

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОГО НАБОРА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

© 2019 г. И.И. Кудинов<sup>1,\*</sup>, А.Н. Головков<sup>1,\*\*</sup>, С.И. Куличкова<sup>1</sup>, Д.С. Скоробогатько<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», государственный научный центр Российской Федерации (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ), Россия 105005 Москва, ул. Радио, 17  
E-mail: \*kudinov\_ii@mail.ru; \*\*golovkov\_an@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2019; после доработки 30.05.2019

Принята к публикации 10.06.2019

Рассмотрены различные способы интенсификации для стандартной технологии капиллярного контроля с использованием современного набора дефектоскопических материалов с I-м классом чувствительности согласно ГОСТ 18442 для обеспечения надежного обнаружения дефектов, имеющих выход на контролируемую поверхность. Проведены экспериментальные исследования с использованием временного, температурного, ультразвукового, вакуумного и комбинированного способов интенсификации заполнения полостей дефектов индикаторной жидкостью при проведении люминесцентного капиллярного метода неразрушающего контроля с применением образцов и натуральных деталей с искусственными и естественными дефектами типа трещина и пора. Проведенная работа позволила качественно сравнить способы интенсификации процесса заполнения полостей поверхностных дефектов малолетучей индикаторной жидкостью по полноте выявления индикаторных рисунков, их яркости и контрастности. Сделаны выводы об эффективности различных способов интенсификации.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, капиллярный контроль, дефектоскопические материалы, индикаторный след, способы интенсификации.

**DOI:** 10.1134/S0130308219110071

### ВВЕДЕНИЕ

Для создания конкурентноспособного, надежного, перспективного двигателя с большим ресурсом, необходимо изготавливать детали и узлы из качественных авиационных материалов с использованием современных технологий. Качество материалов определяется отсутствием или наличием дефектов, обнаруженных, в том числе, методами неразрушающего контроля. В свою очередь, расчет ресурса авиационных двигателей проводится с учетом дефектов, которые могут быть пропущены при проведении неразрушающего контроля. Поэтому одним из аспектов увеличения ресурса деталей двигателей является повышение чувствительности методов контроля. Чем чувствительнее метод контроля, тем выше вероятность обнаружения даже незначительного размера дефекта, пропуск которого может повлиять на уменьшение ресурса детали.

Одним из наиболее распространённых и самых чувствительных методов контроля является капиллярный метод, предназначенный для обнаружения дефектов типа несплошностей материала, выходящих на контролируемую поверхность. Метод основан на явлении проникновения индикаторной жидкости в полости поверхностных дефектов и регистрации, образующихся индикаторных следов, после нанесения проявляющей жидкости, на поверхности с дефектом.

Стандартный технологический процесс капиллярного контроля состоит из следующих операций: очистка поверхности объекта контроля и полости дефекта от различных видов загрязнений; сушка изделий до полного удаления моющей жидкости; нанесение индикаторного пенетранта; удаление с поверхности изделия избытка пенетранта; удаление очищающей жидкости с контролируемой поверхности; сушка контролируемой поверхности (протирка); нанесение проявителя; осмотр и разбраковка объектов контроля; очистка деталей от проявителя и следов индикаторного пенетранта.

Путь повышения надежности капиллярного метода контроля на предприятиях — полная или частичная механизация и автоматизация технологии при изготовлении, ремонте и техническом обслуживании [1, 2]. Автоматизация стандартной технологии за счет снижения доли ручного труда позволяет минимизировать долю методических ошибок, повысить качество контроля и обеспечить

требуемый уровень чувствительности, без повышения вероятности обнаружения. Однако в современных условиях, для создания конкурентоспособного изделия это условие является необходимым, но недостаточным [3—5].

