

УДК 621.9.048.7

## Технологическое обеспечение процедуры ускоренного определения параметров качества поверхностного слоя материала изделий ракетно-космической техники\*

**М.И. Абашин, А.Л. Галиновский, А.В. Сгибнев**

*Рассмотрена методика ультраструйной диагностики, изложены практические рекомендации по ее осуществлению, в частности, выбору информативных признаков для решения конкретных задач диагностики и технологических режимов ультраструйного воздействия. Предложены возможные области применения данного вида технологической диагностики для решения задач технологической подготовки производства изделий ракетно-космической техники.*

**Ключевые слова:** ультраструя, ракетно-космическая техника, диагностика, информативный признак, технологический режим.

## Technological Support Procedures for Express Determination of Quality Parameters of Superficial Layer Material of the Space-Rocket Products

**M.I. Abashin, A.L. Galinovsky, A.V. Sgibnev**

*In the article the ultra-jet diagnostics method is described. Practical recommendations for its realization are represented, specifically for the informative signs selection of diagnostics and process conditions problem solving. Possible application area for the described method in space-rocket manufacturing is suggested.*

**Keywords:** ultra-jet, space-rocket technique, diagnostics, informative sign, process conditions.

Характерной особенностью изготовления изделий ракетно-космической техники (РКТ) является обеспечение их высокой надежности. В связи с этим, особо остро стоит проблема обеспечения надлежащего уровня качества, как отдельных деталей, так и готовой продукции в целом. В то же время, высокая стоимость изделий в условиях конкуренции влечет за собой попытки производителей как можно более полно использовать возможности и ресурс ряда ответствен-

\* Исследование проводилось в рамках гранта президента РФ №16.120.11.5069-МД и гранта РФФИ №12-08-33022 мол\_а\_вед.



**АБАШИН**  
**Михаил Иванович**  
ассистент  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
**ABASHIN**  
**Mikhail Ivanovich**  
Assistant  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)



**ГАЛИНОВСКИЙ**  
**Андрей Леонидович**  
кандидат технических наук,  
доктор педагогических наук,  
доцент, профессор  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
**GALINOVSKY**  
**Andrey Leonidovich**  
Cand. Sc. (Eng.),  
Dr. Sc. (Pedag.), Associate  
Professor, Professor  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)



**СГИБНЕВ**  
**Анатолий Васильевич**  
доктор технических наук,  
профессор  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
**SGIBNEV**  
**Anatoly Vasilievich**  
Dr. Sc. (Eng.), Professor  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)

ных деталей, например ротора турбонасосного агрегата.

Трудоемкость испытательных и контрольных процессов составляет значительную часть общей трудоемкости изготовления космических аппаратов (КА) и постоянно возрастает [1]. В процессе отработки технологии производства того или иного узла приходится многократно проводить испытания, что существенно увеличивает время пуска изделий в серию и стоимость конечного продукта.

Широкое применение новых конструкционных материалов, экстремальные условия эксплуатации объектов РКТ ставят перед производством сложную задачу создания высокоэффективных надежных методов и средств контроля исходных материалов, деталей, сборочных единиц и их соединений, как на этапе технологической подготовки производства, так и на этапе испытаний.

В производстве РКТ технологические процессы и результаты их проведения характеризуются многообразием характеристик, подлежащих оценке, и наличием ограниченного числа образцов, выделяемых на проведение испытаний [1]. В первую очередь, следует обратить особое внимание на качество поверхностного слоя материала, который формируется в ходе проведения технологического процесса. В условиях эксплуатации именно поверхностный слой детали подвергается наиболее сильному воздействию: механическому, тепловому, химическому и др. Потеря деталью своего служебного назначения и начало ее разрушения, как правило, начинается с поверхности. Поэтому качество поверхностного слоя детали оказывает существенную роль в обеспечении ее работоспособности [2].

В связи с изложенным выше, разработка новых методов обеспечения качества формирования поверхностного слоя деталей, повышение достоверности оценки результатов испытаний и сокращение времени на технологическую подготовку производства является актуальной задачей современного ракетно-космического машиностроения.

