

УДК 621.313

В. А. Лебедев, д-р техн. наук

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ В СОВРЕМЕННОМ МЕХАНИЗИРОВАННОМ И АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения электроприводов в оборудовании для механизированной дуговой сварки плавящимся электродом. Показано, что современное состояние технологии дуговой сварки может быть существенно улучшено, в том числе с использованием импульсных алгоритмов работы системы подачи электродной проволоки. Предложено применять в качестве электропривода механизма подачи высокочастотные шаговые и вентильные электроприводы с передачей без редукторов. Выбрана структура вентильного электропривода как наиболее эффективного для комплектования сварочных автоматов и полуавтоматов.

Ключевые слова: электропривод, дуговая сварка, оборудование, механизация, автоматизация, механизмы, системы, управление, регулирование

V. A. Lebedev, ScD.

ELECTRIC DRIVE IN MODERN MECHANIZED AND AUTOMATED EQUIPMENT FOR MIG WELDING

Abstract. Possibilities and fields of electric drive using in equipment for mechanized arc welding with a consumable electrode. It is shown that modern condition of arc welding technology can be greatly enhanced with the use of impulse algorithms of electrode wire movement system. Using of high dynamic stepper and switched reluctance electric drives as a moving mechanism electric drive. Switched reluctance electric drive structure was chose as the most effective for welding automatic and half-automatic welding devices.

Keywords: welding, equipment, mechanization, automation, mechanisms, systems, driving, regulation, peculiarities

В. А. Лебедев, д-р техн. наук

ЕЛЕКТРОПРИВОДИ В СУЧАСНОМУ МЕХАНІЗОВАНОМУ Й АВТОМАТИЗОВАНОМУ ОБЛАДНАННІ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Анотація. Розглянуто можливості застосування електроприводів у обладнанні для механізованого дугового зварювання плавким електродом. Показано, що сучасний стан технології дугового зварювання може бути суттєво поліпшеним, у тому числі завдяки використанню імпульсних алгоритмів роботи системи подавання електродного дроту. Запропоновано застосовувати як електропривод механізму подавання високодинамічні, шагові та вентильні електроприводи з передачею без редукторів. Обрано структуру вентильного електропривода як найефективнішого для комплектування зварювальних автоматів та напівавтоматів.

Ключові слова: електропривод, дугове зварювання, обладнання, механізація, автоматизація, механізми, системи, керування, регулювання

Введение. Оборудование для механизированной (полуавтоматы) и автоматизированной (автоматы) сварки плавящимся электродом постоянно совершенствуется, модернизируется с целью получения швов высокого качества, снижения энерго-и ресурсозатрат, облегчения условий труда операторов, ремонтного и обслуживающего персонала [1]. Анализ конструкций оборудования, которое находится в эксплуатации, в производстве и вновь разрабатываются, показывает, что его основными узлами, наряду с источником сварочного тока, являются электроприводы, которые наиболее подвержены совершенствованию вследствие особенностей его использования и элементной базы.

© Лебедев В.А., 2013

Трудно переоценить роль электроприводов в технических объектах вообще и в сварочном оборудовании в частности. Технические возможности электроприводов во многом определяют реализацию технологических возможностей и приёмов работы сварочного оборудования и оборудования для смежных технологий (наплавка, резка, напыление). От технических характеристик электроприводов сварочного оборудования без преувеличения зависят его технико-технологические возможности, а, в итоге, применение и конкурентоспособность на рынке. Кроме этого, следует указать, что современные электроприводы с новыми характеристиками регулирования и управления существенно влияют на вопросы ценообразования и по-

этому выбор электропривода для сварочного оборудования – многофакторная задача.

Целью настоящей работы является анализ тенденций использования электроприводов в оборудовании для дуговой сварки и смежных технологий.

