

Перенос капли импульсом защитного газа при наплавке титановым сплавом

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

Исследованы процессы переноса капель расплавленного металла с торца электрода при дозированной аргодуговой наплавке в целях повышения ресурса деталей из титановых сплавов. Рассчитана область допустимых значений масс капель, определено оптимальное давление в ресивере для стабильного протекания процесса переноса.

Ключевые слова: точечная дозированная наплавка, титановые сплавы, перенос металла импульсом газа, ремонт авиационных деталей.

Постановка проблемы. Детали из титановых сплавов используют в планере самолета как силовой набор, кронштейны, элементы шасси, пилоны, гидроцилиндры и другие агрегаты. Это обусловлено такими свойствами титана, как высокая удельная прочность, высокая коррозионная стойкость, минимальный среди металлов коэффициент термического расширения, достаточная высокая температура плавления [1].

К недостаткам следует отнести их высокую стоимость, высокую химическую активность титана при нагреве выше 500°C, что приводит к его хрупкости вследствие растворения газов (O₂, H₂, N₂). Для высокопрочных сплавов как недостаток необходимо отметить чувствительность к качеству поверхности и концентраторам напряжений.

С учетом высокой стоимости материалов и самой технологии изготовления, замена поврежденных деталей из титановых сплавов может оказаться слишком затратной. Актуальной является проблема продления ресурса деталей из титановых сплавов с поверхностными повреждениями, которые появились в результате эксплуатации изделия.

Предлагаемый способ заварки забоин в деталях аргодуговой дозированной наплавкой имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами: хорошая защита зоны термического влияния и наплавляемого металла, высокий уровень автоматизации, использование универсального оборудования, низкая трудоемкость и, как следствие, высокая экономическая эффективность.

Целью работы является исследование процессов переноса капель металла подачей импульса защитного газа. Для достижения поставленной цели был проведен расчет допустимой массы капли для различных диаметров электрода и сил тока, а также выбор оптимального значения давления в ресивере для достижения качественной постановки капли на детали.

Основной материал статьи. При использовании капельного дозирования масса наносимых капель m_k является важнейшим параметром процесса. Эта масса должна быть меньше, чем критическая масса капли, которая удерживается на электроде данного диаметра d_s .

Точность дозирования электродного металла в исследуемом процессе обеспечивается путем отрыва капли расплавленного металла, масса которой стабилизирована мундштуком, подачей потока защитного газа повышенной скорости.

Условие управляемого отрыва капли от электрода имеет вид

$$m_k g + F_{ЭД} + F_G > F_{ПН}. \quad (1)$$

Сила поверхностного натяжения принимается равной

$$F_{ПН} = \frac{\pi}{2} \cdot \sigma_{ПН} \cdot d_{\vartheta}, \quad (2)$$

где $\sigma_{ПН}$ – коэффициент поверхностного натяжения, который зависит от температуры.

Поверхностное натяжение жидкого титана [2]: $\sigma_{ПН}(T_{пл}=1672^{\circ}\text{C}) = 1,55 \text{ Дж/м}^2$;
 $\sigma_{ПН}(T_{пл}=1727^{\circ}\text{C}) = 1,46 \text{ Дж/м}^2$.

Величина электродинамической силы определяется формулой

$$F_{ЭД} = K_A I_{\delta}^2 \left(1 + 4,61 \lg \frac{d_{a.n.}}{d_{\vartheta}}\right), \quad (3)$$

где K_A – коэффициент пропорциональности, равный $0,005 \cdot 10^{-5} \text{ Н/А}^2$.

Радиус анодного пятна

$$d_{a.n.} = 2 \sqrt{I_{\delta}^2 / \pi q_{a.n.}}, \quad (4)$$

где $q_{a.n.}$ – средняя плотность тока в анодном пятне, которая для титана равна $2,98 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

Влияние электромагнитной силы значительно увеличивается с ростом силы тока и уменьшением диаметра электрода (рис. 1).

