

УДК 621. 791. 754. 264
DOI: 10.12737/

В.А. Лебедев, д.т.н.,
(Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11),
О.А. Козырко, инженер, **А.В. Исаков**, инженер,
А.Г. Чикал, инженер,
(ДМТ Российские морские технологии, г. Санкт-Петербург),
А.Ф. Галь, к.т.н., **С.В. Драган**, к.т.н.,
(Национальный университет кораблестроения,
54025, г. Николаев, просп. Героев Сталинграда, 9)
E-mail: office@paton.kiev.ua, dragan.welding@gmail.com

Выбор привода для управляемых механических колебаний изделия в технологии дуговой сварки и наплавки с импульсными воздействиями

Проведен сравнительный анализ приводов применительно к технологии дуговой сварки и наплавки с управляемыми импульсными воздействиями на изделие. Обоснованы критерии выбора типа привода для управляемых импульсных колебаний изделия и перспективность применения приводов на основе электромеханических актуаторов.

Ключевые слова: сварка; наплавка; изделие; импульсные воздействия; привод; выбор.

V.A. Lebedev, D. Eng.,
(Paton Institute of Electric Welding of NAS of Ukraine, 11, Bozhenko Str, Kiev-150, 03680)
O.A. Kozyrko, Engineer,
A.V. Isakov, Engineer,
A.G. Chikal, Engineer,
(DMT Russian Marine Techniques, Saint-Petersburg),
A.F. Gal, Can. Eng.,
S.V. Dragan, Can. Eng
(National Center of Shipbuilding, 9, Stalingrad Heroes Avenue, Nikolayev, 54025)

Drive choice for product controlled mechanical oscillations in technology of arc welding and welding deposition with pulse impacts

A comparative analysis of drives is carried out in conformity with the technology of arc welding and welding deposition with controlled pulse impacts upon a product. The criteria of the choice of a drive type for controlled pulse oscillations of a product and prospects for drives use on the basis of electro-mechanical actuators are substantiated.

Keywords: welding; welding deposition; product; pulse impacts; drive; choice.

Различные методы и способы импульсных воздействий и колебаний в технологии дуговой сварки и наплавки дают существенное улучшение результатов как по характеристикам и свойствам металла, так и по параметрам

сварного шва или наплавленного валика, а в ряде случаев по существенному сокращению энергетических и материальных ресурсов, повышению производительности технологического процесса.

Применение импульсных воздействий и колебаний, которые зачастую можно также рассматривать как импульсные, достаточно известно и описано в технической литературе [1] в части их применения в различных узлах механизированного и автоматического оборудования для дуговой сварки и наплавки. К их числу, например, относится импульсная подача электродной проволоки, колебательные движения сварочной головки для расширения зоны формирования наплавленного валика или заполнения разделки при сварке.

Для этих способов сварки и наплавки разработано достаточно эффективное оборудование с обоснованным выбором видов и характеристик приводных систем как основных узлов. Кроме этого, задача конструирования в некоторой степени облегчается определёнными ограничениями по массо-габаритным характеристикам узлов сварочно-наплавочного оборудования.

Менее известны способы наплавки с применением импульсных колебаний сварочной ванны [2], которые оказывают влияние на параметры ее кристаллизации и обуславливают прочностные, ресурсные и другие качества сварных соединений и наплавленных слоев. При этом имеются достаточно перспективные результаты при реализации процесса с управляемыми по параметрам колебаниями.

В работе [3] представлен новый способ дуговой сварки и наплавки изделий в форме тел вращения, повышающий эффективность технологического процесса путем импульсных механических колебаний изделия с управляемой частотой, амплитудой и скважностью.

Исследуются технологические возможности различного рода колебаний (поперечные, продольные, комбинированные) с управляемыми параметрами при наплавке плоских изделий [4]. Есть достаточно серьезные основания в перспективности промышленного применения этого способа. Объекты применения – штамповый инструмент, рабочие органы сельскохозяйственной и некоторых видов землеройной техники и другое, где необходимо придание узлам необходимых служебных характеристик при минимальных затратах и простоте реализации.

