

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

Э. Ф. ГАРФ, Э. М. ДЫСКИН, П. С. ЮХИМЕЦ

Обоснована возможность перехода на выборочный контроль качества сварных соединений на основании систематических наблюдений за качеством монтажных сборочно-сварочных работ при сооружении опорных блоков (ОБ) морских стационарных платформ (МСП). Показано, что наиболее часто встречающимися дефектами монтажных кольцевых сварных соединений ОБ МСП являются смещения кромок и подрезы. На примере расчета оперативной характеристики плана контроля обнаружения трещины выполнен анализ риска изготовителя и потребителя указанных конструкций.

The paper substantiates the possibility of going over to selective control of the quality of welded joints, based on systematic observation of the quality of assembly-welding operations in construction of columns of off-shore platforms (OSP). It is shown that the most often found defects of field circumferential joints of OSP columns are edges displacement and undercuts. Calculation of the operative parameter of crack detection control plan was used as an example to perform analysis of the risks of the manufacturer and user of the above structures.

При сооружении уникальных ответственных сварных конструкций нормативно-технической документацией предусматривается, как правило, сплошной контроль готовых сварных соединений. Вместе с тем осуществление такого контроля в некоторых случаях сопряжено с серьезными техническими трудностями, что обуславливает рассмотрение возможности перехода к ограниченному выборочному контролю и оценке сопряженных с этим рисков.

Во время сооружения опорных блоков (ОБ) морских стационарных платформ (МСП) на Бакинском заводе стационарных глубоководных оснований в течение трех лет велись систематические наблюдения за строительством с целью сбора статистических данных об уровне монтажных сборочно-сварочных работ и качестве готовых сварных соединений. Строительные работы велись на стапелях на берегу Каспийского моря. Использовалась ручная электродуговая сварка покрытыми электродами УОНИ-13/55. Корневые проходы выполнялись электродами фирмы Kobe Steel (Япония), дающими обратное формирование шва марки LB-52U. Выбор ручной сварки объясняется тем, что данный способ наиболее доступен, гибок, не требует применения сложного и дорогостоящего оборудования, широко распространен в строительстве. При этом достигается высокое качество сварных швов при различной толщине свариваемого металла, в т. ч. в труднодоступных местах, образуется равнопрочное сварное соединение, однородное по химическому составу, структуре и механическим свойствам.

При проведении обследований частично или полностью законченных блоков особое внимание уделялось состоянию кольцевых стыков трубчатых элементов узлов панелей и межпанельного заполнения диаметром 550...900 мм и толщиной стенки 12...20 мм, стыков элементов и узлов стоек (в первую очередь стапельных) диаметром 1784...1820 мм и толщиной стенки 32...50 мм, а также поперечных стыков элементов спускных балок с толщиной

металла 40...50 мм. Контролю подлежали только те стыки, которые сваривали при монтаже на стапелях. Наблюдения вели выборочно со стапелей, приставных лестниц, подмостей и непосредственно с элементов панелей при горизонтальном их положении до подъема и с люлек после их подъема. Стыки подвергали визуальному контролю с использованием лупы с 5-кратным увеличением. Фиксировали все дефекты, регламентированные нормативной документацией. Особое внимание уделялось выявлению в швах наружных поверхностных трещин. Всего было проконтролировано 5020 стыков, из которых 4100 принадлежали элементам заполнения, а 920 — элементам стоек. Визуальный контроль части стыков, швы которых отличались более грубой чешуйчатостью и глубокими межваликовыми западаниями, дублировался методом магнитопорошкового контроля с использованием постоянного магнитного поля с подачей порошка на стык распыленным в виде эмульсии. Одновременно с обследованиями был ужесточен операционный контроль на всех стадиях изготовления и монтажа элементов и узлов ОБ, контроль

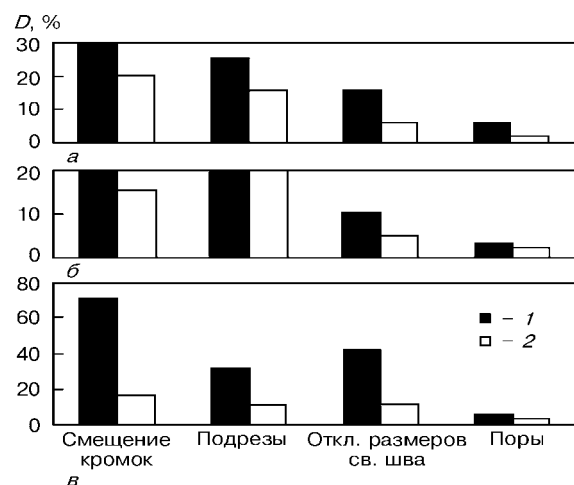


Рис. 1. Дефектность D монтажных сварных стыков ОБ МСП до (1) и после (2) ужесточения контроля качества заготовки сборки и сварки: а — кольцевых стыков элементов заполнения; б — стойки; в — поперечных стоек элементов спускных балок