В ряде работ [3, 4] описан новый метод оценки параметров качества поверхностного слоя — ультразвуковая диагностика (УСД). Однако публикации только указывают на дос-

тоинства УСД, но не демонстрируют конкретного применения данной операционной технологии в промышленности, а методическое обеспечение данной технологии является слабо развитым. В связи с этим, в настоящей статье предпринята попытка обобщения обширных экспериментальных и теоретических исследований по использованию гидроэрозионного разрушения в качестве аппарата оценки качества поверхностного слоя материала и обеспечения надежности изделий РКТ.

Согласно сформированным представлениям суть УСД состоит в реализации следующих основных этапов:

1) на исследуемый объект оказывается кратковременное контрольно-диагностическое воздействие высокоскоростной струей жидкости (ультраструей), вызывающее гидроэрозию его поверхностного слоя;

2) определяются параметры ультразвуковой эрозии: характеристики гидрокаверны (макро- и микротопография ее поверхности и близлежащей области, а также эрозионный унос массы у не крупногабаритных деталей или образцов); масс-геометрические параметры частиц, эродированных с поверхности объекта диагностирования (их количество, законы распределения и т. д.);

3) полученные результаты сравниваются с эталонными характеристиками и/или между собой на различных участках диагностируемой поверхности объекта исследования. По разнице результатов сравнения судят о параметрах качества контролируемого участка (участков) поверхности, например, об остаточном ресурсе конструкционного материала, и/или его эксплуатационно-технологической поврежденности, а также делается заключение о текущем и прогнозном состоянии объекта в целом.

Используя данные, приведенные в статье [5], проведем детальный анализ диагностических признаков, описанных ранее в работах [6, 7] для определения твердости, напряженно-деформированного состояния (НДС) и поврежденности контролируемого объекта.

**Инженерная методика ультразвукового гидродиагностирования.** В результате проведенных исследований и выполненного анализа литературных источников предлагается уточненная инженерная методика ультразвукового опреде-

ления параметров качества поверхностного слоя материала. Она состоит из ряда этапов, основными из которых являются следующие:

1) подобрать эффективный режим воздействия ультразвука на исследуемый образец, не подвергавшийся эксплуатационным нагрузкам. Образец должен быть выполнен из того же материала, что и исследуемый объект и обладать близкой шероховатостью поверхности. Под эффективностью, в данном случае, понимается такое сочетание технологических параметров (рабочего давления струи, скорости подачи режущей головки и диаметра гидросопла), при которых соответствующие параметры образовавшейся гидрокаверны (глубина, ширина валика пластического оттеснения и др.) были максимально удобны и информативны для дальнейшей оценки и изучения;

2) на выбранном ранее эффективном режиме провести гидроскрайбирование поверхности ряда образцов, подвергнутых известному воздействию, для получения диагностической информации о них;

3) провести оценку и обработку полученных данных с целью их систематизации. Выполнить анализ информативных признаков, полученных в результате гидроструйного воздействия. Сопоставить данные, полученные ранее в результате модельного эксперимента, с данными исследуемого объекта. Сделать заключение о состоянии исследуемого объекта.

При реализации указанных пунктов инженерной методики следует учитывать, что некоторые виды материалов (сталей) обладают способностью к упрочнению в результате действия эксплуатационных нагрузок. Этот факт необходимо учитывать при прогнозировании остаточного ресурса объекта исследования.

В качестве иллюстрации на рис. 1, а представлена схема, содержащая параметры гидрокаверны, получаемые в результате выполнения процедуры УСД. Фотография микрошлифа с поперечным сечением гидрокаверны показана на рис. 1, б а на рис. 1, в — гидрокаверна, полученная в результате численного моделирования методом конечных элементов.

