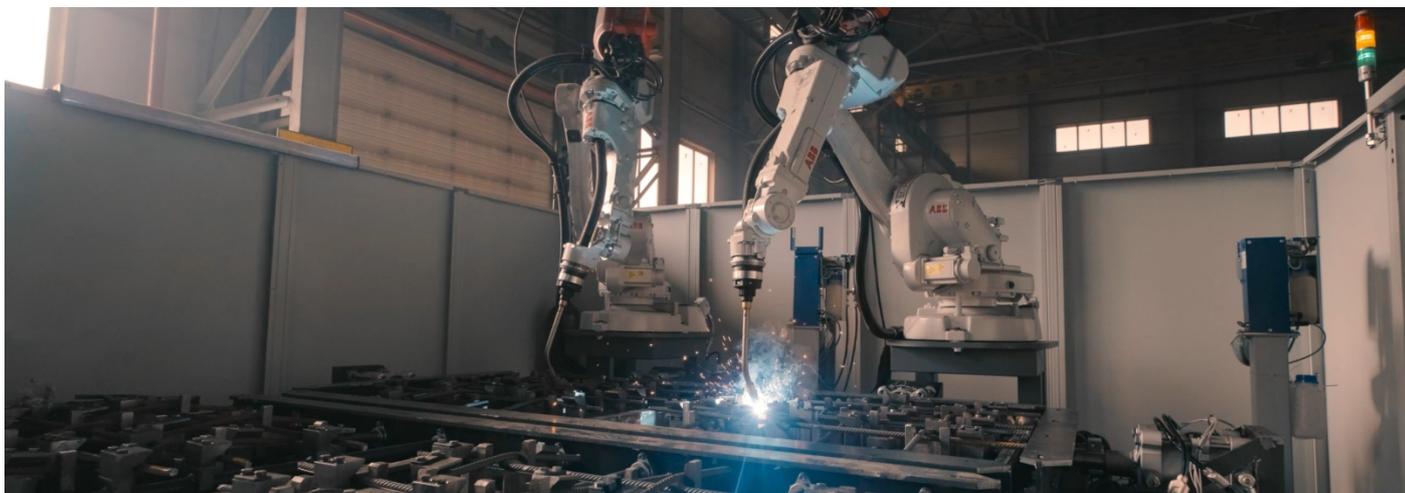


# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМОКАРКАСА АНКЕРНОЙ КРЕПИ ПУТЕМ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

The quality assurance of the roof bolting reinforcing mesh welded joints by production robotization.

*Кречетов Андрей Александрович, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, кандидат технических наук, доцент*

*Krechetov Andrey, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, PhD, Associate Professor*



Роботизация производства сегодня – это одно из основных направлений развития промышленных предприятий всего мира. По данным компании Ernst&Young более 40% производственных компаний в настоящее время активно инвестируют в роботизацию и автоматизацию производственных процессов. Активно растет рынок промышленных роботов и в России, со скоростью 30-50% ежегодно.

Преимущества внедрения промышленных роботов для компаний-производителей очевидны. Прежде всего, это снижение себестоимости продукции и повышение производительности. Однако возникает вопрос – а **ЧТО ДАЕТ РОБОТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЮ-ПОТРЕБИТЕЛЮ ПРОДУКЦИИ?** Имеет ли смысл ориентироваться на наличие таких технологических решений у предприятия-изготовителя при поиске поставщика продукции для решения своих производственных задач?

## **СТАБИЛЬНОСТЬ – ПРИЗНАК МАСТЕРСТВА. ИЛИ РЕЗУЛЬТАТ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Одним из результатов внедрения промышленных роботов является высокая степень повторяемости технологических операций. Действительно, робот не устает, на него не влияют факторы производственной среды. И в случае должным образом организованных вспомогательных процессов роботизация производственных процессов позволяет обеспечить предсказуемые, стабильные результаты производственных процессов.

В рамках реализации программы обеспечения качества продукции в компании «ОКС» для сварки армокаркасов анкерной крепи был внедрен робототехнический комплекс АВВ. Он состоит из трех манипуляторов. Два манипулятора предназначены для того, чтобы реализовывать движения сварочной дуги относительно арматуры, еще один – для перемещения арматуры в зону и из зоны сварки.

