

УДК 621.791.85.011:546/56:669

**Кабацкий В. И., Кабацкий А. В.**

## **РАЗРАБОТКА КАЧЕСТВЕННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ОТРЫВОВ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ**

Задача исследования природы отрывов и повышения стойкости против их образования при использовании в процессах сварки и наплавки с использованием аустенитного наплавленного металла вызывает необходимость оценки технологической прочности зоны сплавления [1, 2]. Такая оценка приобретает большое значение и в связи с обеспечением достаточной сопротивляемости действию концентрации напряжений при усталости, ударе и пр. Вместе с тем должны удовлетворяться и другие требования, предъявляемые к сварным соединениям конструкций. Достоверная оценка стойкости сварных соединений против образования отрывов представляет серьезную проблему.

Все существующие в настоящее время методики качественной оценки стойкости против образования холодных трещин [3, 4 и др.] основаны на создании особо жестких условий сварки (либо вследствие повышенной жесткости проб, либо вследствие создания искусственных концентраторов напряжений), приводящих при низкой сопротивляемости металла замедленному разрешению к возникновению холодных трещин. На сварке различного типа жестких проб основаны как лабораторные, так и производственные методики испытаний.

Качественная оценка прочности зоны сплавления является предварительной и может быть весьма полезной при обработке новых сварочных материалов. В связи с этим методика качественной оценки должна отличаться, прежде всего, экспрессностью и минимальной трудоемкостью. Такая методика должна по возможности максимально воспроизводить условия сварки реального сварного соединения. Кроме того, она должна обеспечить возможность достижения в зоне сплавления напряженного состояния, обуславливающего гарантированное разрушение образцов по этой зоне.

Целью работы является разработка качественной методики оценки сопротивляемости образованию отрывов для сварных соединений с аустенитным металлом шва.

На практике для оценки стойкости соединений против образования отрывов широкое распространение получили различного типа производственные методики [3], заключающиеся в сварке жестких щитов, макетов и т. д. Опробование данных методик показало, что они обладают достаточно высокой чувствительностью и приводят к появлению четко выраженных отрывов в зоне сплавления. При этом для выявления трещин необходимо обязательное изготовление шлифов, т. к. трещины-отрывы носят локальный характер и зачастую не выходят на поверхность металла. При всей своей достоверности указанные методики обладают двумя существенными недостатками. Это, во-первых, их значительная трудоемкость и большой расход сварочных материалов при испытании и, во-вторых, невозможность получения с их помощью быстрой сравнительной оценки сварочных материалов и, следовательно, невозможность без лишних затрат времени и средств сделать вывод о целесообразности их дальнейшего исследования. Поэтому на стадии предварительной оценки и накопления статистических данных по отрывам использование этих методик крайне нерационально. Исходя из этого, была поставлена задача – создать методику, лишенную указанных недостатков и позволяющую оценивать широкий диапазон аустенитных сварочных материалов.

В результате подробного анализа различных принципов создания концентраций напряжений, применяемых в существующих методиках испытаний, были сделаны следующие выводы:

1. В основе методики должен лежать принцип создания искусственного концентратора напряжений.

2. Концентратор напряжений должен носить чисто локальный характер и создаваться всегда в определенном месте зоны сплавления.

3. Для гарантированного получения трещин-отрывов в зоне концентрации напряжений должны возникать максимальные растягивающие напряжения, действующие нормально границе раздела «шов – основной металл».

4. Место наибольшей вероятности зарождения трещины (зона действия концентратора напряжений) должно быть доступно визуальному осмотру.

Обеспечить требуемую локальную концентрацию напряжений в строго определенном месте зоны сплавления оказалось довольно сложно. В ходе многочисленных экспериментов по опробованию различных вариантов эту задачу удалось решить путем перевода валика, наплавленного в корень разделки, выполняемой на толстой цельной плите, на одну из ее сторон с полным отводом от второй стороны. При этом в месте изгиба валика получается явно выраженный непровар по границе сплавления наплавленного металла со стороной разделки, который играет роль надреза. В результате в этом месте возникает довольно значительный концентратор напряжений, способствующий отрыву наплавленного металла по зоне сплавления. Уже предварительные опыты показали, что при выдержке постоянства условий испытаний результаты получаются довольно стабильными.

На основании изложенного в основу методики был положен принцип изменения направления наплавки одиночного валика. Сущность предлагаемой методики состоит в следующем.

