

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКА МЕТОДОМ АЭ СКАНИРОВАНИЯ

С.А. Недосека<sup>1</sup>, А.Я. Недосека<sup>1</sup>, М.А. Шевцова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17.

В число композитов, в том числе применяемых все шире в самых различных областях техники, входят, в частности, стеклопластики. Их использование требует разработки надежных неразрушающих методов оценки состояния как в процессе эксплуатации, так и непосредственно после изготовления. Второе имеет не меньшую важность, так как позволяет отбраковать материалы с дефектами еще до того, как из них будут изготовлены элементы конструкций. В данной работе выполнена оценка возможности применения метода акустико-эмиссионного (АЭ) сканирования на базе аппаратуры типа ЕМА для образцов стеклопластика, изготовленного методом ручной выкладки стеклоткани Aeroglass 280 и связующего материала Elan-tech EC157+Elan-tech W152XLR. Выполнена проверка локации координат источников АЭ на ненагруженных образцах. Показано, что исследуемый материал является контролепригодным с точки зрения метода АЭ, позволяет определять координаты источников АЭ с достаточно высокой точностью при тестовом прозвучивании. Проведены многочисленные опыты по сканированию образцов в продольном направлении, при котором каждый из датчиков АЭ поочередно выступал в качестве излучателя тестовых сигналов. Из шести испытанных образцов три содержали встроенный по центру элемент, имитирующий акустический пьезодатчик. Испытания показали, что, используя АЭ сканирование, можно без нагружения образцов отличить их акустические свойства при наличии и отсутствии такого встроенного концентратора и количественно оценить поврежденность материала с концентратором. Отмечена важность полученных результатов для создания методики контроля композитов с применением технологии АЭ сканирования и обеспечения четких критериев оценки поврежденности. Библиогр. 7, рис. 10.

*Ключевые слова:* композиты, стеклопластик, неразрушающие методы, поврежденности, акустико-эмиссионное сканирование

В рамках международного проекта Aero-UA Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины проводятся АЭ испытания образцов из композитных материалов. В работе [1] показана принципиальная важность таких исследований и приведены результаты для композиционного материала Udo UD CST 150/300 на основе связующего ARALDITE 564, изготовленных Национальным аэрокосмическим университетом «Харьковский авиационный институт» им. Н.Е. Жуковского. Полученные результаты показали контролепригодность углепластика АЭ методом, достаточно хорошую точность определения координат и возможность выявления дефектов при нагружении образцов. Это говорит о принципиальной возможности применения АЭ технологии для оценки состояния таких материалов и необходимости расширения ее применения на другие классы композитов.

Одной из составляющих АЭ технологии является возможность исследования поврежденности материалов без их нагружения, путем сканирования периодически подаваемыми импульсами, причем в качестве как излучателя, так и приемника может быть использован любой из установленных на образце датчиков АЭ.

В ранее опубликованных работах [2, 3] был предложен критерий оценки поврежденности материалов по результатам АЭ сканирования. АЭ

сканирование представляет собой метод оценки состояния материала, технически во многом подобный ультразвуковому контролю (УЗК), но отличающийся тем, что для сканирования используют АЭ аппаратуру с широкополосными датчиками, а анализ сигналов на выходе проводят аналогично анализу АЭ при стандартных АЭ испытаниях. В отличие от УЗК, это интегральный метод, дающий на выходе не местоположение и размеры дефектов, а общее изменение свойств поврежденного материала по отношению к исходному.

Для определения поврежденности по данным АЭ сканирования требуется сравнение акустических характеристик исходного материала и поврежденного.

Данные, показывающие эффективность сканирования при определении поврежденности, в свое время были получены на образцах из сталей 17ГС, 17Г1С, сталь 20, 09Г2С и ее чешского аналога с длительной наработкой, представляющих трубопроводы из различных регионов Украины, и на образцах из этих же материалов в исходном состоянии – из аварийного запаса. Критерий оценки опасности накопленных в металле конструкций повреждений был представлен в виде  $\Delta W_{cp} = 1 - v_{повр} / v_{исх}$ , где в качестве акустического параметра, позволяющего оценить степень поврежденности материала, служит характеристика, имеющая смысл скорости нарастания сигнала

до максимума  $v = A/R$ , где  $A$  – амплитуда выходного сигнала;  $R$  – время его нарастания до максимума для исходного («исх») и поврежденно-го («повр») материала. Было показано, что если скорость  $v$  для наработанного материала меньше, чем для исходного, то в материале возникли необратимые повреждения. Результаты определения поврежденности АЭ сканированием были также подтверждены для стали 12ХНЗМФА в условиях различных динамических перегрузок [4]. Проверка количественных показателей поврежденности, определенных путем АЭ сканирования, выполнена несколькими физическими методами [5], в том числе прямым взвешиванием малых проб в жидкости. В результате построена обобщенная модель накопления повреждений, связывающая их с данными АЭ испытаний на разрушение и АЭ сканирования [6]. Отметим, однако, что все представленные выше исследования относились к металлическим материалам, свойства композитов с применением АЭ авторами ранее, до работы [1], не изучались.

**Механические свойства стеклопластика из стеклоткани Aeroglass 280 и связующего материала Elan-tech EC157+Elan-tech W152XLR:**

Модуль упругости в направлении основы ткани $E_1$ , ГПа.....	18
Предел прочности при растяжении в направлении основы ткани $F_{1p}$ , МПа.....	317
Модуль упругости в направлении утка ткани $E_2$ , ГПа.....	28,0
Предел прочности при растяжении в направлении утка ткани $F_{2p}$ , МПа.....	530

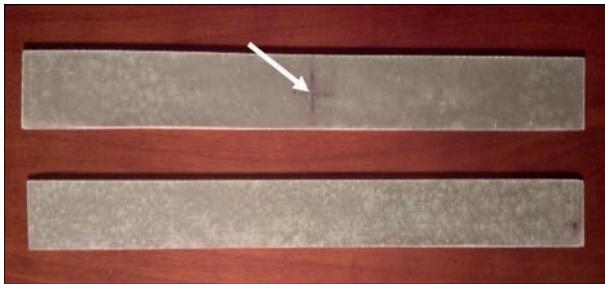


Рис. 1. Внешний вид образцов в состоянии поставки (на верхнем обозначено место установки имитатора пьезодатчика – по центру образца)

