

УДК 681.5

Д.В. Баканин <sup>1</sup>, Н.Г. Филиппенко <sup>1</sup>, В.С. Бычковский <sup>1</sup>, А.Г. Ларченко <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА.

*Аннотация.* В данной работе представлен обзор темы, касающийся импульсной высокочастотной обработки полимерных материалов. В ходе проведенного обзора были определены достоинства существующего способа импульсной сварки полимерных материалов, определена цель и поставлены задачи дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* полимеры, импульсная ВЧ-обработка.

D.V. Bakanin <sup>1</sup>, N.G. Filippenko <sup>1</sup>, V.S. Bychkovsky <sup>1</sup>, A. G. Larchenko <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## TECHNOLOGY OF PULSE HIGH-FREQUENCY PROCESSING OF POLY-DIMENSIONAL MATERIALS, AUTOMATION OF THE PROCESS.

*Abstract.* This paper presents an overview of the topic concerning high-frequency pulse processing of polymer materials. In the course of the review, the advantages of the existing method of pulse welding of polymer materials were determined, the purpose and objectives of further research were determined.

*Keywords:* polymers, pulse HF-processing.

### Введение

Объем мирового производства и потребления всех видов полимерных материалов постоянно возрастает. Среди множества существующих материалов важное место занимают полимерные и конструкционные материалы. Благодаря широкому комплексу присущих им свойств и универсальности применения в составе различного рода литевых и пресс материалов, стеклопластиков, компаундов, а также в качестве конструкционных материалов для приборов, деталей машин, и механизмов.

В условиях экономических отношений особенную актуальность приобретает возможность скорейшего реагирования на запросы рынка, что может быть достигнуто путем улучшения свойств полимерных материалов, использованием новых технологических приемов для придания им улучшающих качество характеристик, а также созданием новейших технологий, отвечающих технологическим, экономическим и экологическим требованиям современности [1].

На сегодняшний день актуально применение высокочастотной электротермии, как прогрессивного и эффективного способа термической обработки полимерных и композитных материалов, энерго- и ресурсосберегающие технологии которой обеспечивают повышение качества обработки и эксплуатационных свойств деталей [2,3,7,10,11,16].

Одним из основных достоинств рассматриваемого способа является большая скорость протекающих процессов, обеспечивающая равномерный прогрев изделия по всему объему до эффективных температур обработки, причем даже прогрев материалов, обладающих плохой теплопроводностью.

ВЧ-электротермия применима для различных видов обработки: сварка, термическая обработка с целью восстановления прочностных свойств, сушка, горячее тиснение, склеивание, прессование, напыление, диагностика, каландрирование, прокатка, экструзия [3].

## **ВЧ-сварка полимеров**

Сварка – это процесс неразъемного соединения компонентов с применением нагрева и давления с присадочными материалами или без. Энергия, необходимая для сварки, подается извне.

Нагрев, необходимый для высокочастотной сварки, происходит в результате движения молекул внутри материала в высокочастотном поле (в диапазоне от 13,56 МГц до 22,125 ГГц, как правило,  $27,12 \text{ МГц} \pm 0,6\%$ ), которые способствуют созданию теплоты трения. Подвергнутые сварке материалы плавятся и затем прижимаются друг к другу, формируя сварное соединение. Давление необходимо поддерживать до тех пор, пока сварное соединение не затвердеет [3].

ВЧ сварка подходит для соединения всех полярных материалов, так как молекулы таких материалов реагируют на высокочастотное поле. Среди таких материалов можно назвать твердый и мягкий ПВХ, полиамид, полиэстер и полиуретан. В сравнении с ПВХ ТПУ требует на 20 % больше мощности генератора [4].

Детали малой толщины требуют больше мощности для ВЧ-обработки, так как обладают меньшим количеством доступных диполей.

В ряде случаев обработки полимерных материалов, целесообразно использовать импульсные электромагнитные запайщики для сварки и запайки: термосвариваемых материалов, полимерной пленки и пакетов, бумажных кашированных пленкой многослойных материалов.

