

УДК 699.017.07

Чигарев В.В.¹, Коваленко И.В.²

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ДВУХОСНОМ ИЗГИБЕ

Приведена усовершенствованная методика испытания сварных образцов биметаллов, при применении к ним усилия двухосного изгиба. Предложены элементы доработки конструкции, и приёмы эксплуатации установки УДИ – 11. Приведены схемы распространения напряжений и усилий в процессе испытаний.

Постоянное повышение требований к качеству продукции машиностроения, и выполнению ремонтов металлургических агрегатов с применением сварки биметаллов, обуславливают появление новых методов контроля их качества, и состоянием механических свойств до начала процесса эксплуатации. В связи с этим, разработки в указанном направлении являются весьма актуальными [1].

Проведение испытаний по определению состояния и качества сварных образцов производится на установках и стендах выпущенных во второй половине прошлого века. В связи с этим период эксплуатации оборудования данного профиля между диагностикой и ремонтом неуклонно сокращается. Уменьшить или частично устранить поломки и экстренные неполадки установок, возможно за счет совершенствования методов испытаний, и модернизации конструкций оборудования данного профиля,

Новым направлением в этой области является применение электронных контролеров, пневматической аппаратуры, и системных датчиков позволяющих проводить мониторинг состояния испытательного оборудования и исследуемого образца [2].

Целью данной работы является усовершенствование методики испытания биметаллических образцов при двухосном изгибе, и модернизация конструкции установки УДИ – 11, являющейся базовой для испытаний.

Статические испытания крупногабаритных образцов в условиях двухосного изгиба производилась на установке УДИ-11. Установка позволяет производить испытания образцов диаметром 510 мм, толщиной 20 – 30 мм при частоте циклов нагружения от 0,2 до 20/мин. Конструкция установки [3] предусматривает шарнирное закрепление образца, в результате чего при нагружении гидростатическим давлением возникает двухосный изгиб, и значительная часть внешней выпуклой образца испытывает равномерное растяжение с равными компонентами.

Конструкция одного блока многопозиционной установки показана на рис. 1. Образец закрепляется между двумя плитами 1 и 2. Верхняя плита 1 является матрицей с диаметром опорного кольца 495 мм. Между собой плиты соединяются 36-ю болтами, равномерно расположенными по окружности в два ряда. Шарнирность закрепления образца обеспечивается упором 5, гарантирующими зазор между плитами на 1 – 1,5 мм больший, чем толщина образца. При загрузке образца подъем верхней плиты осуществляется с помощью ручного насоса 12. В поднятом положении верхняя плита фиксируется чекой.

Под нижней плитой расположен поддон 10, масляный бак 8 с теплообменником для охлаждения масла и фильтром, гидроаккумулятор 15 и насосная станция 6 с демпфером. Конструкция одного блока многопозиционной установки показана на рис. 1.

В ходе исследований были выявлены неудобства при непосредственной эксплуатации машины, и отказа ее элементов входе испытаний. А именно: большой объем ручной работы, при перемещении образцов, при замене старых элементов и частей механического привода стенда. Были проведены усовершенствования конструкции, и системы управления установкой, в результате которых были смонтированы на опорных стойках электрогидроклапаны и кнопки Пуск–Старт сброса давления.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, аспирант

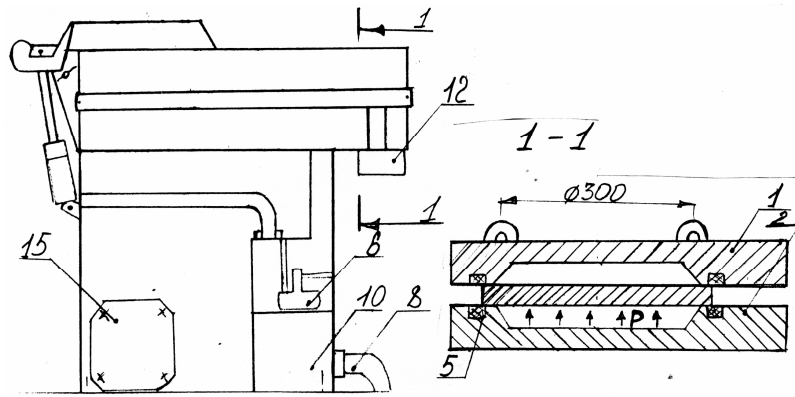


Рис. 1 – Установка для испытания в условиях двухосного изгиба сварного образца

Новая электрогидросхема пульта управления позволила значительно упростить конструкцию блока, сократить его размеры и кроме того, обеспечить удобства наблюдения за процессом разрушения.

Заданный цикл нагружения образца поддерживается постоянным в процессе испытания гидросистемой установки и пультом управления.

Электрогидросхема пульта управления позволяет осуществлять нагружение с заданной частотой в указанных пределах и выдержкой образца под максимальной нагрузкой от 0 до 5 минут.