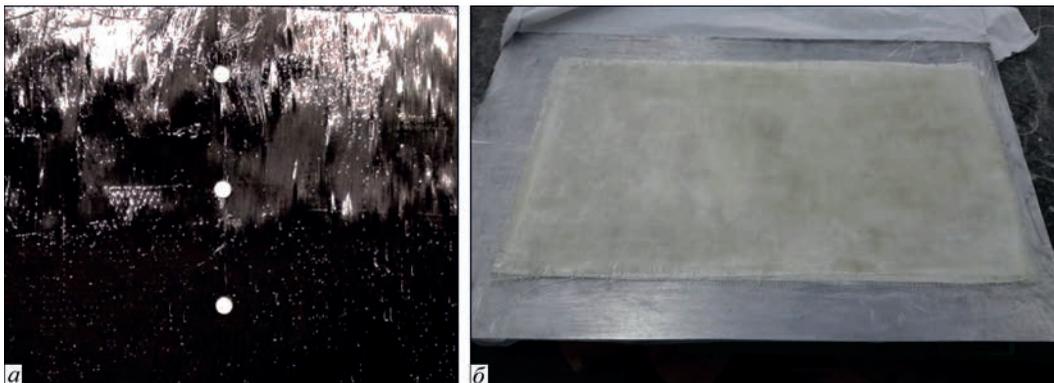


Рис. 2. Установка имитаторов сенсорных пьезодатчиков (показано на углеволокне, аналогично выполнено для стеклоткани) (а) и сборка пакета из стеклоткани для пропитки (б)

Первоначальная цель исследования заключалась в определении принципиальной тестируемости этого композиционного материала с использованием датчиков, оборудования и АЭ технологий, реализованных с использованием приборов *EMA-4* [5] (рис. 1).

Исследуемые образцы стеклопластика, изготовленные Национальным аэрокосмическим университетом «Харьковский авиационный институт» им. Н.Е. Жуковского, представляли собой тонкие продольные полосы, размером  $400 \times 35 \times 2,1$  мм.

Образцы изготовлены методом ручной выкладки стеклоткани Aeroglass 280 и связующего материала Elan-tech EC157+Elan-tech W152XLR (пропорция смешивания 100:30). Формование производилось на плоской дюралюминиевой плите вакуумным методом с пропиткой под вакуумом сухой заготовки из стеклоткани Aeroglass 280 и установленными предварительно имитаторами сенсорных датчиков, выполненных из карбоната кальция  $CaCO_3$  толщиной 0,5 мм и диаметром 5 мм. Давление формования 0,09 МПа. Температурно-временной режим формования после пропитки: 60 °С в течение 6 ч. Образцы с требуемыми размерами вырезались из отформованной плиты алмазным диском.

Датчики размещали на небольшом расстоянии от края образца, так что образовали линейную локационную антенну полной длиной 330 мм (рис. 4). При установке третьего датчика он размещался по центру образца (в случае наличия имитатора пьезодатчика – прямо над ним).

Опыты показали, что исследуемый материал обладает высокой акустической чувствительностью, не худшей, чем у углепластика [1]. Возможность определения координат сигналов была обеспечена с достаточной точностью. Излучаемый сигнал прямоугольной формы имел следующие параметры: амплитуда 3 В, частота 60 кГц, длительность 7 мкс. При принятии датчиком сигнала, который мало подвергся искажениям, получали осциллограмму, подобную показанной на рис. 5, а, при изменении параметров сигнала чаще всего осциллограмма имела вид, подобный показанному на рис. 5, б.

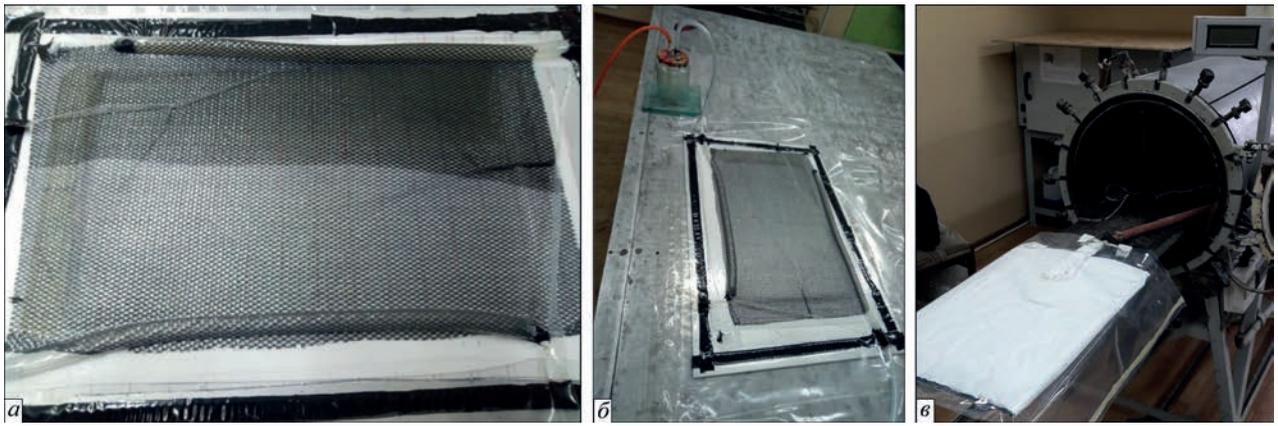


Рис. 3. Пропитка связующим пакета под вакуумом (а, б) и отверждение образцов в печи (в)

При определении местоположения источников АЭ с использованием датчиков в качестве генератора волн, скорости волн АЭ в материале подбиралась таким образом, чтобы расчетные координаты сигналов АЭ, излученных датчиками, а затем принятых АЭ прибором, максимально точно совпали с координатами датчика-излучателя.

