

Д.С. Ложкова<sup>1</sup>, М.А. Далин<sup>1</sup>

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЬНОГО ОТРАЖАТЕЛЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ НАСТРОЙКЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИАФРАГМЫ ГАСИТЕЛЯ ПУЛЬСАЦИЙ

*Рассмотрены вопросы ультразвукового неразрушающего контроля диафрагм гасителя пульсаций гидравлической системы вертолета, выполненных из резины, в условиях производства. Решена проблема получения в образце из резины искусственных дефектов – контрольных отражателей, используемых для настройки дефектоскопа. Показан способ измерения параметров контрольного отражателя с использованием лазерного сканирующего и оптического инвертированного микроскопов.*

**Ключевые слова:** эхо-импульсный метод ультразвукового неразрушающего контроля, чувствительность, контрольный отражатель, аттестация контрольного образца, оптическая микроскопия.

D.S. Lozhkova<sup>1</sup>, M.A. Dalin<sup>1</sup>

## THE MEASURE OF FBH'S PARAMETERS, WHICH IS USING FOR EQUIPMENT SET-UP FOR INSPECTION OF THE PULSATION ABSORBER DIAPHRAGM

*The problems of resin pulsation absorber diaphragms of the helicopter's hydraulic system ultrasonic non-destructive testing under production conditions are observed. The problem of making FBH's in resin test sample, which is using for equipment set-up was successfully solved. The method of FBH's parameters measure with laser scanned and optical inverted microscopes is shown.*

**Keywords:** pulse-echo method of ultrasonic non-destructive testing, sensitivity, FBH, test specimen certification, optical microscopy.

<sup>1</sup> Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

При производстве авиационной техники неразрушающему контролю (НК) подвергают практически все детали. Одним из элементов гидравлической системы вертолета является диафрагма гасителя пульсаций, выполненная из резины марки В-14Дтс и представляющая собой полую деталь в виде сложного тела вращения с толщиной стенки 3–4 мм (рис. 1). Деталь получают горячим формованием из листовой заготовки. В процессе изготовления диафрагмы проводится рентгенографический контроль листовой заготовки и готовой детали в нескольких проекциях, а также визуально-оптический контроль на наличие поверхностных дефектов.



Рис. 1. Фотография (а) и эскиз (б) диафрагмы гасителя пульсаций

При эксплуатации изделия был зафиксирован единичный случай разрушения диафрагмы. При этом установлено, что причиной разрушения явился дефект округлой формы размером  $0,5 \times 0,8$  мм, расположенный на глубине 0,1 мм от наружной поверхности, не обнаруженный при заложенном в технологическом процессе рентгенографическом контроле.

Предположительно это связано с тем, что до разрушения диафрагмы раковина была заполнена неметаллическим включением с плотностью, близкой к плотности резины. Дефект не выявлен при визуальном осмотре, так как не выходил на поверхность.

Перед специалистами лаборатории НК ВИАМ поставлена задача по оценке возможностей НК с целью эффективного выявления таких раковин и пор в диафрагме гасителя пульсации. По результатам сравнительных исследований для решения данной задачи предложен ультразвуковой иммерсионный эхо-метод с использованием продольных волн, вводимых наклонно к поверхности диафрагмы.

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля широко применяется для выявления внутренних дефектов металлических деталей авиационной техники [1]. В последние годы в ВИАМ разработан ряд методик по применению этого метода для выявления дефектов в неметаллических материалах [2–7]. Решены вопросы метрологического обеспечения такого контроля с использованием специальных стандартных образцов. Эластомерные материалы (резины) редко являются объектами неразрушающего контроля. Специалисты ВИАМ принимали участие в работе по ультразвуковой толщиномерии эластомерных материалов [8, 9], однако с задачей по выявлению несплошностей в таких материалах столкнулись впервые.

Также разработано специализированное устройство – бабблер, представляющий собой полую, заполненную водой оправку, в которой преобразователь закрепляется таким образом, что при контроле вода подается непрерывно и вытекает через отверстие на его контактной поверхности – скошенном торце. Контролируемую деталь при этом не надо погружать в воду. Через это же отверстие осуществляется ввод ультразвука из воды непосредственно в объект контроля. Дефектоскопист держит бабблер с датчиком в руке и сканирует, прижимая его к контактной поверхности детали, благодаря чему решается проблема поддержания углового положения датчика и расстояния до поверхности детали.

