

УДК 621.791.92

**Бережная Е. В., Малыгина С. В., Кассов В. Д.**

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Развитие мелиоративной и почвообрабатывающей техники вызывает необходимость создания материалов обладающих комплексом ценных свойств, таких как высокая прочность, коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, жаропрочность, износостойкость [1]. Отдельные металлы и сплавы часто не могут обеспечить требуемую гамму свойств. Поэтому важная роль в создании новых материалов со специальными свойствами принадлежит композиционным покрытиям [2]. Такие покрытия могут быть получены на поверхности деталей с помощью соединения разнородных материалов в монолитную композицию, сохраняющую надежную связь составляющих при дальнейшей технологической обработке и в условиях их эксплуатации. Перспективным способом нанесения таких покрытий является электроконтактная наплавка порошковыми лентами [3, 4], которая имеет ряд преимуществ, основным из которых является меньшая энергоемкость и высокая производительность процесса, возможность наплавки различных композиционных материалов, заключенных в оболочку, незначительное термическое влияние на металл детали, высокие механические свойства соединений, сокращение расхода привариваемого металла, отсутствие выгорания легирующих элементов и благоприятные условия работы оператора-сварщика из-за отсутствия вредных газов, шума и светового излучения.

Повышение производительности и более полное использование возможностей процесса электроконтактной наплавки композиционных износостойких сплавов в настоящее время ограничивается, в первую очередь, появлением дефектов формирования наплавленного слоя (несплавления, выплесков, расплавления упрочняющей фазы и др.) [5]. Отчасти причиной этого является сложность и многофакторность термодиффузионного процесса, протекающего в зоне формирования соединения наплавленного слоя и поверхности восстанавливаемого изделия, что не позволяет в полной мере учитывать действие всех факторов, оказывающих влияние на показатели качества наплавленного слоя. В современном машиностроительном производстве важную роль играет создание автоматизированных систем, а также комплексный подход при их разработке [6].

Цель работы – разработка системы автоматизированного проектирования технологии электроконтактной наплавки порошковыми лентами, обеспечивающей корректный выбор рациональных значений технологических параметров процесса, исходя из реальных производственных условий.

В пространстве, координатными осями которого являются входные параметры процесса, можно выделить область, в рамках которой обеспечиваются требуемые показатели качества реализации процесса электроконтактной наплавки. Таким образом, задача проектирования технологии электроконтактной наплавки сводится к выбору некоторой точки в пространстве параметров процесса, которая лежит в этой области, с учетом поставленных ограничений (например, из условий обеспечения особых характеристик наплавленного слоя). Практическое решение этой задачи в ряде случаев затруднено, т. к. не любая точка данной области соответствует оптимальным условиям реализации процесса электроконтактной наплавки. В производственных условиях вследствие действия технологических возмущений входные параметры не остаются постоянными, что приводит к изменению значений показателей качества процесса.

Качество реализации технологического процесса электроконтактной наплавки является комплексным показателем и определяется из действия совокупности отдельных взаимодействующих между собой факторов. С позиций системного подхода для рационального проектирования данной технологии необходимо выявить и формализовать эти факторы, а также оценить их влияние на качество выполнения технологического процесса.

Проведенный анализ факторов, определяющих показатели качества процесса электроконтактной наплавки, позволил формализовать взаимосвязи между ними, что графически показано в виде диаграммы (рис. 1).



Рис. 1. Структура факторов, влияющих на показатели качества технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами

Проведенная формализация технологических факторов процесса электроконтактной наплавки позволяет разработать информационную модель программного комплекса автоматизированного проектирования данной технологии. Одной из самых распространенных методологий разработки информационных систем является SADT-технология [7]. Как правило, при разработке SADT-модели выделяют контекстный и детализирующие иерархические уровни в описании системы, на каждом из которых осуществляется построение структурно-функциональной диаграммы, отражающих особенности функционирования проектируемой системы в контексте аспекта данного иерархического уровня.