Остановимся более подробно на вопросе выбора режима воздействия ультразвука, характеристиках гидрокаверны и выборе информативных признаков для конкретных задач

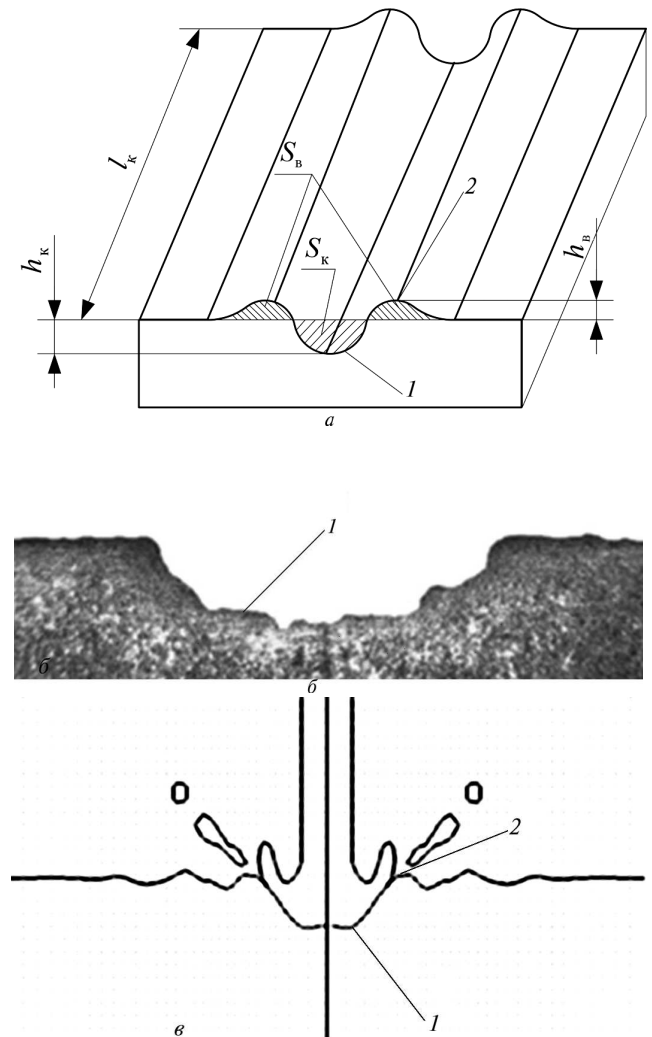


Рис. 1. Схема параметров гидрокаверны (а), фотография микрошлифа (б) и гидрокаверна, полученная численным моделированием методом конечных элементов (в):

1 — гидрокаверна;  $h_k$  — глубина гидрокаверны;  $l_k$  — длина гидрокаверны;  $S_k$  — площадь поперечного сечения гидрокаверны; 2 — валик пластического оттеснения металла из зоны воздействия струи;  $h_b$  — высота валика пластического оттеснения;  $S_b$  — площадь поперечного сечения валика

диагностики, поскольку именно эти составляющие инженерной методики имеют первостепенное значение, являясь залогом успеха в ее реализации на практике.

1. Объем гидрокаверны. Диагностируемый объем материала должен быть минимальным и достаточным для того, чтобы отразить воздействие на материал технологии изготовления конструкции, условий эксплуатации, и необходимым для формирования в нем магистральной трещины [8].

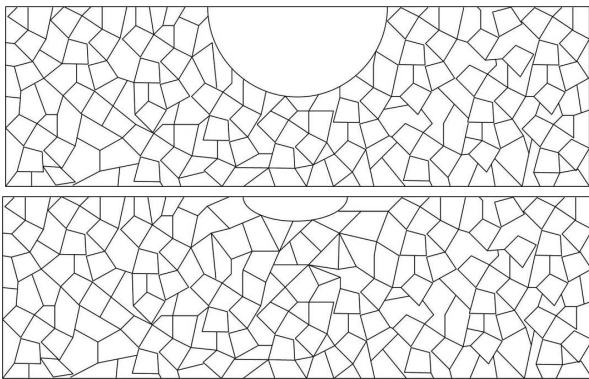


Рис. 2. Достаточная (а) и недостаточная (б) площадь поперечного среза гидрокаверны

2. Глубина и ширина гидрокаверны. Глубина и ширина гидрокаверны должны быть минимальны и достаточны для размещения не менее одного целого структурного элемента (зерна). В то же время они должны быть не более  $0,1S$  — толщины диагностируемого материала (рис. 2).

3. Длина гидрокаверны. Длина гидрокаверны должна быть минимальной и достаточной для охвата всей интересующей области исследуемого объекта.

