

Назначение режимов обработки для автоматизированных термоимпульсных установок в условиях информационно-интегрированного производства

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
ОАО "Мотор Сич"*

Предложена методика автоматизированной настройки режимов термоимпульсной обработки с использованием информационно-интегрированных CAD/CAM/CAE систем. Разработан алгоритм работы специализированного CAE модуля термоимпульсной обработки, использующего регулировочные характеристики, полученные на основе численного моделирования с использованием математических моделей смесеобразования и детонации в камерах термоимпульсного оборудования, а также процессов финишной термоимпульсной очистки и отделки поверхностей и кромок. Разработана принципиальная схема системы автоматизированного управления термоимпульсной установкой, которая в отличие от ранее использовавшихся позволяет вести обработку как в одиночном рабочем цикле, так и при нескольких циклах с регулировкой состава смеси на каждом из них.

Ключевые слова: термоимпульсная обработка, CAD/CAM/CAE – системы, автоматизация

Введение

Одной из основных проблем, которые мешают широкому использованию термоимпульсных технологий очистки в промышленности, является отсутствие автоматизированного оборудования, реализующего данный способ. В то же время, анализ показывает, что для создания такого оборудования созданы необходимые предпосылки – накоплен большой объем экспериментальных результатов, созданы и экспериментально проверены теоретические модели процесса термоимпульсной очистки, накоплен опыт разработки компонентов систем энергообеспечения и регулирования термоимпульсных машин.

Для включения в технологические цепи современного интегрированного производства необходимо разработать новое поколение термоимпульсного оборудования, соответствующее вновь сформировавшимся требованиям.

Необходима разработка специализированных CAE-модулей для расчета режимов термоимпульсной обработки на основе математических моделей рабочего цикла. Этот модуль по структуре данных должен быть совместим с современными CAD-системами и разрабатываемыми экспертными системами расчета величин заусенцев и микрочастиц в зависимости от характеристик материала и режимов предшествующей механообработки.

В этой связи целью настоящей работы является разработка методики назначения режимов обработки и алгоритма работы термоимпульсных автоматизированных комплексов информационно совместимых с современными CAD/CAM/CAE-системами.

Автоматизированное назначение режимов термоимпульсной обработки

В ранее выполненных работах выбор режимов термоимпульсной обработки предлагалось осуществлять в следующей последовательности [1,2,3]:

- определение характеристики детали по чертежу и технологическому процессу;
- расчет изменения температуры в удаляемых элементах (заусенцах, частях профиля шероховатости);
- расчет времени прогрева конструктивных элементов детали;
- определение исходных данных для настройки оборудования;
- согласование характеристик оборудования с требованиями к качеству обработки деталей;
- выбор конструкции приспособления;
- определение загрузки рабочей камеры, параметров горючей смеси и времени выпуска продуктов сгорания.

В характеристику детали входят: температура плавления, удельная теплота плавления, теплоемкость, теплопроводность и плотность материала; шероховатость поверхностей детали; толщина тонкостенных элементов; наличие разностенности; требования к округлению кромок, чистоте поверхностей, точности; площадь поверхности и объем детали.

При использовании автоматизированного термоимпульсного оборудования в условиях современного информационно интегрированного производства, исходные данные для назначения режимов обработки должны формироваться на основе информации, имеющейся в современных CAD/CAM/CAE системах (рис. 1).

