

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

<https://doi.org/10.26583/gns-2026-01-04>

УДК 621.791: 621.039.5

EDN AEGWDK

Оригинальная статья / Original paper




Опыт применения размагничивания крупногабаритных деталей
для стабилизации сварочной дуги

М.Е. Жидков¹ , П.А. Меженский¹, А.Г. Карташов¹, С.А. Томилин²  

¹Завод «Атоммаш», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация

²Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация

 satomilin@mephi.ru

Аннотация. В процессе изготовления корпусного толстостенного оборудования на этапе сборки-сварки элементов посредством дуговой сварки (особенно на постоянном токе) приходится решать проблему, связанную с остаточной намагниченностью деталей. При изготовлении корпусов реакторов 3100-Р-101 и 3100-Р-102 на производственной площадке завода «Атоммаш» в г. Волгодонск была зафиксирована высокая остаточная намагниченность заготовок, которая возникает вследствие предшествующих технологических операций, как связанных с термическим и механическим воздействием на металл, так и под действием сильных постоянных магнитных полей, в том числе от протекающего тока. Остаточная намагниченность нарушает стабильность горения дуги, вызывает ее отклонение от оси стыка и приводит к различным дефектам сварочного валика. В сварочной литературе освещались последствия его вредного влияния: от локальных дефектов в виде разбрызгивания, пористости, подрезов и непроваров до полной невозможности формирования сварного шва. Особую сложность вызывает выполнение корневого прохода шва. В статье рассмотрены практические аспекты влияния явления на технологический процесс дуговой сварки реакторного крупногабаритного толстостенного оборудования, причины возникновения намагниченности, применения методики размагничивания, количественный контроль остаточного поля для обеспечения проведения сварочных работ с требуемым качеством. Применение предложенной в настоящей работе практической методики позволяет снизить остаточную намагниченность до 300 нТл даже при очень высоких ее первоначальных значениях (до 1970 нТл), что обеспечивает возможность выполнения сварочных работ любыми дуговыми процессами с высокими показателями качества.

Ключевые слова: корпус реактора, остаточная намагниченность, дефект сварного шва, коэрцитивная сила, магнитное поле, сварочный процесс, качество сварного соединения

Для цитирования: Жидков М.Е., Меженский П.А., Карташов А.Г., Томилин С.А. Опыт применения размагничивания крупногабаритных деталей для стабилизации сварочной дуги. *Глобальная ядерная безопасность*. 2026;16(1):34–43. <https://doi.org/10.26583/gns-2026-01-04>


For citation: Zhidkov M.E., Mezhenky P.A., Kartashov A.G., Tomilin S.A. Experience in degaussing large-sized parts to stabilize the welding arc. *Nuclear Safety*. 2026;16(1):34–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2026-01-04>

Experience in degaussing large-sized parts to stabilize the welding arc

Maxim E. Zhidkov¹ , Pavel A. Mezhenky¹, Alexey G. Kartashov¹,
Sergey A. Tomilin²  

¹Atomash, Volgodosk, Rostov Region, Russian Federation

²Volgodosk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Volgodosk, Rostov Region, Russian Federation

 satomilin@mephi.ru

Abstract. It is necessary to solve the problem of residual magnetization of the parts in the process of manufacturing thick-walled equipment at the stage of assembling and welding elements using arc welding (especially on a direct current). During the production of reactor housings 3100-R-101 and 3100-R-102 at the Atom mash production site in Volgodonsk, a high residual magnetization of the workpieces was recorded, which occurs as a result of previous technological operations, both related to thermal and mechanical effects on the metal, and under the influence of strong permanent magnetic fields, including those caused by the current flowing through them. Residual magnetization disrupts the stability of the arc, causing it to deviate from the axis of the joint and leading to various defects in the weld bead. The welding literature has highlighted the harmful effects of residual magnetization, ranging from local defects such as spatter, porosity, undercuts, and lack of penetration to the complete inability to form a weld bead. The article discusses the practical aspects of the phenomenon's impact on the arc welding process of large-sized thick-walled reactor equipment, the causes of magnetisation, the application of demagnetisation techniques, and quantitative control of the residual field to ensure that welding work is carried out with the required quality. The application of the practical method proposed in this work allows reducing residual magnetisation to 300 nT even at very high initial values (up to 1970 nT), which makes it possible to perform welding operations using any arc processes with high quality indicators.

