

## ОЦЕНКА ТОКА ШУНТИРОВАНИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ ОДИНАРНЫМ И СОСТАВНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ ПОД ФЛЮСОМ

Приведены результаты замера тока шунтирования дуги шлаком при наплавке одинарным и составным ленточным электродом под флюсом, полученные с использованием методики зондирования межэлектродного промежутка. Оценено влияние регулирования взаимного расположения основной и боковых лент составного электрода на долю тока шунтирования, стабильность режима наплавки, неравномерность расплавления ленточных электродов.

**Ключевые слова:** наплавка, флюс, составной ленточный электрод, основная и боковые ленты, ток дуги, ток шунтирования, режим, неравномерность расплавления ленты.

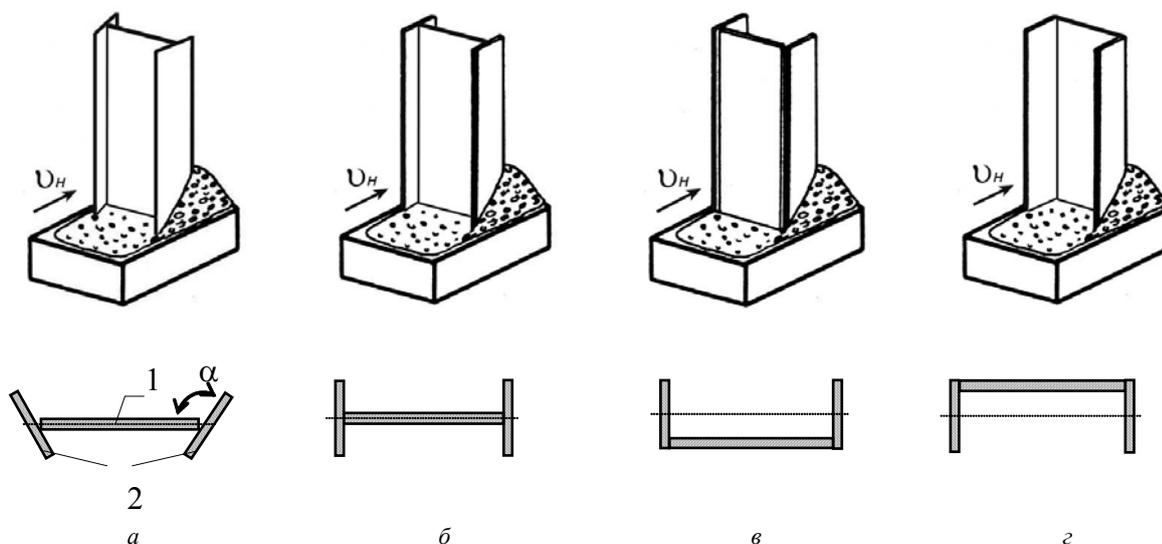
### Введение

Наплавка ленточным электродом под флюсом – эффективный и широко применяемый способ нанесения покрытий со специальными свойствами на ответственные изделия, надежность эксплуатации которых зависит от качества наплавленного слоя. Для обеспечения качества наплавленного слоя необходимо, в свою очередь, повысить надежность сплавления с основным металлом, не допуская образования дефектов формирования валика. Это может быть достигнуто перераспределением тепловой мощности дуги, горящей на торце, усиливая ее тепловложение на участках наиболее вероятного появления дефектов.

С целью улучшения качества и повышения производительности процесса широкослойной наплавки лен-

тами разной толщины и жесткости, разработан способ наплавки составным ленточным электродом. Такой электрод состоит из основной (средней) и двух дополнительных (боковых) лент (рис. 1), взаимное расположение которых, а также соотношение скоростей подачи, может регулироваться [1].

