

Рис. 1. Диаграмма Парето, оценивающая значимость дефектов сварных соединений труб в выборке

Выводы:

1. Проведен анализ протоколов ВИК с недопустимыми дефектами стыковых соединений труб.
2. На основе метода АВС Дж. Джурана дефекты сформированы группы важности дефектов.
3. Показана корреляция видов дефектов стыковых соединений труб разных диаметров.

Список использованных источников:

1. Тавер, Е.И. Введение в управление качеством: учеб. пособие - Москва : Машиностроение, 2013. - 368 с.
2. Сара Бослаф. Статистика для всех. / Пер. с англ. П. А. Волкова, И. М. Флямер, М. В. Либерман, А.А. Галицына. – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 586 с.: ил.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Кузнецов М.А., к.т.н., И.Ф. Турсунов, студент гр. 10А72

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел 8(38451)7-77-61

E-mail: kuznechik_85@mail.ru

Аннотация: В работе представлен современное состояние и тенденции развития аддитивного производства. Рассмотрены основные направления развития и технологические особенности методов реализации данного направления. Отмечена актуальность и перспективность направления, основанного на дуговых методах плавления электродной проволоки (GMAW и GTAW).

Abstract: The paper presents the current state and development trends of additive manufacturing. The main directions of development and technological features of the methods for the implementation of this direction are considered. The relevance and prospects of the direction based on arc methods of electrode wire melting (GMAW and GTAW) are noted.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, сварка плавящимся электродом, присадочная проволока.

Keyword: Additive technologies, consumable electrode welding, filler wire.

Аддитивное производство (Additive Manufacturing) или технология трехмерной печати объемных изделий сложной формы появилась в конце 1980-х годов. Передовой на тот момент являлась

технология стереолитографии (SLA), осуществляемая за счет воздействия лучом ультрафиолетового лазера на светочувствительные жидкие фотополимеры и их последующее затвердевание [1,2].

В настоящее время существует достаточно большое количество технологий аддитивного производства. Условно их можно разделить по методам формирования слоя: «BedDeposition»; «Direct Deposition» [3,4]. Указанные выше технологии позволяют получать изделия, как из пластика, так и из металла.

Получение металлических изделий происходит за счет плавления порошка, присадочной проволоки или листового металла (рисунок 3) [5-10]. Изготовление металлических изделий путем расплавления сварочной проволоки не получили большого распространения. Хотя при применении данного способа имеются минимальные потери расплавляемой проволоки и почти 100% проволоки тратится на изготавливаемое изделие [11,12].

В свою очередь дуговые методы плавления присадочной проволоки (GMAW и GTAW) позволяют:

- получать прочное сплавление слоев;
- создавать хорошую защиту изготавливаемого изделия от воздействия окружающей среды;
- обладают высокой производительностью.

В настоящее время появилось большое количество исследований, посвященных созданию и металлических изделий, полученных посредством дугового плавления присадочной проволоки, что доказывает актуальность и перспективность данного направления.

Авторами [13] были изготовлены объемные изделия прямоугольной и трапециевидальной формы. Высота стенки составляла порядка 100 мм и была выполнена за 70 проходов. Проведенный микроструктурный анализ вырезанных вдоль и поперек образцов, показал наличие равномерной, равноосной ферритно-перлитной структурой

В работе [14] для исследования влияния различной кривизны поверхности на процесс изменения геометрии слоя, были изготовлены изделия (рисунок 6):

- коробчатой формы с прерыванием слоя;
- радиальной формы с изменением радиуса;
- радиальной формы непрерывно по спирали.

Процесс создания изделий состоял из нескольких этапов:

- создание трехмерной модели изделия;
- разбивка имеющейся модели на слои;
- определение параметров режима наплавки в зависимости от используемого материала;
- процесс изготовления изделия.

Значительная часть исследований посвящена проблеме оптимизации геометрических размеров наплавляемого слоя. В работе [15] для управления высотой и шириной наплавляемого слоя предложено изменять наклон сварочной горелки.

При изготовлении более тонкостенных изделий с высокой скоростью производства и эффективностью наплавки была предложена идея по использованию двух горелок, формирующих один и тот же слой. При этом способе с увеличением тока дуги ширина наплавляемого валика уменьшилась, а высота увеличилась. Разность высот между точкой зажигания дуги и точкой гашения дуги в наплавляемом слое была уменьшена до 3% [16].