Keywords: reactor vessel, residual magnetization, weld defect, coercive force, magnetic field, welding process

Одной из сложных и труднорешаемых проблем, с которой сталкиваются сварщики на этапе сборки-сварки элементов при дуговой сварке, является остаточная намагниченность деталей, которая нарушает стабильность горения дуги, вызывает ее отклонение от оси стыка и приводит к различным дефектам сварочного валика. У специалистов по сварке данное явление получило название «магнитное дутье» [1]. Изучению этого явления, его влиянию на сварочный процесс и возникновение дефектов, а также решению задачи его нивелирования посвящен целый ряд работ [1–6]. Однако в производстве продолжают возникать еще нерешенные ситуации. В настоящей работе рассмотрена технология размагничивания деталей крупногабаритных корпусных изделий для возможности осуществления сборочно-сварочных операций посредством дуговой сварки.

На производственной площадке завода «Атоммаш» в г. Волго́донск выполняется изготовление реакторов 3100-P-101 (рис. 1) и 3100-P-102 комплекса глубокой переработки нефтяного сырья и средних дистиллятов для АО «Новошахтинский завод нефтепродуктов».

Корпуса реакторов, включая все их основные детали – обечайки, днища, патрубки – изготавливаются из поковок стали SA-336M F22V. На внутренней поверхности изделия выполняется антикоррозионная электрошлаковая наплавка типа 309LNb. Фактический химический состав и механи-

ческие свойства SA-336M F22V приведены в таблицах 1 и 2. Материал относится к группе теплоустойчивых сталей, легированных хромом, молибденом и ванадием (например, известны отечественные аналоги сталей этой группы, такие как 15X2MФА, 15X1M1Ф, 12X1MФ и др.). Применение указанного материала обеспечивает для изделия длительную эксплуатацию в условиях высоких температур и нагрузок.



Рисунок 1. Реактор 3100-P-101 комплекса глубокой переработки нефтяного сырья и средних дистиллятов для АО «Новошахтинский завод нефтепродуктов»

Figure 1. Reactor 3100-R-101 of the deep processing complex for oil raw materials and medium distillates for Novoshakhtinsky Oil Products Plant JSC

Таблица 1. Типовой химический состав стали SA-336M F22V**Table 1.** Typical chemical composition of SA-336M F22V steel

Фактический химический состав стали SA-336M F22V											
C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Nb	Ti
0,14	0,56	0,007	0,001	0,05	2,45	1,00	0,17	0,03	0,30	0,03	0,015

Таблица 2. Типовые механические свойства стали SA-336M F22V**Table 2.** Typical mechanical properties of SA-336M F22V steel

Механические свойства SA-336M F22V, при 20°C				Работа удара (среднее значение) SA-336M F22V, KCV(Дж) при температуре испытаний, °C	
Предел прочности Rm (МПа)	Предел текучести Rp0.2 (МПа)	Относительное удлинение A (%)	Относительное сужение Z (%)	-18	-29
710	604	24	78	225	198,9

В процессе изготовления после части технологических операций – наплавки, механической обработки и контроля – при выполнении первых сборочных работ сварных соединений в деталях изделия была обнаружена существенная намагничённость, например, при сборке обечайки нижней с большим патрубком (рис. 2). Фактически это проявлялось прилипанием мелких металлических частиц, стружки, а также небольших предметов, например, стальной линейки, обрезков стальной проволоки, связки ключей (рис. 3) и т.д.

**Рисунок 2.** Обечайка с отверстием под установку патрубка**Figure 2.** Shell with a hole for fitting a nozzle

Возникновение эффекта остаточной намагничённости у обечаек не случайность, а закономерный результат всего цикла технологии их обработки. Намагничённость материала может появляться как под действием термической обработки и деформирова-

ния металла, так и под действием сильных постоянных магнитных полей, в том числе от протекающего тока [6]. Пластическая деформация при ковке, механическая обработка кромок и вырезка отверстий, проведение магнитопорошкового контроля (МПК) внутренней поверхности под наплавку, электрошлаковая наплавка (ЭШН) – все эти операции на разных этапах могут приводить

**Рисунок 3.** Намагничённость при сборке под сварку обечайки нижней с большим патрубком**Figure 3.** Magnetization during the assembly of the lower shell for welding with a large the nozzle

материал к значительному намагничиванию. Следует также отметить, что при вырезанном отверстии под патрубок в обечайке (см. рис. 2), наибольшая магнитная сила была отмечена именно в зоне отверстия, что

можно объяснить, как локальным намагничиванием в процессе его вырезки, так и местным искажением магнитного поля в зоне отверстия.

