



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-54-58>  
УДК 621.791

Поступила 14.03.2022  
Received 14.03.2022

## УСТАНОВКА ДЛЯ МАЛОДЕФОРМАЦИОННОЙ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ С СУХИМ ЛЬДОМ

Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО, А. М. МАМОНОВ, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: [panteleyenkofi@tut.by](mailto:panteleyenkofi@tut.by). Тел.: +375(29)594-42-88

*В статье дан краткий анализ факторов, влияющих на качество сварного соединения тонколистовых аустенитных сталей, и методов снижения деформаций и остаточных напряжений. Отмечено, что наиболее целесообразным является метод сварки с применением теплоотвода, заключающийся в том, что за сварочной дугой движется источник охлаждения. Предложены и описаны конструкция и работа установки малодеформационной сварки нержавеющей сталей с использованием в качестве охладителя сухого льда, что позволяет очень быстро снизить температуру металла в области сварки, а также обеспечить регулирование скорости сварки и величины подаваемого сухого льда в заданную область сварного соединения. Предложен порядок работы на установке и оценки качества сварного соединения.*

**Ключевые слова.** Малодеформационная сварка, нержавеющая сталь, сухой лед, установка.

**Для цитирования.** Пантелеенко, Ф. И. Установка для малодеформационной сварки нержавеющей сталей с сухим льдом / Ф. И. Пантелеенко, А. М. Мамонов // *Литье и металлургия*. 2022. № 2. С. 54–58. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-54-58>.

## INSTALLATION FOR LOW-DEFORMATION WELDING OF STAINLESS STEELS WITH DRY ICE

F. I. PANTELEENKO, A. M. MAMONOV, Belarusian National Technical University,  
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: [panteleyenkofi@tut.by](mailto:panteleyenkofi@tut.by). Tel.: +375(29)594-42-88

*The article provides a brief factors' analysis affecting the quality of the welded joint of thin-sheet austenitic steels and methods for reducing deformations and residual stresses. It is noted that the most expedient is the welding method using a heat sink, which consists in the fact that a cooling source moves behind the welding arc. Proposed and described the design and operation of the installation of low-deformation welding of stainless steels using dry ice as a cooler, which allows very quickly reducing the metal temperature in the welding area, as well as regulating the welding speed and the amount of dry ice supplied to a given area of the welded joint. The procedure for working on the installation and evaluating the quality of the welded joint is proposed.*

**Keywords.** Low-deformation welding, stainless steel, dry ice, installation.

**For citation.** Panteleenko F. I., Mamonov A. M. Installation for low-deformation welding of stainless steels with dry ice. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 2, pp. 54–58. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-54-58>.

### Введение

В настоящее время объем сварных конструкций с использованием нержавеющей сталей непрерывно расширяется. Такие стали хорошо свариваются, однако они обладают низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом температурного расширения. Благодаря этому в сварных соединениях возникают значительные деформации, приводящие к недопустимому искажению формы и размеров сварных конструкций, что приводит к нарушению их эксплуатационных характеристик, снижению качества изделий [1]. Кроме того, наличие остаточных напряжений снижает надежность и долговечность изделий, а искажение формы в некоторых случаях оказывает негативное влияние на их работоспособность.

Основными направлениями снижения остаточных деформаций являются ограничения тепловыделения в металле, а также регулирование термонапряженного и деформационного состояний в процессе сварки. Как отмечает ряд авторов, методы ограничения внутренних деформаций и перемещений принудительным охлаждением зоны сварки оказались весьма эффективными [2–4].

Существует ряд методов, позволяющих управлять как деформациями, так и остаточными напряжениями при сварке [5]. Применительно к сварке пластин из аустенитной стали наиболее выгодным

и экономически целесообразным является метод сварки с применением теплоотвода. Он заключается в том, что за сварочной дугой движется источник охлаждения [6]. Использование в качестве охладителя жидкости требует специальной оснастки. Отсутствие такой оснастки приводит к увеличению расстояния между дугой и охлаждаемой областью, что уменьшает эффективность метода.

Использование твердого диоксида углерода (сухого льда) позволяет очень быстро снизить температуру металла, так как сухой лед сублимируется без образования жидкой фазы в области сварки [7]. Находящийся в зоне сварки сухой лед формирует надежную защитную газовую среду специфического состава: смесь диоксида и оксида углерода ( $\text{CO}_2 + \text{CO}$ ). При сварке наблюдается стабильное, мягкое горение дуги, фактически без разбрызгивания металла с хорошим формированием шва [4]. При сварке тонколистового материала за счет быстрого снятия избыточного тепла сухой лед резко снижает остаточные сварочные деформации.