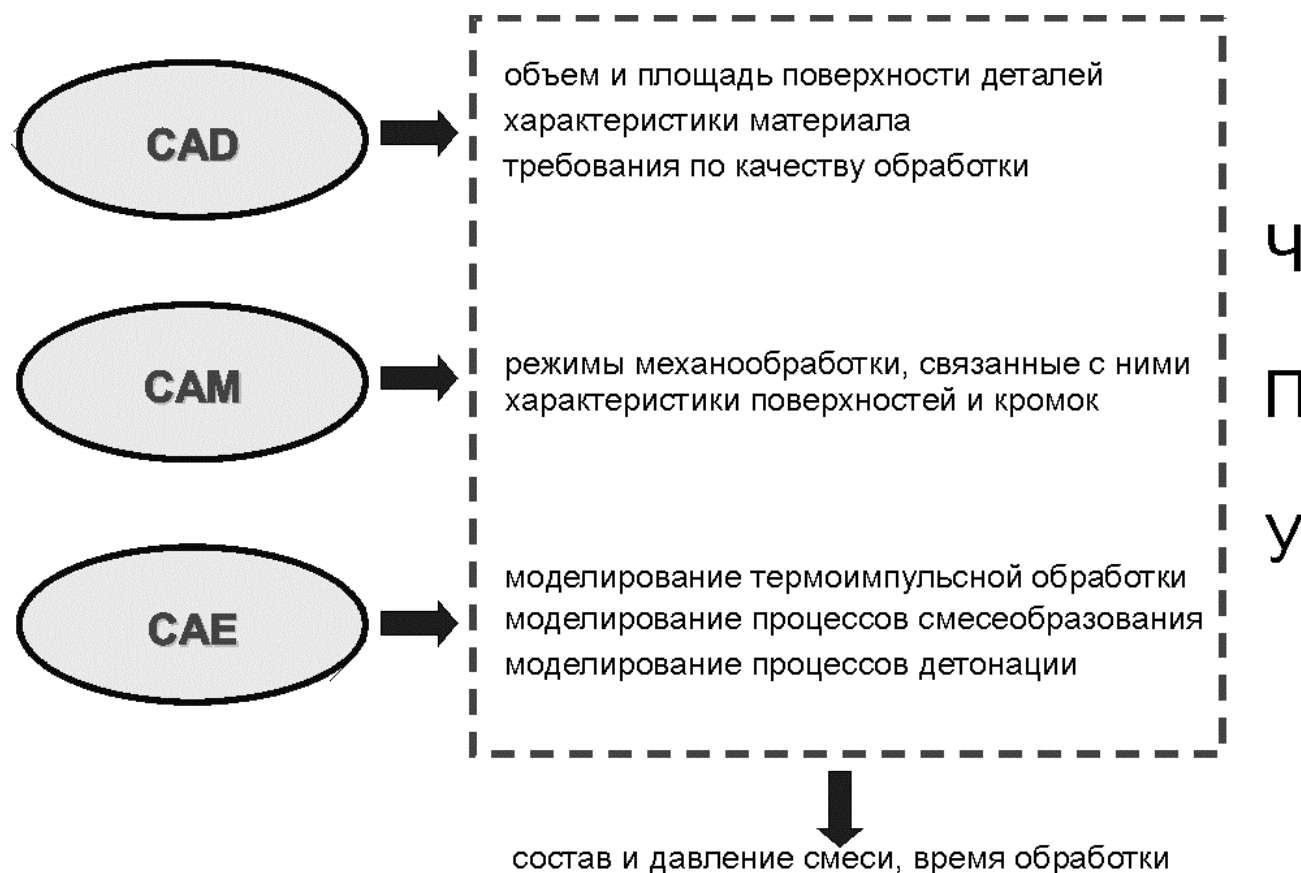


Рис. 1. Источники информации для автоматизированной термоимпульсной установки

Информация о суммарной площади поверхности, объеме обрабатываемых деталей, требованиях по качеству обработки должна импортироваться в систему ЧПУ оборудования непосредственно из модуля CAD. Из того же модуля в систему ЧПУ поступает информация о материале деталей.

Однако теплофизические характеристики материалов, как правило, отсутствуют в базах данных модулей CAD. Поэтому для автоматической настройки режимов термоимпульсной обработки эти модули должны быть дополнены специализированными базами данных, содержащими необходимую информацию.

Важнейшей частью входной информации, необходимой для расчета режимов термоимпульсной обработки, являются данные о реальной величине шероховатости и состоянии кромок деталей, подлежащих обработке. Эта информация может быть определена путем входящего инструментального контроля и введена в ЧПУ оператором, или получена из экспертных систем, рассчитывающих характеристики шероховатости и величину ликвидов на основе свойств материала деталей и технологических параметров предшествующей механообработки (модуль CAM). Величина микрочастиц, подлежащих удалению, может быть оценена по величине шероховатости поверхностей детали.

Разработанные в работе [4] математические модели должны стать основой CAE модуля термоимпульсной обработки. С использованием данных моделей на основе численного эксперимента могут быть получены регулировочные кривые, при помощи которых можно определить основные параметры термоимпульсной обработки – величина тепловых потоков и время затухания ударных волн – в зависимости от состава и начального давления смеси.