В работе [17] показана принципиальная возможность получения скомбинированного изделия, состоящего из нержавеющей стали и никелевого сплава. Полученные значения механических свойств вблизи границы раздела (твердость и прочность соединения) показали удовлетворительные значения.

В работе [18] было изготовлено изделие из кремниевой мягкой стали с биметаллической бронзой на основе многослойной однопроходной дуговой наплавки. У границы между сталью и бронзой была высокая адгезия без трещин или пор и было получено металлургическое соединение. Предел прочности полученного соединения составил 305 МПа. При этом разрушение произошло около середины бронзовой стороны, доказывая о наличии металлургического соединения.

Разработан и предложен способ электродугового послойного выращивания металлических изделий плавящимся электродом в среде защитных газов. Способ заключается в электродуговом послойном выращивании за счет применения сварки плавящимся электродом в среде защитных газов с использованием разработанного 3D-принтера [19].

Стол спроектирован из следующих узлов – неподвижной рамы, подвижной рамы и рабочей поверхности.

В качестве профиля для неподвижной (1) и подвижной рамы (2) был выбран швеллер (рисунок 1). Размер швеллера выбирался наименьшим, позволяющим установить другие элементы, а именно двига-

тель (3), подшипники скольжения (8) и ходовой винт (9). Все эти элементы решено установить на стенке швеллера, поэтому определяющим размером является высота швеллера. Был выбран швеллер высотой 65 мм. Швеллеры в раме соединены уголками (6). В раме просверлены отверстия, через которые проходят направляющие (4), закрепленные в опорах (7) (рисунок 1). Двигатель соединен через компенсирующую муфту с ходовым винтом (5). Гайка (9) установлена на подвижной раме.

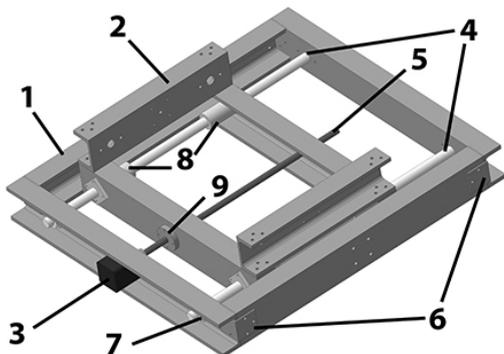


Рис. 1. Неподвижная и подвижная рама

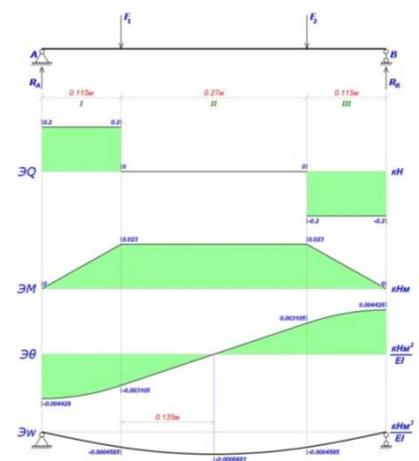


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов и перемещений

Рассчитаны нагрузки и деформации направляющих валов и построены эпюры (рисунок 2). Максимальный изгиб будет достигаться при расположении подвижной рамы на середине. На рисунке приведены эпюры при результирующей нагрузке в 40 кг (подвижная рама+стол+изделие), равномерно распределенной между двумя валами. При данной нагрузке оптимальным является стержень диаметром 12 мм.

В качестве рабочей поверхности стола при проектировании решено использовать перфорированный швеллер, для облегчения массы стола. При выборе данного решения, определяющими будут уже два размера – необходимый размер рабочей зоны и размеры полки, на которую будут установлены подшипники скольжения и ходовой винт (рисунок 3). Был выбран перфорированный швеллер с высотой 200 мм и шириной полки 76 мм.