Процесс сварки с дополнительным охлаждением сухим льдом в зависимости от конструктивных особенностей сварного изделия реализуется механизированной либо ручной дуговой сваркой. Электродуговую сварку осуществляют дугой прямого действия неплавящимся или плавящимся электродом. Для сварки неплавящимся электродом используют тонкостенные листы с отбортовкой кромок. Стыковую сварку тонкостенных листов без отбортовки кромок осуществляют дугой прямого действия с плавящимся электродом.

Схема газозлектрического способа дуговой сварки плавящимся электродом под слоем сухого льда [8] показана на рис. 1.

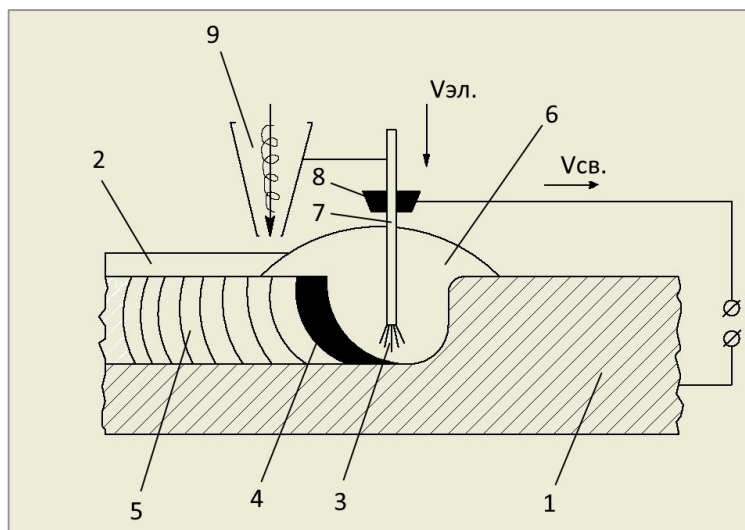


Рис. 1. Схема дуговой сварки под слоем сухого льда:

1 – основной металл; 2 – слой сухого льда; 3 – дуга; 4 – сварочная ванна; 5 – шов; 6 – газовая защита зоны сварки; 7 – электродная сварочная проволока; 8 – токосъемный наконечник; 9 – бункер для подачи сухого льда

Малодеформационная сварка нержавеющей сталей с сухим льдом осуществляется сварочным аппаратом KemractPulse 3000 на установке, представленной на рис. 2.

Сварочная установка включает в себя раму 1; платформу 2; траверсу 3; механизм привода платформы 4; винт перемещения платформы 5; винт перемещения траверсы 6; бункер для засыпки сухого льда 7; шнек, установленный на подшипниковой опоре 8; планетарно-цилиндрический редуктор с электродвигателем Д-12ТФ1 9; патрубок для подачи сухого льда в зону охлаждения 10; источник питания 11; подающий механизм с бобиной для проволоки и их роликовым приводом 12; баллон с защитным газом и газовым редуктором 13; сварочные кабели 14 и сварочную горелку 15; блок управления устройством 16.

Сварочный аппарат подключается к 3-фазной сети переменного тока. Напряжение питания –  $380 \pm 15\text{В}$ ; потребляемая мощность – не более 12 кВт; скорость подачи проволоки – 1–18 м/мин, диаметр проволоки – 0,6–1,2 мм; защитный газ –  $\text{CO}_2$ , Ar, смесь – Ar и  $\text{CO}_2$ . Устройство и работа сварочного аппарата изложены в техническом описании и инструкции по эксплуатации KemractPulse 3000.

Платформа перемещается вдоль рамы на двух направляющих, установленных параллельно основанию рамы. Перемещение платформы осуществляется передачей винт-гайка. Винт установлен на подшипниковых опорах в раме, а гайка закреплена на подвижной платформе. При вращении винта гайка перемещается по винту, а соответственно перемещает и платформу. Винт приводится во вращение

