

УДК 621.791.019

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.204364

Анализ влияния системной координации в сварке на уровень качества соединений

О. А. Гаевский, В. В. Квасницкий, В. О. Гаевский, К. О. Зворыкин

Необходимость координации сварочных работ вызвана значимыми рисками невыполнения требований к сварным соединениям. Известно, что применение стандартов координации сварочных работ способствует деятельности по обеспечению качества сваривания, что позитивно воспринимается заказчиками и другими заинтересованными сторонами. Однако влияние системной координации в сваривании на объективные показатели уровня качества сварных соединений в производстве требует изучения.

Сравнительному статистическому анализу влияния системной координации сварочных работ на уровень качества сварных соединений предшествовала процессно-ориентированная разработка и внедрения комплекса процедур координации сварочных работ в производство сварных рам. Предложена схема взаимодействия та классификация процедур координации в сваривании. Процедуры разделены на три группы. В первую группу отнесены процедуры долгосрочного обеспечения качества сваривания. Вторая группа – процедуры обеспечения качества сваривания при выполнении Заявки (Заказа, Договора). Третью группу формируют процедуры обеспечения та улучшения качества сваривания соединения. Реализация нормативно ориентированного содержания процедур обеспечивает допуск персонала необходимой квалификации, применение соответствующего сварочного оборудования, материалов, технической документации, термической обработки, технического контроля. Все это в комплексе обеспечивает выполнение требований к сварному соединению заданной толщины основного металла, типа соединения та шва.

В производстве были получены данные про уровень качества сварных рам до внедрения та после внедрения международных стандартов координации сварочных работ. С применением контрольных карт Шухарта показано, что обеспечение качества шляхом координации сварочных работ позволяет стабилизировать процесс сваривания, переводячи його в статично управляемый стан при двукратном снижении доли несоответствующих единиц в выборке.

Ключевые слова: сваривания, координация сварочных работ, обеспечение качества, статистический контроль, процессный подход.

1. Введение

Широкое применение процессов сварки, в том числе, для производства потенциально опасных изделий, определяет значительность рисков невыполнения требований к сварным соединениям. Это приводит к активной разработке международных стандартов, регламентирующих требования как к сварным соединениям, так и к процессам сварки, и к функциям обеспечения качества инженерно-техническими работниками сварочного производства. При этом, актуальны исследования возможностей комплексного внедрения в сварочное про-

изводство современных процедур обеспечения качества сварки путём координации в сварке и оценка влияния системной реализации координации в сварке на уровень качества соединений.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Равнопрочность свариваемого металла – это основное требование к сварным соединениям. Для определения прочностных свойств металла сварного шва необходимо его разрушить. При этом, мы узнаём прочностные свойства, но теряем сварное соединение. Ситуация осложняется существенным понижением прочностных характеристик и напряжениями в зоне термического влияния сварного соединения [1, 2]. Полное определение свойств металла сварного шва без его разрушения невозможно или сложно. Это делает процесс сварки специальным процессом и требует комплекса обязательных мероприятий, направленных на снижение вероятности появления дефектов и разупрочнения металла сварного шва. Эти мероприятия включают в себя как обязательную валидацию процесса сварки, так и обеспечение компетентности персонала, занятого в процессе сварки. Сегодня исследуется и обеспечивается необходимая компетентность не только сварщиков, но и операторов сварочных установок, специалистов по неразрушающему контролю, инспектор по сварке и инженеров [3–5]. Ведутся исследования методов квалификации процессов сварки [6–8]. Традиционными инженерными конструктивно-технологическими приёмами обеспечения качества являются контроль параметров режима [9, 10], оптимизация конструктивных решений [11, 12] для сварных изделий. В современном производстве обеспечение качества только инженерными методами невозможно. Тенденцией последних десятилетий является применение инженерно-организационных мероприятий обеспечения качества основанных, на функциональном подходе к управлению [13–15]. Процессный подход к менеджменту качества [16, 17], основанный на контроле рисков [18, 19] заменяет функциональные модели обеспечения качества. Исключительная важность применения системного подхода для обеспечения качества сварки как специального процесса привела к необходимости стандартизации ключевых факторов влияния на качество сварных швов.

Результаты многолетних научных исследований обобщены в основных международных стандартах обеспечения качества сварки. Эти стандарты включают в себя системные требования к обеспечению качества, требования к деятельности инженерно-технических работников по обеспечению качества в контексте координации в сварке. При этом, важны требования к обозначению и формированию сварных швов, требования к сварочным материалам, методам и оборудованию технического контроля в сварке. Для специального процесса являются обязательными стандартизованные методы обеспечения пригодности процедур сварки и методы обеспечения компетентности персонала сварочного производства. Имеющиеся стандарты обеспечения качества могут быть объединены в группы, определяющие содержание координации в сварке [20]. Координация в сварке, в свою очередь, является составляющей общих требований к качеству выполнения сварки (рис. 1).

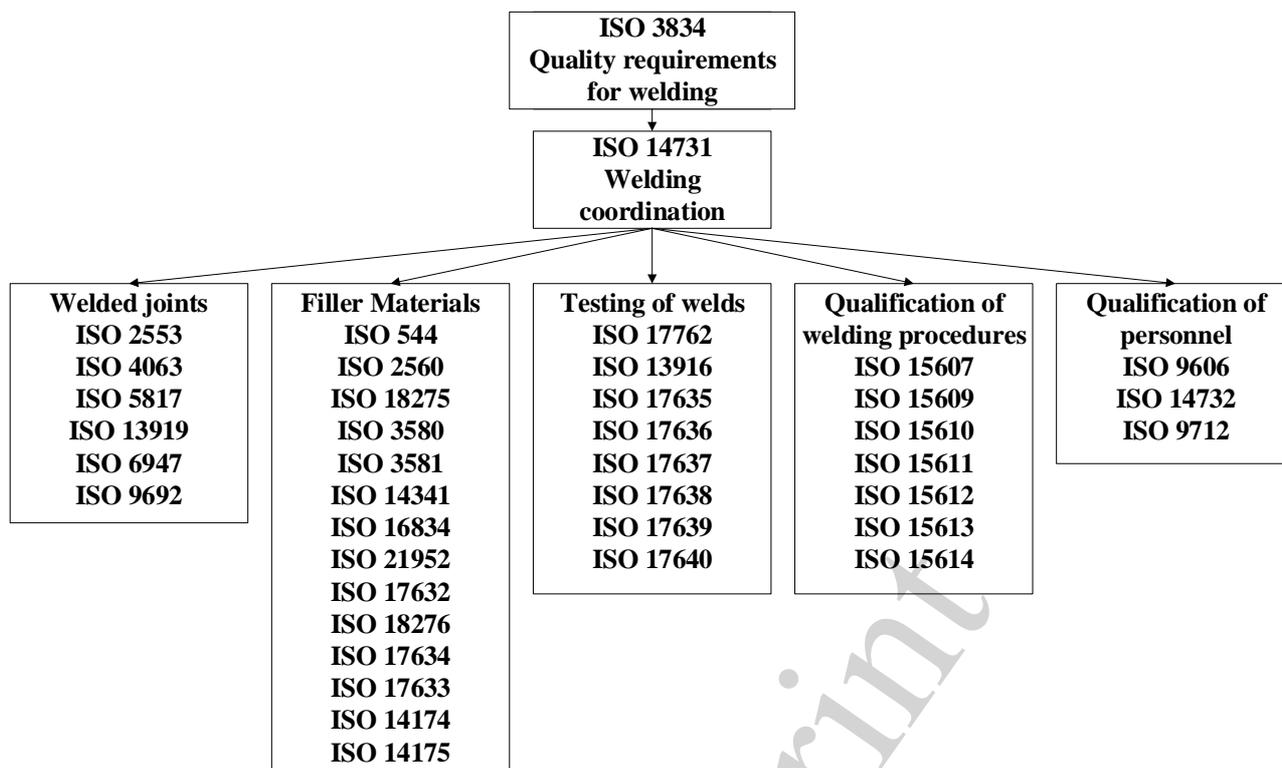


Рис. 1. Структура международных стандартов обеспечения качества сварки [20]

Выполнение стандартов обеспечения качества является обязательным условием для выхода на международные рынки [21, 22], однако могут быть различные подходы к выполнению требований этих стандартов [16]. Наиболее результативным является ориентированный на процессы системный подход к менеджменту качества [23, 24]. При этом недостаточно изучен вопрос комплексного выполнения нормативных требований к обеспечению качества сварки как специального производственного процесса. Применение процессного подхода к управлению требует разработки структуры процедур координации в сварке, учитывающей специфику нормативных требований к обеспечению качества сварки.