Обнаружение дефектов на поверхности детали при капиллярном контроле, в том числе зависит от ширины индикаторного рисунка и его оптического контраста. Данные параметры зависят от глубины, а, следовательно, от количества проникающей жидкости в полости несплошности и диффузионных и сорбционных свойств проявляющей жидкости. Из литературных источников известно, что глубина заполнения полости несплошности индикаторной жидкостью за счет капиллярных сил, составляет не более 10 % от полной глубины капилляра. Причиной не полного заполнения является давление сжатого воздуха, оставшегося в тупиковой трещине, противодействующее капиллярным силам. Для увеличения глубины заполнения несплошности проникающей жидкостью, в «помощь» капиллярным силам, могут быть применены различные способы интенсификации. Способы интенсификации при нанесении проникающей жидкости — это процессы увеличения объема заполнения полости несплошности проникающей жидкостью за счет различных физических явлений.

На российских предприятиях, оснащенных автоматизированными линиями капиллярного контроля зарубежного производства, на стадии нанесения индикаторной жидкости, не применяются способы интенсификации.

### ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЗАПОЛНЕНИЯ

**Процессы интенсификации.** Для повышения чувствительности стандартного технологического процесса капиллярного контроля были изучены различные способы интенсификации заполнения полостей дефекта проникающей жидкостью: временной, температурный, ультразвуковой, компрессионный и вакуумный [6].

**Временной способ интенсификации** заключается в увеличении времени выдержки контролируемой поверхности под слоем проникающей жидкости в стандартном технологическом процессе капиллярного контроля. При выдержке под слоем пенетранта происходит быстро протекающий процесс заполнения индикаторной жидкостью полости несплошности под действием капиллярных сил, затем происходит более медленный процесс диффузионного растворения. С увеличением времени выдержки сжатый воздух, оставшийся в тупиковой трещине, начинает частично растворяться, увеличивая глубину заполнения и объем пенетранта в полости дефекта. Разница между глубиной заполнения для тупикового капилляра без учета  $L_1$  и с учетом диффузионных процессов  $L_D$  показана на рис. 1 [7]. Из зависимости видно, что увеличивая время выдержки под слоем пенетранта, глубина и, соответственно объем заполненный пенетрантом полости дефекта растет.

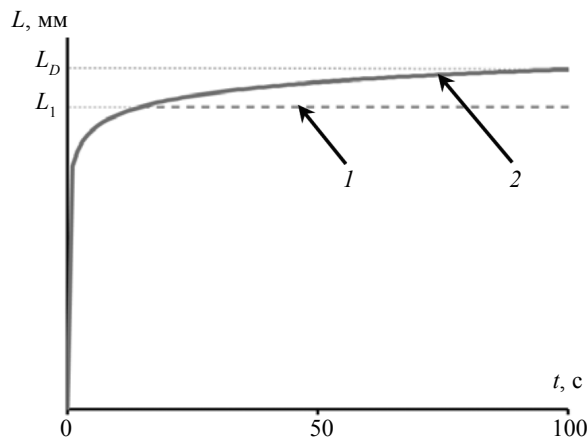


Рис. 1. Зависимость глубины проникновения индикаторной жидкости  $L$ , мм, от времени  $t$ , с:  
1 — без учета диффузионных процессов; 2 — с учетом диффузионных процессов.

Достоинством данного способа интенсификации является отсутствие какого-либо дополнительного оборудования, но есть большой недостаток, заключающийся в незначительной эффективности заполнения полости индикаторной жидкостью и в значительном увеличении времени технологической операции контроля нанесения пенетранта. Это приведет к увеличению времени

изготовления детали, следовательно, применять временной способ интенсификации при контроле не всегда экономично и целесообразно.

**Температурный способ интенсификации** заключается в повышении температуры дефектоскопического материала и объекта контроля в процессе нанесения индикаторного пенетранта. Изменение данного параметра напрямую влияет на физико-химические свойства дефектоскопических материалов и на такие явления, как диффузия, вязкость, смачиваемость и поверхностное натяжение [8].

