

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШЛАКОВОЙ ОСНОВЫ НАПОЛНИТЕЛЯ
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА****Чигарев В. В., Голуб Д. М., Волков Д. А.**

Отмечено, что стабильность дугового процесса наплавки и величину потерь электродного металла характеризуют коэффициент общих потерь ψ и коэффициент потерь на разбрызгивание $\psi_{рб}$. Изучено влияние количества и состава газшлакообразующей части наполнителя самозащитной порошковой проволоки, силы тока и напряжения на дуге на коэффициенты потерь ψ и $\psi_{рб}$ при наплавке высокоуглеродистых комплексно легированных сплавов. Для обработки экспериментальных данных применяли симплексно-решетчатое планирование. С помощью коэффициентов уравнений регрессии произведена оценка влияния газшлакообразующих компонентов наполнителей самозащитных порошковых проволок на коэффициенты потерь ψ и $\psi_{рб}$. Анализ уравнений регрессии, полученных при исследовании трехкомпонентных газшлакообразующих основ, при условии достижения минимальных потерь электродного металла при наплавке позволил установить содержание каждого из компонентов в составе наполнителя.

Відзначено, що стабільність дугового процесу наплавлення і величину втрат електродного металу характеризують коефіцієнт загальних втрат ψ і коефіцієнт втрат на розбризування $\psi_{рб}$. Вивчено вплив кількості і складу газшлакообразующей частини наповнювача самозахисного порошкової дроту, сили струму і напруги на дузі на коефіцієнти втрат і при наплавленні високовуглецевих комплексно легованих сплавів. Для обробки експериментальних даних застосовували симплексно-гратчасте планування. За допомогою коефіцієнтів рівнянь регресії зроблена оцінка впливу газшлакообразующих компонентів наповнювачів самозахисних порошковых дротів на коефіцієнти втрат і. Аналіз рівнянь регресії, отриманих при дослідженні трикомпонентних газшлакообразующих основ, за умови досягнення мінімальних втрат електродного металу при наплавленні дозволив встановити зміст кожного з компонентів у складі наповнювача.

It is notice, that stability of arc build-up welding process and the magnitude of the loss electrode metal described by general relative loss of filler metal factor ψ and spatters loss factor $\psi_{рб}$. Influence of quantity and structure of gas-slag-forming part of a filler of a self-protective flux-cored wire is studied, current and tension on an arch on lossfactors ψ and $\psi_{рб}$ surfacing at build-up welding of the high-carbonaceous complex alloyed alloys. Applied simplex and trellised planning to processing of experimental data. By means of coefficients of the equations of regression the assessment of influence of gas-slag-forming components of fillers self-protective flux-cored wires on loss-factors ψ and $\psi_{рб}$ is made. The analysis of the equations of regression received at research of three-component gas-slag-forming bases on condition of achievement of the minimum losses of electrode metal at a build-up welding allowed to establish the maintenance of each of components as a part of a filler.

Чигарев В. В.

Голуб Д. М.

Волков Д. А.

д-р техн. наук, проф. ПГТУ

www.pstu.edu

ассистент каф. ОиТСП ДГМА

канд. техн. наук, доц. каф. ОиТСП ДГМА

www.dgma.donetsk.ua

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь;

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.791

Чигарев В. В., Голуб Д. М., Волков Д. А.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШЛАКОВОЙ ОСНОВЫ НАПОЛНИТЕЛЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

Общим требованием для порошковых проволок всех типов является равномерность плавления сердечника и оболочки. Композиция сердечника самозащитной порошковой проволоки должна обеспечивать благоприятные сварочно-технологические и защитные свойства, а также хорошую рафинирующую способность шлаков, достаточную раскисленность и легирование наплавленного металла, в сочетании с высокой стойкостью против образования пор и трещин.

