

**Рис. 8. Индикации, выявленные в процессе магнитолюминесцентного контроля**

МПК проводили с использованием люминесцентных магнитных порошков, так как применение черных порошков потребовало бы дополнительной зачистки поверхности зубьев до металлического блеска, что является в данном случае очень трудоемкой операцией. Индикации, появляющиеся по результатам МПК, показаны на рис. 8.

По результатам диагностики трещины в виде сетки были выявлены на 80 % зубьев одной из четвертей зубчатого венца.

При этом результаты УК были полностью подтверждены МПК. В результате был сделан вывод о том, что эксплуатация зубчатого венца в обратную сторону невозможна. Вероятно (на это указывает характер распределения дефектов), образование трещин в данном случае связано с эксцентриситетом корпуса вращающейся печи, на котором находился зубчатый венец, что привело к дополнительным нагрузкам на зубья. Для своевременного обнаружения подобных дефектов зацепления рекомендуется периодически проводить вибродиагностику зубчатого зацепления.

### Список литературы

1. [www.sinocrusher.ru](http://www.sinocrusher.ru) (Раздел «Вращающиеся печи»).
2. Иванов М. Н. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. пособ. для вузов. М.: Высшая школа, 1976. 551 с.
3. [www.russian.metalock.de](http://www.russian.metalock.de) (Раздел «Ремонт зубчатого колеса диаметром 8000 мм на цементном заводе»).
4. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов: Справочник / Пер. с нем. М.: Металлургия, 1991. 752 с.
5. Козрцитивная сила термоупрочненной стали 14X17H2 послековки и циклического нагружения / Безлюдько Г. Я., Елкина Е. И., Соломаха Р. Н., Попов Б. Е. ([www.snr-ndt.com](http://www.snr-ndt.com)).



И. В. Смирнов

В. П. Сидоров

А. И. Захаренко

УДК 621.791.01

**И. В. Смирнов, канд. техн. наук,  
В. П. Сидоров, д-р техн. наук,  
А. И. Захаренко, инж.**

**Тольяттинский государственный университет**  
[anna.211@mail.ru](mailto:anna.211@mail.ru)

## К ВОПРОСУ О РЕГЛАМЕНТАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ПОДГОТОВКИ И СБОРКИ КРОМОК ОДНОСТОРОННИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОД СВАРКУ<sup>1</sup>

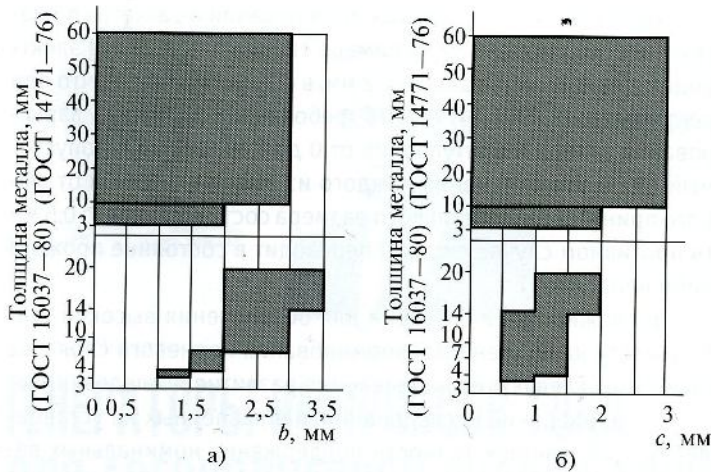
*Проведен анализ требований нормативной документации к точности подготовки и сборки кромок под сварку для односторонних соединений. Приведены результаты экспериментальных исследований, заключающихся в проверке возможности получения качественного корневого слоя шва при изменении зазора и притупления кромок в стыке в пределах, регламентируемых ГОСТ. Установлено, что в регламентируемых нормативных документах диапазоны параметров по подготовке и сборке кромок под сварку можно рассматривать как диапазон допустимых значений номинального размера, выставляемого в каждом отдельном стыке.*

**Ключевые слова:** сварка, параметры подготовки и сборки кромок под сварку, корень шва.

Односторонние сварные соединения отличаются высоким уровнем нестабильности качества формирования корневого слоя

шва, основной причиной которого является значительная зависимость качества сварки от параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка, что приводит к значительным отклонениям размеров и формы корневого слоя шва от проектных, а также к образованию непроваров, провисов, прожогов. Данную проблему частично можно решить повышением точнос-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 14.740.11.0487 по мероприятию 1.3.2 «Проведение научных исследований целевыми аспирантами» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013.



