

## Алгоритмизация автоматизированного определения режимов технологических процессов термоимпульсной обработки

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»*

Приведены характеристика процесса термоимпульсной обработки, факторы, влияющие на обработку кромок и поверхностей прецизионных деталей с помощью данного метода. Определены задачи автоматизации, обозначены параметры оптимизации режимов термоимпульсной обработки и дан алгоритм их выбора.

**Ключевые слова:** обработка кромок, термоимпульсный процесс, характеристики оборудования и детали, температура, теплофизические свойства материалов, ликвиды.

### 1. Введение

Достижение стабильного качества удаления ликвидов с кромок и поверхностей деталей - одно из наиболее важных мероприятий по обеспечению высоких эксплуатационных показателей авиационной техники. Преимущества термоимпульсной обработки заключаются в возможности совмещения операций очистки поверхностей и кромок деталей от заусенцев, микрочастиц и быстроизнашиваемых частей микрорельефа, а также размерного скругления острых кромок. Для многих прецизионных деталей топливорегулирующей аппаратуры важной характеристикой элементов конструкции являются радиусы скругления кромок. Скругление кромок и очистка поверхностей и полостей деталей от технологических загрязнений термоимпульсным методом с гарантированным качеством могут выполняться с учетом всего многообразия взаимовлияющих факторов. Для оптимизации режимов обработки необходимо использовать две группы факторов, присущих физическим явлениям, которые происходят в оборудовании и объектах обработки. Поэтому характеристики оборудования необходимо привести в соответствие с технологическими требованиями, которые формируются исходя из теплофизических свойств материала и особенностей конструкции обрабатываемых деталей. Возникает необходимость учета более 25 взаимовлияющих параметров.

Выбор режимов удаления заусенцев, представлен в работах [1 - 3]. В этих работах использованы экспериментальные методы, которые позволяют установить лишь тенденции изменения параметров и не гарантируют стабильного качества деталей. Результаты этих исследований можно использовать в массовом производстве при удалении заусенцев с непрецизионных деталей. Однако для размерной обработки кромок и обработки прецизионных деталей использование экспериментальных методов определения режимов обработки крайне неэффективно. В работах [4, 5] дано решение задачи определения режимов термоимпульсного удаления заусенцев с использованием аналитического описания распределения температурных полей в физической модели ликвида и массива детали. Предложенные решения имеют достаточно высокую сходимость с экспериментом. Эти закономерности позволили дать качественную оценку возможности размерной обработки кромок, но не дают ответа на вопросы количественного определения режимов обработки. При обработке кромок необходимо учитывать отвод тепла в тело детали, что принципиально усложняет условия задачи по оптимизации режимов. При этом необходимо учитывать многоимпульсный растянутый во времени подвод тепла [6] и изменение теплофизических свойств материалов,

что принципиально усложняет условия задачи определения и оптимизации режимов.

Единственная возможность реализации потенциальных возможностей метода – это автоматизация процесса проектирования и оптимизации режимов технологического процесса термоимпульсной обработки кромок (ТОК) на базе использования математических моделей.

## 2. Характеристика процесса термоимпульсной обработки

Рассмотрим в общем виде процессы, происходящие в рабочей камере при использовании детонирующих газовых смесей. На рис. 1 штрихпунктирной линией показана диаграмма процесса термоимпульсной обработки, а диаграмма, выполненная сплошной линией, соответствует термохимическому процессу. Для импульсного процесса теплообмена характерны высокая мощность теплового источника и кратковременность действия, а для квазипостоянного – относительно малая мощность и на два – четыре порядка большая длительность процесса [4]. Квазипостоянная фаза теплообмена используется в термохимическом методе для активизации режима окисления ликвидов. При термоимпульсной обработке используется импульсная фаза теплообмена, что позволяет исключить такие негативные явления, присущие термохимическому методу, как: загрязнение поверхностей оксидами, химическое травление оксидов и перегрев обрабатываемых деталей. Из-за этого невозможно применение на финишной стадии обработки высокоточных изделий.