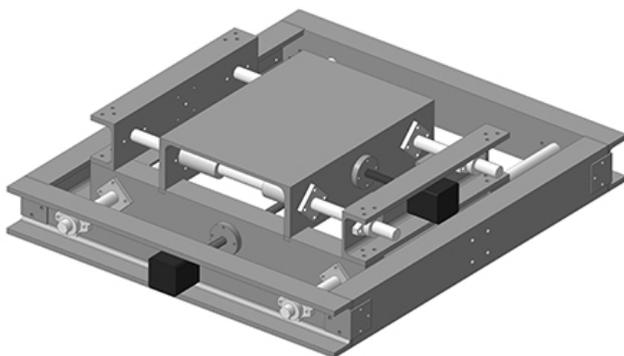


Рис. 3. Подвижный стол

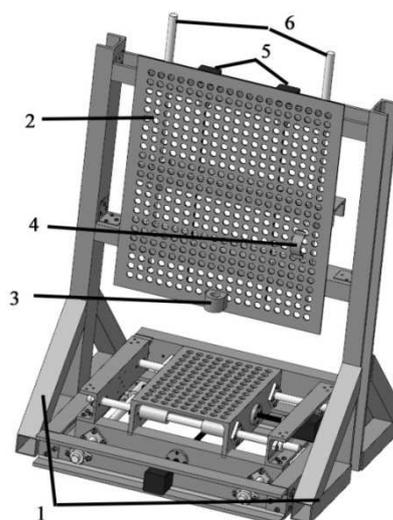


Рис. 4. Модель 3D-принтера

Для перемещения горелки по оси Z была спроектирована и собрана следующая конструкция (рисунок 4), состоящая из двух вертикальных опор (1). В движение приводится перфорированный

лист (2), на котором закреплена горелка с помощью зажима для сопла (3) и хомута держателя (4). Лист приводится в движение двумя серводвигателями (5) и движется по валам (6).



Рис. 5. Изделие цилиндрической формы, наплавленное сварочной проволокой СВ-08Г2С

На разработанном 3D-принтере было произведено выращивание изделий цилиндрической формы сварочной проволокой СВ-08Г2С диаметром 1 мм (рисунок 2) и сварочной проволокой ОК Autrod 347Si диаметром 1 мм. Выращенные цилиндры состоят из 50 слоев. Режимы выращивания: сила тока 70-80А, напряжение 18-20В. Толщина стенки составила 6 мм.

В качестве электроники для управления использовали плату RAMPS 1.4 на основе ArduinoMegas прошивкой Marlin v 2.0, позволяющую проводить точную настройку 3D-принтера.

Электродуговое послойное выращивание происходило по следующей технологии. Создавалась компьютерная 3D модель изготавливаемого изделия посредством САD систем, которая в дальнейшем разбивалась на слои. Формирование объекта производилось на 3D-принтере. В качестве источника питания применялся инверторный выпрямитель. Слои формировались на подвижном столе, обеспечивающем точное перемещение по заданной траектории по координатам X, Y и движущейся горелки, обеспечивающей точное позиционирование по координате Z в результате плавления проволоки и подплавления поверхности подложки или предшествующего слоя. За один проход наплавлялся слой толщиной от 3 до 5 мм в зависимости от режимов наплавки.

В результате экспериментальных исследований было произведено выращивание изделий цилиндрической формы сварочной проволокой СВ-08Г2С диаметром 1 мм (рисунок 5) и сварочной проволокой ОК Autrod 347Si диаметром 1 мм. Выращенные цилиндры состоят из 50 слоев. Режимы выращивания: сила тока 70-80А, напряжение 18-20В. Толщина стенки составила 6 мм.

Далее выращенные цилиндры обработали на токарном станке (рисунок 6). Толщина стенки после обработки цилиндра, выращенного сварочной проволокой СВ-08Г2С составила 2 мм, выращенного сварочной проволокой ОК Autrod 347Si составила 4 мм.



а



б

Рис. 6. Изделие цилиндрической формы, наплавленные и обработанный на токарном станке: сварочной проволокой СВ-08Г2С: а – сварочная проволока СВ-08Г2С, б – сварочная проволока ОК Autrod 347Si

Вывод.

1. На основе проведенного литературного обзора современного состояния исследовательских работ в области аддитивного производства, одной из перспективных технологий получения металлических изделий являются дуговые методы плавления присадочной проволоки (GMAW и GTAW). Актуальность данного метода заключается в:

- низкой себестоимости наплавочных материалов;
 - реализации на стандартном оборудовании (роботизированные комплексы, автоматические установки);
 - высокой производительности процесса;
 - эффективном использовании наплавочных материалов (минимальные потери).
2. Спроектирован, разработан, изготовлен и апробирован в лабораторных условиях 3D-принтер для электродугового послойного выращивания.
 3. Установлена возможность получения, на заданных режимах выращивания (сила тока 70-80А, напряжение 18-20В, бездефектных изделий цилиндрической формы с толщиной стенки 2-4 мм.