Следует учитывать, что размеры гидрокаверны должны отвечать указанным выше требованиям и кроме этого вносить минимум поврежденности в конструкцию, а также входить в рабочий диапазон контрольно-измерительной аппаратуры.

**Технологические режимы ультраструйного воздействия.** Давление струи варьируется в зависимости от твердости диагностируемого материала и, непосредственно, исследуемого параметра (твердости, пластичности, поврежденности и НДС и др.).

Твердость определяет в значительной степени стойкость материала к индентированию, следовательно, давление струи  $p$  рекомендуется выбирать по возможности максимальным:

$$p = HK_H^p;$$

$$p = f(H),$$

где  $K_H^p$  — эмпирический коэффициент, отражающий зависимость давления диагностирования  $p$  от твердости материала исследуемого объекта  $H$  (в общем случае  $H$  — hardness) [МПа]. Для алюминиевых сплавов  $K_H^p = 10...15$ .

Пластичность характеризуется высотой валика пластического оттеснения металла из

зоны воздействия струи, следовательно, давление струи рекомендуется выбирать по возможности максимальным:

$$p = CK_C^p,$$

где  $K_C^p$  — эмпирический коэффициент, отражающий зависимость давления диагностирования  $p$  от пластичности материала исследуемого объекта  $C$  [МПа]. Для алюминиевых сплавов  $K_C^p = 1...1,5$ .

Для оценки поврежденности давление следует выбирать минимальным, достаточным для разрушения и образования гидрокаверны, одновременно с этим, внося как можно меньше дополнительных повреждений в металл объекта диагностики:

$$p = \omega K_\omega^p K_H^p,$$

где  $\omega$  — параметр поврежденности по Работнову [9],

$$p = f(H, \omega).$$

Кроме этого необходимо учитывать шероховатость поверхности диагностируемого материала, поскольку известно, что поверхности с размером шероховатости  $\sim 12$  мкм в наибольшей степени подвержены эрозионному износу [10]. Следовательно, при прочих равных условиях, для повышения достоверности данного метода диагностики сравниваемые объекты должны иметь как можно более близкую шероховатость поверхности.

1. Диаметр струи определяется в значительной степени требуемой шириной гидрокаверны и в меньшей степени — расстоянием от водяного сопла до диагностируемого объекта.

2. Скорость взаимного перемещения струи  $S_{стр}$  [мм/с] и диагностируемой поверхности (рабочая подача режущей головки).

$$S_{стр} = f(p, H, \omega, Rz),$$

где  $Rz$  — шероховатость диагностируемой поверхности, мкм.

Для случая постоянной скорости эрозии справедливы следующие соотношения:

1) увеличивая рабочее давление струи можно повысить скорость рабочей подачи режущей головки ( $p \uparrow \Rightarrow S_{стр} \uparrow$ );

2) чем выше поврежденность, тем выше скорость рабочей подачи режущей головки ( $\omega \uparrow \Rightarrow S_{стр} \uparrow$ );

3) с ростом твердости рабочая подача уменьшается ( $H \uparrow \Rightarrow S_{стр} \downarrow$ );

4) с приближением шероховатости поверхности к 12 мкм рабочая подача увеличивается ( $Rz \uparrow \leftarrow 12 \text{ мкм} \Rightarrow S_{стр} \uparrow$ ).

Уменьшение рабочей подачи можно использовать в качестве своеобразного резерва для увеличения эрозионной способности ультразвуки при ограниченном рабочем давлении, например, для особо твердых материалов или, напротив, уменьшения эрозионной способности струи для особо мягких материалов.

**Выбор информативных признаков для конкретных задач диагностики.**

*Твердость.* Для определения твердости наиболее информативным является глубина образовавшейся гидрокаверны. Воздействие выполняется при максимальном рабочем давлении жидкости.

*Пластичность.* Для определения пластичности рекомендуется использовать такой информативный признак, как высота валика пластического оттеснения металла из зоны воздействия струи. Дополнительным информативным признаком служит глубина гидрокаверны и отношение глубины гидрокаверны к высоте валика пластического оттеснения металла.