В механизированном оборудовании подавляющее применение электроприводов осуществляется в системах подачи электродной и присадочной проволоки, а в автоматизированном оборудовании в системах сварочного перемещения, корректировки положения электрода относительно сварочного перемещения (системы слежения), а также для осуществления установки вылета и колебаний при раскладке швов, при этом некоторые функции электроприводов могут совмещаться. Кроме этого в многочисленном оборудовании, входящем в состав рабочих мест сварщиков (вращатели, манипуляторы, средства контроля за сварным швом и др.), также применяются различные электропривода [2].

Разнообразие электроприводов, в том числе и перспективные, используемые в настоящее время, представлены на структурной схеме рис. 1. Видно, что практически все известные типы электроприводов находят применение в сварочном оборудовании. Часть из них может использоваться в том виде, в котором они производятся промышленностью и это в большей мере относится к электроприводам, применяемых в автоматах (станках, установках) для дуговой сварки и наплавки. Имеются в сварочном оборудовании системы и комплекс задач, решаемых

ими, которые целесообразно решать, используя специальные разработки электроприводов. К их числу, в основном, относятся системы подачи электродной проволоки, системы слежения и раскладки швов.

Следует отметить, что общие особенности использования электроприводов в сварочном оборудовании включают в себя следующее:

ограниченный диапазон мощностей, 20 – 300 Вт;

для регулируемых электроприводов диапазон регулирования 1:10; 1:15;

защищённость от воздействия факторов, сопровождающих горение сварочной дуги;

возможность выбора номинальной частоты вращения вала 1000 – 5000 об/мин для стандартных электродвигателей;

защищённость от электромагнитной помехи как следствия изменяющегося в широких пределах значения тока в сварочной цепи;

малые массогабаритные показатели, приемлемые для установки в мобильное сварочное оборудование;

показатели характеристик, определяющих высокие динамические свойства;

решение специальных задач с использованием возможностей электроприводов: раскладка, модуляция, импульсная подача.

Весьма существенным, а в ряде случаев и определяющим является ряд специальных требований к конструкции электроприводов в некоторых специфичных узлах сварочного оборудования. Это относится к оборудованию, работающему в монтажных и полевых

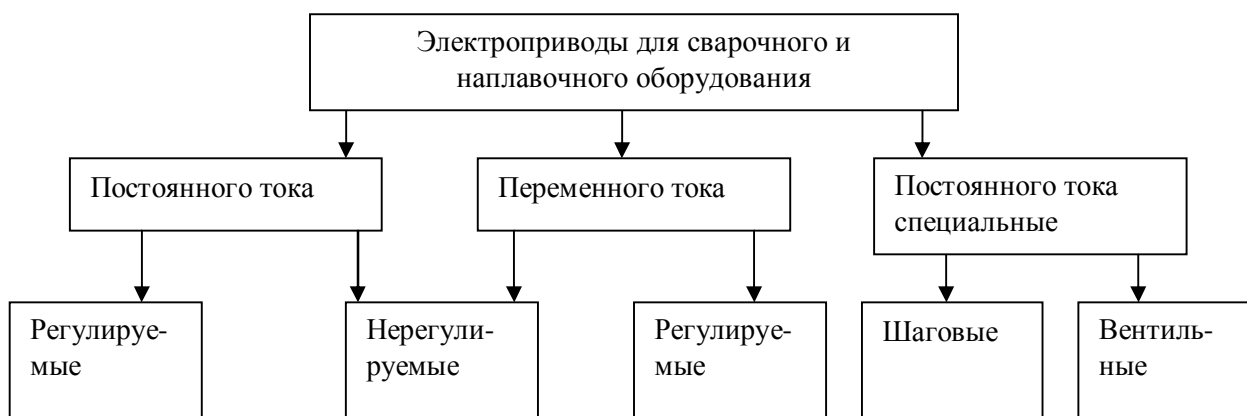


Рис. 1. Типы электроприводов, используемых в сварочном оборудовании для дуговой сварки, наплавки и резки

условиях, а также к полуавтоматам, а в последнее время и автоматам, осуществляющим мокрую сварку под водой, зачастую на значительных глубинах. Особо следует отметить возрастающую потребность в электроприводах, осуществляющих различного характера импульсные движения в системах сварочного оборудования. В первую очередь, это механизмы подачи электродной проволоки, колебатели сварочного инструмента и самого изделия.