Известна физическая особенность материала изделия, обусловленная химическим составом хромомолибденованадиевой стали и ее структурой, заключающаяся в высокой коэрцитивной силе – материал после намагничивания длительное время может сохранять остаточные магнитные свойства и устойчив к размагничиванию.

Основным способом сварки всех толсто-стенных деталей – сварки кольцевых швов, приварки крупных патрубков – является автоматическая дуговая сварка под слоем флюса на переменном токе или постоянном токе обратной полярности. Для сборки деталей под сварку, приварки временных технологических креплений, сварки малых патрубков применяется ручная дуговая сварка покрытыми электродами на постоянном токе обратной полярности. Все применяемые сварочные процессы, для сварки изделия – дуговые. Намагниченность деталей для них является критичным затруднением, особенно при использовании постоянного тока. В процессе сварки горение дуги может быть нестабильным. Это проявляется в отклонении дуги от нормального симметричного положения, ее вращении, деформации под действием сил остаточного магнитного поля. В итоге нарушается процесс формирования шва [7], защита сварочной ванны, расплавленный металл может ложиться на одну из кромок и не захватывать вторую или ложиться хаотично. Также под действием магнитного поля расплавленный металл может спонтанно выбрасываться из зоны расплава в виде крупных брызг.

Так, в процессе сборки обечайки нижней с большим патрубком (см. рис. 3), где впервые была обнаружена намагниченность деталей при сварке временных технологических креплений, в момент наведения ванны моментально происходил выплеск расплавленного металла из зоны сварки. Применение простых практических мер по снижению эффекта «магнитного дутья» (смена точки подключения обратного провода, в том числе использование несколько точек подвода,

сварка на малом токе максимально короткой дугой и т.д.) [1] должного результата не дали.

Для оценки величины намагниченности деталей [8] были проведены многократные измерения магнитной индукции измерителем магнитного поля ИМП-05/2 в зоне будущего сварного шва приварки патрубка. Величина магнитной индукции составила 1120 нТл внутри разделки, и до 1970 нТл вблизи временных креплений.

Изучение опыта современных передовых методик борьбы с «магнитным дутьем» на массивных заготовках, показало, что наибольший и стабильный эффект может быть достигнут только размагничиванием деталей до снижения остаточной намагниченности не более 300–500 нТл. Другие методики локального снижения влияния магнитных сил в зоне сварки, например, с использованием компенсирующих магнитных полей [9], ввиду большой массы металла изделия неэффективны. Размагничивание на практике выполняют либо нагревом детали выше точки Кюри (~740–780 °С), при которой материал теряет свои магнитные свойства, либо использованием достаточно мощного переменного магнитного поля.

Для теплоустойчивых сталей проведение термообработки для размагничивания должно быть крайне ограничено, например, при возможности совмещения с выполнением штатной термической обработки для снятия остаточных сварочных напряжений. На практике такой вариант размагничивания применяется крайне редко. Температура послесварочного отпуска для снятия напряжений для стали SA-336M F22V составляет 700–715 °С, что соответственно, ниже точки Кюри. Следовательно, полного размагничивания не произойдет. В то же время нагрев выше точки Кюри может привести к необратимым изменениям структуры, снижающим механические и жаропрочные свойства стали.

Наиболее экономичным и технологически целесообразным способом размагничивания, обеспечивающим сохранение механических характеристик металла, является помещение объекта в переменное магнитное поле, дезориентирующее положение элементарных магнитов в его теле таким образом, что

их суммарное магнитное поле становится пренебрежимо мало. Для этого переменное магнитное поле должно быть достаточно мощным и охватывать как можно большую зону, прилегающую к шву, в идеальном случае – всю крупногабаритную конструкцию [10,11].

