

## ЭЛЕКТРОД ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ 12Х18Н9Т+10

## ELECTRODE FOR MANUAL ARC WELDING OF STEELS 12Х18Н9Т+10

**Ключевые слова:** сварка, разнородные стали, сталь 12Х18Н9Т, сталь 10, хрупкие прослойки, шов, трещины, сдвоенный электрод, сварное соединение, РДС, структура, интерметаллиды, зона термического влияния.

В современном сельхозмашиностроении широко используются электроды для сварки разнородных сталей и сплавов, где детали и конструкции свариваются из материалов, значительно различающихся по своим физико-механическим характеристикам, химическому составу, количеству легирующих компонентов и способности к свариванию. Основные проблемы, характерные для сварки разнородных металлов и сплавов, связаны с появлением хрупких прослоек в сварном шве. Степень их проявления определяется природой взаимодействующих материалов при формировании неразъемных сварных соединений. Причины, объясняющие низкий уровень прочностных свойств, ударной вязкости, статической и усталостной трещиностойкости сварных конструкций из разнородных материалов, заключаются в формировании зон переменного химического состава со сложной (различной) кристаллической структурой, присутствием хрупких интерметаллидов или неметаллических включений, высокопрочных закаленных зон, появлением остаточных напряжений и пр. Избавиться от данных проблем путем оптимизации режимов сварки и наплавки, как правило, не удается. Если в процессе сварки не происходит активного перемешивания электродного и материалов соединяемых заготовок, то и добиться качественного шва в большинстве случаев не получается.

**Keywords:** welding, dissimilar steels, steel 12Х18Н9Т, steel 10, brittle layers, weld joint, cracks, double electrode, weldment, manual arc welding, structure, intermetallic compounds, heat-affected zone.

In modern agricultural mechanical engineering, electrodes are widely used for welding dissimilar steels and alloys where parts and structures are welded from materials that differ significantly in their physical and mechanical characteristics, chemical composition, number of alloying components and weldability. The main problems characteristic of welding dissimilar metals and alloys are associated with the appearance of brittle layers in the weld joint. The degree of their manifestation is determined by the nature of the interacting materials during the formation of permanent welded joints. The reasons explaining the low level of strength properties, impact toughness, static and fatigue crack resistance of welded structures made of dissimilar materials are the formation of zones of variable chemical composition with a complex (different) crystal structure, the presence of brittle intermetallic compounds or non-metallic inclusions, high-strength hardened zones, the appearance of residual stresses, etc. As a rule, it is not possible to get rid of these problems by optimizing welding and surfacing modes. If during the welding process there is no active mixing of the electrode and the materials of the workpieces being joined, then in most cases it is not possible to achieve a high-quality weld. Therefore, one of the most important scientific and complex production tasks when welding dissimilar materials is to obtain permanent high-quality joints of carbon and alloy steels.

**Иванаевский Виктор Васильевич**, д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: viv174@bk.ru.

**Кривочуров Николай Тихонович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: krivochurov\_nt@mail.ru.

**Ivanayskiy Viktor Vasilevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: viv174@bk.ru.

**Krivochurov Nikolay Tikhonovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: krivochurov\_nt@mail.ru.

### Введение

При проведении сварочных работ, таких как изготовление сварных конструкций, восстановление изношенных деталей, упрочнение поверхности изделий, интенсивно подвергающихся износу, возникает необходимость в сварке разнородных сталей. Эта технология самая сложная из всех видов аналогичных работ. Если в процессе сварки не происходит активного перемешивания материалов соединяемых заготовок,

то добиться получения качественного шва или наплавки сплава, в большинстве случаев, очень сложно [1, 2]. При повышенном содержании углерода в сталях эта задача усложняется многократно. Одна из наиболее сложных, с практической точки зрения, задач при сварке разнородных материалов связана с соединением углеродистых и легированных сталей [3].