Достоинством данного способа интенсификации является увеличение глубины проникновения индикаторной жидкости за счет незначительного изменения ее физико-химических свойств, с применением несложного и недорогого оборудования. При нагревании малолетучих индикаторных жидкостей (до температуры, при которой не ухудшаются ее основные свойства) уменьшается их вязкость и поверхностное натяжение, улучшается смачиваемость, что увеличивает скорость и глубину заполнения несплошности. Использование нагретых деталей в процессе контроля также увеличивает скорость и глубину заполнения несплошностей. Физические процессы, в данном случае, схожи с процессами, проходящими при нагревании индикаторной жидкости, однако в отличие от нее проходят в слоях жидкости, расположенных в непосредственной близости к поверхности нагретой детали. При использовании температурного способа интенсификации нагреванием детали снижается вероятность образования конденсации паров воды в полости дефектов во время остывания детали. При нагревании детали воздух расширяется, а при взаимодействии с индикаторной жидкостью охлаждается, уменьшаясь в объеме, создает разрежение, тем самым увеличивая глубину проникновения индикаторной жидкости.

Недостатком температурного способа интенсификации является невозможность его использования для всех индикаторных жидкостей, входящих в состав различных дефектоскопических наборов. Большинство дефектоскопических материалов высоколетучие, имеют низкую температуру вспышки, токсичны и взрывопожароопасны, поэтому применение температурного способа интенсификации становится невозможным.

На российском рынке существуют наборы дефектоскопических материалов, имеющие в своем составе растворители с высокой температурой вспышки, малолетучие, малотоксичные и взрыво- и пожаробезопасные, которые могут применяться с температурным способом интенсификации.

Рассмотрим в качестве примера процесс заполнения индикаторной жидкостью дефекта, с непараллельными стенками, имеющего в сечении вид треугольника (рис. 2). Из равенства давлений снаружи и изнутри капилляра ( $P_b = P_k + P_a$ ) без учета явления диффузионной пропитки следует зависимость:

$$L_1 = L_0 - \frac{L_0}{\left(1 + \frac{P_k}{P_a}\right)}, \quad (1)$$

где  $L_0$  — глубина капилляра;  $L_1$  — глубина заполнения тупикового капилляра под действием капиллярных сил;  $P_a$  — атмосферное давление;  $P_k = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{b}$  — капиллярное давление;  $b$  — ширина раскрытия устья дефекта;  $\sigma$  — сила поверхностного натяжения;  $\theta$  — краевой угол смачивания.

Из выражения (1) видно, что уменьшая давление атмосферное и дефектоскопические свойства жидкости можно значительно увеличить глубину проникновения тупикового капилляра [7].

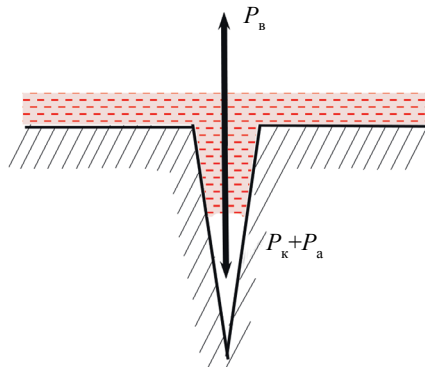


Рис. 2. Процесс заполнения индикаторной жидкостью дефекта с непараллельными стенками.

**Компрессионный способ интенсификации** основан на нагнетании избыточного давления в камере над поверхностью деталей с нанесенной индикаторной жидкостью.

Недостатком компрессионного способа интенсификации является необходимость в использовании сложного и дорогостоящего технологического оборудования, для размещения которого требуется помещение особой категории. Однако эффективность способа во многих случаях невелика. С увеличением давления до значительного ухудшаются капиллярные свойства жидкостей: уменьшается их поверхностное натяжение, увеличивается вязкость, ухудшается смачиваемость твердых тел [8, 9].

Для большей эффективности заполнения объема полости дефекта малолетучей индикаторной жидкостью используют ультразвуковой и вакуумный способы интенсификации.

