

УДК 621.714.122-426:620.178.4/.6

В. И. АЛИМОВ^а, А. И. МАКСАКОВ^б, О. В. ПУШКИНА^а, Д. В. ПОНОМАРЕНКО^а

^а ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», ^б НПО «ДОНИКС»

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

В работе проведено сравнение качества сварочных проволок диам. 1,2–1,6 мм из сталей с марганцем и кремнием национальных производителей и шведской компании ESAB. Производили ускоренную оценку коррозионной устойчивости к кислой среде; величину удельного электросопротивления оценивали четырехзондовым методом; моделировали износ поверхности при подаче проволоки в сварочном аппарате; оценивали скручиваемость двух проволок между собой, её способность к изгибам на 90° до момента поломки, величину прогиба за счет приложенной нагрузки и пружинение, микроструктуру и микротвердость в исходном (потребительском) состоянии и после полного перекристаллизационного отжига, имитирующего процессы послесварочного охлаждения. Установлено, что сварочная проволока национального производства после плазменной обработки обладает ситуационными преимуществами в сравнении с проволокой шведской компании ESAB, обеспечивая в то же время удешевление стоимости сварки.

сварочная проволока, нестандартные испытания на износ, коррозионная стойкость, электросопротивление, изгиб, пружинение

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Стальную сварочную проволоку широко используют для сварки и наплавки строительных и машиностроительных металлоконструкций и изделий из углеродистых, легированных и высоколегированных сталей, для производства электродов и для полуавтоматической и аргонно-дуговой сварки, особенно нержавеющей сталей аустенитного класса в среде защитных газов. Важную роль в улучшении качества и технологии сварки играет качество подготовки ее поверхности, в результате чего производители такой проволоки, желающие оставаться конкурентоспособными в условиях рынка, разрабатывают различные способы улучшения поверхности сварочной проволоки при возможном уменьшении затрат на ее производство и обработку.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Стальная сварочная проволока занимает 9,8–10,5 % от всего производства отечественной стали [1]. На поверхности такой проволоки не должно быть зазубрин, следов грязи, окалины или пятен масла, для обеспечения чего в последние годы, как сообщается в отечественной и зарубежной литературе, осваивают такие методы обработки поверхности сварочной проволоки, как ультразвуковая [2, 3] и электроискровая [4] очистка, плазменная обработка [5] и несколько необычная очистка при помощи текстильного шнура [6]. Все методы позиционируются как способствующие улучшению качества поверхности готовой сварочной проволоки, обеспечивающего в свою очередь чистоту и прочность сварного шва.

ЦЕЛЬ

Целью данной работы является оценка некоторых нестандартизированных физико-механических свойств сварочной проволоки отечественного производителя в сравнении с проволокой шведской компании ESAB; особенности производства отечественной проволоки связаны с плазменной обработкой поверхности на промышленной установке [7], обеспечивающей не только очистку, но и активацию поверхности проволоки [8].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В таблице 1 приведены характеристики сварочной проволоки для исследований и принятые условные обозначения.

Таблица 1 – Характеристика проволоки для исследований

Условное название стали	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Ш
Диаметр проволоки, мм	1,54	1,25	1,58	1,18	1,2	0,8	1,58	1,2
Примечания	Поверхность обработана плазмой			Сталь аустенитного класса		Омедненная поверхность	То же	Изготовитель – ESAB

Вначале проводили визуально-тактильный осмотр и многократное измерение диаметров по длине отрезков проволоки. Затем определяли величину удельного электросопротивления с помощью моста Р4833. Для этого определяли длину, диаметр и величину электрического сопротивления каждого образца, после чего рассчитывали удельное электрическое сопротивление.

Далее проводили испытания проволоки на износ. Предварительно измеряли массу и диаметры образцов, а также их длину, после чего к грузу массой 100 г прикрепляли наждачную бумагу зернистостью 400 и в течение 30 минут истирали поверхность проволоки. Путь истирания составил 231 м. После этого снова измеряли массу и диаметры. Результирующий износ рассчитывали по формулам:

$$\frac{\Delta l}{S \cdot l \cdot \tau}, \frac{\Delta m}{S \cdot l \cdot \tau}, \quad (1)$$

где Δl – высота сечения проволоки после износа, мм;

Δm – разница между исходной массой и массой проволоки после износа, г;

S – исходная площадь сечения проволоки, мм²;

l – путь истирания, м;

τ – время истирания, ч.