Одна из причин пониженной свариваемости перлитной и аустенитной сталей – образование

хрупкого мартенситного слоя или карбидной гряды в объеме переходной кристаллизационной прослойки, у которой уровень легирования металла снижается, приближаясь к перлитной стали. Образование этой прослойки объясняется ухудшением перемешивания жидкого металла в зоне кромок соединяемых заготовок. При небольшом запасе аустенита металла шва толщина этой прослойки может достигнуть критической величины, при которой происходит хрупкое разрушение сварного соединения [4]. Это обусловлено тем, что при формировании сварочной ванны доли участия аустенитной и перлитной сталей неодинаковы. Кроме того, оказывают влияние различия в температуре их плавления, теплопроводности и теплоемкости. Как правило, аустенитная сталь составляет 60%, а перлитная – 40% объема шва в условиях равного теплового воздействия. При кристаллизации сварного шва возникают внутренние напряжения, как следствие, микро- и макротрещины, образуется большое количество карбидов и/или мартенсита, приводящих к хрупкости, из-за разных порогов нагрева в сварном шве и зоне термического влияния [5].

Предлагается несколько сложных технологий сварки для устранения указанных недостатков: а) предварительно, перед сваркой, наваривать на кромку из низкоуглеродистой или низколегированной стали переходной слой из нержавеющей стали, и в последующем сварка ведётся аналогично сварке нержавеющей металла; б) для некоторых свариваемых разнородных металлов применяют присадочный материал повышенного легирования или на основе никеля; в) производится предварительный и сопутствующий подогрев с последующей термообработкой [1, 5-7].

Создание новых материалов и технологии сварки аустенитных сталей с перлитными, обеспечивающих получение качественного неразъемного соединения, является актуальной проблемой в сварочном производстве.

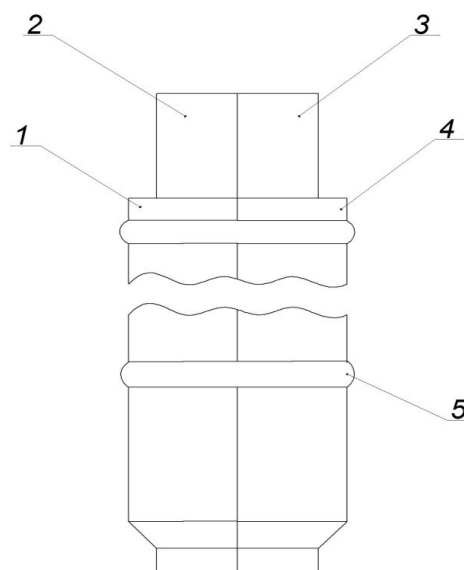
**Цель** работы – разработать электрод для ручной дуговой сварки (РДС) плавлением, включающим возможность образования кристаллизационных прослоек и трещин в сварном шве при сварке сталей 12Х18Н9Т со сталью 10.

#### Материалы приборы и устройства

Исходя из имеющегося опыта [8], предлагается новая конструкция электрода для сварки

разнородных сталей, состоящая из двух металлических стержней в виде полуцилиндров (частей), скрепленных между собой по плоскостям скобой. Каждая часть металлического стержня в конструкции сдвоенного электрода состоит из  $\frac{1}{2}$  части электрода ЦЛ11 и  $\frac{1}{2}$  части электрода МРЗ, это соотношение может меняться в зависимости от химического состава соединяемых материалов.

Конструкция сдвоенного электрода, состоящего из двух разнородных металлических стержней, представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Сдвоенный электрод:**  
1, 4 – обмотка стержня ЦЛ11 (основная) и МРЗ (рутиловая);  
2, 3 – стержни электродов ЦЛ11 и МРЗ;  
5 – крепежное кольцо

Сдвоенный электрод изготавливали следующим образом: фрезеровали сварочный электрод таким образом, чтобы каждая металлическая часть его составляла  $\frac{1}{2}$  диаметра электродов ЦЛ11 и МРЗ (рис. 2).



**Рис. 2. Фрезерованные электроды ЦЛ11 и МРЗ**

По плоскости фрезерования электродов они соединяются между собой и крепятся металлическим кольцом (скобой) или другими крепежными материалами (рис. 3).

Химические составы электродов и свариваемых сталей приведены в таблицах 1 и 2.



