

Разработка алгоритма и программы расчета параметров газодинамического переноса при дозированной аргонодуговой наплавке

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Приведены результаты работы по исследованию процессов массопереноса при дозированной аргонодуговой наплавке в рамках повышения эффективности технологии восстановления деталей авиационной и автомобильной техники. Решена задача разработки алгоритма и программы расчета параметров процесса управляемого дозированного переноса присадочного металла импульсом газа повышенной скорости.

Ключевые слова: дозированная аргонодуговая наплавка, газодинамический перенос, восстановление деталей, истечение газа, работа отрыва, плавящийся электрод.

Постановка проблемы. Дозированная аргонодуговая наплавка нашла применение при изготовлении ошпированных настилов грузовых полов транспортных самолетов серии Ан (самолеты Ан-225, Ан-124, Ан-74) [1, 2], герметизации откатных отверстий реле, изготовлении электрических контактов [3] и т.д. Применение данной технологии для восстановления деталей авиационной и автомобильной техники из цветных металлов в силу того, что размеры поверхностных дефектов восстанавливаемых деталей различны, требует частой смены объема наносимого металла, что, в свою очередь, требует частого изменения параметров газодинамической системы.

Цель работы. Целью данной работы является исследование процессов массопереноса при дозированной аргонодуговой наплавке и совершенствование на базе этих исследований технологии восстановления деталей авиационной и автомобильной техники. Для достижения указанной цели в данной работе поставлена и решена задача разработки алгоритма и программы расчета параметров процесса управляемого дозированного переноса присадочного металла импульсом газа повышенной скорости.

Основной материал статьи. Для расчетов подведенной к капле энергии реальную сварочную горелку и систему подачи в нее импульсов газа можно представить в виде схемы (рис. 1), состоящей из малогабаритного ресивера, заполненного газом, клапана, дополнительной полости и сопла. В сопле располагается электрод и находящаяся на его торце капля расплавленного металла. Капля отрывается после открытия клапана. При этом газ, находящийся в ресивере, поступает вначале в дополнительную полость, затем выходит в сопло, воздействуя на свободную часть поверхности капли.

Наибольший интерес представляет суммарная газодинамическая сила, действующая в осевом направлении, поскольку она отрывает и переносит каплю на изделие. Эту силу представляют в виде

$$F_{\Gamma} = 0,5 C_X \rho_{\Gamma} v_{\Gamma}^2 S_M,$$

где: C_X — коэффициент сопротивления капли в канале сопла (принимается равным 0.5); ρ_{Γ} , v_{Γ} — плотность и скорость газа в сопле; $S_M = 0.25\pi(d_k^2 - d_s^2)$ — площадь миделевого сечения капли, d_k , d_s — диаметры капли и электрода.

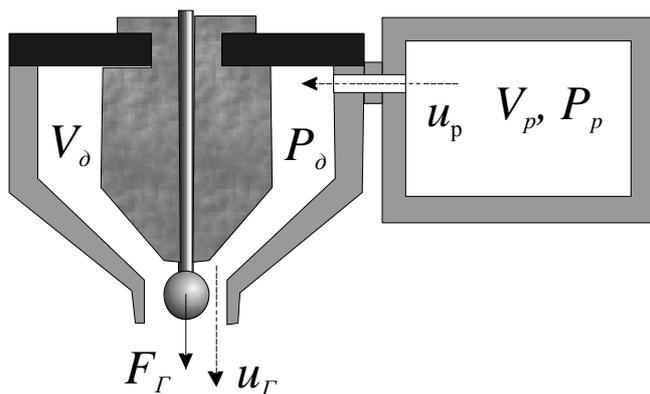


Рис. 1. Схема соединения газовых полостей и истечения газа

Массу капли находим, исходя из её диаметра d_k и плотности жидкого металла γ_M , в предположении, что форма капли сферическая:

$$m_k = \frac{1}{6} \gamma_M \pi d_k^3.$$

Газодинамическая сила сообщает капле кинетическую энергию, которую приближенно представим в виде $W_k = 0.5 m_k v_k^2$, где v_k – скорость движения центра массы капли. Эту скорость определим, используя закон сохранения импульса:

$$v_k = \frac{1}{m_k} \int_0^{t_c} F_\Gamma dt,$$

где t_c – длительность действия силы. Тогда

$$W_k = 0.5 \frac{1}{m_k} \left(\int_0^{t_c} F_\Gamma dt \right)^2.$$

Для определения W_k необходимо найти F_Γ и v_Γ . С учетом выбираемых характеристик системы и параметров газа течение можно принять докритическим. В исходном состоянии давление и плотность газа в ресивере равны P_{p0} и ρ_{p0} . Давление и плотность в дополнительной полости $P_{\delta 0}$ и $\rho_{\delta 0}$ равны атмосферным.