Далее на основе математических моделей финишной термоимпульсной обработки с учетом данных о величине ликвидов, подлежащих удалению, рассчитывается время их удаления. Расчетное время удаления сопоставляется со временем затухания ударных волн, после чего производится выбор характеристик топливной смеси в случае, если удаление ликвидов возможно за один рабочий цикл, или определяется количество циклов термоимпульсной обработки и характеристики топливной смеси для каждого из них. Блок-схема алгоритма автоматизированного расчета режимов термоимпульсной обработки деталей гидравлических систем приведена на рис. 2.

При выполнении условия качества обработки необходимо произвести контроль режимов по тонкостенному элементу детали путем определения температуры по выбранным параметрам обработки. Расчетные данные используются при наладке системы выпуска продуктов сгорания. Время выпуска продуктов сгорания должно быть меньше времени нагрева тонкостенного элемента до критической температуры.

Соблюдение условия чистоты поверхностей деталей (путем предотвращения конденсации оксидов) производится за счет выпуска продуктов сгорания с температурой, превышающей температуру конденсации оксидов обрабатываемого материала. При обработке деталей авиационных гидравлических систем требования к чистоте поверхностей, сохранения тонких перегородок, предотвращения откольных разрушений обеспечиваются одними и теми же приемами, при этом выбирается самый кратковременный режим выпуска продуктов сгорания.

Неотъемлемой частью выбора режимов обработки является определение требований к приспособлению, поскольку оно влияет на загрузку камеры и имеет поверхность теплоотвода.

