

УДК 621.791.753.9.011

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СВАРКИ МЕДИ СО СТАЛЬЮ

**В. В. Чигарев**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
Кафедра Металлургии и технологии сварочного производства  
Приазовский государственный технический университет  
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500

**Контактный тел.:** (0629) 31-65-16

**E-mail:** office@pstu.edu.ua

**П. А. Гавриш**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
старший преподаватель

Кафедра сварки\*

**Контактный тел.:** 097-433-94-07

**E-mail:** Ltd\_kran\_dgma@mail.ru

**Л. В. Васильева**

Старший преподаватель  
Кафедра прикладной математики\*

**Контактный тел.:** 050-170-62-84

**E-mail:** Vasilyeval@ukr.net

\*Донбасская государственная машиностроительная академия  
ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313

*Досліджена можливість підвищення продуктивності при зварюванні міді зі сталлю шляхом оптимізації компонентів порошкового дроту. Виконані практичні дослідження. Створена математична модель процесу. Виконана оптимізація складу порошкового дроту.*

*Ключові слова:* зварювання міді зі сталлю, продуктивність при наплавленні та зварюванні, математична модель.

*Исследована возможность повышения производительности при сварке меди со сталью путем оптимизации компонентов порошковой проволоки. Выполнены практические исследования. Создана математическая модель процесса. Выполнена оптимизация состава порошковой проволоки.*

*Ключевые слова:* сварка меди со сталью, математическая модель.

*Possibility of increase of the productivity is investigational at welding of copper with steel by optimization of components of powder-like wire. Practical researches are executed. The mathematical model of process is created. Optimization of composition of powder-like wire is executed.*

*Keywords:* welding of copper with steel, productivity at deposited metal and welding.

## 1. Введение

Порошковые проволоки позволяют вести процесс сварки на токе высокой плотности, таким образом, используя для повышения производительности расплавления не только теплоту сварочной дуги, но и теплоту, которая выделяется в оболочке проволоки нагретой, проходящим по ней током большой плотности. Такой способ дополнительного подогрева металлической оболочки обеспечивает увеличение объема расплавляемой оболочки. При наличии в сердечнике порошковой проволоки металлических компонентов в виде железного порошка, еще больше повышает производительность [1]. Однако использование в качестве компонентов шихты повышенного содержания железного порошка приводит к негативному влиянию на качество сварного шва меди со сталью. Повышенная концентрация дендритов железа у границы сплавления обеспечивает повышение твердости сварного шва и прочности, но вместе с тем уменьшает пластичность сварного шва, из-за чего в нем появляются дефекты, тем самым снижая эксплуатационные свойства сварного соединения.

## 2. Постановка проблемы

Повышение качества сварных соединений меди со сталью возможно путем совершенствования технологии

изготовления сварочных материалов [2], путем совершенствования технологии сварки [3–5], совершенствование сварочных материалов для сварки меди со сталью [6–8]. Настоящая статья посвящена моделированию и оптимизации состава порошковой проволоки.

## 3. Оптимизация состава порошковой проволоки

Исследовалось содержание компонентов в порошковой проволоке для сварки меди и наплавки медных сплавов (табл. 1) с целью выявления оптимального состава в смысле минимизации порообразования и увеличения производительности наплавки.

В связи с большим количеством компонентов порошковой проволоки ( $m = 12$ ) не представляется возможным построение общей математической модели, включающей все указанные компоненты. Поэтому для выявления зависимости между исследуемыми факторами предлагается провести графический анализ. Как средство использовался 2М визуальный анализ, а именно диаграммы размаха (Box-Whiskers) [9].

Группирующих показателей в данном исследовании два: порообразование (Por) и производительность наплавки (Proizv).

