

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/49

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В КОНСТРУКЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙ КЛЕЕВОЙ ШОВ

<sup>1</sup>Устинов А.М., <sup>1,2</sup>Клопотов А.А., <sup>2</sup>Потекаев А.И., <sup>2</sup>Галсанов С.В.,

<sup>1</sup>Абзаев Ю.А., <sup>1</sup>Плевков В.С., <sup>1</sup>Таюкин Г.И.

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

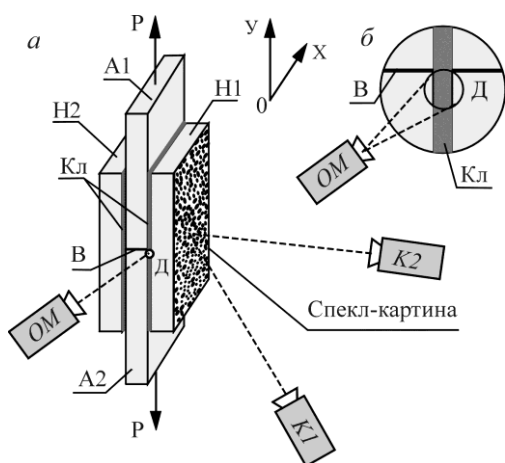


Рис. 1. Схема регистрации изображений со спекл-картины на стальной накладке, приклеенной к двум стальным пластинам и регистрация распределения деформаций в клеевом слое при помощи оптической микроскопии при деформации растяжением (а): А1 и А2 – стальные пластины; Н1 и Н2 – накладки из стальных пластин; Кл – клеевой слой; В – место стыка двух стальных пластин; Д – место регистрации при помощи оптического микроскопа; ОМ – оптический микроскоп; К1 и К2 – цифровые камеры; Р – изменение физико-механических свойств. Разрывы прикладываемая нагрузка. Место регистрации распределения деформирования вызывают накопления повреждений деформаций в клеевом слое при помощи оптической микроскопии (б)

В настоящее время существенно расширяется использование конструкций, содержащих клеевые соединения. Это обуславливается, прежде всего, существенным прогрессом в создании синтетических клеев, в результате которого склеивание металлов и других материалов становится очень надежным способом соединения элементов в изделиях и конструкциях. В ряде случаев этот метод может быть единственным практически реализуемым методом соединения. Кроме того, такой метод соединения обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами соединений (клепаными, сварными, паяными и болтовыми). Отметим только, что клепанным и болтовым соединениям свойственна неравномерность распределения напряжений в швах, ослабление соединяемых материалов отверстиями под заклепками и болтами, а также утяжеление конструкций. Соединение методом сварки металлов и сплавов приводит к образованию в зоне сварного шва внутренних напряжений и, кроме того, происходит снижение прочности свариваемых металлов за счет термической обработки. Тогда как при клеевых соединениях имеет место более равномерное распределение напряжений в соединяемых материалах. При достижении критических нагрузок происходит разрушение клеевых соединений, которое сопровождается деградацией структуры материала на различных масштабных уровнях, что обуславливает

разрывы межатомных связей на разных стадиях деформирования вызывают накопления повреждений в материале, который является самым слабым местом в клеевом соединении. В клеевом соединении этим слабым местом является граница сред клей / сталь. В области границы происходит деградация структуры, и соответственно, свойств. Поэтому исследования, направленные на изучение особенностей распределений напряжений в клеевом соединении необходимы на разных масштабных уровнях.

Цель данной работы на мезо- и макромасштабном уровнях исследовать *in situ* методом корреляции цифровых изображений эволюцию полей деформаций клевого шва в соединении сталь/сталь при растяжении.

Тип клевого соединения, на основе которого изготовлены образцы для испытаний, относится к симметричным соединениям внахлестку с двумя накладками (рис. 1). Испытание образцов на растяжение осуществлялось на испытательной машине «INSTRON 3386» с

## Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

постоянной скоростью деформирования  $0,3 \text{ с}^{-1}$ . Схема проведения эксперимента представлена на рис. 1.

