

УДК 621.791.039:621.791.763.7

DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-1-54-63

Исследование характеристик электродинамического привода механизма сжатия для конденсаторной сварки малогабаритных деталей

Иванов Н. И.¹ ✉, Лобов В. Б.¹, Котов С. С.¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94

✉ e-mail: ni1949@mail.ru

Резюме

Цель исследования. При конденсаторной сварке соединений малогабаритных деталей с «открытой» зоной контакта, широко применяемой в производстве изделий радиоэлектронной и электротехнической промышленности, одним из наиболее эффективных технологических приемов является изменение усилия сжатия по благоприятной программе, задаваемой изначально. Целесообразным конструктивным решением такого подхода является применение в сварочной установке комбинированного привода программируемого механизма сжатия. В таком приводе требуемое, относительно небольшое, начальное статическое усилие сжатия деталей осуществляется пружиной малой жесткости, а резкое увеличение скорости перемещения электрода по заданной программе, в момент достижения в контакте сварочной температуры, производится электросиловым приводом – электромагнитным или электродинамическим. В отличие от электромагнитного привода, результаты исследования динамических свойств и регулировочных характеристик которого достаточно широко освещены в литературных источниках, исследования, касающиеся особенностей характеристик электродинамического привода, выгодно отличающегося по динамическим свойствам от электромагнитной системы, проведены недостаточно. В связи с этим данная работа посвящена исследованию регулировочных характеристик программируемого импульса динамического усилия, развиваемого электродинамическим приводом, питаемым от автономного конденсаторного дозатора энергии и трансформатора типа сварочного.

Методы. В данной статье разработаны экспериментальный стенд и оригинальная методика исследования регулировочных характеристик импульса программируемого усилия электродинамического привода, и исследованы основные параметры этих характеристик.

Результаты. Приведенные в статье результаты исследования показывают, что варьирование емкости и зарядного напряжения батареи конденсаторов источника питания позволяет в широких пределах изменять амплитудное значение динамического усилия и, в меньшей степени, влияет на время его нарастания до максимума и полное время действия силы.

Заключение. Использование конденсаторного дозатора энергии в качестве источника питания электродинамического привода позволит в широких пределах регулировать геометрию импульса электродинамической силы и т. о. программировать его динамические свойства.

Ключевые слова: конденсаторная сварка; механизм сжатия; электродинамический привод; экспериментальный стенд; конденсаторный дозатор энергии; методика исследования; импульс динамического усилия; регулировочные характеристики.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Иванов Н. И., Лобов В. Б., Котов С. С., 2019

Для цитирования: Иванов Н.И., Лобов В.Б., Котов С.С. Исследование характеристик электродинамического привода механизма сжатия для конденсаторной сварки малогабаритных деталей // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23, № 1. С. 54-63. DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-1-54-63.

UDC 621.791.039:621.791.763.7

DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-1-54-63

Study of the Characteristics of Electrodynamic Drive of Compression Engine for Condenser Energy-Storage Welding of Small Parts Compounds

Nikolay I. Ivanov ¹ ✉, Vladislav B. Lobov ¹, Sergey S. Kotov ¹

¹ Southwest State University, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ni1949@mail.ru

Abstract

Purpose of research. Changing the compressive force according to an initially set program is one of the most effective technological methods for condenser energy-storage welding of small parts compounds with an "open" contact area, widely used in the manufacture of products of radio electronic and electrical industries. An expedient constructive solution to this approach is the use of a programmable compression engine in the welding unit of the combined drive. In such a drive, the required, relatively small, initial static compression force of parts is carried out by a spring of low rigidity. The sharp increase in the speed of movement of the electrode according to a given program is produced by an electric power drive - electromagnetic or electrodynamic- at the time of reaching the welding temperature in contact. In contrast to the electromagnetic drive the results of the study of the dynamic properties and its control characteristics are widely covered in literature, the studies concerning the characteristics of an electrodynamic drive, favorably differing in dynamic properties from the electromagnetic system, are not carried out in sufficient volume. In this regard, this paper is devoted to the study of the adjustment characteristics of a programmable pulse of dynamic force developed by an electrodynamic drive powered by an autonomous capacitor energy dispenser and a welding type transformer.

Methods. This article has developed an experimental test bed and an original technique for studying the adjustment characteristics of pulse of the programmable force of electrodynamic drive. The main parameters of these characteristics have been investigated here as well.