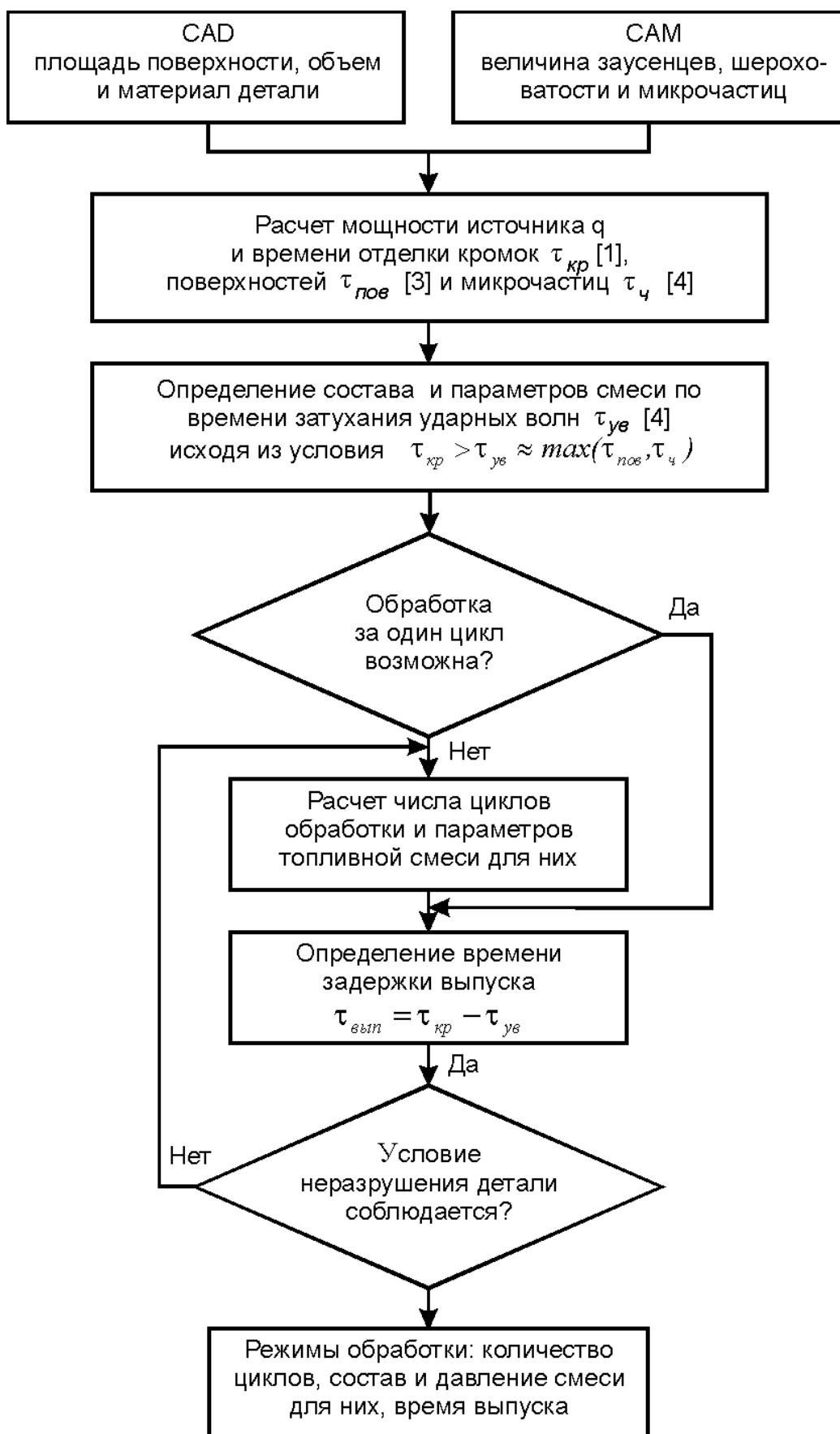


Рис. 2. Алгоритм расчета режимов термоимпульсной обработки

Одно из необходимых мероприятий - это подготовка деталей к термоимпульсной обработке, которая заключается в очистке поверхностей деталей от органических и минеральных загрязнений.

В общем случае можно рекомендовать следующую последовательность технологических переходов при термоимпульсной обработке:

- провести входной контроль деталей, поступивших на термоимпульсную обработку;
- обезжирить детали любым способом;
- после обезжиривания детали промыть и высушить.;
- провести контроль шероховатости до обработки;
- установить детали в приспособление;
- задать технологические режимы обработки;
- загрузить приспособление с деталями в камеру установки;
- осуществить термоимпульсную обработку деталей;
- выгрузить приспособление с деталями из камеры установки;
- разобрать приспособление и вынуть детали;
- детали промыть и высушить;
- произвести контроль качества обработки деталей.

Для реализации описанных выше возможностей автоматизированного определения режимов обработки, существующее термоимпульсное оборудование должно быть модернизировано. Это касается как аппаратных средств системы управления (перехода на современную элементную базу), так и изменения алгоритмов работы для расширения технологических возможностей.

Задачи создания автоматизированного термоимпульсного оборудования

Базовым оборудованием для создания нового поколения термоимпульсного оборудования может стать существующая установка типа Т-15. Характерной особенностью и принципиальным отличием этой установки от оборудования фирм-конкуренентов (Bosch, Extrude Hone, Kennametal, ATL и др.) является возможность точного регулирования времени воздействия теплового потока на детали, обеспечение автоматической подачи горючих компонентов в рабочую камеру и аварийного выпуска горючей смеси в автоматическом режиме. Конструктивная схема установки представлена на рис. 3.

Основой конструкции термоблока является станина-бак 1, на которой смонтирован выпускной клапан 2 и силовая рама 3. Байонетный замок 4 фиксирует рабочую камеру 5 в станине 3. Через блок клапанов 6 происходит наполнение рабочей камеры 5 горючими компонентами и контроль их параметров. Поджог смеси осуществляется свечами 7. Продукты сгорания отводятся из бака по газоотводу в систему вентиляции.

Оригинальная конструкция выпускного клапана позволяет осуществлять программированный выпуск продуктов сгорания при высокой температуре с регулированием времени обработки кратным 0,001 сек. Это позволяет избежать осаждения оксидов на поверхностях обрабатываемых деталей, что является одним из недостатков широко используемого термоимпульсного оборудования перечисленных выше фирм (на сегодняшний день по данным работы [5] эксплуатируется более 700 таких установок). Этот недостаток ограничивает возможности применения такого оборудования для обработки прецизионных деталей.