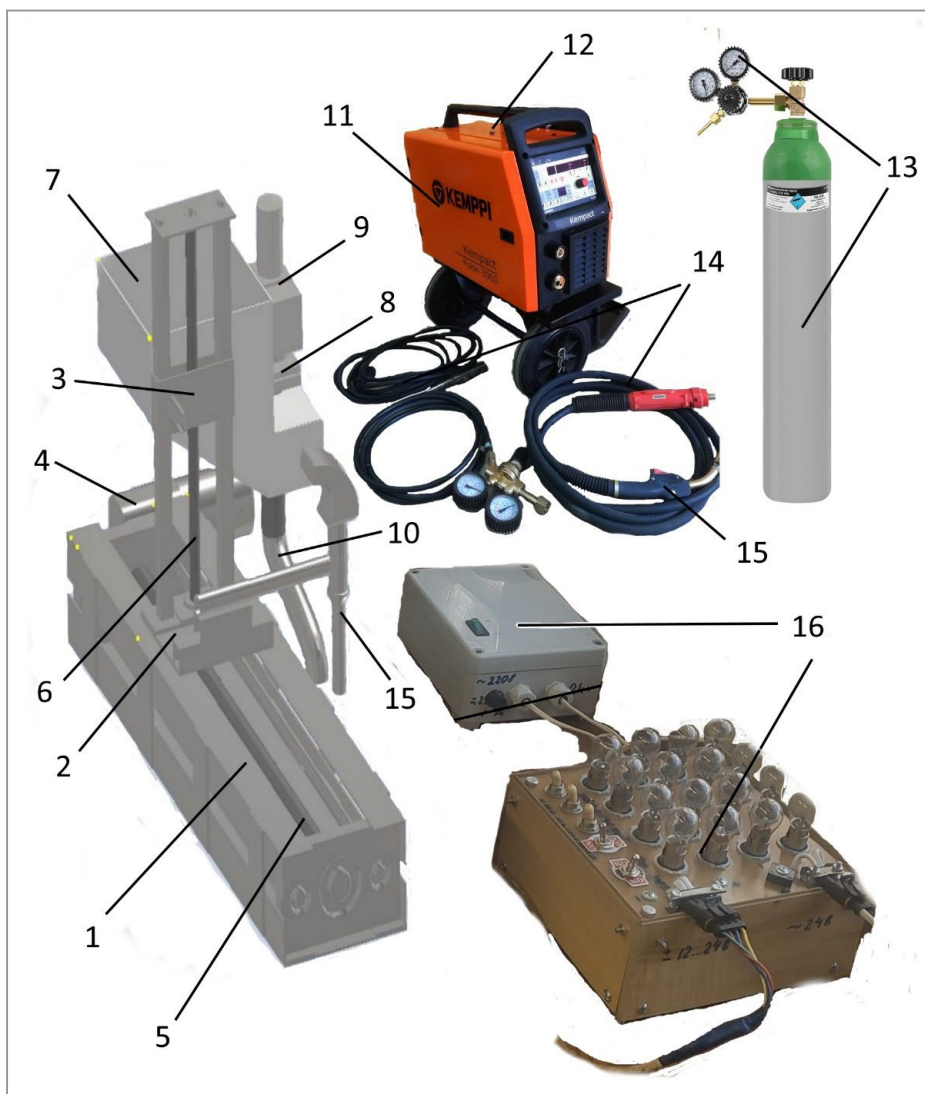


Рис. 2. Установка малодеформационной сварки нержавеющей сталей

от электродвигателя постоянного тока СП-369М через червячно-цилиндрический редуктор. Мощность электродвигателя – 50 Вт, напряжение питания – 27 В. Частота и направление вращения электродвигателя обеспечивает скорость и направление движения платформы. Регулирование частоты вращения вала двигателя осуществляется изменением добавочного сопротивления в цепи якорной обмотки, а изменение направления вращения – изменением полярности на обмотке якоря [9]. Максимальная скорость движения платформы, соответствующая максимальной частоте вращения вала двигателя, составляет 200 мм/мин. Изменение скорости движения платформы регулируется от 10 до 200 мм/мин.

Сварочная горелка 15 закрепляется на кронштейне 2 подвижной платформы и имеет возможность регулирования вылета и угла наклона, бункер для засыпки сухого льда 7 находится на траверсе, имеющей возможность перемещения «вверх-вниз».

На выходной конец патрубка 10 устанавливается сменная трубка, позволяющая подвести подачу сухого льда в любую зону сварного шва. Подъем, опускание бункера осуществляются вручную с помощью винта 6. Мощность двигателя привода шнека – 15 Вт, напряжение питания – 27 В переменного тока. Максимальная подача сухого льда составляет 20 г/с. Величина подачи является конструктивным параметром и зависит от диаметра и шага шнека, а также частоты вращения вала привода. Изменение подачи шнека регулируется сопротивлением в цепи обмотки якоря. С увеличением добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря частота вращения двигателя уменьшается, соответственно уменьшается и подача сухого льда.