Для исследования пластических свойств брали по 2 образца каждого вида проволоки одинаковой длины и скручивали между собой, а затем раскручивали до исходного состояния. В процессе раскручивания оба образца разрушились, поэтому в дальнейшем образцы подвергали двухстороннему перегибу.

Для определения упругих свойств брали образцы длиной 420 мм и подвешивали груз, как показано на рисунке 1. Угол прогиба рассчитывали с помощью программы «Компас».

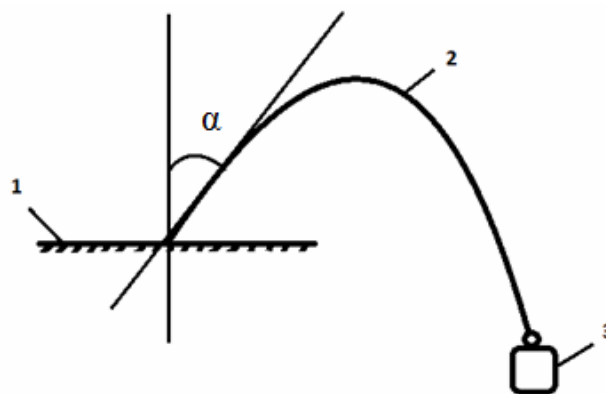


Рисунок 1 – Схема определения упругих свойств проволоки: 1 – зажимы; 2 – проволока; 3 – груз.

Пружинение проволоки изучали путем обматывания каждой из проволок вокруг металлических опор, последующего их снятия и измерения расстояния от изгиба до изгиба (схема опыта приведена на рисунке 2).

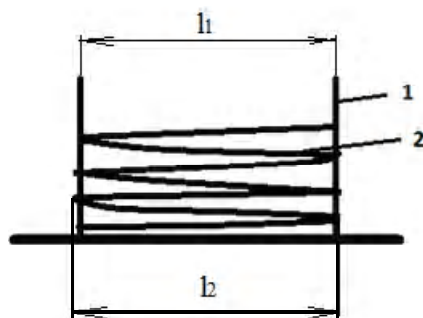


Рисунок 2 – Схема определения пружинения: 1 – опоры; 2 – проволока; l_1 – расстояние между опорами; l_2 – расстояние между витками после снятия проволоки с опор.

Для исследования коррозионной стойкости отбирали образцы длиной порядка 40 мм, измеряли их массу и диаметр до испытаний и через 5 мин в течение 15 мин после их опускания в 30%-й водный раствор серной кислоты. Стойкость против коррозии определяли по формулам:

$$\frac{\Delta m}{\tau}, \quad \frac{\Delta d}{\tau} \tag{2}$$

где Δm – разница масс до и после испытания, г;
 Δd – разница диаметров образцов до и после испытания, мм;
 τ – время проведения испытаний, с.

Также проводили исследование микроструктуры образцов в деформированном состоянии и после термической обработки, в качестве которой выбирали полный перекристаллизационный отжиг. Проволоку из стали «А» и «Ш» помещали в тигель и засыпали карбюризатором, затем помещали в предварительно нагретую до температуры 900 °С муфельную печь на 30 мин, охлаждение образцов производили с печью. После охлаждения изучали микроструктуру, измеряли микротвердость на поперечном и продольном сечениях проволоки, а также измеряли размер зерен феррита и перлита.

При визуально-тактильном осмотре установлено, что проволока из стали «А» имеет более гладкую поверхность и отражательную способность, чем из стали «Ш». Выявлено, что сталь отечественного производства имеет более гладкую поверхность и отражательную способность, чем сталь шведской компании. Также при увеличении поверхности ($\times 400$) наглядно видно, что количество царапин и неровностей меньше у проволоки отечественного производства.

