

УДК 004.043

## Оптимизация траектории управления технологическим процессом индукционной пайки

**С.С. Шапошник**

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

E-mail: shaposhnik.sergey88@gmail.com

**Аннотация.** Цель исследования – рассмотреть способы оптимизации траектории управления процессом индукционной пайки. Подробно рассматривается один из эволюционных алгоритмов – генетический алгоритм, а также его механизм работы. Научная новизна заключается в исследовании возможностей применения генетического алгоритма для решения многокритериальной задачи оптимизации для управления процессом индукционной пайки.

**Ключевые слова:** индукционная пайка, задача оптимизации, многокритериальная задача оптимизации, генетический алгоритм

## Optimization of the control path of the technological process of induction brazing

**S.S. Shaposhnik**

Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

E-mail: shaposhnik.sergey88@gmail.com

**Abstract.** The purpose of the study is to consider ways to optimize the control trajectory of the induction soldering process. One of the evolutionary algorithms, the genetic algorithm, as well as its mechanism of operation are considered in detail. The scientific novelty lies in the study of the possibilities of using a genetic algorithm to solve a multicriteria optimization problem for controlling the induction soldering process.

**Keywords:** induction soldering, optimization problem, multicriteria optimization problem, genetic algorithm

Сборка элементов волноводных трактов космических летательных аппаратов в большинстве случаев осуществляется с использованием внешних муфт или фланцев, которые необходимо сварить и спаять. Наилучшим образом для решения данной задачи себя показал метод создания неразъемных соединений на основе индукционного нагрева. Управление технологическим процессом создания неразъемных соединений на основе индукционного нагрева значительно осложняется из-за наличия в зоне нагрева таких физических явлений, как изменение излучательной способности материала или испарение флюса, которые существенно осложняют замеры температуры в зоне нагрева с использованием бесконтактных датчиков измерения температуры. Контактные датчики измерения температуры применить не получится – из-за большой температуры и высоким требованиям к качеству поверхности изделия. Кроме того, применение контактных датчиков осложняется серьезными временными затратами по монтажу контактных датчиков, а также участием человека в данном процессе. Таким образом, актуальной задачей является формирование оптимальной траектории управления технологическим процессом как для каждого элемента волноводной сборки, так и для всей сборки тракта.

На данный момент уже идут работы над повышением качества индукционной пайки волноводных трактов. Так, авторы работ [1] представили технологический процесс индукционной пайки для изготовления модульных солнечных батарей в виде мультифизической модели. Эту модель можно использовать для оптимизации управления процессом индукционной пайки путем адаптации геометрических параметров индуктора с целью более эффективного и равномерного нагрева припоя.

В исследовании [2] была создана тепловая модель технологического процесса пайки инфракрасным оплавлением. Эта модель позволяет спрогнозировать тепловые эффекты (от некоторых характеристик в инфракрасной печи, до детального теплового отклика, включая изменение перехода припоя между твердой и жидкой фазой).

Некоторые работы используют интеллектуальные технологии, например, в работе [3] авторы использовали нейросетевой модуль управления технологическим процессом индукционной пайки.

Задача оптимизации управления технологическим процессом индукционной пайки волноводных трактов сводится к задаче классификации, в которой по входным параметрам технологического процесса необходимо выбрать значения нескольких

классов: алгоритмы управления по двум контурам управления и коэффициенты для этих алгоритмов. Следовательно, оптимизация программы управления процессом индукционной пайки волноводных трактов представляет собой многопараметрическую (многокритериальную) оптимизационную задачу со структурами данных в форме векторных вещественных переменных и сложными многоэкстремальными целевыми функциями. Для решения такой задачи подойдет генетический алгоритм [4]. Это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач поиска и оптимизации. Этот алгоритм является подмножеством эволюционных алгоритмов, которые используются в вычислениях. Генетические алгоритмы используют концепцию генетики и естественного отбора для решения проблем. У данного метода есть отличительные особенности:

- обладает параллельными возможностями;
- может оптимизировать различные задачи, такие как дискретные функции, многокритериальные задачи и непрерывные функции.
- могут использоваться в задачах, для которых информацию о градиентах получить сложно либо она слишком дорогостоящая;
- генетическому алгоритму не нужна производная информация;
- ответы со временем улучшаются.

