

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140406>

УДК 621.791.927

М 33

## CONTROL OF SHAPE FORMATION OF THE WELDING POOL IN THE PROCESS OF SUBMERGED ARC SURFACING WITH THE COMPOSITE STRIP ELECTRODE

### УПРАВЛЕНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ ШИРОКОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ

V. M. Matviyenko

[matviyenkovn@mail.ru](mailto:matviyenkovn@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-1588-7906

В. Н. Матвиенко,

д-р техн. наук, проф. кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Priazovskiy State Technical University, Mariupol

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

**Abstract.** The usage of submerged arc surfacing with composite strip electrode for welding pool shape forming control is discussed. The aim of study is to define the rules of dimensions and strips location influence on shape formation of the welding pool during broadband surfacing which provide the increase of efficiency and quality of surfacing. The experiments have been held on the influence of the strips location on the inequality of melting of the main and side strips, shape formation and geometry parameters of the welding pool, the variation coefficient for penetration depth. The rules of layer formation of the metal surfaced with the composite strip electrode are defined considering the arc burning conditions, geometry and strips location which provide increase of efficiency and quality of surfacing. The established rules allow controlling shape formation of the welding pool during broadband surfacing. The results of the study can be applied for broadband surfacing of anti-corrosion or wearproof metal layer on the working surfaces of the details of engineering, mechanical engineering, metallurgy equipment.

**Keywords:** welding, flux, composite strip electrode, pool shape formation, pool length and width, the depth of penetration.

**Аннотация.** Показано, что при наплавке под флюсом составным ленточным электродом формообразование ванны зависит от геометрии электрода, влияющей на характер процесса наплавки, распределение тепловой энергии по ширине источника, неравномерность расплавления основной и боковых лент, коэффициент вариации глубины проплавления.

**Ключевые слова:** наплавка, флюс, составной ленточный электрод, формообразование ванны, длина и ширина ванны, глубина проплавления.

**Анотація.** Показано, що при наплавленні під флюсом складеним стрічковим електродом формоутворення ванни залежить від геометрії електрода, що впливає на характер процесу наплавлення, розподіл теплової енергії по ширині джерела, нерівномірність розплавлення основної і бічних стрічок, коефіцієнт варіації глибини проплавлення.

**Ключові слова:** наплавлення, флюс, складений стрічковий електрод, формоутворення ванни, довжина і ширина ванни, глибина проплавлення.

#### REFERENCES

- [1] Leshchinskiy L.K., Lavrik V.P., Matvienko V.N. *Sposob naplavki dvumya lentochnymi elektrodami* [Method of surfacing by two strip electrodes] SSSR authors cert., no. 1099490, 1984.
- [2] Matvienko V.N., Leshchinskiy L.K., Yegorov V.A. et al. *Sposob naplavki rasshcheplennym lentochnym elektrodom* [Method of surfacing by split strip electrode] USSR authors cert., no. 1561348, 1990.
- [3] Belousov Yu.V., Leshchinskiy L.K., Sologub B.B. *Vybor optimalnoy formy lentochnogo elektroda dlya shirokosloynoy naplavki* [Selection of the optimal shape for broadband strip electrode surfacing]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1976, no. 12, pp. 24–28.
- [4] Gulakov S.V., Matvienko V.N., Nosovskiy B.I. *Naplavka pod flyusom lentochnym elektrodom* [Submerged arc surfacing with strip electrode]. Mariupol, PGTU Publ., 2006. 136 p.
- [5] Kravtsov T.G. *Elektrodugovaya naplavka elektrodnoy lentoy* [Arc welding with electrode strip]. Moscow, Mashinostroenie, 1978. 168 p.