Рис. 3. Сдвоенный электрод, состоящий из двух стержневых электродов (частей) ЦЛ11 и МРЗ

Таблица 1

**Химический состав электродов**

Марка электрода	Химический состав, %				
	C	Si	Mn	Ni	Cr
ЦЛ11	0,05-0,12	≤ 1,3	1,0-2,5	8,0-10,5	18,0-22,0
МРЗ	0,8	0,07-0,2	0,08-1,2	-	-

Таблица 2

**Химический состав свариваемых сталей**

Марка сталей	Химический состав, %						
	Cr	Si	Mn	Ni	Ti	C	Fe
12Х18Н9Т	17-19	До 0,8	До 0,2	Около 10	1,2	до 0,12	68,4
10	До 0,15	0,17-0,37	0,35-0,65	до 0,25	-	0,07-0,14	98,4

Для металлографических исследований использовался микроскоп марки Carl Zeiss Axio Observer Z1m.

Качество сварных соединений проверялось на универсальном ультразвуковом дефектоскопе УД2В-П46 (рис. 4).

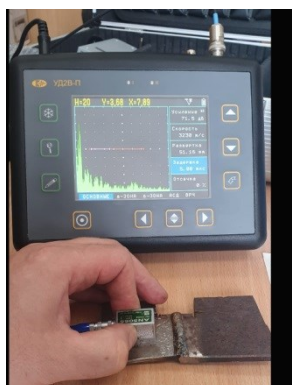


Рис. 4. Универсальный ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П4

Горение сварочной дуги сдвоенного электрода исследовалось на специально изготовленном устройстве (рис. 5).

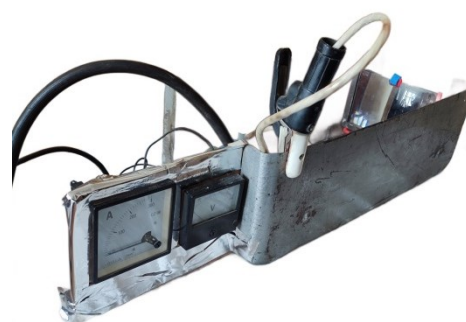


Рис. 5. Устройство для исследования горения сварочной дуги сдвоенного электрода

Сопротивление электродов измерялось многофункциональным измерителем Tester-TC1.

Для сварки разнородных сталей сдвоенным электродом были подготовлены образцы из стали 12Х18Н9Т и стали 10, толщиной 6 мм 100×70 мм по 6 шт. каждой.

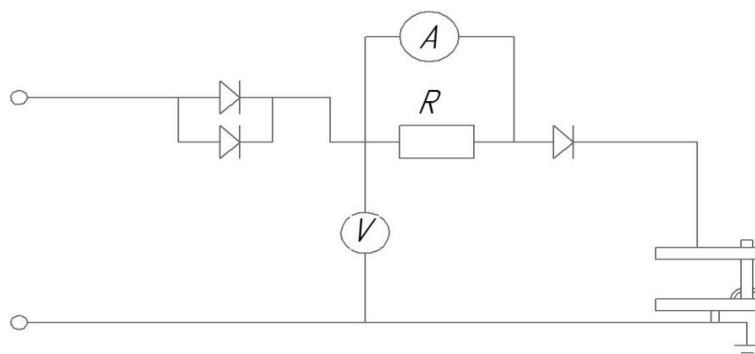


Рис. 6. Электрическая схема устройства горения дуги

Сварку вели с разделкой кромок на постоянном токе обратной полярности. Величина сварочного тока устанавливалась 110 А, диаметры сдвоенных сварочных электродов до фрезерования составляли 3 мм.

При сварке образцов из разнородных сталей сдвоенным по фрезерованным плоскостям электродом электрод ЦЛ11 был направлен на кромку аустенитной стали 12Х18Н9Т (ГОСТ 5632-72), а стержень МРЗ – на перлитную сталь 10 (ГОСТ10-88).

#### Результаты исследований и их обсуждение

В процессе проведения исследования, с помощью устройства (рис. 5), определяли характер горения дуги сдвоенного электрода.

Механизм горения дуги (рис. 7) и переноса металла в сварочный шов представляет большой интерес, поскольку оказывает важное влияние на выбор параметров источника питания. Характер переноса металла определяется большим числом факторов, к важнейшим из которых относится материал электрода.