Results. The results of the research given in the article show that variation of the capacitance and charging voltage of battery of the power supply capacitors allows the amplitude value of the dynamic force to be varied within wide limits and, to a lesser extent, affects the time of its rise to the maximum and the total operation time of the force.

Conclusion. The use of an energy capacitor dispenser as a source of power for an electrodynamic drive will make it possible to regulate the pulse geometry of an electrodynamic force and thus program its dynamic properties.

Key words: condenser energy-storage welding; compression engine; electrodynamic drive; experimental test bed; energy capacitor dispenser; research technique; dynamic force pulse; adjustment characteristics.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Ivanov N.I., Lobov V.B., Kotov S.S. Study of the Characteristics of Electrodynamical Drive of Compression Engine for Condenser Energy-Storage Welding of Small Parts Compounds. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019; 23(1): 54-63 (in Russ.). DOI: 10.21869/2223-1560-2019-23-1-54-63.

Введение

При конденсаторной сварке соединений малогабаритных деталей с «открытой» зоной контакта [1], широко применяемой в производстве изделий радиоэлектронной и электротехнической промышленности, одним из наиболее эффективных технологических приемов является изменение усилия сжатия по благоприятной программе, задаваемой изначально [2-4]. Цикл сжатия переменным усилием снижает вероятность непровара, повышает термический КПД нагрева металлов и, соответственно, КПД сварочной машины [5].

Для программирования переменного в процессе сварки усилия требуется механизм сжатия с комбинированным приводом [6,7]. В таком приводе необходимое, относительно небольшое, начальное статическое усилие сжатия деталей осуществляется пружиной малой жесткости, а резкое увеличение скорости перемещения подвижного электрода по заданной программе, в момент достижения в контакте сварочной температуры, производится электросиловым приводом – электромагнитным или электродинамическим.

В отличие от электромагнитного привода, результаты исследования динамических свойств и регулировочных характеристик которого достаточно

широко освещены в литературных источниках [3,4,6-8], работ, касающихся применения электродинамического привода (в дальнейшем – ЭДП), очень мало. При этом, ЭДП выгодно отличается по динамическим свойствам от электромагнитной системы, что особенно важно для сварки малогабаритных деталей, когда продолжительность электронагрева конденсаторным импульсом тока составляет менее 10 мс. Достоинством ЭДП является отсутствие ферромагнитных масс и, соответственно, малая индуктивность его обмоток. Это определяет незначительную инерционность и высокие динамические свойства, позволяющие при сварке малогабаритных деталей получать необходимую скорость нарастания создаваемого усилия за требуемое время. Известные работы посвящены методике расчета конструкции ЭДП [9] или конструктивным особенностям исполнения ЭДП в составе установки для конденсаторной сварки [10]. В то же время, работы, посвященные экспериментальному исследованию регулировочных характеристик ЭДП, ответственных за программирование требуемого в процессе сварки импульса динамического усилия, в печати практически отсутствуют. В связи с этим данная работа посвящена исследованию на экспериментальной установке регулировочных характеристик

программируемого импульса динамического усилия, развиваемого ЭДП, питаемого от автономного конденсаторного дозатора энергии, подключенного к трансформатору типа сварочного.

Материалы и методы решения задачи

В экспериментальной установке (рис. 1) ЭДП выполнен в виде двух плоских дисковых катушек со спиральными обмотками, отталкивающих друг от друга при пропускании через них в разном направлении кратковременного импульса тока. Одна из катушек *б* крепится к подвижной части механизма сжатия, а другая *5*, установленная параллельно первой, связана с его неподвижным основанием *1*.

Для выявления технологических возможностей ЭДП требовалась разработка методики оценки истинной величины развиваемого им усилия. Наиболее просто, без каких-либо дополнительных средств и аппаратуры, это можно сделать сопоставлением диаметров отпечатков, полученных на относительно мягком материале действием усилия известной величины и измеряемого усилия ЭДП, соответственно. Однако, как показали эксперименты, такой способ измерения динамического усилия вносит существенную ошибку в определение истинного значения, так как сравнение статических и динамических нагрузок справедливо лишь в области упругих деформаций. При пластических деформациях это соответствие нарушается, в связи с тем, что сопротивление деформации материала

при вдавливании шарика зависит от скорости приложения нагрузки. При динамических (ударных) нагрузках способность поверхностных слоев оказывать сопротивление деформации нарастает в процессе восприятия удара и опережает скорость распространения ударного давления.