В таблице 2 приведены значения и частота повторяемости диаметров проволоки, выраженные в натуральных величинах и в процентах. Измерение диаметров показало наибольший разброс значений у проволоки шведской компании по сравнению с образцами проволоки остальных изученных марок.

Таблица 2 – Значения диаметров и их повторяемость

Сталь	А			Ш				
	d, мм	1,55	1,6	1,65	1,2	1,25	1,3	1,35
Кол-во замеров с диаметром d	19	96	6	37	110	14	13	
Частота повторения d, %	15,7	79,34	4,96	21,26	63,22	8,05	7,47	
Сталь	Б		В		Г			
	d, мм	1,2	1,25	1,55	1,6	1,2	1,25	
Кол-во замеров с диаметром d	11	39	7	43	47	3		
Частота повторения d, %	22	78	14	86	94	6		
Сталь	Д		Е		Ж			
	d, мм	1,25	1,3	0,8	0,85	1,65	1,7	
Кол-во замеров с диаметром d	30	20	21	29	30	20		
Частота повторения d, %	60	40	42	58	60	40		

Исходя из расчетных данных (табл. 3), можно сделать вывод, что удельное электрическое сопротивление у проволоки из стали «Ш» несколько больше, чем из стали «А». Проволока из стали «А» имеет наименьшее сопротивление из ряда рассмотренных образцов, что говорит в пользу ее лучшей свариваемости.

Таблица 3 – Удельное электросопротивление проволок

Сталь	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Ш
Удельное электросопротивление, Ом·м, 10 ⁻⁸	28,91	32,04	31,05	79,12	29,57	29,44	89,26	30,12

Видно (табл. 4), что сталь «А» сопротивляется износу в 2 раза эффективнее стали «Ш», что свидетельствует о большей прочности поверхности проволоки, обработанной по технологии национального производителя.

Таблица 4 – Результаты испытаний образцов проволоки на износ

Сталь	$\frac{\Delta l}{S \cdot l \cdot \tau}$, мм/(мм ² ·м·ч)	$\frac{\Delta m}{S \cdot l \cdot \tau}$, г/(мм ² ·м·ч)
А	34,21	12,93
Ш	73,72	16,07

Изучение перегибов на 90° привело к излому проволоки из стали «Ш» после четырех перегибов, из стали «А» – после пяти, что свидетельствует о несколько более высоких пластических свойствах стали «А» после плазменной обработки поверхности. Подобные результаты получены при расчете упругих свойств (табл. 5) – проволока из стали «А» проявляет наибольшую упругость из всех рассмотренных образцов.

Таблица 5 – Данные по расчету упругих свойств

Сталь	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Ш
Угол прогиба α , °	12	14	24	15	18	31	26	19

Изучение пружинения (табл. 6) показало близкий уровень значений для всех изученных образцов, проволока из сталей «А» и «Ш» по данному свойству не имеют преимуществ перед другими изученными сталями.

Таблица 6 – Экспериментальные данные оценки пружинения

Сталь	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Ш
Расстояние между опорами l_1 , см	3,9	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Расстояние между изгибами l_2 , см	4,2	3,8	3,6	3,5	3,8	3,8	3,8	3,5
$\Delta l = l_2 - l_1$, см	0,3	0,3	0,1	0	0,3	0,3	0,3	0

Как видно (табл. 7), в течение первых 5 мин выдержки в кислой коррозионноактивной среде изменение массы сталей «А» и «Ш» имеет близкие значения и на порядок ниже значений, полученных для других исследованных образцов. Однако в итоге через 15 мин выдержки уменьшение массы стали «Ш» выросло в 4 раза, в то время как для стали «А» осталось практически неизменным.

Следует отметить, что после полного перекристаллизационного отжига в структуре шведской проволоки наблюдаются (рис. 3–4, табл. 8) неравноосные зерна, а у отечественной – преимущественно вытянутые; в связи с этим микротвердость у зарубежной проволоки при отжиге снижается интенсивнее (табл. 9).