Известно положительное влияние системных мероприятий на качество сварки и продукции в целом как результат упорядочивания. Методами аудитов оценивались изменения, связанные с реализацией нормативных требований [25]. С применением экспертных методов влияние систем менеджмента качества на процессы предприятия [26] и цепочки поставок [27]. При этом, малоизученным является вопрос о влиянии реализации комплекса процедур координации в сварке на объективный показатель способности производства выполнять требования к качеству – уровень качества соединений. С учётом изменчивости показателей качества, изучение влияния системной координации в сварке на уровень качества соединений требует применения статистических методов.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является определение влияния комплекса нормативно ориентированных процедур координации в сварке на производственный уровень качества сварных соединений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определить перечень и схемы взаимосвязи процедур координации в сварке;
- определить запланированный результат и основное содержание нормативно ориентированных процедур обеспечения качества процесса сварки;
- применить нормативно требуемую координацию в сварке для обеспечения качества при производстве сварного изделия;
- определить и сравнить значения показателей уровня качества сварных соединений до и после внедрения системного подхода к координации в сварке.

4. Организационно-методические и статистические методы обеспечения качества сварки в производстве

Схема взаимодействия процедур координации в сварке моделировалась с применением базовой модели процесса (basic process model) [28, 29] и представления потока данных (data flow diagram) [30, 31].

Реализованные в исследовании процедуры координации в сварке основаны на современной методологии обеспечения качества сварки [32].

Исследования статистической управляемости производственного процесса сварки выполнены с применением контрольных карты Шухарта [33, 34].

5. Реализованные процедуры координации в сварке

В разделе представлены результаты процессно-ориентированного применения нормативно требуемой координации в сварке для обеспечения качества при производстве сварной рамы. В 2018 году решением руководства предприятия ICF "IrKom" (Ирпень, Украина) был реализован проект внедрения требований международного стандарта ISO 14731 в сварочное производство. Информация, полученная в проекте, даёт возможность сравнить уровни качества сварных соединений до и после внедрения обеспечения качества координацией в сварке.

Имеющийся опыт проектов внедрения координации в сварке на предприятиях Украины показывает, что значительная часть требований ISO 14731 традиционно выполняется предприятиями до начала проектов внедрения. Поэтому, в разделе основное внимание уделяется тем вопросам, которые, для большинства предприятий, приступающих к выполнению требований стандарта, являются относительно новыми.

5.1. Схема взаимосвязи процедур координации в сварке

Виды деятельности, специфичные и обязательные для обеспечения и улучшения качества сварки определяются международным стандартом ISO 14731 «Welding coordination – Tasks and responsibilities» как задачи координации в сварке. Стандартом определены 19 обязательных для обеспечения качества сварки задач.

Анализ задач координации в сварке, сформулированных ISO 14731, показывает необходимость определить оптимальную последовательность и периодичность их выполнения. Совокупность, обязательных для сварочного производства, задач обеспечения и улучшения качества сварки определяет совокупность взаимосвязанных процедур координации в сварке (рис. 2).

- В18. Идентификация и прослеживаемость;
- В19. Записи о качестве.

Документированные результаты выполнения процедуры (записи) обозначены как исходящие информационные потоки, исходящие из соответствующих процедур (R1; R2; и т. д.). Они же обеспечивают информационные связи между процедурами. Документирование результатов выполнения процедур (output) способствует снижению рисков потери данных [35]. Описание информационных потоков приведено в последующих разделах.

Внешние входы-выходы:

- E1 – Перспективный план производства;
- E2 – Заявка на сварку;
- E3 – Выпуск (release) – разрешение на переход к следующей стадии процесса;
- E4 – Переход на все процедуры координации в сварке.

Внутренние переходы обозначены: А; В; С; I.

На рис. 2 серая заливка соответствует основному процессу – процессу сварки и связанным материальным потокам.

По предназначению, периодичности выполнения и ориентации результатов процедуры координации в сварке разделены на три группы:

- процедуры долгосрочного обеспечения качества сварки (на схеме выделены жёлтым);
- процедуры обеспечения качества сварки при выполнении Заявки (на схеме выделены зелёным);
- процедуры обеспечения и улучшения качества сварки соединения (на схеме показаны без заливки).

В силу важности такого разделения процедур для установления причинно-следственных связей при комплексном обеспечении качества, наше дальнейшее рассмотрение выполняется по этим группам.

5. 2. Основное содержание нормативно ориентированных процедур обеспечения качества процесса сварки

Разработаны и апробированы с адаптацией под специфику предприятия сварочного производства нормативно ориентированные процедуры обеспечения качества координацией в сварке.

5. 2. 1. Процедуры долгосрочного обеспечения качества сварки

Процедуры долгосрочного обеспечения качества сварки закладывают базу и создают условия, необходимые для обеспечения качества во всех выполняемых сварочным производством Заявках (Заказах, Контрактах) и сварных соединениях.

Выполнение процедур долгосрочного обеспечения качества сварки начинается актуализацией перспективного плана производства (рис. 2). На основании этого плана определяются необходимые для реализации стратегии предприятия процессы сварки, основное и вспомогательное сварочное оборудование, оснастка, измерительное и испытательное оборудование. Актуализованный перспективный план производства содержит исходные данные для выполнения всех процедур

долгосрочного обеспечения качества сварки. В том числе, на основании этого плана формулируются выводы о планируемых к производству сварных изделиях. Информация об изделиях позволяет определить основной материал, виды и размеры свариваемых деталей, типы соединений. Также определяется планируемая к применению технология сварки – способы, положения сварки и сварочные материалы, условия формирования сварного соединения.

Процедура В4 «Сварочный персонал».

При приёме на работу и проведении периодических квалификационных испытаний сварщиков обеспечивается соответствующая международному стандарту ISO 9606 квалификация сварщиков. При этом учитываются особенности планируемых к производству сварных изделий и планируемой к применению технологии сварки.

Компетентность операторов сварочных установок обеспечивается в соответствии с международным стандартом ISO 14732, исходя из особенностей планируемых к производству сварных изделий и доступных к применению сварочных установок.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 9606; ISO 14732; ISO 9712.

Записи R4. Содержат постоянно актуализируемые документированные данные о квалификации и возможном допуске к выполнению работ для каждого сварщика, оператора сварки. Записи представлены сертификатами сварщиков, операторов сварочных установок, квалификационными матрицами сварщиков, матрицами допуска операторов сварочных установок, Техническими требованиями к процедуре сварки (Welding Procedure Specification – WPS).

Документированные данные используются при определении способности выполнить требования к квалификации персонала, устанавливаемые Заявкой на сварку (Процедура В1 «Анализ требований»)

Процедура В5 «Оборудование».

Вновь приобретаемое сварочное и связанное с ним оборудование до начала использования проходит проверку на соответствие техническим функциональным требованиям и требованиям к безопасности (verification). К сварочному оборудованию относятся источники питания, подающие механизмы, установки для сварки и т. п. Сборочно-сварочные приспособления и оснастка, сушильные шкафы, оборудование для термической обработки и подогрева, держатели, средства индивидуальной и коллективной защиты и т. д. относятся к связанному оборудованию. После этого оборудование проверяется на работоспособность (validation). Только после положительных результатов верификации и валидации оборудование передаётся в производственную эксплуатацию по Акту.

Всё, находящееся в производстве, оборудование проходит периодическое техническое обслуживание.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 17662; ISO 669; ISO 2503; ISO 5172; ISO 5826; ISO 7291; ISO 14114; ISO 15615; ISO 14744.

Записи R5. Включают паспорта сварочного и связанного с ним оборудования, Акты передачи в эксплуатацию, Реестры оборудования, Журналы ремонтов и технического обслуживания.

Документированные данные используются при определении доступности необходимого для выполнения Заявки на сварку сварочного и связанного с ним оборудования (Процедура В1 «Анализ требований»).

Процедура В17 «Калибровка и валидация оборудования для измерений, проверки и испытаний».

Процедура обеспечивает пригодность средств мониторинга параметров режима сварки, параметров подогрева и термической обработки, оборудования неразрушающего контроля сварных швов и оборудования для приёмосдаточных испытаний сварных изделий. Всё перечисленное оборудование проходит верификацию и валидацию, периодические поверки и калибровку в соответствии с паспортными требованиями, а также требованиями законодательства по метрологическому обеспечению и требованиями Заказчиков.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международным стандартом: ISO 17662.

Записи R17. Включают паспорта и журналы эксплуатации средств мониторинга и измерительной техники.

Документированные данные используются при определении доступности необходимого для выполнения Заявки на сварку средств мониторинга и измерительной техники (Процедура В1 «Анализ требований»).

Процедура В7 «Аттестация процедур сварки».