На плите большой толщины (более 50 мм) размерами  $L$ ,  $B$  и  $H$  выполняется разделка с углом раскрытия  $\alpha = 50 \dots 60^\circ$  и глубиной  $h$ . Сварочной проволокой испытываемого состава в корень разделки любым механизированным способом наплавляется одиночный валик на постоянном, строго выдерживаемом режиме. На определенном расстоянии  $L$  от начала наплавки валик отводится от одной из сторон разделки и переводится полностью на вторую ее сторону под определенным углом  $\beta$  к направлению наплавки. Это может осуществляться любым приемлемым способом, например, по копиру. Валик доводится до выхода на кромку разделки и обрывается.

О величине сопротивляемости отрывам судят по наличию или отсутствию трещины в образце после его вылежки в течение 24 часов.

В ходе обработки методики было установлено, что для расширения диапазона испытываемых аустенитных сварочных материалов, а равно и повышения достоверности данной методики, необходимо осуществление наплавки не одиночного валика, а двухслойной наплавки с подворотом первого валика. Наплавка второго слоя производится в случае, если после 24-х часовой вылежки образца трещина не образовалась. При этом наплавка второго слоя должна быть произведена таким образом, чтобы место наиболее вероятного начала трещины оставалось открытым для визуального осмотра. Для этого наплавку начинают на расстоянии 15–20 мм от места перевода первого слоя на сторону разделки и ведут в обратном направлении. В результате дополнительного действия термического цикла сварки ужесточается напряженное состояние в зоне сплавления и, таким образом, повышается вероятность зарождения отрыва. Начинающийся отрыв можно наблюдать в этом случае обычно сразу после охлаждения образца до комнатной температуры. Схема испытания и образец, испытанный по разработанной методике представлены на рис. 1 и 2.

На предлагаемую методику выдано авторское свидетельство [5]. Основным достоинством методики является ее простота и экспрессность осуществления сравнительной качественной оценки при значительном снижении трудоемкости испытаний и расхода сварочных

материалов. Экспрессность методики и ее небольшая трудоемкость определяется, прежде всего, тем, что в данном случае концентратор напряжений носит чисто локальный характер и создается в доступном визуальному осмотру месте: в вершине угла, образованного изгибом валика при переводе его на сторону разделки. Поэтому трещину, берущую начало в месте концентрации напряжений и распространяющуюся от поверхности шва по зоне сплавления, можно наблюдать визуально и, таким образом, отпадает необходимость изготовления и исследования шлифов.