Как показали исследования металлургических процессов, протекающих при наплавке порошковой проволокой открытой дугой, равномерное газовыделение из сердечника и раннее формирование расплава шлака улучшают защиту зоны дуги от окружающего воздуха. Композиция сердечника проволоки должна обеспечивать сочетание защитных свойств с благоприятными сварочно-технологическими свойствами, хорошей рафинирующей способностью шлаков, достаточной раскисленностью и легированием металла, высокой стойкостью против трещин и пор.

В самозащитных порошковых проволоках газовая защита обеспечивается введением в состав шихты их сердечников карбонатов, например: мрамора, магнезита, кальцинированной соды и др. или органических компонентов. В большинстве сердечников порошковых проволок обязательным компонентом является плавиковый шпат, который вводится с целью повышения жидкотекучести шлака, что способствует улучшению рафинирования металла наплавки. По содержанию других шлакообразующих компонентов самозащитные порошковые проволоки существенно отличаются.

Из порошковых проволок для сварки открытой дугой в настоящее время нашли широкое применение, главным образом, сердечники двух типов: рутил-органического и карбонатно-флюоритного или рутил-карбонатно-флюоритного [1].

Шлакообразующую основу рутил-органического типа сердечника составляют рутиловый концентрат и алюмосиликаты (полевой шпат, слюда, гранит). Газообразующими компонентами служат целлюлоза, крахмал и другие органические материалы. В качестве раскислителя используют преимущественно ферромарганец. Стабильность горения дуги поддерживается благодаря наличию в составе сердечника силикатов натрия или калия (силикатная глыба) или, двуххромовокислого калия.

Шлакообразующую основу сердечника карбонатно-флюоритного типа составляет фтористый кальций (флюорит) в виде плавикового шпата или флюоритового концентрата, а также окислы кремния, титана, алюминия и др. Их вводят в сердечник в виде порошков соответствующих минералов. Газообразующими компонентами преимущественно являются безводные карбонаты щелочноземельных металлов (мрамор, магнезит и др.). В результате их диссоциации образуется углекислый газ, создающий защитную атмосферу, а также окислы, участвующие в образовании сварочного шлака.

Стабильность дугового процесса наплавки и величину потерь электродного металла характеризуют коэффициент общих потерь ψ и коэффициент потерь на разбрызгивание $\psi_{рб}$. От величины этих коэффициентов зависят потери и переход легирующих элементов в наплавленный металл [2]. В литературе [3–8] указывается на усиление разбрызгивания электродного металла и увеличение в связи с этим потерь легирующих элементов при повышении содержания углерода в электродной проволоке вследствие интенсивного его окисления и выделения оксида, что вызывает деформирование и увеличивает подвижность капли жидкого

металла. В то же время при соответствующем выборе соотношения газошлакообразующих компонентов самозащитной порошковой проволоки и режима наплавки эти потери можно свести к минимуму [9–11].

Целью настоящего исследования было изучение влияния количества и состава газошлакообразующей части наполнителя самозащитной порошковой проволоки, силы тока и напряжения на дуге на коэффициенты потерь ψ и $\psi_{рб}$ при наплавке высокоуглеродистых комплексно легированных сплавов. Эти коэффициенты определяли по методике работы [12].

Эксперименты проводились с четырьмя партиями опытной порошковой проволоки диаметром 3 мм. Состав легирующей части наполнителя следующий (масс. %): С – 2,0–2,3; W – 3,3–3,7; Si – 0,87–0,88; Cr – 7,6–8,8; Mo – 1,25–1,45; Mn – 1,05–1,22; V – 1,32–1,52. Шлаковая основа всех порошковых проволок: плавиковый шпат – мрамор – перовскитовый концентрат ($\text{CaF}_2 - \text{CaCO}_3 - \text{CaTiO}_3$). Содержание газошлакообразующих компонентов в составе наполнителя (масс. %): 13,5; 10,8; 7,6 и 3,9. Составы газошлакообразующих частей наполнителей порошковых проволок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составы газошлакообразующей части наполнителей порошковых проволок