- [6] Leshchinskiy L.K., Matvienko V.N., Lavrik V.P. Vliyanie formy elektrodnoy lenty na kachestvo naplavlennogo sloya stali [Influence of the electrode strip form on the quality of surfaced steel layer]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1985, no. 9, pp. 60 – 62.
- [7] Leshchinskiy L.K., Samotugin S.S. *Sloistye naplavlennye i uprochnennye kompozitsii* [Layered surfaced and reinforced compositions]. Mariupol, Novyy mir Publ., 2005. 392 p.
- [8] Leshchinskiy L.K., Matvienko V.N., Gulakov S.V. Forma svarochnoy vanny pri naplavke sostavnymi lentochnymi elektrodami [Shape of the welding pool during surfacing with composite strip electrodes]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1991, no. 11, pp. 58 – 60.
- [9] Matvienko V.N., Ivanov V.P., Stepnov K.K. Poluchenie mnogoslownogo kompozitsionnogo pokrytiya naplavkoy lentochnymi elektrodami [Obtaining multi-layer composite coating by submerged surfacing with strip electrodes]. *Vestnik Priazov. gos. tekhn. un-ta* [Journal of Priazovskyi State Technical University], 1998, issue 6, pp. 201–204.
- [10] Razmyshlyaev, A. D. Upravlenie formirovaniem valika pri dugovoy naplavke lentochnym elektrodom [Control of bed formation during arc submerged surfacing with strip electrode]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 2000, no. 4.
- [11] Starchenko Ye.G., Mastenko V.Yu., Volobuev Yu.S., Khodakov V.D. Elektroshlakovaya naplavka lentochnym elektrodom s ispolzovaniem spetsialnykh flyusov detaley atomno-energeticheskogo i neftekhimicheskogo oborudovaniya [Electroslag submerged surfacing with the strip electrode using special fluxes of the details of nuclear power and petrochemical equipment]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 2011, no. 10, pp. 22–27.
- [12] Peters G., Paschold P. Elektroschlacke – Bandplattirung mit korosionsbestandigen Werkstoffen. *DVS – Berichte, DVS – Verlag. Düsseldorf*, 2000, issue 209, pp. 274–279.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Повышение качества и производительности широкослойной наплавки под флюсом зависит от эффективного управления формообразованием сварочной ванны. В решении данной проблемы, наряду с другими факторами, большие возможности связаны с исследованием и разработкой способа наплавки составным ленточным электродом.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Несмотря на то что многолетний отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о достаточно высоком качестве наплавленного металла при использовании процесса наплавки под флюсом, ее применение для изготовления и восстановления ответственных изделий требует разработки новых высокопроизводительных способов, позволяющих управлять формообразованием сварочной ванны, формированием состава и свойств наплавленных слоев при ограниченном, но надежном проплавлении [3–5, 7, 10–12]. Совершенствование процесса широкослойной наплавки ленточным электродом под флюсом путем управления формообразованием сварочной ванны обеспечит надежное сплавление наплавленного слоя с основным металлом и между слоями, отсутствие дефектов формы валика и зоны проплавления.

Возможность получения на поверхности слоистой композиции, состав, структура и свойства которой обеспечивают требуемую износостойкость и трещиностойкость, зависит от способности в процессе наплавки под флюсом управлять характером нагрева

и плавления как основного, так и электродного металла, формообразованием сварочной ванны, формированием состава и структуры каждого из наплаваемых слоев в многослойной композиции. Анализ литературных данных [4, 6–8] показал, что для решения этой задачи наиболее перспективен способ широкослойной наплавки составным ленточным электродом.

По способности управления в процессе широкослойной наплавки под флюсом тепломассопереносом и эффективностью проплавления, влияющими на образование сварочной ванны, условия формирования наплаваемого валика, а также на структуру и свойства наплавленного слоя, способ наплавки составным ленточным электродом [2] располагает значительными преимуществами по сравнению со способом наплавки профилированным ленточным электродом [3], а также двумя параллельными лентами [1].

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – исследование влияния геометрии и расположения лент составного электрода на формообразование сварочной ванны при широкослойной наплавке под флюсом, обеспечивающих повышение эффективности и качества наплавки.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При наплавке ленточным электродом под флюсом ввод тепла источника нагрева в основной металл рассредоточен по ширине сварочной ванны. Это является одной из причин образования дефектов формирования наплавленного слоя, особенно на краях в зоне перекрытия смежных валиков. Следует также отметить зависимость эффективности проплавления от характера и условий протекания процесса наплавки

под флюсом. С ростом доли тока шунтирования дуги через расплавленный шлак и соответствующим уменьшением тока дуги снижается эффективность проплавления.

Избежать образования дефектов позволяют способы наплавки ленточным электродом, обеспечивающие увеличение тепловложения и массопереноса расплавленного металла на краях ванны за счет подачи дополнительного электрода (расположенной на краю проволоки) либо отбортовки (профилирования) одной или

двух боковых кромок ленты. Тем самым перераспределяется тепловая мощность источника, компенсируется увеличенный теплоотвод на краях, регулируются распределение и интенсивность потоков расплавленного металла, изменяется геометрия зоны проплавления. Значительно большими возможностями управления процессом формирования ванны располагает ленточный электрод, состоящий из нескольких лент, взаимное расположение которых, а также скорости их подачи могут регулироваться (рис. 1) [2].