Наличие у ВЧ-сварочного оборудования импульсного режима работы облегчает ведение сварки пленки малой толщины. Управление тепловой мощностью позволяет в широких пределах регулировать глубину проплавления и скорость полимеризации материала шва при сварке в любом пространственном положении. Благодаря этому достигается высокая производительность импульсного сварочного устройства.

При этом упрощается технология сварки и повышается эффективность процесса сварки. Швы получаются с плавными очертаниями, соответствующей выбранному режиму работы импульсного оборудования.

Блоки управления аппаратов импульсной или пульсирующей сварки позволяют регулировать максимальное и минимальное значения импульсов тока, а также их продолжительность. Это обеспечивает снижение вероятности прожогов свариваемого материала и улучшает формирование сварного соединения.

Блок управления аппарата импульсной сварки позволяет получать высокое качество и прочность сварного шва, за счет того, что становится возможным выбрать режим, когда в момент подачи дополнительных импульсов происходит плавление материала сварного шва, а в момент отсутствия импульсов - полимеризация шва и сварного соединения [5].

Несомненным достоинством импульсного аппарата для сварки и запайки является высокая универсальность регулировок по отношению к типу и толщине свариваемого материала.

Технологические возможности электромагнитной импульсной обработки в области улучшения качества материала до конца не изучены, но имеют очень высокие перспективы.

## **Исследования методов управления импульсным ВЧ-излучением**

Исследования воздействия импульсного ВЧ излучения на электрофизические свойства полимеров и композиционных материалов на сегодняшний день не проводились. Поэтому данные исследования имеют право на существование.

Анализ существующих методов управления процессами высокочастотной обработки материалов определил, что в качестве основного контролируемого параметра процесса ВЧ-обработки является анодный ток.

В одной из работ [6] автором предлагается управлять процессом импульсной ВЧ-обработки изделий, контролируя экстремальные характеристики зависимости анодного

тока ВЧ-генератора (рис. 1), которые определяют неявные релаксационные состояния полимерного образца.

Также в данной работе построена математическая модель, которая доказывает равномерность распределения теплового поля по сечению полимера при импульсном воздействии, что говорит о равномерном прогреве изделия по всему объему.