Использована цифровая оптическая система Vic-3D для получения цифровых стереоскопических изображений [1]. Определены поля перемещений смещений локальных участков поверхности вдоль оси  $OX$  - «поперечная деформация», вдоль оси  $OY$  - «продольная деформация» и вдоль оси  $OZ$  - «поперечная деформация». В процессе испытания при помощи программы VicSnap провели синхронную запись изображений с двух камер (рис. 1), которые затем обрабатываются программой Vic-3D. В результате были вычислены для каждой анализируемой точки геометрические параметры поверхности (координаты  $X, Y, Z$ ). Были определены относительные деформации ( $\epsilon_{xx}$  – по оси  $X$ ,  $\epsilon_{yy}$  – по оси  $Y$ ,  $\epsilon_{xy}$  – деформации сдвига) в локальных местах на поверхности исследуемого образца.

Микрофотографии были получены при помощи оптического микроскопа "Техно".

На рис. 2, а приведена микрофотография, полученная с поперечного сечения клеевого соединения. Область измерения смещений находится в 2 мм от стыка нагружающих пластин А1 и А2. При общей деформации растяжением  $\epsilon_{\text{общ}} = 0,5032\%$  клеевого соединения было определено распределение деформации в поперечном сечении образца. Результаты этих измерений представлены на рис. 2, б.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных методом корреляции цифровых изображений, получена диаграмма распределения смещений по толщине образца (рис. 2). На этой диаграмме наблюдается два недеформируемых участка А-В, С-Д.

Недеформируемые участки относятся к стали. Участок В-С относится к клею и в нем сконцентрированы основные смещения, возникающие при деформации конструкции с клеевым соединением.

Напряжения сдвига в слое клея для данного типа соединения определяются взаимными смещениями склеиваемых поверхностей стальной пластины и толщиной слоя клея [2]. Для нашего случая толщина клеевого слоя равна 0,51 мм. Экспериментально было определено значение сдвигового смещения в клеевом слое на предшествующей разрушению стадии, которое оказалось равным 0,0067 мм.

Необходимо отметить, что при таком типе клеевого соединения, не смотря на то, что в клею возникают преимущественно напряжения сдвига, на близких к периферии участках площадях склеивания возникают напряжения растяжения в направлении, перпендикулярном площади склеивания, что приводит к возникновению отдирающих усилий [3]. Установлено, что для нашего случая характером разрушения конструкции с клеевым соединением является адгезионным.

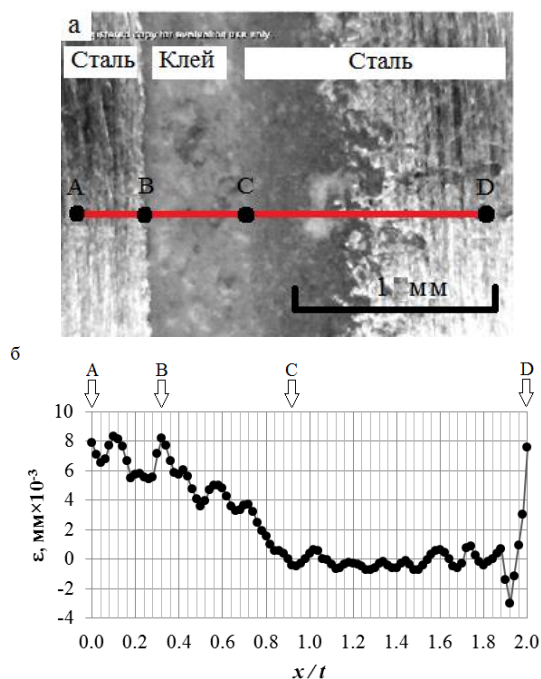


Рис. 2. Микрофотография поперечного сечения клеевого соединения (а). Диаграмма распределения абсолютных деформаций по линии ABCD в клеевом шве (б).  $x$  – текущее расстояние от точки А до точки D;  $t$  – длина линии ABCD проведенная по толщине образца.

### Литература

1. Копаница Д.Г., Устинов А.М., Потеекаев А.И., Клопотов А.А., Марченко Е.С. Известия ВУЗов. Физика. 2017. Т.60, №9. С.105-113
2. Александров А. Я., Назаров Н. И. Известия академии наук СССР. Отделение технических наук. Механика и машиностроение. 1960. №6. С.121-122.
3. Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. – 1980. М.: Химия. – 288 с.