Все процедуры сварки, необходимые для изготовления планируемых к производству сварных изделий аттестуются в соответствии с международным стандартом ISO 15607. На каждую такую процедуру разрабатываются Технические требования к процедуре сварки (WPS) со ссылкой на документ о квалификации процедуры сварки (Reference to the Welding Procedure Qualification Record – WPQR). Аттестация процедуры сварки подтверждает, что заданная WPS технология сварки обеспечивает формирование сварного шва требуемых размеров и свойств на заданной толщине основного металла. Процедура сварки регламентирует способ, параметры режима, положение сварки, подготовку кромок, сварочные материалы, погонную энергию, термообработку, количество и последовательность выполнения швов.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 15607; ISO 15609; ISO 15610; ISO 15611; ISO 15612; ISO 15613; ISO 15614.

Записи R7. Содержат предварительные Технические требования к процедуре сварки, Технические требования к процедуре сварки, документы о квалификации процедур сварки.

Документированные данные используются при определении возможности выполнять Заявку с применением аттестованных процедур сварки (Процедура В1 «Анализ требований»).

В целом, успешная и полная реализация рассмотренных процедур долгосрочного обеспечения качества сварки, является обязательным условием для

последующих действий в процедурах обеспечения качества сварки при выполнении Заявки (Заказа, Контракта).

5. 2. 2. Процедуры обеспечения качества сварки при выполнении Заявки

Процедуры обеспечения качества сварки при выполнении Заявки запускаются на реализацию каждой Заявкой (Заказом, Контрактом) на сварочные работы. При этом, исходные данные Заявки содержатся в нормативных документах на заказываемую продукцию, чертежах сварного изделия. Дополнительными являются требования к срокам выполнения работ, специфические требования к обеспечению качества сварки, соответствию сварного изделия, персонала, применяемых методов сварки, технического контроля, приёмосдаточным испытаниям и т. д.

Процедура В1 «Анализ требований».

Помимо материалов Заявки (Заказа, Контракта), исходные данные к анализу содержатся в спецификациях, прилагаемых к Заявке. Данные о квалификации персонала содержатся в матрицах компетентности сварочного персонала (*Записи R4*). Данные об имеющемся оборудовании представлены в реестрах доступного оборудования (*Записи R5*), журналах эксплуатации средств мониторинга и измерительной техники (*Записи R17*). Имеющиеся в распоряжении Технические требования к процедуре сварки (*Записи R7*) дают представления о доступных технологиях сварки.

Каждая Заявка, предполагающая выполнение сварки, анализируется на предмет полноты формулировок требований к сварным соединениям, к выполнению сварки. Определяется способность сварочного производства выполнить эти требования. К выполнению принимаются только те Заявки (Заказы, Контракты), по которым подтверждена способность выполнить все требования.

Записи R1. Согласованные спецификации Заявки (Заказа, Контракта). В том числе чертежи изделия и специфические требования к сварному шву и условиям его выполнения.

Документированные данные используются при определении мероприятий, необходимых для обеспечения качества сварки по Заявке (Заказу, Контракту) в ходе последующего технического анализа (Процедура В2 «Технический анализ»).

Процедура В2 «Технический анализ».

Исходные данные к техническому анализу содержатся в согласованных спецификациях Заявки (*Записи R1*). При этом базовой спецификацией является чертёж сварного изделия.

В ходе технического анализа определяются требования к основному металлу – марка, толщина, диаметр для труб и особенности свариваемости основного металла. Верифицируются обозначения сварных швов на чертежах, группы качества сварных швов и соответствующие приёмочные требования, положения сварки, подготовка кромок под сварку. Анализируется технологичность изделия – доступность соединений для сварки и последующего неразрушающего контроля с учётом последовательности выполнения сварных швов. При необходимости, при техническом анализе определяются дополнительные мероприятия обеспечения качества сварки, связанные с проверкой и подготовкой

сварочных материалов, контролем ферритной фазы, снятием остаточных напряжений, термообработкой, обработкой поверхности шва и т. д.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 2553; ISO 4063; ISO 5817; ISO 13919; ISO 6947; ISO 9692.

Записи R2. Подготовленные к передаче в производство чертежи с полными обозначениями сварных швов и техническими требованиями к сварным соединениям.

Документированные данные используются:

- при определении процедур сварки, необходимых для изготовления изделия (Процедура В8 «Технические требования к процедуре сварки»);

- для обеспечения качества изделия при производственном планировании (Процедура В6 «Производственное планирование»);

- для доведения технических требований до непосредственных исполнителей сварочных работ (Процедура В9 «Рабочие инструкции»);

- при определении требований к поставке и обращению со сварочными материалами (Процедура В10 Сварочные материалы);

- при определении требований к поставке и обращению с основными материалами (Процедура В11 Основные материалы).

Процедура В8 «Технические требования к процедуре сварки».

Исходные данные содержатся на чертеже и включают в себя марку материала, толщину, диаметр (для трубы), способ сварки, положение сварки, сварочные материалы.

Выполнение процедуры предполагает определение исчерпывающего перечня Технических требований к процедуре сварки, полностью перекрывающих все необходимые для сварки процессы. При отсутствии необходимой WPS, должна быть разработана соответствующая рWPS и должным образом аттестована по Процедуре В7 «Аттестация процедур сварки».

Записи R8. Перечень технических требований к процедуре сварки (WPS) по Заявке.

Документированные данные используются как перечень обязательных к передаче в производство технических требований к процедуре сварки.

Процедура В6 «Производственное планирование».

Исходными данными являются результаты выполнения Процедуры В2 «Технический анализ».

С учётом технических требований к процессу сварки определяется последовательность выполнения сварных швов. Определяются специфические для выполнения заказа требования к рабочей среде (температура, влажность, защита от осадков, защита от ветра и сквозняков и т. д.) и необходимые средства для выполнения таких требований. Выполняется распределение квалифицированного персонала, оборудования для предварительного подогрева, термической обработки, пирометров, средств неразрушающего контроля и испытаний сварных изделий. Формируя сменные задания на выполнение Заявки с учётом доступности оборудования и персонала, имеющего необходимые для выполнения работ допуски.

При решении о целесообразности передачи части сварочных работ на субконтракт, на передаваемую часть работ разрабатывается комплект спецификаций, необходимых для обеспечения качества по субподрядным сварочным работам.

Записи R6.1. Сборочный чертёж изделия, определяющий последовательность выполнения сварных швов. По требованию Заказчика план контроля (Control Plan) сборки и сварки изделия, являющийся сводом мероприятий по обеспечению качества сварки при выполнении Заявки.

Документированные данные используются для оперативного управления производством, диспетчеризации выполнения Заявок.

Записи R6.2. Комплект спецификаций для обеспечения качества при выполнении субподрядных работ.

Документированные данные используются как исходные требования при выборе исполнителя субподрядных работ.

Процедура B9 «Рабочие инструкции».

Исходными являются данные, содержащиеся в технической документации, ранее подготовленной к передаче в производство при выполнении процедур: Процедуры B2 «Технический анализ», Процедуры B8 «Технические требования к процедуре сварки», Процедуры B6 «Производственное планирование».

Результатом выполнения этой процедуры является доведение информации, содержащейся в подготовленной технической документации, до непосредственных исполнителей в производстве и обеспечение доступности и безусловного использования исполнителями этой документированной информации при выполнении работ.

В дополнение к чертежам и Техническим требованиям к процедуре сварки (WPS) на рабочие места могут передаваться инструкции по наладке оборудования, визуальному контролю, управлению несоответствующей продукцией и т. п.

Записи R9. Реестр технической документации, используемой на рабочем месте по Заявке. Содержит информацию о комплектах технической документации, регламентирующей выполнение каждого Заказа на каждом рабочем месте.

Документированные данные используются для оперативного управления производством, для диспетчеризации выполнения Заявок.

Процедура B3 «Субконтракт».

Исходные данные содержатся в комплекте спецификаций для обеспечения качества при выполнении субподрядных работ.

Выбор исполнителя субподрядных работ осуществляется исходя из его способности выполнить требования этих спецификаций.

Записи R3. Результаты оценки способности субподрядчика выполнять требования к обеспечению качества фиксируются в Анкетах и Реестрах субподрядчиков.

Процедура B10 «Сварочные материалы».

Исходными являются обозначения сварных швов на чертеже с требованиями конструктора изделия к сварочным материалам.

Присадочный и защитный сварочные материалы выбираются с учётом совместимости и требований конструктора к материалам. Определяются и реализуются требования к условиям поставки сварочных материалов, приёмке сва-

рочных материалов, необходимым сопроводительным документам, условиям хранения и обслуживания сварочных материалов.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 544; ISO 2560; ISO 18275; ISO 3580; ISO 3581; ISO 14341; ISO 16834; ISO 21952; ISO 17632; ISO 18276; ISO 17634; ISO 17633; ISO 14174; ISO 14175.