Поскольку образцы прозвучивали только в одном из направлений – продольном, эффект анизотропии не проявлялся. Добиться точного попадания координат зарегистрированных сигналов АЭ в центры, размещенные под датчиками АЭ (рис. 6), удалось, задав скорость 3 мм/мкс в направлении X, соответствующем продольному направлению пластины.

Отметим, что в программе ЕМА-3.9 [7], которая использовалась при испытаниях, центры акустической активности, объединенные в кластеры, показаны флажками, цвет которых отображает ам-

плитуду последнего вошедшего в кластер события АЭ, а число рядом с флажком показывает сколько событий АЭ попало в кластер.

Представленные опыты неоднократно повторяли, и результаты их обработки показали, что, во-первых, данный материал является контролепригодным с точки зрения АЭ, и, во-вторых, обеспечивает необходимую точность определения координат источников АЭ. Интересным моментом представляется незначительная погрешность при определении координат нескольких источников АЭ сигналов в том случае, когда датчики 1 и 3 выступали в качестве генератора (см. рис. 6). Для данного образца такая картина наблюдалась несколько раз и, вероятно, связана со скосом короткой стороны пластины при ее изготовлении, что можно заметить, в частности, на рис. 1, нижний образец.

Переходя к собственно АЭ сканированию, отметим, что данный метод требует, во-первых, высокой аккуратности при прикреплении датчиков к поверхности образца, во-вторых, многократного повторения испытаний, поскольку каждый раз существует возможность, что акустическая волна, излученная одним из датчиков, будет двигаться по образцу иным образом, и показатели, используемые для определения поврежденности, будут неверными.

Для обеспечения корректности результатов сканирования используется несколько критериев. Прежде всего, в рамках каждого единичного испытания параметры принятых датчиком сигналов должны быть стабильными, без существенного разброса. При использовании в качестве приемников поочередно двух датчиков, расположенных по разным сторонам образца, полученные ими данные также не должны иметь существенных отличий в параметрах.

В рамках данной работы для получения необходимой статистики стабильных результатов было проведено около ста экспериментов на шести образцах, три из которых имели по центру встроенный ими-



Рис. 4. Датчики АЭ на образце и подключенный к ним 16-ти канальный прибор ЕМА-4

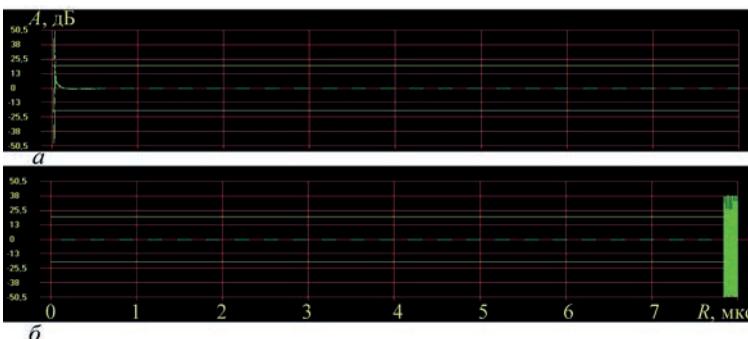


Рис. 5. Типовые осциллограммы сигналов АЭ, принятых датчиками в различных случаях (описание а, б см. в тексте)

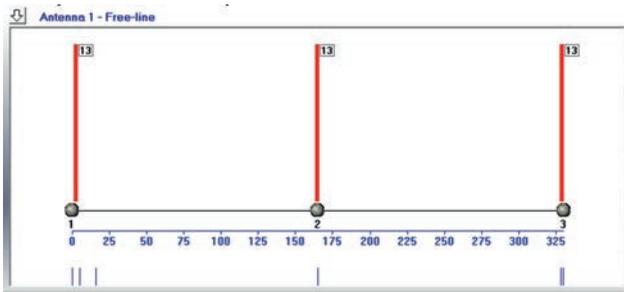


Рис. 6. Результаты поочередного прозвучивания образца без концентратора встроенными в датчики генераторами акустических сигналов. Видна высокая точность определения координат, центры акустической активности показаны флажками и совпадают с местами расположения датчиков АЭ

татор пьезодатчика диаметром 5 мм, близкого по ряду свойств к используемому в реальных пьезодатчиках материалу ЦТС19.

Прежде всего были проведены опыты, в которых на образце были установлены только два датчика на расстоянии 330 мм, и шесть раз один из датчиков являлся излучателем, а второй приемни-

ком, а затем наоборот. Каждое такое испытание по АЭ сканированию записывалось в отдельный файл, затем выполняли статистическую обработку всей полученной информации. Всего, таким образом, получили данные в 72 файлах.

Типичные графики результатов АЭ сканирования трех образцов без встроенного имитатора пьезодатчика представлены на рис. 7. В левой колонке графики для случая, когда излучателем выступал датчик 1, в правой колонке – датчик 2. Столбиками показаны в зависимости от времени ( $t$ , с) приняты сигнала АЭ амплитуды  $A$ , точками – время их нарастания до максимума  $R_i$ . При обработке измерений применяли программные фильтры, отсекающие заведомо некорректные данные (например,  $R_i = 0$  мкс).