Для измерения амплитудной величины динамического усилия, развиваемого ЭДП при различной мощности источника питания, была разработана методика динамической тарировки усилия, сущность которой заключается в следующем (см. рис. 1). Два электрода *2* и *3* под действием пружины сжимаются статическим усилием сжатия, определяемым предварительной тарировкой пружины *4*. При этом в замкнутой цепи, в которую включен звуковой генератор *8* типа ГЗ-33, проходит ток. С добавочного сопротивления *R* снимается падение напряжения звуковой частоты, и сигнал подается на один из входов двухканального цифрового запоминающего осциллографа *9* типа С9-8.

Для каждого статического усилия сжатия электродов подбирали такое напряжение источника питания ЭДП (напряжение зарядки конденсаторов *C*), при котором противодействующее динамическое усилие незначительно превышало величину статической нагрузки. В этом случае, при срабатывании ЭДП происходит разрыв контакта между электродами и падение напряжения на добавочном сопротивлении *R* становится равным нулю, что регистрируется осциллографом *9* (рис. 2).

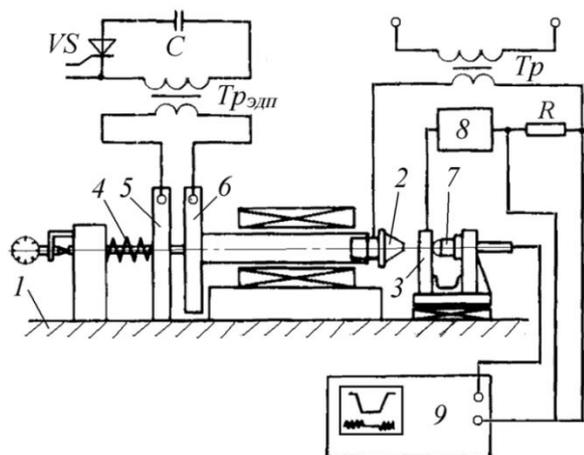


Рис. 1. Конструктивная схема экспериментальной установки, совмещенная с электрической схемой способа тарировки электродинамической силы: 1 – основание; 2 – электрод подвижный; 3 – электрод неподвижный; 4 – пружина; 5 – катушка ЭДП неподвижная; 6 – катушка ЭДП подвижная; 7 – пьезодатчик усилия; 8 – звуковой генератор; 9 – электронный цифровой осциллограф

Одновременно, вторым каналом осциллографа регистрируются показания датчика давления, соответствующие нулевому значению усилия в контакте электродов. Разница начального и конечного сигнала с датчика является искомой величиной амплитуды импульса динамического усилия, развиваемого ЭДП при конкретном напряжении источника питания. В качестве датчика, для измерения импульсных усилий, использовали пьезоэлектрический датчик на основе керамики из титаната бария, имеющей хорошую частотную характеристику и сравнительно высокий уровень выходного сигнала [11].

Полученная таким образом зависимость динамического усилия от напряжения источника питания приведена на рис. 3, на котором, для сравнения, дана

та же зависимость, полученная при тарировке динамического усилия по диаметру отпечатка.

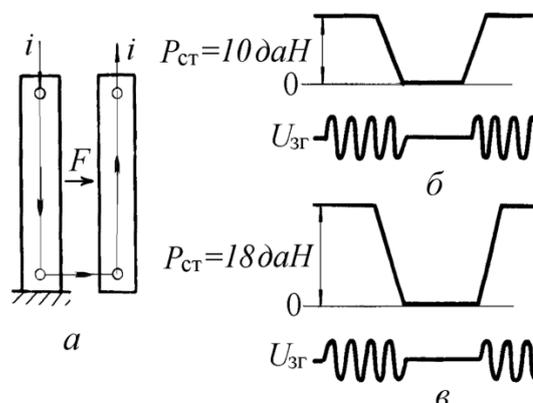


Рис. 2. Схема направления протекания тока i и действия электродинамической силы F в катушках ЭДП (а) и осциллограммы усилия P (верхняя) и напряжения генерации звуковой частоты $U_{зв}$ (нижняя) при различном статическом усилии $P_{ст}$ (б, в)

Как следует из графика, метод тарировки по диаметру отпечатка может давать заниженные значения величины динамического усилия более чем на 20 %.

