

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Д. В. Семененко¹, М.Л. Хейфец¹, В.И. Бородавко¹,
А.М. Пынькин¹, Н.Л. Грецкий¹, К.А. Антончик²

¹ГНПО «Центр» НАН Беларуси

²СОАО «Коммунарка»

Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена структура технологического комплекса послойного синтеза изделий. Проведен анализ применяемых композитов из строительных смесей и технологий их приготовления, позволяющих создавать в аддитивном производстве крупногабаритные конструкции широкого применения. Показана компоновка технологического комплекса и рассмотрены его основные механизмы. Проведен выбор приводов для механизмов перемещения технологического комплекса послойного синтеза изделий.

Ключевые слова: технологического комплекс, послойный синтез, 3D-печать, 3D-принтер

TECHNOLOGICAL COMPLEX OF ADDITIVE PRODUCTION OF PRODUCTS FROM COMPOSITE MATERIALS BASED ON CONSTRUCTION MIXTURES

D.V. Semenenko¹, M.L. Heifetz¹, V.I. Borodavko¹,
A.M. Pynkin¹, N.L. Gretskiy¹, K.A. Antonchik²

¹GNPO «Center» of the National Academy of Sciences of Belarus

²COAO «Kommunarka» Minsk

Republic of Belarus

The structure of the technological complex for layered synthesis of products is considered. The analysis of applied composites from building mixtures and technologies of their preparation, allowing to create in additive manufacture large-sized designs of wide application is carried out. The layout of the technological complex is shown and its basic mechanisms are considered. A selection of drives for the mechanisms of moving the technological complex of layered synthesis of products was made.

Keywords: technological complex, layer-by-layer synthesis, 3D-printing, 3D-printer

E-mail: mlk-z@mail.ru

Технологические комплексы послойного синтеза изделий из композиционных материалов многочисленны и разнообразны, представляют собой средства технического оснащения, которые обеспечивают эффективное и бесперебойное производство изделий, соблюдение условий технологического процесса, выполнение вспомогательных производственных мероприятий.

Особый интерес представляют технологические комплексы послойного синтеза для производства строительных конструкций из неметаллических композитов, отличающиеся с учетом специфики выпускаемых изделий, широким многообразием предложенных и успешно реализуемых схем.

Материалы расходуемых смесей. Среди применяемых неметаллических композитов в аддитивном производстве послойного синтеза строительных конструкций наибольшее распространение получили строительные смеси на основе цемента быстротвердеющих бетонов и строительных растворов. Для получения необходимых технологических свойств, применяемых материалов требуется одновременное использование различных по своему составу и назначению химических добавок, обеспечивающих корректировку прочности, пластичности, жесткости, плотности и других свойств рабочей смеси. Согласно ГОСТ 24 211 химические добавки для бетонов и строительных растворов в зависимости от их назначения классифицируют на следующие группы[1]:

- добавки-регуляторы реологических свойств бетонных и растворных смесей, к которым относятся суперпластификаторы, пластифицирующие и стабилизирующие добавки;

- добавки-регуляторы схватывания цементного теста и твердения бетона и строительного раствора, включающие замедлители схватывания и твердения, ускорители схватывания и твердения, противоморозные добавки;

- добавки-регуляторы структуры бетона и раствора, к которым относятся пластифицирующе-воздухововлекающие, воздухововлекающие, пено- и газообразующие, уплотняющие и гидрофобизирующие;

- добавки, улучшающие качество бетона и строительного раствора: полимерные; повышающие водонепроницаемость, морозостойкость, воздухо- и газонепроницаемость бетона и раствора; улучшающие коррозионную стойкость стали, бетона и раствора и придающие им бактерицидные свойства;

- тонкодисперсные минеральные добавки и добавки-заменители части цемента в бетонах и растворах, минеральные добавки-наполнители в бетонах и растворах, а также минеральные пластифицирующие добавки и всевозможные комплексные добавки различного назначения.

Введение в состав бетона или строительного раствора химических добавок в виде отдельных компонентов или их композиции позволяет повысить показатели материала [2]. Для обеспечения соответствия строительных растворов требованиям аддитивного процесса формования они должны характеризоваться высокой скоростью схватывания и твердения цементного теста, повышенной подвижностью и низким водопотреблением.

Как правило, химические добавки для бетона и строительных растворов приготавливаются с водой затворения [2-3]. При этом под оптимальной дозировкой добавки понимается ее минимальное количество, при котором достигается максимальный эффект от ее использования, оцениваемый по критериям эффективности согласно ГОСТ 24211. Например, критерий эффективности для ускорителей схватывания и твердения определяет прирост прочности не менее чем на 20% через сутки нормального твердения.