Структурно-функциональные диаграммы состоят из блоков (активностей), формализующих выполняемые системой функции, и дуг, отражающих взаимодействия и взаимосвязи между ними. В соответствии с нотацией IDEF0, блоки диаграммы принято отображать прямоугольниками, каждая сторона которых определяет аспект связи данного блока с другими активностями системы: слева отображаются входные воздействия (данные, необходимые для выполнения функции системы), справа – выходы (результаты выполнения функции), сверху –

связи управления (ограничивают или предписывают условия выполнения функции системы), снизу – исполнители (факторы, за счет которых осуществляется реализация функции). При проектировании информационной модели системы автоматизированного проектирования технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами использован принцип иерархической декомпозиции [8], в соответствии с которым главная функция автоматизированной системы, выделенная на контекстном уровне рассмотрения, представляется в виде совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих подфункций, раскрывающих особенности реализации главной функции системы. Такой принцип построения описаний информационной системы позволяет вместо одной громоздкой модели использовать несколько небольших взаимосвязанных моделей, которые взаимно дополняют друг друга, делая понятной структуру сложной системы в целом. На контекстном уровне разрабатываемой информационной системы выделена ее главная функция – проектирование технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами (рис. 2).

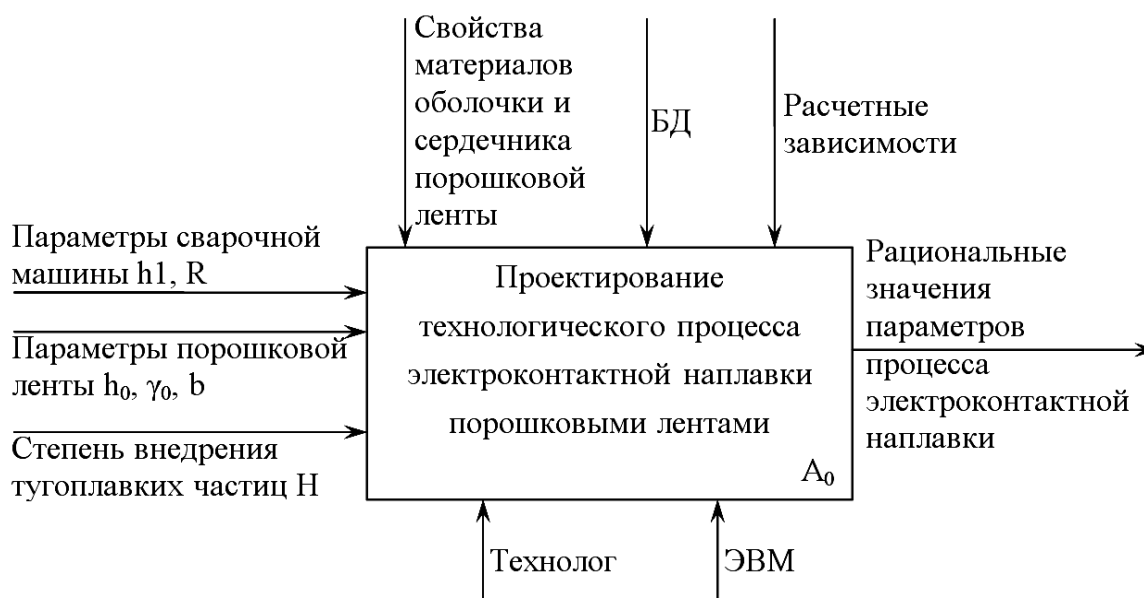


Рис. 2. Контекстная структурно-функциональная модель системы автоматизированного проектирования технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами

При проектировании технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами технологу необходимо определить ряд параметров, являющимися исходными для системы автоматизированного проектирования:

- параметры сварочной машины (радиус ролика-электрода  $R$ ) и толщину наплавляемого слоя  $h_1$ , которые определяют условия деформирования порошковой ленты в контактной зоне;
- геометрические параметры используемой порошковой ленты ( $h_0, \gamma_0, b$ );
- степень внедрения  $H$  тугоплавких частиц, содержащихся в шихте сердечника порошковой ленты, в поверхностный слой восстанавливаемого изделия;
- материал оболочки и состав шихты, что определяет физические свойства оболочки и сердечника порошковой ленты.

