленный согласно техническим условиям ТУ 4218-001-56316494-2004 [7-13]. Генератор ПЧМП представляет собой нелинейно-искаженный сигнал с двумя интервалами однородности. Схема установки приведена на рисунке 1.

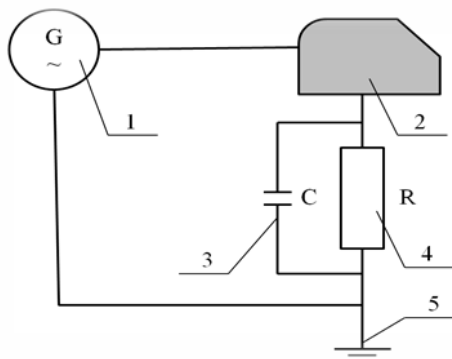


Рисунок 1 – Эквивалентная схема обработки свинца  
1 – генератор ПЧМП; 2 – образец; 3 – емкостное сопротивление ДПС (диэлектрический пограничный слой); 4 – активное сопротивление ДПС; 5 – заземление

Для проведения опыта была взята навеска 350 г третника. Литейная форма использовалась из термостойкой керамики.

Перед началом эксперимента с поверхностей заготовок удалялась грязь и окислы, затем с помощью механической обработки достигалось мелкодисперсное состояние, для ускорения процесса плавления.

Образец материала в керамическом тигле помещали в муфельную печь, предварительно разогретую до температуры 500°C. После начала плавления образец выдерживали в печи в течение 10 мин до полного расплавления. Расплавленный образец вынимали из му-

фельной печи и разливали в заранее подготовленные формы, по дну которых были уложены контакты, подключенные к генератору переменного частотно-модулированного потенциала, тем самым воздействуя на расплав в течение времени, определяемого условиями эксперимента.

После полного остывания из формы вынимались готовые цилиндры 2x8 см. Форма, подключенная к генератору ПЧМП, как и сам генератор, были установлены в отдалении 1 м от остальных образцов, во избежание возможного ненаправленного воздействия ПЧМП на другие образцы.

Для сравнительных характеристик изготовленных цилиндров, из материала для плавки без воздействия на него ПЧМП, были отлиты типовые образцы. Третья серия расплавов образца была подключена к заземлению, для сравнения воздействия.

Воздействие ПЧМП проводили в «клетке Фарадея» для минимизации влияния внешних электрических полей.

Для проведения сравнения характеристик полученных образцов использовали снимки металлографической структуры твердого тела. Для изучения мест скопления структур, состоящих из множества микроскопических тел (кристаллов) применялся металлографический микроскоп [14-18]. Срезы цилиндрических форм представлены на рисунке 2.

Микроструктура среза стали марки У8 при различных воздействиях представлена на рисунке 3.

Микроструктура среза парафина при различных воздействиях представлена на рисунке 4.

Испытание на микротвердость вдавливанием по методу восстановленного отпечатка заключается в нанесении на испытываемую поверхность образца отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. После удаления нагрузки и измерения параметров полученного отпечатка, число микротвердости определяли по формуле (1), соответствующей форме наконечника – четырехгранной призмы с квадратным наконечником [19, 20].

$$HV = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

где  $F$  – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, кгс;

$d$  – среднее арифметическое длин обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм.

Полученные экспериментальные данные и определенная микротвердость приведены в таблице 1.

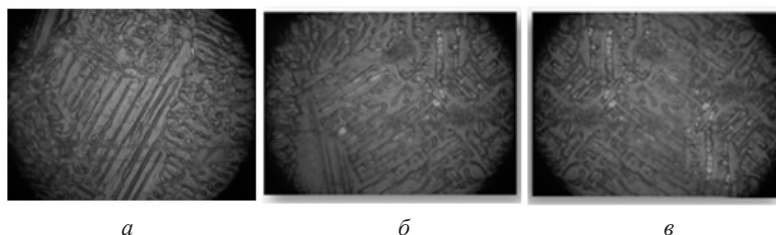


Рисунок 2 – Микроструктура образца третника после кристаллизации при различных воздействиях  
а – срез обработанного образца путем воздействия на материал для плавки ПЧМП; б – срез необработанного образца; в – срез третник подключенного к заземлению