Осевую составляющую равнодействующей газодинамических сил F_G представим в виде

$$F_G = C_x \frac{v_{\vartheta}^2}{2 S_{c.n.}} S_{к.мид}, \quad (5)$$

где C_x – коэффициент сопротивления капли в канале сопла горелки, который примем равным 0,5; v_{ϑ} – расход газа; $S_{c.n.}$, $S_{к.мид}$ – соответственно площадь проходного сечения сопловой части и площадь миделевого сечения капли, висящей на проволоке.

$$S_{c.n.} = \frac{\pi}{4} (d_c^2 - d_k^2), \quad (6)$$

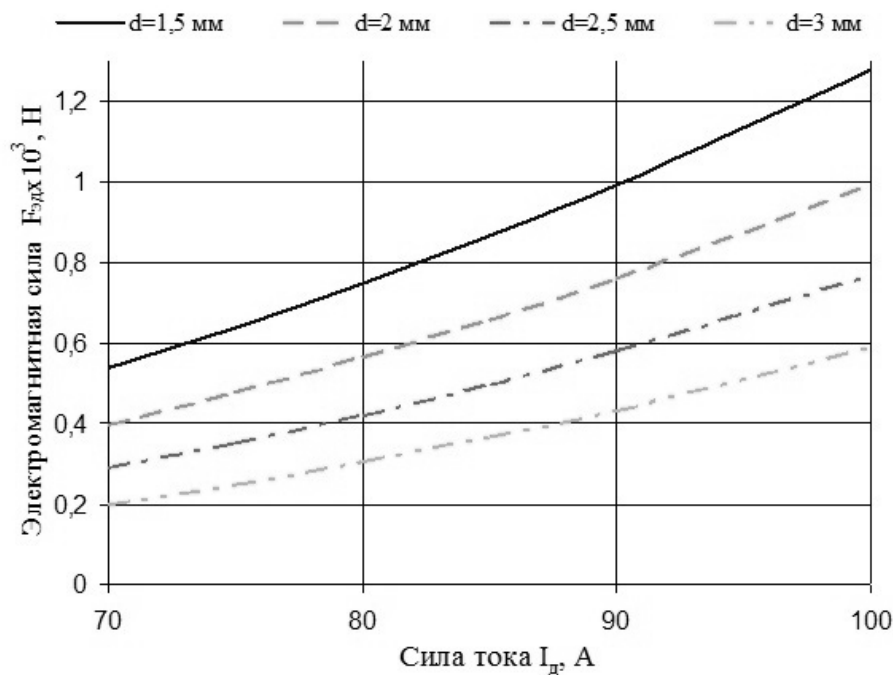
$$S_{к.мид} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_{\vartheta}^2), \quad (7)$$

где d_c , d_k , d_{ϑ} – диаметр сопловой части, капли и электрода соответственно.

Таким образом, критическая масса капли

$$m_{к.кр} = \frac{1}{g} (F_{ПН} - F_{ЭД} - F_G). \quad (8)$$

Критическая масса самопроизвольного отрыва капли снижается как за счет перегрева капли, так и за счет возрастания электромагнитной силы. Результаты расчета критической массы капли для разных величин сварочного тока сведены в таблицу.

Рис. 1. Зависимость $F_{ЭД}$ от силы тока для различных диаметров электрода

При массе капли больше критической (красная линия на рис. 2) происходит самопроизвольный перенос. В области $(0,75...1)m_{к.кр}$ процесс управляемого переноса нестабилен из-за частого обрыва капли вследствие действия неучтенных сил (раскачивания капли на торце электрода, инерционно-массовые силы при торможении электрода и т.п.).

Результаты расчета критической массы капли

$I_д, А$	70	75	80	85	90	100
$T_к, К$	1672	1727	1800	1850	1870	1890
$\sigma_{ПН}, Н/м$	1,558	1,55	1,542	1,534	1,526	1,51
$F_{ПН}, Н$	$7,34 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$7,262 \cdot 10^{-3}$	$7,22 \cdot 10^{-3}$	$7,19 \cdot 10^{-3}$	$7,11 \cdot 10^{-3}$
$d_{а.п}, м$	$2,29 \cdot 10^{-2}$	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$2,62 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-2}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$	$3,27 \cdot 10^{-2}$
$F_{ЭД}, Н$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$2,15 \cdot 10^{-3}$	$2,47 \cdot 10^{-3}$	$2,81 \cdot 10^{-3}$	$3,58 \cdot 10^{-3}$
$m_{к.кр}, Г$	0,587	0,556	0,521	0,485	0,446	0,36

