

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДЕТАЛЯХ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

В связи с несколькими случаями выхода из строя агрегатов самолета, в ВИАМ обратилось одно из авиационных предприятий с просьбой порекомендовать метод неразрушающего контроля качества запрессовки резины в металлический корпус штока (рис. 1).

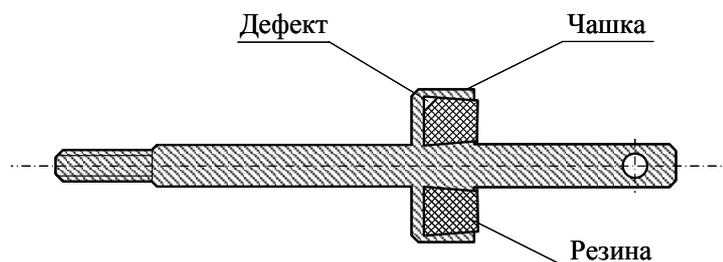


Рис. 1. Шток с дефектом типа «недопрессовка» (в разрезе)

В резине были обнаружены полости (воздушные пузыри), рыхлоты и отслоения, вызванные недопрессовкой при заполнении резиной металлической чашки. Эти дефекты могли стать причиной отрыва резины от металла чашки в процессе эксплуатации. Дефекты располагались в основном в углах чашки в зоне поднутрения, где радиус кривизны поверхности составляет 0,4 мм.

В связи с отсутствием неразрушенных штоков с дефектами известного размера, были изготовлены контрольные образцы с искусственными дефектами. Для исследований и изготовления образцов были переданы несколько штоков, в том числе и не заполненных резиной.



Рис. 2. Искусственные дефекты в поднутрениях чашки перед заливкой

Для рентгеновского контроля образцы были изготовлены путем закладки в угол поднутрения фрагментов пенополистирола размером 1–3 мм с последующей заливкой чашек герметиком со свойствами, аналогичными свойствам применяемой резины (рис. 2). Свойства пенополистирола позволяют ему достаточно хорошо имитировать пустоты как при ультразвуковом, так и при радиационном контроле. В результате опробования было установлено, что выявление дефектов в поднутрениях рентгенографическим методом невозможно из-за неудобной геометрии изделия. Кроме того, при таком контроле не выявляются отслоения резины от металла, даже если они расположены в доступных для просвечивания местах чашки.

Для ультразвукового контроля использовались образцы с такими же искусственными дефектами, а также был изготовлен образец с дефектами, полученными путем закладки на дно чашки перед заливкой кусков фторопластовой пленки размером 2×2 мм, толщиной 50 мкм, для имитации отслоений.

Сначала был опробован ручной контактный эхо-импульсный метод УЗК, при котором ультразвук вводился со стороны металлической поверхности чашки, и анализировался эхосигнал, отраженный от места соединения металл–резина. Однако из-за большой разницы характеристических импедансов стали и резины (для стали: 46×10^5 г/(см²·с), для резины: $\sim 3 \times 10^5$ г/(см²·с)) коэффициент отражения от границы раздела этих веществ оказался столь большим (~80%), что эхосигнал от места отслоения лишь незначительно превышал по амплитуде эхосигнал от бездефектного места. Контроль оказался практически невозможен. Этот эффект часто не позволяет применять эхометод для ультразвукового контроля соединения разнородных материалов.

Альтернативой эхометоду является теневой ультразвуковой метод, при котором приемный и передающий преобразователи находятся по разные стороны контролируемого соединения, и анализируется сигнал, прошедший сквозь него. Если на пути распространения ультразвука встречается какой-либо дефект (непроклей, рыхлота, воздушный пузырь), то амплитуда прошедшего сигнала падает. Теневой метод свободен от описанного выше недостатка эхометода, однако сложнее в реализации, так как требует наличия очень стабильного акустического контакта объекта контроля с обоими преобразователями, а также поддержания соосности преобразователей. В случае несоблюдения этих требований, при сканировании объекта контроля амплитуда принятого эхосигнала периодически падает, что воспринимается как дефект. Из-за этого простой ручной контактный контроль штока теневым методом оказался невозможен, и был собран макет механизированной установки для иммерсионного контроля этой детали. Иммерсионный способ, при котором акустический контакт между преобразователями и объектом контроля происходит через воду, в которую они погружены, был применен из-за того, что этот способ дает наиболее стабильный контакт. Была применена механизация, так как вращать шток вручную под водой без перекосов и осевых смещений оказалось невозможно.

Основой для макета стала установка для ультразвукового контроля прутков, имеющая иммерсионную ванну и управляемый от компьютера привод, вращающий валки, на которые и помещался шток (рис. 3). Приемный и передающий преобразователи, для обеспечения соосности, были приклеены на специальную оправку, позволяющую регулировать расстояние между ними. Оправка перемещалась в радиальном направлении.

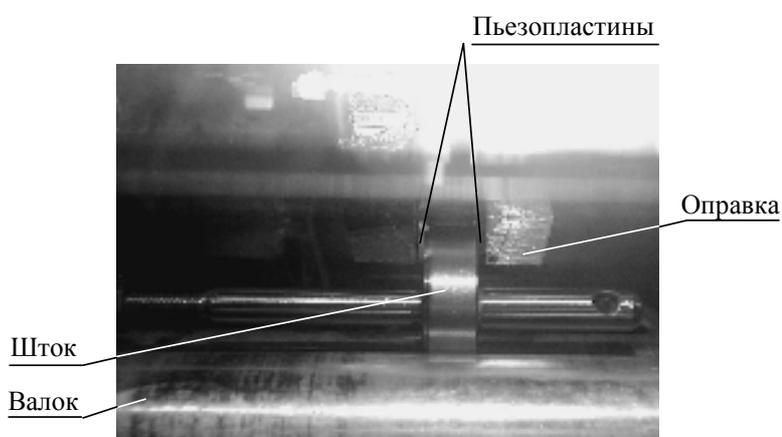


Рис. 3. Шток в иммерсионной ванне в процессе контроля

В качестве приемного и передающего преобразователя были использованы пьезопластины из пьезокерамики ЦТС-19 размером 3×3 мм с резонансной частотой 2,5 МГц. Оптимальная частота ультразвука была выбрана опытным путем. Столь низкое значение частоты вызвано сильным затуханием волн более высокой частоты в используемой в штоке резине.

В результате исследования деталей на получившемся стенде, было установлено, что все искусственные дефекты, расположенные в контрольных образцах штоков около дна и в поднутрениях чашки, уверенно выявляются теневым ультразвуковым методом. Размер выявляемого дефекта составил 4 мм². Падение амплитуды прошедшего сигнала в зоне дефекта по сравнению с бездефектным местом составило 10 дБ и более, что достаточно для надежного выявления дефекта. При этом выявлялись также и 4 заполненных резиной технологических отверстия $\varnothing 1$ мм на дне чашки (на рис. 1 не показаны, видны на рис. 2). Отверстия легко отличались от дефектов по положению прошедшего сигнала на экране дефектоскопа – прошедший сквозь заполненные резиной отверстия сигнал запаздывал по отношению к сигналу, прошедшему сквозь стальное дно, из-за разности скоростей в резине и стали (5,9 км/с – в стали; 1,8 км/с – в резине).

Проведенные исследования показали принципиальную возможность контроля ограниченно контролепригодных деталей сложной геометрии с использованием нестандартных схем прозвучивания, а также в очередной раз подтвердили преимущества автоматизированного иммерсионного метода УЗК перед традиционным ручным контактным методом.