В результате выполнения системой своей главной функции на основе заданных значений входных параметров в соответствии с расчетными зависимостями (в том числе,

полученными в работе) и содержащейся в базе данных автоматизированной системы информацией осуществляется определение рациональных значений технологических параметров процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами.

Представленная на рис. 2 контекстная структурно-функциональная модель системы автоматизированного проектирования технологии электроконтактной наплавки порошковыми лентами является «черным ящиком» [9], т. е. отражает лишь внешние связи системы автоматизированного проектирования с пользователями, но не раскрывает в полной мере особенности процесса преобразования входных параметров в выходные. Поэтому на основе применения принципа иерархической декомпозиции разработана детализирующая структурно-функциональная модель автоматизированной системы.

На первом этапе работы системы осуществляется выполнение двух функций, которые дополняют заданные пользователем исходные данные для расчета рациональных значений технологических параметров процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами:

- определение гранулометрического состава сердечника порошковой ленты (активность A1) – технолог определяет (или выбирает из базы данных системы) размер и форму тугоплавких частиц, включенных в шихту сердечника порошковой ленты;
- определение параметров восстанавливаемой поверхности (активность A2) – технолог определяют параметры регулярных микронеровностей на поверхности изделия, на которое предполагается осуществлять наплавку.

Введенные технолог значения параметров используются при расчете энергосиловых параметров процесса электроконтактной наплавки на этапе инкубационного периода накопленной тепловой мощности в сердечнике порошковой ленты (активность A3). Этот этап осуществляется в автоматическом режиме. Результатами расчета являются значения силы  $P_1$ , необходимой для деформирования порошковой ленты с заданной величиной обжатия, а также плотность сердечника порошковой ленты  $\gamma_1$  после ее деформирования в контактной зоне.

Параллельно с деформированием порошковой ленты на первом этапе электроконтактной наплавки осуществляется формирование узлов схватывания за счет затекания металла оболочки в полости микрорельефа на восстанавливаемой поверхности, что существенно влияет на прочности сцепления наплавляемого материала с поверхностью детали. В этой связи необходимо оценить степень заполнения полостей при заданных условиях выполнения процесса. Для этого с учетом определенных на предыдущем этапе расчета значений параметров процесса ( $P_1$ ,  $\gamma_1$ ) осуществляется определение данного показателя (активность A4). Для обеспечения качества наплавленного слоя и высоких эксплуатационных свойств восстановленного изделия необходимо, чтобы степень заполнения полостей микрорельефа металлом оболочки порошковой ленты составляла не менее 80 %. Если по результатам расчета данное значения показателя не обеспечивается, то система осуществляет возврат пользователя на этап определения параметров поверхности (активность A2), где ему необходимо будет внести корректировки в значения геометрических параметров, наносимых на восстанавливаемую поверхность регулярных микронеровностей. Если же степень заполнения полостей микрорельефа металлом оболочки является достаточной, система переходит к определению энергосиловых параметров на этапе формирования эксплуатационных свойств наплавленного слоя (активность A5). На данном этапе в термомодеформационном очаге осуществляется внедрение тугоплавких частиц шихты сердечника порошковой ленты в поверхностный слой восстанавливаемого изделия, что обеспечивает прочность сцепления наплавленного слоя с металлом изделия. Таким образом, одним из важных параметров, обеспечивающих высокие показатели качества наплавки, является значение силы  $P_2$ , необходимой для гарантированного внедрения тугоплавких частиц на заданную глубину ( $H$ ) (рис. 3).