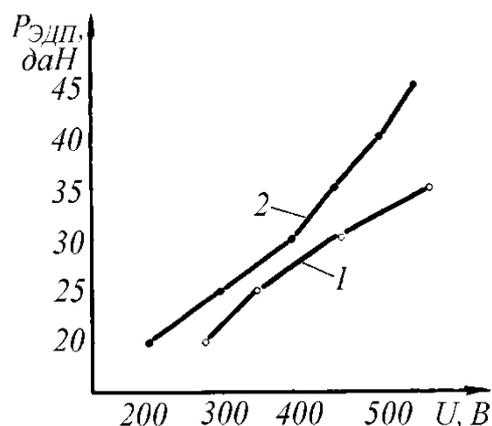


Рис. 3. Зависимость динамического усилия от напряжения источника питания при различных способах тарировки: 1 – по диаметру отпечатка; 2 – по обрыву напряжения генерации звуковой частоты

Проведенная тарировка усилия ЭДП позволила выполнить эксперименты по исследованию его динамических регулировочных характеристик.

В связи с тем, что питание ЭДП осуществляется от конденсаторного дозатора энергии, важно было установить влияние емкости и зарядного напряжения на геометрию импульса электродинамической силы. Величина этих параметров определяет силовое электродинамическое взаимодействие между дисковыми катушками системы при преоб-

разовании электрической энергии в механическую работу привода.

Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что варьирование емкости и зарядного напряжения батареи конденсаторов позволяет в широких пределах изменять амплитудное значение усилия (рис. 4, а, б) и в меньшей степени влияет на время его нарастания до максимума t_1 и полное время действия t_2 (рис. 4, в, г).