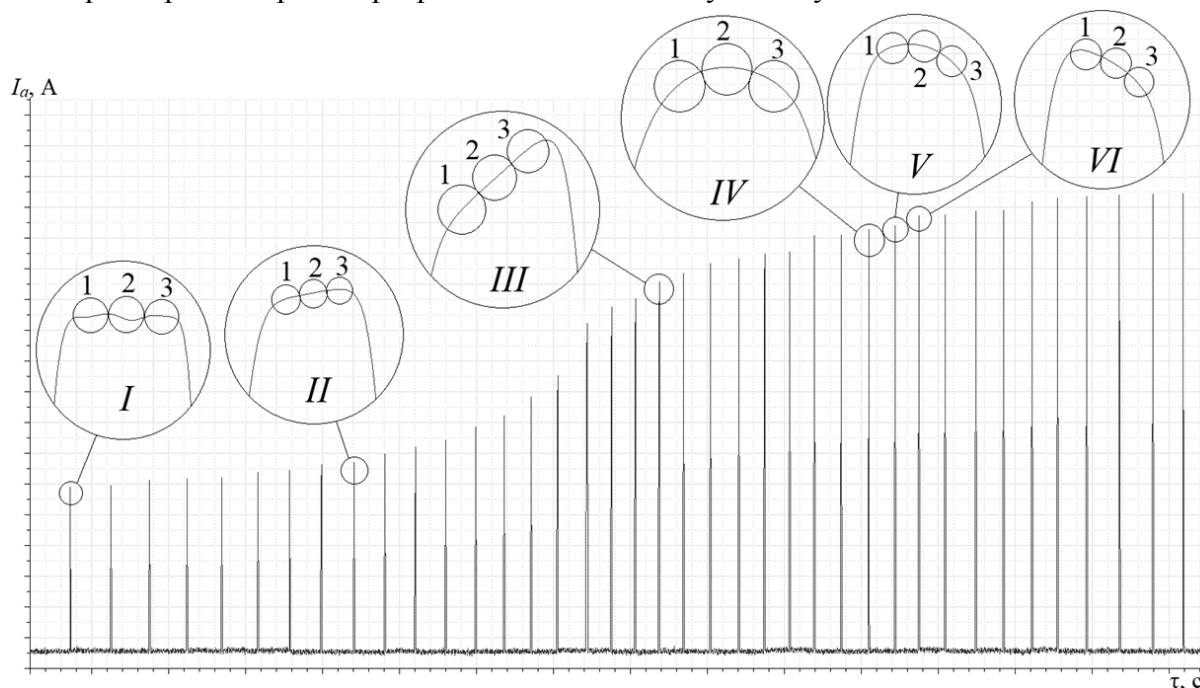


Рис. 1. Экстремальные характеристики анодного тока при импульсном воздействии

На основе изученных работ следует отметить что, при ВЧ-излучении, электромагнитное поле искажает показания измерительных датчиков. Так, например, в одной из работ [7], при исследовании сушки топливных брикетов термопара играла роль антенны во внешнем электрическом поле, поэтому для снятия показаний температуры без каких-либо помех, было предусмотрено цикличное отключение ВЧ-генератора, при чем после отключения ВЧ-генератора, помехи на термопару наводились ещё в течение 700 микросекунд.

Поэтому одним из главных преимуществ импульсной ВЧ-обработки, является возможность контроля не только главного контролируемого параметра анодного тока  $I_a$ , но и дополнительных параметров обрабатываемого образца, которые невозможно регистрировать во внешнем электрическом поле, а только в момент выключенного состояния ВЧ-генератора [8-16].

### Заключение

Внедрение электромагнитной импульсной обработки в производство показывает высокую её эффективность и широкие возможности, открывает новые пути решения ряда технологических задач. Не решенной проблемой остаются не до конца изученные технологические возможности электромагнитной импульсной обработки.

Целью моей научной работы стала: разработка автоматизированной системы управления процессами импульсной высокочастотной обработки полимерных и композитных материалов. Для достижения указанной цели поставлены задачи:

- исследовать процесс влияния импульсного электромагнитного поля на электрофизические свойства полимерных и композиционных материалов;
- рассмотреть существующие способы и алгоритмы управления процессами высокочастотной обработки материалов;
- разработать математическую модель нагрева технологической системы, позволяющая анализировать объемный разогрев в процессе импульсной ВЧ-электротермии при обработке изделий;

- обеспечить автоматизированный процесс управления импульсной высокочастотной обработкой полимерных и композитных материалов.

Предметом исследования стала: зависимость изменения релаксационных состояний полимеров и композитов от экстремальных характеристик импульса анодного тока ВЧ-генератора при импульсном воздействии различной скважности.

Результаты работ будут опубликованы после проведения дальнейших исследований.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивень А. Н., Гречаная И. И. Теплофизические свойства полимерных материалов. Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1976. 180 с.

2. Слепнева, Л. М. Физикохимия полимеров: Электронный учебно-методический комплекс. Минск: 2014. 129 с.

3. Лившиц А. В., Филиппенко Н. Г., Попов С. И., Ларченко А. Г. Исследование влияния диэлектрических элементов рабочего конденсатора высокочастотной электротермической установки на процесс обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3 (39). С. 270-275.

4. Филиппенко Н.Г. Математическая модель процесса высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1 (33). С. 76-79.

5. Крыжановский В. К, Бурлов В. В., Паниматченко А. Д. Технические свойства полимерных материалов. СПб: Профессия, 2003. 240 с.

6. Буторин Д. В., Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В. Автоматизация процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах // Информационные системы и технологии. 2017. №1 (99). С. 44-53.

7. Буторин Д. В., Филиппенко Н. Г., Лившиц А. В. Автоматизация контроля структурных превращений в полимерных материалах при электротермической обработке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 1 (49). С. 117-125.