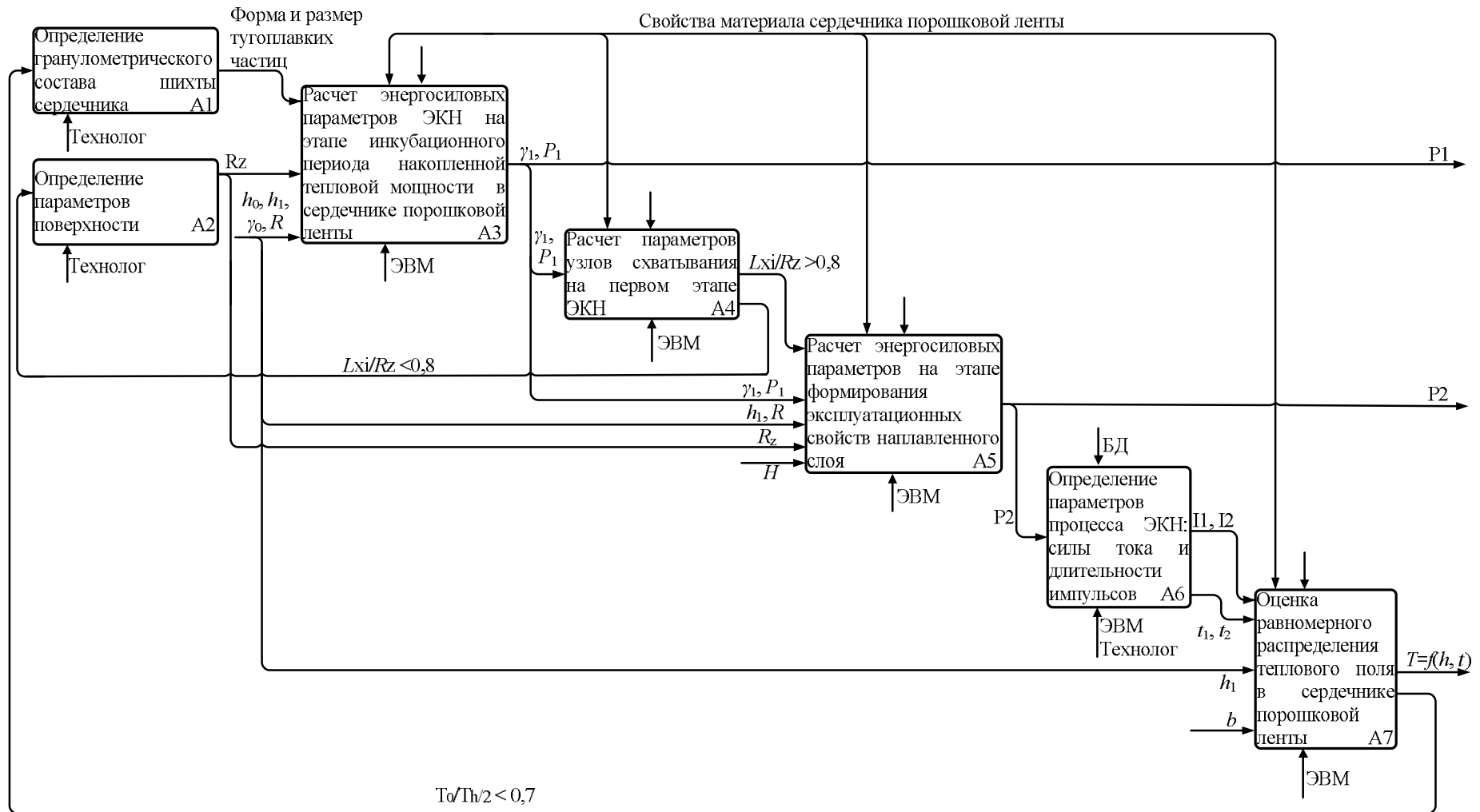


Рис. 3. Детализирующая структурно-функциональная модель системы автоматизированного проектирования технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами

На следующем этапе функционирования автоматизированной системы проектирования технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами осуществляется назначение величин сварочного тока и длительностей импульсов его действия (активность А6) на этапах инкубационного периода накопленной тепловой мощности ( $I_1, t_1$ ) и формирования эксплуатационных свойств наплавленного металла ( $I_2, t_2$ ). Выбор значений этих параметров осуществляется технологом из базы данных системы на основании результатов экспериментальных исследований процесса электроконтактной наплавки, в том числе и выполненных в данной работе. Окончательным этапом проектирования технологического процесса электроконтактной наплавки порошковыми лентами является оценка равномерности распределения теплового поля в сердечнике порошковой ленты (активность А7).

С целью обеспечения качества наплавленного слоя необходимо выбирать такие значения параметров процесса, которые обеспечивали бы относительную равномерность распределения температур в сердечнике порошковой ленты.

Известно, что в процессе электроконтактной наплавки температура сердечника является минимальной в центре его сечения и возрастает по мере приближения к краям сердечника. В этой связи в качестве показателя равномерности распределения теплового поля в сердечнике принято отношение температур в его центре и на периферии. В случае если определенные ранее значения параметров технологического процесса электроконтактной наплавки не обеспечивают достаточной степени равномерности распределения теплового поля в сердечнике порошковой ленты, автоматизированная система предлагает пользователю (технологу) скорректировать состав шихты сердечника. Если же равномерность теплового поля обеспечена, то определенные в процессе работы автоматизированной системы значения параметров процесса электроконтактной наплавки предоставляются технологу в удобном для восприятия виде.

## ВЫВОДЫ

Предложенная информационная модель системы автоматизированного проектирования технологии электроконтактной наплавки порошковыми лентами позволяет осуществлять выбор рациональных параметров процесса, исходя из реальных производственных условий, а также повысить показатели качества процесса за счет контроля и ограничения уровня технологических возмущений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Латыпов Р. А. Электроконтактная приварка стальной ленты через промежуточный слой порошкового материала / Р. А. Латыпов, П. И. Бурак // *Технология металлов*. – 2005. – № 5. – С. 37–43.
2. Чигарев В. В. Выбор экономизированных наплавочных материалов для различных условий ударно-абразивного воздействия / В. В. Чигарев, В. Л. Малинов // *Автоматическая сварка*. – 2000. – № 5. – С. 58–60.
3. Латыпов Р. А. Формирование покрытия и соединение его с основой при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственных машин электроконтактной приваркой порошковых материалов / Р. А. Латыпов, Б. А. Молчанов, Н. Д. Бахмудкадиев // *Восстановление и упрочнение деталей – современный высокоэффективный способ повышения надежности машин*. – М. : ЦРДЗ, 2003. – С. 11–12.
4. Easterling K. *Tomorrow's materials* / K. Easterling. – London, The Institute of Metals, 1988. – 315 p.
5. Латыпов Р. А. Снижение остаточных напряжений в покрытии при восстановлении деталей электроконтактной приваркой / Р. А. Латыпов, П. И. Бурак, Д. В. Дубровин // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2005. – № 1. – С. 20–22.
6. Калянов Г. Н. *Case – структурный системный анализ (автоматизация и применение)* / Г. Н. Калянов. – М. : ЛОРИ, 1996. – 242 с.
7. Вендров А. М. *CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем* / А. М. Вендров. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 176 с.
8. Марка Давид. *Методология структурного анализа и проектирования SADT* / Давид Марка, Клемент МакГоуэн. – М. : Мета Технология, 1993. – 240 с.
9. Романов В. Н. *Системный анализ для инженеров* / В. Н. Романов. – СПб. : СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.