При наплавке составным ленточным электродом возможность изменения положения боковых лент относительно основной, соотношения скоростей их подачи, зазора между ними, позволяет регулировать распределение тепла и расплавленного металла по ширине сварочной ванны, влияя на характер ее формообразования, формирование валика и зоны проплавления. Изменяя расположение лент составного



**Рис. 1.** Способ наплавки составным ленточным электродом и схемы расположения лент:

1 – основная (средняя) лента; 2 – боковые ленты;  $\alpha$  – угол поворота боковых лент относительно основной ленты

электрода (рис. 1), можно влиять на размеры (длину и ширину) сварочной ванны. Кроме того, широкие возможности управления химическим составом наплавленного металла открываются *при* использовании лент из различных сплавов, обеспечивающие получение разнородных зон в поперечном сечении одинарного валика и в многослойной композиции.

С использованием ленточного электрода, имеющего значительно большую (чем электродная проволока) поверхность контакта с расплавленным флюсом, доля тока, проходящего через расплавленный шлак  $I_{ш}$ , значительно возрастает. При этом, в зависимости от соотношения тока дуги  $I_d$  и тока шунтирования  $I_{ш}$ , процесс наплавки может быть близким к чисто дуговому, смешанным или перемежающимся, либо близким к электрошлаковому. Соответственно изменяется эффективность плавления электродного и основного металла, флюса, причем для электрошлакового процесса характерна более высокая эффективность расплавления электрода, но меньшая эффективность расплавления основного металла.

При наплавке ленточными электродами соотношение тока дуги  $I_d$  и тока шунтирования  $I_{ш}$  зависит не только от состава и теплофизических свойств флюсов, параметров режима, но также от формы и размеров ленточного электрода. Широкие возможности управления соотношением  $I_d$  и  $I_{ш}$  открывает использование для наплавки составного ленточного электрода [1–3]. Изменяя положение боковых лент относительно средней, а также массовые (линейные) скорости подачи каждой из них, можно управлять долей тока шунтирования  $I_{ш}/(I_H = I_d + I_{ш})$ , влияющей на характер процесса наплавки, формообразование сварочной ванны, условия плавления флюса, электродного и основного металла.

Поскольку величина  $I_{ш}$  растет при замене наиболее компактного сечения (проволока) наименее компактным (лента), логично предположить следующее. Ток шунтирования должен возрастать при увеличении ширины ленты и уменьшении ее толщины, а при наплавке составным ленточным электродом – зависеть от положения боковых лент относительно средней. Если боко-

вые ленты «отстают» от средней ( $\sqcap$ ), при смешанном характере процесса, основная роль в зоне расположения средней ленты должна принадлежать дуговому процессу, а в зоне расположения боковых лент – электрошлаковому. При изменении положения лент за счет перемещения боковых лент в направлении вектора скорости наплавки ( $\rightarrow$ ) дуговой процесс должен преобладать лишь в зоне вынесенных вперед кромок боковых лент, в то время как для остальной их части, как и в зоне средней ленты, определяющая роль должна принадлежать электрошлаковому процессу. В зоне боковых лент, расположенных впереди средней ( $\sqcap$ ), должен преобладать дуговой процесс. Вместе с тем, «отставание» средней ленты, торец которой контактирует с жидким шлаком, может способствовать росту  $I_{ш}$  и возрастанию доли электрошлакового процесса [3].

Хотя косвенным подтверждением этих предположений может служить характер оплавления торцов лент составного ленточного электрода, достоверная оценка процесса потребовала применения методики замера тока шунтирования.

### Проведение исследований

При определении величины тока, проходящего через расплавленный флюс, надежные данные позволяет получить методика электрического зондирования межэлектродного промежутка [4–7]. Методика реализуется с помощью электрической схемы, предусматривающей отключение сварочного источника и подключение дополнительного зондирующего источника с пониженным напряжением, исключающим существование дугового процесса. В усовершенствованной совместно с Б. И. Носовским схеме замера [4, 7] по осциллограммам процесса фиксируется значение тока дуги  $I_d$  и тока зондирующего источника  $I_{зш}$  после мгновенного отключения сварочного источника ИП, питающего дугу постоянным током обратной полярности. Параметры дуги и зондирующего источника GB регистрируются светолучевым осциллографом Н-105 (гальванометры М014-1200) (рис. 2).