**АРМОКАРКАС** – это ответственная часть анкерной крепи, так как именно он непосредственно воспринимает нагрузки от закрепленной кровли и передает ее на анкеры. **Во многом именно прочность сварных соединений армокаркаса обуславливает несущую способность анкерной крепи в целом, в случае разрушения этих соединений возможно обрушение кровли.** Поэтому для горного предприятия стабильность показателей качества сварных соединений армокаркаса является важным вопросом, на который целесообразно обращать внимание при выборе предприятия-изготовителя анкерной крепи.



Для управления качеством с точки зрения обеспечения стабильности и предсказуемости показателей продукции широкое распространение получили методы статистического управления процессами [1-9].

В соответствии с основными принципами этой концепции наилучшее качество обеспечивает производственный процесс, имеющий минимальную вариабельность результатов.

В основе методологии статистического управления процессами лежит предположение, что причины отклонения показателей продукции от заданного значения разделяются на «случайные» и «особые» причины [10-12].

Под «случайными» причинами (неконтролируемыми, общими, внутренними, естественными) подразумевают причины случайного характера, возникающие при вариации параметров нормально протекающего процесса, то есть такого процесса, который обеспечивает показатели продукции в заданном диапазоне.

Под «особыми» причинами (систематическими, специальными, контролируемыми, неестественными) подразумевают причины, приводящие к значимому отклонению показателей продукции, при этом эти причины могут быть выявлены и устранены.

В случае если изменение показателей продукции вызывается только случайными причинами, процесс считается статистически управляемым, и позволяет гарантировано производить продукцию заданного качества, показатели которой находятся в заданном диапазоне.

Одним из основных инструментов для реализации статистического управления процессами являются контрольные карты Шухарта, представляющие собой визуальное отображение величин той или иной характеристики распределения значений контролируемого показателя продукции, полученной по определенной выборке изделий. Контрольная карта устанавливает центральную линию, соответствующую заданному значению показателя продукции и статистически определяемые верхние и нижние контрольные границы. Процесс считается статистически управляемым, если все значения оцениваемых характеристик попадают в диапазон между нижней и верхней контрольной границей, а также отсутствуют систематические паттерны в расположении данных на контрольной карте относительно центральной линии. Выход характеристики из диапазона допустимых значений является сигналом для выявления причин несоответствия процесса установленным требованиям.

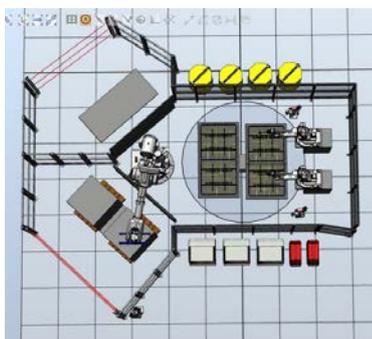
Для определения первоначальных параметров контрольных карт, используемых для контроля стабильности показателей процесса, проведены исследования прочности сварных соединений армокаркаса, изготовленных ручной, контактной и роботизированной сваркой в условиях ООО «ОКС».

При построении контрольной карты важным вопросом является корректность определения средней линии и контрольных границ. Для установления достоверных параметров контрольной карты необходимо провести предварительные исследования распределения показателей качества продукции (этап 1) [12].

В работе рассматривались сварные соединения, изготовленные ручной дуговой сваркой (КЗ-Рп по ГОСТ 14098-2014, далее ручная сварка), механизированной дуговой сваркой с использованием робототехнического комплекса (КЗ-Мп по ГОСТ 14098-2014, далее роботизированная сварка) и контактной сваркой (К1-Кт по ГОСТ 14098-2014).



Ручная и роботизированная сварка осуществлялась в среде углекислого газа на полуавтомате. Роботизированная сварка производится на робототехническом комплексе производства компании АВВ (рис. 1).