Параметры газодинамического процесса непрерывно меняются во времени. Определение зависимости параметров процесса аналитическими методами является сложной задачей. Поэтому применим численные методы, т. е. разобьем весь процесс на ряд промежутков малой длительности и будем считать, что в пределах одного промежутка все параметры процесса являются квазистабильными.

Объем вычислений при использовании численных методов велик, поэтому целесообразно применение электронно-вычислительных машин, т. е. полученные системы уравнений будут использоваться для создания программы на персональном компьютере.

Через малый промежуток времени Δt плотность газа в ресивере ρ_{pt} и в дополнительной полости $\rho_{\delta t}$ составит соответственно

$$\rho_{pt} = \rho_{p0} - \frac{m_1 \Delta t}{V_p}, \text{ а } \rho_{\delta t} = \rho_{\delta 0} - \frac{m_1 - m_2}{V_\delta} \Delta t,$$

где m_1, m_2 – секундный массовый расход газа через клапан и сопло соответственно; V_p и V_δ – объемы ресивера и дополнительной полости

соответственно.

Поступлением газа в ресивер через дополнительное отверстие пренебрегаем вследствие его малости. Таким образом,

$$P_{pt} = P_{p0} \frac{\rho_{pt}}{\rho_{p0}} \text{ и } P_{\partial t} = P_{\partial 0} \frac{\rho_{\partial t}}{\rho_{\partial 0}}.$$

Секундный массовый расход газа определяем из выражения $m = S v_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \varphi$, где S – площадь поперечного сечения, через которое проходит газ; v_{Γ} , ρ_{Γ} – скорость и плотность газа в данном сечении; φ – коэффициент скорости, равный $1 / \sqrt{1 + \xi}$, где ξ – коэффициент местного сопротивления.

Для канала, соединяющего ресивер и полость головки, площадь проходного сечения $S_p = 0.25 \pi d_p^2$, где d_p – диаметр канала. Минимальное сечение выходного сопла $S_c = 0.25 \pi d_c^2 - S_M$, где d_c – диаметр выходного сопла.

Среднюю скорость газа находим из выражения

$$v_{\Gamma} = \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}},$$

где μ – коэффициент расхода, учитывающий геометрию канала; ΔP – разность давления; ρ – плотность газа в среде, в которую происходит истечение.

Значения коэффициентов выбираем следующими: для сопла $\mu_c = 0.9$, $\varphi_c = 0.97$; для клапана ресивера $\mu_p = 0.9$, $\varphi_p = 0.95$.

Находим значения P_{pt} , $P_{\partial t}$, ρ_{pt} , $\rho_{\partial t}$, v_{Γ} , F_{Γ} , W_k для первого интервала времени и считаем их неизменными в пределах этого интервала (значение Δt выбираем малым, а именно 10^{-5} с). Полученные значения возьмем в качестве начальных для определения параметров процесса в последующий интервал времени. Расчет продолжаем до тех пор, пока избыточное давление в ресивере уменьшится до 0,01 первоначального избыточного давления, после чего процесс истечения считаем законченным.

В рамках механики капельной жидкости для отрыва капли от электрода необходимо образовать дополнительную свободную поверхность, приближенно равную $2 \cdot S_{\partial}$, $S_{\partial} = 0.25 \pi d_e^2$, где d_e – диаметр поперечного сечения электрода. На ее образование необходимо затратить энергию $2 \cdot S_{\partial} \cdot \sigma$, где σ – поверхностная энергия или коэффициент поверхностного натяжения.

В зависимости от диаметра электрода d_{∂} и диаметра капли d_k работу отрыва более точно можно представить в виде

$$A_{omp} = 2 \cdot K_{\Pi} \cdot \sigma \cdot S_{\partial},$$

где K_{Π} – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные потери энергии при отрыве (коэффициент потерь).

Оценка потерь энергии на вязкое трение и кинетическое движение частиц металла при отрыве капли свидетельствует о том, что основной составляющей потерь являются затраты энергии на придание движения металлу при его вытеснении из жидкой перемычки в объем капли. При утонении перемычки давление в ней возрастает, скорость движения вытесняемого металла в осевом направлении достигает значительной величины и в виде потоков присутствует в объеме капли. Эксперименты по отрыву капель алюминия, стали, титана и определения A_{omp} при изменении d_{∂} и m_k в широких пределах показали, что K_{Π} лежит в достаточно узких пределах и равен для указанных случаев 1,1...1,55.