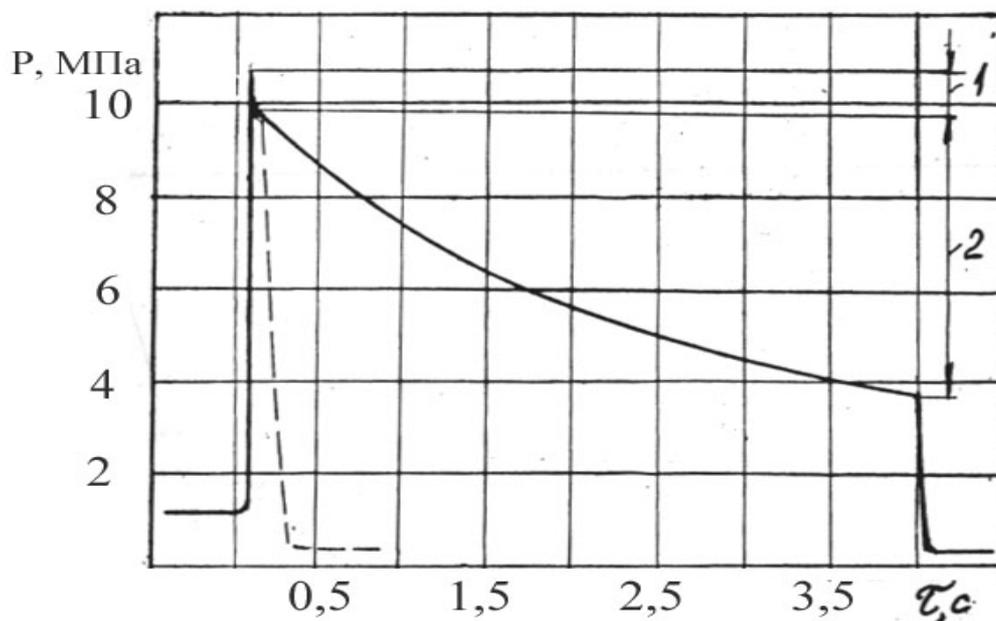


Рис. 1. Диаграмма процесса сгорания:

1 – импульсный подвод тепла; 2 – квазипостоянный подвод тепла

Для качественной обработки высокоточных деталей агрегатов летательных аппаратов, гидравлических систем станков, кузнечно-прессового оборудования, топливной аппаратуры ДВС и др. необходимо учитывать более 25 взаимовлияющих факторов. Для наглядности приведем факторы, влияющие на оптимизацию режимов обработки: теплофизические свойства материала (температура плавления

ния, удельная теплота плавления, теплопроводность, теплоемкость), геометрические размеры ликвидов и тонкостенных элементов, объем, масса, площадь поверхности детали, величина микронеровностей и требования к микрорельефу, точности и чистоте поверхностей, к качеству зачистки и скруглению острых кромок, плотность и химическая активность материала, размеры камеры сгорания, химический состав горючей смеси, точность дозирования компонентов газовой смеси, быстродействие системы выпуска продуктов сгорания, плотность загрузки камеры, объем и площадь поверхности приспособления, площадь поверхности камеры сгорания, режим горения газовой смеси, мощность источника тепла и его длительность обработки.

Импульсный подвод тепла составляет 10% ... 30% от общего количества тепловой энергии. Пунктиром показан необходимый режим работы оборудования в условиях производства агрегатов летательных аппаратов. Обработка деталей из металлов и сплавов при квазипостоянном подводе тепла нецелесообразна из-за излишнего нагрева деталей и образования прочной оксидной корки, удаляемой только химическим травлением. Но такой режим противопоказан при очистке деталей из материалов с высокой теплопроводностью (алюминиевые и медные сплавы) из-за перегрева тонкостенных элементов и откольного разрушения при наличии разностенности.

В общем научно обоснованная оптимизация режимов термоимпульсной обработки сводится к регулированию мощности источника тепла и времени его действия путем разработки технологической системы деталь-оборудование для поставленной задачи обработки. С одной стороны, многообразие факторов, влияющих на качество обработки, осложняют задачу оптимизации, а с другой – расширяют возможности получения прогнозируемого качества изделий. Контроль осуществляется по интегральному параметру – температуре элементов детали. Учитывая экстремальные условия в рабочей камере оборудования (присутствие атомарного кислорода при температуре ~4000°C и давлении до 40МПа), практически невозможен инструментальный контроль температур элементов обрабатываемых деталей. Поэтому для определения температур разработана и используется физико-математическая модель технологической системы [4].