**Рис. 1. Общий вид робототехнического комплекса, установленного в компании «ОКС»**

Сварные соединения при использовании контактной сварки образуются за счет протекания сварочного тока через зону соединения прутьев арматуры.

Для реализации статистического управления процессами в условиях ООО «ОКС» планируется использовать  $\bar{X} - s$  контрольные карты, основанные на оценке средних значений и выборочных стандартных отклонений выборки показателя.

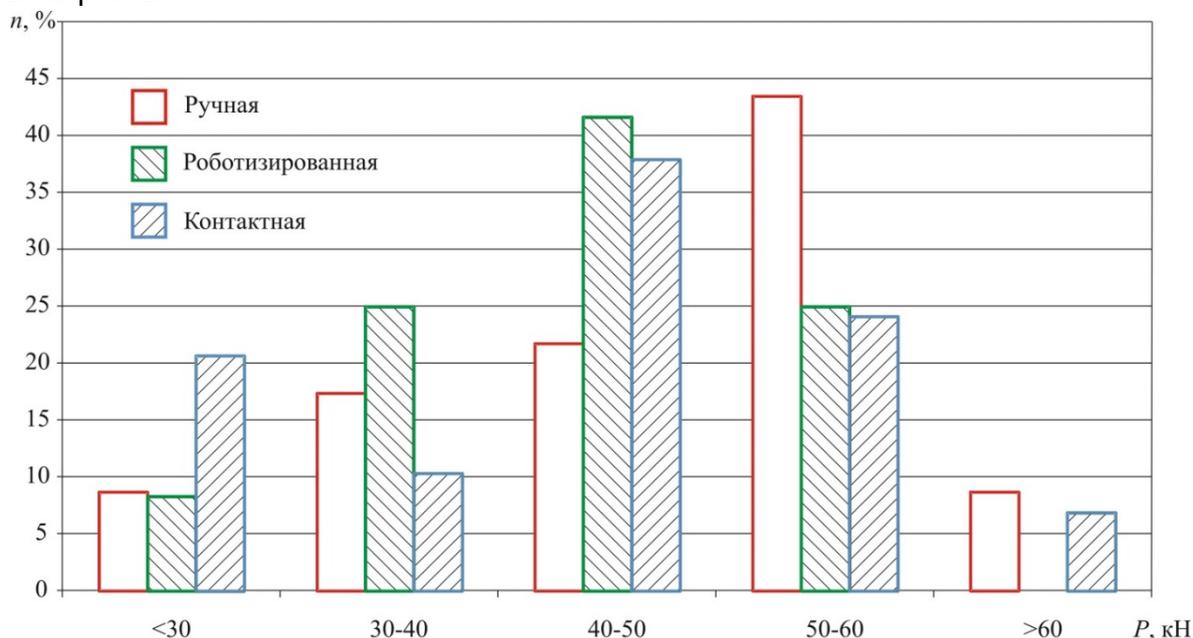
Для установления первоначальных параметров контрольных карт тремя методами сварки из арматуры диаметром 12 мм (арматурная сталь АIII-A400С по ГОСТ 5781-82) были изготовлены армокаркасы, из которых вырезались крестообразные образцы для испытания сварных соединений на срез. Всего для каждого метода сварки было получено по 30 образцов.

Далее на установке РМ-50М были проведены испытания полученных образцов на срез по ГОСТ Р 57997-2017, оценивалось максимальное усилие, которое выдерживает соединение.

После этого для каждого метода рассчитывалось среднее значение распределения значений усилия, приводящего к разрушению,  $\bar{P}$ , значение выборочного стандартного отклонения  $s$ , значения верхней  $U_{CL}$  и нижней  $L_{CL}$  контрольной границы для карт средних значений и выборочных стандартных отклонений.

После определения параметров контрольных карт были проведены дополнительные исследования для оценки адекватности полученных первоначальных значений. Для этого были использованы дополнительные выборки образцов (по 14 образцов в каждой выборке), при этом исследовались, в том числе, образцы, изготовленные роботизированной сваркой.

Распределения значений усилий, приводящих к разрушению, для различных методов сварки показаны на рис. 2.