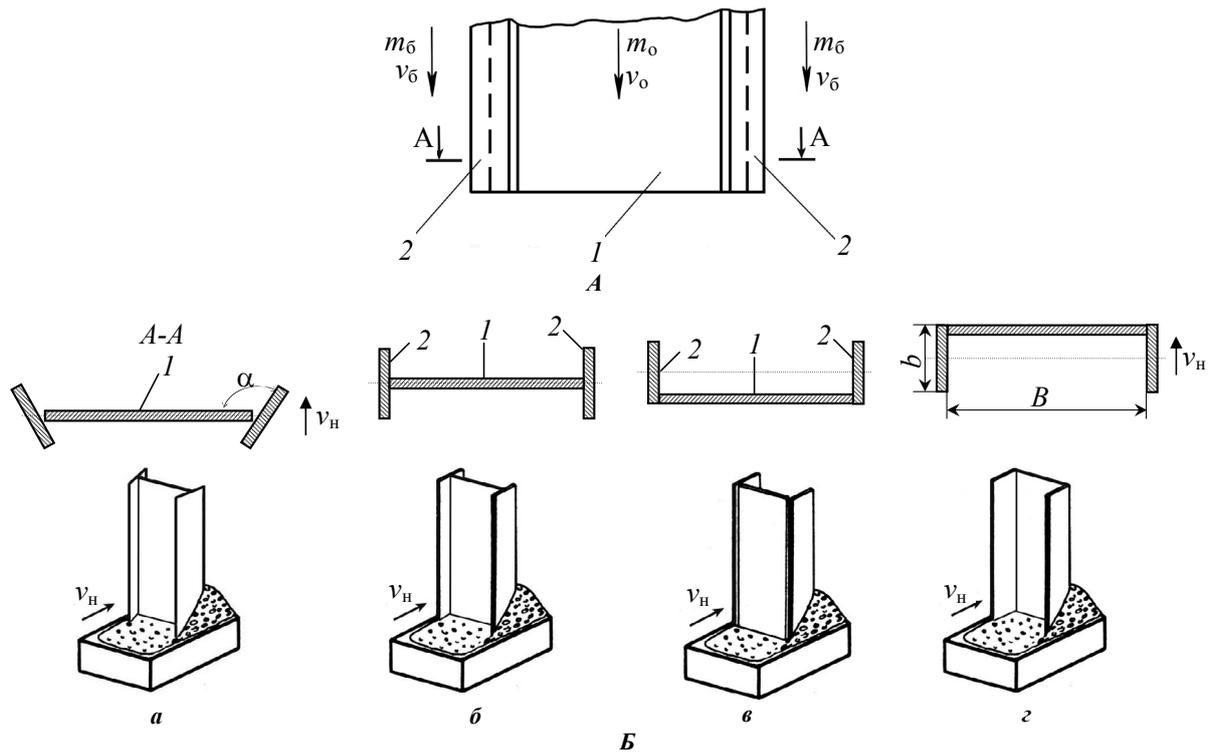


Рис. 1. Способ наплавки составным ленточным электродом (А) и схемы расположения лент (Б: а, б, в, з), где 1 – основная (средняя) лента (ширина  $B$ ); 2 – боковые ленты (ширина  $b$ );  $\alpha$  – угол поворота боковых лент относительно основной ленты

Преимущества процесса наплавки составным ленточным электродом, связанные с возможностью изменения положения боковых лент относительно основной (см. рис. 1, Б, а–з), соотношения массовых  $m_0$  и  $m_6$  (линейных  $v_0$  и  $v_6$ ) скоростей их подачи, а также зазора между ними, позволяют регулировать распределение вводимого тепла, расплавленного электродного и основного металла, влияя на характер формирования сварочной ванны (рис. 2), формирование валика и зоны проплавления. Изменяя расположение лент составного электрода, можно также влиять на размеры (длину и ширину) сварочной ванны.

При проведении экспериментов наплавка под флюсом АН-348А на пластины из стали Ст3 толщиной 40 мм осуществлялась составным ленточным электродом марки 08кп (средняя лента –  $50 \times 0,5$  мм, боковые –  $25 \times 0,7$  мм) на режиме: ток постоянный обратной полярности  $I_H = 1150 \dots 1250$  А,  $U_d = 30 \dots 32$  В,  $v_H = 14$  м/ч, вылет ленточных электродов 40 мм. Наплавка образцов проводилась на лабораторном стен-

де, оснащенном источником питания ВСЖ-1600 и сварочным автоматом АД-231, с использованием специальной приставки для подачи составного ленточного электрода, обеспечивающей возможность перемещать среднюю ленту относительно боковых, сохраняя между ними прямой или другой заданный угол.