Нижний допустимый предел массы капли ограничен возможностью при выбранных параметрах газодинамической системы подвести к капле необходимую кинетическую энергию. При этом необходимо учитывать, что газодинамический отрыв происходит при отключенной дуге через фиксированное время t_3 , т.е. в момент сдува отсутствует электродинамическая сила и снижается температура капли, что приводит к увеличению потребной энергии отрыва. Расчетно-экспериментальные данные свидетельствуют о том, что нижний порог лежит в пределах $(0,5...0,55)m_{к.кр}$ (рис.2).

Чтобы осуществить стабильный отрыв капли, необходимо также подобрать оптимальное давление в ресивере. При давлении, которое обеспечивает подвод энергии, приблизительно равной расчетной работе отрыва, наблюдается неполный перенос массы сформировавшейся капли. Увеличение давления в ресивере до значения, обеспечивающее подводимую капле энергию,

приблизительно вдвое превышающую работу отрыва, приводит к полному отделению капли от электрода. Дальнейшее увеличение давления до величин, обеспечивающих подвод энергии, в 5–6 раз превышающих расчетную работу отрыва, приводит к разбрызгиванию капли при нанесении ее на деталь. Таким образом, оптимальный диапазон величин давления можно определить исходя из условия, что энергия, подведенная к капле, $W_k = 2 \dots 5 A_{отр}$.

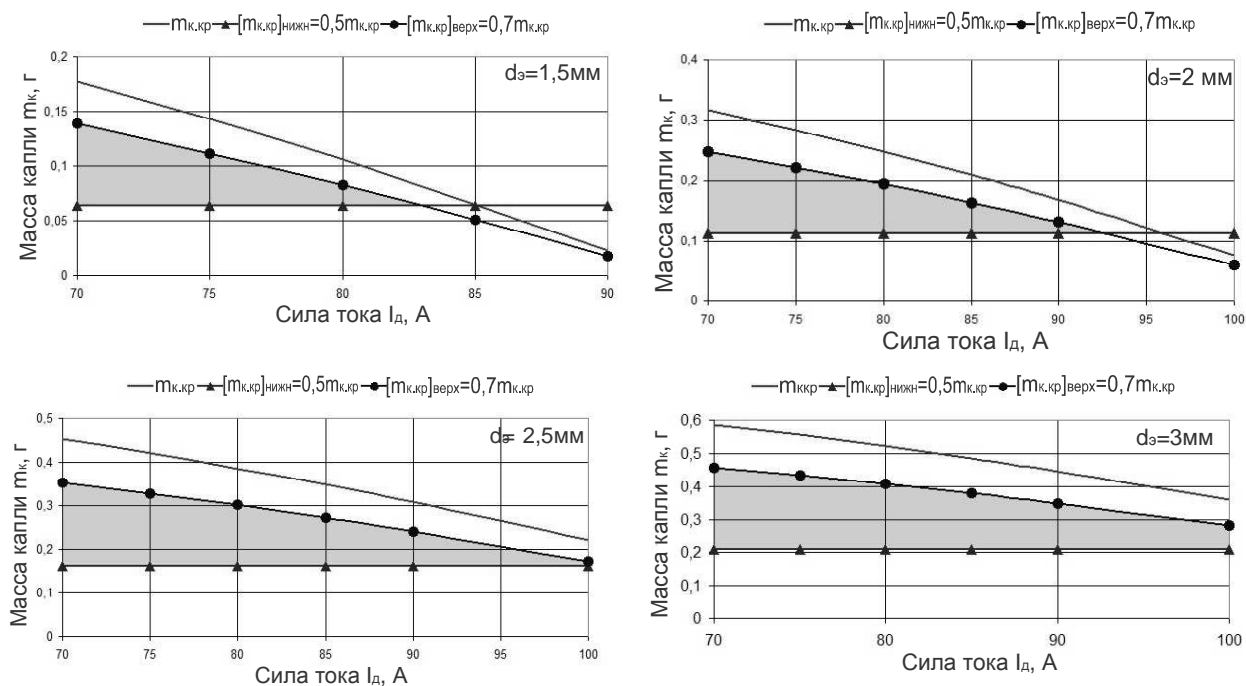


Рис. 2. Область допустимых значений масс капли расплавленного металла при различных диаметрах электрода