Опыт, индекс проволоки	Содержание компонентов, масс. %		
	Флюорит (плавиковый шпат, CaF_2),	Мрамор (CaCO_3)	Перовскитовый концентрат (CaTiO_3)
	X ₁	X ₂	X ₃
1	1	0	0
2	0,5	0,5	0
3	0	1	0
4	0	0,5	0,5
5	0	0	1
6	0,5	0	0,5
7	0,33	0,33	0,33
8	0,5	0,25	0,25
9	0,25	0,5	0,25
10	0,25	0,25	0,5

Наплавку вели одиночными валиками длиной не менее 100 мм, на пластины из стали ВСтЗсп размером 10×120×200 мм. С целью улавливания брызг электродного металла для их взвешивания наплавку выполняли в медном коробе (рис. 1) на постоянном токе обратной полярности на установке А-874 от источника питания ВДУ-1001 на следующем режиме: $I_{св} = 200\text{--}400$ А; $U_{д} = 25\text{--}30$ В; $V_{св} = 18$ м/ч. Вылет проволоки составлял 20 мм. Каждый опыт проверяли 3 раза. Результаты экспериментов в табл. 2.

Для обработки экспериментальных данных применяли симплексно-решетчатое планирование. По данным первых семи опытов выведены уравнения регрессии, коэффициенты которых вычисляли по формулам [12, 13]. В табл. 3 приведены значения коэффициентов модели. Адекватность полученных моделей проверяли в контрольных точках по критерию Стьюдента. Полученные модели не противоречат гипотезе адекватности на уровне значимости 1,6 %.

С помощью коэффициентов уравнений регрессии (табл. 3) произведена оценка влияния газошлакообразующих компонентов наполнителей самозащитных порошковых проволок на коэффициенты потерь ψ и $\psi_{рб}$.

Из этих данных следует, что наибольшее влияние на потери металла оказывает интенсивная диссоциация карбоната кальция, наименьшее – флюорита. Совместное введение флюорита и мрамора или перовскитового концентрата и мрамора уменьшает потери металла (коэффициенты b_{12} и b_{23} отрицательные). Существенно снижает потери одновременное введение всех трех компонентов (коэффициент b_{123}).

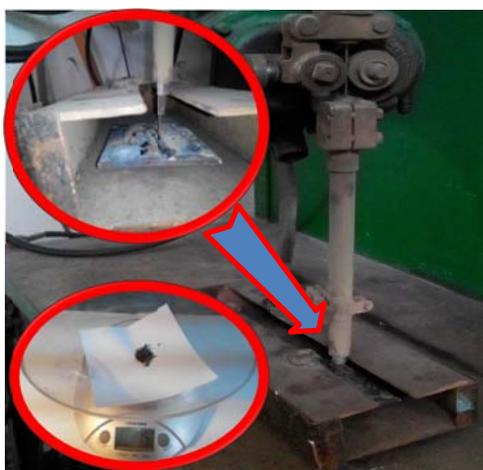


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

Таблица 2

Потери металла (%) в зависимости от соотношения и содержания газошлакообразующих материалов в наполнителях проволок и режима наплавки

Опыт, индекс проволоки	Коэффициент потерь при содержании газошлакообразующих, масс. %							
	3,9 ¹		13,5 ²		7,6 ³		10,8 ⁴	
	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$
1	7,8	3,5	11,2	6,2	8,8	5,1	15,3	9,3
2	12,5	7,0	23,5	15,7	12,1	7,7	21,7	14,9
3	22,3	14,8	51,5	39,1	22,4	14,4	45,3	34,3
4	11,1	6,0	26,8	16,7	13,2	7,6	30,9	32,4
5	10,2	6,1	18,1	9,2	10,5	5,5	21,0	13,2
6	11,7	7,0	14,2	9,3	8,5	4,9	10,0	12,0
7	8,4	4,9	13,1	6,6	7,8	4,1	20,7	14,2
8	8,9	5,0	10,7	5,5	8,4	5,2	17,0	10,5
9	10,9	6,4	17,9	10,5	9,3	5,2	23,8	16,8
10	8,1	4,5	12,4	5,6	7,7	3,6	20,6	13,7