Записи R10. Запрос на поставку сварочных материалов под Заявку, паспорта (сертификаты) качества на сварочные материалы, журналы обращения со сварочными материалами на складе.

Документированные данные используются для обеспечения качества поступающих в производство сварочных материалов.

Процедура B11 «Основные материалы».

Исходными являются требования конструктора к основному металлу, указанные на чертежах.

С учётом особенностей свариваемости основного металла определяются и реализуются дополнительные требования к условиям поставки, приёмки, маркировки, хранения документального подтверждения качества основного материала. Обеспечиваются исходные данные для прослеживаемости основного материала в сварочном производстве.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 15608.

Записи R11. Запрос на поставку основных материалов под Заявку, паспорта (сертификаты) качества на основные материалы, журналы обращения с основными материалами на складе.

Документированные данные используются для обеспечения качества поступающих в производство основных материалов.

5. 2. 3. Процедуры обеспечения и улучшения качества сварки соединения

Обязательным условием и источником исходных данных выполнения процедур обеспечения и улучшения качества сварки соединения является полное и успешное выполнение процедур обеспечения качества сварки для Заявки.

Процедуры обеспечения и улучшения качества сварки соединения сопровождают и обеспечивают качество сварки каждого соединения.

Исходные данные для выполнения всех процедур обеспечения и улучшения качества сварки соединения содержатся в Технической документации в соответствии с R9 «Реестром технической документации, используемой на рабочем месте по Заявке».

Процедура B12 «Проверки и испытания до сварки».

Исходными являются данные, содержащиеся в полном комплекте технической документации на выполнение сварного соединения в соответствии с R9 «Реестром технической документации, используемой на рабочем месте по Заявке».

К выполнению сварного соединения допускаются только сварщики и операторы сварочных установок с актуальным удостоверением и соответствующим допуском.

Сварное соединение выполняются только при наличии соответствующих и актуальных Технических требования к процедуре сварки.

Весь основной металл и сварочные материалы, подаваемые на участок сборки и сварки, проверяются на соответствие марки в сопроводительных документах требованиям чертежа.

Обеспечивается соответствие подготовки кромок (формы и размеров) свариваемых соединений требованиям чертежа и WPS.

Контролируется зазор и подготовка соединения под сварку при сборке, использование прижимов и выполнение прихваток.

Контролируется выполнение специальных мероприятий, направленных на снижение напряжений и деформаций, обеспечение перпендикулярности, соосности, плоскостности деталей и т. п.

Обеспечивается выполнение требований к рабочей среде, в том числе, температура, влажность, освещённость, защита от осадков, скорость перемещения воздуха в зоне сварки.

Записи R12. Контрольный лист изделия – Раздел подготовка к сварке.

Выполненные действия по проверке и испытаниям до сварки документируются в журнале сварочных работ или Контрольном листе изделия – Раздел подготовка к сварке.

Документированные данные используются для подтверждения выполнения всех, необходимых для обеспечения качества действий, непосредственно предшествующих сварке.

Процедура B13 «Проверки и испытания во время сварки».

Исходными являются данные, содержащиеся в полном комплекте технической документации на выполнение сварного соединения в соответствии с R9 «Регистром технической документации, используемой на рабочем месте по Заявке».

Проверками и испытаниями во время сварки обеспечивается соблюдение требований Технические требования к процедуре сварки, при этом:

- проводится постоянный мониторинг и контроль параметров режима сварки;
- обеспечивается заданная температура предварительного нагрева и температура – перед выполнением каждого прохода;
- проводится зачистка и контролируется форма валиков и слоёв металла сварного соединения;
- контролируется формирование обратной стороны соединения;
- обеспечивается заданная очерёдность выполнения сварных швов;
- выполняется предусмотренная очистка, просушка (прокалка), защита от внешних воздействий, повторное использование сварочных материалов;
- выполняется предусмотренный контроль деформаций;
- проводятся промежуточные проверки внешним осмотром, измерениями размеров.

Записи R13. Контрольный лист изделия – Раздел сварка.

Выполненные действия по проверке и испытаниям при сварке документируются в контрольном листе изделия – Раздел сварка.

Документированные данные используются для подтверждения выполнения всех, необходимых для обеспечения качества действий, при сварке.

Процедура B15 «Термическая обработка после сварки».

Обеспечивается выполнение предусмотренной после сварки термической обработки.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 17663.

Записи R15. Контрольный лист изделия – Раздел термическая обработка.

Документируются данные о времени начала термообработки после сварки, фактическом термическом цикле, использованном оборудовании и материалах.

Процедура B18 «Идентификация и прослеживаемость».

Проводится идентификация – обозначения, обеспечивающие возможность различать:

– переданные в производство чертежи, план контроля сборки и сварки изделия, комплекты спецификаций для обеспечения качества при выполнении субподрядных работ;

– используемые в производстве бланки технической документации;

– места расположения сварных швов в изделии;

– процедуры и персонал неразрушающего контроля;

– сварочные материалы;

– основной материал;

– места коррекции (доведения до соответствия, исправлений);

– места установки временных приспособлений.

Обеспечивается прослеживаемость – возможность проследить в производстве восстановить историю, происхождение, применение.

Для каждого сварного соединения, выполненного полностью механизированной или автоматизированной установкой, документируется её идентификатор и идентификатор оператора, обеспечивавшего сварку в соответствии со своим допуском. Тем самым обеспечивается прослеживаемость сварного соединения до установки автоматической сварки и оператора.

Для каждого сварного соединения, выполненного сварщиком, документируется идентификатор сварщика, проводившего сварку в соответствии со своим допуском. Тем самым обеспечивается прослеживаемость сварного соединения до сварщика.

Для каждого сваренного соединения документируется идентификатор Технических требований к процедуре сварки, в соответствии с которой он выполнен. Тем самым обеспечивается прослеживаемость сварного соединения до Технических требований к процедуре сварки.

Идентификация упрощает использование материалов, документации, оборудования по назначению. Это даёт возможность персоналу выполнять работы в соответствии с допуском.

Прослеживаемость даёт возможность подтвердить выполнение основных мероприятий обеспечения качества сварных швов и определить причины обнаруживаемых несоответствий.

Записи R18. Идентификаторы в чертежах и контрольных листах изделия.

Содержит сведенные данные идентификаторов, использованных при выполнении Заявки.

Процедура В14 «Проверки и испытания после сварки».

Исходными данными являются R2 технические требования к сварным соединениям.

Все сварные соединения проходят внешний осмотр. При этом контролируется форма, размеры, внешние дефекты сварного соединения.

Если того требуют спецификации, сварные соединения проходят неразрушающие или разрушающие испытания.

Анализируются протоколы обработки после сварки (термическая обработка, старение).

Выполнение процедуры В14 позволяет допускать к дальнейшему использованию (выпуску) сварные соединения с подтвержденным соответствием требованиям. Несоответствующие требованиям сварные соединения проходят процедуру В16-1 *Несоответствия* и корректирующие действия.

При выполнении процедуры в дополнение к ISO 14731 следует руководствоваться международными стандартами: ISO 13916; ISO 17635; ISO 17636; ISO 17637; ISO 17638; ISO 17639; ISO 17640.

Записи R14. Контрольный лист изделия – Раздел технический контроль.

Выполненные действия по проверке и испытаниям после сварки документируются в контрольном листе изделия – Раздел технический контроль.

Документированные данные используются для подтверждения соответствия сварных швов требованиям.

Процедура В16-1 «Несоответствия и корректирующие действия».

Исходными данными являются R14 результаты технического контроля изделия, данные о выявленных несоответствиях требованиям.

Процедура выполняется для исправления несоответствий.

При обнаружении участка соединения, несоответствующего установленным требованиям, отклонения изделия от размеров, этот участок (изделие) идентифицируется и изолируется.

В зависимости от несоответствия, выполняются необходимая коррекция – доведение до соответствия.

Дальнейшее использование сварного соединения (изделия) по назначению возможно только после подтвержденной техническим контролем результативности коррекции.

Записи R16-1. Лист управления несоответствующей продукцией.

Документируются характер и место выявления несоответствия, действия, выполненные для коррекции, результаты повторной проверки участка сварного соединения (изделия) после коррекции.

Процедура В16-2 «Несоответствия и корректирующие действия».

Исходными данными являются R14 результаты технического контроля изделий, данные о выявленных несоответствиях требованиям за период производства.

Процедура выполняется для предотвращения повторного появления несоответствий и снижения их общего уровня.

Анализируются данные о характере, локализации, времени и частоте появления несоответствий за период производства. Определяются несоответствия, имеющие наибольшую значимость и подлежащие первоочередным действиям, направленным на устранение причин их появления.

Для таких несоответствий определяются причины появления, определяются и реализуются мероприятия по устранению таких причин, оценивается результативность проведенных мероприятий – корректирующих действий.