На рис. 1 приведена диаграмма размаха компонента Al, значения сгруппированы относительно величины

Таблица 1

Компоненты порошковой проволоки

Наименование компонента	Содержание компонентов в порошковой проволоке, мас. %									
	66,7	60,1	54,1	42,3	37,2	40	56	60	71,2	75
Алюминий (Al)	0,5	0,8	0,9	1,5	2,0	0,3	1,5	0,8	0,6	0,7
Цирконий (Zk)	1,1	1,2	1,4	1,8	2,1	1,1	1,2	0,9	0,4	0,3
Ферротитан (Ft)	8,0	7,9	9,2	12,0	15,0	9,0	9,1	6,1	3,1	5,0
Гематит (Gm)	4,0	5,0	5,3	7,0	5,9	7,9	6,1	3,1	1,1	2,3
Графит (C)	1,5	2,0	2,2	5,0	8,0	9,0	2,0	4,0	2,0	3,0
Хром (Cr)	4,9	7,0	7,4	8,8	6,0	4,0	7,0	9,0	7,0	2,7
Оксид иттрия (Itr)	3,1	4,0	5,1	6,0	7,0	5,0	3,4	5,4	3,9	1,9
Плавленый шпат (Ps)	5,1	5,8	6,2	1,1	5,2	9,2	6,0	2,0	6,0	4,6
Кремнефтористый натрий (Na)	2,3	2,9	4,1	6,6	9,9	10,9	3,5	2,5	1,5	2,2
Ферромарганец (Fm)	1,2	1,4	1,6	3,2	0,8	0,7	1,8	2,8	1,8	1,1
Ферросилиций (Fs)	1,6	1,9	2,5	4,7	0,9	2,9	2,4	3,4	1,4	1,2
Производительность наплавки, кг/ч	5,8	6,3	6,7	7,2	5,1	5,2	5,3	6,8	5,7	5,4
Порообразование, колич. пор на 100 мм шва	2	—	—	3	1	2	3	—	2	3

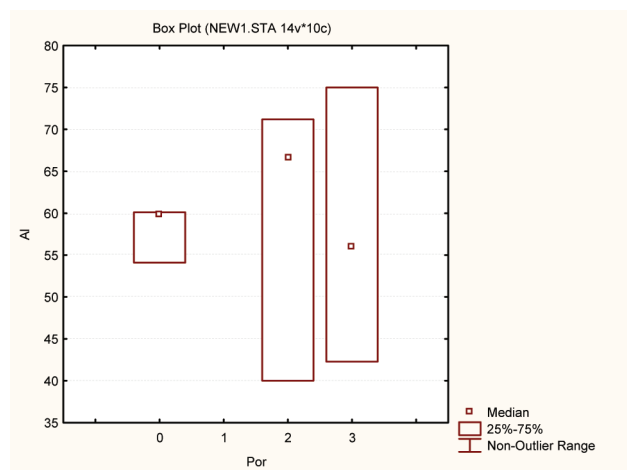


Рис. 1. Диаграмма размаха компонента Al

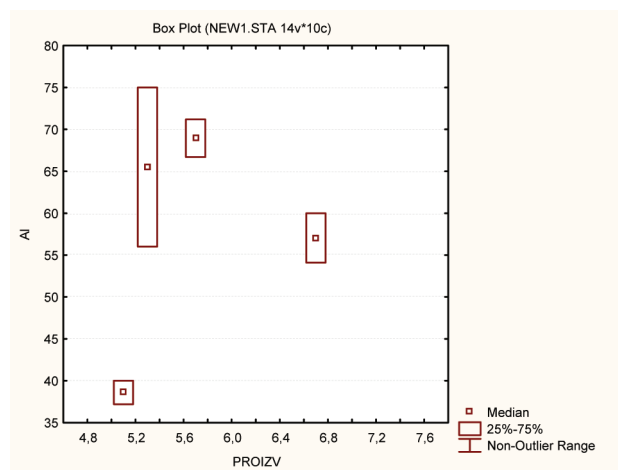


Рис. 2. Диаграмма размаха с группирующим показателем «производительность наплавки»

порообразования. По представленной вариации значений можно видеть связь между группирующим и зависимым показателями. Предполагая, что зависимая величина распределена нормально, можно определить оптимальное содержание компонента Al в порошковой проволоке: 5,4...60,1 %, при котором значение Por = 0. Построив диаграмму размаха (рис. 2) с группирующим показателем «производительность наплавки», получили тот же результат: 5,4...60,1 %, медиана = 58 %.

Аналогично были построены Box-Whiskers для всех компонентов порошковой проволоки: с группирующим показателем Por (рис. 3 и 5) и Proizv (рис. 4 и 6). Проанализировав их, получили данные для оптимального состава проволоки (табл. 2).