В последнее время электродвигатели с обмотками возбуждения в новых конструкциях сварочного оборудования практически не используются, хотя в настоящее время в парке сварочного оборудования СНГ имеется достаточно много полуавтоматов прежних лет разработки с такими техническими решениями.

Здесь следует заметить, что особых различий в схмотехнических решениях по регуляторам частоты вращения нет для электродвигателей с обмотками возбуждения и постоянными магнитами. Однако требование отдельного питания обмоток возбуждения зачастую приводит к усложнению конструкции сварочного оборудования.

Для электроприводов постоянного тока требуются оригинальные конструкции регуляторов, так как серийно выпускаемые промышленные электроприводы с необходимыми характеристиками не выпускаются за исключением некоторых конструкций узкого диапазона применения, в основном для вспомога-

тельного сварочного и наплавочного оборудования. Способы питания и построения регуляторов обобщены на рис. 2.

Конструктивные решения, технические возможности электроприводов сварочного оборудования определяются теми объектами, в состав которых они входят. На рис.3 систематизированы все известные системы и механизмы механизированного и автоматического сварочного оборудования, в котором используются электроприводы. В систематизации большое место уделено вспомогательному оборудованию, которое всё больше входит в комплекты рабочих мест для сварки. Исключение составляют системы подачи защитной среды (газ, флюс), в которых, как правило, применяются электромагнитные и пневматические приводы.

Из изложенного выше следует, что все технические и технологические возможности механизированного оборудования для сварки плавящимся электродом, его перспективное совершенствование базируются, в основном, на работе систем, оснащённых электроприводами.

В настоящее время всё более активно в системы механизированного сварочного оборудования внедряются электроприводы с высоким быстродействием, позволяющим реализовывать различные импульсные технологии, обрабатывать обратные связи по параметрам



Рис. 2. Способы питания и построения регуляторов в электроприводах оборудования для механизированной и автоматической сварки



Рис. 3. Механизмы и системы основного и вспомогательного сварочного оборудования, комплектуемые электроприводами

дугового процесса и даже реагировать на формирование и перенос электродного металла на микроуровне (частота цикла капельного переноса 20...70 Гц) как это, например, выполняется в технологии механизированной сварки STT [3–5].

Габариты приводного электродвигателя также имеют значение. Так, в полуавтоматах для сварки плавящимся электродом весьма часто возникает потребность встраивания электродвигателя механизма подачи в рукоятку шлангового держателя для реализации подачи по способу тяни–толкай или при создании оборудования по упомянутому способу STT. В основном малогабаритные электродвигатели (масса не более нескольких сотен грамм), встраиваемые в шланговый держатель, обеспечивают подачу электродных проволок с низкой продольной устойчивостью (алюминий и его сплавы).

Малая инерционность электродвигателей обеспечивается комплексом мер. Прежде всего, это особые конструкции электродвигателей, способные обеспечивать высокий

крутящий момент, что позволяет исключить понижающий редуктор, имеющий достаточно большое число зазоров, ведущих к неточностям обработки задающего воздействия.

К числу таких электродвигателей относятся шаговые и вентильные электродвигатели. Кроме того, не следует упускать из виду коллекторные электродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами, современные конструкции которых позволяют решать многие задачи при использовании механизированного и автоматического сварочного оборудования.

Весьма важен вопрос применения современных разработок регулируемых электроприводов с трёхфазными асинхронными электродвигателями. Ввиду того, что асинхронные электродвигатели широко распространены и имеют большой диапазон технических возможностей, в том числе и такие важные, как мощность, массогабаритные показатели, способы крепления, их применение в сварочном оборудовании перспективно, однако с существенными ограничениями для

установки в механизированном оборудовании – полуавтоматах для дуговой сварки плавящимся электродом вследствие ограничений по нормам безопасности (не более 42 В переменного тока и 110 В – постоянно). Как известно, все существующие разработки асинхронных электроприводов рассчитаны на питание 220 или 380 В. Очевидно, что в этом направлении существует проблема создания регулируемого электропривода для трёхфазных электродвигателей на напряжение 36-42 В, которые могли бы, с успехом применены в сварочных полуавтоматах, имеющих достаточно широкое распространение в промышленности, строительстве и др.