Список используемых источников:

1. Wohlers T. History of additive manufacturing / T. Wohlers, T. Gornet // Wohlers Report. - 2014.
2. Wong K.V. A review of additive manufacturing / K.V. Wong, A. Hernandez // International Scholarly Research Network Mechanical Engineering. - 2012. -Vol. 2012. -Article ID 20876. - 10 pages.
3. Kruth J.P. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping / J.P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa // CIRP Annals-Manufacturing Technology. - 1998. - №47(2). - P.525-540.
4. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко// Библиотечка литейщика.- 2014. - № 9. - С. 14-71.
5. Жуков В.В. Аддитивное производство металлических изделий (обзор) / В.В. Жуков, Г.М. Григоренко, В.А. Шаповалов // Автоматическая сварка.- 2016. - № 5-6. - С. 148-153.
6. Коржик В.Н. Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий/ В.Н. Коржик, В.Ю. Хаскин, В.И. Ткачук, С.И. Пелешенко, В.В. Коротенко, А.А. Бабич // Автоматическая сварка.- 2016. - № 5-6. - С. 127-134.
7. Carter W.T. Direct Laser Sintering of Metals / W.T. Carter, J. Carter, G.J. Marshall // 4th Solid Freeform Fabrication Symposium. - 1993. - P.51-59.
8. Kruth J.P. Selective laser melting of iron-based powder / J.P. Kruth, P. Mercelis, J. Van Vaerenbergh, L. Froyen, M. Rombouts, B. Lowers // Journal of Materials Processing Technology. - 2003. - Vol. 149 - P.616-622.
9. Larsson M. Rapid Manufacturing with Electron Beam Melting (EBM) - A manufacturing revolution? / M. Larsson, U. Lindthe, O. Harrysson // Solid Freeform Fabrication Symposium. - 2003. - P.433-438.
10. Michaels S. Metal parts generation by three dimensional printing / S.Michaels, E.M. Sachs, M.J. Chima // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Simposium, Austin,USA. - 1992. - P.244-250.
11. Ding D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D.H. Ding, Z.X. Pan, D. Cuiuri, H.J. Li, // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Oct. 2015. - P.465-481.
12. Taminger K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing / K.M. Taminger, Hafley R.A. // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (The Netherlands): NATO. - 2006. - P.16.1- 16.10.
13. Dickens P.M. Rapid prototyping using 3-D welding / P.M. Dickens, M.S. Pridham, R.C. Cobb, I. Gibson, G. Dixon // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Simposium, Austin, USA. - 1992. - P.280-290.
14. Graff K.F. Very high power ultrasonic additive manufacturing (vhpum) for advanced materials / K.F. Garff, M. Short, M. Norfolk // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Simposium, Austin,USA. - 2010. - P.82-89.
15. Kazanas P. Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture / P. Kazanas, P. Deherkar, P. Almeida, H. Lockett, S. Williams // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. - 2012. - P.1042-1051.
16. Yang D.Q. Forming characteristics of thin-wall steel parts by double electrode GMAW based additive manufacturing / D.Q. Yang, C.J. He, G.J. Zhang // Journal of Materials Processing Technology. - Jan. 2013. - P.153-160.
17. Abe T. Dissimilar metal deposition with a stainless steel and nickel-based alloy using wire and arc-based additive manufacturing / T. Abe, H. Sasahara // Precision Engineering- Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology. - Jun. 2016. - P.387-395.
18. Liu L.M. Additive manufacturing of steel-bronze bimetal by shaped metal deposition: interface characteristics and tensile properties / L.M. Liu, Z.L. Zhuang, F. Liu, M.L. Zhu // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. -Dec.2013. -P.2131-2137.
19. Kuznetsov M.A. Structural and chemical analysis of 3D printed metal products / M.A. Kuznetsov, E.A. Zernin, M.A. Krampit, V.I. Danilov, G.V. Shlyakhova // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 28, No. 15, (2019), pp. 699-709.