### **3. Задачи системы автоматизации**

Основной задачей разработки системы автоматизированного проектирования технологических режимов термоимпульсной обработки кромок (ТОК) являются определение оптимальных параметров термоимпульсной обработки кромок, обеспечение инженера-технолога эффективным инструментом проектирования технологического процесса термоимпульсной обработки кромок (ТП ТОК), расширение области применения и в итоге – повышение таких показателей качества, как безотказность и долговечность изделий машиностроения. При проектировании технологического процесса термоимпульсной обработки кромок и оптимизации технологических режимов основными и необходимыми для реализации в разрабатываемой системе являются такие задачи:

- определение необходимой мощности источника тепла;
- определение времени обработки;
- расчет температурных полей кромки, поверхности детали, ликвида при многократном импульсном воздействии источника тепла с учетом изменения теплофизических свойств материала при изменении тем-

- пературного поля искомого элемента;
- хранение, управление и повторное использование данных системы;
- подготовка управляющих программ (УП) для систем управления оборудованием термоимпульсной обработки;
- формирование отчетов по результатам работы системы в удобном для пользователя виде.

Решение приведенных задач и их последующая реализации в виде функционала специализированного программного обеспечения системы автоматизированного проектирования технологического процесса термоимпульсной обработки кромок (ПО САПР ТП ТОК) требует разработки соответствующей системы алгоритмов, отображающих знания, накопленные в области термоимпульсных технологий и смежных областях, и подлежащей программной реализации.

#### 4. Разработка алгоритма выбора режимов термоимпульсной обработки

В основу алгоритма выбора режимов термоимпульсной обработки положены результаты фундаментальных исследований процессов детонационного сгорания газовых смесей в камерах постоянного объема, выявленные закономерности нагрева элементов детали различных размеров в зависимости от теплофизических свойств материалов и др. [5, 6].

Выбор режимов очистки кромок и поверхностей от ликвидов реализуется в такой последовательности:

- 1) определяется характеристика детали по технологической и конструкторской документации;
- 2) определяется время прогрева  $\tau_b$  удаляемых частиц и тонкостенных элементов детали в зависимости от их толщины;
- 3) рассчитывается изменение температуры элементов детали от их толщины при оптимальном времени обработки и фиксированной мощности источника тепла;
- 4) определяется время обработки  $\tau_{об}$ ;
- 5) выбирается конструкция приспособления, определяется загрузка рабочей камеры;
- 6) рассчитывается необходимая мощность источника тепла  $q$  ;
- 7) определяются исходные данные для наладки оборудования по характеристике детали;
- 8) согласуются требования к чистоте поверхностей детали с временем выпуска продуктов сгорания;
- 9) определяются параметры термоимпульсной обработки кромок детали с учетом конструктивных особенностей детали.

Время удаления ликвидов плавлением  $\tau_{об}$  необходимо согласовать с временем затухания ударных волн  $\tau_{y.в}$  в рабочей камере при детонационном сгорании горючей смеси. Время прогрева тонкостенных элементов детали  $\tau_d$  должно быть согласовано с временем выпуска продуктов сгорания  $\tau_{вып}$  из рабочей камеры. При этом выдержаны условия  $\tau_d > \tau_{вып}$ . и  $\tau_d \gg \tau_{y.в}$ . Условия обработки кромок и очистки поверхностей от ликвидов при сохранении тонкостенных элементов детали проверяют расчетным путем, используя физико-математическую модель. Согласование временных параметров выполняют наладкой оборудования путем подбора химического состава горючей смеси, загрузки камеры сгорания деталями, тарой – приспособлением. Алгоритм выбора режимов очистки показан на рис. 2.