*Поврежденность.* Одним из основных условий является минимально допустимое давление струи (минимально допустимая скорость струи, при которой происходит гидроэрозия исследуемого объекта). Информативными признаками здесь являются как глубина образовавшейся гидрокаверны (свидетельствует о наличии большого количества микротрещин), так и высота валика пластического оттеснения (свидетельствует о потере пластичности и накоплении повреждений). Дополнительными информативными признаками могут служить размер, геометрия и распределение отколовшихся в результате диагностики частиц.

Исходя из опыта экспериментальных исследований, можно дать также некоторые рекомендации по подбору рабочего давления жидкости и подачи режущей головки (таблица).

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований составлена

инженерная методика экспресс-определения эксплуатационно-технологических характеристик поверхностного слоя материала изделий. Укрупненно она состоит из двух блоков: предварительного блока (заполнения базы данных) и блока диагностики. Предварительный блок содержит три этапа: подготовки оборудования, подбора режима УСД и модельного эксперимента, направленного на заполнение информационной базы данных. Структура базы данных приведена на рис. 3. Сам процесс УСД состоит из пяти этапов: выбора материала исследуемого образца из базы данных, построение схемы закрепления, подготовки оборудования, гидроскрайбирования, анализа информативных признаков гидроэрозии, по которым восстанавливаются характеристики объекта исследования.

Рекомендации по УСД

Параметр	Алюминиевые сплавы	Стали		
		обычной прочно-сти	повы-шенной прочно-сти	высокой прочно-сти
Рабочее давле-ние струи, МПа	1–1,5 НВ	15–20 HRC		
Скорость пода-чи, мм/с	2–40 (алюми-ний 120)	0,2–3	3–10	10–40

**Применение ультразвуковой диагностики при технологической подготовке производства изделий РКТ.** Вибрация КА является причиной усталостных разрушений элементов конструкции, сокращения ресурса работы двигателей, колебаний корпуса. Вибрационные перегрузки вызывают механические повреждения аппаратуры и нарушение режима работы, а в отдельных случаях могут быть причиной неработоспособности аппаратуры [1]. Вибрационное нагружение материала, в котором образовались локальные зоны текучести, способствует появлению микротрещин. Эти микротрещины, соединяясь случайным образом, образуют основную трещину. Когда трещина достигает такой величины, что напряжение в оставшемся материале превышает его прочностные возможности, распространение трещины становится лавинообразным и происходит усталостное разрушение. Основное назначение вибрационных испытаний — проверка и обеспечение работоспособности и надежности разрабатываемых из-

делий. С помощью этих испытаний проверяются состояние и характеристики элементов КА. При выявлении отклонения отдельных характеристик от заданных значений выполняется доводка элементов КА до требований технического задания. При виброиспытаниях требуется обеспечить необходимую продолжительность испытаний, ограничиваемую испытательным ресурсом изделия [1], определение которого является трудоемкой задачей. Решить эту задачу можно с помощью УСД. Методика определения выработанного ресурса при испытаниях изделий на этапе технологической обработки подробно представлена в работе [7].

Большое количество сварных соединений в изделиях РКТ в сочетании с широкой номенклатурой используемых материалов делает обработку режимов сварки длительной и трудоемкой задачей. В то время как использование программных аппаратов для сварки позволяет заранее выбрать требуемый технологический режим на образце-свидетеле и на этом режиме производить операцию сварки. Сократить время и уменьшить затраты на проведение лабораторных исследований полученных образцов швов поможет использование методики УСД. Образец сварного шва, выполненный на определенном режиме, подвергается ультразвуковому гидроскрайбированию в зоне основного металла, металле шва и зоне термического

влияния. После чего строится зависимость глубины образовавшейся гидрокаверны от твердости металла в описанных выше зонах. Степень однородности (качества) сварного шва определяется приближенностью зависимости к линейной.

На этапе отработочных испытаний узлов и изделий РКТ требуется определение НДС поверхностного слоя, для чего может быть применена УСД (методика подробно описана в работе [6]).

Также, методику УСД можно использовать при оценке пригодности изделий, подвергнутых нерасчетным нагрузкам (нарушение правил транспортировки, хранения и др.), для дальнейшей эксплуатации.