8. Буторин Д. В., Филиппенко Н. Г., Филатова С. Н., Лившиц А. В., Каргапольцев С. К. Разработка методики определения структурных превращений в полимерных материалах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 4 (48). С. 80-86.

9. Ларченко А.Г., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И. Определение физико-механических параметров полимерных материалов при высокочастотном диэлектрическом нагреве в электротермических установках // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2 (38). С. 50 - 55.

10. Ларченко, А.Г. Автоматизированное выявление дефектов в изделиях из полиамидных материалов методом высокочастотного излучения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 1 (41). С. 160 - 165.

11. Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И., Ларченко А.Г. Исследование влияния диэлектрических элементов рабочего конденсатора высокочастотной электротермической установки на процесс обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3 (39). С. 270-275.

12. Пат. 132549 РФ G01K 7/02 Попов С.И., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г. Устройство измерения температуры поверхности объекта. Заявлен 19.10.2012 №144720.

13. Shastin V.I., Kargapol'tcev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering material using innovative methods. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 24. С. 15269-15272.

14. Буторин Д.В., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. Комплексированный метод автоматизированного высокочастотного контроля фазовых превращений в полимерных материалах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 10. С. 10-18.

15. Пат. RUS 132209 G01N 29/04 Ларченко А.Г., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов. Дата регистрации: 05.04.2013 2013115531/28.

16. Лившиц А.В. Автоматизированная система научных исследований высокочастотной электротермии // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 4. С. 54-60.

## REFERENCES

1. Piven' A.N., Grechanaja N.A., Chernobyl'skij I.I. Teplofizicheskie svojstva polimernyh materialov: spravochnik [Thermophysical properties of polymeric materials: directory]. *Izdatel'skoe ob#edinenie «Vishha shkola» [Publishing association «Vishcha school»]*. Kiev, 1976, 180 p.

2. Slepneva L.M. Fizikohimija polimerov [Physicochemistry of polymers]. *JElektronnyj uchebno-metodicheskij kompleks [Electronic educational-methodical complex]*. Minsk, 2014, 129 p.

3. Livshits A.V., Filippenko N.G., Popov S.I., Larchenko. A.G. Issledovanie vliyaniya dielektricheskikh elementov rabocheho kondensatora vysokochastotnoy elektrotermicheskoy ustanovki na protsess obrabotki polimernykh materialov [Investigation of the influence of dielectric elements of the working capacitor of a high-frequency electrothermal installation on the processing of polymer materials]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2013, No. 3 (39), pp. 270-275.

4. Filippenko N.G. Matematicheskaya model' protsessa vysokochastotnoy obrabotki polimernykh materialov [Mathematical model of high-frequency processing of polymer materials]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2012, No. 1 (33), pp. 76-79.

5. Kryzhanovskij V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. Tehnicheskie svojstva polimernyh materialov: Uchebno-spravochnoe posobie [Technical properties of polymeric materials: Teaching aid]. Sankt-Peterburg: Professija [Profession], 2003, 240 p.

6. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshic A.V. Avtomatizacija processa kontrolja fazovyh i relaksacionnyh prevrashhenij v polimernyh materialah [Automation of the process of control of phase and relaxation transformations in polymeric materials]. *Informacionnye sistemy i tehnologii [Information systems and technologies]*. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva [OSU named after I.S. Turgenev], 2017, No. 1 (99), pp. 44-53.

7. Butorin D.V., Filippenko N.G., Filatova S.N., Livshic A.V., Kargapol'cev S.K. Avtomatizacija kontrolja strukturnykh prevrashhenij v polimernyh materialah pri jelektrotermicheskoy obrabotke [Automation of control of structural transformations in polymeric materials during electrothermal treatment]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, Irkutsk: IrGUPS, 2016, No. 1 (49), pp. 117-125.