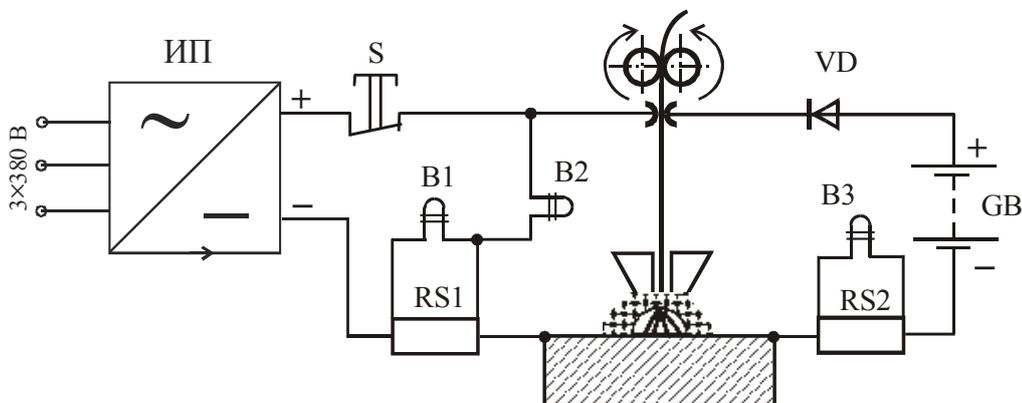


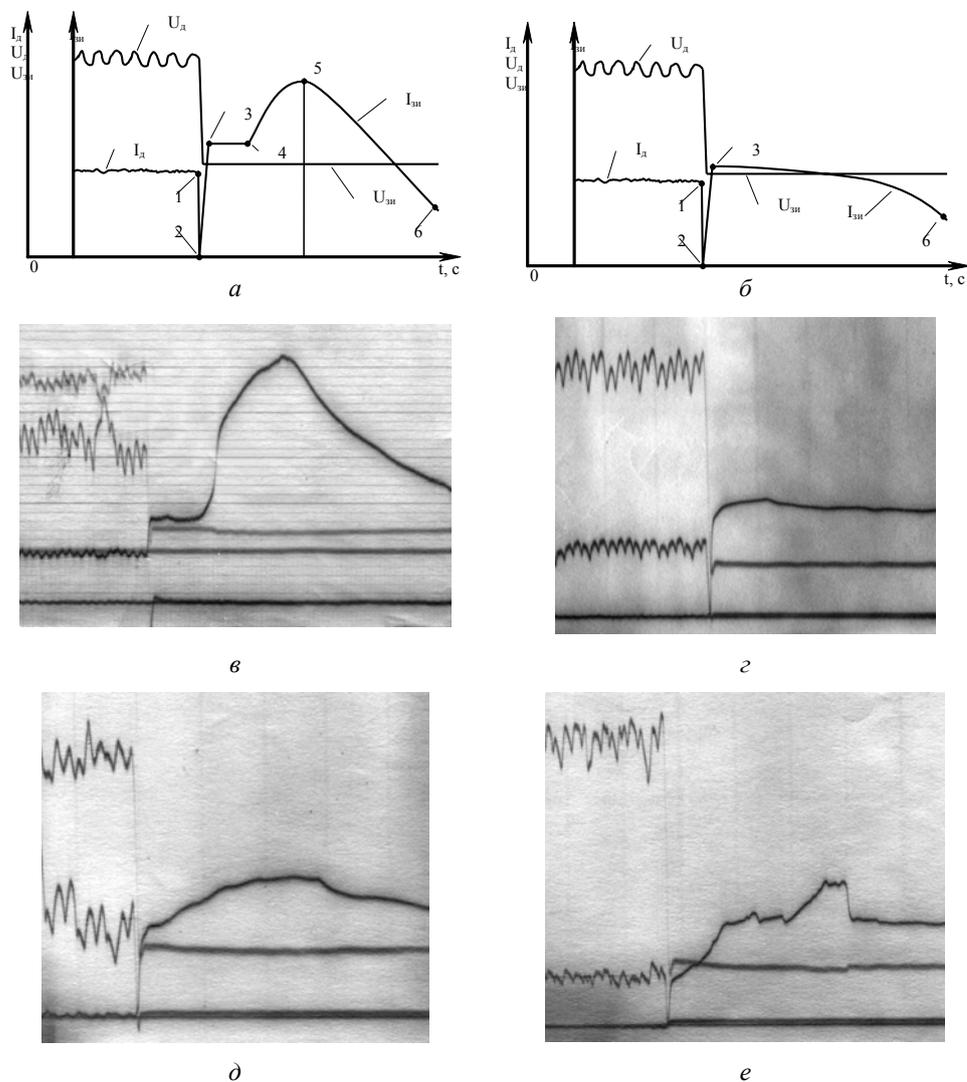
Рис. 2. Схема установки для электрического зондирования межэлектродного промежутка дополнительным источником в процессе наплавки под флюсом