Характер и вероятность наиболее распространенных дефектов в сварных соединениях

Вид дефекта	Вероятность			
	образования дефекта P_i	отсутствия дефекта P_i^*	образования бездефектного сварного соединения P	образования дефектного сварного соединения P^*
<i>Кольцевые стыки элементов заполнения</i>				
Подрез	0,15	0,85	0,64	0,36
Поры	0,01	0,99	—	—
Недопустимое смещение кромок	0,20	0,80	—	—
Отклонение размеров сварного шва	0,05	0,95	—	—
<i>Кольцевые стыки стоек</i>				
Подрез	0,15	0,85	0,63	0,37
Поры	0,02	0,98	—	—
Недопустимое смещение кромок	0,20	0,80	—	—
Отклонение размеров сварного шва	0,05	0,95	—	—
<i>Поперечные стыки элементов спускных балок</i>				
Подрез	0,10	0,90	0,67	0,33
Поры	0,02	0,98	—	—

P^* определяли исходя из того, что данное событие и появление бездефектного сварного соединения являются парой противоположных событий, сумма вероятностей которых $P + P^* = 1$. Как следует из таблицы, наименее дефектными являются поперечные стыки элементов спускных балок. В целом значения дефектности монтажных стыков трех видов имеют близкие значения, что обусловлено использованием общей технологии их производства.

Известно, что при производстве сварочных работ выполнение всех требований, предъявляемых к технологическому процессу, в большой мере определяет физико-механические свойства готовых сварных соединений, в том числе сопротивляемость металла шва и околошовной зоны возникновению горячих (кристаллизационных) и холодных тре-

качества и подготовки к сварке сварочных электродов, а также уровня подготовки и квалификации сварщиков-монтажников.

Сбор и обработка данных о наиболее распространенных видах дефектов, их характере и повторяемости в сварных монтажных соединениях различных узлов и элементов до и после ужесточения контроля показали результаты, которые представлены на рис. 1. Как видно из него, наиболее распространенными дефектами являются подрезы и смещения кромок. Наблюдается тенденция к снижению числа отдельных видов дефектов после ужесточения контроля.

Используя данные рис. 1, определим вероятность изготовления бездефектного сварного соединения после ужесточения контроля. Соответствующие результаты расчета вероятности отсутствия дефектных сварных монтажных стыков приведены в таблице. Вероятность обнаружения бездефектного сварного соединения P с учетом взаимной независимости появления дефектов различных видов находили перемножением всех значений P_i^* для данного типа соединения. Вероятность обнаружения сварного соединения хотя бы с одним дефектом

сварных монтажных кольцевых стыковых швах не были обнаружены поверхностные трещины, представляющие особую опасность. Сбор максимального числа данных о частоте возможного появления трещин в сварных швах являлся одной из наиболее важных задач проводившихся обследований.

Если условно принять, что трещина была обнаружена при осмотре 5021 стыка, то вероятность ее появления состоит $P_T \approx 0,0002 = 0,02\%$. Полученная вероятность является приближенной. Точное значение будет предельной величиной при стремлении числа испытаний N к бесконечности: $P_T = \lim_{N \rightarrow \infty} K/N$, где K — число стыков с трещинами. Столь малая вероятность появления дефектного стыка дает основание для перехода от сплошного контроля кольцевых монтажных стыков в рассматриваемых конструкциях к выборочному.

Поскольку процесс производства ОБ был установленным и стабильным, для перехода к оценке качества с использованием выборочного контроля необходимо определить план приемочного контроля в соответствии с ГОСТ 18242 «Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку» (аналог международного стандарта ABC-STD-105D).

Устанавливаем следующие характеристики:

- а) тип плана контроля — одноступенчатый;
- б) приемочный уровень качества (число дефектов на 100 единиц продукции) согласно фактическим данным — 0,02 %;
- в) объем партии стыков, представляемой на контроль — 1000 (средний объем контроля металлоконструкции ОБ МСП);
- г) степень контроля — общая II (основная для применения стандарта).

Тогда объем контрольной выборки, отобранной случайным образом, оставляет $n = 800$ кольцевых стыков;

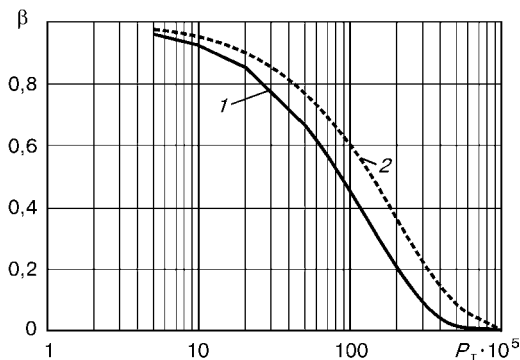


Рис. 2. Оперативная характеристика плана контроля: 1 — $n = 800$; $c_1 = 0$; $c_2 = 1$; 2 — $n = 500$; $c_1 = 0$; $c_2 = 1$