Получение необходимых усилий в перемещениях в технологии дуговой сварки и наплавки с управляемыми колебаниями изделия является непростой технической задачей и требует решений по интегрированию в единой установке нескольких систем различной архитектуры и возможно с различными энерго-

носителями.

Энергосиловым устройством для создания управляемых колебательных движений изделия является привод, состоящий из источника энергии, передаточного механизма и системы управления.

Цель настоящей работы заключается в анализе существующих известных типов приводов и определении наиболее эффективных из них в соответствии с условиями требуемых импульсных колебаний изделия.

Анализ технической литературы, а также других технических материалов позволил выделить основные известные и используемые типы приводов в области механизмов различных назначений.

В зависимости от вида используемой энергии приводы подразделяют на электромеханические, гидравлические и пневматические.

Очевидно, что вид энергоносителя обуславливает преимущества и недостатки привода по различным критериям, обобщённо представленных в табл. 1 [5]. Рассмотрим основные типы приводов.

К числу электроприводов, прежде всего, следует отнести широко используемые электрические двигатели постоянного и переменного тока.

Наиболее применимыми в сварочном оборудовании являются коллекторные двигатели постоянного тока, в частности с постоянными магнитами. Такие двигатели, обладая большим пусковым моментом, имеют относительно небольшую стоимость в изготовлении и относительно просты в управлении.

Существенным преимуществом коллекторных электродвигателей является широкий диапазон используемых напряжений питания, что очень важно для сварочного оборудования, работающего в самых разных условиях. Основным конструктивным недостатком данного типа привода является наличие щеток, которые снижают характеристики надёжности двигателя. В частности, это касается коммутации повышенных напряжений, подаваемых на обмотку якоря для реализации импульсных ускорений.

Последний факт мало описан в технической литературе и требует отдельных исследований, хотя с отрицательным влиянием этого фактора авторам приходилось сталкиваться при осуществлении управляемых импульсных подач электродной проволоки, что, в свою очередь, вынудило решать задачи с выбором альтернативных приводных систем.

Двигатели переменного тока являются са-

мыми дешевыми в изготовлении, эксплуатации и подразделяются на асинхронные и синхронные.

Нерегулируемые асинхронные электроприводы весьма сложно адаптировать для работы в системах колебательного движения с управляемыми параметрами. Перспективными в этом случае являются частотно управляемые

асинхронные электроприводы. Сдерживает их использование достаточно высокая стоимость системы управления и, что очень важно для сварочно-наплавочного оборудования, ограничение в выборе напряжения питания для работы в условиях повышенной опасности, где преимущественно и работает сварочно-наплавочное оборудование.

1. Оценка приводов для управляемых механических колебаний изделия в технологии дуговой сварки и наплавки

Критерий	Электроприводы	Гидроприводы	Пнеumoприводы
Затраты на энергоснабжение	Низкие	Высокие	Очень высокие
Передача энергии	На неограниченное расстояние со скоростью света 300 000 км/с	На расстояние до 100 м со скоростью до 6 м/с	На расстояние до 1 000 м со скоростью до 40 м/с
Накопление энергии	Затруднено	Ограничено	Легко осуществимо
Линейное перемещение	Затруднительно, дорого, малые усилия	Просто, большие усилия, хорошее регулирование скорости	Просто, небольшие усилия, скорость зависит от нагрузки
Вращательное движение	Просто, высокая мощность	Просто, высокий крутящий момент, невысокая частота вращения, широкий диапазон регулирования	Просто, невысокий крутящий момент, высокая частота вращения
Рабочая скорость исполнительного механизма	Зависит от конкретных условий	До 1,5 м/с	1,5 м/с и выше
Усилия	Большие усилия, не допускаются перегрузки	Усилия до 3 000 кН и выше, защищены от перегрузок	Усилия до 30 кН, защищены от перегрузок
Точность позиционирования	±1 мкм и выше	До ±1 мкм	До 0,1 мм
Жесткость	Высокая (используются механические промежуточные элементы)	Высокая (гидравлические масла практически несжимаемы)	Низкая (воздух сжимаем)
Утечки	Нет	Создают загрязнения	Нет вреда, кроме потерь энергии
Влияние окружающей среды	Нечувствительны к изменению температуры	Чувствительны к изменениям температуры, пожароопасны при наличии утечек	Практически нечувствительны к изменениям температуры, взрывобезопасны