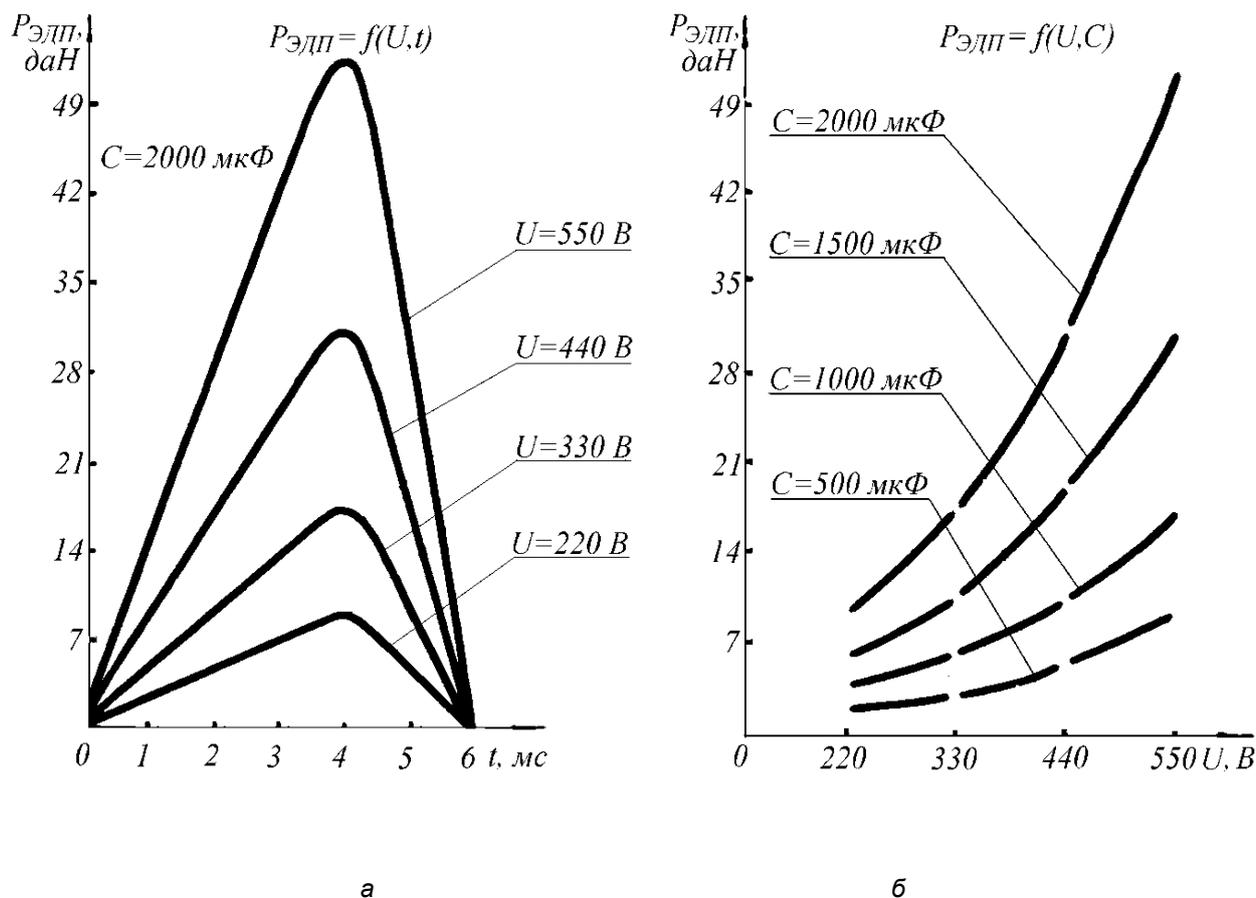


Рис. 4. Регулировочные зависимости параметров геометрии импульса электродинамической силы от напряжения U (а, б, в), емкости конденсаторов C (б, в, г) и зазора между катушками Δ (в) (окончание на с. 60)

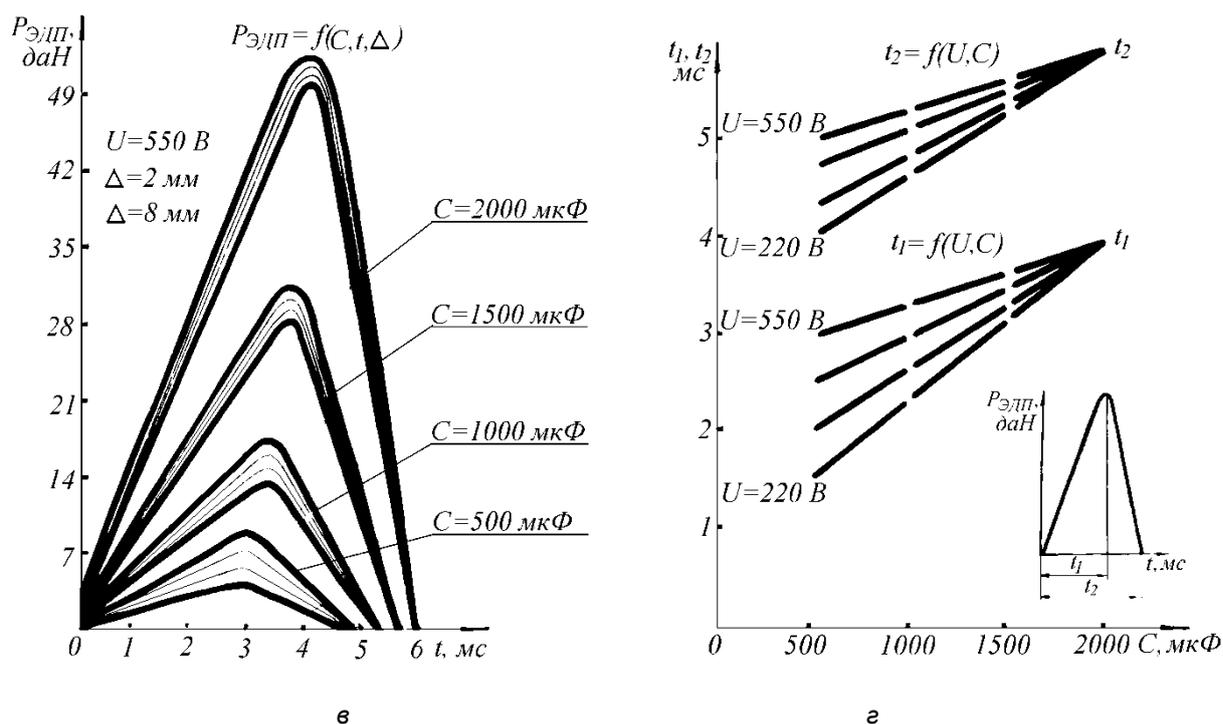


Рис. 4. Регулировочные зависимости параметров геометрии импульса электродинамической силы от напряжения U (а, б, в), емкости конденсаторов C (б, в, г) и зазора между катушками Δ (в) (начало на с. 59)