Для повышения точности измерения тока зондирующего источника  $I_{3И}$  (что зависит от скорости отключения сварочного источника и подключения зондирующего), в усовершенствованной схеме применен быстродействующий механический размыкатель  $S$ , позволяющий резко снизить время отключения сварочного источника, электродвигателей подачи ленточного электрода и перемещения сварочного аппарата [4, 7]. Включение зондирующего источника осуществляется бесконтактным элементом – диодом  $VD$  (рис. 2).

При встречном включении сварочного и зондирующего источников диод закрыт приложенным в непроводящем направлении напряжением сварочного источника, превышающем в 3...4 раза напряжение зондирующего источника. После возбуждения дуги и перехода к стационарному процессу наплавки (образованию характерного для данного режима количества расплавленного флюса), срабатывает быстродействующий раз-

мыкатель  $S$  и от измеряемой цепи отключается сварочный источник. Включается схема динамического торможения двигателей подачи электрода и тележки перемещения сварочного аппарата. Мгновенно (что зависит только от времени открытия диода  $VD$ ) зондирующий источник  $GB$  (аккумулятор напряжением 12 В) подключается к межэлектродному промежутку, и ток протекает в цепи «зондирующий источник  $GB$  – диод  $VD$  – межэлектродный промежуток – шунт  $RS2$  гальванометра  $B3$ ». При выборе напряжения зондирующего источника  $U_{3И}$  исходили из условия предотвращения повторного возбуждения дуги. Для этого соблюдается условие  $U_{3И} < (U_K + U_A)$ , где  $U_K$  и  $U_A$  – прикатодное и прианодное падение напряжения.

На рис. 3 представлены типичные осциллограммы замера тока зондирующего источника для процесса наплавки под флюсом в режиме, близком к дуговому (рис. 3, *а, в*) и электрошлаковому (рис. 3, *б, г*). Ток зон-



**Рис. 3.** Осциллограммы процесса электрического зондирования межэлектродного промежутка при наплавке под флюсом: *а, в* – осциллограммы замера тока зондирования в процессе, близком к дуговому; *б, г* – в электрошлаковом процессе; *д, е* – в перемежающемся процессе наплавки составным ленточным электродом

дируючого джерела  $I_{зп}$  змінюється по складному закону, включаючи гілки наростання і зниження (соответственно, ділянки 4–5 і 5–6, рис. 3, а). Як видно з осцилограм, час відключення зварювального джерела близько до нуля (ділянка 1–2). При включенні зондируючого джерела GB ток зондування  $I_{зп}$  різко зростає (ділянка 2–3), залишаючись постійним на ділянці 3–4. За проміжок часу від точки 1 до точки 3 (~0,004 с) зникає залишкова провідність плазми (за даними [8] повна деіонізація газу в дуговому проміжку під флюсом відбувається за час менше 0,003 с). Оскільки за цей час теплофізичні характеристики токопровідного шару шлаку практично не встигають змінитися, значення струму зондування  $I_{зп}$  на ділянці 3–4 дозволяє (при відповідному перерахунку) найбільш надійно оцінити величину струму шунтування  $I_{ш}$  [4, 7].