Действие ускорителей схватывания и твердения бетонов и строительных растворов заключается, главным образом, в уменьшении электрических зарядов частиц цемента, что позволяет активизировать процесс гидратации трехкальциевого алюмината в нем и уплотнить структуру цементного камня в ранние сроки ее формирования [3].

Оптимальный расход ускорителей схватывания и твердения бетонов при приготовлении бетонов и строительных растворов составляет 1÷3% от массы сухого цемента и зависит от химического состава последнего, свойств наполнителей, требований к готовым изделиям, наличия в них арматуры и др.

Структура технологического комплекса. Современный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов должен отличаться высокой степенью автоматизации. Поэтому, высокие требования к надежности технологического оборудования обусловлены тем, что в большинстве случаев отказы в работе приводят к нарушению технологического процесса, браку и простоям производства. Для поддержания качества и увеличения количества производимой продукции, требуется разработка технологии и оборудования, позволяющего решать широкий диапазон производственных задач.

Предложен порталный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов (рис.1). Он состоит из порталной рамы 1, механизмов перемещения 2,3 и дозатора, который представляет собой конструкцию, состоящую из емкости 4 для приготовленного композитного состава (смеси), подающего устройства 5 и рабочего органа 6.

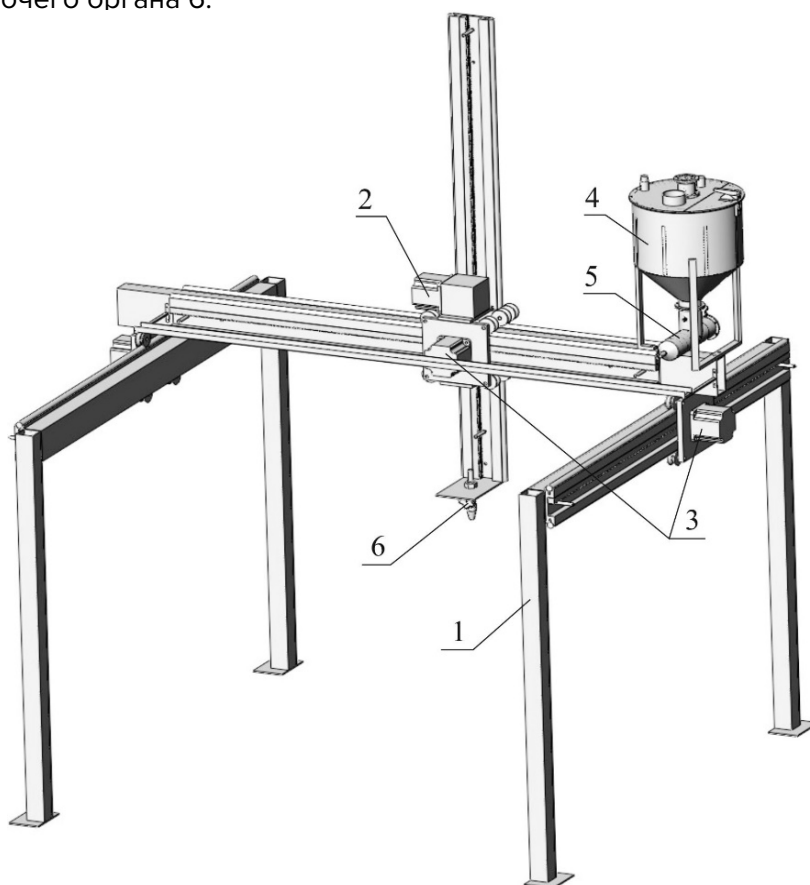


Рис.1. Портальный технологический комплекс послойного синтеза изделий:
1 – порталная рама; 2,3 – механизмы перемещения; 4 – дозатор;
5 – подающее устройство; 6 – рабочий орган

Объем смеси в емкости контролируется датчиками и пополняется по трубе из резервуара насосом. При опускании уровня смеси ниже допустимого открывается клапан и включается насос подачи, после достижения верхнего уровня насос отключается и закрывается клапан. Внутри емкости расположена лопастная мешалка необходимая для поддержания однородности смеси, поскольку однородность массы является крайне важным обстоятельством для точной дозировки и качества получаемого изделия.

Рабочий орган представляет собой сопло для подачи композитного материала с клапаном. Клапан рабочего органа открывается, когда привод горизонтального перемещения совершает движение по рабочей траектории, при ее окончании клапан закрывается и выдавливание массы прекращается, а горизонтальный привод продолжает движение до следующей заданной траектории. Таким образом, оборудованию ставится задача точного дозирования массы, а также точного позиционирования на заданной траектории.