В синхронных двигателях вращение ротора осуществляется синхронно с вращением магнитного поля статора, а в асинхронных двигателях такой зависимости нет, и магнитное поле может вращаться быстрее ротора.

Для эффективного технического решения задач дуговой сварки и наплавки с управляемыми параметрами механических импульсных колебаний изделия может представлять интерес один из видов синхронного двигателя – шаговый двигатель. Такой двигатель позволяет осуществлять вращение ротора на строго заданный угол без использования датчика угла поворота с достаточно большими крутящими моментами и точным позиционированием вала.

Авторами уже разработано достаточно большое количество различных видов сварочного оборудования различного назначения, чтобы сделать вывод о целесообразности и эффективности применения в нём комплектных электроприводов с шаговыми электродвигателями. Здесь можно отметить малые габариты электродвигателей, надёжность, помехозащищённость и др.

Бесколлекторные (вентильные) двигатели, имеющие высокие динамические характеристики, можно рассматривать как весьма перспективные для реализации импульсного движения с управляемыми характеристиками. Однако использование дорогостоящих редкоземельных магнитов в конструкции вентиль-

ных двигателей делают их достаточно дорогими, а стоимость системы управления характеристиками таких двигателей дороже самого электродвигателя. До настоящего времени в ИЭС им. Е.О. Патона создан ряд оборудования с применением вентильных электроприводов, которые пока можно отнести к числу уникальных.

Конструктивно большинство коллекторных электродвигателей обладают высокими значениями частот вращения валов и относительно низкими крутящими моментами, что в значительной степени не соответствует параметрам требуемых импульсных воздействий по скорости и силовым воздействиям, необходимых для колебания наплавливаемых или свариваемых изделий.

Для преодоления этого несоответствия требуется применение механических редукторов, позволяющих преобразовать высокую угловую частоту вращения вала двигателя в более низкую и увеличивать величину вращающего момента.

Существенным недостатком такого технического решения, кроме повышенной материалоемкости, является конструктивный люфт (свободный ход) редуктора, который требует некоторой величины движения передающего элемента механической системы для получения отклика управляемого элемента системы и определяет степень поворота двигателя, которая не приводит к изменениям в управляемой системе и, таким образом, затрудняет управление параметрами механического импульсного воздействия.

Реализация необходимых перемещений возможна с использованием исполнительных механизмов – линейных и поворотных актуаторов.

Линейный актуатор на основе электродвигателей представляет собой систему позиционирования, в основе которой лежит преобразование вращательного момента электродвигателя в поступательное движение штока. Такое устройство может включать в себя двигатель, редуктор, датчик поворота ротора двигателя и концевой выключатель.

Более эффективным устройством привода управляемых импульсных возвратно-поступательных колебаний изделия вдоль его оси можно считать штоковые актуаторы (рис. 1), которые являются наиболее распространенным типом линейных электроприводов.

Подвижным элементом в этих актуаторах служит шток – телескопическая трубка, чаще

всего круглого сечения. В сложенном состоянии шток находится внутри корпуса, а при необходимости выдвигается из него. Механический привод осуществляется винтовой передачей скольжения или качения. Один из концов винта соединен со штоком, а на другом установлена гайка, которую вращает двигатель через редуктор. Это может быть коллекторный двигатель постоянного тока с напряжением питания 12/24 В или асинхронный двигатель переменного тока на 220/380 В.



Рис. 1. Штоковый актуатор

Максимальное усилие, которое развивают линейные актуаторы, может составлять от нескольких сотен до десятков тысяч ньютонов. Скорость перемещения штока может достигать нескольких десятков сантиметров в секунду. Длина хода ограничивается только прочностью конструкции актуатора.