ВЫВОДЫ

1. Нестандартные методы сравнительной оценки качества различных химсоставов и диаметров сварочной проволоки дают положительные результаты, отражающие ее технологические и потребительские свойства, являясь относительно нетрудоемкими и малозатратными.

Таблица 7 – Результаты измерений изменения массы и диаметра проволоки до и после выдержки в кислотной среде *

Сталь Время выдержки	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	Ш
0	–	–	–	–	–	–	–	–
5	$\frac{-0,7}{0,005}$	$\frac{-8,5}{0,2 \times 10^{-3}}$	$\frac{-7,8}{0,2 \times 10^{-3}}$	$\frac{1,3}{-}$	$\frac{1,5}{-}$	$\frac{2,2}{-}$	$\frac{-6,8}{-}$	$\frac{-1}{0,01}$
10	$\frac{-2}{0,01}$	$\frac{-1,3}{0,2 \times 10^{-3}}$	$\frac{-4,7}{-}$	$\frac{-1,8}{0,2 \times 10^{-3}}$	$\frac{-3}{0,2 \times 10^{-3}}$	$\frac{-0,7}{-}$	$\frac{-7,5}{-}$	$\frac{-6}{-}$
15	$\frac{-1}{0,005}$	$\frac{-4,1}{-}$	$\frac{-8,2}{-}$	$\frac{-2,2}{-}$	$\frac{-0,3}{-}$	$\frac{-1,3}{-}$	$\frac{-8,5}{-}$	$\frac{-5}{-}$
За 15	$\frac{-1}{6,7 \times 10^{-3}}$	$\frac{-4,6}{0,1 \times 10^{-3}}$	$\frac{-7}{0,1 \times 10^{-3}}$	$\frac{-0,9}{0,1 \times 10^{-3}}$	$\frac{-0,6}{0,1 \times 10^{-3}}$	$\frac{0,06}{-}$	$\frac{-7,6}{-}$	$\frac{-4}{3,3 \times 10^{-3}}$

* **Примечание:** В числителе приведены значения $\Delta m/\tau, \times 10^{-6}$, г/с; в знаменателе – $\Delta d/\tau$, мм/с.