**Ультразвуковой способ интенсификации** основан на возникновении явления кавитации, заключающегося в том, что при прохождении ультразвуковых колебаний высокой интенсивности через индикаторную жидкость происходит образование пузырьков. Схлопывание пузырьков на границе с контролируемой поверхностью, создает мощную ударную волну, что обеспечивает условие для интенсивного удаления из полостей дефектов воздуха и более полного заполнения индикаторной жидкостью. У кавитации есть и побочные явления, которые нежелательны, например разрушение поверхностных слоев материала [9, 11].

**Вакуумный способ интенсификации** основан на заполнении объема полостей дефектов индикаторной жидкостью при давлении воздуха в них ниже атмосферного. Этот способ пропитки полостей дефектов пенетрантом может быть двух видов: с предварительным вакуумированием и с одновременным вакуумированием [8].

Недостатком вакуумного способа интенсификации является необходимость в использовании сложного и дорогостоящего технологического оборудования. При нанесении индикаторной жидкости под вакуумом более летучие фракции в ее составе могут испариться, повлиять на качество и заданную чувствительность контроля.

### ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании приведенной выше информации было решено провести экспериментальные исследования, целью которых является поиск более эффективных и перспективных способов интенсификации и их сочетаний с применением отечественного набора дефектоскопических материалов.

Для повышения вероятности обнаружения дефектов [12] за счет различных способов интенсификации при проведении капиллярного контроля на этапе заполнения дефектов индикаторной жидкостью были проведены качественные сравнительные испытания. С целью обеспечения требований по взрыво- и пожаробезопасности на линиях автоматизированного контроля (для проведения испытаний) был выбран набор дефектоскопических материалов с I классом чувствительности по ГОСТ 18442, обладающий пониженной пожароопасностью (температура вспышки — менее 126 °С) [13]. В качестве объектов контроля были выбраны образцы и детали с искусственными (трещина в азотированном слое) и естественными (трещина и пора) дефектами.

Образцы с искусственными дефектами представляют собой пластины с трещинами малоцикловой усталости (рис. 3а) и трещинами в поверхностном азотированном слое расположенными по центру образца нормируемые по ширине раскрытия (рис. 3б). Также использовался контрольный образец № 2 по ГОСТ Р ИСО 3452—3 [14].

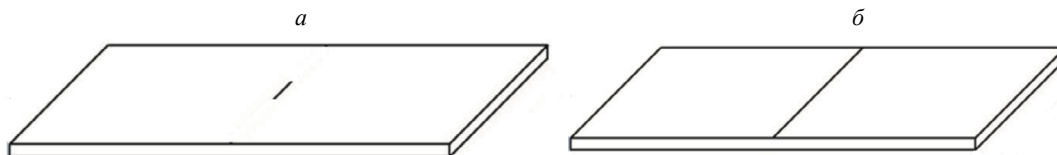


Рис. 3. Образцы в виде пластин с искусственными дефектами: трещинами малоцикловой усталости (а) и трещинами в поверхностном азотированном слое (б).

Образцы с естественными дефектами типа трещина и пора представляют собой натурные детали (лопатки), имеющие сложную геометрическую форму и различную шероховатость поверхности, с несплошностями, образовавшимися в процессе изготовления и эксплуатации в характерных зонах (рис. 4 а, б, в).

Технологический процесс капиллярного контроля проводился согласно ОСТ 1 90282 [15].



Рис. 4. Вид образцов (лопатки) с естественными дефектами (трещинами и порами) .

В табл. 1—3 показаны результаты испытаний образцов и натурных деталей капиллярным методом контроля по следующим технологическим режимам:

испытание № 1 — стандартная технология;

испытание № 2 — стандартная технология с использованием ультразвукового способа интенсификации при нанесении индикаторного пенетранта погружением;

испытание № 3 — стандартная технология с использованием ультразвукового и температурного способа интенсификации при нанесении индикаторного пенетранта погружением нагретых ОК;

испытание № 4 — стандартная технология с использованием ультразвукового и температурного способа интенсификации с нагревом при нанесении индикаторного пенетранта погружением нагретых ОК;

испытание № 5 — вакуумный способ интенсификации нанесения индикаторного пенетранта с использованием специализированной автоматизированной установки.