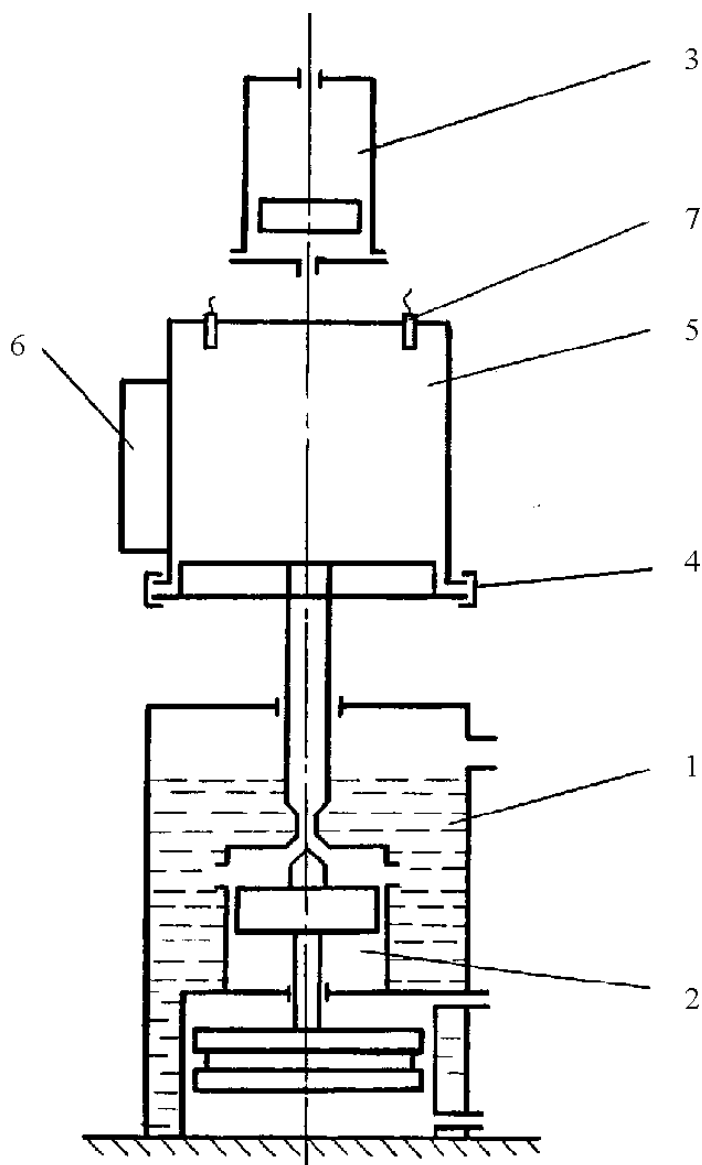


Рис. 3. Конструктивная схема термоимпульсной установки Т-15

Система управления модернизированной установки должна обеспечивать работу в двух режимах: 1 – режим удаления заусенцев с кромок и поверхностей и скругления кромок; 2 – режим очистки от микрочастиц и отделки поверхностей. Второй режим предполагает согласование времени обработки и времени действия ударных волн.

Кроме того, отличием модернизированной системы управления является реализация возможности многоциклового обработки при существенно отличающихся режимах на каждом из рабочих циклов. Параметры настройки оборудования для каждого из циклов определяются по алгоритму, приведенному выше. Алгоритм работы модернизированной термоимпульсной установки представлен на рис. 4.

При работе установки предусматривается возможность контроля сгорания топливной смеси. Это необходимо для повышения безопасности работы в случае отказа системы зажигания смеси. Контроль сгорания (затонированные логические блоки на рис. 4) осуществляется встроенными датчиками давления в камере.