Как видим, полученные результаты достаточно стабильны. Хотя для разных образцов и при разных направлениях сканирования есть некоторая разница в полученных значениях амплитуд  $A$  и вре-

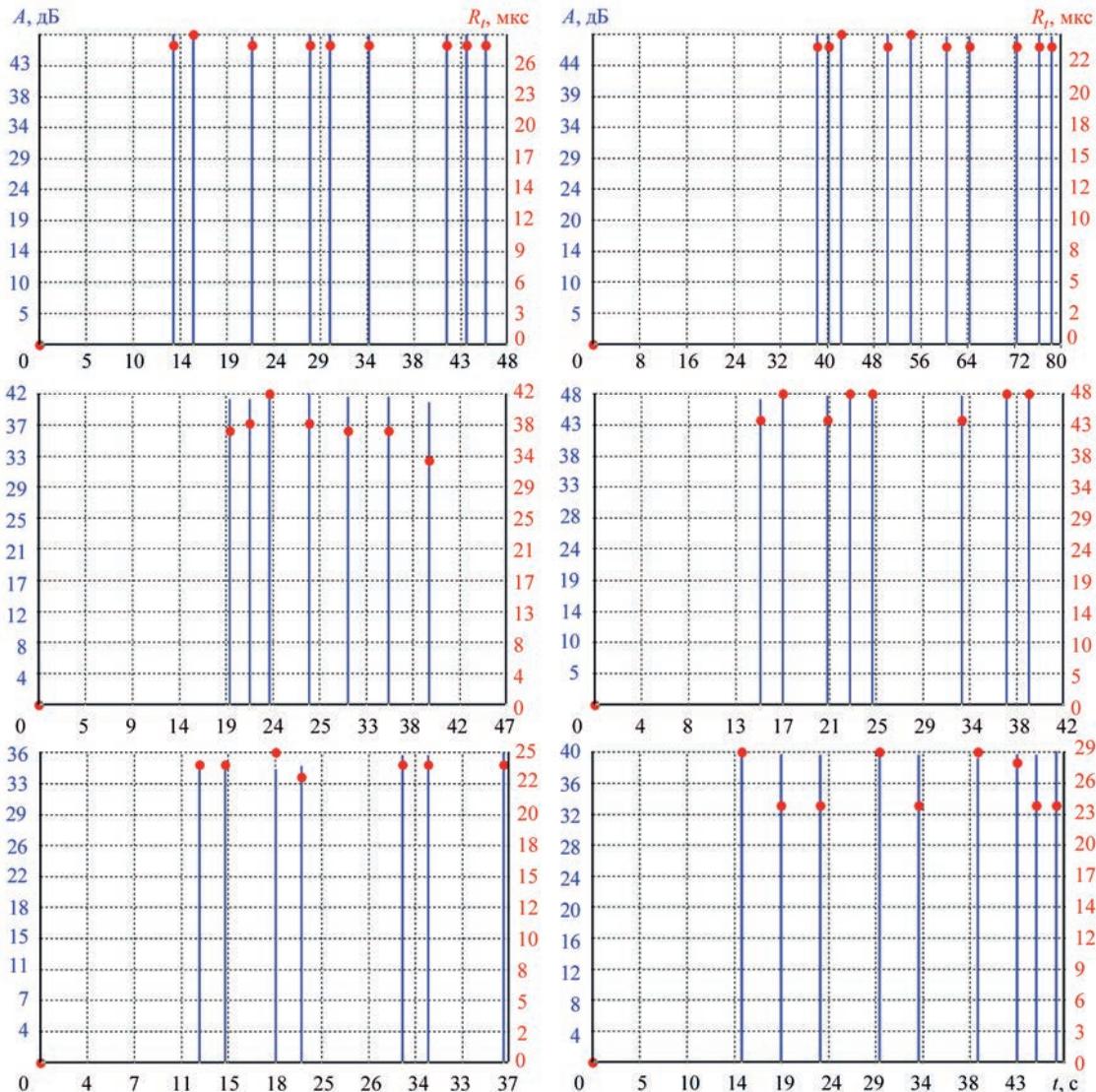


Рис. 7. Результаты АЭ сканирования образцов без встроенного имитатора пьезодатчика. Столбики – амплитуды принятых сигналов  $A$ , точки – время их нарастания до максимума  $R_i$  (описание см. в тексте)

мен нарастания сигнала  $R_p$ , в рамках каждого конкретного эксперимента их повторяемость высокая. Отметим, что минимальная амплитуда составляет 36 дБ, максимальное значение  $R_t$  – 48 мкс.

Далее будет показано, что эти параметры для образцов с имитатором пьезодатчика меняются таким же образом, как показано было ранее для других материалов – амплитуда принятого сигнала в поврежденном материале снижается, а время нарастания  $R_t$  увеличивается. Характерным для данного материала является несущественное, близкое к статистическому разбросу, снижение амплитуд принятых сигналов в поврежденном материале при значительном росте  $R_t$ .

В каждом конкретном испытании четко видно, что полученные значения амплитуд принятых АЭ сигналов  $A$  имели меньший разброс, чем время их нарастания до максимума  $R_t$ . Такое явление связано, вероятнее всего, с тем, что сканируемый материал имеет неоднородную, слоистую струк-

туру. Даже при отсутствии внутренних дефектов особенности структуры могут приводить к изменению формы сигнала, не влияя при этом на его мощность, выражаемую амплитудой.

Типичные графики результатов АЭ сканирования трех образцов со встроенным имитатором пьезодатчика приведены на рис. 8. В левой колонке, как и на рис. 7, представлены графики для случая, когда излучателем выступал датчик 1, в правой колонке – датчик 2.

Далее будет показано, что внесение в материал концентратора – встроенного имитатора пьезодатчика – приводит к еще более существенному разбросу параметра  $R_t$  при довольно стабильном значении амплитуд принятых датчиками сигналов.

Из графиков видно, что амплитуды принятых сигналов АЭ практически не изменились, за исключением падения максимального значения до 28 дБ в образце № 1 при сканировании его сигналами от датчика 1. Там же (правый график в верхнем ряду, рис. 8) видно,