На рис. 3 представлена диаграмма размаха компонентов порошковой проволоки. На рис. 4, рис. 5 представлены диаграммы размаха компонентов и их влияние на порообразование и производительность наплавки. На рис. 5, рис. 6 представлены диаграмма размаха остальных компонентов и их влияние на порообразование и производительность.

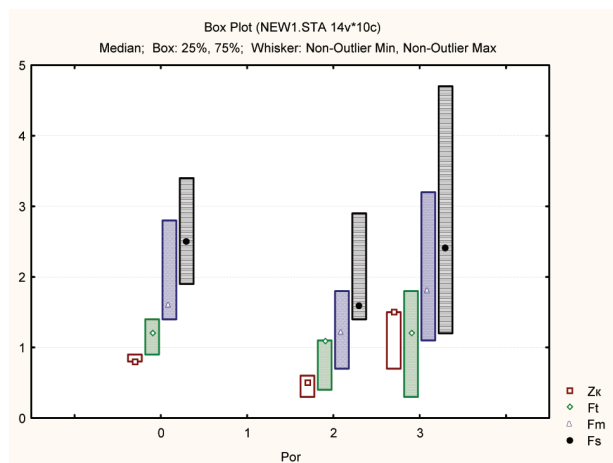
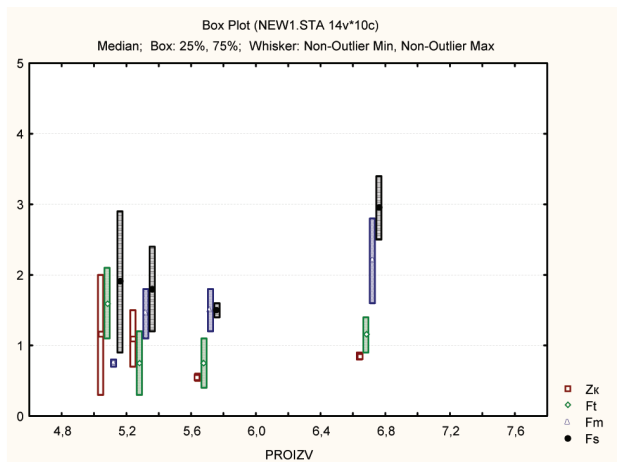
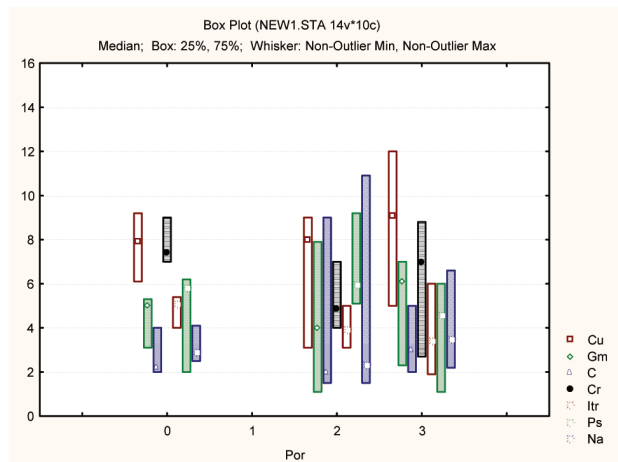


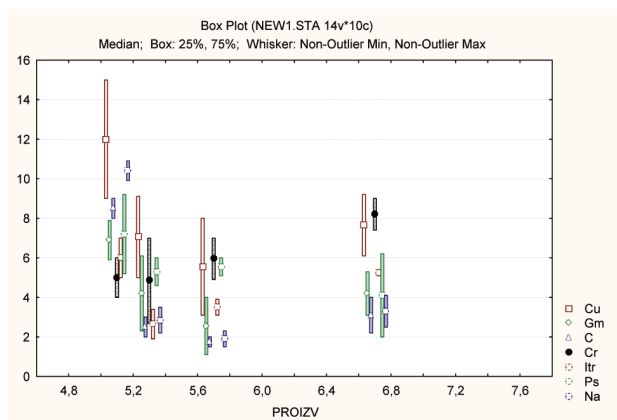
Рис. 3. Диаграмма размаха компонентов порошковой проволоки: Цирконий (Zk), Ферротитан (Ft), Ферромарганец (Fm), Ферросилиций (Fs) и их влияние на порообразование