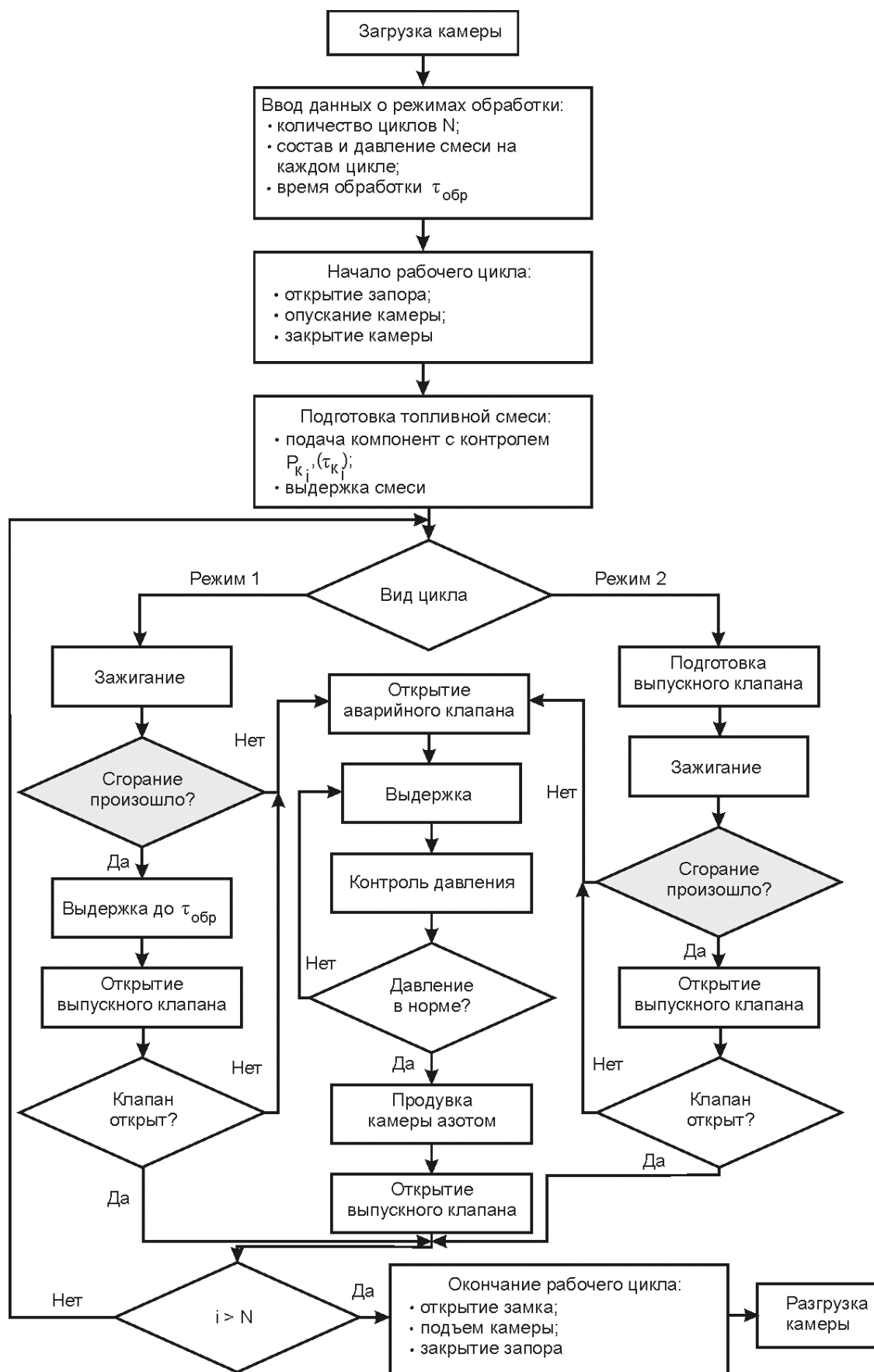


Рис. 4. Алгоритм работы термоимпульсной установки

В случае одновременного отказа системы зажигания и аварийного клапана система должна предусматривать подачу сигнала об аварии. При подаче такого сигнала выпуск смеси из камеры через аварийный клапан производится оператором установки вручную.

При аварийной ситуации предусматривается дополнительная продувка камеры азотом до концентрации топлива ниже нижнего предела воспламенения, для того, чтобы исключить загорания смеси в камере и выпускном тракте. Продукты сгорания и топливная смесь в случае аварийной ситуации удаляются из установки при помощи принудительной вытяжки.

Особое значение для качества и технологических возможностей термоимпульсной обработки детонирующими газовыми смесями имеет система смесеобразования. В базовой конструкции термоимпульсной установки реализована возможность подготовки двухкомпонентной топливной смеси регулируемого стехиометрического состава (горючий газ-кислород или горючий газ-воздух). Последовательная схема наполнения компонентами топливной смеси не в полной мере обеспечивает равномерность ее состава, особенно в полостях обрабатываемых деталей [6]. Этот же недостаток свойственен оборудованию фирм-конкурентов. Кроме того, существующие системы смесеобразования не достаточно гибки в отношении переналаживания при смене вида топлива и его стехиометрического состава смеси. Этот недостаток не позволяет их использовать в многоцикловом режиме обработки с изменяемым составом топливной смеси.