Для возможности внедрения данного ультразвукового контроля необходимо разработать требования и изготовить рабочий стандартный образец (РСО), используемый при настройке дефектоскопического оборудования. Первоначально планировалось изготовление рабочего стандартного образца из условно бездефектной диафрагмы (прошедшей рентгеновский НК) путем сверления в ней отражателей. После получения отражателя необходимо провести метрологическую аттестацию получившегося РСО. При измерении размеров получившегося отражателя в диафрагме, специалисты лаборатории НК столкнулись с рядом трудностей: во-первых, отражатель имеет рваные края, высокую шероховатость внутренней поверхности; во-вторых, очевидно, что измерить глубину отверстия щупом, а диаметр – калибром-пробкой (как, например, это рекомендовано для контрольных отражателей в ГОСТ 21397–81) в резине невозможно. Оптический метод измерения геометрических параметров отражателя не подходит для отверстий, расположенных на внутренней поверхности диафрагмы. При попытке вывернуть диафрагму так, чтобы можно было измерить диаметр углубления с использованием измерительного микроскопа, его диаметр увеличивается в несколько раз. Наличие отражателя именно на внутренней поверхности диафрагмы обязательно для выбранного метода (ГОСТ 14782). Также опробовано еще два способа получения контрольного отражателя, но каждый из них обладал существенными недостатками:

– плоский вертикальный надрез клиновидно заточенным лезвием – его размеры практически невозможно измерить, при каждой деформации диафрагмы он увеличивался (резина рвалась по краям);

– отражатель, полученный выжиганием, получался с неровными краями, а его форма с трудом может быть описана в терминах «диаметр–глубина».

Исходя из вышеизложенного предложен альтернативный способ изготовления рабочего стандартного образца. На предприятии Заказчика отформован плоский образец толщиной 3 мм из резины той же марки, что и диафрагма, с отражателями в виде плоскодонных отверстий. При формовании образца отверстия могут быть получены заданной формы, с ровными краями и гладкими стенками; их глубина и диаметр могут быть легко измерены с использованием оптического микроскопа, так как плоский образец не претерпевает деформации в процессе измерения. При наличии такого образца предложена следующая система метрологического обеспечения методики контроля диафрагм:

– указанный плоский образец проходит метрологическую аттестацию как РСО в соответствии с ОСТ1.02765–96. Отражатели аттестуются по геометрическим параметрам с использованием оптического микроскопа;

– при ультразвуковом контроле серийных диафрагм данный РСО используется для настройки чувствительности, параметров развертки и строба автоматической сигнализации о дефекте (АСД) дефектоскопа;

– из бездефектной (прошедшей рентгеновский НК) диафрагмы изготавливается контрольный образец путем получения в диафрагме одного или нескольких искусственных дефектов. Дефект изготавливается любой формы, единственное условие – эквивалентность амплитуды эхо-сигнала от дефекта и амплитуды эхо-сигнала от отражателя в РСО. Контрольный образец не подлежит аттестации. Факт эквивалентности отражателя в нем и в РСО проверяется каждый раз при настройке аппаратуры;

– при ультразвуковом контроле серийных диафрагм контрольный образец используется для «динамической проверки» правильности настройки. В ходе динамической проверки дефектоскопист убеждается в уверенном выявлении отражателя в контрольном образце при заданных параметрах контроля – шаге и скорости сканирования, количестве контактной жидкости и т. д. в условиях, соответствующих реальному контролю.

Следует отметить, что подобный подход используется на моторостроительных предприятиях для метрологического обеспечения автоматизированного ультразвукового контроля заготовок дисков газотурбинных двигателей.