Примечание: 1 – $I_{CB} = 280 - 300$ А, $U_{д} = 26 - 28$ В;

2 – $I_{CB} = 180 - 200$ А, $U_{д} = 26 - 28$ В;

3 – $I_{CB} = 380 - 400$ А, $U_{д} = 26 - 28$ В;

4 – $I_{CB} = 280 - 300$ А, $U_{д} = 34 - 36$ В.

На основании полученных уравнений построены графики (рис. 2–4), дающие возможность четко представить влияние соотношения газошлакообразующих материалов в сердечнике порошковой проволоки на коэффициенты Ψ и $\Psi_{рб}$. Потери на разбрызгивание (рис. 2) составляют значительную часть (50–70 %) общих потерь.

Таблица 3

Коэффициенты уравнений регрессии

Коэффициент	Коэффициент потерь при содержании газошлакообразующих, масс. %							
	3,9 ¹		13,5 ²		7,6 ³		10,8 ⁴	
	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$	Ψ	$\Psi_{рб}$
b_1	7,71	3,44	10,8	5,87	8,67	5,01	15,18	9,02
b_2	22,21	14,74	51,1	38,77	22,27	14,31	45,18	34,02
b_3	10,11	6,04	17,7	8,87	10,37	5,41	20,88	12,92
b_{12}	-10,57	-8,86	-33,0	-29,13	-14,53	-8,56	-34,88	-28,72
b_{13}	10,43	8,54	-3,4	5,07	-5,13	-1,96	-33,08	1,88
b_{23}	-20,97	-18,06	-33,6	-31,13	-13,53	-9,76	-9,48	33,48
b_{123}	-92,75	-46,06	-249,99	-218,44	-93,81	-72,85	30,71	-208,3