Генетические алгоритмы используют эволюционный цикл поколений для получения высококачественных решений. Они используют операции, которые увеличивают или заменяют предыдущее решение, чтобы обеспечить улучшенное решение. Генетические алгоритмы проходят следующие этапы для решения сложных задач оптимизации: инициализация, отбор (селекция), выбор родителей, скрещивание, мутация, уничтожение.

Первый этап генетического алгоритма начинается с создания начальной популяции. Под популяцией понимается подмножество всех возможных решений, которые могут решить заданную проблему.

На следующем этапе, каждому индивидууму назначается оценка пригодности, которая дополнительно определяет вероятность того, что он будет выбран для будущего воспроизводства. Следовательно, чем выше оценка пригодности, тем больше шанс быть выбранным для воспроизводства.

На третьем этапе отбираются индивидуумы, которые прошли этап назначения. Данные особи распределяются попарно для улучшения воспроизводства, и затем они

передают свои гены следующему поколению. Основная цель данного этапа – создать регион с высокими шансами на наилучшее решение проблемы. Генетический алгоритм использует метод пропорционального отбора по пригодности, чтобы гарантировать, что полезные решения используются для рекомбинации.

На этапе размножения создаются потомки. В алгоритме используются операторы вариации, которые применяются к родительской популяции. Два основных оператора на этой фазе включают переход и мутацию. Переход – это оператор, который меняет местами генетическую информацию двух родителей, чтобы воспроизвести потомство. Он выполняется на родительских парах, которые выбираются случайным образом для создания дочерней популяции такого же размера, как и родительская популяция. Мутация – это оператор, который добавляет новую генетическую информацию к новой популяции потомков. Это достигается путем смешения некоторых данных в хромосоме. Мутация решает проблему локального минимума и увеличивает диверсификацию.

В процессе этапа замены происходит смена поколений, которая представляет собой замену старой популяции новыми потомками. Эта популяция имеет более высокие оценки пригодности, чем старая, что указывает на то, что было создано улучшенное решение.

На заключительном этапе, после того как замена была произведена, используется критерий остановки, чтобы обеспечить основание для прекращения. Алгоритм завершится после достижения порогового значения пригодности. Он определит это решение как лучшее решение для популяции.

Необходимо учитывать тот факт, что один из недостатков такого подхода заключается в отсутствии механизма учета ограничения оптимизационной задачи. Есть несколько основных методов для учета ограничений: метод адаптивных штрафов, метод смертельных штрафов, метод статических штрафов и метод динамических штрафов.

Таким образом, для формирования оптимальной траектории управления технологическим процессом пайки волноводного тракта космического аппарата необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации с учетом штрафов. Для решения такой задачи подходят генетические алгоритмы.

### Список литературы

1. Zeller, U. Multiphysics simulation of induction soldering process / U. Zeller et al. // 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC). – 2018. – P. 654-659.
2. Milov, A.V. Neural Network Modeling to Control Process of Induction Soldering / A.V. Milov, V.S. Tynchenko, A.V. Murygin // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – 2019. – P. 1-5.
3. Milov, A.V. Algorithmic and software to identify errors in measuring equipment during the formation of permanent joints / A.V. Milov, V.S. Tynchenko, V.E. Petrenko // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2018. – P. 1-5.
4. Лабинский, А.Ю. Использование генетического алгоритма для многокритериальной оптимизации / А.Ю. Лабинский // Природные и техногенные риски (физико-математические аспекты и прикладные аспекты). – 2018. – №4 (28). – С. 5-9.