При этом любой меньший ход может быть установлен с помощью опциональных регулируемых концевых выключателей. Среди опций также герконы – беконтактные выключатели, датчики Холла и потенциометры, которые позволяют считывать данные о положении штока и программируемо управлять параметрами его хода, включая частоту, амплитуду и скважность импульса.

Электромеханические актуаторы также позволяют эффективно осуществлять и круговые высокочастотные возвратно-поступательные перемещения с управляемыми параметрами импульсных колебаний. Поэтому использование электромеханических актуаторов позволяет в полном объеме обеспечить необходимые технологические процессы, а также научные исследования в области дуговой сварки и наплавки с управляемыми импульсными колебаниями изделия и, по

мнению авторов, является одним из наиболее эффективных технических решений по выбору привода для обеспечения управляемых колебательных движений практически любого характера. Можно констатировать, что актуаторы □ это весьма перспективное направление в создании колебательных систем для применения в системах сварочного оборудования.

В гидравлических исполнительных механизмах происходит преобразование гидравлической энергии в механическую работу, которая позволяет осуществлять все виды движения без использования каких-либо передаточных устройств. При этом задачи бесступенчатого регулирования скорости, торможения и защиты системы от перегрузки решаются относительно просто.

Следует отметить, что в некоторых случаях в качестве приводных элементов можно применять электромагниты, и такой опыт есть. Однако сфера их применения весьма ограничена: требуется разработка специальных электромагнитов, а точное управление ими достаточно сложная задача.

К гидравлическим приводам относятся гидравлические насосы различных типов (шестеренные, пластинчатые, поршневые, винтовые).

Использование гидроприводов целесообразно в системах, где требуются большие механические усилия.

К пневматическим приводам относятся пневмоцилиндры и пневматические двигатели. В качестве рабочего тела в этом виде приводов выступает атмосферный воздух, который по причине отсутствия вязкости позволяет работать пневматическим двигателям на достаточно большой частоте. Поэтому пневматический привод целесообразно использовать для механизмов возвратно-поступательного движения с большой частотой следования циклов.

Способ дуговой сварки и наплавки с управляемым механическими колебаниями изделия предполагает создание технологических перемещений изделия □ линейных (возвратно-поступательных) и поворотных (возвратно-поворотных) перемещений.

В сварочном оборудовании для рассматриваемых в настоящей работе движений пневматические и гидравлические системы практически не применяются, хотя схемы с такими решениями возможны.

Различают три основных типа гидравлических исполнительных механизмов:

- линейные гидродвигатели – гидравличе-

ские цилиндры;

- поворотные гидродвигатели;
- гидродвигатели вращательного движения – гидромоторы.

Пневматические исполнительные механизмы также могут реализовывать все три вида движения:

- линейное – пневматические цилиндры;
- поворотное – пневмодвигатели;
- вращательное – пневмомоторы.

Система привода на основе пневмоавтоматики позволяет в полном объеме решить техническую задачу управляемых импульсных механических колебаний изделия в диапазоне требуемых частот, амплитуд, скважности и усилий без ограничений со следующим рядом значительных преимуществ:

- сжатый воздух перемещается с большой скоростью, что дает возможность получить высокую скорость движения поршня и малое время реверсного переключения;
- пневматические приводы и исполнительные механизмы не боятся перегрузки и поэтому могут нагружаться вплоть до полной остановки;
- сжатый воздух относительно нечувствителен к колебаниям температуры, что гарантирует надежную работу пневмосистем даже в экстремальных условиях;
- воздух имеется в неограниченном количестве, может накапливаться в резервуарах и использоваться по мере необходимости;
- пневмоэлементы просты в производстве и поэтому имеют относительно низкую стоимость.

Существуют также и более экзотические актуаторы:

- пневматический мускул, который, по сути, является пневмодвигателем и в отличие от пневмоцилиндров совершает линейное движение посредством расширения в боковых направлениях;
- электроактивные полимеры, которые способны изменять свой размер и форму под воздействием электрического поля.