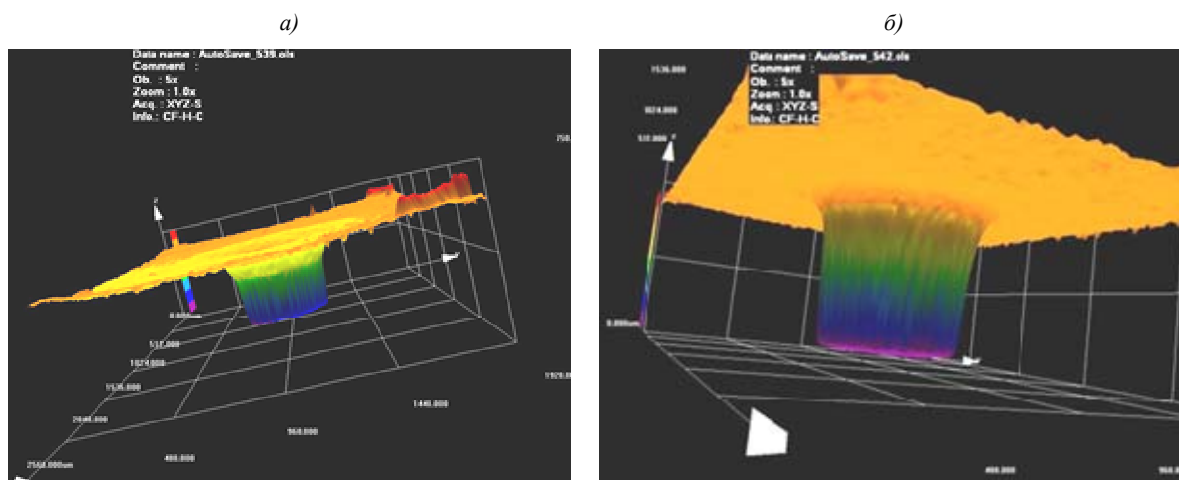


Рис. 2. 3D-изображения плоскодонного отражателя, полученные с помощью лазерного сканирующего микроскопа

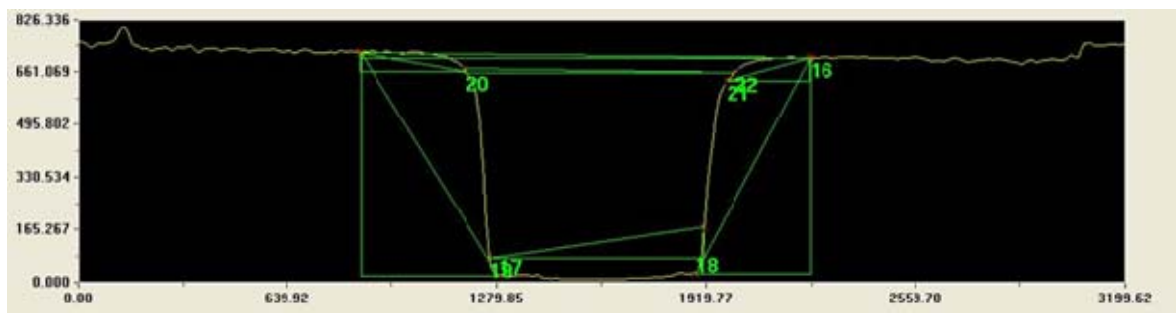


Рис. 3. Курсорные измерения на сечении отражателя, полученные с помощью лазерного сканирующего микроскопа

В качестве метода измерения геометрии отражателей выбрана оптическая микроскопия. Методы оптической микроскопии широко используются для количественного металлографического анализа и высокоточных измерений [10–12]. За фактические размеры отражателей приняты размеры, измеренные с помощью лазерного сканирующего микроскопа (ЛСМ) Olympus LEXT OLS 3100. На рис. 2 показаны 3D-изображения плоскостонного отражателя диаметром 0,5 мм. На рис. 3 показан процесс курсорных измерений размеров на сечении отражателя.

Однако вследствие высокой стоимости микроскопа и сложности при его освоении Заказчику для метрологической аттестации РСО предложен инвертированный микроскоп типа Olympus GX-51, используемый совместно с цифровой фотонасадкой, позволяющей передавать изображение в компьютер.

В качестве аттестуемых характеристик выбраны следующие параметры:

- диаметр контрольного отражателя (КО);
- толщина образца;
- глубина КО;
- отклонение от цилиндричности.

Наиболее сложным для измерения аттестуемым параметром КО является отклонение от цилиндричности, характеризующее скругление на крае отверстия. Измерить данный параметр с использованием микроскопа GX-51 не удалось, но при аттестации образца учитывать этот параметр необходимо, поэтому предложено ввести в аттестуемые параметры величину «отклонение от цилиндричности отражателя по уровню 100 мкм», которая будет показывать разность между диаметром КО у дна и диаметром КО на уровне 100 мкм под поверхность образца. Также предложен метод измерения данного параметра.