В табл. 1 зона с дефектом расположена в центре образца, в табл. 2, 3 зоны с дефектом обведены на всех образцах овалом. Наилучшие результаты контроля указаны стрелкой.

Таблица 1

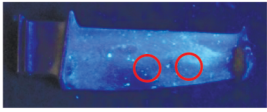
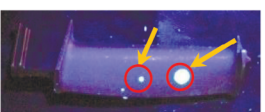
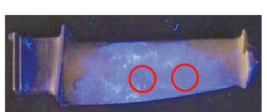
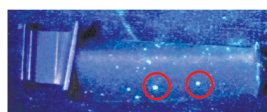
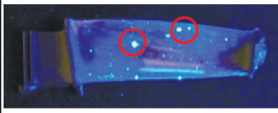
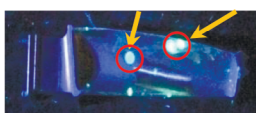
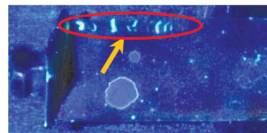
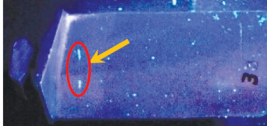
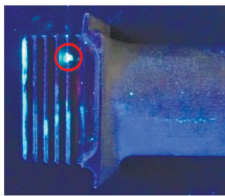
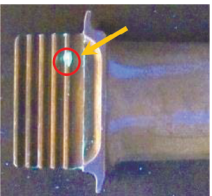
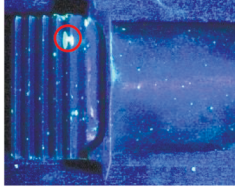
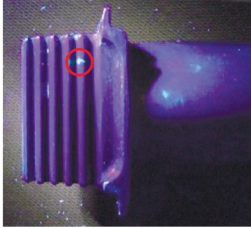
Результаты капиллярного люминесцентного контроля образцов (см. рис. 3б) с трещинами в поверхностном азотированном слое

| № образца | Испытание № 1 | Испытание № 2 | Испытание № 3 | Испытание № 4 | Испытание № 5 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1         |               |               |               |               |               |
| 2         |               |               |               |               |               |
| 3         |               |               |               |               |               |
| 4         |               |               |               |               |               |
| 5         |               |               |               |               |               |
| 6         |               |               |               |               |               |
| 7         |               |               |               |               |               |

Осмотр и фотографирование контролируемой поверхности осуществлялся под ультрафиолетовым светом при интенсивности излучения  $2900 \text{ мкВт/см}^2$  (в соответствии с требованиями ГОСТ 18442) через 60 мин после нанесения проявителя.

Таблица 2

**Результаты капиллярного люминесцентного контроля лопаток (см. рис. 4 а—в) с естественными дефектами: трещиной и порой**

| № образца | Испытание № 1                                                                       | Испытание № 2                                                                       | Испытание № 3                                                                        | Испытание № 5                                                                         |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 8         |    |    |    |    |
|           |    |    |    |    |
| 9         |    |    |    |    |
| 10        |   |   |   |   |
| 11        |  |  |  |  |

По результатам пяти испытаний, показанных в табл. 1, при контроле пластин с трещинами в азотированном слое было установлено, что применяемый комбинированный способ интенсификации (испытание № 4) привел к ухудшению обнаружения дефектов по сравнению с результатами испытаний, полученных по стандартной технологии капиллярного контроля без способов интенсификации (испытание № 1). Поэтому в дальнейших экспериментальных исследованиях испытание № 4 было исключено.