**Рис. 4.** Диаграмма размаха компонентов порошковой проволоки и их влияние на производительность наплавки



**Рис. 5.** Диаграмма размаха компонентов: Медный порошок (Cu), Гематит (Gm), Графит (C), Хром (Cr), Оксид иттрия (Itr), Плавиковый шпат (Ps), Кремнефтористый натрий (Na) и их влияние на порообразование



**Рис. 6.** Диаграмма размаха компонентов: Медный порошок (Cu), Гематит (Gm), Графит (C), Хром (Cr), Оксид иттрия (Itr), Плавиковый шпат (Ps), Кремнефтористый натрий (Na) и их влияние на производительность наплавки

Результаты исследований приведены в табл. 2. Определены оптимальные составы порошковых проволок, приведены средние значения выборок, медианы, а также стандартные отклонения.

**Выводы**

1. Исследованы зависимости влияния компонентов порошковой проволоки на порообразование и производительность наплавки.
2. С помощью Box-Whiskers уточнены оптимальные составы порошковых проволок.
3. Методика исследования может быть применена и для других свариваемых материалов и видов сварки.

**Таблица 2**

**Результаты исследований**

Наименование компонента	Содержание компонентов в порошковой проволоке, мас. %				Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Std. Dev
	Оптимальный состав	Образец 2	Образец 3	Образец 8					
Алюминий (Al)	54,1–60,1	60,1	54,1	60	56,26	58,0	37,2	75,0	13,078
Цирконий (Zr)	0,8–0,9	0,8	0,9	0,8	0,96	0,8	0,3	2,0	0,534
Ферротитан (Ft)	1,2–1,8	1,2	1,4	0,9	1,15	1,15	0,3	2,1	0,552
Медный порошок (Cu)	6,1–9,2	7,9	9,2	6,1	8,44	8,5	3,1	15,0	3,389
Гематит (Gm)	3,1–5	5,0	5,3	3,1	4,77	5,15	1,1	7,9	2,137
Графит (C)	2,0–4,0	2,0	2,2	4,0	3,87	2,6	1,5	9,0	2,673
Хром (Cr)	7,0–9,0	7,0	7,4	9,0	6,38	7,0	2,7	9,0	2,013
Оксид иттрия (Itr)	4,0–5,4	4,0	5,1	5,4	4,48	4,5	1,9	7,0	1,508
Плавиковый шпат (Ps)	2,0–6,2	5,8	6,2	2,0	5,12	5,5	1,1	9,2	2,261
Кремнефтористый натрий (Na)	2,9–4,1	2,9	4,1	2,5	4,64	3,2	1,5	10,9	3,353
Ферромарганец (Fm)	1,4–2,8	1,4	1,6	2,8	1,64	1,5	0,7	3,2	0,814
Ферросилиций (Fs)	1,9–3,4	1,9	2,5	3,4	2,29	2,15	0,9	4,7	1,155
Производительность наплавки, кг/ч	6,3–6,8	6,3	6,7	6,8					
Порообразование, колич. пор на 100 мм шва	—	—	—	—					