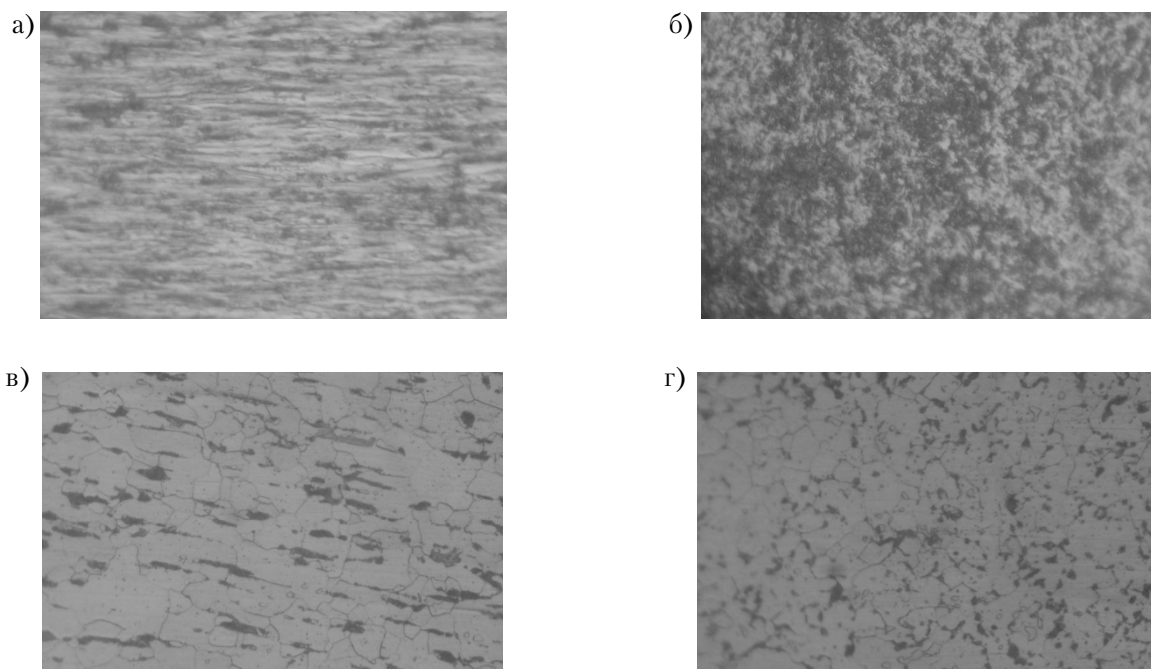


Рисунок 3 – Микроструктуры проволоки из стали «А» в исходном состоянии (продольное (а) и поперечное (б) сечения) и после отжига (продольное (в) и поперечное (г) сечения), $\times 450$.

Таблица 8 – Размеры поперечника зерен структурных составляющих *

Сталь		А			Ш		
Сечение	структура	min	max	среднее	min	max	среднее
Продольное	феррит	3,81	27,51	11,97	1,94	30,18	9,86
	перлит	2,15	17,61	9,36	7,08	49,79	18,3
Поперечное	феррит	4,82	29,16	11,51	3,43	30,16	12,34
	перлит	3,14	19,51	7,05	4,96	33,43	14,38

* **Примечание:** Все размеры представлены в мкм.

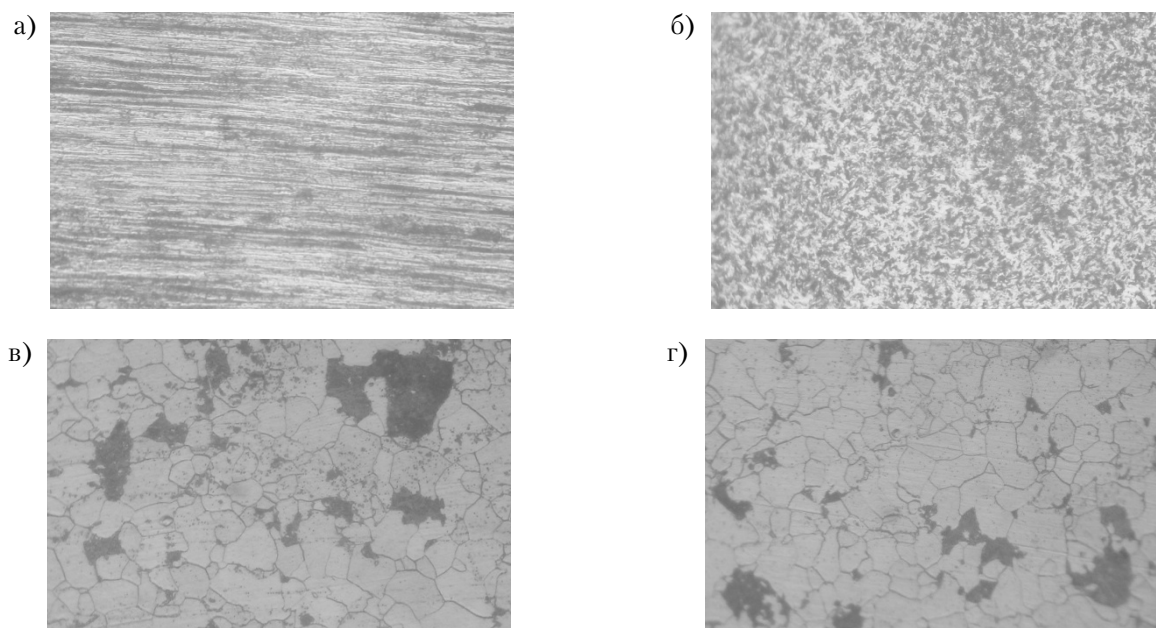


Рисунок 4 – Микроструктуры проволоки из стали «Ш» в исходном состоянии (продольное (а) и поперечное (б) сечения) и после отжига (продольное (в) и поперечное (г) сечения), $\times 450$.