На практике, главным образом при монтаже и ремонте магистральных трубопроводов диаметром до 1420 мм, где размагничивание является неотъемлемой частью технологического процесса,^{1,2} [12] применяются специализированные установки для размагничивания: КУДИН 250А, Set Degauss 600 EWM, АУРА-7001-3, НЕВА и другие. Два последних решения обеспечивают в том числе автоматическое размагничивание торцов и стыков труб, а также труб целиком при минимальном участии оператора¹. Требования по размагничиванию трубопроводов регламентированы нормативными документами².

Согласно руководству по эксплуатации,¹ например, для создания переменного магнитного поля выполняется равномерная намотка силового кабеля на часть трубопровода, 28-30 витков. Клеммы силового кабеля подключаются к источнику питания с переменным напряжением и подается ток. Возникает переменное магнитное поле, роль сердечника выполняет часть трубы. Под действием переменного магнитного поля происходит дезориентация магнитных доменов в металле трубы. Затем мощность источника плавно снижают до нуля. Проверяют итоговый результат измерением остаточного магнитного поля. При необходимости действия повторяют.

¹ НЕВА ТЕХНИКА. Комплексное руководство. Размагничивание труб магистральных трубопроводов в полевых условиях. – 2024 г. – Режим доступа: <https://nevatech.online/razmagnichivanie-trub-neva-tehnika-rukovodstvo.pdf?ysclid=mlgn4p6q6r108152343> (дата обращения: 08.12.2025).

² РД 153-39.4-130-2002 Регламент по вырезке и врезке «катушек» соединительных деталей, заглушек, запорной и регулирующей арматуры и подключению участков магистральных нефтепроводов. – Москва, 2003. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41407/?ysclid=mlgnaliywp823613488> (дата обращения: 08.12.2025).

В то же время информации о технической возможности проведения размагничивания габаритных толстостенных изделий и их частей при их изготовлении крайне мало [10,11]. Сложность представляют как конструкция и габариты изделия, так и намотка на трубу диаметром более чем для магистрального трубопровода (свыше 4 м), что не всегда возможно или, как минимум, представляет собой сложную техническую задачу. Также усложняют задачу наличие конструктивных элементов – патрубков, опор, колец и т.д., приварка которых наиболее затруднительна при намагниченности изделия, и огромная ферромагнитная масса изделия, изменение параметров намагниченности которой требует высоких мощностей воздействия, недоступных для рассмотренных выше имеющихся на рынке универсальных решений.

Для более мощного воздействия, при размагничивании габаритных конструкций могут быть использованы, например, более мощные источники переменного тока, например, сварочные источники питания, имеющие функцию сварки переменным током (используется обычно для аргодуговой сварки алюминия) – сварочные трансформаторы (АС) или сварочные выпрямители и инверторы (АС/DC) с номиналом сварочного тока 500А и более. При этом обязательно должна быть возможность плавной регулировки тока.

Для размагничивания отдельных сборок патрубков с обечайкой и блоков обечаек, на производственной площадке завода «Атоммаш» в г. Волгодонск нами был использован сварочный источник ESAB DTU-500 (АС/DC). Кроме того, в комплект оснащения рабочего места размагничивания входили:

1. Реостаты балластные (2 шт.), соединенные параллельно;
2. Сварочный кабель сечением 50–70 мм², необходимой длины из расчета охватываемой площади размагничивания;
3. Токовые клещи для замера действительной величины сварочного тока;
4. Секундомер;
5. Измеритель магнитного поля ИМП-05/2 или аналогичный.

Перед началом работ проводились первичные измерения магнитного поля с определенной периодичностью по всей протяженности шва. Для этого при необходимости может быть подготовлен эскиз детали с обозначением конкретных мест проведения измерений. Все показания прибора фиксируются. Если значения измеренного магнитного поля не превышает 300 нТл – размагничивание не требуется, превышают 300 нТл – рекомендуется провести размагничивание. Электрическая схема для проведения размагничивания представлена на эскизе (рис. 4).