В настоящее время трехфазные асинхронные регулируемые электроприводы используются в механизмах транспортного перемещения сварочных автоматов и в системах вспомогательного сварочного оборудования (вращатели, кантователи, манипуляторы).

В механизмах сварочного оборудования, требующих точного позиционирования, высокого быстродействия, и с достаточно малыми массогабаритными показателями могут найти и уже находят применение шаговые электроприводы, которые с требуемым диапазоном параметров выпускаются большим числом фирм. При этом такие электродвигатели снабжаются микропроцессорными регуляторами (контроллерами) со встроенными или программируемыми алгоритмами движения вала, а также с определёнными возможностями по формированию динамических характеристик комплектного электропривода. Возможность работы шагового привода без датчиков частоты вращения, что выполнено в большинстве серийно выпускаемых электроприводов, необходимых для установки в системы сварочного оборудования, является и преимуществом, и достаточно существенным недостатком.

Более перспективным для применения в большинстве основных систем оборудования для механизированной (в основном) и автоматической сварки являются вентильные электроприводы.

Сегодня неизвестны производители серийных электроприводов с параметрами и соответствующими требованиям, предъяв-

ляемым к оборудованию для дуговой сварки плавящимся электродом. В Украине имеется разработчик и производитель вентильных электроприводов специальных конструкций. Учёными Одесского политехнического университета совместно с ИЭС им. Е.О. Патона выполнялась разработка ряда модификаций вентильного электропривода для подачи электродной проволоки и одной из модификаций для реализации транспортных и установочных перемещений. Разработки включали в себя следующие конструкции комплектных электроприводов:

общего назначения с характеристиками для сварочного оборудования с последующим использованием с редукторами;

для реализации управляемой импульсной подачи – безредукторные;

для применения в особых условиях, в частности в сварочном оборудовании, предназначенном для работы в условиях водной среды (на глубине до 200 м).

Все разработки электроприводов предполагают наличие датчика частоты вращения вала вентильного электродвигателя, в том числе со встраиванием систем первичной обработки сигнала непосредственно в



Рис. 4. Вентильный электродвигатель с интегрированной системой определения частоты вращения вала

сам электродвигатель (интегрированная или частично интегрированная система). Вариант такой конструкции с инкрементальным датчиком представлен на рис. 4. Такое решение позволяет снизить количество проводных связей и повысить устойчивость системы по каналу измерения.

Следует ещё раз указать на необходимость минимизации массовых и габаритных характеристик электродвигателей безредукторных механизмов подачи для переносного сварочного оборудования – полуавтоматов, обеспечивая при этом необходимый для надёжного движения электродной проволоки момент.

Электродвигатели для импульсной подачи электродной проволоки должны иметь высокий уровень быстродействия, характеризующийся теоретическим угловым ускорением ε ротора электродвигателя без нагрузки на валу под действием максимального (пускового) момента M электродвигателя:

$$\varepsilon = \frac{M}{J_R},$$

где J_R – момент инерции ротора.

Из технической литературы [6] известно, что момент электродвигателя зависит от геометрических размеров ротора – диаметра D и длины активной части L :

$$M = \frac{D^2 \cdot L}{C_A},$$

где C_A – машинная постоянная Арнольда.

Момент инерции ротора как цилиндрического тела массой G , в предположении об однородности ротора, рассчитывается по формуле

$$J_R = \frac{G \cdot D^2}{8}.$$

Масса ротора определяется удельной плотностью γ материала ротора и объемом ротора:

$$G = \frac{\gamma \cdot \pi}{4 \cdot D^2 \cdot L}.$$

Здесь можно пренебречь отличием плотности стали и применяемых в быстродействующих вентильных электродвигателях высококоэрцитивных магнитов из сплава NdFeB.