Таблица 9 – Результаты измерений микротвердости (Н/мм²)

Состояние	До отжига		После отжига	
	А	Ш	А	Ш
Сталь				
Среднее значение \pm ошибка	1 659 \pm 106	2 701 \pm 132	1 346 \pm 80	1 443 \pm 194

2. Проведенные испытания, описанными в работе методами дают основания считать, что сварочная проволока отечественного производства после плазменной обработки обладает ситуационными преимуществами в сравнении с проволокой шведской компании ESAB, обеспечивая в то же время удешевление стоимости сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мировое производство стальной проволоки. Анализ [Электронный ресурс] / Информационный портал о метизах, метизной промышленности и метизном рынке // Ассоциация Росметиз. – Режим доступа : <http://www.rosmetiz.ru/index.php?section=13&id=293>.
2. Освоение технологии производства сварочной проволоки с ультразвуковой очисткой поверхности от остатков технологической смазки [Текст] / М. И. Махнев, Л. Ф. Жаров, Н. М. Лебедев и др. // Сталь. – 2010. – № 7. – С. 93–95.
3. Using ultrasonic treatment in the cleaning of the surface of filler wires for argon-shielded arc welding [Текст] / G. V. Dubinin, M. V. Mishin, V. Yu. Khanygin [et al.] // Welding International. – 2013. – Vol. 27, № 5. – P. 381–383.
4. Электроискровая очистка поверхности стали 08Г2С [Текст] / Ю. П. Егоров, М. В. Журавлев, Г. Е. Ремнев и др. // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 320, № 2. – С. 63–67.
5. Пат. 2347010 Российская Федерация, МПК С 23 F 4/00, С 23 С 4/02, С 23 С 14/02, С 23 G 1/00 (2006.01). Способ электродуговой очистки поверхности металлических изделий [Текст] / Никитина Е. Е.; заявитель Никитина Е. Е.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «Петроплазма». – № 2007107061/02; заявл. 19.02.2007; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 5. – 6 с.
6. A Novel Method for Preparing Welding Wire Surfaces [Текст] / Y. G. Boockmann, K. Boockmann, R. Fichtner [et al.] // Welding Journal. – 2008. – № 9. – P. 26–30.
7. Пат. 91246 Российская федерация, МПК H05B7/08, C21D1/44 (2006.01). Установка для плазменной обработки проволоки в потоке [Текст] / Максаков А. И., Алимов В. И., Кияев В. Н. и др. – № 2009131635/22; заявл. 20.08.2009; опубл. 21.01.2010, Бюл. № 3. – 4 с. : ил.
8. Пат. на кор. модель 68476 Украина, МПК C21C14/38 (2006.01). Спосіб активізації поверхні дроту перед нанесенням покриттів [Текст] / Максаков А. И., Алимов В. И., Максакова А. А. и др. – № u 2011 11011; заявл. 14.09.2011; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6. – 2 с.

Получено 07.05.2013

В. І. АЛІМОВ^a, А. І. МАКСАКОВ^b, О. В. ПУШКІНА^a, Д. В. ПОНОМАРЕНКО^a
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ
^a ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», ^b НВО «ДОНІКС»

У роботі проведено порівняння якості зразків дротів діам. 1,2–1,6 мм із сталей з марганцем і кремнієм національних виробників у порівнянні з якістю дроту шведської компанії ESAB. Досліджували корозійну стійкість в 30%-му водному розчині сірчаної кислоти; величину питомого електроопору оцінювали чотиризондовим методом; крім того, вивчали знос поверхні, скручуваність двох дротів між собою, перегин на 90° до моменту злому, прогин за рахунок доданої маси і пружинення, мікроструктуру і мікротвердість у вихідному стані і після повного перекристалізаційного відпалу, що імітує процеси післязварювального охолодження. Встановлено, що зварювальний дріт вітчизняного виробництва після плазмового оброблення має ситуаційні переваги в порівнянні з дротом шведської компанії ESAB, забезпечуючи в той же час здешевлення вартості зварювання.

