

Технология изготовления и исследование образцов для испытаний средств капиллярного неразрушающего контроля из неметаллов

Н. П. КАЛИНИЧЕНКО, А. Н. КАЛИНИЧЕНКО, И. С. ЛОБАНОВА,
А. Ю. ПОПОВА, С. С. БОРИСОВ

Томский политехнический университет, Томск, Россия,
e-mail: nikol_k112@mail.ru

Описаны варианты изготовления неметаллических контрольных образцов для капиллярной дефектоскопии. На одном образце реализовано несколько трещин, соответствующих разным классам чувствительности. Положительный эффект достигнут созданием основы из неметаллического материала — эпоксидного клея, в котором дефекты выполнены вытравливанием фольги требуемого размера. Приведены результаты испытаний подобных контрольных образцов на многократность использования и температурные воздействия.

Ключевые слова: капиллярный контроль, неметалл, контрольный образец, чувствительность, воздействие, многократность.

The version of nonmetal control samples manufacturing for capillary defectoscopy are described. The several cracks corresponding to different sensitivity classes are realized on one sample. The positive effect is achieved by creation of a base from nonmetal material — epoxy adhesive where the defects are realized by etching-out of the foil of required size. The results of such control samples testing on multiplicity of use and temperature impacts are presented.

Key words: capillary control, nonmetal, control sample, sensitivity, impact, repetition.

Капиллярные методы неразрушающего контроля (КМК) широко применяют для контроля деталей в авиа-, судостроении, энергетическом машиностроении и других отраслях народного хозяйства [1]. Основным преимуществом капиллярного контроля является возможность диагностировать объекты любых размеров и форм, изготовленные из черных и цветных металлов и сплавов, пластмасс, стекла, керамики, а также различных твердых неферромагнитных материалов. Для некоторых материалов и изделий КМК является единственным способом определения пригодности к работе. Этот вид контроля позволяет обнаружить дефекты, выходящие на поверхность: трещины, поры, раковины, непровары, межкристаллитную коррозию и прочие несплошности. Поверхностные дефекты обнаруживают по ярко окрашенным или светящимся индикаторным следам, образующимся на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей. При этом индикаторные следы в 10—20 раз превышают фактические размеры дефектов и становятся видимыми. Выявление дефектов, имеющих ширину раскрытия более 0,5 мм, КМК не гарантируется. Минимальная ширина раскрытия трещин, выявленных при капиллярной дефектоскопии, порядка 1—3 мкм.

Контроль изделий осуществляют с помощью дефектоскопических материалов, которые представляют комплекты, состоящие из следующих компонентов: индикаторный пенетрант, очищающая жидкость и проявитель. Контроль проводят при температуре $-40...+40$ °С и относительной влажности воздуха не более 90 %.

Технологический процесс капиллярной дефектоскопии предусматривает выполнение таких операций, как: подготовка изделия к контролю; нанесение пенетранта; очистка

поверхности от его излишков; нанесение проявителя; осмотр изделия и анализ индикаторных следов выявленных дефектов; удаление (в случае необходимости) остатков дефектоскопических материалов [2].

Капиллярный метод контроля основан на проникновении смачивающих индикаторных жидкостей в полость поверхностного дефекта изделия. Излишки жидкости удаляют с поверхности, а оставшуюся в дефекте извлекают проявляющим порошком или краской. Следы жидкости видны на поверхности изделия как темные пятна (метод керосиновой пробы), цветные пятна (цветной метод) или пятна, светящиеся в ультрафиолетовых лучах (люминесцентный метод). При выявлении поверхностных дефектов можно рассчитать их наименьший параметр (например, ширину раскрытия трещины), определяемый используемым набором дефектоскопических материалов. Раскрытие трещины выявляют на естественных или искусственных дефектах изделия при нормальных лабораторных условиях, применяя установленную заводом-изготовителем технологию контроля.