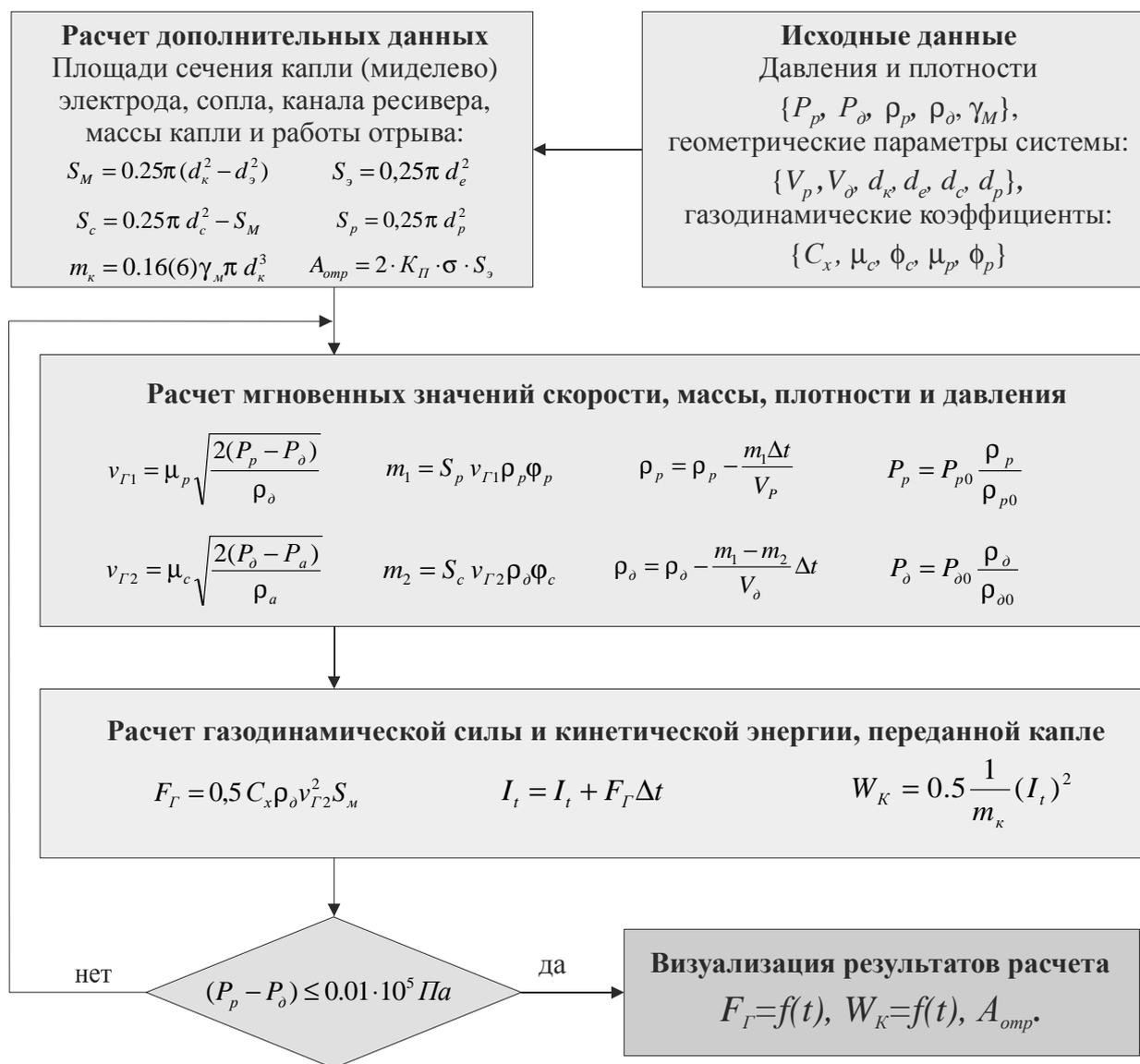


Рис. 2. Алгоритм расчета параметров газодинамического воздействия

На основе полученных систем уравнений составлен алгоритм расчета параметров газодинамического воздействия на каплю импульсом защитного газа, который показан на рис. 2.

На базе алгоритма, представленного выше, была разработана программа расчета параметров газодинамического воздействия потока импульса газа на каплю. Программа была написана на языке программирования Delphi 6 с использованием библиотеки Borland TeeChart Components. Экранная форма программы с результатами расчета изображена на рис. 3.

Создание такой программы позволяет сравнительно просто осуществлять перебор вариантов и поиск условий, обеспечивающих оптимальные параметры газодинамической системы, а именно: рабочее давление в ресивере P_p , объем ресивера V_p , диаметр выходного сопла d_c и др.