Результативные мероприятия становятся повседневной практикой действий и могут привести к изменениям в любой из принятых процедур.

Записи R16-2. Лист сбора данных за период. Диаграмма Парето за период. Лист корректирующих действий за период.

Пошагово документирует данные о корректирующих действиях, проведенных за период производства.

Процедура B19 «Записи о качестве».

Определяется порядок ведения, хранения и обеспечения доступности всех ранее перечисленных записей о качестве, как в бумажном, так и электронном виде.

Процедура является частью всех процедур и обеспечивает доступность информации, содержащейся в записях о качестве.

Записи R19. Акты передачи записей сторонним организациям, акты уничтожения записей.

Документируются данные о передаче записей сторонним организациям, в том числе по запросу, субподряду, на хранение, а также об уничтожении пришедших в негодность записей и записей с истекшим сроком хранения.

5. 3. Применение нормативно требуемой координации в сварке для обеспечения качества при производстве сварной рамы

Производство, приводимое в качестве примера реализации процедур координации в сварке, специализируется на изготовлении сельскохозяйственного инвентаря. В том числе рамных сеялок, плугов, культиваторов. Основным способом сварки является механизированная сварка в защитных активных газах (135). Изделия изготавливаются из углеродистых конструкционных сталей с пределом текучести до 275 МПа (подгруппа 1.1) с применением присадочных материалов группы FM1 – для нелегированных мелкозернистых сталей. Используется труба (Т) с наружным диаметром $D=20-25$ мм и катанный профиль с толщиной стенки 2–4 мм. Изделия требуют выполнения как стыковых (BW), так и угловых (FW) соединений. Использование оснастки, позиционеров позволяет выполнять сварку, в основном, в удобных положениях PA, PB, но встречаются положения сварки PC, PF. Стыковые швы (BW) выполняются как односторонние (ss) без подкладки (nb). Сварочное производство, в основном имеет необходимые для выполнения перспективного производственного плана персонал, оборудование, оснастку, инфраструктуру.

Неизменность номенклатуры производимой продукции позволило провести сравнительную оценку (до внедрения и после) влияния системной координации в сварке на уровень качества сварных соединений.

Заявка 24/ZW129-18 выполнялась в условиях системной координации в сварке. В соответствии с этой Заявкой требовалось приварить крепления элементов трансмиссии к рамам (8 соединений на раму). Объем заказа – 420 рам. Время выполнения – 25 рабочих смен.

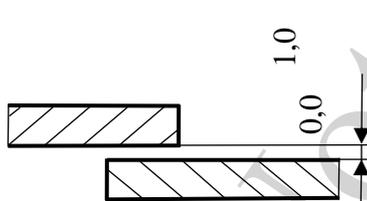
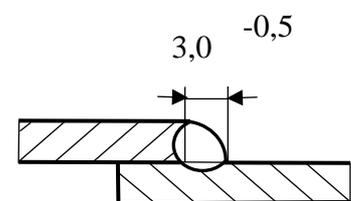
Основное содержание системного обеспечения качества в сварке при выполнении Заявки 24/ZW129-18 связано с результатами выполнения соответствующих процедур и приведено ниже:

1. Установлены и согласованы с конструктором требования к сварным соединениям

A1=z3<135/ISO5817-B/ISO6947-PB/ISO9692-3.1.2/ISO14341-A: G 42 3 M21 3Si1.

2. Из имевшихся на предприятии Технических требований к процедуре сварки выбраны WPS-135-09-PBF-3.1.2-PB-3.0 (табл. 1), так как они обеспечивают выполнение ранее установленных требований к сварным соединениям.

Таблица 1
Технические требования к процедуре сварки (WPS)

Технические требования к процедуре сварки: WPS-135-09-PBF-3.1.2-PB-3.0				Метод подготовки и очистки: Гильотинные ножницы			
WPQR № PQR-135-EG01/12.07.2018				Обозначение основного материала: Группа свариваемости 1.1 PNH84020-88: St3W			
Изготовитель: МР ICF "Irkom"				Толщина материала (мм): 3,0			
Тип соединения и тип сварного шва: P FW				Положение сварки: PB			
Конструкция соединения				Последовательность сварки			
							
Параметры сварки							
Проход	Процесс сварки	Размер присадочного материала, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, V	Полярность	Скорость, м/мин	Погонная энергия, ккал/мм
1	135	1,2	150	20	DC+	470	0,09
Обозначение и марка присадочного металла: EN ISO 14341-A: G 42 3 M21 3Si1 ESAB OK 12.51				Обозначение защитного газа: ISO 14175 – M21 (18 %CO ₂ 72 % Ar)			
Температура нагрева: N/A				Скорость подачи защитного газа: 17 л/мин			

3. Для выполнения Заявки 24/ZW129-18 на отапливаемом складе сварочных материалов поддерживался, приобретаемый у официальных дилеров производителя, минимально необходимый запас сварочной проволоки сплошного сечения, диаметром 1,2 мм, марки ESAB OK 12.51, соответствующей ISO 14341-A: G 42 3 M21 3Si1. Складские помещения оборудованы термометрами/гигрометрами, два раза в сутки показания температуры и влажности воздуха

в складском помещении фиксировались в складском журнале. В нём же фиксировались все перемещения сварочной проволоки с прослеживаемостью к партиям поставки.

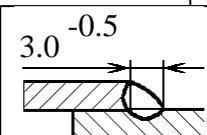
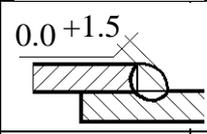
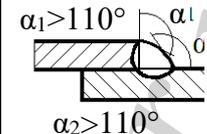
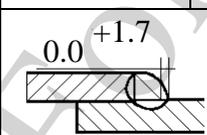
4. Для выполнения Заявки 24/ZW129-18 в закрытом помещении, на стеллажах хранится минимально необходимый запас профиля из стали PNH84020-88: St3W. В складских журналах фиксировались все перемещения основного металла, что обеспечивает прослеживаемость основного металла до закупаемых партий.

5. До выполнения работ по Заявке 24/ZW129-18 из находящихся в штате предприятия допускались лишь те сварщики, которые имеют актуальную подтверждённую квалификацию: 135 T BW FM1 S s3,0 D32 PF ss nb.

6. По Заявке 24/ZW129-18 все изделия сопровождал лист (табл. 2) с фиксацией результатов технического контроля.

Таблица 2

Контрольный лист изделия – Раздел технический контроль

Заявка		24/ZW129-18							
Рама №		171-ZW/129-18							
Рабочая смена		3.2							
Ограничения ISO5817-B		Расположение точек контроля – ZW-129-334-C							
		A1-№ 1	A1-№ 2	A1-№ 3	A1-№ 4	A1-№ 5	A1-№ 6	A1-№ 7	A1-№ 8
z – по величине катета		Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
503 – превышение выпуклости		Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
505 – неправильный профиль		Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
512 – асимметрия углового шва		Ok	Ok	Ok	512-A1/4-117-24	Ok	Ok	Ok	Ok
Другие несоответствия требованиям ISO5817-B		5012-A1/1-117-24	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

По всем выявленным несоответствиям выполнялась коррекция.

7. Еженедельно результаты технического контроля по Заявке 24/ZW129-18 консолидировались посменно (табл. 3) в сводную таблицу.

По критическим несоответствиям еженедельно выполнялись корректирующие действия.

Таблица 3
Лист сбора данных за неделю

Заявка	24/ZW129-18					
Неделя №	3					
Выявленные несоответствия	Рабочая смена					
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	Сумма
z – величина катета	0	0	0	0	1	1
503 – превышение выпуклости	0	0	1	0	0	1
505 – неправильный профиль	0	0	0	0	0	0
512 – асимметрия углового шва	1	1	0	0	1	3
5012 – прерывистый подрез	1	1	0	0	0	2
Сумма несоответствий за смену	2	2	1	0	2	7
Всего проверено за смену	112	120	112	104	120	576

5. 4. Уровень качества сварных соединений до и после внедрения координации в сварке

Универсальным показателем уровня несоответствий или уровня качества сварных соединений [37–39] является p – доля несоответствующих единиц в выборке. Доля несоответствующих единиц в выборке определяется как отношение x – количества выявленных несоответствующих к n – количеству проверенных единиц в выборке или объёму выборки:

$$p = \frac{x}{n}. \quad (1)$$

При выполнении Заявки 24/ZW129-18 объём выборки n_i определялся как общее количество сварных соединений, проверенных за i -ю смену (табл. 3 – всего проверено за смену). Количество, выявленных за i -ю смену несоответствующих единиц (x_i) определялось как сумма несоответствий за смену (табл. 3). Доля несоответствующих единиц в выборке p_i рассчитывалась по формуле (1).