З зменшенням тиску в газовій бульбашці всередині шлакової оболонки змінюється переріз токопровідного шару шлаку, а також геометрія прошлойки рідкого металу під ленточним електродом (зупиненим шляхом динамічного гальмування двигача подачі). Це призводить до зростання струму зондування (ділянка 4–5). Разом з тим, за міри зниження температури і, відповідно, електропровідності шлаку зменшується ток зондування  $I_{зп}$  (ділянка 5–6). Величина  $I_{зп}$  на цій ділянці може лише випадково збігатися з значеннями  $I_{зп}$  на ділянці 3–4. Це впливає на похибку оцінки  $I_{ш}$  по переддуговому струму, особливо, при використанні електромагнітного розмикача в ланці відключення зварювального джерела. За порівнянням з процесом близьким до дугового, осцилограма процесу зондування міжелектродного проміжку при наплавці ленточним електродом в електрошлаковому режимі відрізняється відсутністю ділянки наростання струму (рис. 3, б).

Величина струму шунтування  $I_{ш}$  визначається з залежності:

$$I_{ш} = \frac{U_{д} \cdot I_{зп}}{U_{зп}}, \quad (1)$$

де  $U_{д}$  і  $U_{зп}$  – напруга на дугі і міжелектродному проміжку при електричному зондуванні, відповідно, В;

$I_{зп}$  – величина струму зондируючого джерела, А.

Визначена розрахунком величина струму, шунтуючого дугу  $I_{ш}$ , розглядається як максимально можливе значення струму шунтування. Останнє обставина визначається тим, що шунтування дуги відбувається не тільки через шлак, але і короткими замиканнями міжелектродного проміжку краплями, стекаючими з торця ленточного електроду в ванну.

З використанням удосконаленої методики зондування міжелектродного проміжку [4, 5] заміри  $I_{зп}$  здійснювали при наплавці як одинарним, так і складним ленточним електродом. В якості одинарних використовувалися ленточні електроди Св-08кп перерізом 30×1 мм і 60×0,5 мм, а також Св-07Х25Н13 перерізом 60×0,5 мм в поєднанні з флюсами АН-348А, ЖСН-5 і ОФ-10, в'язкість, електропровідність і ентальпія расплавов яких суттєво відрізняються. Аналіз осцилограм дозволив оцінити вплив геометрії електродів і їх складу на частку струму шунтування (рис. 4). Частка струму шунтування  $I_{ш}/I_{н}$  і характер процесу в значній ступені залежать від теплофізичних властивостей застосовуваних флюсів. Так, при наплавці ленточним електродом зі сталі марки Св-08кп перерізом 60×0,5 мм під флюсом АН-348А частка струму шлакової провідності при напрузі 32...34 В досягає 35...40%. Разом з тим, при наплавці на тому ж режимі з використанням флюсу ЖСН-5, електропровідність якого значно нижче, частка  $I_{ш}/I_{н}$  становить 15...20% (рис. 4).