8. Butorin D.V., Filippenko N.G., Filatova S.N., Livshic A.V., Kargapol'cev S.K. Razrabotka metodiki opredelenija strukturnykh prevrashhenij v polimernyh materialah [Development of a technique for determining structural transformations in polymeric materials]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, Irkutsk: IrGUPS, 2015, No. 4 (48), pp. 80-86.

9. Larchenko. A.G., Livshits A.V., Filippenko N.G., Popov S.I. Opredelenie fiziko-mekhanicheskikh parametrov polimernykh materialov pri vysokochastotnom dielektricheskom nagreve v elektrotermicheskikh ustanovkakh [Determination of physical and mechanical parameters of polymeric materials under high-frequency dielectric heating in electrothermal installations]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2013, No. 2 (38), pp. 50-55.

10. Larchenko. A.G. Avtomatizirovanoe vyyavlenie defektov v izdeliyakh iz poliamidnykh materialov metodom vysokochastotnogo izlucheniya [Automated detection of defects in products made of polyamide materials by high-frequency radiation]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, 2013, No. 2 (38), pp. 50-55.

11. Livshits A.V., Filippenko N.G., Popov S.I., Larchenko A.G. Issledovaniye vliyaniya dielektricheskikh elementov rabocheho kondensatora vysokochastotnoy elektrotermicheskoy usta-novki na protsess obrabotki polimernykh materialov. [Investigation of the influence of the dielectric elements of a working capacitor of a high-frequency electrothermal installation on the processing of polymer materials]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie.* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2013, No. 3 (39), pp. 270-275.
12. Popov S.I., Livshits A.V., Filippenko N.G. Ustroystvo izmereniya temperatury poverkhnosti ob"yekta. [A device for measuring the surface temperature of an object]. Patent RF, No144720, 2012.
13. Shastin V.I., Kargapol'tcev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering material using innovative methods. *International Journal of Applied Engineering Research.* 2017. T. 12. № 24. С. 15269-15272.
14. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshits A.V. Kompleksirovannyj metod avto-ma-tizirovannogo vysokochastotnogo kontrolja fazovyh prevraschenij v polimernykh materialah [An integrated method for automated high-frequency control of phase transformations in polymeric materials] // *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika,* [Devices and Systems. Management, control, diagnostics] 2016. № 10. pp. 10-18.
15. Larchenko A.G., Livshic A.V., Filippenko N.G., Popov S.I. Ustrojstvo diagnostiki detalej iz poliamidnykh materialov [The diagnostic device for parts made of polyamide materials]. Patent RF, No132209, 2013.
16. Livshits A.V. Avtomatizirovannaya sistema nauchnykh issledovanij vysokochastotnoj elektrotermii [Automated system of scientific research of high-frequency electrothermia]. *Problems of mechanical engineering and automation.* 2015. No. 4. Pp. 54-60.

#### **Информация об авторах**

*Баканин Денис Викторович* - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: denis.bakan@mail.ru

*Филиппенко Николай Григорьевич* - к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pentagon@mail.ru

*Бычковский Владимир Сергеевич* - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: bikovskii\_vs@mail.ru

*Ларченко Анастасия Геннадьевна* – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail:Larchenkoa@inbox.ru

#### **Authors**

*Denis Viktorovich Bakanin* – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: denis.bakan@mail.ru

*Nikolay Grigoryevich Filippenko* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pentagon@mail.ru

*Vladimir Sergeevich Bychkovsky* – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: bikovskii\_vs@mail.ru

*Larchenko Anastasia Gennadyevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of Production Processes", Irkutsk State University of Railway Transport, e-mail: Larchenkoa@inbox.ru

**Для цитирования**

Баканин Д.В. Импульсная высокочастотная обработка полимерных материалов [Электронный ресурс] / Д.В. Баканин, Н.Г. Филиппенко, В.С. Бычковский, А.Г. Ларченко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2019. — №3 (5). — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/35-2019>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 23.10.2019)

**For citation**

Bakanin D.V., Filippenko N.G., Bychkovsky V.S., Larchenko A.G. *Pulse high-frequency processing of polymeric materials*. Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2019, no.3 (5). [Accessed 23/10/19]