Эти решения имеют огромный потенциал в робототехнике и представляют технологический интерес в формате реализации управляемых импульсных механических воздействий на изделие при дуговой сварке и наплавке.

Приведём примеры разработок систем колебательного движения для изделий различной геометрической формы. На рис.2 представлена установка автоматической дуговой наплавки тел вращения с управляемыми продольными возвратно-поступательными им-

пульсными колебаниями изделия.

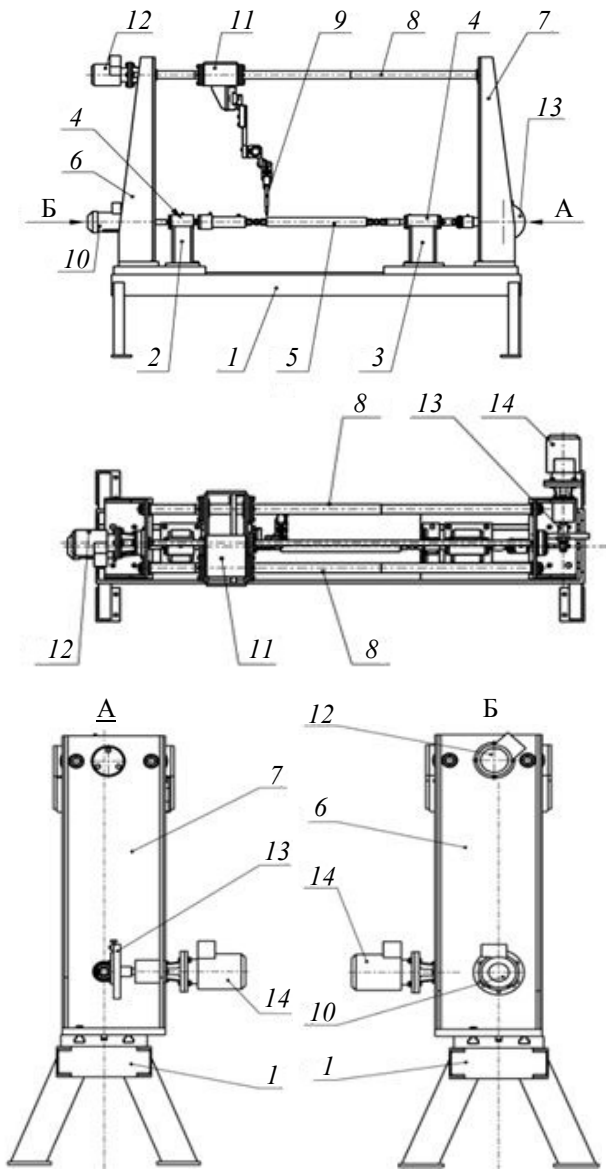


Рис. 2. Установка автоматической дуговой наплавки тел вращения с управляемыми импульсными механическими колебаниями изделия:
 1 – платформа; 2 – левая опора; 3 – правая опора;
 4 – устройство фиксации; 5 – изделие; 6 – левая стойка;
 7 – правая стойка; 8 – направляющая; 9 – сварочная головка; 10 – привод вращения; 11 – механизм с передачей; 12 – привод горизонтально-продольного перемещения; 13 – кривошипно-шатунный механизм; 14 – привод продольных возвратно-поступательных колебаний изделия

Модель установки относится к области машиностроения, в частности к оборудованию для автоматической электродуговой наплавки гребных валов, грузовых валов лебедок различного назначения, реборд колес грузовых железнодорожных вагонов, поверхностей качения крановых колес и др. Выполнять им-

пульсные возвратно-поступательные колебания изделия вдоль оси вращения детали предлагается асинхронным электрическим двигателем при помощи кривошипно-шатунного механизма. Система управления электрическим приводом с кривошипно-шатунным механизмом позволяет создать синусоидальные колебания изделия вдоль его оси с частотой от 0,5 до 15 Гц и амплитудой колебаний до 2,5 мм.