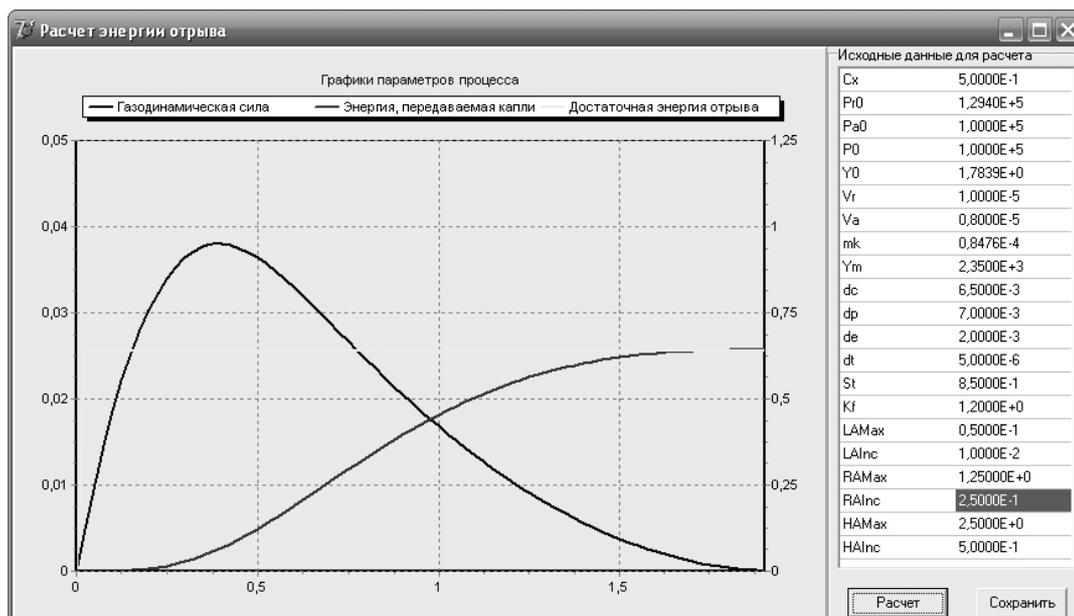


Рис. 3. Экранная форма программы

К примеру, определим давление в ресивере, необходимое для отрыва капли от плавящегося электрода из алюминиевого сплава АК-5 при следующих параметрах: $V_p = 10^{-5} \text{ м}^3$, $V_0 = 0.8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $d_e = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_c = 6.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_p = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_k = 4.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. При заданных параметрах минимальное потребное давление в ресивере, при котором кинетическая энергия, сообщенная капле, равна работе отрыва (см. рис. 3) $P_{p0} = 1.294 \text{ атм}$, что хорошо согласуется с данными работы [2].

Выводы. Таким образом, в ходе проведенной работы составлена система уравнений для определения кинетической энергии, которую импульсный газовый поток отдает капле металла, висящей на торце плавящегося электрода; разработан алгоритм и программа расчета численным методом таких параметров газодинамического переноса, как мгновенное значение газодинамической силы, потребная энергия отрыва капли от торца плавящегося электрода и кинетическая энергия, которая передается импульсным газовым потоком.

Список литературы

1. Тарасов, Н.М. Аргонодуговая наплавка титановых шипов [Текст]/ Н.М. Тарасов, Е.П. Рогачев, С.С. Капустин // Автоматическая сварка. – 1995. – №2. – С. 36-38.
2. Рогачев, Е.П. Разработка технологии изготовления листовых ошпированных деталей самолета с использованием наплавки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.07.04 / Рогачев Евгений Петрович; Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – Х., 2000. – 20 с.
3. Аргонодуговая наплавка рабочего слоя антимагнитных упоров реле [Текст] / А. К. Горлов, А. М. Жуков, С. Н. Лашко, Е. П. Рогачев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», - Вып. 3(54). – Х., 2008. – с. 33-36.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Г.И. Костюк, Национальный аэрокосмический университет, г. Харьков.

Поступила в редакцию 18.12.12.

Розроблення алгоритму та програми розрахунку параметрів газодинамічного перенесення при дозованому аргонодуговому наплавленні

Наведені результати роботи з дослідження процесів масоперенесення при дозованому аргонодуговому наплавленні в рамках підвищення ефективності технології відновлення деталей авіаційної і автомобільної техніки. Вирішено завдання розроблення алгоритму та програми розрахунку параметрів процесу керованого дозованого перенесення присадного металу імпульсом газу підвищеної швидкості.

Ключові слова: дозоване аргонодугове наплавлення, газодинамічне перенесення, відновлення деталей, витікання газу, робота відриву, плавкий електрод.

Development of algorithm and program to calculate parameters of the gasdynamic transfer in d-MIG overlaying welding

This work presents results in research of mass transfer in a d-MIG overlaying welding to increase efficiency of the parts restoration technique for aircraft and automobile industry. The task solved of developing an algorithm and program for calculation of process parameters of filler metal transfer with controlled dosing by high-speed gas impulse.

Keywords: d-MIG overlaying welding, gasdynamic transfer, parts restoration, gas outflow, separation energy, consumable electrode.