Амплитудное значение усилия зависит не только от величины тока, питающего ЭДП, но и от величины зазора между катушками Δ . При этом, с увеличением энергии, запасаемой в конденсаторах, увеличение зазора в меньшей степени оказывает влияние на амплитуду электродинамической силы (рис. 4, в). Так, при емкости $C = 200$ мкФ и напряжении $U = 550$ В увеличение расстояния между катушками от 2 до 8 мм снижает амплитуду усилия всего лишь на 2 %, тогда как при $C = 500$ мкФ и $U = 550$ В и таком же изменении зазора Δ , усилие уменьшается более чем на 50 %.

Использование конденсаторного дозатора энергии в качестве источника питания электродинамического привода позволит в широких пределах регули-

ровать геометрию импульса электродинамической силы и т. о. программировать его динамические свойства.

Выводы

1. Разработана методика тарировки усилия, развиваемого электродинамическим приводом, по обрыву напряжения генерации звуковой частоты.

2. Экспериментально получены регулировочные характеристики электродинамического привода, питаемого от автономного конденсаторного дозатора энергии.

3. Установлено, что варьирование емкости и зарядного напряжения батареи конденсаторов позволяет в широких пределах изменять амплитудное значение усилия и в меньшей степени влияет на

время его нарастания до максимума и полное время действия.

4. Амплитудное значение усилия зависит не только от величины тока, питающего ЭДП, но и от величины за-

зора между его катушками. При этом, с увеличением энергии, запасаемой в конденсаторах, увеличение зазора в меньшей степени оказывает влияние на амплитуду электродинамической силы.

Список литературы

1. Строев В.И., Иванов Н.И., Самсонов И.А. Управление процессом контактной сварки малогабаритных деталей с открытой зоной образования соединения // Электротехническая промышленность. Серия Электросварка. 1983. Вып. 6 (81). С. 17–18.

2. Иванов Н.И., Строев В.И., Дюдин В.Н. Рациональный цикл сжатия при контактной импульсной сварке сопротивлением цветных металлов и сплавов // Актуальные проблемы сварки цветных металлов: докл. II Всесоюз. конф. Киев: Наук. думка, 1985. С. 391–394.

3. Иванов Н.И., Строев В.И., Каганов Н.Л. Рациональная циклограмма процесса контактной автоматической сварки узлов резисторов // Сварочное производство. 1985. №8. С. 17–19.

4. Иванов Н.И., Шумаков А. А. Стабилизация температуры нагрева регулированием усилия осадки при конденсаторной сварке крестообразных проволочных соединений // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 3 (11). С. 51–59.

5. Лебедев В.К., Завадский В.А. Рациональный цикл усилия сжатия электродов при точечной сварке тонкого металла // Автоматическая сварка. 1972. №2. С. 43–45.

6. Иванов Н.И., Волков Б.В. Исследование кинетики формирования Т-образных соединений малогабаритных деталей при контактной сварке с комбинированным механизмом осадки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. №2, ч. 3. С. 22-25.

7. Иванов Н.И., Чаплыгин А.Ю. Особенности программирования переменного усилия механизма сжатия при контактной сварке малогабаритных деталей // Материалы и упрочняющие технологии - 2003: сборник материалов X юбилейной Российской научно-технической конференции с международным участием: в 2 ч. Ч.1. Курск, 2003. С. 34–41.

8. Иванов Н.И., Строев В.И. Эффективные режимы сварки сопротивлением контактных узлов радиодеталей в массовом производстве // Сварочное производство. 1990. №7. С. 3–5.

9. Любомирский Л.А., Хазов В.Я. Расчет электродинамического привода сварочного усилия машин контактной сварки // Электротехническая промышленность. Серия электросварка. 1971. Вып. 6. С. 24–26.

10. Каганов Н.Л., Исаев А.П., Строев В.И. Установка для контактной конденсаторной сварки с программированием усилия сжатия // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1974. №2. С. 170–173.