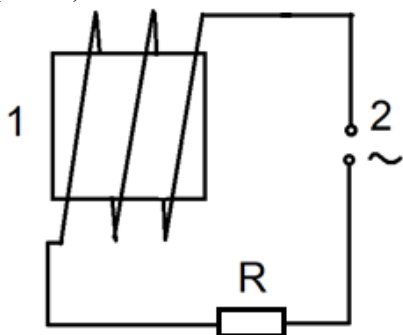


Рисунок 4. Электрическая схема подключения катушки к источнику переменного тока для размагничивания: 1 – объект размагничивания; 2 – источник питания переменного тока, R – балластный реостат

Figure 4. Electrical diagram of winding connection to an AC source for demagnetization: 1 – demagnetization object; 2 – AC power supply, R – ballast rheostat

Одним из важнейших факторов получения эффективного результата размагничивания является правильный выбор места конструкции, где необходимо выполнить катушку. И если при проведении размагничивания магистрального трубопровода с этим никакой неопределенности нет, т.к. сердечником выступает непосредственно сама труба, то в случае работы с крупным сосудом этот выбор неочевиден.

Рассмотрим сначала сборку кольцевого шва корпуса. Выполнение катушки вокруг всего корпуса (по аналогии с трубопроводом) приведет к очень значительному объему одновременной обработки, т.е. по всей длине кольцевого сварного шва. Для выполнения 10 витков вокруг корпуса потребуется плетть кабель около 150 м массой около 200 кг. И сама катушка на корпус диаметром

4500 мм – непростая технологическая задача. Кроме того, потребуется мощный источник тока, и он будет сильно нагревать кабельную плетть, даже при кратковременном включении. Поэтому был предложен другой вариант – последовательное локальное размагничивание отдельными участками. Сборка под сварку кольцевого шва выполняется на скобах. Скобы устанавливаются примерно через каждый метр шва по его периметру. Если использовать каждую скобу как сердечник для катушки (рис. 5), можно последовательно обработать весь периметр шва. Размагничивание можно выполнять как катушкой каждой скобы в отдельности, так и на серию из 3–5 скоб, расположенных в удобной для доступа нижней части изделия. Далее изделие проворачивается на роликовых опорах, и процедура повторяется. Практика проведения работ показала эффективность принятого решения.



Рисунок 5. Пример катушки кабеля на скобу при выполнении размагничивания сборки для сварки технологического шва

Figure 5. Example of winding a cable onto a bracket when performing demagnetization of an assembly for welding a process seam

В случае сборки обечайки с патрубком катушка может выполняться как непосредственно на патрубок, так и вглубь разделки под сварку в корпусе, если разделка достаточно глубокая (рис. 6 и 7). Главное требование для катушки – она должна выполняться вокруг поверхности одного из конструктивных элементов таким образом, чтобы часть металла конструкции находилась

непосредственно в контуре намотки. Если подходящих конструктивных элементов нет на конструкции, могут быть использованы дополнительные технологические детали. Только таким образом воздействие переменного магнитного поля будет эффективным.



Рисунок 6. Пример намотки кабеля на патрубок для размагничивания при сборке обечайки и патрубка
Figure 6. Example of winding the cable on the nozzle for demagnetization during the assembly of the shell and the nozzle



Рисунок 7. Пример намотки кабеля в внутреннюю разделку в корпусе для размагничивания при сборке обечайки и патрубка

Figure 7. Example of winding the cable into the internal section in the housing for demagnetization during the assembly of the shell and the nozzle

Опытным путем было установлено, что при параметрах используемого нами источника переменного тока для получения эффекта размагничивания необходимо выполнить не менее 6 витков.

Далее на намотку подается напряжение. Плавно при помощи потенциометра ток

увеличивается до 500 ± 50 А (для DTU-500) и также плавно снижается до нуля. Контроль величины действующего тока можно проводить при помощи токовых клещей или штатного измерительного прибора источника. Время роста и снижения тока, исходя из практики, составляет 2–5 минут для участка длиной 2000 ± 100 мм и толщиной 220 мм.

После отключения напряжения необходимо проверить результат размагничивания с помощью прибора измерения магнитного поля [8]. Для сравнения динамики снижения намагниченности контроль величины магнитного поля выполняется в тех же точках, где проводилось измерение до размагничивания. В случае превышения величины магнитного поля в зоне сварки, процесс размагничивания необходимо повторить. В связи с крупногабаритными деталями, имеющими специфические конструктивные элементы, требуется индивидуальный подход к процессу размагничивания для каждого конкретного случая. В некоторых случаях необходимо изменять конфигурацию намотки и использовать технологические детали, если при повторном воздействии эффект не получен.