**Рис. 2. Распределение значений усилий  $P$ , приводящих к разрушению сварных соединений, здесь  $n$  – доля образцов в выборке, попадающих в соответствующий интервал усилий**

Анализ полученных результатов показывает значительное влияние метода сварки на распределение характеристик прочности сварных соединений. Так, распределение для ручной сварки имеет ярко выраженную асимметричность, со смещением среднего значения выборки в сторону больших значений. Такое отклонение вида распределения от нормального может свидетельствовать

о наличии внешних причин уменьшения прочности, разброс значений прочности в данном случае не может быть обусловлен наличием только случайных, несвязанных между собой факторов.

Распределение для контактной сварки также не соответствует нормальному распределению, имеет бимодальный характер. При этом один из максимумов попадает в диапазон с малыми значениями усилия разрушения сварных соединений – до 30 кН.

Распределение для роботизированной сварки наиболее близко из рассматриваемых методов соответствует нормальному распределению, с незначительным количеством образцов с низкой прочностью. Следует отметить, что использование контрольных карт рекомендуется для процессов, распределения показателей которых имеют вид близкий к нормальному распределению. Полученные значения параметров контрольных карт приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров контрольных карт

| Метод сварки     | Контрольная карта средних значений |          |          | Контрольная карта выборочных стандартных отклонений |          |          |
|------------------|------------------------------------|----------|----------|---|----------|----------|
|                  | $\bar{P}$                          | $U_{CL}$ | $L_{CL}$ | $s$   | $U_{CL}$ | $L_{CL}$ |
| Ручная           | 47,65                              | 55,16    | 40,13    | 12,40   | 17,80    | 7,01     |
| Контактная       | 42,72                              | 50,37    | 35,07    | 12,62   | 18,11    | 7,13     |
| Роботизированная | 42,24                              | 48,05    | 36,43    | 9,59  | 13,76    | 5,42     |

Полученные результаты показывают, что выборочное стандартное отклонение для ручной и контактной сварки сопоставимо, и превышает 12 кН. Выборочное стандартное отклонение для роботизированной сварки минимально и составляет 9,59 кН. Это свидетельствует о меньшем разбросе значений прочности при изготовлении армокаркасов с использованием робототехнического комплекса, и, следовательно, о большей предсказуемости качества анкерной крепи в целом.

Значения в пространстве контрольных карт показаны на рис. 4-6.