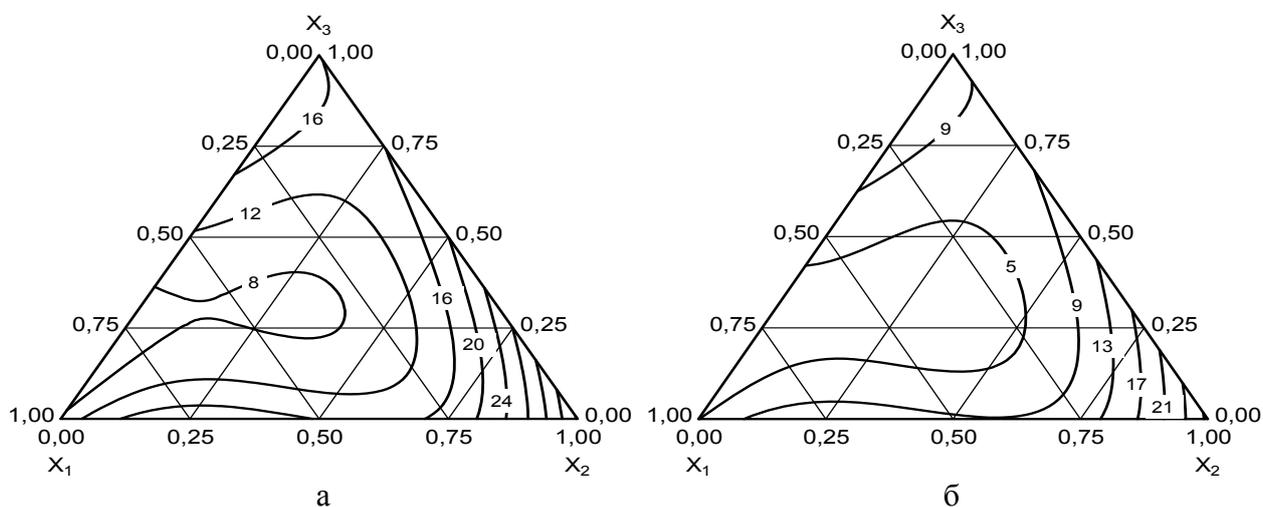


Рис. 2. Влияние соотношения плавикового шпата, мрамора, и перовскитового концентрата в шихте проволоки (при $I_{CB} = 280-300$ А, $U_d = 26-28$ В, $C_{гш} = 13,5$ %) на:
а – коэффициент потерь ψ ; б – коэффициент потерь на разбрызгивание $\psi_{рб}$

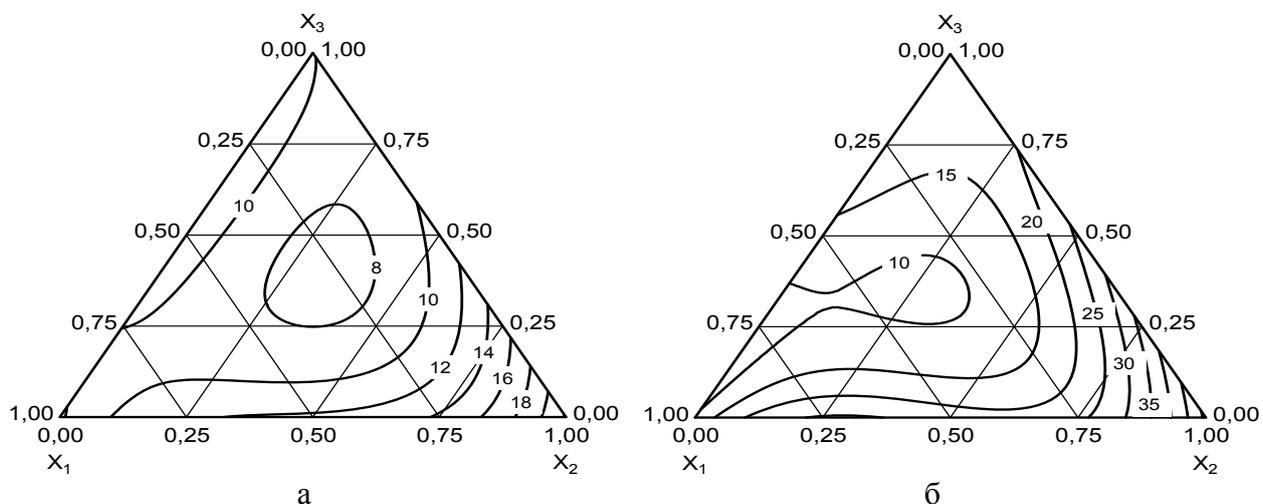


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь ψ от соотношения газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки:
а – $I_{CB} = 280-300$ А, $U_d = 26-28$ В, $C_{гш} = 3,9$ %; б – $I_{CB} = 180-200$ А, $U_d = 26-28$ В, $C_{гш} = 13,5$ %

Повышение концентрации мрамора в шихте, интенсивная диссоциация которого происходит в зоне каплеобразования, а также взрывообразное выделение газов из жидкого металла, связанное с более интенсивным окислением углерода, приводит к дроблению капель электродного металла, вызывает усиленное разбрызгивание и увеличивает общие потери металла.

Уменьшение количества газошлакообразующих составляющих $C_{гш}$ в порошковой проволоке от 13,5 до 3,0 % в целом сокращает общие потери ψ (рис. 3, а), что объясняется, главным образом, снижением содержания мрамора в шихте.

С понижением величины сварочного тока разбрызгивание металла увеличивается (рис. 3, б), причем более интенсивно при повышенном содержании мрамора в шихте, что объясняется неустойчивым протеканием процесса наплавки.