Тогда момент инерции ротора

$$J_R = \frac{\gamma \cdot \pi}{32 \cdot D^4 \cdot L}$$

и максимальное теоретическое ускорение

$$\varepsilon = \frac{32}{C_A \cdot \gamma \cdot \pi \cdot D^2}.$$

Из полученного выражения видно, что теоретическое ускорение обратно пропорционально второй степени диаметра ротора D .

Поэтому для вентильного электродвигателя импульсной подачи проволоки принят размер диаметра ротора меньше его длины. Это положение хорошо вписывается в концепции конструирования механизмов подачи сварочных полуавтоматов.

Для опытного образца отношение длины активной части ротора к его диаметру составляет $L/D = 1,33$ и $\varepsilon = 13000 \text{ с}^{-2}$. Это позволяет эффективно решать задачи конструирования сварочного оборудования и обеспечивать требуемый диапазон частот обработки импульсных характеристик при достаточных значениях момента на валу электродвигателя (не менее 100 Н·м).

Рассмотрим тенденции в разработке регуляторов для выбранного типа электродвигателей. Относительно асинхронных электроприводов и приводов с шаговыми двигателями в тех системах сварочного оборудования, где они находят применение, разработчиков этого оборудования вполне устраивают серийные разработки этих видов электропривода.

При разработке электроприводов на основе электродвигателей постоянного тока для систем сварочного оборудования основные тенденции, как правило, сводятся: в части управления – к всё большему применению цифровых систем регулирования на основе микропроцессорной техники, в частности там, где уже используются общие системы управления на основе компьютеров; в части силовой электроники – к применению полевых структур транзисторов [7]. При этом анализ разработок в этом направлении показывает, что структуры регуляторов достаточно просты и, как правило, базируются на применении П-или ПИ-регуляторов с различными вариантами обработки сигналов и построения обратных связей по параметрам

самого электродвигателя или параметрам сварочного процесса (имеются электроприводы с комбинированными структурами обратных связей [8]).

Важнейшей задачей при разработке электропривода с вентильными электродвигателями для сложных систем сварочного оборудования (колебатели сварочного инструмента – горелки или изделия по нескольким координатам, систем слежения, в частности со сканированием места сварного шва и наиболее сложной системы – системы подачи с управляемыми алгоритмами импульсного движения) является выбор наиболее эффективной структуры и техническая реализация регуляторов, чтобы использовать все преимущества такого типа электродвигателей [9, 10].

Для обеспечения требований технологического процесса импульсной подачи сварочного электрода электропривод должен удовлетворять следующим требованиям:

1) надежность работы;

2) точность поддержания заданной частоты вращения с широким диапазоном регулирования;

3) минимальное время переходного процесса при разгоне и торможении;

4) возможность задания требуемых тахограмм (алгоритмов) движения вала электродвигателя, а, следовательно, электродной проволоки;

5) минимальное потребление электроэнергии.

Следует отметить, что вентильный электродвигатель обладает повышенной надежностью работы за счет отсутствия скользящих контактов на роторе, а наличие постоянных магнитов позволяет получить наилучшие показатели энергоэффективности в режимах двигателя и управляемого рекуперативного торможения.

Комплектный вентильный электропривод (ВЭП) состоит из бесконтактного электродвигателя и системы управления, а его структурная схема показана на рис.5.