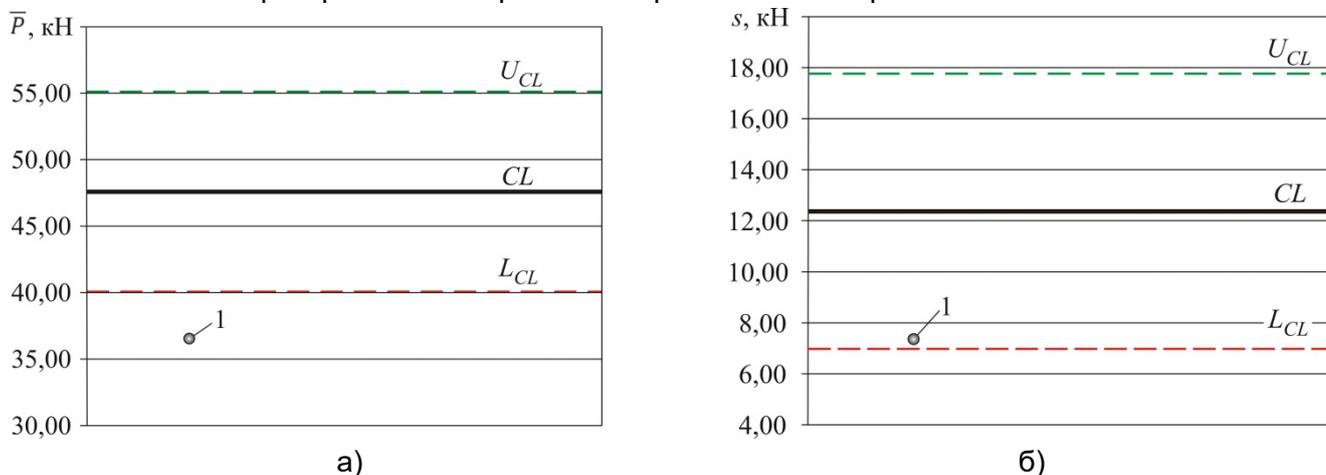
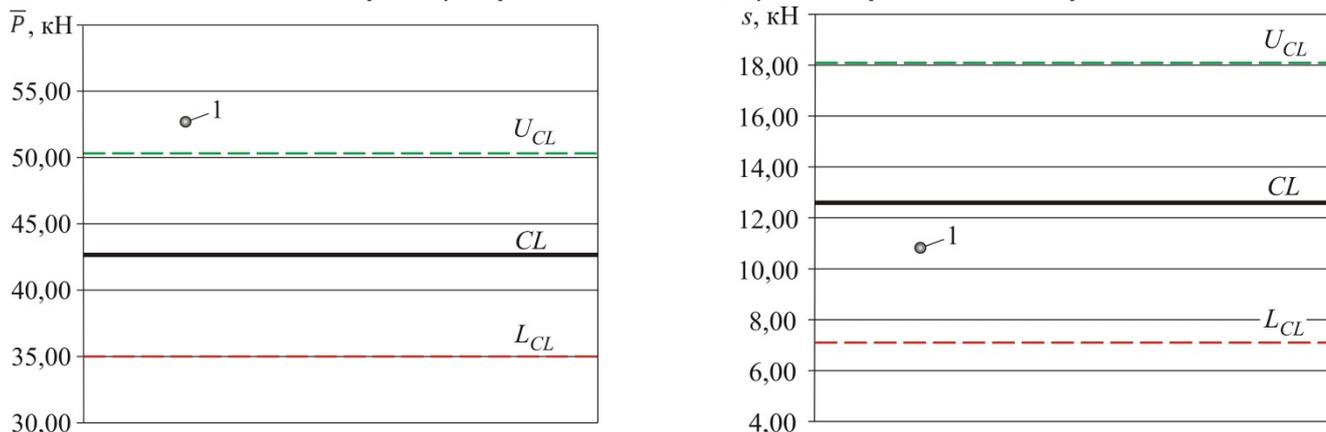
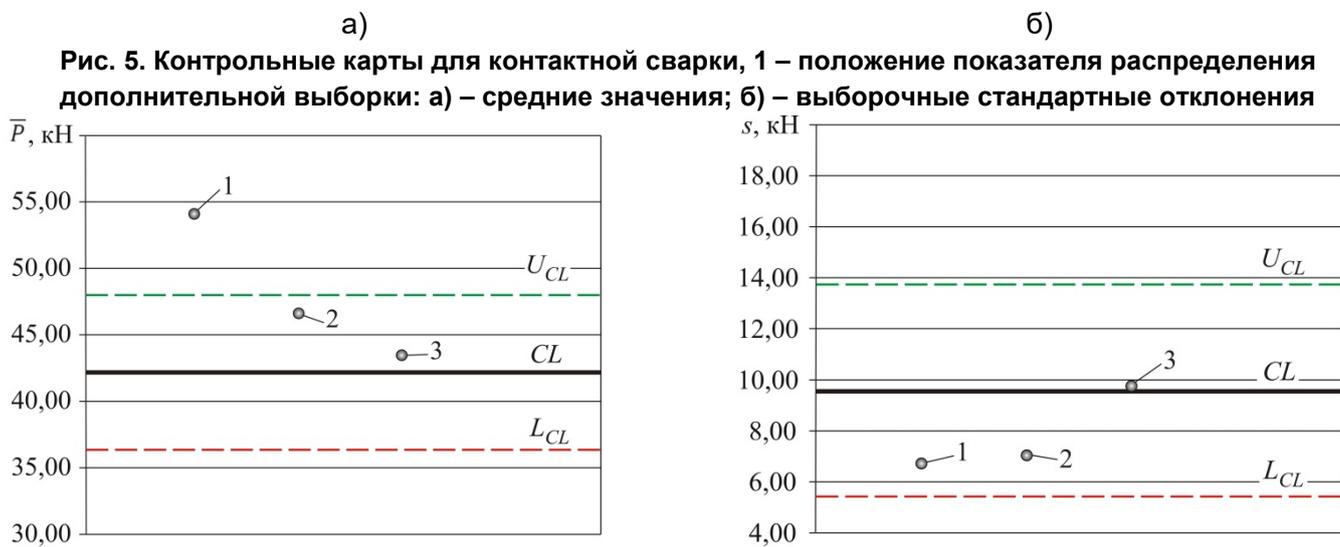