Увеличение величины тока до 400 А улучшает устойчивость дугового процесса. При этом потери на разбрызгивание и общие потери электродного металла снижаются (рис. 4, а). При повышении напряжения на дуге до 35 В движение капель жидкого металла на торце проволоки становится более хаотичным. В результате возрастают разбрызгивание и потери на угар и испарение.

Все это приводит к интенсивному увеличению общих потерь при любом соотношении газошлакообразующих компонентов шихты (рис. 4, б).

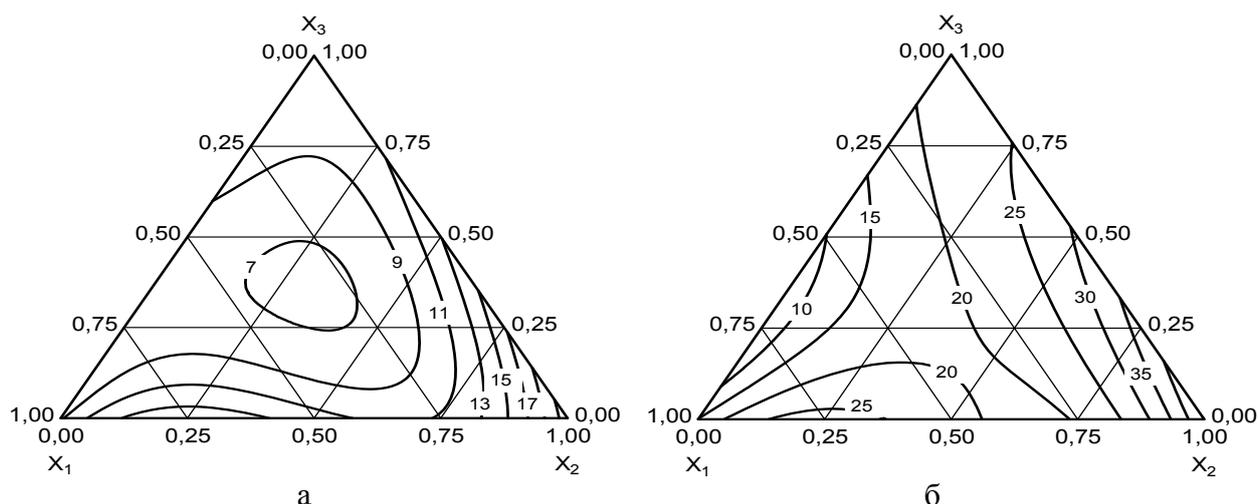


Рис. 4. Зависимость коэффициента потерь ψ от соотношения газошлакообразующих материалов в шихте порошковой проволоки:

а – $I_{св} = 380\text{--}400$ А, $U_{д} = 26\text{--}28$ В, $C_{гш} = 7,6$ %; б – $I_{св} = 280\text{--}300$ А, $U_{д} = 34\text{--}36$ В, $C_{гш} = 10,8$ %

Получить математические модели для коэффициентов потерь ψ и $\psi_{рб}$ при малом напряжении на дуге (22–24 В) не удалось вследствие неустойчивого характера дугового процесса наплавки. Таким образом, для максимального сокращения потерь металла газошлакообразующая часть шихты самозащитной порошковой проволоки должна содержать не более 10–20 мас. % мрамора, а общее содержание газошлакообразующих компонентов в проволоке должно быть не более 10–12 мас. %.

Увеличение содержания флюорита в составе газошлакообразующих компонентов приводит к увеличению диаметра электродных капель и снижает разбрызгивание.

С повышением количества перовскитового концентрата в шихте порошковой проволоки за счет снижения содержания мрамора при постоянной концентрации флюорита или за счет уменьшения количества флюорита при постоянном содержании мрамора коэффициенты потерь изменяются по кривым с минимумом (рис. 2–4). При увеличении количества газошлакообразующих материалов в проволоке от 7,6 до 13,5 % масс. коэффициенты ψ и $\psi_{рб}$ возрастают, особенно для проволок с высоким содержанием мрамора в шихте.