Управление гидросистемой осуществляется автоматически по сигналу электроконтактного манометра. Пульт управления смонтирован в виде щита со съемными блоками.

Перед нагружением производили ориентировочный, расчет по предлагаемым деформаций на поверхности центральной части образца при заданном уровне напряжений, исходя из закона Гунна [4] для плоского напряженного состояния:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \mu \sigma_2), \quad (1)$$

где ε – относительная деформация;
 σ – рабочие напряжения кг/мм²;
 E – модуль упругости, кг/мм²;
 μ – коэффициент Пуансона.

При выбранной схеме нагружения на установке УДИ-11 в центральной части образца деформации $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, следовательно:

$$\varepsilon = \frac{\sigma(1-\mu)}{E}, \quad (2)$$

Требуемое давление под образцом ориентировочно рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{8\sigma h^2}{3(3+\mu)b^2}, \quad (3)$$

где h – толщина образца, см;
 b – радиус опоры, см.

Перед установкой рабочего давления производится корректировка давления по расчетным деформациям. В случае, если при нагружении образца расчетным давлением, полученная деформация не соответствует расчетной величине, давление подбирается таким образом, чтобы деформация на поверхности центральной части образца соответствовала расчетной. На образцах с гладкой поверхностью расчетные параметры, обычно, совпадают с полученными при эксперименте. Такая методика расчета справедлива для однородного материала.

При испытаниях плакированного металла расчетное определение деформаций и давления под образцом осложняется тем, что отдельные слои металла могут отличаться между собой по механическим характеристикам. Поэтому, амплитуда рабочего давления под образцом определялась экспериментально по результатам тензометрирования, задаваясь величиной деформаций наружной поверхности образца в процентном отношении к деформации предела текучести ос-

нового слоя композиционного материала [5].

$$\varepsilon = B\varepsilon_{02}(1 - \mu), \quad (4)$$

где B – коэффициент уровня нагрузки (для большей части образцов $B = 0,7$).

В тех случаях, когда металл плакирующего слоя имеет сравнительно низкий предел текучести ($\varepsilon_{02\text{пл}} < \varepsilon_{02\text{осн}}$) первое нагружение вызывает появление пластических деформаций, наблюдается существенное изменение условий последующего нагружения.

Определение величины деформации производили с помощью тензодатчиков сопротивления с базой 10 мм и рычажного тензомера Гугенбергера [5] тензодатчики наклеивали на предварительно отшлифованный участок поверхности образца. Кроме тензодатчиков для дублирования их показаний параллельно одному из них, находящемуся в центральной части образца устанавливали рычажный тензомер. Дополнительно к измерениям распределения деформаций определяли максимальный прогиб образца в процессе циклического нагружения с помощью индикатора, закрепленного на опорной скобе.

При выборе рабочей нагрузки [6] на сварной образец со стыковым швом исходили из тех соображений, что в крупногабаритных конструкциях влияние жесткости, создаваемой усилием шва не велико и в расчетах не учитывается. Поэтому требуемое давление подсчитывали как в случае испытания пластины основного металла без шва для $\sigma_0 = 0,7\sigma_{02}$. В то же время представляет большой интерес определение действительных величин максимальных деформаций и влияние жесткости шва на распределение деформаций в центральной части образца.

С этой целью было выполнено тензометрирование сварных образцов с помощью рычажного тензомера Гугенбергера с базой 20 мм и тензодатчиком сопротивления с базой 10 мм сопротивлением ПО ом. Тензодатчики сопротивления наклеивались на шов и на основной металл в направлении радиуса диска, расположенного перпендикулярно шву. Измерение деформаций производили во взаимно перпендикулярных направлениях.

На рис. 2. показано типичное распределение продольных $\sigma_{\text{лд}}$ и поперечных $\sigma_{\text{п}}$ напряжений на поверхности сварного соединения, откуда видно, что по мере удаления от центра шва в перпендикулярном к нему направлении наблюдается снижение величины продольных напряжений.

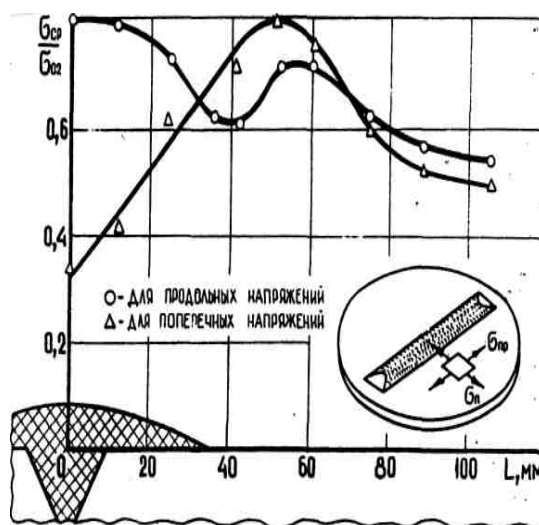


Рис. 2 – Схема распределения продольных и поперечных напряжений на поверхности сварного соединения