Рис. 4. Контрольные карты для ручной сварки, 1 – положение показателя распределения дополнительной выборки: а) – средние значения; б) – выборочные стандартные отклонения





**Рис. 6. Контрольные карты для роботизированной сварки, цифрами обозначены положения показателей распределения прочности для дополнительных выборок, выполненных с использованием проволоки: 1 – ESAB AristoRod; 2 и 3 – WS Weldeship; буквами обозначены типы контрольных карт: а) – средние значения; б) – выборочные стандартные отклонения**

Среднее значение дополнительной выборки для контактной сварки также не попадает в первоначально установленный диапазон, это значение больше верхней контрольной границы. Выборочное стандартное отклонение попадает в установленный диапазон соответствующей контрольной карты. Несмотря на то, что среднее значение прочности дополнительной выборки выше первоначального полученного значения, сделать вывод о возможности стабильного получения таких значений прочности не представляется возможным. Принимая во внимание значительное количество сварных соединений с невысокой прочностью при первоначальном определении параметров контрольных карт, необходимо провести дополнительные исследования формирования характеристик сварных соединений, полученных контактной сваркой.

Среднее значение дополнительных выборок образцов, изготовленных роботизированной сваркой (серии 2 и 3 на рис. 6), попадают в установленный диапазон, несмотря на то, что его ширина значительно уже, чем ширина диапазона для ручной и контактной сварки. Выборочное стандартное отклонение также попадает в установленный диапазон. Обращает на себя внимание близость показателей дополнительной выборки 3 к первоначально установленным значениям контрольной карты. Это свидетельствует о стабильности процесса роботизированной сварки и позволяет сделать предварительный вывод об адекватности первоначально полученных параметров контрольных карт для роботизированной сварки.

Среднее значение дополнительной выборки образцов 1 для роботизированной сварки имеет большее значение, чем верхняя контрольная граница, при выборочном стандартном отклонении в нижней части установленного диапазона контрольной карты. Такое значение среднего значения обусловлено использованием сварочной проволоки ESAB AristoRod и не свидетельствует о нестабильности процесса роботизированной сварки. Для статистического управления процессом роботизированной сварки с использованием этой сварочной проволоки целесообразно повторение 1 этапа определения первоначальных параметров контрольных карт.

## **Подводя итог вышесказанному можно сделать следующие выводы:**

1. Для сварных соединений, изготовленных роботизированной сваркой, значение выборочного стандартного отклонения ниже на 22%, чем для ручной и контактной сварки, что означает меньший разброс значений прочности для роботизированной сварки по сравнению с ручной и контактной сваркой.

2. Установлено, что для роботизированной сварки характеристики распределения значений прочности дополнительных выборок образцов попадают в первоначально установленные диапазоны контрольных карт, что свидетельствует о стабильности процесса роботизированной сварки и возможности использования первоначальных параметров контрольных карт.

3. При использовании для роботизированной сварки сварочной проволоки ESAB AristoRod среднее значение прочности на 28% выше среднего значения прочности при использовании сварочной проволоки WS Weldeship, и, также, выше значения верхней контрольной границы контрольной карты средних значений для роботизированной сварки.

**Таким образом, роботизация производственных процессов – это эффективное направление совершенствования производства. Причем не только для предприятия-изготовителя того или иного оборудования. Опыт внедрения промышленных роботов в компании «ОКС» показывает, что это еще и возможность для предприятия-потребителя быть уверенным в качестве приобретаемой продукции.**