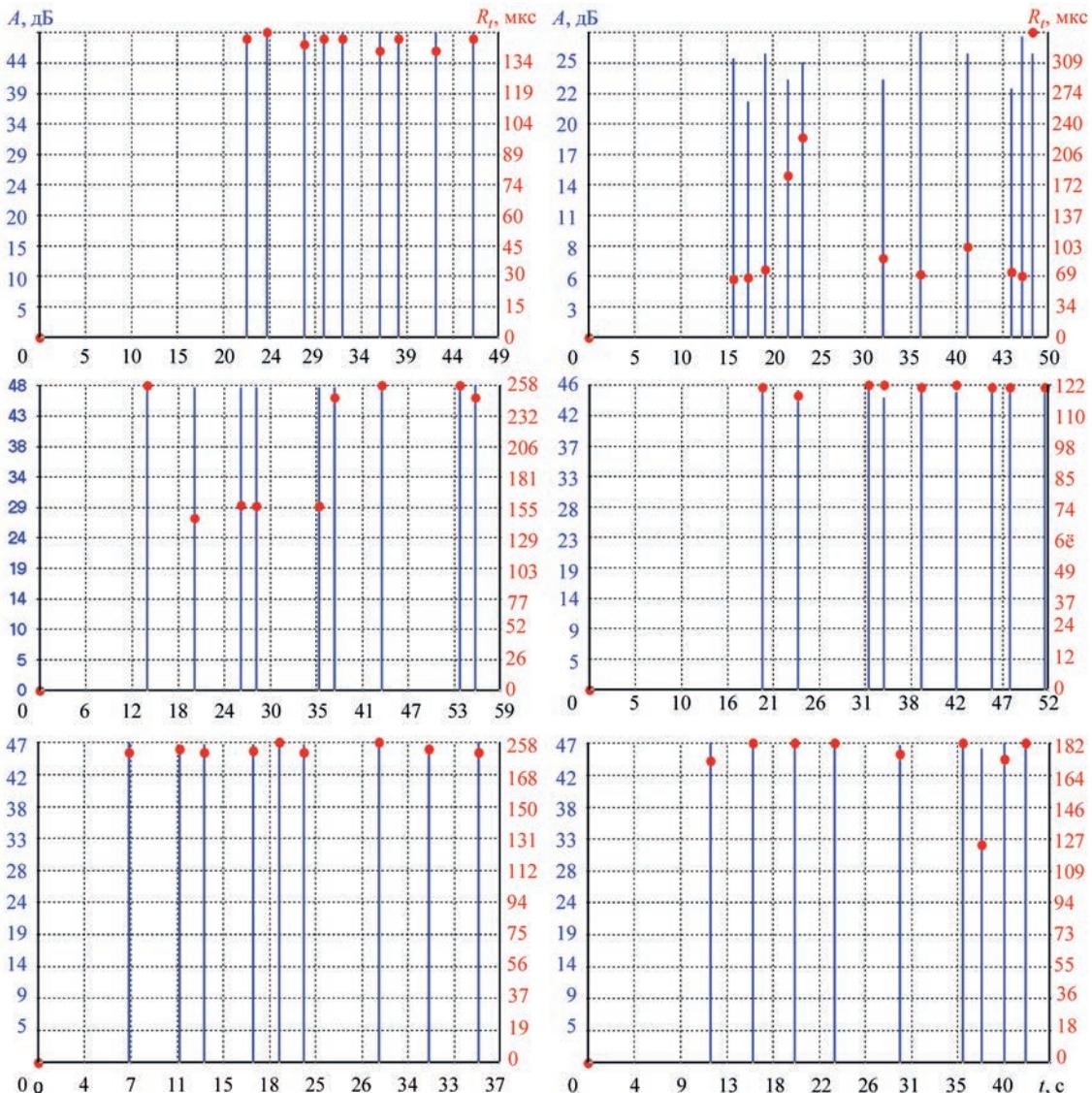


Рис. 8. Результаты АЭ сканирования образцов со встроенным имитатором пьезодатчика. Столбики – амплитуды принятых сигналов  $A$ , точки – время их нарастания до максимума  $R_t$  (описание см. в тексте)

что разброс значений  $R_f$  весьма существенен. Это характерно для всех шести случаев прозвучивания сигналами от датчика 1. Учитывая максимальное из всех зафиксированных значений для данной серии экспериментов  $R_f = 507$  мкс, можно утверждать, что это наиболее поврежденный образец.

Что касается параметра  $R_f$  в целом, то для всех образцов со встроенным имитатором пьезодатчика он существенно вырос. Кроме того, существенно увеличился разброс параметра  $R_f$ . Этот факт можно трактовать таким образом, что повреждение материала, создаваемое встроенным концентратором круглой формы и относительно небольшого диаметра, в меньшей степени ослабляет сигнал, чем затрудняет его дальнейшее движение по материалу. Вероятнее всего, изменяется траектория сигнала, что, в свою очередь, приводит к переотражениям от стенок образца, что как само по себе, так и в условиях слоистой структуры материала, приводит к достаточно стохастическому изменению формы сигнала.

Для расчета поврежденности образцов с имитатором пьезодатчика в качестве исходных данных использовали параметры АЭ, полученные при сканировании образцов без имитаторов пьезопластин с тем же номером. Теоретически их можно было менять местами в любом порядке, поскольку они вырезаны из одного и того же листа материала, а осредненные данные отличаются несущественно.

Данные были обработаны в программе MS Excel. Для каждого образца были получены в слу-

чае каждого из направлений прозвучивания значения  $A$  и  $R_f$ , затем скорости нарастания амплитуд  $v = A/R_f$ , рассчитана поврежденность в каждом конкретном случае сканирования, обозначенная на рис. 8 как  $\Delta W 1 \rightarrow 2$  для сканирования образца № 2 сигналами от датчика 1,  $\Delta W 2 \rightarrow 1$  для сканирования образца № 1 сигналами от датчика 2, и далее по аналогии. Далее рассчитано среднее значение поврежденности  $\Delta W_{cp} = 1 - v_{повр} / v_{исх}$  для каждого из направлений сканирования.

На графиках рис. 9 над цифрами 1...6 оси абсцисс показаны значения поврежденности для каждого эксперимента, над цифрой 7 находится и выделен другим цветом столбик со средним значением поврежденности  $\Delta W_{cp}$  для испытания в целом.

Анализ представленных на рис. 8 и 9 данных показывает, во-первых, высокую поврежденность всех трех образцов со встроенными имитаторами пьезодатчиков, которая для отдельных серий сканирования образцов колеблется от 0,65 до 0,95. Во-вторых, наиболее поврежденным представляется образец № 1, для которого зафиксировано самое высокое значение средней поврежденности при сканировании от датчика 2, и, помимо этого, наблюдается весьма большой разброс измеренных данных, что было отмечено для верхнего правого графика на рис. 8, что говорит о неравномерности свойств сканируемого материала в данном направлении.