## Выводы

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований была создана инженерная методика оперативной оценки параметров качества поверхностного слоя материала деталей (см. рис. 3) структурно состоящая из двух блоков:

- 1) модельного эксперимента с образцами, характеристики которых заранее известны, направленного на заполнение базы данных;
- 2) блока оценки параметров качества поверхностного слоя материала детали.

Реализация данной методики на практике позволит получать оперативную информацию

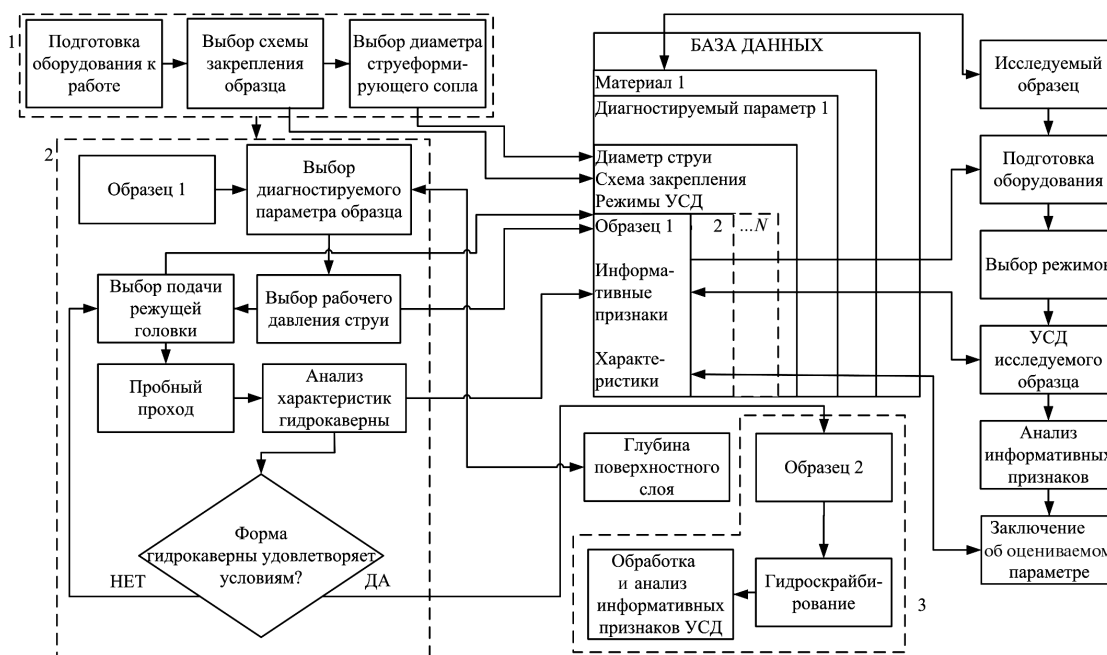


Рис. 3. Инженерная методика УСД

о физико-технологических свойствах объекта и существенно сократить время и трудоемкость проведения экспериментальной обработки КА.

## Литература

1. Экспериментальная обработка космических летательных аппаратов / В.А. Афанасьев, В.С. Барсуков, М.Я. Гофин и др.; Под ред. Н.В. Холодкова. М.: МАИ, 1994. 412 с.
2. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
3. Барзов А.А., Галиновский А.Л. Технологии ультразвуковой обработки и диагностики материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 246 с.
4. Барзов А.А., Галиновский А.Л., Пузаков В.С. Инверсия технологических понятий: «инструмент» — «заготовка» при ультразвуковой обработке материалов и жидкостей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2009. № 2. С. 72—83.
5. Барзов А.А., Галиновский А.Л., Абашин М.И. Факторная модель ультразвуковой гидроэрозии // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 10. С. 63—68.
6. Ультразвуковая экспресс-диагностика материалов изделий машиностроения / М.И. Абашин, А.А. Барзов, А.Л. Галиновский и др. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 123. С. 141—147.
7. Абашин М.И. Возможности экспресс-оценки информационно-диагностических параметров изделий ультразвуковым методом // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 288. С. 128—133.
8. Зорин Е.Е., Зорин Н.Е. Оперативная диагностика на базе процесса микровдавливания механических характеристик сварных конструкций в процессе длительной эксплуатации // Сварка и диагностика. 2009. № 5. С. 25—29.
9. Работнов Ю.Н. О механизме длительного разрушения // Вопросы прочности материалов и конструкций. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 5—7.
10. Эрозия / А. Эванс, А. Рафф, С. Видерхорн и др.: Пер. с англ.; Под ред. К. Прис. М.: Мир, 1982. 464 с.