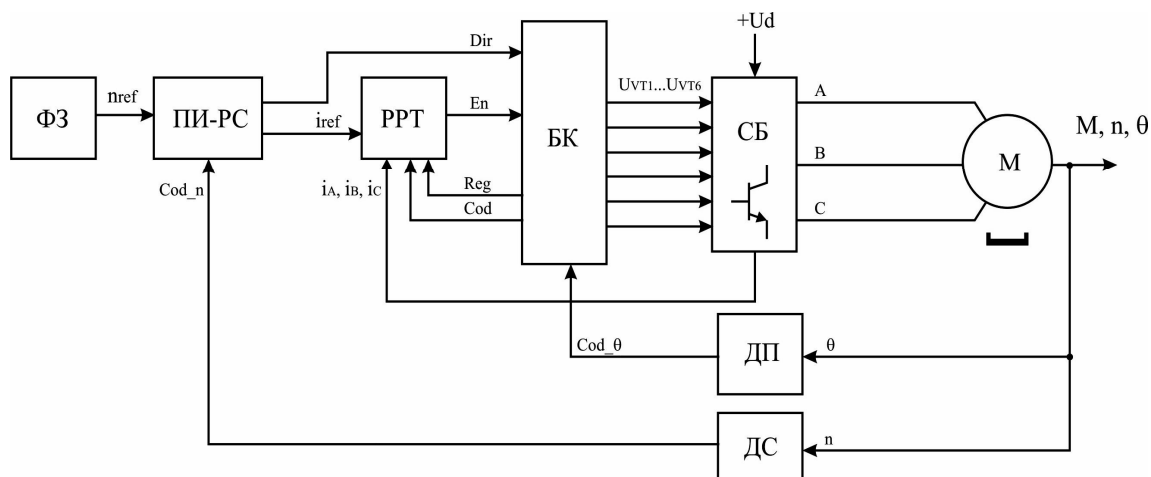


Рис. 5. Схема формирователя задания (ФЗ) частоты вращения электродвигателя: ПИ-РС – пропорционально-интегральный регулятор скорости; РРТ – релейный регулятор тока; БК – блок коммутации транзисторов; СБ – силовой блок; ДП – датчик положения ротора; ДС – датчик частоты вращения; n_{ref} – величина задания частоты вращения электродвигателя; i_{ref} – величина задания тока фазы электродвигателя; Cod_n – ОС по частоте вращения электродвигателя; Cod_θ – ОС по положению ротора электродвигателя; i_A, i_B, i_C – ОС по току фаз электродвигателя; Cod – код положения ротора электродвигателя; Reg – код режима работы электродвигателя; Dir – код направления вращения вала электродвигателя; En – разрешение включения транзистора СБ; А, В, С – фазы электродвигателя; М, n, θ – момент, частота вращения и угловое положение ротора электродвигателя; U_d – напряжение питания СБ электропривода

Для обеспечения высоких динамических и статических показателей ВЭП с учетом сравнительных экспериментальных исследований система управления выполнена в виде подчиненного регулирования с внутренним контуром тока и внешним контуром скорости. Она обеспечивает работу электропривода во всех четырех квадрантах механической характеристики. Исходя из того, что основной режим работы ВЭП повторно-кратковременный, для улучшения энергетических показателей в электроприводе реализовано регулируемое торможение с отдачей запасенной кинетической энергии в источник питания. Эта задача, насколько известно, впервые решается в разработках электроприводов для сварочного оборудования.

Пропорционально-интегральный регулятор скорости (ПИ-РС) получает задание на частоту вращения вала вентильного электродвигателя « n_{ref} » от формирователя задания в соответствии с установленной тахограммой движения, которая в общем виде представлена на рис. 6 (t_u, t_n, t_p – продолжительность импульса, паузы, реверса соответственно; v_u, v_p – скорость движения в период импульса и паузы). Формирователь задания выполнен в виде электронного цифрового блока ВЭП, он позволяет регулировать следующие параметры тахограммы движения, например для самого распространённого в механизированном оборудовании для сварки тонкими электродами проволоками типа СВ08Г2С в среде углекислого газа:

частоту следования циклов движения ВЭП от 0 до 60 Гц;

заданную частоту вращения вала ВЭП в цикле движения «вперед» (импульс) от 15 до 400 об/мин;

заданную частоту вращения вала ВЭП в цикле движения «назад» (реверс) от 15 до 400 об/мин;

относительное время движения ВЭП в цикле с заданной частотой вращения «вперед» от 0 до 100 %;

относительное время движения ВЭП в цикле с заданной частотой вращения «назад» от 0 до 100 %;

относительное время останова ВЭП в цикле между его движениями «вперед» и «назад».