Механизмы перемещения и автоматизированный привод, технологического комплекса. В качестве механизмов перемещения технологического комплекса применяются приводы горизонтального и вертикального движения рабочего органа. Привод механизмов перемещения выполнен в виде зубчатой рейки, тем самым проскальзывание сведено к минимуму.

Привод вертикального движения осуществляет позиционирование рабочего органа относительно рабочей точки, т.е. там, где осуществляется начало подачи смеси, и подъем к исходному положению по завершению печати слоя. Положение вертикальной составляющей рабочего органа постоянно в течении печати каждого слоя и контролируется датчиком положения двигателя. В связи с широким ассортиментом используемых композитных материалов толщина печатаемого слоя различна, а следовательно, положение рабочей точки разное, что учитывается при подготовке управляющей программы.

Привод горизонтального движения позиционирует рабочий орган в горизонтальной плоскости по заданной траектории печатаемого слоя, при этом открывается и закрывается клапан подачи смеси на заданных участках траектории, а привод подающего устройства осуществляет требуемое дозирование смеси. Движение данного привода контролируется датчиком положения и согласуется с управляющей программой.

Рассмотрим электропривод осуществляющий требуемое позиционирование в горизонтальной плоскости рабочего органа подачи смеси и построим имитационную модель электропривода.

Основными требованиями, предъявляемыми композиционным электроприводам, являются:

- точность позиционирования, определяемая обычно как полоса расстояний по обе стороны от заданной позиции, в которой должен быть остановлен исполнительный орган;
- стабильность, оцениваемая как повторяемость результатов по точности при многократной обработке одного и того же заданного перемещения;
- производительность, определяемая временем обработки заданного перемещения и временем позиционирования и экономичность, оцениваемая капитальными и эксплуатационными затратами.

Стабильность позиционирования определяется вероятностным характером процессов, имеющих место в электроприводе, датчиках и системе управления. Она дает представление об их свойствах при эксплуатации позиционного электропривода с точки зрения точности работы системы по обработке одного и того же перемещения.

Это связано с тем, что позиционный электропривод находится под воздействием возмущений, являющихся случайными функциями. Основными возмущениями являются случайные изменения статического момента нагрузки электропривода и вносимые им случайные изменения параметров кинематических цепей, передающих устройств электропривода и связей датчиков с исполнительным органом или электроприводом. Сюда же относятся случайные изменения моментов инерции, зависящие от загрузки механизма и перемещаемых масс рабочей машины.

Рассматриваемое оборудование выдавливает композиционный материал на траектории движения, таким образом, дополним список требований к приводам тем, что необходимо выдавать определенную порцию вязкой массы, а также не допускать выхода ошибки позиционирования за установленные пределы[4 - 7].

Сравнительный анализ позволяет установить тип двигателя, наиболее полно удовлетворяющий предъявляемым требованиям. Удовлетворяют заявленным требованиям синхронный, асинхронный и шаговый двигатели. Поэтому проанализируем возможность применения приводов на их основе для решения поставленных задач.

В синхронных машинах с постоянными магнитами вместо обмотки возбуждения применяют блок постоянных магнитов, изготовляемый из магнитотвердого материала — кобальтовой стали, а также различных сплавов из алюминия, никеля, железа и кобальта, обладающих большой коэрцитивной силой. Двигатели с постоянными магнитами по сравнению с другими типами синхронных двигателей обладают хорошими энергетическими показателями, повышенной устойчивостью работы в синхронном режиме и высокой стабильностью частоты вращения, также преимуществом использования такого двигателя является плавная и точная установка положения ротора и скорости вращения двигателя, большой диапазон регулирования. Недостатком их является большая стоимость и большая кратность пускового тока, риск размагничивания при высоких значениях тока и температуры, что нередко встречается на практике.

Благодаря простоте, низкой стоимости и высокой надёжности широкое применение получили асинхронные двигатели. Популярность асинхронных двигателей связана с простотой их эксплуатации, дешевизной и надёжностью. Асинхронный электродвигатель, в общем случае обладает высокими техническими показателями, такие как соотношение габаритов и мощности электродвигателя, большой кратностью пускового момента, способности разгоняться и поддерживать управляемость на частотах выше номинальной.