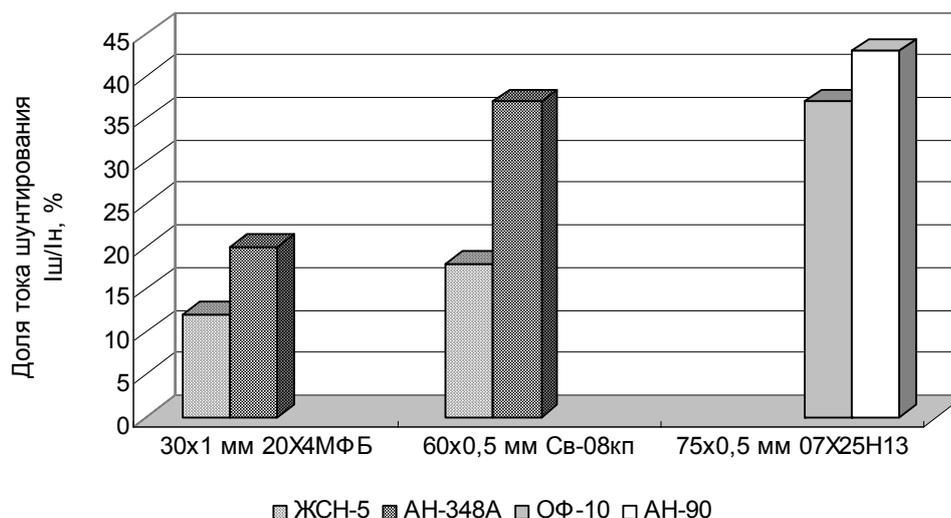


Рис. 4. Вплив флюсу, перерізу і складу ленточного електроду на частку струму шунтування

При наплавке в равноценных условиях лентой из стали марки 20Х4МФБ сечением 30×1,0 мм с использованием флюса АН-348А доля  $I_{ш}/I_H$  в 2 раза меньше, чем для ленты сечением 60×0,5 мм. При наплавке лентой из стали марки 07Х25Н13 сечением 75×0,5 мм под флюсом ОФ-10 доля тока шлаковой проводимости составляет 35...40%, а при наплавке под флюсом АН-90 – 40...45%.

Для замеров тока, шунтирующего дугу через расплавленный шлак, при наплавке под слоем флюса АН-348А составным ленточным электродом материалом лент служила сталь марки Св-08кп (средняя лента – 50×0,5 мм, боковые ленты – 25×1,0 мм). Боковые ленты располагались вдоль направления наплавки, средняя – перпендикулярно этому направлению (рис. 1). Подающим механизмом обеспечивалось перемещение средней ленты относительно боковых, сохраняя перпендикулярность между ними. Режим наплавки:  $I_H = 1200$  А,  $U_d = 30...32$  В,  $x_H = 3,0...4,5$  мм/с.

В процессе исследований изменения тока наплавки регистрировались осциллографом, фиксировался также характер оплавления торцов средней и боковых лент составного электрода. Обработка осциллограмм позволила оценить влияние расположения лент составного электрода на долю тока шунтирования (рис. 5). В результате замеров тока зондирования, определения доли тока шунтирования  $I_{ш}/I_H$  и анализа характера оплавления торцов лент подтвердились высказанные выше представления о характере процесса наплавки составным ленточным электродом под флюсом.

При наплавке  $\sqcup$ -образным электродом (рис. 1, в) доля тока шунтирования составляет  $I_{ш}/I_H \approx 28...33\%$ ; в случае наплавки  $\text{—} \perp$  образным электродом (рис. 1, б)  $I_{ш}/I_H \approx 33...38\%$ ; при использовании  $\sqcap$ -образного электрода (рис. 1, а) возникают более благоприятные условия для преобладания электрошлакового процесса – доля тока шунтирования возрастает до 44...49% (рис. 5). С увеличением скорости наплавки (3,0...4,5 мм/с)  $\text{—} \perp$  образным составным ленточным электродом отмечается снижение доли тока шунтирования до 20...25%.

При наплавке составным ленточным электродом в зависимости от положения боковых лент относительно средней изменяется характер оплавления торцов каждой из них (рис. 6). В случае расположения боковых лент впереди средней, их торцы оплавлены меньше, чем торец средней ленты, оплавленный шлаком (рис. 6, а). С расположением средней ленты впереди боковых (рис. 6, в), ее торец оказывается ниже уровня оплавления боковых лент, расположенных в зоне преимущественного влияния электрошлакового процесса.