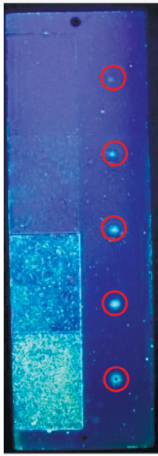
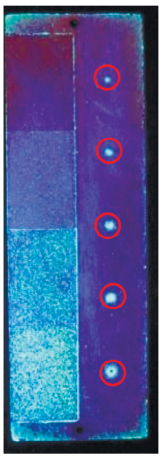
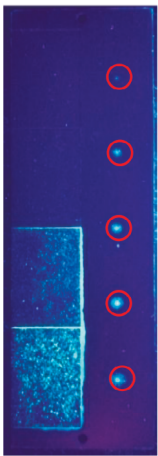
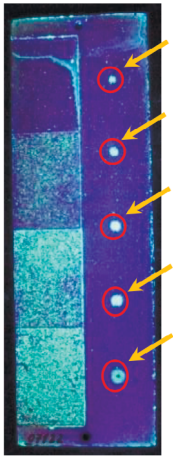
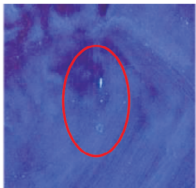
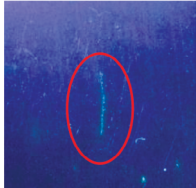
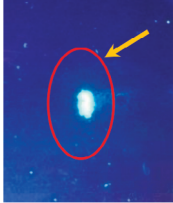
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из представленных в табл. 1—3 результатов видно, что наибольший эффект для образцов № 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12 (с точки зрения конечного результата капиллярного контроля — выявление/невыявление дефектов на образцах) получен при использовании вакуумного способа интенсификации (испытание № 5). При проведении испытаний № 5 индикации от дефектов, содержащихся на поверхности образцов № 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12, имеют наибольшую яркость и контрастность по сравнению с другими испытаниями.

Для образцов № 5, 11, 13, 14 наибольший эффект был достигнут при применении ультразвукового способа интенсификации. При проведении испытаний № 2 индикации от дефектов, содержащихся на поверхности образцов № 5, 11, 13, 14, имеют наибольшую яркость и контрастность по сравнению с другими испытаниями.

Таблица 3

Результаты капиллярного люминесцентного контроля контрольного образца № 2 по ГОСТ Р ИСО 3452—3 и образцов с трещиной малоциклового усталости (см. рис. 3а)

| № образца | Испытание № 1                                                                       | Испытание № 2                                                                       | Испытание № 3                                                                        | Испытание № 4                                                                         |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 12        |    |    |    |    |
| 13        |    |    |    |    |
| 14        |  |  |  |  |

На образце № 13 с трещиной малоциклового усталости при вакуумном способе интенсификации полнота выявления дефекта выше, а яркость и контрастность индикаторного рисунка ниже, чем при ультразвуковом способе.

При использовании комбинированного способа интенсификации при воздействии ультразвуковых колебаний на предварительно нагретую деталь (испытание № 3) заполнение полостей дефектов индикаторной жидкостью на образце № 6 наиболее эффективное. Из табл. 1 видно, что свечение от дефекта наиболее яркое и контрастное.

На образце № 7 яркость и контрастность индикаторного рисунка от трещины, а также полнота ее выявления ухудшается в процессе проведения испытаний, что обусловлено неполным удалением остатков дефектоскопических материалов из полости трещины при подготовке поверхности перед контролем. Это послужило причиной ее не выявления.

На образцах № 8 и 13 дефекты при проведении капиллярного контроля по стандартной технологии не обнаружены контролерами.

Применение комбинированного способа интенсификации при воздействии ультразвуковых колебаний на предварительно нагретую деталь с ее погружением в предварительно нагретую индикаторную жидкость (испытание № 4) приводит к ухудшению результатов капиллярного контроля по сравнению с испытанием, проведенным по стандартной технологии капиллярного контроля, рекомендованной производителем набора дефектоскопических материалов и отраслевым стандартом (испытание № 1).