Для наплавки стального вала $\varnothing 50$ мм и длиной 500 мм потребуется асинхронный электродвигатель АИР63А6, IM3001, 180 Вт, 1000 (860) об/мин с частотным управлением. Расчетный крутящий момент на двигателе 0,1 Н·см.

Следует отметить, что недостатком такого технического решения является неудобство управления амплитудой, которое требует каждый раз смены кулачковых элементов, а также невозможность управления формой импульса, включая его скважность.

На рис. 3 представлена установка для наплавки плоских тел с их колебаниями различной формы и в разных направлениях.

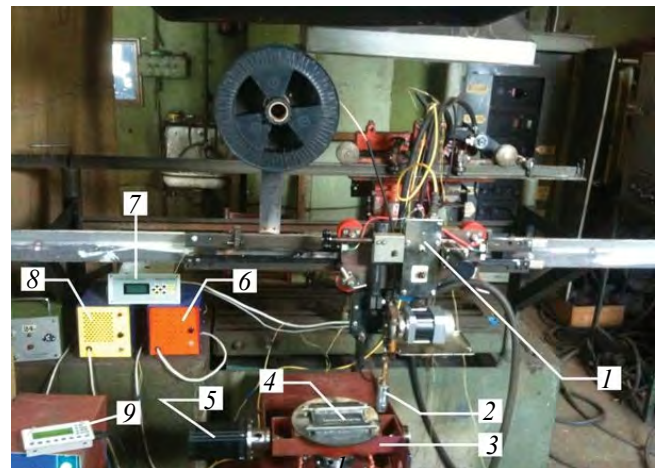


Рис. 3. Установка автоматической дуговой наплавки плоских тел с управляемыми импульсными механическими колебаниями изделия:
 1 – общий пульт управления; 2 – сварочная горелка;
 3 – колеблющаяся платформа; 4 – наплавляемое изделие; 5 – система управления; 6 – блок питания электроприводов; 7 – измеритель параметров колебаний; 8 – блок питания системы управления; 9 – блок формирования задания

Получение высоких результатов оказалось возможным лишь с применением в качестве приводов высокомоментных шаговых и вентильных электродвигателей специальной разработки с компьютеризованными системами управления и регулирования. При этом оказалось возможным создать колебания изделия с

регулируемыми частотами и амплитудами. Точность выполнения колебательных движений обеспечивается, в том числе, и отсутствием промежуточных преобразователей движения.

Представленная установка для колебаний плоских тел используется для наплавки матриц штампового инструмента, рабочих узлов сельскохозяйственной и строительно-дорожной техники относительно небольшой массы (до 20...25 кг) с частотами порядка 5...12 Гц.

Важнейшим вопросом разработки систем колебаний изделия при сварке-наплавке является выбор оптимальной мощности привода.

В практике авторов основными используемыми приводами были приводы на основе различных типов электродвигателей, что и обусловило выбор методики расчёта их силовых характеристик.

Рассматриваемые электроприводы характеризуются периодическим изменением момента нагрузки. На рис. 4 представлен момент сопротивления при симметричных колебаниях наплавляемых плоских изделий (матрицы штампового инструмента).

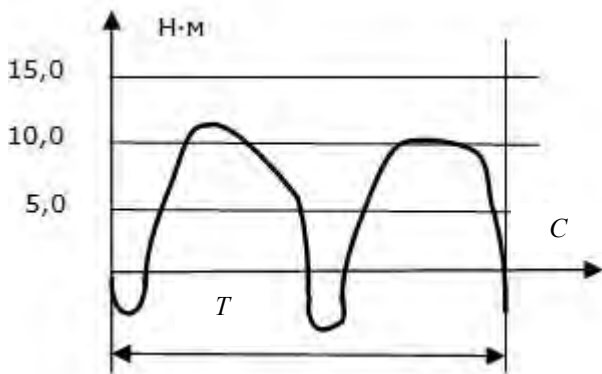


Рис. 4. Оциллограмма изменения момента сопротивления матрицы при её наплавке с колебаниями относительно направления перемещения дуги ($T = 0,1$ с — период колебаний)

Можно заметить, что вследствие ряда факторов сварочного производства, рассматриваемые колебательные движения, как правило, подчинены статистическим закономерностям и могут быть описаны детерминированными временными зависимостями достаточно приближённо.