Теоретически, при последующих испытаниях на растяжение, вплоть до разрыва, картина АЭ

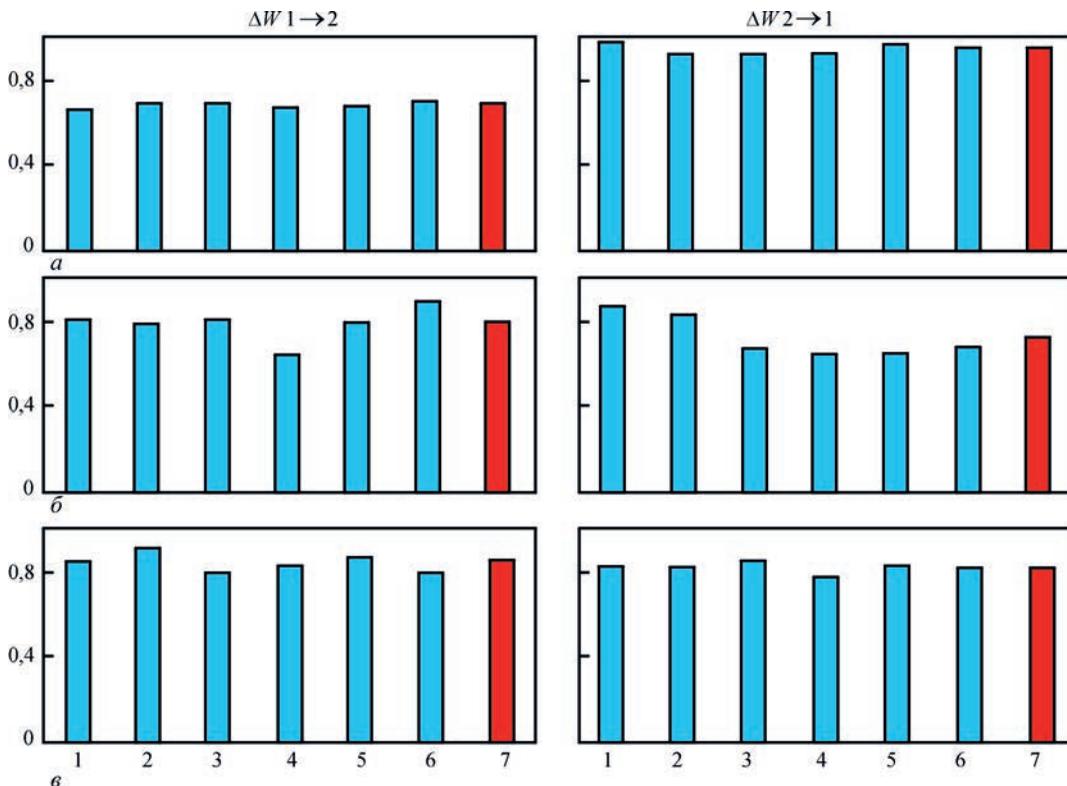


Рис. 9. Результаты расчета поврежденности образцов со встроенным имитатором пьезодатчика по данным АЭ сканирования: а – образец № 1; б – 2; в – 3 (описание см. в тексте)

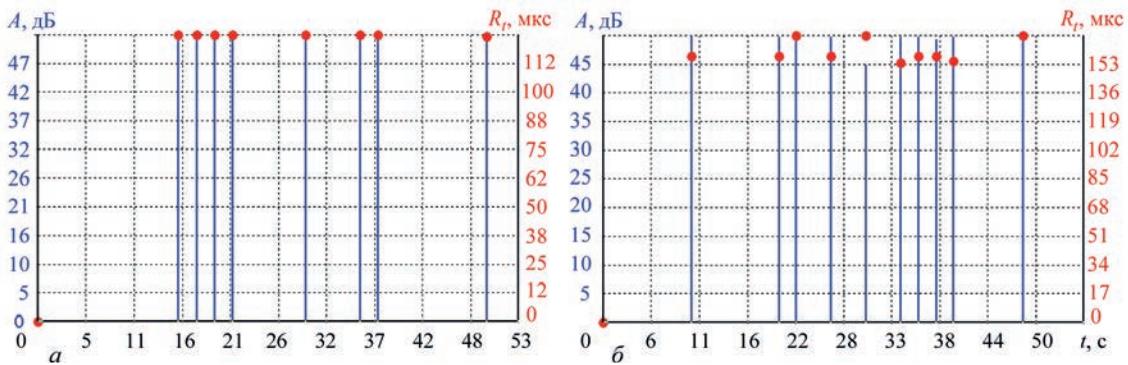


Рис. 10. Типовые результаты АЭ сканирования образцов из исходного материала (а) и со встроенным имитатором пьезодатчика (б) при размещении излучателя по центру образца. Столбики – амплитуды принятых сигналов  $A$ , точки – время их нарастания до максимума  $R_r$

должна существенно отличаться в сторону увеличения числа событий АЭ для образцов со встроенными имитаторами пьезодатчиков. Также должны фиксироваться места наибольшей АЭ активности в области имитаторов, поскольку они являются концентраторами напряжений.

Помимо представленных опытов, были проведены достаточно показательные исследования в другой постановке, когда датчик-излучатель 3 располагался по центру образца (в случае наличия имитатора пьезодатчика – непосредственно над ним, как показано на рис. 4). На рис. 10 видно, насколько отличаются события АЭ, сформированные по результатам сканирования образцов со встроенными имитаторами пьезодатчиков (рис. 10, б) от таковых для образцов из исходного материала, без концентраторов (рис. 10, а).

На рис. 10, а значения  $A$  и  $R_r$  для всех событий практически одинаковы, на рис. 10, б – имеется определенный их разброс. Амплитуды АЭ в поврежденном материале несколько меньше, время нарастания сигналов  $R_r$ , напротив, большие, что полностью соответствует предшествующим теоретическим и экспериментальным исследованиям.