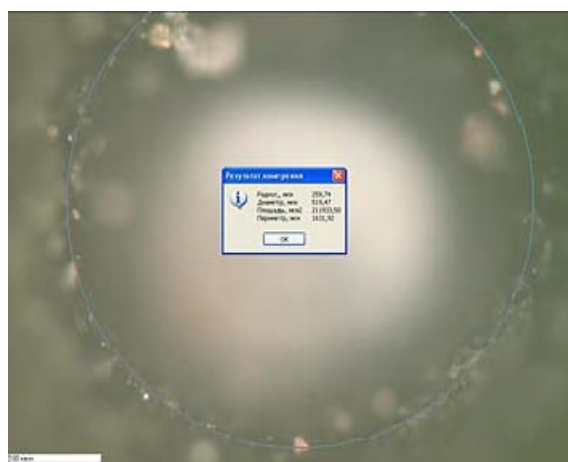


Рис. 4. Измерения на оптическом микроскопе Olympus GX-51

На примере изображения по уровню 100 мкм (рис. 4) отчетливо видна граница резко отображаемого пространства, по которому и проводится измерение отклонения от цилиндричности отражателя. Геометрические параметры контрольных отражателей в плоском образце измерены с использованием двух микроскопов: ЛСМ Olympus LEXT OLS 3100 и оптического Olympus GX-51. Максимальная разница между результатами измерений принята за погрешность измерения при аттестации образца.

В результате работы показана эффективность внедрения ультразвукового контроля диафрагм для выявления раковин, включений и пор, в том числе дефектов, аналогичных вызвавшему разрушение диафрагмы при эксплуатации. Изготовлены образцы для настройки дефектоскопической аппаратуры и проверки ее работоспособности, разработана процедура метрологической аттестации образцов.

Авторы выражают благодарность сотруднику Испытательного центра ВИАМ И.В. Исходжановой за внесенный вклад в работу в области оптической микроскопии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Далин М.А., Генералов А.С., Бойчук А.С., Ложкова Д.С. Основные тенденции развития акустических методов неразрушающего контроля //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 64–69.
2. Генералов А.С., Мурашов В.В., Далин М.А., Бойчук А.С. Диагностика полимерных композитов ультразвуковым реверберационно-сквозным методом //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 42–47.
3. Генералов А.С., Мурашов В.В., Бойчук А.С. Контроль прочности углепластиков на клеевых препрегах ультразвуковым методом //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 27–32.
4. Бойчук А.С., Далин М.А., Степанов А.В., Генералов А.С. Неразрушающий контроль технологических нарушений сплошности Т-образной зоны интегральной конструкции из ПКМ с использованием ультразвуковых фазированных решеток //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №10. С. 38–44.
5. Генералов А.С., Мурашов В.В., Далин М.А., Бойчук А.С. Определение прочности углепластиков ультразвуковым реверберационно-сквозным методом //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №11. С. 47–53.
6. Бойчук А.С., Степанов А.В., Юхацкова О.В. Неразрушающий контроль ПКМ с использованием ультразвуковых фазированных решеток //Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. №2. С. 54–58.
7. Сорокин К.В., Мурашов В.В., Федотов М.Ю., Гончаров В.А. Прогнозирование развития дефектов в конструкциях из ПКМ способом определения изменений жесткости при актюировании материала //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 20–22.
8. Далин М.А., Ложкова Д.С., Смирнов Д.Н. Измерение толщины слоя герметиков У-30МЭС-5НТ и ВГМ-Л в изделиях авиационной техники с использованием ультразвукового метода неразрушающего контроля //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 32–35.
9. Dalin M. A., Lozhkova D.S. Measurement of the Thickness of U-30MES-5NT and VGM-L Sealing Compound Layers in Aircraft Products Using the Ultrasonic Nondestructive Testing Method //Polymer Science. Series D. Glues and Sealing Materials. 2012. №5. P. 305–308.
10. Бронфин М.Б., Алексеев А.А., Чабина Е.Б. Металлофизические исследования. Возможности и перспективы /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 2007. С. 353–365.
11. Сидоров В.В., Исходжанова И.В., Ригин В.Е., Фоломейкин Ю.И. Оценка эффективности фильтрации при разливке сложнелегированного никелевого расплава с повышенным количеством отходов //Электрометаллургия. 2011. №11. С. 17–21.
12. Светлов И.Л., Исходжанова И.В., Евгенов А.Г., Наприенко С.А. Исследование высокотемпературной ползучести и дефектности структуры монокристаллов никелевого жаропрочного сплава после горячего изостатического прессования //Деформация и разрушение материалов. 2011. №3. С. 28–32.