Изменение момента двигателя $m_d(t)$ при определённом моменте сопротивления $m_c(t)$ можно описать уравнением движения жёсткой механической системы [6], которым является устройство колебаний наплавляемого изделия:

$$m_d(t) = m_c(t) + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где J , ω — общий момент инерции колебательной системы и круговая частота колебательного движения соответственно.

В связи с тем, что точность выбора оптимального по моменту электродвигателя оказывает непосредственное влияние на его цену и массо-габаритные характеристики оборудования в целом, есть необходимость в достаточно точном учёте составляющих выражения (1). Функция $m_c(t)$, являющаяся, очевидно, периодической при разложении в ряд Фурье по синусам, может быть записана в следующем виде:

$$m_c(t) = M_{c0} + M_{c1} \sin(\omega_c t + \varphi_1) + M_{c2} \sin(\omega_c + \varphi_2) + \dots, \quad (2)$$

где M_{c0} — постоянная составляющая момента; M_{c1} , M_{c2} — амплитуды других составляющих момента; ω_c — круговая частота основной гармоники момента сопротивления; φ_1 , φ_2 — фазовые углы.

Аналогично определяется $m_d(t)$:

$$m_d(t) = M_0 + M_1 \sin(\omega_c t + \varphi_1 + \psi_1) + \sin(2\omega_c t + \varphi_2 + \psi_2) + \dots, \quad (3)$$

где составляющие момента электродвигателя могут быть определены как $M_0 = M_{c0}$;

$$M_n = M_{cn} \frac{1}{\sqrt{1 + (n\omega_c T_m)^2}},$$

где $\psi_n = -\arctg n\omega_c T_m$; $n = 1, 2, 3, \dots$;

$$T_m = \frac{J\Omega_0}{M_k}$$

— механическая постоянная времени привода, (Ω_0 — угловая частота вращения холостого хода двигателя; M_k — момент короткого замыкания).

Из выражений (2), (3) следует важный вывод: с увеличением величины $m\omega_c T_c$ влияние импульсного характера движения привода снижается, при этом также снижается быстродействие системы. В этом случае необходимо искать оптимальное техническое решение, что выполняется, в том числе, при синтезе регулятора электропривода.

Эти заключения совместно с выработанными авторами методиками, учитывающими работу регуляторов [7], можно принять за осно-

ву выбора промышленно выпускаемого электродвигателя и настройке регулятора к нему.

Несколько другой подход необходим в случае применения новых разработок электродвигателей, в частности, вентильного типа [8].

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

$$\varepsilon = \frac{M}{J_R}, \quad (4)$$

где J_R – момент инерции ротора.

Момент электродвигателя зависит от геометрических размеров ротора – диаметра D и длины активной части L :

$$M = \frac{D^2 L}{C_A}, \quad (5)$$

где C_A – машинная постоянная Арнольда.

Момент инерции ротора, как цилиндрического тела с однородной массой, рассчитывается по формуле

$$J_R = \frac{\gamma \pi}{32 D^4 L}. \quad (6)$$

Максимальное теоретическое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{32}{C_A \gamma \pi D^2}. \quad (7)$$

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 сварочного оборудования.

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 с механизмами колебаний изделия типа штампового инструмента и обеспечивать требуемый диапазон частот

отработки импульсных характеристик при достаточных значениях момента на валу электродвигателя (не менее 100 Н·м).

Выводы

1. Управляемые импульсные механические колебания изделия при дуговой сварке и наплавке могут быть достигнуты различными средствами и при выборе типа исполнения привода необходимо принимать во внимание следующий ряд основных критериев: вид движения – поворотное или линейное; направление движения – реверсивное или нереверсивное; скорость вращения (угловая) или перемещения (линейная); величина (амплитуда) поворотного и линейного перемещений; частота и скважность импульса; крутящий момент или линейное усилие; стоимость технического решения; надёжность.