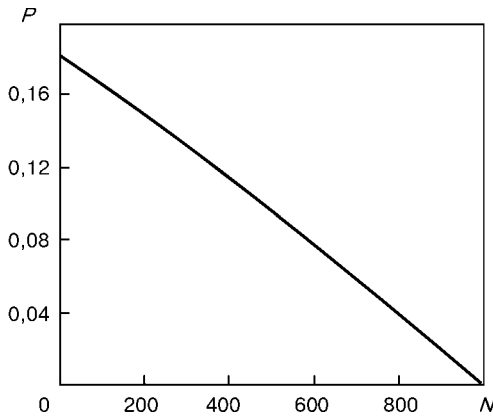


Рис. 3. Зависимость риска пропуска одного и более дефектного стыка P в ОБ МСП от объема N контрольной выборки; общее число стыков в блоке принято равным 1000; $P(N) = 1 - 0,9998^{1000 - N}$

приемочное число $c_1 = 0$, браковочное — $c_2 = 1$. Если количество дефектных стыков в выборке равно 0, то вся партия считается имеющей удовлетворительное качество. В противном случае она бракуется, что может означать, например, проведение сплошного контроля оставшейся части партии. Следует отметить, что выбранный план контроля (объем выборки) по ГОСТ 18242 соответствует приемочному уровню качества 0,015 % (ввиду отсутствия в нем плана для приемочного уровня качества 0,02 %) и является консервативным по отношению к существующему производственному процессу.

На рис. 2 представлена оперативная характеристика плана контроля ($n = 800, c_1 = 0, c_2 = 1$), которая определяет вероятность принятия партии β как функцию среднего значения P дефектных стыков в генеральной совокупности. Для построения оперативной характеристики вычислялось значение вероятности $P(d)$ получения количества дефектных стыков в выборке в зависимости от P_T — средней доли дефектных стыков, когда их число в выборке $d = 0$. Расчет производился на основе биномиального распределения с использованием зависимости

$$P(d) = \binom{n}{d} P_T^d Q^{n-d}, \quad (1)$$

где Q — средняя доля годных стыков; n — объем выборки.

При этом $P + Q = 1$. Отсюда следует:

$$P(0) = \binom{n}{0} P_T^0 Q^{n-0} = \frac{n!}{0!(n-0)!} Q^n = (1 - P_T)^n. \quad (2)$$

Согласно рис. 2 принятый план контроля обеспечивает производству гарантию 85,2 % против браковки партии (риск изготовителя 14,8 %), когда производственный процесс протекает стабильно и генеральная совокупность имеет не более 0,02 % дефектных стыков.

Определим 95 %-ные доверительные пределы, когда случайная выборка из 800 стыков не содержит дефектных стыков. Очевидно, что нижним доверительным пределом в данном случае будет значение $P = 0$, а верхний определится из условия $P(d \geq 1) = 0,95$ или $P(0) = 0,05$. Тогда с учетом формулы (2) $P(0) = (1 - P_T)^{800}$, откуда $P_T = 0,0037$, т. е. если выборка из 800 стыков не содержит дефектных стыков с трещинами, то с вероятностью 95 % можно утверждать, что среднее значение числа дефектных стыков P_T в генеральной совокупности будет лежать в пределах $0 \leq P_T \leq 0,0037$.

Если принять план контроля при $n = 500, c_1 = 0, c_2 = 1$, то гарантия приемки партии повысится до 90,5 %. Риск изготовителя при этом соответственно снизится до 9,5 %. На рис. 2 приведена оперативная характеристика плана контроля при $n = 500$.

В случае принятия плана контроля при $n = 500, c_1 = 0, c_2 = 1$ доверительный интервал расширяется до пределов $0 \leq P_T \leq 0,0060$ и, следовательно, возрастает риск потребителя, заключающийся в приемке плохой партии. С точки зрения потребителя выгоднее использовать выборки с большим объемом, так как в этом случае уменьшается риск приема плохой партии.

Таким образом, оценка плана выборочного контроля должна производиться изготовителем и потребителем на основе анализа оперативной характеристики плана и принятия компромиссного решения относительно уровня существующего риска изготовителя и потребителя. При сплошном контроле риск снижается до нуля (рис. 3), однако сплошной контроль не всегда экономически оправдан и технически возможен.

ВЫВОДЫ

1. Обоснована возможность перехода на выборочный контроль качества сварных соединений при изготовлении ОБ МСП.
2. Показано, что наиболее часто встречающимися дефектами монтажных кольцевых сварных соединений указанных конструкций являются смещения кромок и подрезы.
3. На примере расчета оперативной характеристики плана контроля обнаружения трещины выполнен анализ риска изготовителя и потребителя сварных конструкций ОБ МСП.