Сводные данные по количеству выявленных несоответствий при выполнении Заявки 24/ZW129-18 приведены в табл. 4. Заявка 24/ZW129-18 фактически выполнена за 28 рабочих смен (планировалось 25 смен).

Для определения статистической управляемости процесса сварки использована p -карта долей как разновидность контрольной карты Шухарта. Состояние статистической управляемости процесса является желательным и свидетельствует о достаточной надёжности, прогнозируемости и стабильности процесса сварки [40]. Для построения контрольной карты Шухарта по данным табл. 4 рассчитано расположение центральной линии, верхней и нижней контрольных границ. Объёмы выборок n_i , определявшиеся количеством выполненных и проверенных за смену сварных соединений, отличались от среднего значения n не более чем на 10 %, что позволило использовать p -карту долей с расчётными прямолинейными контрольными границами [41].

Таблица 4

Количество выявленных несоответствий – Заявка 24/ZW129-18

Рабочая смена (i)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Количество несоответствующих единиц (x_i)	4	2	5	2	1	2	6	2	0	2
Объём выборки (n_i)	112	120	128	120	120	112	120	120	128	120
Доля несоответствующих единиц (p_i)	0,03 3	0,01 7	0,04 2	0,01 7	0,00 8	0,01 7	0,05 8	0,01 7	0	0,01 7
Рабочая смена (i)	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Количество несоответствующих единиц (x_i)	3	2	1	0	2	1	1	2	5	2
Объём выборки (n_i)	112	120	128	120	120	112	120	112	120	128
Доля несоответствующих единиц (p_i)	0,02 5	0,01 7	0,00 8	0	0,01 7	0,00 8	0,00 8	0,01 7	0,04 2	0,01 7
Рабочая смена (i)	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	6.1	6.2	6.3	–	–
Количество несоответствующих единиц (x_i)	2	1	4	2	6	3	1	1	–	–
Объём выборки (n_i)	120	120	120	120	128	128	120	112	–	–
Доля несоответствующих единиц (p_i)	0,01 7	0,00 8	0,03 3	0,01 7	0,05 8	0,02 5	0,00 8	0,00 8	–	–

Центральная линия p -карты долей рассчитывалась:

$$CL_p = \bar{p} = \sum_i \frac{x_i}{n_i} \dots \quad (2)$$

Верхняя контрольная граница p -карты долей рассчитывалась:

$$UCL_p = \bar{p} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (3)$$

Нижняя контрольная граница p -карты долей рассчитывалась:

$$LCL_p = \bar{p} - 3 * \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (4)$$

Контрольная p -карта Шухарта, построенная по данным выполнения Заявки 24/ZW129-18, представлена на рис. 3. На контрольной карте действительна только верхняя контрольная граница (UCL_p). Нижняя контрольная граница отсутствует, так как расчётом получено отрицательное значение $LCL_p = -0,018$. Снизу кон-

трольная карта ограничена нулевым значением доли несоответствующих единиц в выборке. Поле контрольной карты от центральной линии до верхней контрольной границы разделено на три равных по протяжённости зоны А; В; С.

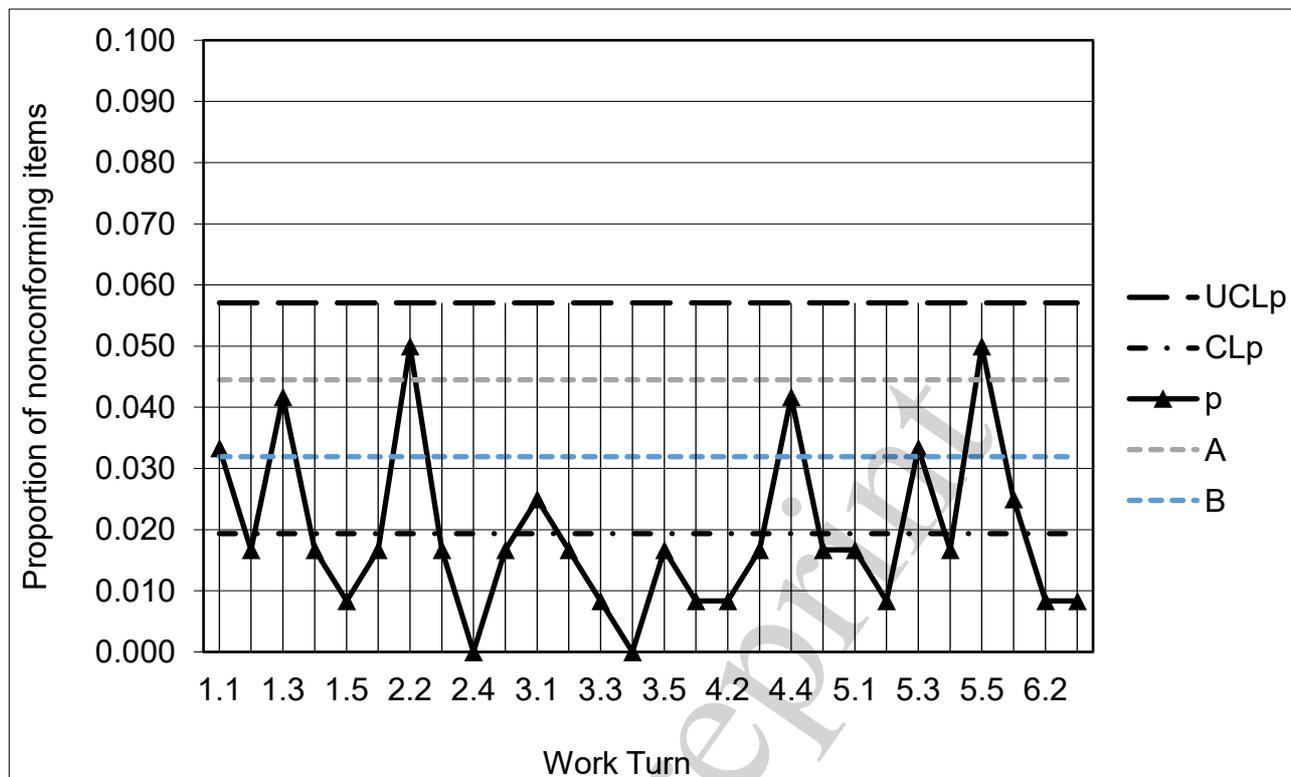


Рис. 3. Контрольная карта Шухарта по Заказу 24/ZW129-18 (координация сварки по ISO 14731)

С использованием контрольной карты проведена проверка процесса сварки на влияние особых причин. Так как на поле контрольной карты заносились данные последовательно произведенных и верифицированных рам, то следует использовать семь критериев влияния особых причин [30].

Критерий 1 «выход точки за контрольную границу» (проявление возможно только по верхней границе) – влияние особых причин не обнаружено.

Критерий 2 «две из трёх точек» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляет себя тремя последовательными точками, находящимися по одну сторону от центральной линии, две из которых находятся в зоне А или дальше. В нашем случае, проявление критерия возможно только по верхней границе.

Критерий 3 «четыре точки из пяти» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляет себя пятью последовательными точками, находящимися по одну сторону от центральной линии, четыре из которых находятся в зоне В или дальше. В нашем случае, проявление критерия возможно только по верхней границе.

Критерий 4 «девять точек» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляет себя девятью последовательными точками, находящимися по одну сторону от центральной линии.

Критерий 5 «шесть точек» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляется шестью последовательными точками, расположенными по возрастанию или убыванию (тренд).

Критерий 6 «четырнадцать точек» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляется четырнадцатью последовательными точками, расположенными поочередно вверх-вниз.

Критерий 7 «пятнадцать точек» – влияние особых причин не обнаружено. По этому критерию влияние особых причин проявляется пятнадцатью последовательными точками, расположенными в зоне С.

Общий вывод – влияние особых причин не обнаружено. При выполнении Заявки 24/ZW129-18, процесс сварки находился в состоянии статистической управляемости при характерном для этого процесса, статистически обоснованном уровне качества сварных соединений $p^*=0,019$ долей несоответствующих единиц в выборке.

Проведена сравнительная оценка влияния системной координации в сварке на уровень качества соединений. Используются данные об уровне качества соединений, полученные до внедрения в производство требований ISO 14731 по Заявке, аналогичной по требованиям к сварным соединениям и технологии сварки Заявке 24/ZW129-18. На рис. 4 представлена контрольная p -карта Шухарта, построенная по данным выполнения сварки без системной координации в сварке по требованиям ISO 14731.