Подбор потребного давления в ресивере производился в программе, которая позволяет осуществить перебор вариантов, обеспечивающих оптимальные параметры газодинамической системы. Алгоритм расчета параметров газодинамической системы, на основе которого была создана программа, и ее экранная форма представлены в работе [3].

Давление, необходимое для отрыва от плавящегося электрода из титанового сплава ВТЗ-1 определялось при следующих параметрах: $V_p = 10^{-5} \text{ м}^3$, $V_d = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, $d_e = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_c = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_p = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

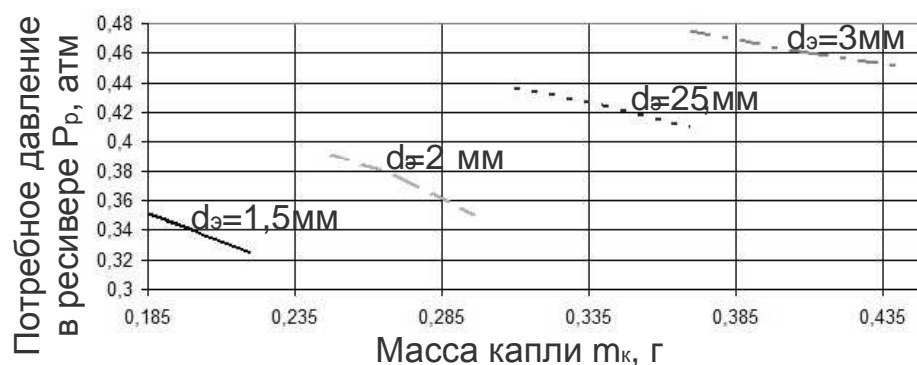


Рис. 3. Зависимость давления в ресивере от массы капли

Выводы. В соответствии с основными законами газодинамики определены силы, действующие на каплю расплавленного металла. Рассчитана область допустимых значений массы капли для различных диаметров электрода исходя из условия стабильного управляемого переноса и необходимой кинетической энергии, которую импульсный газовый поток отдает капле. Определено потребное давление в ресивере, обеспечивающее стабильность протекания процесса переноса.

Список литературы

1. Механіка руйнування та міцність матеріалів [Текст]: довідковий посібник під заг. Ред. В. В. Панасюка. – Л.: СПОЛОМ, 2007. – 444 с.
2. Таблицы физических величин [Текст]: Справочник под ред. академ. И.К.Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976 – 1008 с.
3. Лашко С. Н., Разработка алгоритма и программы расчета параметров газодинамического переноса при дозированной аргодуговой наплавке [Текст]: Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр.: Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Вып.57.–Х., 2012. – с. 123-127

Рецензент: д-р техн. наук, профессор С. И. Планковский,
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ",
г. Харьков, Украина

Поступила в редакцию 12.02.2013

Перенесення краплі імпульсом захисного газу при наплавленні титановим сплавом

Досліджено процеси перенесення крапель розплавленого металу з торця електрода при дозованому аргодуговому наплавленні з метою підвищення ресурсу деталей із титанових сплавів. Розраховано область допустимих значень мас крапель, визначено оптимальний тиск у ресивері для стабільного перебігу процесу перенесення.

Ключові слова: точкове дозоване наплавлення, титанові сплави, перенесення металу імпульсом газу, ремонт авіаційних деталей.

Droplet transfer by the impulse of shielding gas in titanium alloy deposition

Molten metal droplets transfer from the tip of electrode was researched in d-MIG overlaying welding for the purpose of titanium alloy parts overhaul-period renewal. The range of permissible values mass of drops was calculated and optimal pressure in the receiver is determined for the stable transferring process.

Keywords: d-MIG overlaying welding, titanium alloys, metal transfer by the gas impulse, aircrafts parts repair.