В зависимости от положения боковых лент относительно средней изменяются степень сосредоточенности выделяющегося тепла по ширине сварочной ванны, условия теплопередачи основному металлу. Благодаря влиянию на характер процесса наплавки под флюсом (доля тока шунтирования дуги расплавленным шлаком может составлять от 30...35 до 50...55 % общего тока) в значительной мере изменяются условия расплавления средней и боковых лент, эффективность и стабильность проплавления основного металла, форма и размеры сварочной ванны. Кроме того, изменение вектора скорости перемещения дуги по торцу лент составного электрода

позволяет воздействовать на интенсивность перемешивания расплавленного металла сварочной ванны. Это влияет на дендритную и зональную ликвацию примесей, процесс кристаллизации металла и формирование валика. Широкие возможности управления химическим составом наплавленного металла открываются при использовании лент из различных сплавов, обеспечивающих получение разнородных зон в поперечном сечении одинарного валика, тем более в многослойной композиции [9].

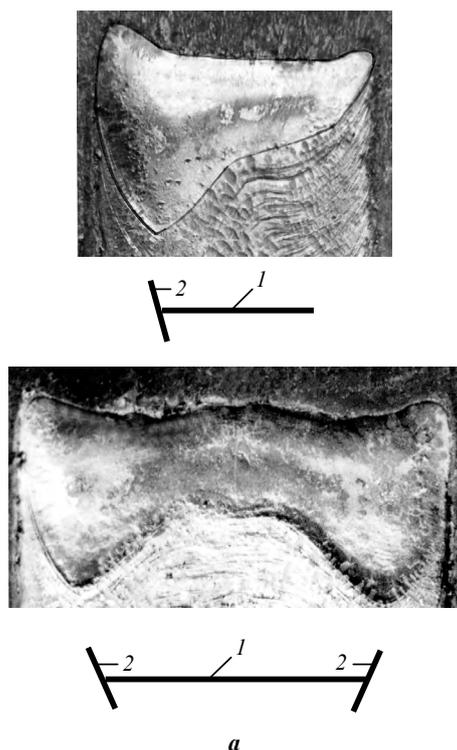


Рис. 2. Формообразование сварочной ванны в зависимости от схемы расположения лент составного электрода (обозначения см. на рис. 1)

Процессы, происходящие при наплавке под флюсом составным ленточным электродом, в полной мере характеризуются перемежающимся характером процесса [7]. С изменением положения боковых лент относительно основной перемещаются зоны преимущественного влияния дугового и шлакового процессов [8]. В зависимости от перемещения зон с большей долей дугового процесса изменяется характер оплавления торцов лент (рис. 3 и 4,А), но, главное, возможно снижение неравномерности проплавления основного металла (рис. 4,Б).

По мере перемещения боковых лент относительно средней, в результате изменений, происходящих в перемежающемся процессе с параллельным существованием дуговой и шлаковой составляющих, влияющих на скорость расплавления средней и боковых лент, условия нагрева и плавления основного металла, значительно изменяются форма, длина и ширина сварочной ванны (рис. 5)

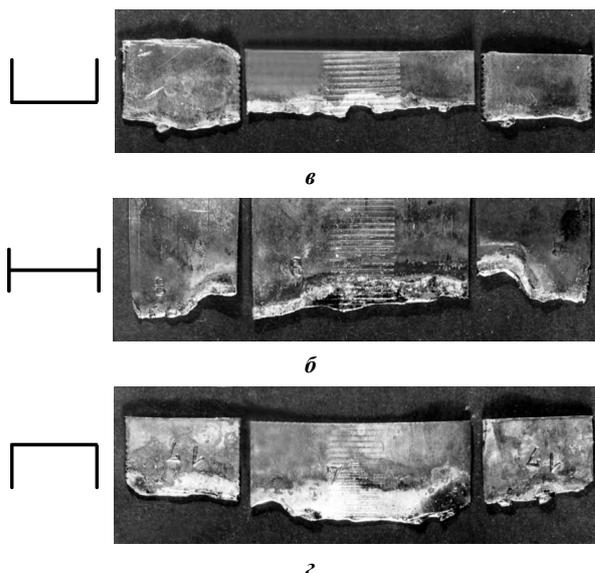


Рис. 3. Характер оплавления торцов лент составного ленточного электрода (обозначения см. на рис. 1)