Для определения чувствительности и качества дефектоскопических материалов при их поступлении и непосредственно перед контролем используют контрольные образцы (КО) [3]. В паспорте КО указаны основные параметры дефекта: ширина раскрытия, длина и глубина. Приводится фотография КО с индикаторным следом полученного дефекта при проведении контроля определенным набором дефектоскопических материалов.

Контрольными образцами служат забракованные детали с естественными трещинами, пластины, диски и другие изделия с преднамеренно образованными трещинами. Наиболее широко применяют образцы в виде пластин с хрупким

металлическим, гальваническим, химическим покрытиями или с поверхностью, упрочненной химико-термической обработкой — азотированием. Трещины получают при деформации образцов изгибом, растяжением либо вдавливанием пуансона с цилиндрической или сферической формой контактной поверхности [4, 5]. К недостаткам таких образцов относится возникновение трещин в непредсказуемых местах и с неопределенной плотностью распределения на единицу поверхности КО, а также их неизвестное число и расстояние между ними. Возможность изготовления указанным способом образца, содержащего ряд дефектов с определенной закономерностью ширины и глубины раскрытия, возникающих от прилагаемой нагрузки, исключена. Непостоянство напряжений в образце вызывает переменные глубины и ширины раскрытия трещин. Изгиб эталона в процессе нагрузки приводит к его дальнейшему искривлению, так как он приобретает некоторую остаточную деформацию, что, в свою очередь, создает произвольное изменение ширины раскрытия трещин. В описанных КО затруднена оценка качества очистки полостей дефектов от полимеризующихся остатков, многократно применяемых дефектоскопических материалов, отсутствует возможность визуализации физических процессов, происходящих при реализации технологии капиллярного контроля [4, 5].

Варианты изготовления КО для капиллярной дефектоскопии из неметаллических материалов. Капиллярный метод контроля применяют для изделий из немагнитных, неметаллических, композиционных и других перспективных материалов, следовательно, КО также надо изготавливать из различных материалов, в том числе из неметаллов.

В настоящее время появились неметаллические КО с заданными параметрами дефектов [6]. Они просты и дешевы в изготовлении, коррозия материала при их очистке отсутствует, остатки дефектоскопических материалов легко заметны, а дефекты получаются с заданными параметрами. Все это позволяет более качественно проводить очистку образцов, что продлевает срок их эксплуатации.

При проверке дефектоскопических материалов по каждому классу чувствительности необходимо использовать по два КО (рабочий и арбитражный) с трещинами одинакового характера и примерно равных размеров. В настоящее время на рынке представлены образцы лишь с одной трещиной. Соответственно, согласно стандартам [7, 8] необходимо иметь как минимум шесть КО, соответствующих трем наиболее ответственным классам чувствительности. Предложенный авторами способ изготовления неметаллических КО позволяет решить эту проблему [9].

Однако существуют определенные трудности в технологическом процессе. Контрольные образцы изготавливают из эпоксидного клея с раскрытием дефектов (трещин) шириной $b \approx 1$ мм, но образование в клее пузырьков воздуха значительно снижает качество их рабочей поверхности. Частично устранить эту проблему можно вакуумированием, воздействием ультразвука или нагревом.

Более ощутимый эффект избавления от пузырьков на рабочей поверхности дает метод, рассмотренный ниже. Первоначальные стадии изготовления КО в данном варианте схожи со способом, приведенным в [10], т. е. сначала фольгу покрывают тонким слоем эпоксидного клея. Вид заготовки на данном этапе представлен на рис. 1, а, где ширина алюминиевой фольги составляет 2 мм, а полная ширина заго-

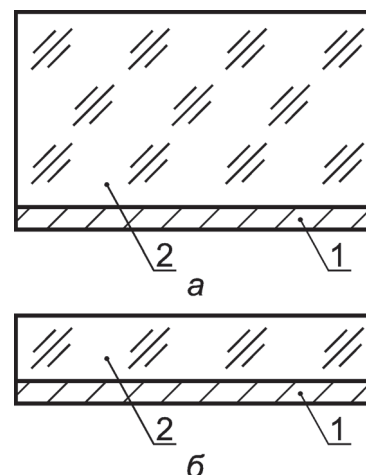


Рис. 1. Алюминиевая фольга 1, покрытая эпоксидным клеем 2 (а), то же после обработки (б)