В качестве основных направлений совершенствования системы смесеобразования термоимпульсного оборудования можно выделить следующие:

- повышение равномерности состава топливной смеси;
- обеспечение универсальности по виду топлива, в том числе многокомпонентных топливных смесей;
- автоматическая коррекция систем контроля при изменении внешних условий (температуры камеры);
- повышение точности измерения управляющих параметров;
- обеспечение безопасности работы системы наполнения.

В качестве примера необходимости использования трехкомпонентных смесей приведем данные исследования термоимпульсной обработки деталей из титановых сплавов, приведенные в [7]. Согласно этим данным применение смеси из 10...15% инертного газа, 68...79 % кислорода и углеводородного топлива позволяет полностью устранить окисление деталей из сплава BT9.

В работе [6] предложена схема системы наполнения, которая частично решает проблему формирования топливной смеси. Ключевым отличием предлагаемой схемы является включение в тракты топлива и окислителя клапанов постоянного перепада давления. Данные клапаны поддерживают заданный уровень разности давления между камерой и газовыми магистралями $\Delta P = P_m - P_k = P_o - P_k = const$, где P_k – давление в рабочей камере, P_m , P_o – давление топлива и окислителя соответственно.

Управляющим параметром при такой схеме является время наполнения, которое определяется по зависимости $t_{nan} = M/g_{cm}$, где M – заданная масса заряда, а g_{cm} – массовый расход смеси через впускной клапан.

Однако описанный способ смесеобразования не полностью соответствует сформулированным требованиям. При его использовании после окончания наполнения в смесителе остается готовая топливная смесь, что является небезо-

пасным. Нерешенным является вопрос о конструкции клапана постоянного перепада давления, а вследствие этого – точности поддержания этого перепада.

В работе [8] рассмотрен процесс смешения газов заданного процентного содержания компонент при последовательной подаче дискретных порций газа. Ключевым параметром в данном способе смесеобразования является величина ΔP_i , определяющая изменение давления в смесительной камере после подачи i -ой порции газа.

В случае наполнения камеры термоимпульсной машины величину следует определять для цилиндров-дозаторов компонент топливной смеси, так как они удалены от рабочей зоны и находятся практически при постоянной температуре. Более точное дозирование возможно на основе цифровой системы, определяющей массу порции газа с учетом давления в цилиндре и изменения температуры газа.

При выборе последовательности подачи газов согласно данному алгоритму и равенстве доз и входного давления газов данный метод обеспечивает точность обеспечения процентного соотношения компонент на уровне 0,001% и выше. При этом смесь может быть как двухкомпонентной с произвольным соотношением компонент, так и многокомпонентной, с добавками инертных или активных газов, что существенно расширяет технологические возможности метода.

Однако сама по себе дискретная подача компонент топлива может решить задачу только в части обеспечения интегральной точности дозирования компонент топливной смеси. Задача обеспечения ее однородности может быть решена введением принудительного перемешивания смеси ударными волнами и генерируемыми ими мелкомасштабными вихрями.

Для этого могут использоваться импульсные клапаны со временем открытия 0,001 с [8]. Такое быстрое открытие клапана при истечении из области повышенного давления в камеру приводит к образованию ударной волны. С точки зрения смесеобразования важным является факт образования вихревых течений при отражении ударных волн от преград.

С учетом быстродействия клапанов они могут обеспечивать подачу компонент смеси с цикличностью от 4×10^{-3} с. Время наполнения не является критическим параметром при термоимпульсной обработке (время установки и выгрузки деталей превышает его в десятки раз). Поэтому смесеобразование может происходить за счет подачи 200...300 дискретных порций газов.

Автоматизированное термоимпульсное оборудование может эффективно использоваться на производстве всех типов, включая мелкосерийное. Применительно к машиностроению термоимпульсные комплексы обеспечат выполнение таких процессов:

- очистка внешних и внутренних поверхностей деталей произвольной формы от заусенцев и микрочастиц (включая высокоточные прецизионные детали);
- обработку кромок деталей со скруглением до заданного радиуса;
- снижение шероховатости фасонных и криволинейных поверхностей;
- обработку деталей из пластмасс, керамики и композиционных материалов;
- очистку отливок сложной формы;
- очистку деталей от эксплуатационных загрязнений при ремонтных работах.

Выводы

1. Предложена методика автоматизированной настройки режимов термоимпульсной обработки в условиях предприятия, использующего информационно ин-

тегрированные CAD/CAM/CAE системы. Предложен алгоритм работы специализированного модуля термоимпульсной обработки, использующий данные численного моделирования процессов термоимпульсной обработки, смесеобразования и детонации в камерах.