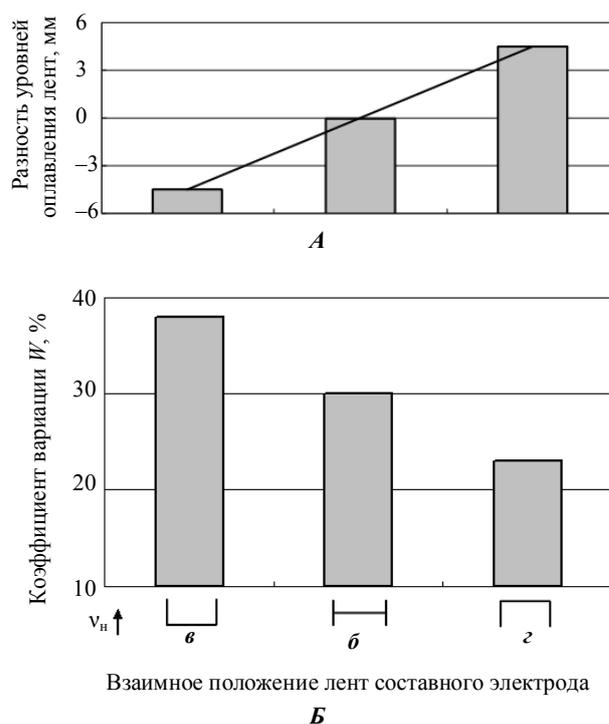
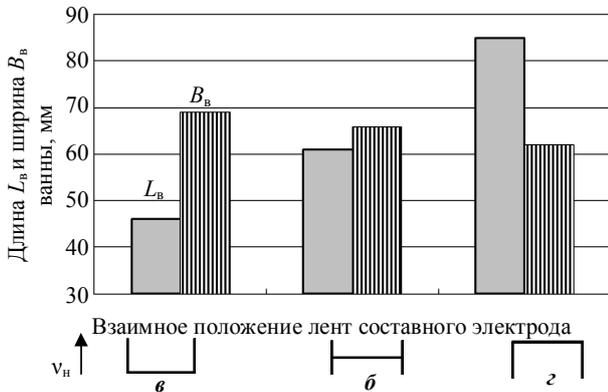


Рис. 4. Разность уровней торцов средней и боковых лент составного электрода (А) и коэффициент вариации  $W$  глубины проплавления (Б)

Возможность сохранить ширину ванны (даже при уменьшении в определенных пределах ширины средней ленты) зависит от величины угла  $\alpha$  между основной и боковыми лентами (см. рис. 1,А). При расположении боковых лент под углом  $\alpha \neq 90^\circ$  суммарная фронтальная проекция трех ленточных электродов увеличивается, компенсируя уменьшение ширины средней ленты. Важную роль в увеличении ширины ванны с изменением угла поворота

боковых лент играет направление и интенсивность потоков расплавленного металла, особенно на краях ванны.

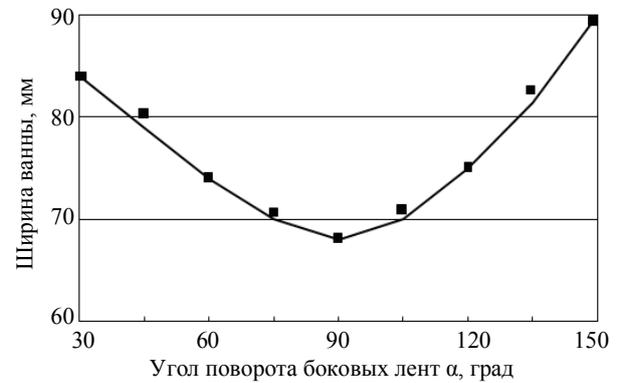
При постоянной ширине средней и боковых лент увеличение ширины ванны тем больше, чем в большей мере угол  $\alpha$  отличается от  $90^\circ$ . При изменении угла поворота боковых лент от  $90$  до  $150^\circ$



**Рис. 5.** Длина и ширина сварочной ванны при наплавке составным ленточным электродом при различном расположении лент

ширина ванны увеличивается более чем на 20 мм (рис. 6).

При наплавке составным ленточным электродом (средняя лента –  $50 \times 0,5$  мм, боковые ленты –  $25 \times 0,7$  мм) с увеличением угла поворота боковых лент до  $150^\circ$  ширина ванны достигает 90 мм при высоком качестве формирования одинарного наплавленного валика.