Литература

1. Походня И. К. Сварка порошковой проволокой [Текст] / И. К. Походня, А. М. Суптель, В. Н. Шлепаков. — К. : Наукова думка, 1972. — 221 с.
2. Гавриш П. А. Совершенствование технологии производства порошковой проволоки [Текст] / П. А. Гавриш, Е. В. Касова, В. В. Чигарев, И. В. Серов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — Запорозьке, ЗНТУ. — № 2. — 2005. — С. 29–33.
3. Гавриш П. А. Зниження розбризкування при зварюванні міді та сталі [Текст] / В. В. Чигарьов, І. В. Серов // Вісник Житомирського державного технічного університету, Житомир. — № 2(37). — 2006. — С. 3–8.
4. Гавриш П. А. Вплив швидкості зварювання на якість зварного з'єднання міді [Текст] / П. А. Гавриш // Вісник Хмельницького національного університету, 2005. — № 6. — Т. 2. — С. 75–78.
5. Рябов В. Р. Сварка разнородных металлов и сплавов [Текст] / В. Р. Рябов, Д. М. Рабкин, Р. С. Курочко, Л. Г. Стрижевская. — М. : Машиностроение, 1984. — 239 с.
6. А. с. 1606296 СССР, МКИ В23К 35/362. Флюс для сварки меди [Текст] / П. А. Гавриш, А. В. Грановский, В. Т. Катренко, В. Д. Кассов (СССР). — № 4436292/31-27; Заявлено 06.06.88; Опубл. 15.11.90; Бюл. № 42. — 3 с.
7. А. с. 1538395 СССР, МКИ В23К 35/368. Порошковая проволока [Текст] / В. М. Карпенко, А. В. Грановский, Н. А. Макаренко, П. А. Гавриш (СССР). — № 4418894/31-27; Заявлено 03.05.88; Приказ о снятии грифа ДСП № 06-154 от 04.11.2010 г.
8. А. с. 1540173 СССР, МКИ В23К 35/368. Порошковая проволока [Текст] / В. М. Карпенко, А. В. Грановский, Н. А. Макаренко, П. А. Гавриш (СССР). — № 4442783/31-27; Заявлено 20.06.88; Приказ о снятии грифа ДСП № 06-154 от 04.11.2010 г.
9. Салин В. Н. Статистика: учебное пособие [Текст] / В. Н. Салин, Э. Ю. Чурилова, Е. П. Шпаковская. — М. : КНОРУС, 2007. — 188 с.

*Розглядається застосування мультипольної моделі та моделі сферичних гармонік для нормування рівня магнітного поля, яке створюється технічним об'єктом.*

*Ключові слова:* нормування, магнітне поле, мультиполь, гармоніка.

*Рассматривается применение мультипольной модели и модели сферических гармоник для нормирования уровня магнитного поля, создаваемого техническим объектом.*

*Ключевые слова:* нормирование, магнитное поле, мультиполь, гармоника.

*The application of multipole model and models of spherical harmonics for a normalization of a level of a magnetic field created of technical objects is considered.*

*Keywords:* normalization, magnetic field, multipole, harmonic.

УДК 621.317.4

# О НОРМИРОВАНИИ УРОВНЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИПОЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ

**А. В. Гетьман**

Кандидат технических наук

Зав. отделом № 20 Научно-технического центра  
магнетизма технических объектов НАН Украины  
ул. Индустриальная, 19, г. Харьков, Украина, 61109  
**Контактный тел.:** (0572) 99-11-75. **Факс:** 99-21-62

**E-mail:** ntcmt@ukrpost.ua

## 1. Введение

Для целого ряда технических объектов (ТО) критичным с точки зрения их нормального функционирования является уровень воздействующего внешнего магнитного поля. Особенно актуальна в этом плане защита от негативного воздействия магнитного поля для электронных компонентов объектов космической и авиационной техники, систем управления в энергетике [1, 2] и т. д. Так, например, при создании малых космических аппаратов (КА) приходится решать задачу уменьшения негативного влияния помехонесущего магнитного поля (МП), создаваемого бортовой аппаратурой, на магниточувствительные элементы КА [3]. Это необходимо, прежде всего, для защиты бортового магнитометра КА от магнитной помехи, создаваемой его комплектующими и узлами, что призвано обеспечить точность ориентации

спутника по данным измерений магнитного поля Земли на орбите.

Традиционно эту задачу решают на основе многодипольной модели КА [4]. Для чего измеряют дипольный магнитный момент каждого из конструктивных элементов КА, а затем рассчитывают вклад в суммарную магнитную индукцию в зоне установки магниточувствительных элементов (например, бортового магнитометра) с последующей реализацией мероприятий по минимизации МП до допустимого уровня.

Однако такой подход, основанный на единственной характеристике пространственного распределения МП — дипольном магнитном моменте, имеет существенные недостатки. Прежде всего, это невозможность использования модели вблизи поверхности комплексуемых, поскольку при плотной компоновке аппаратуры внутри КА на расстояниях между его отдельными комплектующими