В случае наплавки составным ленточным электродом симметричного сечения (рис. 6, б) более интенсивное оплавление участков торцов боковых лент, расположенных позади средней ленты, подтверждает существенное влияние нагрева шлаком на «мокрое вылете» на эффективность расплавления ленточного электрода. При этом усредненная разность уровней оплавления торцов лент – минимальна.

Преимущества, создаваемые возможностью управления соотношением дугового и электрошлакового процессов при наплавке составным ленточным электродом, позволяют не только расширить область рекомендуемых режимов, но и обеспечить технологическую стабильность процесса, что обеспечивает повышение качества наплавленного слоя.

### Выводы

1. Усовершенствованная методика оценки тока шунтирования дуги расплавленным шлаком путем электрического зондирования межэлектродного промежутка позволяет повысить точность замеров и оценить долю  $I_{ш}$  в зависимости от геометрии одинарных и составных ленточных электродов, состава и свойств флюса.

2. Получено экспериментальное подтверждение влияния тока шунтирования дуги через шлак на роль дугового и электрошлакового процессов при наплавке составным ленточным электродом. Путем независимого регулирования взаимного расположения основной и двух боковых лент, образующих составной электрод,

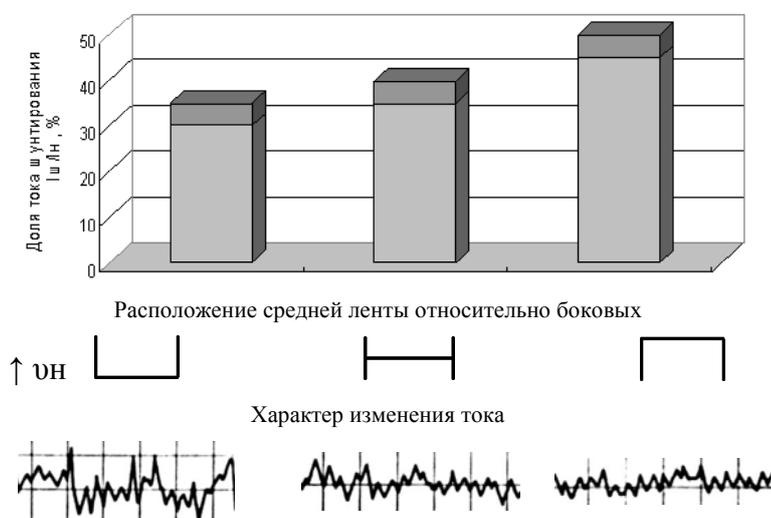


Рис. 5. Доля тока шунтирования и осциллограммы изменения тока при наплавке составным ленточным электродом

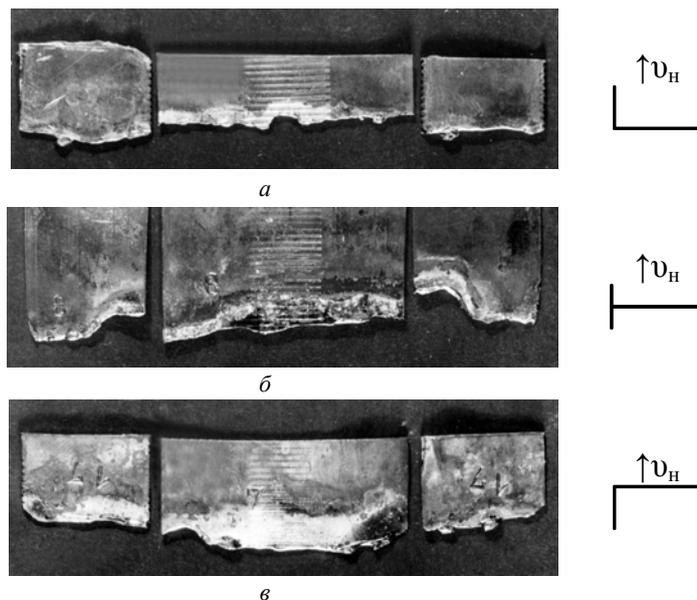


Рис. 6. Характер оплавлення торцов лент составного ленточного электрода (средняя лента 50×0,5 мм, боковые – 25×1,0 мм;  $I_H = 1200$  А;  $U_D = 30 \dots 32$  В;  $x_H = 3,9$  мм/с; флюс АН-348А)