11. Строев В.И., Дюдин В.Н., Иванов Н.И. Контроль цикла сжатия при контактной автоматической сварке узлов радиодеталей // Сварочное производство. 1985. №3. С. 26-27.

Поступила в редакцию 10.01.2019

Подписана в печать 15.02.2019

Reference

1. Stroeve V.I., Ivanov N.I., Samsonov I.A. Upravlenie processom kontaktnoj svarki malogabaritnyh detalej s otkrytoj zonoj obrazovanija soedinenija. *Jelektrotehnicheskaja promyshlennost'. Seriya: Jelektrosvarka*, 1983, no. 6 (81), pp. 17–18.

2. Ivanov N.I., Stroeve V.I., Djudin V.N. Racional'nyj cikl szhatija pri kontaktnoj impul'snoj svarke soprotivleniem cvetnyh metallov i splavov. Aktual'nye problemy svarki cvetnyh metallov. Dokl. II Vsesojuzn. konf. Kiev, Nauk. dumka Publ., 1985, pp. 391–394.

3. Ivanov N.I., Stroeve V.I., Kaganov N.L. Racional'naja ciklogramma processa kontaktnoj avtomaticheskaj svarki uzlov rezistorov. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1985, no. 8, pp. 17–19.

4. Ivanov N.I., Shumakov A. A. Stabilizacija temperatury nagreva regulirovaniem usilija osadki pri kondensatornoj svarke krestoobraznyh provolochnyh soedinenij. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*, 2017, no. 3 (11), pp. 51–59.

5. Lebedev V.K., Zavadskij V.A. Racional'nyj cikl usilija szhatija jelektroodov pri tochechnoj svarke tonkogo metalla. *Avtomaticheskaja svarka*, 1972, no.2, pp. 43–45.

6. Ivanov N.I., Volkov B.V. Issledovanie kinetiki formirovanija T-obraznyh soedinenij malogabaritnyh detalej pri kontaktnoj svarke s kombinirovannym mehanizmom osadki. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii*, 2012, no.2, pt. 3, pp. 22-25.

7. Ivanov N.I., Chaplygin A.Ju. Osobennosti programmirovaniya peremennogo usilija mehanizma szhatija pri kontaktnoj svarke malogabaritnyh detalej. *Materialy i uprochnjajushhie tehnologii - 2003. Sbornik materialov X jubilejnoj Rossijskoj nauchno-tehnicheskaj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Kursk*, 2003, pp. 34–41.

8. Ivanov N.I., Stroeve V.I. Jeffektivnye rezhimy svarki soprotivleniem kontaktnyh uzlov radiodetalej v massovom proizvodstve. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1990, no.7, pp. 3–5.

9. Ljubomirskij L.A., Hazov V.Ja. Raschet jelektrodinamicheskogo privoda svarochnogo usilija mashin kontaktnoj svarki. *Jelektrotehnicheskaja promyshlennost'. Seriya jelektrosvarka*, 1971, pt. 6, pp. 24–26.

10. Kaganov N.L., Isaev A.P., Stroev V.I. Ustanovka dlja kontaktnoj kondensatornoj svarki s programirovaniem usilija szhatija. *Izvestija VUZov. Mashinostroenie Publ.*, 1974, no.2, pp. 170–173.

11. Stroev V.I., Djudin V.N., Ivanov N.I. Kontrol' cikla szhatija pri kontaktnoj avtomaticheskoy svarke uzlov radiodetalej. *Svarochnoe proizvodstvo*, 1985, no.3, pp. 26-27.

Received 10.01.2019

Accepted 15.02.2019

Информация об авторах / Information about the Authors

Николай Иванович Иванов, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Машиностроительные технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация
e-mail: ni1949@mail.ru

Nikolay I. Ivanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Technology and Equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
e-mail: ni1949@mail.ru

Владислав Борисович Лобов, магистрант, кафедра «Машиностроительные технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация
mtio@kurskstu.ru

Vladislav B. Lobov, Undergraduate, Department of Engineering Technology and Equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
mtio@kurskstu.ru

Сергей Сергеевич Котов, магистрант, кафедра «Машиностроительные технологии и оборудование», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация
mtio@kurskstu.ru

Sergey S. Kotov, Undergraduate, Department of Engineering Technology and Equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation
mtio@kurskstu.ru