Следует также отметить, что после проведения размагничивания, выполнения нагрева под сварку электронагревателями, при измерении магнитного поля непосредственно перед началом сварки, отмечались отдельные случаи превышения рекомендуемого уровня магнитного поля 300–500 нТл. Причиной является наложение дополнительного магнитного поля от проводников электронагревателей. В этом случае рекомендуется после проведения предварительного подогрева нагреватели на время выполнения корневого прохода временно отключать. После завершения корневого прохода влияние магнитного поля на стабильность дуги будет уже минимально.

По рассмотренной в данной работе схеме в настоящее время выполнено размагничивание под сварку семи сборочных единиц двух реакторов. Во всех случаях после выполнения размагничивания по предложенной методике получены положительные результаты, подтвержденные измерениями магнитного поля. Зафиксировано значитель-

ное снижение уровня намагниченности и подтвержден стабильным ведением процесс дуговой сварки с высоким уровнем качества.

Выводы и рекомендации по применению предложенной методики

1. На основании анализа проведенных измерений определено, что крупногабаритные детали (обечайки, патрубки) для изготовления реактора имеют остаточную намагниченность, зарегистрировано до 1970 нТл, вызванную циклом технологической обработки с применением магнитопорошкового контроля, электрошлаковой наплавки и др., что препятствует стабильному процессу сварки и вызывает различные дефекты в сварном шве. Для реализации дальнейшего технологического процесса остаточная степень намагниченности деталей должна быть не более 300–500 нТл.

2. Подтверждена принципиальная возможность выполнения размагничивания крупногабаритных и толстостенных изделий по существующим принципам размагничивания, применяемым при изготовлении трубопроводов^{см.1,2} [12], с разработкой методики, учитывающей особенности габаритов конструкции.

3. Выявлены особенности работы с крупногабаритными и толстостенными конструкциями, в том числе более высокая стойкость к размагничиванию хромомолибденованадиевых сталей, сложность и неэффективность обработки разово больших объемов металла (например, одновременно кольцевого шва по периметру), возможность использования штатных и технологических конструктивных элементов для намотки на них контура локальной обработки.

4. Отработаны практическим путем параметры обработки – время воздействия переменного поля, затухание, требования по намотке контура, принципы и критерии оценки результата размагничивания.

5. Подтверждена высокая эффективность методики обработки деталей переменным магнитным полем даже при очень высоких значениях намагниченности (выполнение сварочных операций на данных деталях вообще не представлялось возможным). После проведения обработки магнитным полем, величина остаточной намагниченности не превышала 300 нТл, выполнение сварочных работ любыми дуговыми процессами стало возможно с высокими показателями качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Петров Г.Л. Борьба с магнитным дутьем при сварке постоянным током. *Сварочное производство*. 1978;4:49-51. Режим доступа: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-svar/1978/%20Подшивка%20№%201> (дата обращения: 03.12.2025).

Petrov G.L. Combating magnetic blow during DC welding. *Welding Production*. 1978;4:49-51 (in Russ). Available at: <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-svar/1978/%20Подшивка%20№%201> (accessed: 03.12.2025).

2. Смирнов И.В., Захаренко А.И., Фюссель У. Уменьшение влияния магнитного дутья на пространственное положение дуги при сварке. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010;12(4):257-261. Режим доступа: <https://sciup.org/read/148205491> (дата обращения: 03.12.2025).

Smirnov I.V., Zakharenko A.I., Füssel U. Reducing the influence of magnetic blow on the spatial position of the arc during welding. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(4):257-261. (in Russ). Available at: <https://sciup.org/read/148205491> (accessed: 03.12.2025).

3. Киселёв А.С., Гордынец А.С., Дедыух Р.И. Стабилизация процесса дуговой сварки покрытыми электродами при возмущающем действии внешнего магнитного поля. *Вестник науки Сибири*. 2013;4(10):54-60. Режим доступа: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/16322/1/570.pdf?ysclid=mlf8gmb6n669688859> (дата обращения: 03.12.2025).