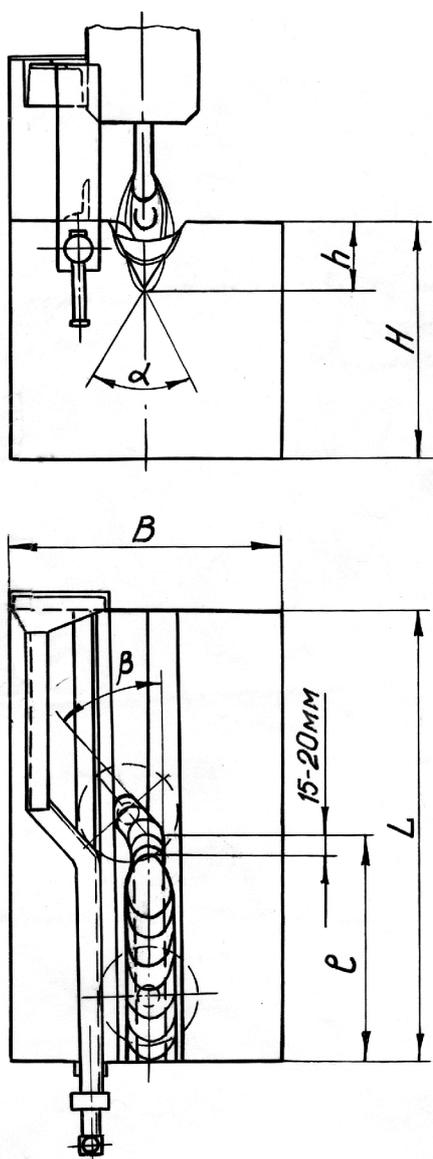


Рис. 1. Схема испытания по разработанной методике

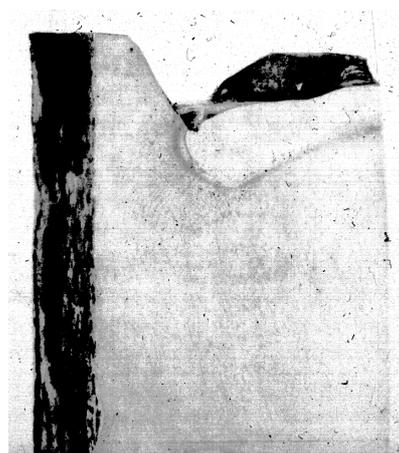


Рис. 2. Образец, прошедший испытания по разработанной методике

Данная методика прошла всестороннюю лабораторную проверку и оказалась весьма полезной при предварительной оценке ряда аустенитных сварочных проволок. В качестве жесткой пробы при испытаниях использовались плиты из стали 42 см размером  $L = 300$  мм;  $B = 100$  мм;  $H = 100$  мм, в которых выполнялась разделка с углом раскрытия  $\alpha = 60^\circ$  и глубиной  $h = 25$  мм. Наплавка первого валика производилась на длине  $l = 150$  мм при строго постоянном режиме:  $I = 550$  А;  $U_d = 30$  В;  $V_{св.} = 12$  м/час. Наплавка велась проволоками  $\varnothing 5$  мм

с применением керамических флюсов КГФ-78 и КМ-78А. Перевод валика на сторону разделки производился по копиру, закрепляемому на плите с помощью струбцины. При этом угол изгиба валика  $\beta$  составляет около  $45^\circ$ .

В табл. 1. приведены марки некоторых из сварочных проволок, подвергавшихся испытаниям, и результаты испытаний по разработанной методике. В этой же таблице для сравнения приведены результаты испытаний по методу многоваликовой пробы. Как видно из табл. 1, обе методики показывают большую сходимость результатов.

Таблица 1

Результаты испытаний на сопротивляемость отрывам ряда аустенитных сварочных проволок, проведенных с помощью разработанной методики и многоваликовой пробы

Марка сварочной проволоки	Запас аустенитности по Шеффлеру и по структурной диаграмме Fe-C-Cr-Mn	Наличие трещин при испытании по предлагаемой методике	Наличие трещин при испытании многоваликовой пробы
08X20H11Г6MC2	29	Нет	–
08X10Г32	37	Нет	Нет
08X21H10Г6	23	Нет	Нет
08X19H11МФ2	20	Есть	Есть
04X19H11М3	24	Нет	–
08X18Г14Н4	25	Есть	–
08X16Г18АН	38	Есть	Есть
08X16Г12АН7	25	Есть	–
35X16Г12Н7М	30	Есть	Есть
08Г35Ю6М2	–	Есть	–

## ВЫВОДЫ

Осуществлена разработка качественной методики оценки сопротивляемости образованию отрывов для сварных соединений с аустенитным металлом шва. Методика основана на переводе валика, наплавленного в корень разделки плиты, на одну из ее сторон и создании концентратора напряжений, что способствует отрыву наплавленного металла по зоне сплавления.

Основным достоинством методики является ее простота и экспрессность при снижении трудоемкости испытаний и расхода сварочных материалов.

Разработанная методика прошла всестороннюю лабораторную проверку при оценке на сопротивляемость отрывам ряда аустенитных сварочных проволок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кабацкий В. И. Холодные трещины в зоне сплавления сварных соединений с аустенитными швами / В. И. Кабацкий // Вестник Приазовского государственного технического университета. – Мариуполь, 1998. – Вып. 6. – С. 260–267.
2. Структура и свойства зоны сплавления сварных соединений сталей перлитного класса с аустенитными швами / Кабацкий В. И. и др. // Автоматическая сварка. – 1982. – № 5. – С. 13–15.
3. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей / Э. Л. Макаров. – М. : Машиностроение, 1981. – 247 с.
4. Кулик В. М. Новая методика оценки стойкости сварных соединений закаливающихся сталей против образования холодных трещин / В. М. Кулик, М. М. Савицкий // Автоматическая сварка. – 2007. – № 1. – С. 11–17.
5. А. с. № 620865 СССР. Способ испытания сварных соединений на сопротивляемость образованию холодных трещин / В.М. Кирьяков, В. И. Кабацкий – Опубл. 27.04.78.