

doi:10.32620/oikit.2018.82.03

УДК 621.78.015+621.923.5

А. В. Лосев, И. В. Бычков,  
В. В. Коллеров, А. С. Селезнева

## **Особенности термоимпульсной очистки поверхностей и кромок деталей от загрязнений после механической обработки**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

Требования, предъявляемые к качеству авиационной техники, является определяющими при создании технологических систем, обеспечивающих промышленную чистоту изделий. Но важна и стоимостная составляющая отделочно-зачистных технологий, величина которой зависит от выбранного метода удаления ликвидов, например, с гидравлических агрегатов летательных аппаратов.

Надежное и экономичное изготовление деталей с определенными геометрическими и технологическими свойствами – основная цель промышленного производства. В условиях рыночной экономики производства конкурентоспособной продукции является необходимостью, а это всегда выбор рационального, стабильного соотношения цены и качества.

Качество продукции машиностроения – многофакторная проблема, зависящая от комплекса системных организационных и технологических мероприятий. В производстве авиационной техники обеспечение качества связано с безотказностью и гарантированным ресурсом, которые жизненно необходимы в силу специфических условий эксплуатации. Одним из наиболее важных мероприятий по обеспечению безотказности и гарантированного ресурса авиационных изделий является обеспечение промышленной чистоты. Очистка от микрочастиц, макро- и микрозаусенцев поверхностей и кромок деталей после механических видов обработки входит в комплекс этих мероприятий. Наиболее проблематична очистка корпусных деталей со сложной конфигурацией наружных и внутренних поверхностей. Необходимость удаления ликвидов и других технологических загрязнений объясняют функциональными, эргономическими и эстетическими причинами. Если эргономические и эстетические факторы не влияют на технические характеристики изделий, то функциональные напрямую связаны с работоспособностью машин и механизмов. Функциональные причины – это предотвращение отказов гидравлических распределительных и регулирующих устройств, а также предотвращение повышенного износа ответственных деталей, происходящего при попадании в зазоры трущихся пар твердых металлических частиц, затруднения при сборке и позиционировании, снижение усталостной прочности и так далее. Заусенцы вызывают завихрения в потоке газа или жидкости, нарушая равномерность потока. Очевидно, что взаимовлияющие процессы, происходящие в гидравлических системах машин, при нарушении условий работы приводят к усилению негативных явлений.

Особенность применения очистных технологий заключается в необходимости удаления ликвидов со 100% деталей, входящих в автономную систему механизмов. Если остается неочищенной хотя бы одна деталь, то рабочая жидкость при контакте с загрязненными поверхностями смывает эти загрязнения и разносит их по всей системе, при этом повреждаются наиболее чувствительные элементы.

Приведены причины, по которым необходимо очищать поверхности и кромки деталей от технологических загрязнений. Выполнен краткий обзор результатов моделирования и исследований по удалению заусенцев в среде детонирующих газовых смесей. Рассмотрены особенности термоимпульсного процесса и приведены результаты численных и экспериментальных исследований. Показан сравнительный анализ энергоёмкости удаления заусенцев различных металлов.

**Ключевые слова:** качество, ликвиды, заусенцы, скругление кромок, термоимпульсный процесс, температурное поле, теплофизические свойства материалов, заусенцы.

## Введение

Использование детонирующих газов в качестве инструмента для очистки поверхностей и кромок деталей со сложными внутренними и внешними поверхностями позволяет гибко автоматизировать эти трудоёмкие технологические процессы. Механизм очистки представляет собой взаимно влияющие механические, химические, теплофизические процессы. Целесообразность стимулирования того или иного процесса зависит от требуемого эффекта. В Проблемной лаборатории импульсных источников энергии Харьковского авиационного института разработан термоимпульсный метод, в котором доминируют теплофизические процессы. При этом методе для нагрева используют детонационные и ударные волны. Термоимпульсный метод имеет большой потенциал промышленного применения для обработки деталей высокой точности со сложной конфигурацией внутренних и наружных поверхностей. Это видно из результатов проведённых исследований и промышленной эксплуатации [1–12]. Уровень изученности процессов термоимпульсной обработки на сегодняшний день уже позволяет свидетельствовать о возможности успешного включения этого метода во многие производственные циклы машиностроения в целях повышения качества продукции, улучшения условий производства, снижения трудоёмкости, экономии материальных ресурсов. Одним из примеров может служить производство прецизионных изделий, где нежелательно применение механической очистки кромок и поверхностей из-за образования вторичных, более мелких, ликвидов.

В основе термоимпульсного метода обработки лежит нагрев детали импульсно-периодическим источником энергии с целью оплавления ликвидов. При такой обработке необходимо обеспечить плавление удаляемых элементов, но при этом исключить необратимые изменения геометрии деталей и структуры материалов. Кроме удаления заусенцев и частиц желательнее одновременно выполнять отделку кромок. Следует отметить, что поскольку кромки являются единым целым с деталью, то наблюдаются некоторые особенности при выборе режимов обработки.

Особенность детонационных и ударных волн заключается в том, что их скорость распространения является физико-химической константой, мало зависящей от начального состояния газовой смеси. Они интенсифицируют теплообмен между продуктами сгорания и деталями (реализуется импульсный нагрев). Эксперименты показывают, что для детонационных и последующих ударных волн не существует теневых зон, они проникают в щели и отверстия диаметром меньше миллиметра. При этом затухание ударных волн подчиняется строгим физическим законам [8], что позволяет определить временной диапазон термоимпульсной обработки.

Оптимизация режимов обработки экспериментально представляет собой сложную задачу, так как это сопряжено с огромными временными и материальными затратами. Для проверки всех возможных комбинаций параметров необходимо выполнить  $2^k$  экспериментов, где  $k$  – количество факторов (более 25). Поскольку факторы, характеризующие обрабатываемые детали и оборудование, имеют разную физическую природу и образуют две самостоятельные системы, то целесообразно процессы, происходящие в деталях и оборудовании, исследовать отдельно, а затем проводить согласование по общим параметрам, мощности источника тепла и

длительности процесса. Для одной системы они являются выходными, а для другой – входными.

Процессы термоимпульсной обработки быстротечны, происходят в высокотемпературной, агрессивной среде. Поэтому моделирование процесса термоимпульсной обработки представляет практический интерес.

### Обзор процессов моделирования термоимпульсной обработки

Теория теплопроводности и теплообмена изложена во многих литературных источниках. В последние годы появилось большое количество работ, связанных с решением задач нестационарной теплопроводности. Это работы в области сварки, плазменного упрочнения поверхностей деталей, теплообмена в двигателях внутреннего сгорания, лазерного упрочнения и др. Многие процессы автоматизированы, например, плазменный раскрой листового материала.

Следует обратить внимание на работы, наиболее близкие по физической сути к рассматриваемому процессу термоимпульсного удаления заусенцев. Известны работы [1–11], в которых приведены решения, касающиеся моделирования температурных полей заусенцев и массива детали, отражены технологические возможности термического метода и даны рекомендации по выбору режимов обработки металлических изделий. Моделирование процессов удаления заусенцев и оптимизация режимов выполнялось на базе экспериментальных данных. При этом модели создавались либо на основе теории регрессивного анализа, либо методом подбора функций, удовлетворяющих экспериментальным данным [7,9]. Уравнения регрессии в работе [2] имеют вид

$$l_0 = 0,23 - 0,22P_0 - 0,4K_3 + 0,5K_3P_0, \quad (1)$$

где  $l_0$  – длина остаточного заусенца,  $P_0$  – давление горючей смеси,  $K_3$  – коэффициент загрузки камеры;

а математические модели на основе подбора функций –

$$q(t) = q_0(1 - \theta)\exp(-k\sqrt{t}) + q_1\exp(-\beta t). \quad (2)$$

Здесь  $q$  – тепловой поток,  $\theta = 0,12$ ,  $\beta = 132,5$ , константы для фиксированного состава и давления смеси следующие:

$$k = 5,54 \cdot c^{-\frac{1}{2}}, \quad q_0 = 3,4 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2, \quad q_1 = \frac{2q_0\beta\theta}{k^2}$$

При изменении параметров смеси и модели образца необходимо определять новые константы. Использование таких моделей ограничивается той номенклатурой деталей, которую применяли в экспериментах.

В работе [11] приведены эмпирические зависимости определения давления горючей смеси в зависимости от ее состава и от материала обрабатываемых деталей, рекомендована оптимальная загрузка рабочей камеры. Однако использовать разработанные технологии в агрегатном производстве летательных аппаратов, а также в любом мелкосерийном производстве практически невозможно по следующим причинам.

Номенклатура деталей агрегатного производства не позволяет выполнить рекомендации по величине загрузки рабочей камеры и зазорам по контуру деталей. Невыполнимы требования к чистоте поверхностей обработанных деталей из-за конденсации оксидов на поверхностях.

Невозможно защитить тонкостенные элементы деталей.

Наиболее вероятно применение способа и методики выбора режимов [11] для деталей, полученных литьем под давлением, имеющих относительно простую форму поверхностей и достаточно мелких для обеспечения условий загрузки камеры. Это могут быть всевозможные гайки, неотчетливый крепеж и т.п. – детали массового производства.