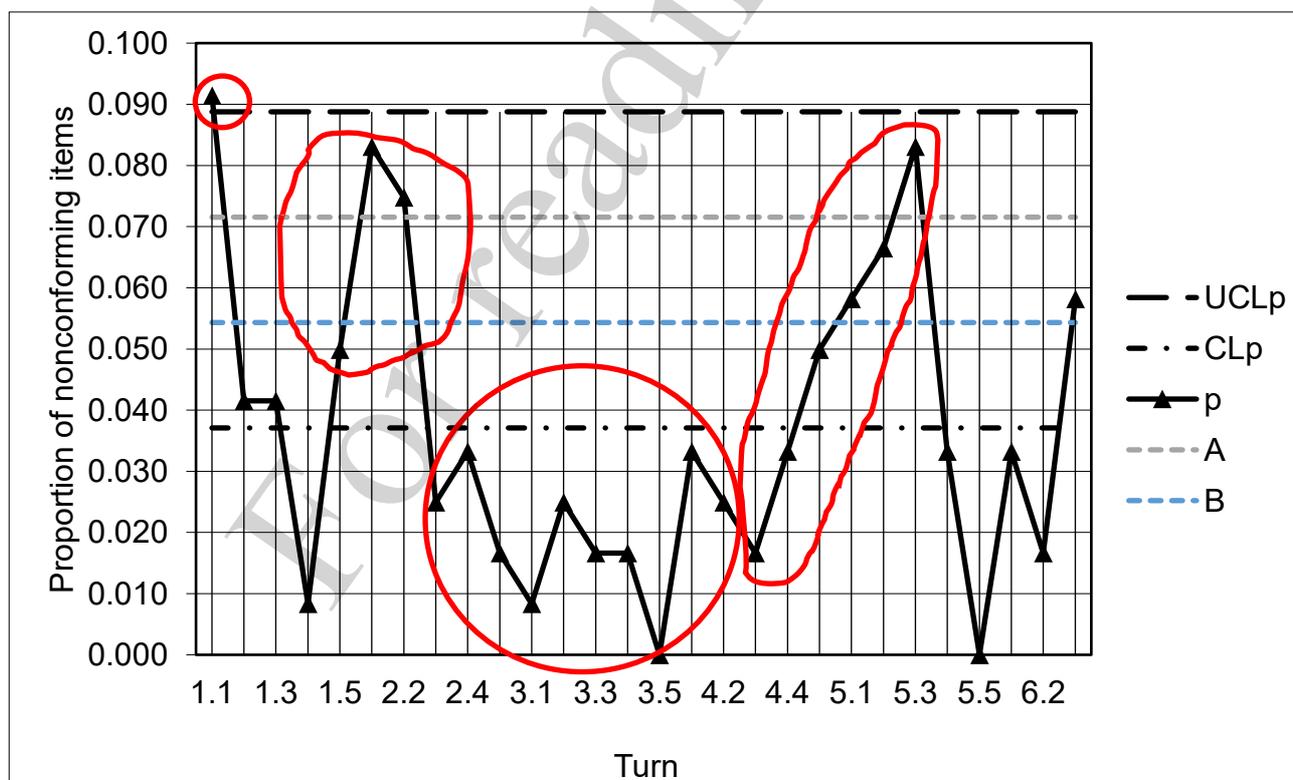


Рис. 4. Контрольная карта Шухарта без системной координации сварки

Определим смены, на которых, в отсутствие системной координации работ, процесс сварки находился под влиянием особых причин. Использовать всё те же семь критериев влияния особых причин.

Критерий 1 «выход точки за контрольную границу» (проявление возможно только по верхней границе) – влияние особой причины на смене 1. 1.

Критерий 2 «две из трёх точек» – влияние особой причины на сменах 1. 5; 2. 1; 2. 2.

Критерий 3 «четыре точки из пяти» – влияние особых причин не обнаружено.

Критерий 4 «девять точек» – влияние особой причины на сменах 2. 3; 2. 4; 2. 5; 3. 1; 3. 2; 3. 3; 3. 4; 3. 5; 4. 1.

Критерий 5 «шесть точек» – влияние особой причины на сменах 4. 3; 4. 4; 4. 5; 5. 1; 5. 2; 5. 3.

Критерий 6 «четырнадцать точек» – влияние особых причин не обнаружено.

Критерий 7 «пятнадцать точек» – влияние особых причин не обнаружено.

Общий вывод – влияние особых причин обнаружено, для 19 из 28 точек, занесенных на поле контрольной p -карты Шухарта. Это однозначно свидетельствует о состоянии статистической неуправляемости исследуемого процесса сварки в условиях отсутствия системной координации сварочных работ. При этом, в силу нестабильности процесса сварки определить статистически обоснованный уровень качества не представляется возможным. Однако, оценочное среднее значение доли несоответствующих единиц в выборке $p=0,037$, что в два раза превышает соответствующее статистически обоснованное значение при выполнении Заявки 24/ZW129-18.

Таким образом, системное выполнение процедур координации сварочных работ стабилизирует процесс сварки, приводит его к состоянию статистической управляемости и снижает долю несоответствующих единиц в выборке в 2 раза.

6. Обсуждение результатов анализа влияния системной координации в сварке на уровень качества сварных соединений

Сравнением уровня качества сварных соединений до и после внедрения системного подхода к координации в сварке (рис. 4, 3) показано существенное улучшение показателей. В условиях отсутствия системной координации сварочных работ оценочное среднее значение доли несоответствующих единиц в выборке составило $p=0,037$ (рис. 4). При этом, по 19 выборкам из 28 выборок процесс сварки находился в статистически неуправляемом состоянии. Системная реализация в ходе выполнения Заявки 24/ZW129-18 нормативно требуемых процедур координации сварочных работ (табл. 1–4) привела к повышению уровня качества. Среднее значение доли несоответствующих единиц в выборке снизилось до $p=0,019$ и процесс сварки перешёл в статистически управляемое состояние (рис. 3). Стабилизация процесса сварки при снижении доли несоответствующих единиц в выборке может быть объяснена выполнением нормативно ориентированных процедур В1–В19 координации в сварке. Системность координации в сварке обеспечивается взаимосвязью процедур по апробированной схеме (рис. 2). Системная координация сварочных работ обеспечивает по-

стоянный контроль основных источников изменчивости показателей качества сварных соединений.

Предложено комплексное решение для системной координации сварки в производстве. При этом определено основное содержание процедур координации, схема их взаимосвязи и предложено применение статистического контроля процесса сварки с применением p -карты Шухарта. Полученные данные свидетельствуют о статистически обоснованном улучшении процесса сварки в результате применения предложенных решений.

Основное преимущество проведенного исследования в том, что выполнялся анализ объективных данных из производства, с применением методов статистического контроля процессов. Это позволило основываться на объективных критериях оценки результативности внедрения координации в сварке. Традиционно такой анализ выполнялся путём производственных аудитов [25] и результаты основывались на методе экспертных оценок [26]. Используемый метод сводит к минимуму субъективизм в выводах.

Существенным ограничением проведенного исследования является его ориентация на обеспечение качества при сварке плавлением. Предложенные и апробированные процедуры координации сварочных работ не учитывают специфики иных способов сварки, в том числе широко применяемых способов контактной, точечной, шовной, диффузионной сварки.

К недостаткам данного исследования могут быть отнесены ограничения по количеству объектов внедрения предложенной системной координации в сварке и по количеству выборок для статистического анализа. Расширение базы сварочных производств, применяющих системный подход к координации в сварке, позволит устранить эти недостатки в перспективе.

Дальнейшее развитие данного исследования видится в построении математических моделей, определяющих вклад процедур координации в сварке в формирование уровня качества сварного соединения. Моделирование с применением методов планирования производственного эксперимента может быть затруднено реальными возможностями производства относительно регулирования и поддержания на заданном уровне выполнения процедуры как фактора эксперимента. Поэтому, на первом этапе, моделирование может быть проведено с применением методов регрессионного анализа.

7. Выводы

1. Предложена и апробирована в сварочном производстве схема взаимосвязи процедур координации в сварке, позволяющие системно выполнять требования ISO 14731 к задачам обеспечения качества сварки. Схема устанавливает оптимальную последовательность выполнения процедур и информационные связи между ними.

2. Показано, что при реализации процессного подхода важно различать три группы процедур обеспечения качества координацией в сварке. Первая группа – процедуры долгосрочного обеспечения качества сварки. Вторая группа – процедуры обеспечения качества сварки при выполнении Заявки (Заказа, Кон-

тракта). Третья группа – процедуры обеспечения и улучшения качества сварки соединения.

3. Предложен и апробирован в условиях сварочного производства вариант встраивания совокупности стандартизованных требований к процессам сварки в процедуры обеспечения качества путём координации в сварке. Проведен статистический анализ данных об уровне качества сварных соединений в производстве до и после внедрения системной координации в сварке.

4. С применением контрольных карт Шухарта проведен статистический анализ эмпирических данных из производства о долях несоответствующих единиц в выборке, характеризующих уровень качества соединений при выполнении системной координации в сварке и без таковой. Показано, что системное выполнение требований ISO 14731 позволяет получить статистически управляемое состояние процесса сварки при уменьшении доли несоответствующих единиц в два раза.