2. В настоящее время для решения практических задач сварки и наплавки с управляемыми колебаниями изделия предпочтение следует отдавать современным конструкциям электроприводов, включая вентильные двигатели и различные системы актуаторов, хотя в некоторых случаях эффективными могут быть и другие приводы, в том числе пневматические и гидравлические.

3. Выбор оптимальных силовых характеристик электродвигателя и параметров системы управления должен базироваться на тщательном изучении динамики движения колебательной системы. При этом, если имеется возможность новой разработки электродвигателя, например вентильного, необходимо учитывать особенности колеблющейся системы ещё на стадии разработки электродвигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев, В.А., Сараев, Ю.Н., Драган, С.В., Козырко, О.А. Импульсные алгоритмы функционирования в механизированном оборудовании для дуговой сварки (состояние и перспективы) // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. № 4. С. 10-20.
2. Лендел, И.В. Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки // Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2015. № 9(51). С. 20-25.
3. Лебедев, В.О., Козирко, О.А., Драган, С.В., Галь, А.Ф. Спосіб дугового зварювання або наплавлення. Патент України на корисну модель № 101999. Публікація відомостей 12.10.2015. Бюл. № 19.
4. Лебедев, В.О., Максимов, С.Ю., Лендел, И.В. Універсальний маніпулятор з можливістю низькочастотної

вібраційної обробки зварювальної ванни. Патент України на корисну модель № 80823. Публікація відомостей 10.06.2013, Бюл. № 11.

5. Наземцев, А.С., Рыбальченко, Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы / М.: Форум, 2007. – 304 с.

6. Doncker R. Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control. Новейшие электроприводы. Анализ, проектирование, управление: / R. Doncker: Springer, 2011. - 453 с.

7. Лебедев, В.А. Повышение эффективности сварочного оборудования на основе исследования импульсных воздействий в системе подачи электродной проволоки // Дисс. на соискание учёной степени докт. техн. наук. Киев. 2009 г.

8. Лебедев, В.А., Гулый, М. В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки // Мехатроника. Автоматизация, Управление. 2014. № 6. С. 47-51.

REFERENCES

1. Lebedev, V.A., Sarayev, Yu.N., Dragan, S.V., Kozirko, O.A. Pulse algorithms of functioning in mechanized equipment for arc welding (state and prospects) // *Blank Productions in Mechanical Engineering*. 2015 . № 4. pp. 10-20.

2. Lebedev, V.A., Kozirko, O.A. Methods and devices for control of deposited metal crystallization at arc welding (review and analysis) // *High Technologies in Mechanical Engineering (Blank Productions in Mechanical Engineering)* 2015. № 9. pp. 8-16.

3. Lebedev, V.O., Kozirko, O.A., Dragan, S.V., Gal, A.F. Method of arc welding. *Patent of Ukraine for Utility Model № 101999*. Bulletin of Publications 12.10.2015. Bull. № 19.

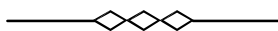
4. Lebedev, V.O., Maximov, S.Yu., Lendel, I.V. Universal model with low-frequency vibration treatment of molten metal. *Patent of Ukraine for Utility Model № 80823*. Bulletin of Publications 10.06.2013, Bull. № 11.

5. Nazemtsev, A.S., Rybalchenko, D.E. Pneumatic and hydraulic drives and systems. Part 2. *Hydraulic Drives and Systems* / М.: Forum, 2007. – pp. 304.

6. Doncker R. *Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control*: / R. Doncker: Springer, 2011. – pp. 453.

7. Lebedev, V.A. *Welding Equipment Efficiency Increase Based on Pulse Impacts Investigations in System of Electrode Wire Feed* // Thesis for competition of D. Eng. degree. Kiev. 2009 г.

Рецензент д.т.н. А.Ю. Албагачиев



Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научноёмкие технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru