

Направления совершенствования систем дозирования энергии термоимпульсного оборудования для финишной очистки

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

Проведен анализ недостатков современных систем дозирования энергии термоэнергетического оборудования для финишной очистки деталей. Показано, что термоимпульсный способ очистки обладает потенциальными преимуществами по сравнению с термохимическим в области обеспечения точности дозирования энергии и управления процессом финишной очистки. Показано, что существующие системы наполнения топливной смесью при использовании в качестве контролируемых параметров давления в камере или времени наполнения не обеспечивают стабильности и точности дозирования энергии. Определены основные требования к системам дозирования энергии термоимпульсного оборудования. Предложены технические решения по их совершенствованию, позволяющие повысить точность дозирования энергии при термоимпульсной очистке

Ключевые слова: термоэнергетическое оборудование, финишная обработка, термоимпульсная очистка, дозирование энергии

Введение

Проблема технологической очистки деталей высокоточных механизмов от заусенцев, микро-частиц и микроликвидов актуальна для всего машиностроения. Особо высокие требования к качеству финишной обработки выдвигаются в авиационно-космической промышленности, что связано с обеспечением надежности работы исполнительных механизмов топливных, гидравлических и управляющих систем.

Технология термоимпульсного удаления заусенцев и очистки поверхности в наибольшей степени удовлетворяет требованиям обработки прецизионных деталей ЛА [1, 2]. Имеется положительный опыт использования этих технологий на серийных заводах. Усиливающиеся тенденции к минитюаризации исполнительных механизмов систем ЛА требуют повышения стабильности и точности дозирования энергии при термоимпульсной обработке. Однако до настоящего времени этим вопросам уделялось недостаточно внимания.

В этой связи целью настоящей работы является анализ недостатков систем дозирования энергии современного термоэнергетического оборудования, определение направлений и разработка принципиальных технических решений для их совершенствования.

Принципы дозирования энергии современного термоэнергетического оборудования

В настоящее время существует два вида оборудования для удаления заусенцев, использующих энергию сгорания газоздушных смесей. Одно из них реализует термохимический метод и использует топливные смеси с избытком кислорода [3]. Удаление заусенцев в таком оборудовании происходит за счет обгорания, а тепло, выделяемое при горении топливной смеси служит для инициации горения удаляемого материала детали.

В термоимпульсном оборудовании используются топливные смеси со стехиометрическим соотношением компонентов. Удаление заусенцев и микроликвидов происходит за счет их оплавления и испарения в процессе интенсивного теплообмена. Несмотря на такие отличия, оба эти вида оборудования выполняются по схожим схемам (рис. 1).

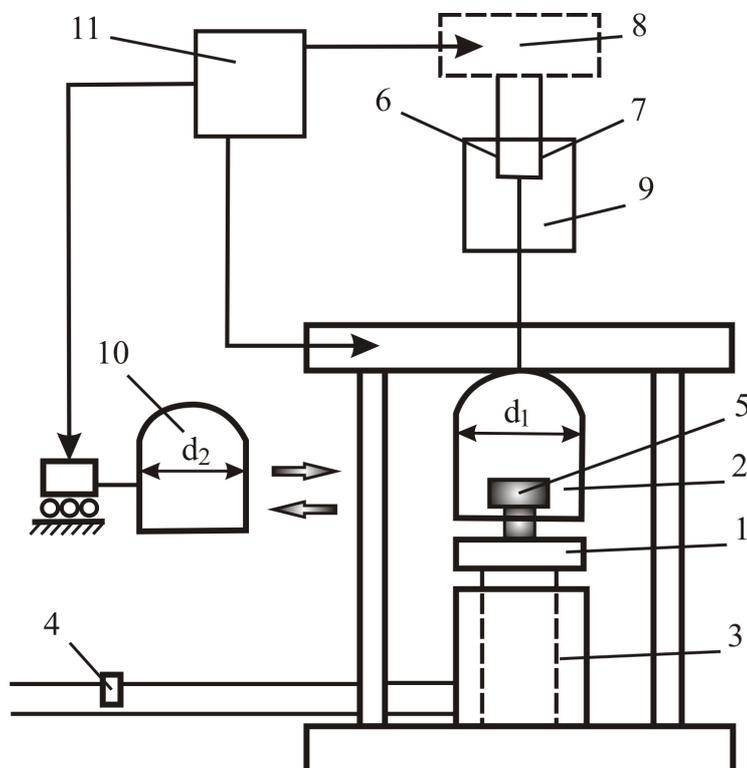


Рис. 1. Схема установки для термоэнергетической очистки деталей

Обычно такие установки имеют стол 1, закрываемый камерой сгорания 2 при помощи привода заперения 3 и замка 4. На столе размещаются обрабатываемые детали 5. Камера сгорания имеет диаметр, соответствующий размерам и количеству обрабатываемых деталей. Трубопроводы с горючим 6 и окислителем 7 с помощью блока управления 8 соединяются со смесителем 9, готовая смесь подается в камеру сгорания. Для повышения производительности оборудования или при необходимости обработки деталей разных размеров используются дополнительные камеры 10. Выполнение рабочего цикла, измерение параметров, их контроль и регулировка обеспечиваются системой управления 11.

Принципиальную разницу в требованиях к системам дозирования для различных способов термоэнергетической очистки иллюстрируют графики, приведенные на рис. 2. При термохимической очистке на графике изменения средней температуры в камере сгорания можно выделить три характерных участка (рис. 2а). Участок 1-2 соответствует этапу сгорания смеси, участок 2-3 – выдержке, длительность которой определяется временем протекания реакций сгорания материала заусенцев, участок 3-4 – выпуску продуктов сгорания из камеры.

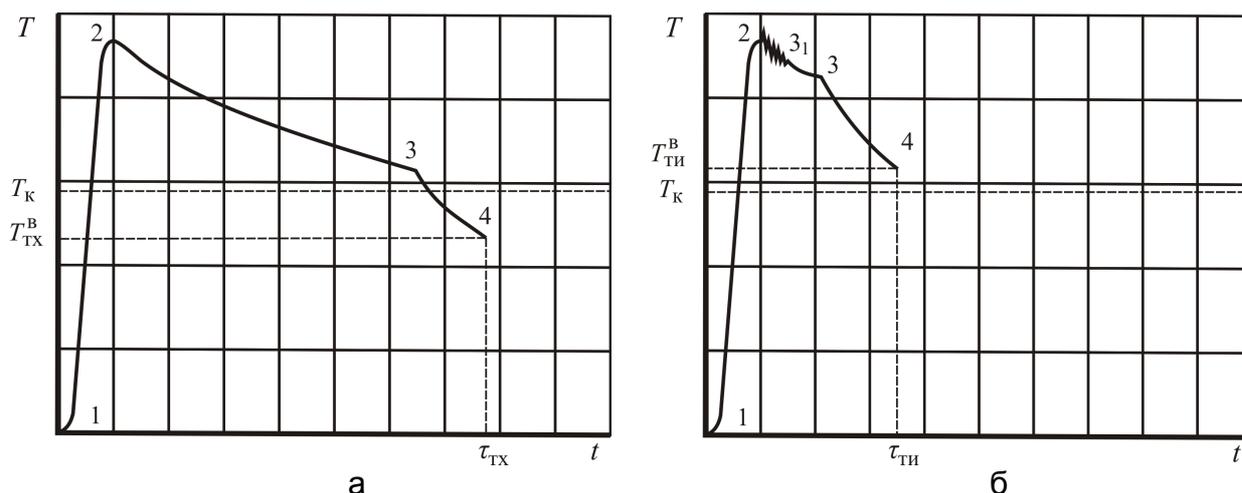


Рис. 2. Типичные диаграммы изменения температуры в камере сгорания при термохимической (а) и термоимпульсной (б) очистке

Энергия, необходимая для финишной обработки кромок, определяется размерами заусенцев и зависит от режимов предшествующей механообработки и характеристик режущего инструмента. Для обеспечения процесса термохимической очистки необходимо обеспечить в камере избыток кислорода, достаточный для обгорания наибольших по размеру заусенцев на детали.

Поскольку размеры заусенцев на различных кромках деталей, как правило, разные, обработка для большого числа кромок ведется при излишних количествах кислорода. В противном случае необходимо было бы обеспечить различную концентрацию кислорода вблизи разных кромок, что вряд ли реализуемо. Поэтому при термохимической очистке поверхность обрабатываемых деталей окисляется, что для деталей, из титановых сплавов недопустимо, а в других случаях требует дополнительного травления для удаления окислов.

Еще одной сложностью является обеспечение требуемого уровня температур на различных участках поверхности деталей. Как известно, коэффициент теплоотдачи при теплообмене между газом и твердым телом зависит от величины пограничного слоя, на которую, в свою очередь, существенно влияет скорость потока. При сгорании топливных смесей в замкнутых камерах скорости потока невелики, особенно во внутренних полостях деталей сложной геометрической формы, имеющих проточки, отверстия малых диаметров и пр., что характерно для высокоточных деталей ЛА. Поэтому при термохимической обработке тяжело обеспечить эффективность теплопередачи в тело обрабатываемых деталей, а необходимый для обгорания заусенцев уровень температур приходится обеспечивать за счет увеличения времени контакта деталей с продуктами сгорания.

Время сгорания смеси (участок 1-2 графика на рис. 2а) в камерах большинства современных термоэнергетических установок составляет десятые доли секунды, из-за чего кромки обрабатываемых деталей не прогреваются до температур, необходимых для обгорания заусенцев. На этапе выпуска продуктов сгорания (участок 3-4) скорость потока газа существенно увеличивается, однако при термохимической обработке до начала выпуска продукты сгорания существенно остывают (до уровня, ниже температуры конденсации окислов T_K).

Необходимый для обжига заусенцев уровень температур на кромках обеспечивается на этапе выдержки (участок 2-3). Скорость газовых потоков в камере на этом этапе наименьшая, поэтому эффективность теплообмена невелика и дли-

тельность выдержки оказывается достаточной большой. Это может приводить к перегреву тонкостенных конструктивных элементов обрабатываемых деталей и даже их разрушению из-за температурных напряжений.

При термоимпульсной очистке часть топливной смеси сгорает в детонационном режиме, что приводит к появлению ударных волн в камере, а на графике изменения средней температуры появляется характерный участок (2-3₁ графика на рис. 2б). Скорости распространения ударных волн в камере могут составлять 2000-3000 м/с. При этом происходит срыв пограничного слоя у поверхности обрабатываемых деталей и коэффициент теплоотдачи увеличивается на порядки. Удаление заусенцев, микрочастиц и микроликвидов происходит за счет их оплавления, испарения и срыва с поверхности ударными волнами. Выпуск продуктов сгорания происходит при температурах, больших температур конденсации окислов, поэтому при таком способе обработки не возникает необходимости химического травления деталей, поэтому термоимпульсный способ может применяться для обработки высокоточных деталей (см. рис. 3).

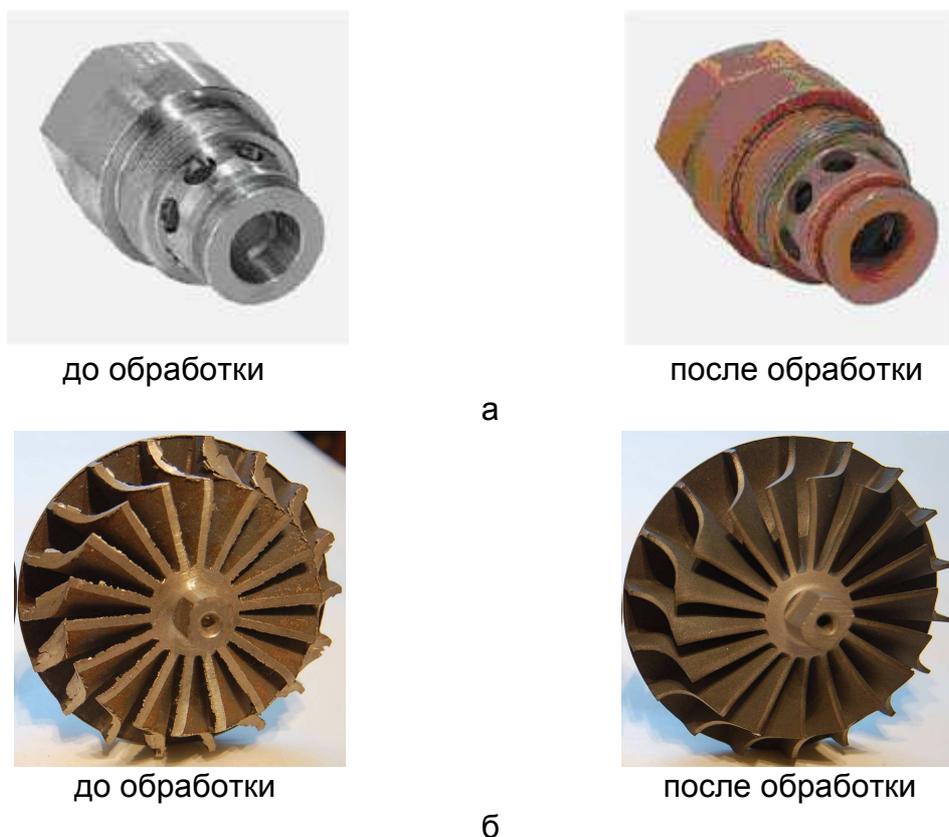


Рис. 3. Детали, обработанные термоэнергетическими методами:
а – термохимическим; б – термоимпульсным

По сути, весь процесс термоимпульсной очистки происходит в промежутке между началом детонационного горения и затуханием ударных волн. Не смотря на небольшую длительность этого этапа (от нескольких тысячных до сотых долей секунды), из-за высокой эффективности теплообмена кромки и поверхности обрабатываемых деталей успевают нагреться до требуемых для обработки температур, как на внешних, так и на внутренних поверхностях. При этом из-за многократного отражения ударных волн практически не возникает затененных зон.

Теплообмен на этапе сгорания топливной смеси и выпуска продуктов сгорания практически не оказывает влияния на качество термоимпульсной очистки. Наличие этапа выдержки (участок 3₁-3 на графике рис. 2б) вызвано тем, что время открытия клапанов, применяемых, для выпуска продуктов сгорания из камеры существенно больше, чем время протекания детонационных процессов.

Таким образом, при термохимической обработке качество очистки определяется точностью обеспечения требуемого состава топливной смеси, температурой продуктов сгорания и временем выдержки. При этом возможности регулирования процесса сильно ограничены. Повысить температуру в камере можно или за счет повышения давления в камере (большее количество смеси выделит большую энергию при приблизительно одинаковых теплотерях), или за счет применения топлив с большей теплотворной способностью.

При термоимпульсной обработке для обеспечения качественной очистки необходимо также точно выдержать требуемый состав смеси, причем с высокой равномерностью по камере. Это вызвано необходимостью обеспечения одинаковых условий обработки для всех поверхностей деталей. Однако основными параметрами, определяющими величину тепловой энергии, переданной обрабатываемым деталям, в этом случае является интенсивность детонации и время затухания ударных волн в камере.

Направления совершенствования систем наполнения термоэнергетического оборудования

В обоих способах термоэнергетической обработки дозировка энергии обработки производится при помощи системы наполнения камеры сгорания. Система содержит набор электропневмоклапанов (управляющих и исполнительных), датчики и устройства автоматизированного управления. Конечными элементами системы являются впускной и предохранительный клапаны, установленные на корпусе камеры сгорания. Обычно контроль процесса наполнения осуществляют с помощью измерения давления в камере.

Для этого в схему системы дозирования введена линия обратной связи – измерительная магистраль, соединяющая полость камеры сгорания с измерителем-преобразователем. Схема измерительной линии показана на рис. 4 а [4]. Предохранительный клапан (ПК) практически постоянно находится в статически открытом состоянии, и полость камеры соединена с измерительной магистралью. С началом впуска измерительный газовый клапан (ИзГ) соединяет измерительную магистраль с датчиком давления. По достижении давлением заданного уровня САУ отключает ЭКГ, измерительный газовый клапан переходит в исходное состояние и отсоединяет датчик давления от измерительной магистрали. Полная схема тракта впуска газа и параллельного измерения его давления в полости камеры сгорания показана на рис. 4б.

Аналогично составлен тракт дозирования окислителя. Типовая система блока дозирования с применением двух параллельно соединённых клапанов воздушного наполнительного тракта изображена в виде блок-схемы на рис. 5. Данная схема соответствует случаю последовательного наполнения камеры компонентами топливной смеси. Однако при термоэнергетической очистке такой способ наполнения приводит к тому, что концентрация компонентов смеси в камере оказывается крайне неравномерной [5], особенно во внутренних полостях деталей сложной формы.

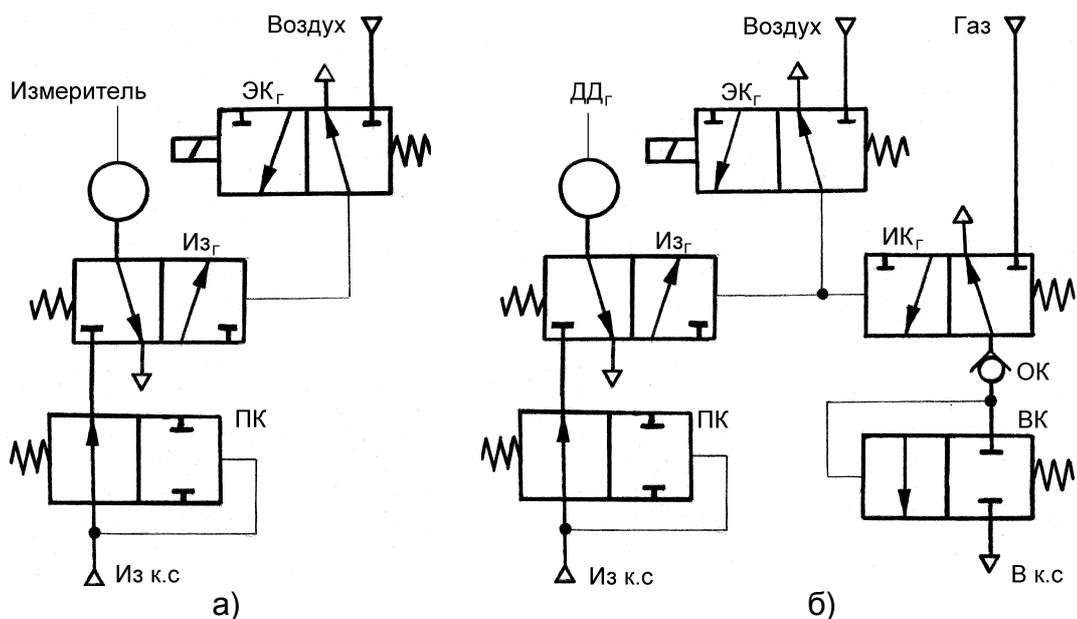


Рис. 4. Схемы измерительной линии (а) и полного тракта дозирования газа (б)

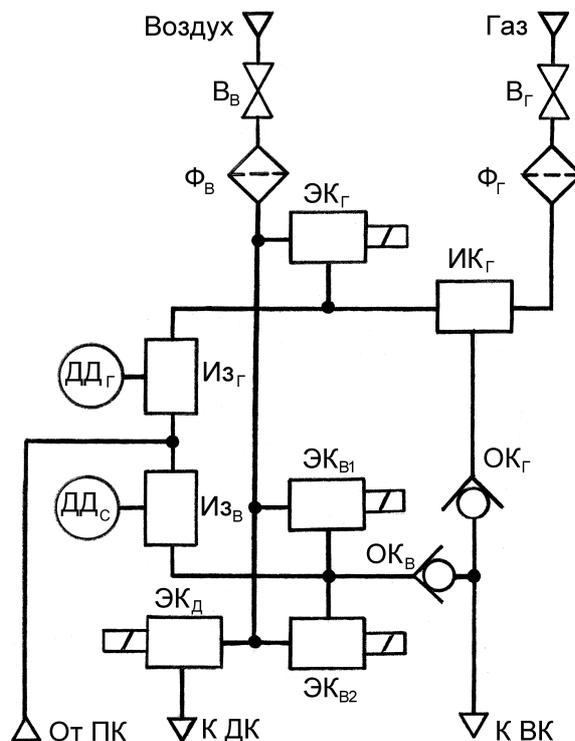


Рис. 5. Типовая схема блока дозирования смеси при последовательном наполнении компонентами

Это приводит к тому, что после сгорания топливной смеси температура продуктов сгорания оказывается различной вблизи разных участков поверхности обрабатываемой детали, т.е. не обеспечиваются одинаковые условия обработки. Для повышения равномерности состава смеси во всем объеме камеры целесообразно переходить к совместному наполнению компонентами топливной смеси с использованием специальных смесителей. Переход к такому способу

наполнения требует дополнительных мер безопасности для предотвращения загорания готовой смеси в трубопроводах.

Кроме того, для повышения гибкости и технологических возможностей система дозирования энергии должна обладать универсальностью относительно вида используемого топлива. Это, в частности, означает, что она должна обеспечивать автоматическую переналадку исполнительных механизмов на заданное соотношение компонент топливной смеси.

Обеспечение точности и стабильности дозирования энергии имеет ряд особенностей при работе оборудования с высокой цикличностью. Как указывается в [4], при работе термоэнергетических машин с частотой более 2 циклов в минуту, через 120-180 циклов температура внутренних стенок камеры устанавливается на уровне 120-140°C. Это приводит к тому, что топливная смесь нагревается в процессе наполнения в ходе теплообмена со стенками камеры. В случае, когда контроль процесса наполнения осуществляется по давлению в камере, это приводит к тому, что при работе с высокой цикличностью происходит уменьшение энергии термоэнергетических машин на 15-20% за счет уменьшения массы заряда. Кроме того, контроль энергии по уровню давления в камере усложняется необходимостью обеспечения и контроля точности датчиков давления.

Для улучшения дозирования энергии в [4] предложено использовать в качестве управляющего параметра времени наполнения камеры, которое можно измерять с высокой точностью. Однако предложенная схема не решает задачу обеспечения точности дозирования энергии для камер с изменяющейся при работе температурой стенок. Это связано с тем, что для настройки системы управления предлагается использовать высокоточный датчик давления, устанавливаемый на камере сгорания.

Таким образом, в качестве основных направлений совершенствования систем дозирования энергии термоэнергетического оборудования можно выделить следующие:

- повышение равномерности состава топливной смеси;
- универсальность системы наполнения относительно вида топлива;
- автоматическая коррекция при изменении внешних условий;
- повышение точности измерения управляющих параметров;
- обеспечение безопасности работы системы наполнения.

Указанные требования могут быть удовлетворены при выполнении блока наполнения камеры по схеме, приведенной на рис. 6. Ключевым отличием данной схемы от применяющихся является включение в тракты топлива и окислителя клапанов постоянного перепада давления, обеспечивающих постоянство заданного уровня разности давления между камерой и газовыми магистралями. Постоянство перепада давления в удаленных от воздействия высоких температур участках магистралей обеспечивает постоянство скорости течения газов, а следовательно – массового расхода. Управляющим параметром для дозирования заряда при такой схеме является время наполнения.

Стабильность скорости течения и высокая точность обеспечения заданного времени наполнения гарантируют соблюдение высокой точности массы заряда в камере независимо от изменения температуры стенок или перепадов магистрального давления. Перенастройка системы при смене топлива может происходить путем программируемого изменения величины перепада давления в магистралях топлива и окислителя.

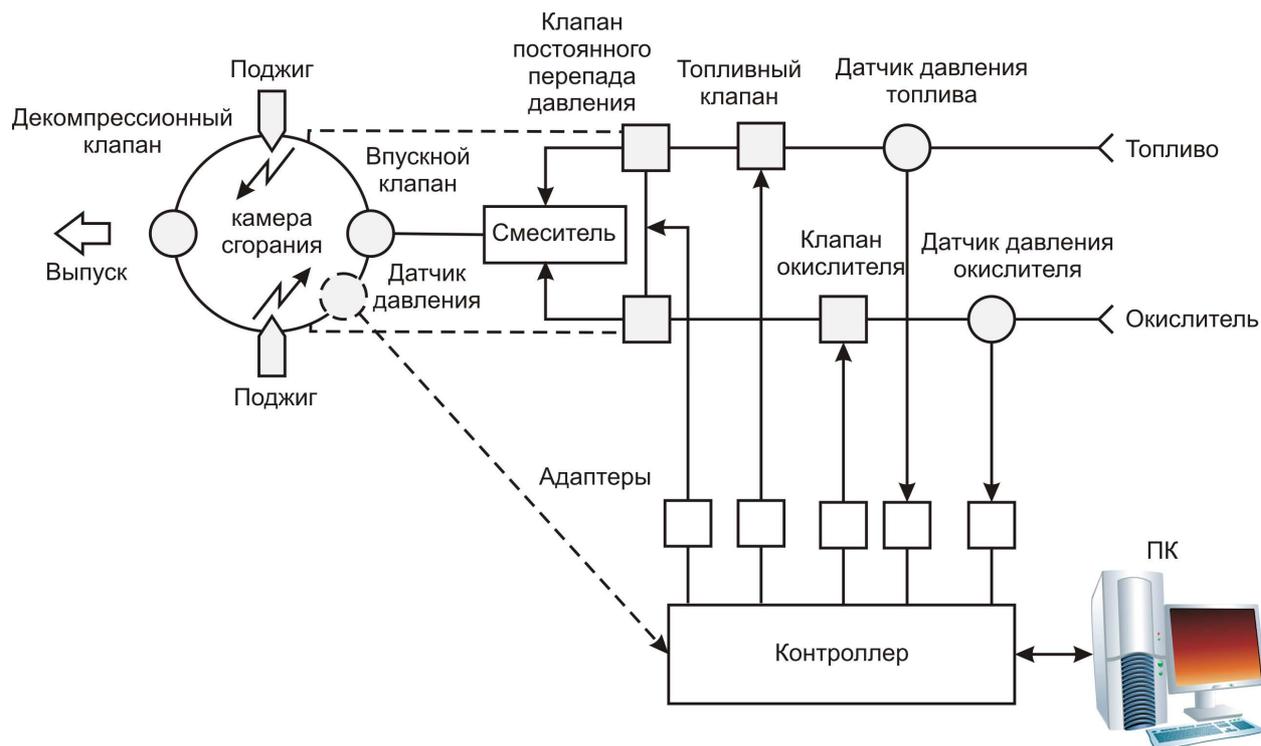


Рис. 6. Схема усовершенствованной системы наполнения камеры термоэнергетической установки

Такая схема смесеобразования позволяет использовать любые виды газообразного топлива – природный газ, пропан-бутановые смеси, ацетилен, водород. В качестве окислителя могут использоваться воздух или кислород. Основной системой управления процессом служит программируемый контроллер и набор соответствующих адаптеров. Для обеспечения равномерности состава во всем объеме камеры при проектировании клапанов постоянного перепада давления, смесителя и впускного клапана целесообразно использовать моделирование процесса смешения компонентов при помощи современных пакетов вычислительной газодинамики (ANSYS CFX, Fluent и т.п.).

Выполнение системы наполнения камеры по предложенной схеме решает задачу точного дозирования энергии при термоимпульсной обработке только частично. Как было указано ранее, основное значение на величину тепловой энергии, передаваемой обрабатываемой детали при этом способе имеет длительность интенсивного теплообмена в промежутке между началом детонационного горения и затуханием ударных волн. Поэтому дальнейшее совершенствование систем дозирования энергии при термоимпульсной обработке должно быть связано с исследованиями, направленными на разработку методов управления интенсивностью детонации в замкнутых камерах и соответствующих технических решений.

Выводы

1. Показано, что термоимпульсный способ очистки обладает преимуществами по сравнению с термохимическим в области обеспечения точности дозирования энергии и управления процессом финишной очистки. Основными парамет-

рами, определяющими качество термоимпульсной очистки, являются точностью обеспечения состава топливной смеси и длительность промежутка времени между началом детонационного горения и затуханием ударных волн.

2. Проведен анализ недостатков современных систем дозирования энергии термоэнергетического оборудования для финишной очистки деталей. Показано, что существующие системы наполнения топливной смесью при использовании в качестве контролируемых параметров давления в камере или времени наполнения не обеспечивают стабильности и точности дозирования энергии.

3. Обосновано выделение следующих направлений совершенствования систем дозирования энергии термоэнергетического оборудования:

- повышение равномерности состава топливной смеси;
- универсальность системы наполнения относительно вида топлива;
- автоматическая коррекция при изменении внешних условий;
- повышение точности измерения управляющих параметров;
- обеспечение безопасности работы системы наполнения.

4. Предложена усовершенствованная схема системы наполнения камеры термоэнергетической установки, удовлетворяющая сформулированным требованиям. Ключевым отличием схемы является введение в газовые тракты датчиков постоянного перепада давления и контроль наполнения по времени. Для повышения равномерности и точности состава смеси при проектировании клапанов системы предложено использовать современные CAD/CAE-системы.

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; защищена 14.05.1995; утв. 07.10.1995 / Лосев Алексей Васильевич. – Х., 1995. – 210с.

2. Жданов А.А. Термоимпульсные технологии очистки поверхностных деталей агрегатов авиационных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04; защищена 25.01.2003; утв. 12.03.2003 / Жданов Александр Андреевич –Х., 2003. - 120с.

3. Gillespie L. Deburring and edge finishing handbook / L. Gillespie – New York City: Industrial Press, 1999. – 404p.

4. Кривцов В.С. Импульсная резка горячего металла/В.С. Кривцов, С.А. Мазниченко, А.Ю. Боташев и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 476 с.

5. Мазниченко С.А. Об особенностях смесеобразования в тепловых приводах импульсного оборудования / С.А. Мазниченко, С.И. Планковский, О.С. Борисова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. - №7(44). – С.45-52.

6. Лосев А.В. Влияние прогрева камеры сгорания импульсных машин на температуру горючей смеси/А.В. Лосев, О.С. Ладухина//Обработка металлов давлением в машиностроении. - Вып. 25. – Х., 1989. – С. 90-92.

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

Поступила в редакцию 17.02.10

Напрями удосконалення систем дозування енергії термоімпульсного обладнання для фінішного очищення

Проведено аналіз недоліків сучасних систем дозування енергії термоенергетичного обладнання для фінішного очищення деталей. Показано, що термоімпульсний спосіб очищення має потенційні переваги порівняно з термохімічним в області забезпечення точності дозування енергії й керування процесом фінішного очищення. Наведено, що існуючі системи наповнення паливною сумішшю, які використовують тиск в камері або час наповнення як контрольовані параметри, не забезпечують стабільності й точності дозування енергії. Визначено основні вимоги щодо систем дозування енергії термоімпульсного обладнання. Запропоновано технічні рішення з їх вдосконалення, які дозволяють підвищити якість дозування енергії під час термоімпульсного очищення.

Ключові слова: термоенергетичне обладнання, фінішна обробка, термоімпульсне очищення, дозування енергії.

The development directions of energy dispensing systems of the thermal-pulse finishing equipment

The imperfections analysis of energy dispensing modern systems of the thermal-energy equipment for workpiece finishing is carried out. It is shown that the thermal-pulse finishing potential advantages in comparison with thermal-chemical in the field of maintenance of energy dispensing accuracy and management of finishing process. It is shown that existing systems of filling which use pressure in the chamber or time of filling as controllable parameters do not provide of stability and accuracy of energy dispensing. The basic requirements to systems of energy dispensing of the thermal-pulse equipment are defined. Technical decisions on their perfection are offered, they allow to raise accuracy of energy dispensing at thermal-pulse finishing

Keywords: thermal-energy equipment, finishing, thermal-pulse finishing, energy dispensing