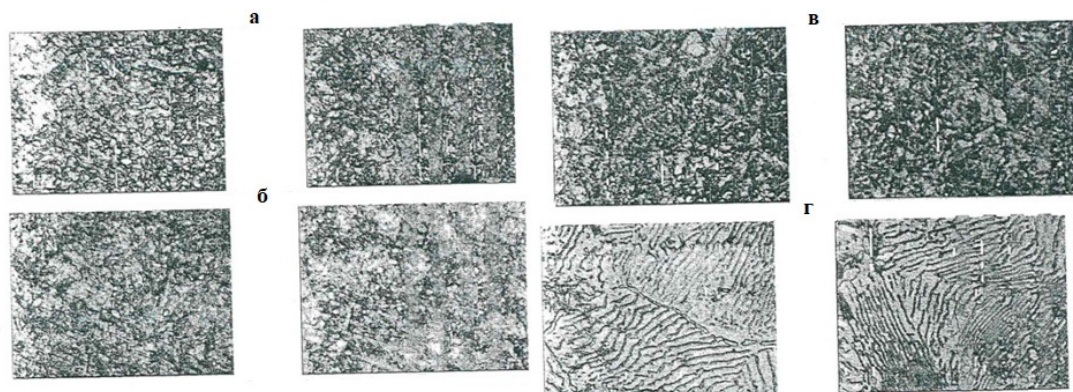


Рисунок 3 – Микроструктура среза стали марки У8 при различных воздействиях  
а – обычная закалка; б – образцы, обработанные ПЧМП; в – образцы, охлаждаемые водой и обработанные ПЧМП;  
г – незакаленные образцы

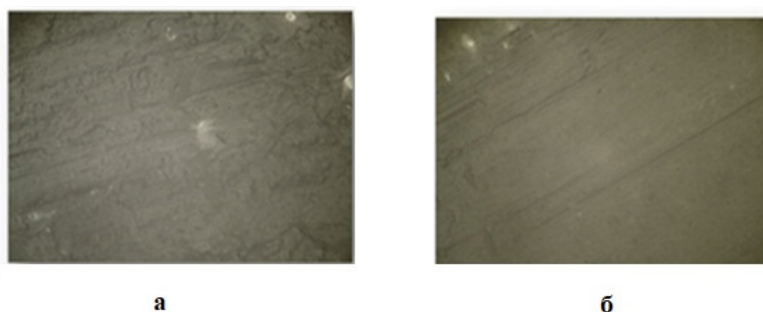


Рисунок 4 – Микроструктура среза парафина при различных воздействиях  
а – образец, обработанный ПЧМП; б – необработанный образец

Таблица 1 – Экспериментальные результаты определения микротвердости путем вдавливания алмазного наконечника

Образец	Нормальная нагрузка, кгс	Среднее арифметическое длины обеих диагоналей, мм	Число микротвердости, МПа
Третник не обработанный	1	1,28	1139,8±0,5
Третник обработанный ЧМПЭП	1	1,12	1472,3±0,5
Третник заземлённый	1	1,20	1280,1±0,5
Сталь марки У8 не обработанная	1	0,86	2497,2±0,5
Сталь марки У8 обрабатывалась ЧМПЭП	1	0,83	2798,5±0,5
Сталь марки У8 заземлённые образцы	1	0,84	2599,1±0,05

Также исследовали скорость охлаждения парафина при различных условиях кристаллизации. Кривые охлаждения представлены на рисунке 5.

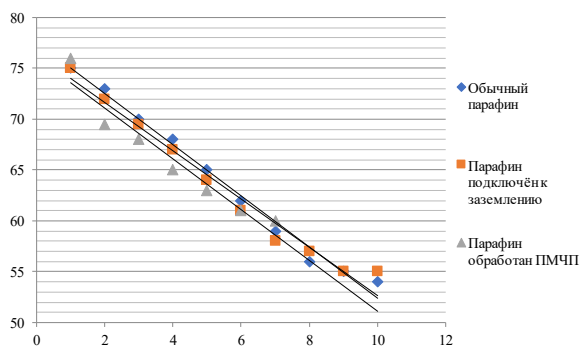


Рисунок 5 – Кривые охлаждения парафина

В ходе проведенного исследования установлено, что ПЧМП воздействует на структуру получаемых

при кристаллизации материалов и увеличивает физико-механические свойства, а именно твердость. Твердость сплава третника увеличилась 29% относительно контрольного образца, твердость стали марки У8 увеличилась на 12%.

**Закключение.** По результатам проведенных экспериментов предложено две гипотезы влияния ПЧМП:

– нейтрализация электростатических зарядов обеспечивает объемный характер образования твердой фазы, за счет чего структура металла становится мелкодисперсной, за счет чего увеличивается твердость. Это согласуется с данными по увеличению твердости сплава третника и стали марки У8, обработанных ПЧМП.