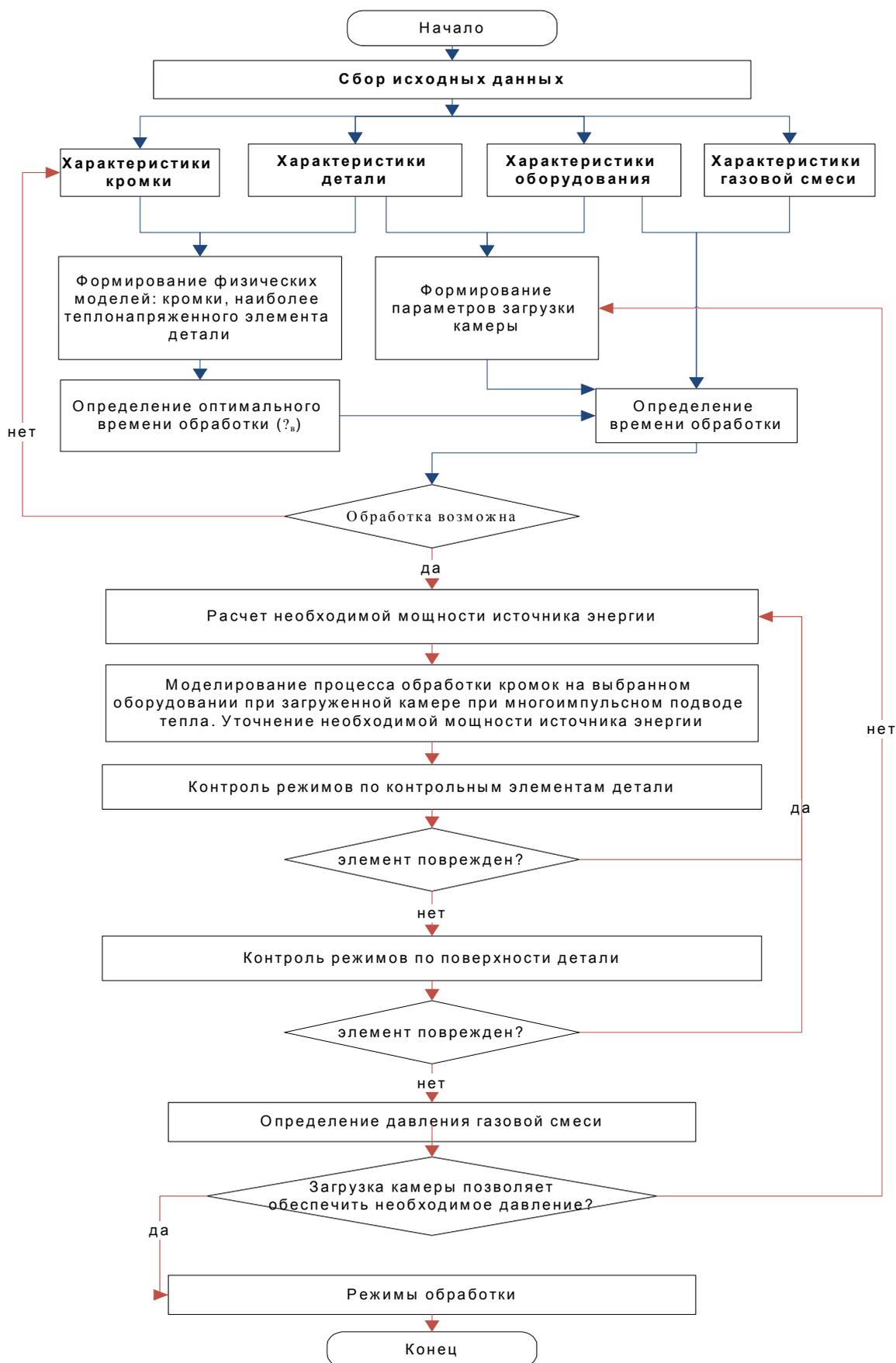


Рис. 2. Алгоритм выбора режимов удаления ликвидов

Мощность источника тепла регулируется давлением и составом горючей смеси и зависит от объема рабочей камеры, ее загрузки, удельной теплоты сгорания горючей смеси, температуры газовой смеси, суммарной площади теплоотводящих поверхностей. Управление временем процесса обработки и мощностью источника тепла позволяет в пределах погрешности измерительных приборов обслуживания выполнять размерное скругление кромок путем совмещения оптимального времени обработки с временем затухания ударных волн. Поскольку при затухании ударных волн теплообмен между газом и деталями резко уменьшается (на два - три порядка), то процесс плавления ликвидов автоматически прекращается. Предельное давление горючей смеси указывают в паспорте установки. Оно зависит от прочности конструкции и надежности уплотнений. При выполнении условия обработки по мощности источника необходимо выполнить контроль режимов по тонкостенному элементу детали путем определения его температуры.