При этом величина напряжений вначале увеличивается, достигая максимального значения в точке, удаленной от линии сплавления на расстояние 10 – 15 мм и затем снижается аналогично тому, как это имеет место в пластине без шва. При этом вследствие влияния жесткости шва величина максимальных напряжений на $5 \div 7\%$ меньше, чем на образцах из основного металла, нагруженных таким же давлением. Особенностью распределения напряжений в сварном соединении при двухосном изгибе по сравнению с растяжением является то, что, несмотря на увеличенное сечение в месте шва, продольные напряжения на поверхности последнего имеют более высокое значение, чем на поверхности основного металла.

В процессе испытания поверхность образца контролировалась визуально с использова-

нием 8-ми кратной лупы через 300 – 500 циклов нагружения. Раствор NaCl заменялся свежим при каждом осмотре образца, но не реже 1 – 2-х раз в смену. При длительных перерывах в работе (более 3 – 4-х часов) раствор удаляли и поверхность образца протирали ветошью.

В результате испытаний был проведен анализ кинетики разрушения образцов, который позволил выделить основные этапы развития:

- I – появление трещины на дне искусственного концентратора или по линии сплавления сварного соединения;
- II – выход трещины за пределы искусственного концентратора;
- III – появление на поверхности образца трещин, не связанных с искусственным концентратором напряжений или сварным швом;
- IV – нарушение герметичности образца, т.е. пересечение трещиной образца по толщине.

Анализ кинетики разрушений и оценка результатов испытаний позволило определить количество циклов нагружения до начала соответствующего этапа развития разрушения. Таким образом, первый этап оценивает чувствительность металла к концентрации напряжений при малоцикловом нагружении в коррозионной среде. Эта оценка не зависит от присутствия естественных дефектов на поверхности образца и, следовательно, характеризует свойства металла в данных условиях испытания. Для сварных соединений число циклов нагружения до появления трещины является характеристикой сопротивляемости сварного соединения возникновению разрушения. Начало второго этапа используется в качестве исходной точки при построении кинетической кривой, т.е. зависимости длины трещины от числа погружений. Такая кривая характеризует скорость развития разрушения. Было бы неверно начинать построение кривой с момента зарождения трещины, поскольку на дне концентратора она развивается быстрее, чем после выхода за его пределы. Это, по-видимому, связано с большой стесненностью развития деформаций металла на дне концентратора.

Третий этап является коррозионно-усталостной характеристикой листового проката, зависящий как от свойства металла, так и от свойства состояния поверхности.

Четвертый этап, в отличие от первых трех, характеризует не разрушение металла, а разрушение конструкции (т.е. нарушение ее эксплуатационных свойств). Такая методика оценки результатов испытаний позволяет проследить влияние исследуемых факторов на различные этапы возникновения и развития разрушения.

Выводы

1. Установлено, что повторно-статические испытания крупногабаритных образцов в условиях двухосного изгиба являются эффективным методом оценки качества свойств основного металла и металла шва в промышленных условиях, при необходимости в краткие сроки определить состояние сварных образцов.
2. Предложенные элементы доработки конструкции испытательной установки, увеличивают ресурс ее работы в 1,5 раза.
3. Приведены схемы распространения напряжений и усилий в процессе испытаний, позволяющие прогнозировать дальнейшее состояние сварного соединения и ресурс его работоспособности.

Перечень ссылок

1. *Бернадский В.Н.* Роботизация – современный путь автоматизации сварочного производства / *В.Н. Бернадский* // Сварщик. – 2005. – № 4. – С. 18 – 21.
2. *Цыбульский Г.А.* Алгоритм автоматической ориентации манипуляционного робота относительно тестируемых поверхностей / *Г.А. Цыбульский* // Автомат. сварка. – 2006. – № 3. – С. 43 – 45.
3. *Земзин В.Н.* Сварные соединения разнородных сталей / *В.Н. Земзин*. – Л.: Машиностроение, 1966. – 190 с.
4. *Мовчан Б.А.* Микроскопическая неоднородность в литых сплавах / *Б.А. Мовчан*. – К.: Гостехиздат УССР, 1968. – 230 с.
5. *Бакиши О.А.* Влияние механических неоднородности на работоспособность сварочных соединений при различных деформациях и разном характере нагружения / *О.А. Бакиши* // Свариваемость термически упрочнённых сталей. – М.: Наука, 1967. – С. 83 – 86.
6. *Борисов В.Т.* Физика металлов и машиноведение / *В.Т. Борисов, В.М. Голиков, Г.В. Щербинский*. – М.: Наука, 1961. – 426 с.

Рецензент: В.И. Щетинина
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 14.03. 2008