– увеличение жесткости связано со снятием электростатического электричества и образования, за счет этого, более плотной структуры, что доказано на примере парафина, скорость охлаждения которого выросла относительно контрольных образцов.

Таким образом, полученные результаты в ходе данного исследования могут быть использованы для достижения более высоких механических свойств сварных швов, в том числе при сварке трубопроводов нефти и газа, тем самым снижая риски возникновения аварийных ситуаций.

*Статья поступила в редакцию 25.10.2021*  
*Статья принята к публикации 07.12.2021*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карапетян И.Г. Основное оборудование электрических сетей. М.: ЭНАС, – 2014. – 109 с.
2. Думанский И.О. Измерение твердости металлов и сплавов. Тр. Института энергетики и транспорта. Архангельск, – 2013. – 10 с.
3. Глазов В.М. Микротвердость металлов. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 35 с.
4. Новоселова Е.А., Ивахнюк Г.К. Выбор коррозионно-стойких сталей и сплавов на основе железа для предотвращения чрезвычайных ситуаций, вызванных коррозией нефтепроводов // Техносферная безопасность. 2021. – № (31). – С. 11-21.
5. Токунов В.И., Саумин А.З. Гидрофобные эмульсии для закачивания скважин в условиях трещиноватого коллектора и сероводородного воздействия // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 7. – С. 19-21.
6. Гумерский Х.Х., Мамедов Ю.Б. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 7. – С. 22-26.
7. Давидзон М.И. О действии магнитного поля на слабопроводящие водные системы // Изв. вузов. Физика. 1985. – №4. – С. 89-94.
8. Соколовских Ю.М. Магнитная обработка веществ в химической промышленности // Химическая промышленность. – 2010. – №7. – С. 64-67.
9. Инструкция по применению и механизированной технологии нанесения силикатополимеррастворных противокоррозионных покрытий. ВНИИК. Черкассы: НИИТЭХИМ. – 2003. – 44 с.
10. Головин В. А. Опыт эксплуатации и выбор полимерных покрытий для защиты от коррозии технологического оборудования в агрессивных средах // Сборник докладов Международной научн. - техн. конф 29-31 мая 2013 г: Новые материалы и технологии защиты от коррозии - 2013. СПб.: ЛенЭкспо. – 2013. – С. 24-27.
11. Шаталов А. А. Обеспечение требований промышленной безопасности при ремонтах и модернизации оборудования // Химическая техника. – 2015. – № 1. – С. 8-12.
12. Корольков А.П., Спиридонов Г.С., Анашечкин А.Д., Симонова М.А. Электрофизическое управление скоростью испарения жидких углеводородов. // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России. – 2005. – № 3(10).
13. Залетнев А.Ф., Комаров А.В., Ивахнюк Г.К., Симонова М.А. Снижение пожарной опасности при транспортировании углеводородных жидкостей. // Масложировая промышленность. – 2007. – №4.
14. Нагирняк А. Т. Коррозионная стойкость сталей и сплавов в среде синтеза N-нитрозодифениламина // Химическая промышленность. – 2005. – № 3. – С. 16-17.
15. Аверичева Г. А. Метод снижения коррозионной активности рассольных растворов для обеспечения эксплуатационной надежности охлаждающих систем // Вестник Кузбасского гос. техн. университета: научно-технич. журнал. Кемерово.: КузГТУ. – 2009. – № 6. – С. 68-73.
16. Баринов С. А. Некоторые экономические аспекты противокоррозионной защиты // Обз. инф. Сер.: общепромышленные вопросы. М.: НИИТЭХИМ. – 1999. – № 4(210). – 30 с.
17. Гумерский Х. Х. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 7. – С. 22-26.
18. Тарасьев Ю. И. Современный подход к оценке безопасности и надежности трубопроводной арматуры на всех стадиях ее жизненного цикла // Химическая техника. – 2002. – № 3. – С. 34-37.
19. Киченко А. Б. О некоторых особенностях контроля коррозии с помощью образцов – свидетелей и зондов электросопротивления // Практика противокоррозионной защиты. – 2002. – № 2. – С. 22-30.
20. Киченко А. Б. Коррозионный мониторинг как важный фактор разработки и осуществления эффективной программы борьбы с коррозией на нефтегазовых промыслах // Практика противокоррозионной защиты. – 2014. – № 2. – С. 37-47.