зварювальний дріт, випробування на знос, корозійна стійкість, електроопір

VALERIY ALIMOV^a, ANATOLIY MAKSAKOV^b, OKSANA PUSHKINA^a, DARIA PONOMARENKO^a

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WELDING WIRE

^a Donetsk National Technical University, ^b Scientific-Production Association «DONIX»

This paper compares the quality of samples wire dia. 1,2–1,6 mm of steel with manganese and silicon domestic producers as compared to the quality of the wire of the Swedish company ESAB. The corrosion resistance was studied in 30% – aqueous solution of sulfuric acid, the value of the specific electrical resistance was assessed by means of four-terminal method, moreover we studied the wear of the surface, the curl of two wires among themselves, inflection by 90° till breakage, the deflection due to applied weight and spring, microstructure and micro hardness in the initial state and after complete recrystallization annealing, simulating processes of post-weld cooling. It has been carried out that the welding wire of domestic production after the plasma treatment possesses the situational advantages in comparison with the wire of the Swedish company ESAB, ensuring at the same time the reduction of the cost of welding.

welding wire, the wear test, corrosion resistance, electrical resistivity

Алімов Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри фізичного матеріалознавства Донецького національного технічного університету, член-кореспондент АГН України. Наукові інтереси: теорія, технологія і устаткування для термічної, хіміко-термічної та термомеханічної обробки металевих виробів, корозія і захист матеріалів, металогенетика, створення й захист об'єктів інтелектуальної власності.

Максаков Анатолій Іванович – керівник Запорізького відділення НВО «Донікс». Наукові інтереси: теорія і практика виробництва протяжних виробів, теорія, технологія і устаткування для обробки металовиробів плазмою та іншими ВДЕ, патентний захист технічних рішень.

Пушкіна Оксана Вікторівна – аспірант, інженер 1-ої категорії кафедри фізичного матеріалознавства Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: фазово-структурні перетворення при деформаційно-термічній обробці дроту, спадкові зв'язки структури і властивостей деформованих виробів при прямих і зворотних фазово-структурних перетвореннях.

Пономаренко Дар'я Вікторівна – магістр кафедри фізичного матеріалознавства Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: критерії оцінки якості протяжних виробів, одержуваних деформаційно-термічним обробленням.

Алімов Валерій Іванович – доктор технических наук, профессор кафедры физического материаловедения Донецкого национального технического университета, член-корреспондент АГН Украины. Научные интересы: теория, технология и оборудование для термической, химико-термической и термомеханической обработки металлических изделий, коррозия и защита материалов, металлогенетика, создание и защита объектов интеллектуальной собственности.

Максаков Анатолий Иванович – руководитель Запорожского отделения НПО «Доникс». Научные интересы: теория и практика производства протяжённых изделий, теория, технология и оборудование для обработки металлоизделий плазмой и другими ВИЭ, патентная защита технических решений.

Пушкина Оксана Викторовна – аспирант, инженер 1-ой категории кафедры физического материаловедения Донецкого национального технического университета. Научные интересы: фазово-структурные превращения при деформационно-термической обработке проволоки, наследственные связи структуры и свойств деформированных изделий при прямых и обратных фазово-структурных превращениях.

Пономаренко Дарья Викторовна – магистр кафедры физического материаловедения Донецкого национального технического университета. Научные интересы: критерии оценки качества протяжённых изделий, получаемых деформационно-термической обработкой.

Alimov Valeriy – Drc(Eng), Professor, Physical Materials Science Department, Donetsk National Technical University, corresponding member of Academy of Mining Sciences of Ukraine. Scientific interests: theory, technology and equipment for thermal, chemical-thermal and thermo-mechanical treatment of metal products, corrosion protection materials, metal genetics, development and protection intellectual property rights.

Maksakov Anatoliy – head of Zaporizhia branch of scientific production association «DONIX». Scientific interests: the theory and practice of production of long products, theory, technology and equipment for metal treatment by plasma and other renewable energy sources, patent protection of technical solutions.

Pushkina Oksana – post-graduate, engineer of 1 st cat., Physical Materials Science Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: structural phase transformation during deformation and heat treatment of wire, hereditary connection between the structure and properties of wrought products in the forward and reverse phase-structural transformations.

Ponomarenko Daria – Master, Physical Materials Science Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: the criteria for assessing the quality of long products received strain-heat treatment.