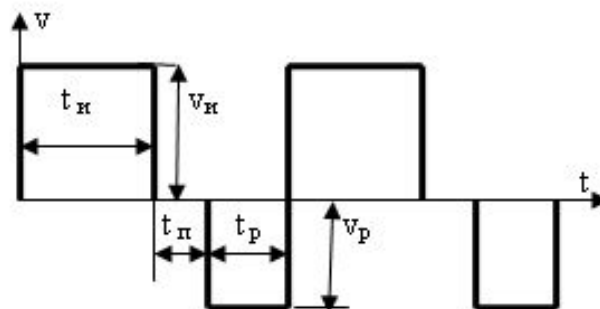


Рис. 6. Идеализированный графический алгоритм импульсной подачи электродной проволоки

Для обеспечения широкого диапазона регулирования частоты вращения и точности ее поддержания в ВЭП введена обратная связь от датчика частоты вращения (ДС). Для повышения помехозащищенности и надежности работы ВЭП в непосредственной близости от проведения сварочных работ, характеризующихся высоким уровнем помех, в качестве ДС использован инкрементальный магнитный энкодер. Обратная связь по частоте вращения поступает на вход ПИ-РС, на выходе которого формируется сигнал задания тока « i_{ref} » и задание на направление вращения ротора «Dir» ВЭП.

Рассмотренный электропривод прошёл весь комплекс испытаний, он установлен в ряде конструкций сварочного оборудования: в системах подачи электродной проволоки в автоматах и полуавтоматах, в том числе импульсной, в системах точного координатного перемещения в автоматах для подводной сварки с позиционированием с помощью датчиков положения ротора и в ряде других. В настоящее время это направление успешно развивается.

ВЫВОДЫ

1. Отмечается тенденция к применению в сварочном оборудовании электроприводов, активно влияющих на технологию автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом.

2. Новые разработки сварочного оборудования с использованием импульсных технологий, в частности импульсной пода-

чи электродной проволоки и могут базироваться на двигателях с дискретизацией частоты вращения – шаговых и вентильных.

3. Получение полного эффекта, включая энергосбережение, от использования современных шаговых и вентильных электроприводов в сварочном оборудовании возможно при рациональном выборе габаритных характеристик электродвигателя и структуры регулятора.

Список использованной литературы

1. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков [Текст] / Б. Е. Патон // Сварка и родственные технологии – в 21 век : сб. тр. междунар. конф. – К., – 1998. – С. 5 – 12.

2. Лебедев В. А. Направления совершенствования вспомогательного оборудования для сварочного производства [Текст] / [В. А. Лебедев, В. И. Лендел, И. В. Лендел и др.] // Автомат. сварка. – 2010. – № 11. – С. 40 – 43.

3. Новые высокопроизводительные технологии сварки фирмы "Фрониус" [Текст] // Автомат. сварка. – 2004. – № 7 – С. 39 – 46.

4. Shklovski J. Natural mode constant power source for manual arc welding [Text] / J. Shklovski, K. Janson, T. Sakkos // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2012. – 18 (9). – P. 31 – 34.
DOI : 10.5755/j01.eee.18.9.2801.

5. Wang C. a. b. Study on dynamic characteristics of inverter arc welding power supply based on double-loop control [Text] / C. a. b. Wang, Z. A. Wang, Q. b. Xu // 6-th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2009 IEEE, IPEMC'09, art. no. 5157646. – 2009. – P. 1609 – 1612.
URL : <http://libgen.org/scimag3/10.1109/IPEMC.2009.5157646.pdf>.

6. Малинин В. И. Показатель массы и материалоемкость электроприводов [Текст] / В. И. Малинин, Г. А. Малинин, Л. И. Персов // Электротехническая промышленность. – М. : Сер. «Электропривод». – 1983. – Вып. 4. – С. 21 – 24.