**Рис. 6.** Ширина ванны в зависимости от угла поворота  $\alpha$  боковых лент к основной ленте

### ВЫВОДЫ

1. Установленные закономерности формирования наплавленного слоя составным ленточным электродом под флюсом учитывают условия горения дуги, геометрию и расположение лент и обеспечивают повышение эффективности и качества наплавки.

2. При перемещении боковых лент относительно основной ленты изменяются условия нагрева и плавления как ленточных электродов, так и основного металла, что влияет на эффективность и неравномер-

ность проплавления, изменение формы, длины и ширины сварочной ванны.

3. Эффективным путем воздействия на формообразование сварочной ванны является поворот боковых лент относительно основной ленты. При постоянной ширине средней и боковых лент увеличение ширины ванны тем больше, чем в большей мере угол  $\alpha$  отличается от  $90^\circ$ . При наплавке составным ленточным электродом (средняя лента –  $50 \times 0,5$  мм, боковые ленты –  $25 \times 0,7$  мм) с увеличением угла поворота боковых лент до  $150^\circ$  ширина ванны увеличивается более чем на 20 мм и достигает 90 мм.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А.с. 1099490 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки двумя ленточными электродами [Текст] / Л. К. Лещинский, В. П. Лаврик, В. Н. Матвиенко. – № 3550385/25-27 ; заявл. 08.02.83 ; опубл. 22.02.84, Бюл. № 23.
- [2] А.с. 1561348 СССР, МКИ В23К 9/04. Способ наплавки расщепленным ленточным электродом [Текст] / В. Н. Матвиенко, Л. К. Лещинский, В. А. Егоров [и др.]. – № 4488183/25-27 ; заявл. 28.09.88 ; опубл. 03.01.90, Бюл. № 16.
- [3] Белоусов, Ю. В. Выбор оптимальной формы ленточного электрода для широкослойной наплавки [Текст] / Ю. В. Белоусов, Л. К. Лещинский, Б. Б. Сологуб // Автоматическая сварка. – 1976. – № 12. – С. 24–28.
- [4] Гулаков, С. В. Наплавка под флюсом ленточным электродом [Текст] / С. В. Гулаков, В. Н. Матвиенко, Б. И. Носовский. – Мариуполь : ПГТУ, 2006. – 136 с.
- [5] Кравцов, Т. Г. Электродуговая наплавка электродной лентой [Текст] / Т. Г. Кравцов. – М. : Машиностроение, 1978. – 168 с.
- [6] Лещинский, Л. К. Влияние формы электродной ленты на качество наплавленного слоя стали [Текст] / Л. К. Лещинский, В. Н. Матвиенко, В. П. Лаврик // Автоматическая сварка. – 1985. – № 9. – С. 60–62.
- [7] Лещинский, Л. К. Слоистые наплавленные и упрочненные композиции [Текст] / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин. – Мариуполь : ООО «Типография Новый мир», 2005. – 392 с.

- [8] **Лещинский, Л. К.** Форма сварочной ванны при наплавке составными ленточными электродами [Текст] / Л. К. Лещинский, В. Н. Матвиенко, С. В. Гулаков // Автоматическая сварка. – 1991. – № 11. – С. 58–60.
- [9] **Матвиенко, В. Н.** Получение многослойного композиционного покрытия наплавкой ленточными электродами [Текст] / В. Н. Матвиенко, В. П. Иванов, К. К. Степнов // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та : сб. науч. трудов. – Мариуполь, 1998. – Вып. 6. – С. 201–204.
- [10] **Размышляев, А. Д.** Управление формированием валика при дуговой наплавке ленточным электродом [Текст] / А. Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 2000. – № 4.
- [11] Электрошлаковая наплавка ленточным электродом с использованием специальных флюсов деталей атомно-энергетического и нефтехимического оборудования [Текст] / Е. Г. Старченко, В. Ю. Мастенко, Ю. С. Волобуев, В. Д. Ходаков // Сварочное производство. – 2011. – № 10. – С. 22 – 27.
- [12] **Peters, G.** Elektroschlacke – Bandplattierung mit korrosionsbeständigen Werkstoffen [Text] / G. Peters, P. Paschold // DVS – Berichte, DVS – Verlag. Düsseldorf, 2000. – Bd. 209. – P. 274–279.

---

© В. М. Матвиенко

Надійшла до редколегії 06.05.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. *О. М. Дубовий*