Сравнивая два типа двигателей, отметим высокий КПД обоих, но, как правило, синхронная машина обладает КПД несколько выше. Также синхронный двигатель обладает большей перегрузочной способностью и другими электромеханическими характеристиками. Касаясь технологических требований к установке отметим также, что система с синхронным электродвигателем обладает меньшей ошибкой позиционирования. Таким образом, синхронный двигатель наиболее подходит для удовлетворения требований, предъявляемых к приводу движения в горизонтальной плоскости. Возможное применение асинхронного двигателя в совокупности с преобразователем частоты может не удовлетворить предъявляемым требованиям, и в общем случае необходимо завышать мощность двигателя для создания нужного пускового момента. К тому же асинхронный двигатель такой же мощности обладает худшими характеристиками, чем синхронный. Одним из основных критериев для выбора двигателя является пусковой момент, чтобы рабочий орган разогнался на ограниченном участке до рабочей скорости. Важным является способность системы поддерживать постоянную скорость двигателя на интервалах выдавливания композиционных материалов на протяжении всей траектории движения рабочего органа машины.

Шаговые двигатели также широко применяются в высокоточных системах позиционирования со строго дозированными перемещениями и фиксацией своего положения в конце движения. Это объясняется тем, что указанные двигатели позволяют преобразовать управляющий импульс в фиксированный угол поворота вала или фиксированное линейное перемещение без датчика обратной связи. Последнее обстоятельство существенно упрощает систему управления механизмом и увеличивает ее надежность, так как сокращается количество электронных элементов. Дискретный электропривод с шаговым двигателем естественным образом сочетается с цифровыми управляющими устройствами, что позволяет успешно использовать его в станках с числовым программным управлением, в промышленных роботах и манипуляторах.

На скоростях выше номинальных и повышенных нагрузках у двигателей начинает проявляться эффект потери шагов. Потеря шагов возможна также в случае каких-либо внешних воздействий: ударов, вибраций, резонансов и т.п. Современные системы управления шаговыми двигателями позволяют избавиться от этого общего недостатка шаговых двигателей применением обратной связи. В двигателе имеется датчик положения, по которому в случае несоответствия делается коррекция устраняющая эффект потери шагов. В случае принудительной остановки шагового двигателя, преобразователь частоты мотора должен правильно среагировать на данную остановку. В противном случае по обратной связи подается сигнал на доработку не пройденного расстояния, повышается ток на обмотках, двигатель может перегреться и сгореть. Принудительная остановка шагового двигателя не вызывает у него никаких повреждений. Шаговые двигатели – безщеточные, поэтому единственными изнашиваемыми деталями в конструкции являются подшипники. Это позволяет считать их двигателями высокой надежности и не требующих обслуживания долгий срок. Ограничением в использовании шаговых двигателей являются мощность и соответственно скорость.

Заключение.

Таким образом, предложен порталный технологический комплекс послойного синтеза изделий из неметаллических композитов, включающий дозатор, представляющий собой емкость для приготовленной композитной смеси, подающего устройства и рабочего органа, а также механизмы его перемещения. Исходя из сравнительного анализа, типов электродвигателей для механизмов перемещения показано, что каждый из двигателей занимает свою собственную нишу. Асинхронный электродвигатель применяется для тягового, силового привода. Шаговый двигатель используется в маломощных системах, таких как топливоподача, расход материала и т. д. В наибольшей степени удовлетворяет требованиям технологического комплекса синхронный электродвигатель, который наряду высокими электрическими и электромеханическими показателями обладает лучшей управляемостью и точностью позиционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24211. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
2. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.
3. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – К.: Будивэльныйк, 1989. – 128 с.
4. Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2007. – 585 с.
5. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
6. Лазарев, Ю.Ф. Начала программирования в среде MATLAB / Ю.Ф. Лазарев. – К.: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с.
7. Системы автоматизированного управления электроприводами / Г.И. Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко, - Мн.: Новое знание, 2004. – 284 с.

REFERENCES

1. GOST 24211. Additives for concrete and mortar. General specifications.
2. Izotov, V.S. Chemical additives for concrete modification / VS Izotov, Yu. A. Sokolova. - Moscow: Paleotype, 2006. - 244 p.
3. Afanasyev, N.F. Additives in concretes and solutions / NF Afanasyev, MK Tseluyko. - K .: Budivelnyk, 1989. - 128 with.
4. Firago, B.I. Theory of electric drive / B.I. Firago, L.B. Pavlyuchik. - Mn .: Tehnoprospetiva, 2007. - 585 p.
5. Firago, B.I. Adjustable electric drives of alternating current. Firago, L.B. Pavlyuchik. - Mn .: Techno perspective, 2006. - 363 s
6. Lazarev, Yu.F. The beginning of programming in the environment MATLAB / Yu.F. Lazarev. - K .: NTUU "KPI", 2003. - 424 p.
7. Automated control systems for electric drives / Gl. Gulkov, Yu.N. Petrenko, E.P. Ratkevich, O.L. Simonenkova; under the Society. Ed. Yu.N. Petrenko, - Mn .: New Science, 2004. - 284 p.