Kiselev A.S., Gordynets A.S., Dedyukh R.I. Stabilization of the arc welding process with coated electrodes under the disturbing action of an external magnetic field. *Science Bulletin of Siberia*. 2013;4(10):54-60. (in Russ). Available at: <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/16322/1/570.pdf?ysclid=mlf8gmb6n669688859> (accessed: 03.12.2025).

4. Ботьбот В.К., Новиков Л.Н., Спиридонов В.Д. и др. Способ компенсации магнитного дутья при электродуговой сварке. Патент SU 1318354 А1. Заявл. 31.10.1985. Оpubл. 23.06.1987. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0001318354_19870623_A1_SU?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 04.12.2025).

Bolbot V.K., Novikov L.N., Spiridonov V.D. et al. Method of magnetic blow compensation in electric arc welding. Patent SU 1318354 A1. Claimed 31.10.1985. Published 23.06.1987. (in Russ). Available at: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0001318354_19870623_A1_SU?page=1&rotate=0&theme=white (accessed: 04.12.2025).

5. Корольков П.М. Причины возникновения магнитного дутья при сварке и способы его устранения. *Сварочное производство*. 2004;3:38-40. Режим доступа: <https://elcat.bntu.by/index.php?url=/notices/index/IdNotice:85709/Source:default#> (дата обращения: 04.12.2025).

Korolkov P.M. Causes of magnetic blow during welding and methods for its elimination. *Welding production*. 2004;3:38-40. (in Russ). Available at: <https://elcat.bntu.by/index.php?url=/notices/index/IdNotice:85709/Source:default#> (accessed: 04.12.2025).

6. Добродеев П. Н. Исследование методов размагничивания торцов труб при ремонтах магистральных трубопроводов. *Электротехника и электромеханика*. 2014;3:50-54. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-razmagnichivaniya-tortsov-trub-pri-remontah-magistralnyh-truboprovodov/viewer> (дата обращения: 03.12.2025).

Dobrodeev P. N. Study of methods for demagnetizing pipe ends during repairs of main pipelines. *Electrical Engineering and Electromechanics*. 2014;3:50-54. (in Russ). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-razmagnichivaniya-tortsov-trub-pri-remontah-magistralnyh-truboprovodov/viewer> (accessed: 03.12.2025).

7. Гордынец А.С. Управление процессом дуговой сварки при возмущающем воздействии магнитного поля: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.02.10. Томск, 2012. 16 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005049924?ysclid=mlgmsik3my80953864> (дата обращения: 04.12.2025).

Gordynets A.S. Control of the arc welding process under the disturbing influence of a magnetic field: Abstract of Cand. Sci. (Eng.) thesis: 05.02.10. Tomsk, 2012. 16 p. (in Russ). Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005049924?ysclid=mlgmsik3my80953864> (accessed: 04.12.2025).

8. Бакунов А.С., Мужичкий В.Ф. Контроль остаточной намагниченности деталей перед проведением сварочных работ. *Дефектоскопия*. 2004;3:83-85. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17853067&ysclid=mlgmtz4ah6158676637> (дата обращения 11.01.2026).

Bakunov A.S., Muzhitskii V.F. Testing Residual Magnetization of Parts before Welding. *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2004;40(3):209-210. <https://doi.org/10.1023/B:RUNT.0000040179.44463.2e>

9. Легуновский А.П., Шаньгин А.М., Стефанский В.А. Магнит компенсационный регулируемый Патент RU 69310 U1. Дата публикации 12.10.2007. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0000069310_20071210_U1_RU?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 04.12.2025).

Letunovsky A.P., Shan'gin A.M., Stefansky V.A. Adjustable compensating magnet by Patent RU 69310 U1. Publication date: 12.10.2007. (in Russ). Available at: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0000069310_20071210_U1_RU?page=1&rotate=0&theme=white (accessed: 04.12.2025).

10. Протосей Н.Е., Лесков Г.И. Устройство для размагничивания толстостенных заготовок перед сваркой. Патент SU 1191950 A1. Дата публикации 15.11.1985. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0001191950_19851115_A1_SU?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 05.12.2025).