Схема возникновения дуги между сдвоенным электродом и угольным происходит таким же образом, как и при сварке стандартным электродом, несмотря на то, что электрическое

сопротивление их стержней различно (ЦЛ11 составляет 0,8-0,9 Ом, а МРЗ – не более 0,4-0,5 Ом) и состоит из следующих стадий: а) короткое замыкание; б) образование жидкой прослойки; в) образование шейки; г) возникновение дуги.



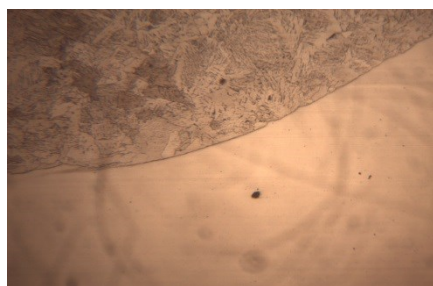
Рис. 7. Горение сварочной дуги сдвоенного электрода

Сварной шов на наличие пор трещин раковин и прослоек исследовали на микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m. Панорамный снимок сварного шва стали 12Х18Н9Т и стали 10 приведен на рисунке 8.

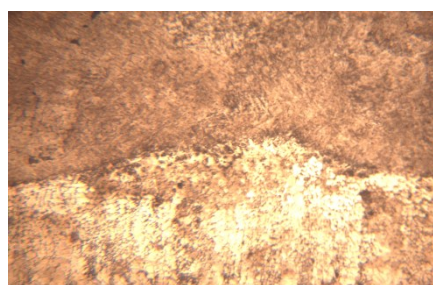


Рис. 8. Сварной шов:  
1 – сталь 12Х18Н9Т; 2 – сварной шов; 3 – сталь 10

На рисунке 9а показана зона сплавления стали 12Х18Н9Т, а на рисунке 9б – зона сплавления стали 10.



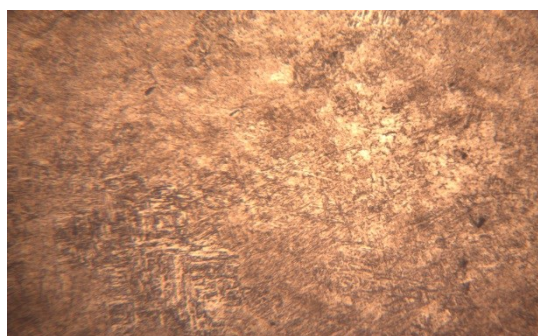
а



б

**Рис. 9. Зоны сплавления:**  
а – сталь 12Х18Н9Т; б – сталь 10

В процессе сварки сдвоенным электродом целенаправленно формируется материал, с усредненным химическим составом по отношению к свариваемым, за счет плавления и смешивания материалов электродов при переносе их в электрической дуге, а также в сварном шве (рис. 10).



**Рис. 10. Структура сварного шва, по оси, сталей 12Х18Н9Т и 10**

Качество сварного соединения разнородных сталей оценивалось металлографическим методом и ультразвуковой дефектоскопией.

Проведенный анализ установил, что в сварочной ванне «кристаллизационные» прослойки аномального состава в процессе зарождения кристаллитов не создаются. Дефектов в свар-

ном шве металлографической и ультразвуковой дефектоскопией не выявлено.

### Выводы

1. Апробирован сдвоенный электрод для сварки разнородных сталей, состоящий из двух полуцилиндров металлических стержней сварочных электродов марок ЦЛ11 и МРЗ, соединенных между собой по плоскости скобой.

2. Металлографическим и ультразвуковым методами установлено, что при расположении полуцилиндра электрода марки ЦЛ11 над кромкой стали 12Х18Н9Т, а МРЗ над кромкой стали 10 при сварки этих сталей в сварном шве не выявлено дефектов.

3. В результате интенсивного перемешивания свариваемых сталей и металлов сдвоенного электрода предотвращено образование структурной неоднородности, сварного соединения из разнородных материалов.

### Библиографический список

1. Никулина, А. А. Структура и свойства разнородных соединений, полученных методом сварки и наплавки углеродистых и легированных сталей: диссертация на соискание ученой степени / Никулина Аэлита Александровна. – Новосибирск, 2020. – 385 с. – Текст: непосредственный.