8. Благодарности

The involved companies (Agro-Soyuz Corporation, ICF "IrKom") are acknowledged for the informational support.

Литература

1. Slyvinsky, O., Chvertko, Y., Bisyk, S. (2019). Effect of welding heat input on heat-affected zone softening in quenched and tempered armor steels. *High Temperature Material Processes An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*, 23 (3), 239–253. doi: <https://doi.org/10.1615/hightempmatproc.2019031690>
2. Prokhorenko, V. M., Prokhorenko, D. V., Zvorykin, C. O., Hainutdinov, S. F. (2019). Kinetics of strains during single-pass fusion welding of a symmetrical butt joint. *Technological Systems*, 3 (88), 87–98. doi: <https://doi.org/10.29010/88.11>
3. Fukuda, S. (1998). Engineering Accreditation. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 67 (3), 237–239. doi: <https://doi.org/10.2207/qjjws1943.67.237>
4. Harasawa, H. (2010). Education and Certification System of Welding Engineers in Japan and Overseas Activities. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 79 (1), 49–57. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.79.49>
5. Quintino, L., Fernandes, I., Miranda, R. M. (2012). Impact of the Qualification of Personnel in the Manufacturing Industry. *Welding in the World*, 56 (7-8), 130–137. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03321373>
6. Hirata, Y. (2016). Sustainable Evolution of Welding and Joining Technology. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 85 (1), 5–11. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.85.5>
7. Harasawa, H. (2008). Planning and Management of Welding Procedure. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 77 (6), 582–595. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.77.582>
8. Omata, K. (2012). Standards of Welding Procedure. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 81 (5), 443–445. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.81.443>

9. Babkin, A. S., Chang, Y., Babkin, I. A. (2017). Identification welding parameters using complex criteria of quality. *China Welding (English Edition)*, 26 (4), 1–9. doi: <https://doi.org/10.12073/j.cw.20170922001>
10. Darmadi, D. B., Abdillah, F. N., Raharjo, R. (2019). Controlling the pressure force to obtain a better quality of aluminum 6061 friction stir welded joint. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (99)), 6–10. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.159286>
11. Davydovs'kyi, L. S., Bisyk, S. P., Chepkov, I. B., Vas'kivs'kyi, M. I., Katok, O. A., Slyvins'kyi, O. A. (2019). Alternatives of Energy Absorption Element Design Parameters for an Armored Combat Vehicle Seat Under Explosive Loading. *Strength of Materials*, 51 (6), 900–907. doi: <https://doi.org/10.1007/s11223-020-00140-7>
12. Dragan, S. V., Kvasnitsky, V. V., Romanchuk, N. P., Solonichenko, Yu. V., Goloborodko, Zh. G. (2004). Technological processes of welding and cutting in shipbuilding of Ukraine (Rewiev). *Automatic Welding*, 8, 3–6. URL: <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2004/as200408all.pdf>
13. Harasawa, H. (2012). Quality Assurance and Quality Management. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 81 (5), 434–436. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.81.434>
14. Otsuka, H., Minoda, Y., Nagayama, K. (2013). Quality Assurance of Welded Steel of Tokyo Sky Tree. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 82 (4), 252–257. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.82.252>
15. Matsuyama, K. (2015). Trend of Standardization Works on Resistance Spot Welding of High and Ultra-High Strength Steel Sheets. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 84 (6), 462–466. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.84.462>
16. Takechi, S. (2008). Knowledge Management in Manufacturing. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 77 (1), 55–59. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.77.55>
17. Ueyama, T. (2017). 2016 Industrial Trend. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 86 (5), 343–343. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.86.343>
18. Shackleton, D. N. (2006). Reducing Failure Risk in Welded Components. *Welding in the World*, 50 (9-10), 92–97. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03263449>
19. LaPlante, W. (2011). How to assure quality in outsourced welded products. *Welding Journal*, 90 (10), 42–46. URL: <https://www.researchgate.net/publication/293774882>
20. Гаєвський, О. А., Гаєвський, В. О. (2017). Координація зварювальних робіт. Київ: Центр учбової літератури, 168. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2017/koordynatsiay_zvaruvalnyh_robit.pdf
21. Walker, R. H., Johnson, L. W. (2009). Signaling intrinsic service quality and value via accreditation and certification. *Managing Service Quality: An International Journal*, 19(1), 85–105. doi: <https://doi.org/10.1108/09604520910926827>

22. Björk, T., Samuelsson, J., Marquis, G. (2008). The Need for a Weld Quality System for Fatigue Loaded Structures. *Welding in the World*, 52, 34–46. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03266615>
23. Aikawa, T. (2001). An outline of iso 9001:2000 requirements and the point of building a management system. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 70 (7), 701–706. doi: https://doi.org/10.2207/qjws1943.70.7_701
24. Wada, H. (2008). Management system of welding quality. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 77 (3), 248–253. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.77.248>
25. Ericson Öberg, A. (2018). From standard change to implemented assessment. *Welding in the World*, 62, 941–946. doi: <https://doi.org/10.1007/s40194-018-0622-6>
26. Zimon, D. (2016). Influence of Quality Management System on Improving Processes in Small and Medium-Sized Organizations. *Quality – Access to Success*, 17 (150), 61–64. URL: https://www.researchgate.net/publication/298072272_Influence_of_quality_management_system_on_improving_processes_in_small_and_medium-sized_organizations
27. Zimon, D. (2017). The impact of quality management systems on the effectiveness of food supply chains. *TEM Journal*, 6 (4), 693–698. doi: <https://doi.org/10.18421/TEM64-07>
28. Xie, Q., Yang, Y., Li, X., Zhao, N. (2007). Basic model study on efficiency evaluation in collaborative design work process. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 2 (3), 344–349. doi: <https://doi.org/10.1007/s11465-007-0060-4>
29. Dekoulou, P., Iacovidou, M., Antonaras, A. (2018). Developing a university CSR framework using stakeholder approach. *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 14 (1/2), 43. doi: <https://doi.org/10.1504/wremsd.2018.10009040>
30. Li, Q., Chen, Y.-L. (2009). Data Flow Diagram. *Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems*, 85–97. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-89556-5_4
31. Abed Thamer, K. (2020). Development of cognitive approach to the organization of business processes in virtual machine-building enterprises within Industry 4.0. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (103)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196371>
32. Quintino, L., Ferraz, R., Fernandes, I. (2008). International Education, Qualification and Certification Systems in Welding. *Welding in the World*, 52 (1-2), 71–79. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03266619>
33. Matsuyama, K. (2014). Quality Management Technologies for Resistance Spot Welding. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 83 (8), 602–615. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.83.602>
34. Kang, C. W., Kvam, P. H. (2012). Shewhart control charts. *Basic Statistical Tools for Improving Quality*, 97–124. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118491751.ch5>
35. Григорьев, А. В., Кузенкова, Т. В., Соломина, И. Н. (2010). Исследование состояния системы обеспечения качества продукции на полиграфиче-

ском підприємстві. *Всхідно-Європейський журнал передових технологій*, 6 (8 (48)), 40–44. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/5764/5197>

36. Лазько, І. В. (2013). Аналіз та оцінка супутних ризиків забезпечення якості проектної продукції. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2 (10 (62)), 4–7. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/12596/10475>

37. Tanaka, M. (1968). Theoretical study of Statistical Quality Control in Welding Fabrication. *Journal of the Japan Welding Society*, 37 (8), 771–780. doi: <https://doi.org/10.2207/qjws1943.37.771>

38. Senthil Kumar, G., Natarajan, U., Veerarajan, T., Ananthan, S. S. (2014). Quality Level Assessment for Imperfections in GMAW. *Welding Journal*, 93 (3), 85–97. URL: https://www.researchgate.net/publication/286610792_Quality_Level_Assessment_for_Imperfections_in_GMAW

39. Haievskiy, V. O., Haievskiy, O. A., Zvorykin, C. O. (2018). Investigations of weld seam width variability during shielding gas mixture arc welding. *Technological Systems*, 82/1, 70–73. doi: <https://doi.org/10.29010/082.9>

40. Stenberg, T., Barsoum, Z., Åstrand, E., Öberg, A. E., Schneider, C., Hedegård, J. (2017). Quality control and assurance in fabrication of welded structures subjected to fatigue loading. *Welding in the World*, 61 (5), 1003–1015. doi: <https://doi.org/10.1007/s40194-017-0490-5>

41. Wu, C. S. (2011). Recent Progress and Trend in Sensing and Monitoring GMAW and PAW Processes in China. *JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY*, 80 (1), 44–51. doi: <https://doi.org/10.2207/jjws.80.44>

42.