Protosey N.E., Leskov G.I. Device for demagnetizing thick-walled workpieces before welding. Patent SU 1191950 A1. Publication date: November 15, 1985. (in Russ). Available at: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0001191950_19851115_A1_SU?page=1&rotate=0&theme=white (accessed: 05.12.2025).

11. Уразбеков Е.И., Гольдштейн А.Е. Устройство размагничивания длинномерных цилиндрических изделий. *Ползуновский вестник*. 2016;2(4):94-97. Режим доступа: https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2016_04_2/pdf/094urazbekov.pdf (дата обращения: 05.12.2025).

Urazbekov E.I., Goldstein A.E. Device for demagnetizing long cylindrical products. *Polzunovsky Vestnik*. 2016;2(4):94-97. (in Russ). Available at: https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2016_04_2/pdf/094urazbekov.pdf (accessed: 05.12.2025).

12. Гордынец А.С., Дедюх Р.И., Киселёв А.С., Советченко Б.Ф. Способ дуговой сварки. Патент 2245331, МКИ В23К9/09. № 2003134231/02; Заявл. 25.11.2003; Опубл. 27.01.2005; Бюл. №3. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002245231_20050127_C1_RU?page=1 (дата обращения: 05.12.2025).

Gordynets A.S., Dedyukh R.I., Kiselev A.S., Sovetchenko B.F. Arc welding method. Patent 2245331, ИК В23К9/09. No. 2003134231/02; Claimed 25.11.2003; Published 27.01.2005; Bull. No. 3. (in Russ). Available at: https://viewer.rusneb.ru/ru/000224_000128_0002245231_20050127_C1_RU?page=1 (accessed: 05.12.2025).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Жидков М.Е. – постановка задачи, техническое руководство группой исследователей, изучение теоретических источников по проблематике для формирования мероприятий, реализация мероприятий и освоение методик в производстве;

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Zhidkov M.E. – setting the task, technical management of the research team, studying theoretical sources on the subject to form measures, implementing measures, and mastering production techniques;

Меженский П.А. – технологическое сопровождение мероприятий по отработке технологии, анализ литературных данных, обработка результатов исследования;

Карташов А.Г. – реализация мероприятий в производстве, сбор, анализ и обработка статистических данных измерений, разработка модели и методики обработки;

Томилин С.А. – техническое сопровождение мероприятий, сбор и анализ научных публикаций, патентный поиск, проверка результатов, редактирование текста статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без привлечения внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Максим Евгеньевич Жидков, руководитель завода «Атоммаш», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0002-5563-8242>

e-mail: zhidkov_me@atom mash.ru

Павел Александрович Меженский, главный эксперт по сварке завода «Атоммаш» в г. Волгодонск», Ростовская обл., Российская Федерация.

e-mail: mejensky_pa@atom mash.ru

Алексей Григорьевич Карташов инженер-технолог по сварке завода «Атоммаш» в г. Волгодонск», Ростовская обл., Российская Федерация.

e-mail: kartashov_ag@atom mash.ru

Сергей Алексеевич Томилин, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и прикладной механики, заместитель руководителя, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

<https://orcid.org/0000-0001-8661-8386>

e-mail: SATomilin@mephi.ru

Mezhensky P.A. – technological support for technology development activities, analysis of literature data, and processing of research results;

Kartashov A.G. – implementation of production activities, collection, analysis, and processing of statistical measurement data, development of a model and processing methodology;

Tomilin S.A. – technical support for events, collection and analysis of scientific publications, patent search, verification of results, and editing of article text.

FUNDING:

The study had no external funding.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Maxim E. Zhidkov, Head of the Atom mash, Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0002-5563-8242>

e-mail: zhidkov_me@atom mash.ru

Pavel A. Mezhensky, Chief welding expert Atom mash, Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

e-mail: mejensky_pa@atom mash.ru

Alexey G. Kartashov, Welding technologist Atom mash, Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

e-mail: kartashov_ag@atom mash.ru

Sergey A. Tomilin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Deputy Head of Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0001-8661-8386>

e-mail: SATomilin@mephi.ru

Поступила в редакцию / Received 12.12.2025

После доработки / Revision 27.02.2026

Принята к публикации / Accepted 03.03.2026