установлена можливість ефективного впливу на стабільність параметрів режиму, характер нагріву і плавлення торців лент составного електрода, формообразование сварочной ванны.

#### Список литературы

1. А. с. 1277499 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки расщепленным ленточным электродом / [В. Н. Матвиенко, Л. К. Лещинский, Ю. В. Белоусов и др.] (СССР). – № 3862572/25-27 ; заявл. 04.03.85 ; опубли. 15.08.86, Бюл. № 46.
2. Лещинский Л. К. Влияние формы электродной ленты на качество наплавленного слоя стали / Л. К. Лещинский, В. Н. Матвиенко, В. П. Лаврик // Автоматическая сварка. – 1985. – № 9. – С. 60–62.
3. Лещинский Л. К. Форма сварочной ванны при наплавке составными ленточными электродами / Л. К. Лещинский, В. Н. Матвиенко, С. В. Гулаков // Автоматическая сварка. – 1991. – № 11. – С. 58–60.
4. Гулаков С. В. Наплавка под флюсом ленточным электродом / С. В. Гулаков, В. Н. Матвиенко, Б. И. Носовский. – Мариуполь : ПГТУ, 2006. – 136 с.
5. Особенности процесса наплавки двумя электродными лентами под флюсом / В. П. Лаврик, Л. К. Лещинский, Б. И. Носовский, В. Н. Матвиенко // Автоматическая сварка. – 1990. – № 6. – С. 50–54.
6. Размышляев А. Д. Исследование тока, шунтирующего дугу через шлак, при наплавке под флюсом / А. Д. Размышляев // Сварочное производство. – 1982. – № 5. – С. 38–39.
7. Особенности процесса дуговой сварки под флюсом / [Б. И. Носовский, Л. К. Лещинский, О. Б. Брайловский, В. Н. Матвиенко] // Автоматическая сварка под флюсом : сб. науч. трудов. – Л. : ЛДНТП, 1981. – С. 47–50.
8. Ленивкин В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Н. Х. Сагиров. – М. : Машиностроение, 1989. – 264 с.

Одержано 20.06.2014

#### Матвієнко В.М. Оцінка струму шунтування при наплавленні одинарним і складеним стрічковим електродом під флюсом

Наведено результати виміру струму шунтування дуги шлаком при наплавленні одинарним і складеним стрічковим електродом під флюсом, отримані з використанням методики зондування міжелектродного проміжку. Оцінений вплив регулювання взаємного розташування основної і бічних стрічок складеного електрода на долю струму шунтування, стабільність режиму наплавлення, нерівномірність розплавлення стрічкових електродів.

**Ключові слова:** наплавлення, флюс, складений стрічковий електрод, основна і бічні стрічки, струм дуги, струм шунтування, режим, нерівномірність розплавлення стрічки.

#### Matviyenko V. Estimation of the value of bypass current in the submerged arc surfacing with a singular and composite strip electrode

The results of the estimation of bypass current value in submerged arc surfacing with a singular and composite strip electrode using the improved method of sensing the arc are presented. It is shown that the central and lateral strip arrangement influences the value of bypass current, stability of welding parameters, and non-uniformity of the composite strip electrode melting.

**Key words:** submerged arc surfacing, flux, composite strip electrode, central and lateral strips, arc current, bypass current, welding parameters, non-uniformity of strip melting.