## ВЫВОДЫ

Проведен анализ различных способов интенсификации процесса заполнения полости несплошности пенетрантом. Установлено, что их применение невозможно для большинства наборов дефектоскопических материалов российского производства, так как они имеют низкую температуру вспышки, являются токсичными и взрывопожароопасными.

Экспериментально показано, что наиболее эффективными являются вакуумный и ультразвуковой способы интенсификации для обнаружения как производственных, так и эксплуатационных дефектов.

В результате проведенной работы экспериментально подтверждено, что интенсификация процесса способствует увеличению яркости и контрастности выявления дефектов при минимальном фоновом свечении на поверхности объекта контроля.

Экспериментально установлено, что использование комбинированного способа интенсификации (испытание № 4 — стандартная технология с использованием ультразвукового и температурного способов интенсификации) способствует ухудшению контроля по сравнению с результатами испытаний, полученных по стандартной технологии капиллярного контроля, рекомендованной производителем набора дефектоскопических материалов и отраслевым стандартом.

Экспериментально показано, что внедрение в автоматизированный процесс капиллярного контроля новых технологий с использованием ультразвукового и вакуумного способов интенсификации заполнения полостей дефектов проникающей жидкостью позволит повысить чувствительность контроля за счет усиления яркости, контрастности и полноты выявления индикаторного рисунка, а, следовательно, повысить вероятность обнаружения дефектов, не обнаруживаемых при использовании стандартной технологии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов — гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2001. № 1. С. 3—8
2. Луценко А.Н., Славин А.В., Ерасов В.С., Хвацкий К.К. Прочностные испытания и исследования авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 527—546. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546
3. Луценко А.Н., Перов Н.С., Чабина Е.Б. Новые этапы развития Испытательного центра // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 460—468. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-460-468
4. Каблов Е.Н. Россия на рынке интеллектуальных ресурсов // Эксперт. 2015. № 28(951). С. 48—51.
5. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1. С. 3—33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
6. ГОСТ 18442—80. Неразрушающий контроль. Капиллярные методы. М.: Издательство стандартов, 1980. 24 с.
7. Гурвич А.К., Ермолов И.Н., Сажин С.Г. Неразрушающий контроль. Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. М.: Высшая школа, 1992. 242 с.
8. Беда П.И., Выборнов Б.И., Глазков Ю.А., Луцкий С.П., Самойлович Г.С., Шелехов Г.С. Неразрушающий контроль металлов и изделий. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.
9. Гинберг А.М., Федотова Н.Я. Ультразвук в гальванотехнике. М.: Металлургия. 1969. 208 с.
10. Ключев В.В., Евлампиев А.И., Попов С.Д., Сажин С.Г., Муравьева Л.Д., Добротин С.А., Половинкин А.В., Кондратьев Ю.Н., Федосенко Ю.К., Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Останин Ю.Я. Неразрушающий контроль и диагностика / Справочник. М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
11. Филинов М.В., Прохоренко П.П. Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. М.: Физматлит, 2008. 306 с.
12. Чертищев В.Ю. Оценка вероятности обнаружения дефектов акустическими методами в зависимости от их размера в конструкциях из ПКМ для выходных данных контроля в виде бинарных величин // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3. С. 65—79 DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-65-79
13. Куличкова С.И., Головков А.Н., Кудинов И.И., Лаптев А.С. Современные дефектоскопические материалы, оборудование и автоматизация процесса капиллярного неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика. 2019. № 2. С. 52—57 DOI: 10.14489/td.2019.02.pp052-057
14. ГОСТ Р ИСО 3452—3—2009. Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 3. Испытательные образцы. М.: ФГУП «ВНИИОФИ», 2010. 11 с.
15. ОСТ 1 90282—79. Качество продукции. Неразрушающий контроль. Капиллярные методы. М.: ФГУП «ВИАМ», 1979. 50 с.