**Рис. 1. Зависимость величины зазора (а) и притупления кромки (б) соединения от толщины металла по требованиям ГОСТов (для соединения типа С17)**

ти подготовки и сборки кромок под сварку, однако положительный результат ограничен точностью используемого проката, наличием сварочных деформаций и рядом других факторов. Кроме того, это приводит к значительному удорожанию заготовительного оборудования и большим временным затратам на подготовку и сборку кромок. Чтобы подобрать оптимальное по цене и производительности заготовительное и сборочное оборудование, нужно располагать точными данными о допустимых отклонениях параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка.

Точность подготовки и сборки деталей под сварку регламентируется требованиями нормативной документации (НД) (ГОСТ, отраслевой нормативной документацией, техническими условиями (ТУ) на изготовление, техническими регламентами и др.).

В качестве примера рассмотрим требования к точности параметров подготовки и сборки кромок под сварку, регламентируемые ГОСТ 14771—76 и ГОСТ 16037—80. Графические изображения допустимых диапазонов изменения ширины зазора и величины притупления кромки приведены на рис. 1. Видно, что требования к величине параметров подготовки и сборки кромок под сварку регламентируются ГОСТами в широких диапазонах, затрудняющих получение сварных соединений (особенно корня шва) одинакового уровня качества при неизменном режиме сварки.

При этом в ГОСТах и отраслевой НД совершенно не уточняется, как трактовать указанные в них требования к величине параметров подготовки и сборки под сварку: как требования к точности поддержания номинальных параметров подготовки и сборки по длине стыка (т. е. допустимые отклонения параметров по длине стыка) либо как допустимый диапазон номинальных размеров параметров, выставляемых в каждом отдельном стыке. Если воспринимать требования в НД как допустимый диапазон номинальных размеров, то остается неясным вопрос, с какой точностью поддерживать этот номинальный размер по длине стыка.

В практике сварочного производства, как правило, требования НД воспринимаются как требования к точности поддер-

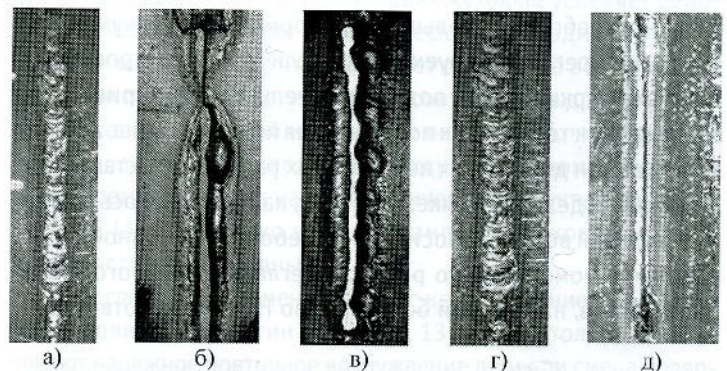
жания номинальных размеров параметров подготовки и сборки по длине стыка. При принятии такого подхода предполагается, что если стык по длине выполнять на неизменном режиме сварки, способном обеспечить качественное формирование корня шва при номинальных значениях параметров подготовки и сборки, то при наличии любых возмущений сборочных параметров по длине, в пределах регламентируемых НД, будет получаться стабильно качественный корневой слой шва (т. е. корневой слой шва без непроваров и прожогов).

Для подтверждения правомерности такого подхода провели эксперимент, заключающийся в проверке возможности получения стабильно качественного корневого слоя шва при постоянстве параметров режима сварки и изменении зазора и притупления в стыке в пределах, регламентируемых ГОСТ. Эксперимент проводили на плоских образцах из стали 20 размером  $100 \times 50 \times 8$  мм, с V-образной разделкой кромок типа С17 (ГОСТ 14771—76). При исследовании применяли процесс автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом с присадочной проволокой. В качестве сварочных материалов использовали вольфрамовый электрод ВЛ диаметром 3 мм, сварочную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм и аргон высшего сорта (ГОСТ 10157—79). Сварку выполняли с применением источника питания Migatronіc BDE-550.

При проведении первого эксперимента для сварки подготовили образец с номинальными размерами притупления кромок и зазора в стыке (ГОСТ 14771—76), т. е. зазор в стыке и притупление кромок составляли 1 мм, угол разделки кромок равнялся  $30^\circ$ . В процессе проведения эксперимента подобрали параметры режима сварки, обеспечивавшие качественное формирование корневого слоя шва (рис. 2, а). Сила тока  $I_d = 150$  А; скорость сварки  $v_{св} = 0,07$  см/с; скорость подачи проволоки  $v_{п.п} = 0,294$  см/с; расход аргона  $Q = 8$  л/мин. Полученные режимы сварки оставались постоянными при проведении последующих экспериментов.