Кроме того, расчетные данные используют при наладке системы выпуска продуктов сгорания. Время выпуска  $\tau_{\text{вып}}$  продуктов сгорания должно быть меньше времени нагрева тонкостенного элемента до критической температуры. Аналогично контролируют режимы обработки при наличии разностенности.

Примером выбора оптимальных режимов термоимпульсной обработки может служить обработка кромок деталей из алюминиевого сплава. Вопреки установившимся представлениям результаты теоретических исследований позволили установить параметры, при которых возможно скругление кромок.

На рис. 3 показаны корпус с заусенцами после сверления, фрезерования, расточки и корпус после термоимпульсной зачистки со скругленными кромками.

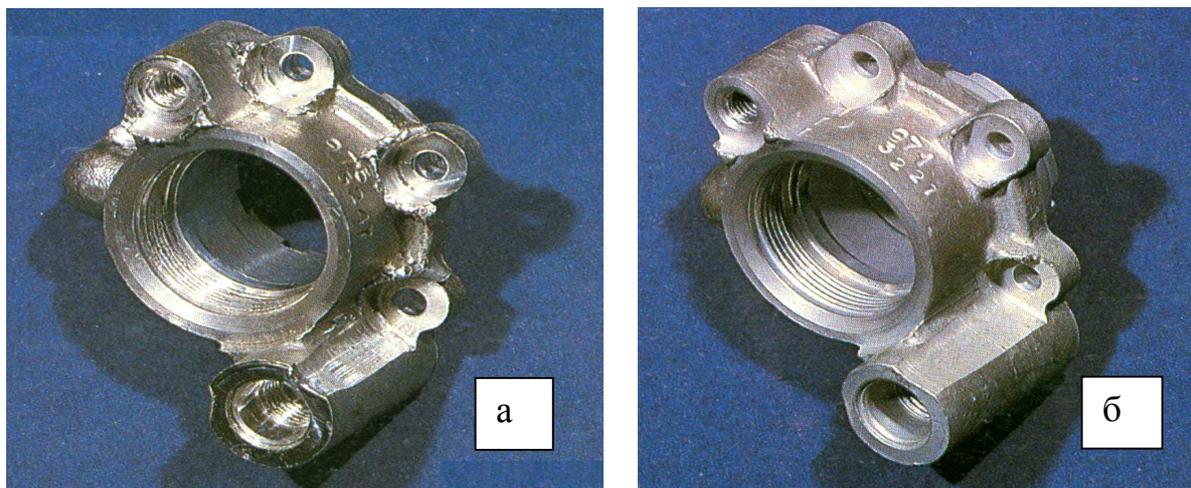


Рис. 3. Экспериментальная реализация обработки корпуса:

а – корпус до зачистки кромок;

б – корпус после зачистки кромок

Соблюдение условия чистоты поверхностей деталей реализуется комплексом мероприятий: выпуск продуктов сгорания должен выполняться с температурой, превышающей температуру конденсации оксидов обрабатываемых материалов; горючая смесь должна быть близка к стехиометрической. Дополнительные условия ужесточают требования к точности параметров и усложняют процесс подбора оптимальных режимов.

При термоимпульсной обработке деталей агрегатов летательных аппаратов требования к чистоте поверхностей, сохранению тонких элементов, предотвращению откольных разрушений при наличии разностенности обеспечиваются одними

и теми же мероприятиями. Оптимальные режимы обеспечивают заданное качество обработки и сохранение исходного состояния структуры материала деталей.