## References

1. Afanas'ev V.A., Barsukov V.S., Gofin M.Ia. *Ekspperimental'naiia obrabotka kosmicheskikh letatel'nykh apparatov* [Experimental verification of spacecraft]. Moscow, MAI publ., 1994. 412 p.
2. Suslov A.G. *Kachestvo poverkhnostnogo sloia detalei mashin* [The quality of the surface layer of machine parts]. Moscow, Mashinostroyeniye publ., 2000. 320 p.
3. Barzov A.A., Galinovskii A.L. *Tekhnologii ul'trastruinoi obrabotki i diagnostiki materialov* [Ultrastruynoy processing technology and diagnostic materials]. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman publ., 2009. 246 p.
4. Barzov A.A., Galinovskii A.L., Puzakov V.S. Inversiiia tekhnologicheskikh poniatii: «instrument» — «zagotovka» pri ul'trasruinoi obrabotke materialov i zhidkostei [Puzakov Inversion process concepts «tool» — «blank» when ultrastruynoy processing and liquids]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Mashinostroyeniye*. 2009, no. 2, pp. 72—83.
5. Barzov A.A., Galinovskii A.L., Abashin M.I. Faktornaia model' ul'trastruinoi gidroerozii [Factor model of ultra-jet hydroerosion]. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2012, no. 10, pp. 63—68.
6. Abashin M.I., Barzov A.A., Galinovskii A.L. Ul'tr ekspress-diagnostika materialov izdelii mashinostroyeniia [Ultrastruynaya rapid diagnosis of materials engineering products]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*. 2011, no. 123, pp. 141—147.
7. Abashin M.I. Vozmozhnosti ekspress-otsenki informatsionno-diagnosticheskikh parametrov izdelii ul'trastruinyim metodom [Possibilities of express-estimate of product information-diagnostic parameters by ultra-jet method]. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2011, no. 288, pp. 128—133.
8. Zorin E.E., Zorin N.E. Operativnaia diagnostika na baze protsessa mikrovdavlivaniia mekhanicheskikh kharakteristik svarnykh konstrukttsii v protsesse dlitel'noi ekspluatatsii [Efficient diagnosis based process mikrovdavlivaniya mechanical properties of welded structures in the long-term operation]. *Svarka i diagnostika*. 2009, no. 5, pp. 25—29.
9. Rabotnov Iu.N. O mekhanizme dlitel'nogo razrusheniia [On the mechanism of long-term fracture]. *Voprosy prochnosti materialov i konstrukttsii*. Moscow, AN SSSR publ., 1959, pp. 5—7.
10. Evans A., Raff A., Viderkhorn S. *Eroziia* [Erosion]. Ed. Pris K. Moscow, Mir publ., 1982. 464 p.

Статья поступила в редакцию 22.01.2013

## Информация об авторах

**АБАШИН Михаил Иванович** (Москва) — ассистент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр.1, e-mail: texhelp@list.ru).

**ГАЛИНОВСКИЙ Андрей Леонидович** (Москва) — кандидат технических наук, доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр.1, e-mail: galcomputer@mail.ru).

**СГИБНЕВ Анатолий Васильевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: cm12@sm.bmstu.ru).

## Information about the authors

**ABASHIN Mikhail Ivanovich** (Moscow) — Assistant of «Technology of Rocket-and-Space Engineering» Department. MSTU named after N.E. Bauman (105005, BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: texhelp@list.ru).

**GALINOVSKY Andrey Leonidovich** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Dr. Sc. (Pedag.), Associate Professor, Professor of «Technology of Rocket-and-Space Engineering» Department. MSTU named after N.E. Bauman (105005, BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: galcomputer@mail.ru).

**SGIBNEV Anatoly Vasilievich** (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Technology of Rocket-and-Space Engineering» Department. MSTU named after N.E. Bauman (105005, BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya 5, Moscow, Russian Federation, e-mail: cm12@sm.bmstu.ru).