2. Разработана принципиальная схема системы управления автоматизированной термоимпульсной установки, которая в отличие от ранее использовавшихся, позволяет вести обработку, как в одиночном рабочем цикле, так и при нескольких циклах с регулировкой состава смеси на каждом из них.

3. Для автоматизированной термоимпульсной установки целесообразна разработка системы смесеобразования с дискретной подачи компонент. Точность дозирования компонент в предлагаемой системе обеспечивается за счет управляемой по времени импульсной подачи порций газов, а равномерность – за счет принудительного перемешивания вихревыми структурами, образующимися при прохождении ударных волн.

Список литературы

1. Лосев А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 – Харьков, 1995. – 210с.

2. Жданов А.А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностных деталей агрегатов авиационных двигателей: Дис...канд.тех.наук: 05.07.04. – Харьков, 2003 г. -120 с.

3. Сломинская Е.Н. Термоимпульсная отделка поверхностей деталей летательных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04. – Харьков, 1996. – 165 с.

4. Планковский С.И. Математическое моделирование горения топливной смеси в камерах термоимпульсных машин с учетом перехода сгорания в детонационный режим/ С.И. Планковский, О.В. Шипуль, О.В. Трифонов, В.Г. Козлов// Авиационно-космическая техника и технология. – 2011.

5. Gillespie L. Deburring and edge finishing hand-book / L. Gillespie. – New York City: Industrial Press, 1999. – 404 p.

6. Планковский С.И. Направления совершенствования систем дозирования энергии термоимпульсного оборудования для финишной очистки / С.И. Планковский, О.В. Шипуль, О.С.Борисова, В. Г. Козлов // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х., «ХАИ». – 2010. – Вып. 45. – С. 99-108.

7. А.с. 1690984 А1, МКИ⁵ В23К7/08. Горючая смесь для термического удаления заусенцев с изделий /А.Г. Ялдалтдинов, Л.Н. Шпитонков, Г.А. Кузнецова, Н.Я. Маршавин; Заяв. НИИ Технологии и организации производства двигателей. – заяв. 03.10.89; опубл. 15.11.91. Бюл. № 42. – 3 с.

8. Сысоев А.Ю. Разработка и исследование генератора смесей газов для получения сложнокомпозиционных ионно-плазменных покрытий/А.Ю. Сысоев: дис. ... канд.тех.наук : 05.03.07. – Харьков – 2011. – 181 с.

Рецензент: д. т. н., профессор А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 20.09.2012 г.

Призначення режимів обробки для автоматизованих термоімпульсних установок в умовах інформаційно-інтегрованого виробництва

Запропоновано методику автоматизованого налаштування режимів термоімпульсної обробки з використанням інформаційно інтегрованих CAD / CAM / CAE систем. Розроблено алгоритм роботи спеціалізованого CAE модуля термоімпульсної обробки, що використовує регульовальні характеристики, отримані на основі числового моделювання з використанням математичних моделей сумішоутворення і детонації в камерах термоімпульсного обладнання, а також процесів фінішного термоімпульсного очищення та обробки поверхонь і крайок. Розроблено принципову схему системи автоматизованого управління термоімпульсної установки, яка на відміну від тих, що раніше використовувалися, дозволяє вести обробку як в одиничному робочому циклі, так і при декількох циклах з регулюванням складу суміші на кожному з них.

Ключові слова: термоімпульсна обробка, CAD / CAM / CAE – системи, автоматизація.

Appointment of processing regimes for automated thermal-pulse equipment used in computer integrated manufacturing

The technique of automatic mode setting thermal-pulse processing regimes with using integrated CAD / CAM / CAE systems is proposed. The algorithm of specialized CAE module thermal-pulse processing is developed. It uses the adjustment characteristics derived from numerical simulations with the use of mathematical models of mixing and detonation in thermal-pulse equipment's chambers and processes thermal-pulse cleaning and finishing of the surfaces and edges. The schematic diagram of the automated control system of thermal-pulse equipment is developed. Which in contrast to the previously used, it allows the processing in a single operating cycle, and at several cycles with controlling the composition of the mixture on each of them.

Keywords: thermal-pulse processing, CAD / CAM / CAE systems, automation.