Важным этапом подготовки оборудования к термоимпульсной обработке является определение требований к приспособлениям. Необходимо, чтобы материал приспособлений не был источником загрязнений деталей. Приспособление должно предохранять детали от забоин, являться элементом организации оптимальных условий при проведении технологического процесса, обеспечивать приемлемую загрузку рабочей камеры.

Процесс выбора режимов термоимпульсной обработки (в том числе размерной обработки кромок) выполняется путем анализа температурных полей удаляемых и теплонапряженных элементов детали. Результатом анализа является определение условий наладки и работы оборудования, при которых ликвиды оплавляются, а тонкостенные элементы детали сохраняют исходные свойства и размеры. Идентификация расчетных данных приведена в работе [7]. Расхождение с экспериментальными результатами не превышает 11%.

### **Выводы**

Используя выявленные закономерности, возможно автоматизировать выбор режимов скругления кромок и при этом совместить несколько операций: удаление заусенцев, очистку поверхностей деталей от микрочастиц в виде быстроизнашиваемой части микрорельефа и частиц материала обрабатываемой детали и инструмента.

Разработанный алгоритм выбора режимов позволяет реализовать гибкую автоматизацию процессов термоимпульсной обработки в виде специализированного программного обеспечения.

Использование системы автоматизации технологического процесса термоимпульсной обработки кромок в производстве авиационной техники позволит достичь стабильного качества удаления ликвидов с кромок и поверхностей деталей и тем самым обеспечить ее высокие эксплуатационные показатели.

### **Список литературы**

1. Божко В.П. Основы технології зачистки деталей авіаційного виробництва високотемпературними газовими імпульсами: автореф.... дис. д-ра техн. наук.: 05.07.04./ В.П.Божко – Х. – 1993. – 35 с.
2. Исследование процесса термического удаления облоя с отливок.- Днепрпетровск, 1983. – 49 с. (Отчёт, инв. № 02830037718 / ДМИ).
3. Попов Е.Г. Высокотемпературные процессы при взрыве и их применение: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. 01.02.05./ Е.Г. Попов – М. – 1992. – 19 с.
4. Лосев А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода. Дис. канд. техн. наук: 05. 02. 08./ А.В.Лосев – Х. – 1995. – 210 с.
5. Фадеев В.А. Обеспечение промышленной чистоты изделий машиностроения в производстве с использованием термоимпульсного метода / В.А.Фадеев, А.В. Лосев, О. А. Лосева // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. НТУ "ХПИ". – Вып. 70.– Х., 2006. – С. 512 – 516.
6. Лосева О. А. Обработка кромок деталей термоимпульсным методом. / О. А. Лосева, А.В. Лосев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е.

Жуковского «ХАИ». – Вып. 42.– Х., 2009. – С. 120 –126.

7. Лосева О.А. Идентификация математической модели с исследуемыми процессами термоимпульсной обработки кромок и поверхностей деталей / А.В. Лосев, Ю.С. Дмитриевская, О.А. Лосева// Науково-технічний та громадський часопис Президії Академії інженерних наук України «Вісті АІНУ» . Сер. Машинобудування і прогресивні технології. – Вып. 1(38). – 2009– С. 145 - 149.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. И. Костюк Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 06.06.11

### **Алгоритмізація автоматизованого визначення режимів технологічних процесів термоімпульсної обробки**

Наведено характеристику процесу термоімпульсної обробки, фактори, що впливають на обробку крайок і поверхонь прецизійних деталей за допомогою цього методу. Визначено завдання автоматизації, позначено параметри оптимізації режимів термоімпульсної обробки та дано алгоритми їх вибору.

**Ключові слова:** обробка крайок, термоімпульсний процес, характеристики обладнання та деталей, температура, теплофізичні властивості матеріалів, ліквіди.

### **Algorithmization of automatized definition of thermo-impulse technological process data**

The article elucidate the characteristic of the thermo-impulse treatment, factors that affect to the treatment of the precision part's edges and surfaces. Tasks of automation defined, thermo-impulse treatment optimization parameters and algorithm of their choice denoted.

**Keywords:** edge treatment, thermo-impulse process, equipment and part characteristics, temperature, thermophysical material properties.