2. Закс, И. А. Сварка разнородных сталей / И. А. Закс. – Ленинград: Машиностроение, 1973. – 208 с. – Текст: непосредственный.

3. Rosenberg, G., Sinaiová, I., Juhar, L'. (2013). Effect of microstructure on mechanical properties of dual phase steels in the presence of stress concentrators. *Materials Science and Engineering: A*. 582. 347-358. DOI: 10.1016/j.msea.2013.06.035.

4. Особенности роста пластинчатого перлита в зоне сварки разнородных сталей / А. А. Никулина, А. И. Смирнов, И. А. Батаев [и др.]. – Текст: непосредственный // Физика металлов и металловедение. – 2016. – Т. 117, № 1. – С. 58-64.

5. Mougnot, R., Hänninen, H. (2013). Microstructures of nickel-base alloy dissimilar metal welds. *Aalto University Publication Series*; No. Aalto-ST 5/2013. pp. 178.

6. Особенности хрупкого разрушения сварных соединений разнородных сталей / А. А. Бивалькевич, А. А. Батаев, В. Г. Буров, В. А. Батаев, С. В. Хлебников. – Текст: непосредственный

// Ползуновский вестник. – Барнаул, 2004. – № 2. – С 44-46.

7. Патент № 2651101 Российская Федерация, МПК В23К 20/22 (2006.01). Вставка для сварки разнородных материалов: № 2016126869: заявл. 04.07.16; опубл. 18.04.18 / Батаев А.А., Батаев И.А., Лазуренко Д.В., Никулина А.А., Огнева Т.С., Тюрин А.Г.; заявитель НГТУ. – Текст: непосредственный.

8. Патент № 2791021 Российской Федерации МПК В23К35/02 (2023.03.01). Электрод для дуговой сварки деталей из разнородных сталей и способ дуговой сварки деталей из разнородных сталей / Иванайский В.В., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т.; заявитель Алтайский ГАУ. – Текст: непосредственный.

### References

1. Nikulina, A. A. Struktura i svoistva raznorodnykh soedinenii, poluchennykh metodom svarki i naplavki uglerodistykh i legirovannykh staley: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni / Nikulina Aelita Aleksandrovna. – Novosibirsk, 2020. – 385 s.

2. Zaks, I. A. Svarka raznorodnykh staley / I. A. Zaks. – Leningrad: Mashinostroenie, 1973. – 208 s.

3. Rosenberg, G., Sinaiová, I., Juhar, L. (2013). Effect of microstructure on mechanical properties of

dual phase steels in the presence of stress concentrators. *Materials Science and Engineering: A*. 582. 347-358. DOI: 10.1016/j.msea.2013.06.035.

4. Osobennosti rosta plastinchatogo perlita v zone svarki raznorodnykh staley / A. A. Nikulina, A. I. Smirnov, I. A. Bataev [i dr.] // *Fizika metallov i metallovedenie*. – 2016. – Т. 117, No. 1. – С. 58-64.

5. Mougnot, R., Hänninen, H. (2013). Microstructures of nickel-base alloy dissimilar metal welds. *Aalto University Publication Series*; No. Aalto-ST 5/2013. pp. 178.

6. Osobennosti khrupkogo razrusheniia svarnykh soedinenii raznorodnykh staley / A.A. Bivalkevich, A.A. Bataev, V.G. Burov, V.A. Bataev, S.V. Khlebnikov // *Polzunovskii vestnik*. – 2004. – No. 2. – С. 44-46.

7. Patent No. 2651101 Rossiiskaia Federatsiia, МПК В23К 20/22 (2006.01). Vstavka dlia svarki raznorodnykh materialov: No. 2016126869: zaiavl. 04.07.16; opubl. 18.04.18 / Bataev A.A., Bataev I.A., Lazurenko D.V., Nikulina A.A., Ogneva T.S., Tiurin A.G.; zaiavitel NGTU.

8. Patent No. 2791021 Rossiiskoi Federatsii МПК В23К35/02 (2023.03.01). Elektrod dlia dugovoi svarki detalei iz raznorodnykh staley i sposob dugovoi svarki detalei iz raznorodnykh staley / Ivanaiskii V.V., Ishkov A.V., Krivochurov N.T.; zaiavitel Altaiskii GAU.