Автоматизация процесса сварки осуществляется путем перемещения подвижной платформы с закрепленными на ней сварочной горелкой и устройством подачи сухого льда. Скорость сварки регулируется скоростью движения платформы.

Для управления двигателями, обеспечивающими движение платформы и подачи сухого льда, разработан и изготовлен блок управления устройством (рис. 3).

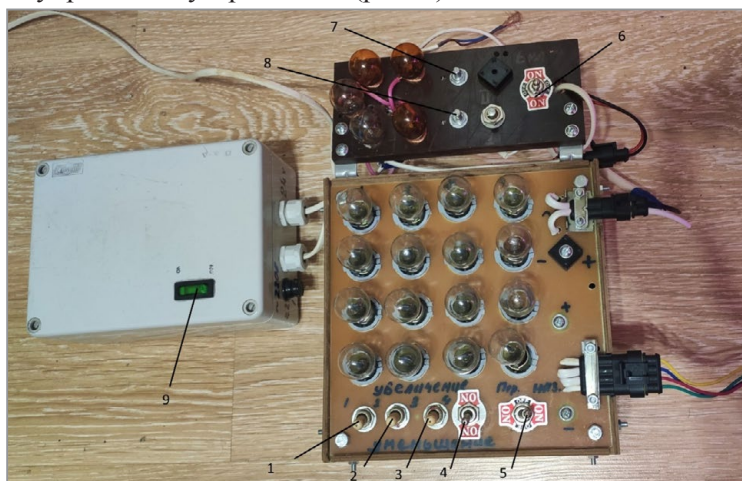


Рис. 3. Блок управления устройством, обеспечивающего автоматизацию процесса малодеформационной сварки

Питание блока осуществляется от сети переменного тока, напряжением 220 В, потребляемый ток не более 1,5 А. Электрическая схема блока включает в себя трансформатор, понижающий напряжение с 220 до 27 В; диодный мост, обеспечивающий выпрямление переменного тока; балластное сопротивление и конденсатор для сглаживания колебаний; нагрузочные сопротивления (в разработанном блоке в качестве нагрузочных сопротивлений используются электрические лампочки). На лицевой панели блока установлены переключатели (тумблеры), обеспечивающие включение и выключение электродвигателей, привода платформы и шнека. Для регулирования скорости движения платформы наряду с плавным регулированием предусмотрены четыре фиксированных ступени, включаемые соответственно тумблерами 1, 2, 3, 4, призванные обеспечить повторяемость опытов.

Регулирование скорости на каждой ступени осуществляем изменением нагрузки в цепи якоря электродвигателя. При увеличении нагрузки снижается скорость движения платформы, уменьшается скорость сварки. При этом интенсивность свечения лампочек возрастает, что позволяет визуально контролировать изменение скорости сварки. Изменение направления движения платформы вперед-назад осуществляется тумблером 5, включение подачи сухого льда – тумблером 6, регулирование скорости подачи сухого льда – потенциометрами 7, 8.

Порядок работы на установке:

- Выбираем режим сварки (силу сварочного тока  $I$ , напряжение дуги  $U$ ).
- Выбираем скорость сварки  $V_{св}$  и задаем ее на пульте блока управления (рис. 3) включением соответствующего тумблера 1, 2, 3 или 4.
- В зависимости от выбранных параметров и требуемой массы наплавленного металла задаем скорость подачи проволоки на блоке питания сварочного аппарата.
- Устанавливаем с помощью потенциометра 7 требуемую величину подачи сухого льда на блоке.
- По меткам линий сварки устанавливаем и закрепляем свариваемые листы, выставляем зазор между сварочной горелкой и листами, устанавливаем зазор между листами и патрубком подачи сухого льда, переводим платформу в крайние положения на начало процесса сварки, для этого включаем тумблер 5 на блоке управления (вперед или назад) в зависимости от нужного направления, подаем питание на блок управления включением клавиши «питание» 9. При выходе платформы на заданную позицию отключаем питание путем нажатия на клавишу «питание» 9.
- Переключаем тумблер 5 в противоположное направление, включаем тумблер 6 в положение подачи сухого льда, подаем питание на блок управления нажатием клавиши «питание», платформа движется в зону сварки.
- При подходе стола к зоне сварки включаем режим сварки подачей сигнала на сварочную горелку.
- После окончания сварки проводим последовательное выключение сварочного аппарата, выключение подачи сухого льда и движения платформы.
- Качество сварки оцениваем визуально с измерительным контролем сваренного образца по стандартным методикам, качество и структуру сварного соединения оцениваем на микрошлифах.