товки — 20 мм. Заготовку обрабатывают до размеров, представленных на рис. 1, б, где ширина заготовки уменьшена до 5 мм. Затем на дне заранее подготовленной формы закрепляют конечную заготовку с этой фольгой. Форму заливают эпоксидным клеем. Применяя рассмотренные выше приемы уменьшения количества пузырьков в объеме эпоксидного клея, добиваются подъема оставшихся пузырьков в его верхний слой. При последующей обработке затвердевшего бруска происходит окончательная ликвидация пузырьков, расположенных в верхней части. После механической обработки шлифовальной бумагой и травления донной поверхности бруска она становится рабочей для будущего КО. Изображение образца, изготовленного по данному варианту и имеющего три трещины шириной раскрытия b_1 , b_2 , b_3 и длиной l , приведено на рис. 2.

В предложенном методе для изготовления неметаллического КО с $b \approx 1$ мм можно использовать в качестве дефекта поталь — имитатор сусального золота или пластинки слюдяного конденсатора с напыленным слоем серебра. Реализуют это следующим образом. На дне формы с помощью клея закрепляют подготовленную пластинку (см. рис. 1, б), затем форму заливают эпоксидным клеем. После затвердевания клея выполняют все операции, предусмотренные технологией изготовления. Ширину раскрытия трещины измеряют на металлографическом микроскопе.

В настоящее время неметаллические образцы проходят стадию исследования и доработки. Ниже приведены результаты исследования влияния температуры на ширину раскрытия таких образцов и многократность их использования [10]. Измерения проводили через 20 мин после охлаждения или нагревания.

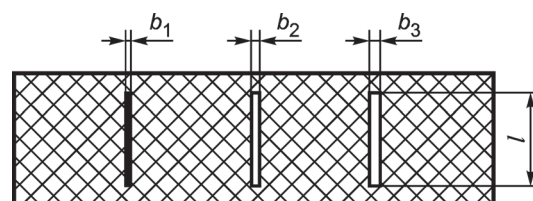


Рис. 2. Контрольный образец из неметалла

В таблице представлена зависимость средних значений ширины раскрытия дефекта от температуры среды, в которую помещены КО.

Ширина раскрытия трещины, мкм

№ КО	№ дефекта в КО	Температура среды, °C					
		-10	0	10	20	30	40
0	1	8,4	8,5	8,6	8,6	9,0	9,4
	2	7,8	8,2	8,8	9,0	9,3	9,6
1	1	36,4	30,0	28,0	27,2	30,0	32,2
2	1	22,4	20,0	20,0	19,0	17,5	17,0
	2	24,6	30,0	32,5	35,8	28,0	27,0
13	1	28,4	30,0	32,5	35,8	28,0	27,0
	2	19,7	20,0	20,0	21,2	18,0	17,4
20	1	29,6	26,6	27,6	23,2	26,4	29,4
	2	18,4	16,0	14,8	12,8	13,0	15,0
21	1	8,0	8,0	9,0	9,6	9,0	8,0

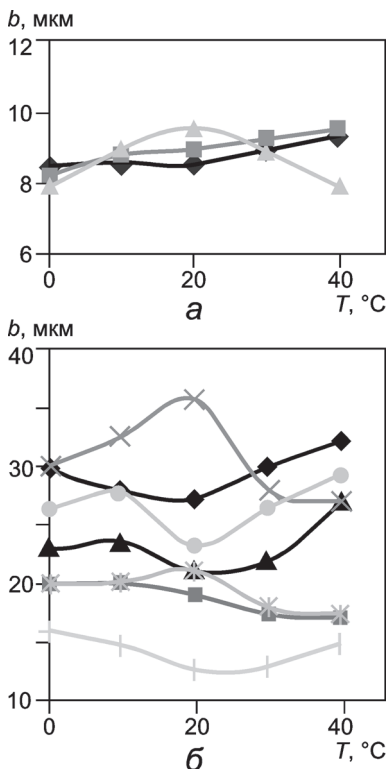


Рис. 3. Воздействие температур на ширину раскрытия:

а — образцы с шириной раскрытия дефектов по II классу чувствительности: ◆ — образец № 0, дефект 1; ■ — № 0, дефект 2; ▲ — № 21, дефект 1; б — образцы по III классу чувствительности: ◆ — № 1, дефект 1; ■ — № 2, дефект 1; ▲ — № 2, дефект 2; × — № 13, дефект 1; * — № 13, дефект 2; ● — № 20, дефект 1; | — № 20, дефект 2

На рис. 3 приведены зависимости изменения ширины раскрытия дефектов КО от воздействия температур.

Были исследованы КО №: 0, 1, 2, 4, 6, 7, 8 на многократность использования с помощью дефектоскопических материалов Sherwin Babb Co (Франция). Для ускорения проведения многократных технологических процессов цветного способа капиллярного контроля и очистки образцов применяли ультразвуковую ванну УЗВ 2/150 ТН. Технологический процесс капиллярного контроля на вышеуказанных образцах осуществляли 80 раз. Длина трещин при данных исследованиях оставалась неизменной.

Заключение. Использование предлагаемой технологии изготовления КО из немагнитного материала (эпоксидного клея) и

металлической фольги, донной поверхности формы будущего КО в качестве рабочей, позволяет: реализовать дефекты с заданными параметрами; создать на одном контрольном образце несколько дефектов с разными классами чувствительности или же одного класса с близкими значениями раскрытий; значительно увеличить ресурс (многократность использования) КО из неметаллических материалов по сравнению с образцами из металлов, так как возможна более качественная очистка таких образцов из-за их прозрачности и отсутствия окисных образований.

Диапазон изменения ширины раскрытия трещин под действием температур незначителен и укладывается в границы классов чувствительности.

Литература

1. Капиллярный неразрушающий контроль [Электронный ресурс]. <http://ndt-testing.ru/> (дата обращения 06.11.2013).
2. Калиниченко Н. П., Кулешов В. К., Калиниченко А. Н. Контроль проникающими веществами. Капиллярный контроль: Учеб. пособ. Томск: Изд-во. ТПУ, 2006.
3. Глазков Ю. А. Особенности аттестации контрольных образцов для капиллярной дефектоскопии // Дефектоскопия. 2004. № 9. С. 74—84.
4. А. с. 555329 СССР. Способ изготовления эталонов для дефектоскопии / Б. С. Санько, Н. Н. Качанов, А. П. Дегтярев, А. С. Боровиков, Г. Б. Подымаева // Бюл. изобрет. 1977.
5. А. с. 714265 СССР. Способ изготовления контрольного образца для дефектоскопии / К. С. Фурман, И. А. Бакшт // Бюл. изобрет. 1980.
6. Kalinichenko N. P., Kalinichenko A. N., Konareva I. S. Reference specimens of nonmetallic materials for penetrant nondestructive testing // Russian J. Nondestruct. Testing. 2011. V. 47. N. 10. P. 663—666.
7. ГОСТ 18442—80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
8. РД-13-06—2006. Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах.
9. Калиниченко Н. П., Калиниченко А. Н., Лобанова (Конарева) И. С. Универсальный контрольный образец для капиллярной дефектоскопии // Контроль. Диагностика. 2012. № 11(173). С. 34—36.
10. Калиниченко Н. П. и др. Метрологические и эксплуатационные характеристики контрольных образцов для капиллярной дефектоскопии из неметаллических материалов // Вестник науки Сибири. 2012. № 4(5). С. 144—148.

Дата принятия 07.03.2014 г.