## REFERENS LIST

1. Dalin M.A., Generalov A.S., Bojchuk A.S., Lozhkova D.S. Osnovnye tendencii razvitiya akusticheskikh metodov nerazrushajushhego kontrolja [Main tendencies of development of acoustic methods of nondestructive control] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 64–69.
2. Generalov A.S., Murashov V.V., Dalin M.A., Bojchuk A.S. Diagnostika polimernyh kompozitov ul'trazvukovym reverberacionno-skvoznym metodom [Diagnostics of polymeric composites by an ultrasonic reverberation and through method] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 42–47.
3. Generalov A.S., Murashov V.V., Bojchuk A.S. Kontrol' prochnosti ugleplastikov na kleevyh prepregah ul'trazvukovym metodom [Control of durability of coal plastics on glue prepregs an ultrasonic method] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №5. S. 27–32.
4. Bojchuk A.S., Dalin M.A., Stepanov A.V., Generalov A.S. Nerazrushajushhij kontrol' tehnologicheskikh narushenij sploshnosti T-obraznoj zony integral'noj konstrukcii iz PKM s ispol'zovaniem ul'trazvukovyh fazirovannyh reshetok [Nondestructive control of technological violations of a continuity of the T-shaped zone of an integrated design from PKM with use of the ultrasonic phased lattices] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №10. S. 38–44.
5. Generalov A.S., Murashov V.V., Dalin M.A., Bojchuk A.S. Opređenje prochnosti ugleplastikov ul'trazvukovym reverberacionno-skvoznym metodom [Determination of durability of coal plastics by an ultrasonic reverberation and through method] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №11. S. 47–53.
6. Bojchuk A.S., Stepanov A.V., Juhackova O.V. Nerazrushajushhij kontrol' PKM s ispol'zovaniem ul'trazvukovyh fazirovannyh reshetok [Nondestructive control of PKM with use of the ultrasonic phased lattices] //Promyshlennye ASU i kontroly. 2013. №2. S. 54–58.
7. Sorokin K.V., Murashov V.V., Fedotov M.Ju., Goncharov V.A. Prognozirovanie razvitiya defektov v konstrukcijah iz PKM sposobom opredelenija izmenenij zhestkosti pri aktjuirovanii materiala [Forecasting of development of defects in designs from PKM in the way of definition of changes of rigidity at a material aktyuirovaniye] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 20–22.
8. Dalin M.A., Lozhkova D.S., Smirnov D.N. Izmerenie tolshhiny sloja germetikov U-30MJeS-5NT i VGM-L v izdelijah aviacionnoj tehniki s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo metoda nerazrushajushhego kontrolja [Measurement of thickness of a layer of sealants U-30MES-5NT and VGM-L in products of the aircraft equipment with use of an ultrasonic method of nondestructive control] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №5. S. 32–35.
9. Dalin M. A., Lozhkova D.S. Measurement of the Thickness of U-30MES-5NT and VGM-L Sealing Compound Layers in Aircraft Products Using the Ultrasonic Nondestructive Testing Method [Measurement of the Thickness of U-30MES-5NT and VGM-L Sealing Compound Layers in Aircraft Products Using the Ultrasonic Nondestructive Testing Method] //Polymer Science. Series D. Glues and Sealing Materials. 2012. №5. P. 305–308.
10. Bronfin M.B., Alekseev A.A., Chabina E.B. Metallofizicheskie issledovanija. Vozmozhnosti i perspektivy [Metalphysical researches. Opportunities and prospects] /V sb. 75 let. Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007: Jubilejnyj nauch.-tehnič. sb. M.: VIAM. 2007. S. 353–365.
11. Sidorov V.V., Ishodzhanova I.V., Rigin V.E., Folomejkin Ju.I. Ocenka jeffektivnosti fil'tracii pri razlivke slozhnolegirovannogo nikel'evogo rasplava s povyshennym kolichestvom othodov [Assessment of efficiency of a filtration when pouring hard-doped nickel fusion with the increased quantity of waste] //Jelektrometallurgija. 2011. №11. S. 17–21.
12. Svetlov I.L., Ishodzhanova I.V., Evgenov A.G., Naprienko S.A. Issledovanie vysokotemperaturnoj polzuchesti i defektnosti struktury monokristallov nikel'evogo zharoprochnogo splava posle gorjachego izostaticeskogo pressovanija [Research of high-temperature creep and deficiency of structure of monocrystals of a nickel heat resisting alloy after hot isostatic pressing] //Deformacija i razrushenie materialov. 2011. №3. C. 28–32.