7. Ланкин Ю. Н. Управление бездатчиковыми приводами постоянного тока сварочных установок [Текст] / Ю. Н. Ланкин,

В. Ф. Семькин, Л. Ф. Суший // Автомат. сварка. – 2010. – № 3. – С. 30 – 35.

8. Лебедев В. А. Полуавтоматы для сварки и наплавки типа ПШ 107 [Текст] / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак // Автомат. сварка. – 1998. – № 7. – С. 38 – 42.

9. Лебедев В. А. Современные вентильные электроприводы в системах механизированного сварочного оборудования [Текст] / В. А. Лебедев, В. В. Рымша, И. Н. Радимов // Электромашинобудовання та Электрообладнання. – К. : Техніка – 2009. – Вип. 74. – С. 22 – 24.

10. Ueyama T. Trend in developments in arcwelding equipment [Text] / T. Ueyama // Journal of the Vacuum Society of Japan. – 2012. – 55 (11) – P. 493 – 498.
DOI : 10.3131/jvsj2.55.493.

Получено 25.06.2013

References

1. Paton B. E. Welding Problems at the Turn of the Century [Text] / B. E. Paton // Welding and Related Technologies in the 21-st Century: Fri. tr. International Conference. – Kyiv, – 1998. – P. 5 – 12 [in Ukrainian].

2. Lebedev V. A. Directions for Auxiliary Equipment for Welding [Text] / [V. A. Lebedev, V. I. Lengyel, I. V. Lengyel and others] // Automatic Welding. – 2010. – № 11. – P. 40 – 43 [in Russian].

3. New High Performance Welding Technology Company "Fronius" [Text] // Automatic Welding. – 2004. – № 7 – P. 39 – 46 [in Russian].

4. Shklovski J. Natural Mode Constant Power Source for Manual arc Welding [Text] / J. Shklovski, K. Janson, T. Sakkos // Elektronika ir Elektrotechnika. – 2012. – 18 (9). – P. 31 – 34 [in English].
DOI : 10.5755/j01.eee.18.9.2801.

5. Wang C. a. b. Study on Dynamic Characteristics of Inverter arc Welding Power Supply Based on Double-loop Control [Text] / C. a. B. Wang, Z. A. Wang, Q. B. Xu // 6-th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2009 IEEE, IPEMC '09, art. no. 5157646. – 2009. – P. 1609 – 1612 [in English].

URL : <http://libgen.org/scimag3/10.1109/IPEMC.2009.5157646.pdf>.

6. Malinin V. I. Mass Index and Materialoemkost Drives [Text] / V. I. Malinin, G. A. Malinin, L. I. Persians // *Electrical industry*. – Moscow : Ser. Electric Drive. – 1983. – Iss. 4. – P. 21 – 24 [in Russian].

7. Lankin Yu. N. Sensorless Control of Drives DC Welding Machines [Text] / Yu. N. Lankin, V. F. Semykin, L. F. Sushy // *Automatic Welding at that*. – 2010. – № 3. – P. 30 – 35 [in Russian].

8. Lebedev V. A. Semi-automatic Welding and Building-type PN 107 [Text] / V. A. Lebedev, V. G. Pichak // *Automatic Welding*. – 1998. – № 7. – P. 38 – 42 [in Russian].

9. Lebedev V. A. Modern Valve Actuators in Mechanical Systemsted and Welding Equipment [Text] / V. A. Lebedev, V. V. Rymsha, I. N. Radimov // *Elektromashinobuduvannya and Elektroobladnannya*. – Kyiv : Tehnika. – 2009. – Vip. 74. – P. 22 – 24 [in Russian].

10. Ueyama T. Trend in Developments in Arcwelding Equipment [Text] / T. Ueyama // *Journal of the Vacuum Society of Japan*, – 2012. – 55 (11) – P. 493 – 498 [in English].

DOI : 10.3131/jvsj2.55.493.



Лебедев Владимир
Александрович,
д-р техн. наук Института
электросварки им.
Е.О.Патона НАН
Украины.
E-mail:
lebedevvladimir@ukr.net