Тем не менее, если рассчитать по этим данным поврежденность, то она будет значительно ниже, чем для случая, когда излученная волна АЭ прошла весь образец, включая и поврежденную имитатором пьезодатчика область, и в данном примере составляет  $\Delta W_{cp} = 0,29$ . Причина этого понятна – волна, излученная по центру образца, создается встроенной в датчик-излучатель пьезопластиной, диаметр которой составляет 13 мм, вследствие чего наиболее поврежденная область – встроенная пластина диаметром 5 мм – практически не влияет на результаты эксперимента, так как находится под датчиком-излучателем. Значение же поврежденности  $\Delta W_{cp} = 0,29$  можно трактовать как поврежденность материала образца со встроенным имитатором пьезодатчика вне зоны установки этого имитатора.

Приведенный пример говорит, в частности, о том, насколько важны как правильная постановка

эксперимента, включая расположение датчиков, так и трактовка полученных результатов.

Выполненные эксперименты говорят, с одной стороны, о высокой чувствительности систем АЭ контроля для выполнения сканирования стеклопластика и достаточно высокой повторяемости результатов, с другой стороны, необходимости проведения серий из относительно большого числа экспериментов с целью обеспечения достоверности результатов.

Одним из важнейших результатов проведенных экспериментов является подтверждение разработанной ранее модели накопления повреждений [2–6] и возможность распространения ее на стеклопластики.

Таким образом, имеется принципиальная возможность применения АЭ сканирования для контроля состояния исследованного материала без его нагружения, но каждый конкретный материал и конфигурация сканируемого образца или конструктивного элемента требуют достаточно длительной настройки параметров сканирования и высокой аккуратности при проведении измерений.

Что касается создания методики применения АЭ сканирования на практике при контроле конструкций из композитных материалов подобного типа, требуется получение более обширного набора статистических данных с целью определения оптимальных параметров настройки контролирующей аппаратуры и условий проведения контроля.

### Выводы

1. Исследованные образцы из стеклопластика, изготовленные методом ручной выкладки стеклоткани Aeroglass 280 и связующего материала Elan-tech EC157+Elan-tech W152XLR, являются контролепригодными с точки зрения метода АЭ, позволяют определять координаты источников АЭ с достаточно высокой точностью при тестовом прозвучивании и проводить АЭ сканирование с использованием АЭ аппаратуры типа ЕМА.

2. Используя в качестве эталона исходный, без повреждений, материал, можно при помощи толь-

ко АЭ сканирования без нагружения оценивать состояние стеклопластика с повреждениями. Это дает возможность, в частности, отбраковывать негодный по свойствам материал непосредственно после изготовления.

3. АЭ сканирование позволяет определить, поврежден ли материал со встроенным концентратором типа круглого пьезодатчика, и рассчитать степень поврежденности.

4. Критерий поврежденности  $\Delta W_{cp}$  может быть использован для стеклопластика так же, как и для металлических материалов.

5. Несмотря на расчет поврежденности как скалярного параметра, она также может быть рассмотрена как вектор, зависящий от направления, в котором исследуется повреждаемость материала.

6. Создание методики применения метода АЭ сканирования на практике при контроле композитных материалов в стадии разработки и конструкций из этих материалов требует получения более обширного набора статистических данных с целью установления оптимальных параметров настройки контролирующей аппаратуры и условий проведения контроля.

#### Список литературы

1. Недосека С.А. и др. (2018) Акустическая эмиссия при испытании композитных материалов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 36–40.
2. Лебедев А.А. и др. (1995) Модель накопления поврежденности в металлических материалах при статическом растяжении. *Проблемы прочности*, 7, 31–40.

3. Лебедев А.А. и др. (2001) Оценка поврежденности металла действующих газопроводов методом АЭ сканирования. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 1, 8–12.
4. Чаусов Н.Г., Недосека С.А., Пилипенко А.П. (2004) Комплексная оценка поврежденности пластичных материалов при различных режимах нагружения. *Там же*, 3, 16–21.
5. Недосека С.А., Недосека А.Я. (2010) Комплексная оценка поврежденности и остаточного ресурса металлов с эксплуатационной наработкой. *Там же*, 1, 9–16.
6. Патон Б.Е. и др. (2012) *Акустическая эмиссия и ресурс конструкций*. Альбом. Киев, Индпром.
7. Недосека А.Я. и др. (2013) Программное обеспечение систем АЭ диагностики ЕМА-3.9. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 3, 16–22.

#### References

1. Nedoseka, S.A., Nedoseka, A.Ya., Shevtsova, M.A. et al. (2018) Acoustic emission at composite material testing. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 4, 36–40 [in Russian].
2. Lebedev, A.A. et al. (1995) Model of damage accumulation in metallic materials under static tension. *Problemy Prochnosti*, 7, 31–40 [in Russian].
3. Lebedev, A.A., Nedoseka, A.Ya., Chausov, N.G., Nedoseka, S.A. (2001) Evaluation of the degree of damage of the active gas pipeline metal by the scanning method. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 1, 8–12 [in Russian].
4. Chausov, N.G., Nedoseka, S.A., Pilipenko, A.P. (2004) Integrated evaluation of damage of ductile materials under different loading modes. *Ibid.*, 3, 16–21 [in Russian].
5. Nedoseka, S.A., Nedoseka, A.Ya. (2010) Integrated assessment of damage level and residual life of metals with certain operating life. *Ibid.*, 1, 9–16 [in Russian].
6. Paton B.E. et al. (2012) *Acoustic emission and service life of structures*: Album. Kiev, Indprom.
7. Nedoseka, A.Ya., Nedoseka, S.A., Yaremenko, M.A. et al. (2013) Software of AE diagnostic systems ЕМА-3.9. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 3, 16–22 [in Russian].

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНОСТІ СКЛОПЛАСТИКА МЕТОДОМ АЕ СКАНУВАННЯ

С.А. Недосека<sup>1</sup>, А.Я. Недосека<sup>1</sup>, М.А. Шевцова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. Н.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». 61070, м. Харків, вул. Чкалова, 17.