ВЫВОДЫ

1. Использование методов планирования экспериментов и математической статистики позволило установить влияние отдельных составляющих газшлакообразующих основ наполнителей порошковых проволок на величину потерь электродного металла при минимальном количестве экспериментов.

2. Соотношение между составляющими газшлакообразующих основ установлено на базе симплексно-решетчатого планирования экспериментов при обеспечении оптимальных сварочно-технологических свойств порошковых проволок.

3. Анализ уравнений регрессии, полученных при исследовании трехкомпонентных газшлакообразующих основ при условии достижения минимальных потерь электродного металла при наплавке позволил установить содержание каждого из компонентов в составе наполнителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макиенко В. М. Совершенствование процессов создания шлаковых систем и получение сварочных материалов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона : дис. д-ра техн. наук : 05.02.10 / Макиенко Виктор Михайлович. – г. Барнаул : Алтайский государственный технический университет, 2011. – 311 с.
2. Кривчиков С. Ю. Влияние углеродсодержащих материалов порошковой проволоки на переход углерода в сварочную ванну при наплавке / С. Ю. Кривчиков, А. П. Журда // Автоматическая сварка, 2001. – № 5. – С. 26–27.
3. Коперсак Н. И. Определение плотности, поверхностного натяжения и вязкости плавящихся флюсов / Н. И. Коперсак, А. М. Сливинский, В. И. Голошубов // Вестник Киевского политехнического института: сборник научных трудов. – К. : Серия «Машиностроение», 1971. – № 6. – С. 15–22.
4. Иваненко Ю. М. Основи прецизійного вимірювання поверхневої енергії розплавів за методом лежачої каплі / Ю. М. Иваненко, В. Н. Еременко – К. : Наук. думка, 1972. – 129 с.
5. Ванюков А. В. Определение плотности и молярных объемов силикатных и сульфидно-металлических расплавов / А. В. Ванюков, А. Н. Попков, В. Я. Зайцев // Известия АН СССР. Металлургия и горное дело, 1964. – № 5. – С. 2.
6. Ефимов А. А. Поверхностные свойства синтетических шлаков, применяемых при разливке стали / А. А. Ефимов // Известия АН СССР. Металлы, 1971. – № 5. – С. 29–35.
7. Воронов В. А., Никитин Б. М. К расчету поверхностного напряжения, определенного методом максимального давления в газовом пузыре / В. А. Воронов, Б. М. Никитин // Заводская лаборатория, 1973. – № 6. – С. 27.
8. Дерягин Б. В. Адгезия / Б. В. Дерягин, Н. А. Коротова – М. – Л.: Изд-во АН УССР, 1949. – С. 76–70.
9. Шоно С. А. Исследование поверхностных свойств шлаков, образовавшихся при износостойкой наплавке / С. А. Шоно, Д. С. Кассов, В. М. Карпенко // Автоматическая сварка, 1976. – № 8. – С. 24–25.
10. Карпенко В. М. Способ оценки склонности к пористости / В. М. Карпенко, М. Г. Лившиц, С. А. Шоно // Автоматическая сварка, 1976. – № 8. – С. 26–27.
11. Дятлов В. И. Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке / В. И. Дятлов // Новые проблемы сварочной техники – К. : Техника, 1964. – С. 7–8.
12. Карпенко В. М., Лившиц М. Г. Способ оценки кроющей способности шлака / В. М. Карпенко, М. Г. Лившиц – Заявка на изобретение.
13. Зедгинидзе И. К. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. К. Зедгинидзе – М. : Наука, 1976. – 390 с.
14. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями / А. Хальд – М. : МИЛ, 1956. – 355 с.