### Выводы

Дан краткий анализ факторов, влияющих на качество сварного соединения тонколистовых аустенитных сталей, и методов снижения деформаций и остаточных напряжений.

Предложена и подробно описана конструкция установки для проведения малодеформационной сварки нержавеющей тонколистовых сталей с использованием сухого льда, описана работа ее узлов и агрегатов.

Предложен порядок работы и оценки качества сварного соединения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки / В. П. Куликов. Минск: М.: ИНФРА-М, 2016. 463 с.
2. **Винокуров, В. А.** Теория сварочных деформаций и напряжений / В. А. Винокуров. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
3. **Сагалевиц, В. М.** Методы устранения сварочных деформаций и напряжений / В. М. Сагалевиц. М.: Машиностроение, 1974. 248 с.
4. **Шалимов, М. П.** Сварка вчера, сегодня, завтра / М. П. Шалимов, В. И. Панов, Е. Б. Вотинова. 2-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: УрФу, 2015. 310 с.
5. **Parmar, K. S.** Welding Engineering and Technology / K. S. Parmar // Khanna Publishers, 2005. 270 с.
6. **Афшин Х. М.** Снижение деформаций при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом тонколистовой аустенитной стали принудительным охлаждением высокотемпературной области: дис. ... канд. техн. наук: Минск, БНТУ, 2012. 182 с.
7. **Хейдари Монфаред, А.** Снижение поверхностных деформаций путем термической обработки в процессе стыковой сварки / А. Хейдари Монфаред, Ф. И. Пантелеенко, А. Ф. Пантелеенко // Вест. ПГУ. Промышленность. Прикладные науки. 2011. № 3. С. 19–26.
8. Способ дуговой сварки плавящимся электродом: пат. ВУ 20199 С1 / Ф. И. Пантелеенко, С. И. Жизняков, Д. И. Викторовский, Н. И. Урбанович. Опубл. 30.06.2016.
9. **Кулик, Ю. А.** Электрические машины. М.: Высш. шк., 1971, 456 с.

### REFERENCES

1. **Kulikov V.P.** *Tehnologija svarki plavljeniem i termicheskoj rezki* [Fusion welding and thermal cutting technology]. Minsk, INFRA-M Publ., 2016, 463 p.
2. **Vinokurov V.A.** *Teorija svarochnyh deformacij i naprjazhenij* [Theory of welding deformations and stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984, 280 p.
3. **Sagalevich B.M.** *Metody ustraneniya svarochnyh deformacij i naprjazhenij* [Methods for eliminating welding deformations and stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974, 248 p.
4. **Shalimov M.P., Panov V.I., Votinova E.B.** *Svarka vchera, segodnja, zavtra* [Welding yesterday, today, tomorrow]. Ekaterinburg, UrFu Publ., 2015, 310 p.
5. **Parmar K.S.** *Welding Engineering and Technology*. Khanna Publishers, 2005, 270 p.
6. **Afshin H.M.** *Snizhenie deformacij pri argonodugovoj svarke neplavjashhimsja jelektrodom tonkolistovoj austenitnoj stali prinuditel'nyim ohlazhdeniem vysokotemperaturnoj oblasti. Diss.kand. tehn. nauk* [Reducing deformations in non-consumable electrode argon-arc welding of thin-sheet austenitic steel by forced cooling of the high-temperature region. Kand. tech. sci. diss.]. Minsk, BNTU Publ., 2012, 182 p.
7. **Hejdari Monfared A., Panteleenko F.I., Panteleenko A.F.** *Snizhenie poverhnostnyh deformacij putjom termicheskoj obrabotki v processe stykovoij svarki* [Reduction of surface deformations by heat treatment during butt welding]. *Vestnik PGU. Promyshlennost'. Prikladnye nauki = Bulletin of PGU. Industry. Applied Science*, 2011, no. 3, pp. 19–26.
8. **Panteleenko F.I., Zhiznjakov S.I., Viktorovskij D.I., Urbanovich N.I.** *Sposob dugovoj svarki plavjashhimsja jelektrodom* [Consumable electrode arc welding method]. Patent BY, no. 20199 C1, 2016.
9. **Kulik Ju.A.** *Jelektricheskie mashiny* [Electric cars]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1971, 456 p.