У число композитів, в тому числі які застосовуються все ширше в самих різних галузях техніки, входять, зокрема, склопластики. Їх використання вимагає розробки надійних неруйнівних методів оцінки стану як в процесі експлуатації, так і безпосередньо після виготовлення. Друге має не меншу важливість, так як дозволяє відбракувати матеріали з дефектами ще до того, як з них будуть виготовлені елементи конструкцій. У даній роботі виконана оцінка можливості застосування методу акустико-емісійного (АЕ) сканування на базі апаратури типу ЕМА для зразків склопластику, виготовленого методом ручної викладки склотканини Aeroglass 280 і сполучного матеріалу Elan-tech EC157 + Elan-tech W152XLR. Виконано перевірку локації координат джерел АЕ на ненавантажених зразках. Показано, що матеріал, який досліджувався, є контролепригодним з точки зору методу АЕ, дозволяє визначати координати джерел АЕ з досить високою точністю при тестовому прозвучу. Проведено численні дослідження по скануванню зразків в подовжньому напрямку, при якому кожен з датчиків АЕ по черзі виступав в якості випромінювача тестових сигналів. З шести випробуваних зразків три містили вбудований по центру елемент, що імітує акустичний п'єзодатчик. Випробування показали, що, використовуючи АЕ сканування, можна без навантаження зразків відрізнити їх акустичні властивості при наявності та відсутності такого вбудованого концентратора і кількісно оцінити пошкодженість матеріалу з концентратором. Відзначено важливість отриманих результатів для створення методики контролю композитів із застосуванням технології АЕ сканування та забезпечення чітких критеріїв оцінки пошкодженості. Бібліогр. 7, рис. 10.

*Ключові слова:* композити, склопластик, неруйнівні методи, пошкодження, акустико-емісійне сканування

## DETERMINATION OF FIBERGLASS DAMAGE BY THE METHOD OF AE SCANNING

S.A. Nedoseka<sup>1</sup>, A.Ya. Nedoseka<sup>1</sup>, M.A. Shevtsova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>N.E. Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute». 17 Chkalov Str., 61070, Kharkiv, Ukraine.

Fiberglasses belong to composite materials, including those ever wider used in the most diverse engineering fields. Their application requires development of the most reliable methods of nondestructive testing for structure state assessment, both in service and directly after fabrication. The second is not less important, as it allows rejecting materials with defects, even before they are used for manufacturing structural elements. This work provides an assessment of applicability of the method of acoustic-emission (AE) scanning on the base of EMA type equipment for samples of fiberglass made by the method of manual laying of glass fabric Aeroglass 280 and binder Elan-tech ECW157 + Elan-tech W152XLR. Checking of the location of AE source coordinates on unloaded samples was performed. It is shown that the studied material is controllable by AE method, and allows determination of AE source coordinates with sufficient accuracy at test sounding. Numerous experiments on scanning the samples in the longitudinal direction have been performed, when each of AE transducers alternatively acted as test signal emitter. From six tested samples three contained an element built-in in the center, which simulated an acoustic piezo transducer. Testing showed that using AE scanning allows differentiating between the acoustics properties of the samples without loading them, in the presence and absence of such a built-in concentrator, and quantitatively assessing the damage of the material with the concentrator. The importance of obtained results for development of a procedure for control of composites with application of AE scanning technology and providing precise criteria of damage assessment is noted. 7 Ref., 10 Fig.

*Keywords: composites, fiberglass, nondestructive methods, damage, acoustic emission scanning.*

Поступила в редакцію  
29.05.2019

## МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ПРОФЕСІОНАЛІВ



19-22 травня 2020 р. відбудеться Міжнародна конференція молодих професіоналів «Young Professionals International Conference on Welding and Related Technologies YPIC and WRTYS 2020» під егідою Міжнародного інституту зварювання.

З 2001 р. Міжнародна конференція «Зварювання та споріднені технології» – WRTYS (Welding and Related Technologies on Young Scientists), головним організатором якої є Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, стала головним місцем зустрічі українських та зарубіжних молодих спеціалістів в галузі зварювання, металургії та матеріалознавства. У 2017 р. успішно була проведена 9-та Міжнародна конференція WRTYS 2017.

У 2014 р. Угорським зварювальним товариством було започатковано захід для молодих спеціалістів в області зварювання під назвою YPIC (Young Professional International Conference) – Міжнародна конференція для молодих професіоналів. Даний захід проходить щорічно і вже встиг побувати в Угорщині, Німеччині та Франції.

У 2020 р. Україна є країною організатором 6-ої Міжнародної конференції YPIC 2020 та традиційної ювілейної 10-ої Міжнародної конференції молодих спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» WRTYS 2020. Міжнародний інститут зварювання об'єднує ці конференції в спільний міжнародний науковий захід «YPIC and WRTYS 2020».

Організатори конференції: Національна академія наук України, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, Рада молодих вчених ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Громадська організація «Віртус», Посольство Франції в Україні та Представництво Польської академії наук у м. Києві.

### Теми конференції:

- Передові технології зварювання та з'єднання матеріалів
- Нові структурні та функціональні матеріали, наноматеріали, композити
- Адитивні технології
- Моделювання процесів та матеріалів
- Інноваційні технології та процеси в металургії
- Неруйнівний контроль та якість зварних з'єднань
- З'єднання полімерів та адгезивні технології
- Механіка руйнування
- Здоров'я, безпека та довкілля

Запрошуємо прийняти участь в роботі Міжнародної конференції молодих професіоналів «YPIC and WRTYS 2020» 19-22 травня 2020 р. Місце проведення: Київська обл., с. Мощун, вул. Лісова, 1, готельний комплекс «Пуца Лісова».

*За більш детальною інформацією звертатися на офіційний сайт конференції: [www.ypic2020.com](http://www.ypic2020.com) та e-mail: [office@wrtys.com.ua](mailto:office@wrtys.com.ua)*