В дальнейшем, оставляя неизменными параметры режима сварки, изменяли зазор  $b$  и притупление  $c$  по длине стыка, выполняя полный двухфакторный эксперимент. Исходные данные к эксперименту и его план-матрица приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

При проведении экспериментов согласно плану (см. табл. 2) путем визуально-измерительного контроля оценивали качество



**Рис. 2. Внешний вид обратного валика корня шва:**  
а —  $c = 1$  мм,  $b = 1$  мм (номинальные размеры); б —  $c = 0$ ,  $b = 0$ ;  
в —  $c = 0$ ,  $b = 2$  мм; г —  $c = 2$ ,  $b = 2$  мм; д —  $c = 2$ ,  $b = 0$

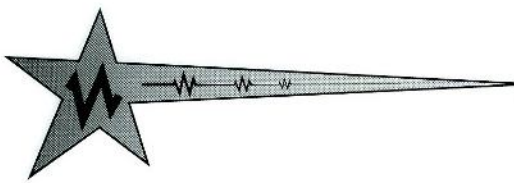


Таблица 1

Кодовое обозначение фактора	Уровни варьирования			Шаг варьирования
	-I	0	+I	
<i>c</i> , мм	0	1	2	±1
<i>b</i> , мм	0	1	2	±1

Таблица 2

Номер эксперимента	Значение фактора, мм	
	<i>c</i>	<i>b</i>
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	+1
4	+1	-1

Таблица 3

Номер эксперимента	<i>c</i> , мм	<i>b</i> , мм	Качество формирования корневого слоя шва
1	0	0	Прожог (см. рис. 3, б)
2	0	2	Прожог (см. рис. 3, в)
3	2	2	Провар шириной 6 мм (см. рис. 3, з)
4	2	0	Непровар (см. рис. 3, д)

формирования корневого слоя шва при данном сочетании размеров зазора и притупления в стыке при его сварке на режимах, соответствующих режимам сварки стыка с номинальными размерами зазора и притупления.

Результаты экспериментов приведены в табл. 3 (см. рис. 2). Установлено, что в трех экспериментах из четырех (т. е. в 75 %) качество корневого слоя шва получилось неудовлетворительным. Результаты проведенного эксперимента наглядно показывают, что требования большинства нормативных документов в отношении регламентируемых ими величин параметров подготовки и сборки кромок под сварку нельзя рассматривать как требования к точности их поддержания по длине стыка, а только как диапазон допустимых номинальных размеров, выставляемых в каждом отдельном стыке. При этом, как указывалось, возникает важный вопрос относительно требований к точности поддержания номинального размера, регламентируемого НД, по длине стыка, на который большинство НД не дают ответа.

Путем экспериментальных исследований и расчетов по математической модели<sup>1</sup>, на примере сварки плавящимся электродом диаметром *d*, равным 1,2 мм, в CO<sub>2</sub>, установлено, что при регламентации ГОСТ 14771—76 требований к диапазону варьирования зазора и притупления от 0 до 2 мм реально допустимый диапазон изменения каждого из этих параметров от любого принятого номинального размера составляет всего 0,5 мм (в противном случае система переходит в состояние прожога либо непровара).

В сложившейся ситуации для обеспечения высокой стабильности качественного формирования корневого слоя шва возможны следующие направления развития исследований:

— проведение исследований, направленных на установление требований к точности поддержания номинальных величин параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка;

— разработка способов сварки и технологических процессов, отличающихся низкой чувствительностью к возмущениям в виде дефектов подготовки и сборки кромок под сварку на уровне, позволяющем применять к этим процессам требования существующей НД, трактуемых как требования к точности поддержания номинальных величин параметров подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка.

Реализация первого направления исследований направлена на развитие подхода по точности подготовки и сборки кромок под сварку по длине стыка и требует применения в производстве более точного, как правило, менее производительного, и более дорогостоящего заготовительного и сборочного оборудования.

Весьма перспективным является проведение исследований второго направления, поскольку не требует существенного повышения точности заготовительного и сборочного оборудования, как в первом направлении, и наличия дорогостоящих систем слежения и управления, как в существующих автоматических системах слежения за стыком с обратными связями.

## Выводы

1. Требования большинства нормативных документов в отношении регламентируемых ими размеров параметров подготовки и сборки кромок под сварку нельзя рассматривать как требования к точности их поддержания по длине стыка. Регламентируемые НД диапазоны параметров можно рассматривать как диапазон допустимых значений номинального размера, выставляемого в каждом отдельном стыке.

2. Наиболее перспективным направлением обеспечения высокой стабильности качественного формирования корневого слоя шва в односторонних соединениях является разработка способов сварки и технологических процессов, отличающихся низкой чувствительностью к возмущениям в виде дефектов подготовки и сборки кромок под сварку.

<sup>1</sup> Смирнов И. В. Формирование корневого слоя шва при односторонней сварке стальных конструкций. Дис. ... канд. техн. наук. Тольятти: ТГУ, 2005. 169 с.