Особого внимания заслуживают работы, выполненные в СО АН России и её Красноярском филиале [8–10]. Теоретические и экспериментальные исследования нагрева моделей заусенцев в форме клина, пластины, проволоки излучением детонирующих газов позволили оценить качественную картину процесса их оплавления и сгорания. Исследования процесса сгорания детонирующих смесей и теплообмена в рабочих камерах при постоянном объёме раскрывают физическую природу интенсивного теплообмена при обработке деталей [9]. В работах [8,10] исследована и установлена закономерность затухания ударных волн в камерах сгорания постоянного объёма при соотношении высоты к диаметру  $H/D \leq 5$ . Работа [6] по численному моделированию процесса термического удаления заусенцев, выполненная в Красноярском филиале СО РАН, представляет интерес с точки зрения сопоставления результатов, но видимо, не завершена. Численные значения, представленные в ней, хорошо согласуются с результатами работ, выполненными в ХАИ. Наиболее значимым результатом этой работы является доказательство рационального разрушения элементов, удаляемых плавлением. Недостатком данной работы является неопределённость такого параметра, как время нагрева, а, следовательно, мощности источника тепла, что приводит к проблеме при оптимизации режимов удаления заусенцев и к неразрешимой задаче, например, размерного округления кромок.

В работе [7] была предпринята попытка применения систем, использующих МКЭ/МКР методы, при которой применяли подбор функций, описывающих экспериментальные зависимости изменения температуры модели по времени, для решения задачи определения температурных полей элементов конструкции деталей в форме пластин. Удовлетворительной сходимости при групповой обработке деталей, экспериментальных и расчетных результатов достичь не удалось.

Общим недостатком перечисленных работ является определение только одного регулируемого параметра — плотности теплового потока, что не позволяет определить рациональные режимы обработки с учетом особенностей конструкции деталей и резко ограничивает область применения метода.

### **Особенности термоимпульсной обработки**

В Национальном аэрокосмическом университете «ХАИ» были выполнены комплексные исследования по удалению заусенцев, очистке поверхностей деталей от микрочастиц и снижению величины микронеровностей, размерному округлению кромок термоимпульсным методом [1,3,4,5,7,12]. В этот комплекс вошли экспериментальные и теоретические исследования. Исходные данные для разработки физико-математических моделей взяты из экспериментов, выполненных в лабораторных условиях ХАИ на стендах, укомплектованных измерительными средствами для регистрации быстро протекающих процессов, а также из результатов промышленной эксплуатации установок зарубежных и

отечественных фирм.

Использование физико-математической модели процесса нагрева позволило установить закономерности изменения температурных полей элементов детали во времени при варьировании характеристик источника тепла. Выходные параметры, полученные для детали, являются исходными для формирования процессов сгорания и настройки оборудования. Таким образом, обе группы факторов представляют собой технологическую систему термоимпульсной обработки и комплексно образуют процесс, наиболее приближенный к натуральному эксперименту. Аналитическое решение является общим решением, описывающим рассматриваемый физический процесс в целом, в то время как при использовании численных методов необходимо выполнять расчёты для каждой совокупности значений параметров, а их может быть огромное количество. Аналитические решения для неограниченной пластины (3) и для полуплоскости (4) имеют достаточно высокую степень совпадения с экспериментальными. Эти физико-математические модели проверены на практике при разработке технологических режимов удаления заусенцев [1], очистки поверхностей деталей от микрочастиц [3], отделки поверхностей [4] (удаление быстро изнашиваемой части микронеровностей). Перечисленные ликвиды имеют общую особенность, слабо связаны с деталью, и потери тепла за счет утечек в деталь незначительны.

$$T_{(x,y,\tau)} = \frac{aqm}{2h\lambda} \left[ \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n e^{-\frac{a\pi^2 n^2 \tau}{h^2}} \cos \frac{n\pi y}{h} \right] + \frac{qap}{h\lambda} \times \left[ \frac{1}{2} \int_0^{\tau} \left( \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right) dt + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cos \frac{n\pi y}{h} \int_0^{\tau} \exp \left[ -\frac{a\pi^2 n^2 \tau}{h^2} \right] \left( \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right) dt \right] \quad (3)$$

$$T(x,y,\tau) = \frac{Qm}{2\lambda} \sqrt{\frac{a}{\pi\tau}} \exp \left( -\frac{y^2}{4a\tau} \right) \left( \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right) + \frac{Qp}{2\lambda} \sqrt{\frac{a}{\pi\tau}} \int_0^{\tau} \frac{1}{\sqrt{\tau}} e^{-\frac{y^2}{4a\tau}} \left( \operatorname{erf} \frac{\ell-x}{2\sqrt{a\tau}} + \operatorname{erf} \frac{\ell+x}{2\sqrt{a\tau}} \right) dt, \quad (4)$$

где  $m$  – доля тепла, выделенная импульсным источником;  $p$  – доля тепла, выделенная источником тепла постоянной мощности;  $a$  – температуропроводность,  $q$  – плотность теплового потока,  $h$  – толщина заусенца,  $\lambda$  – теплопроводность;  $\ell$  – участок подвода тепла;  $x, y$  – текущие координаты.

Моделирование источника тепла позволяет установить закономерные зависимости рационального времени обработки от теплофизических свойств материалов и геометрических размеров ликвидов [12]. Эти закономерности для каждого материала являются постоянными величинами и позволяют 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 и решение задачи оптимизации режимов, поскольку необходимо учитывать многоимпульсный подвод тепла, т.е. растянутый во времени, изменение теплофизических свойств материалов по мере их нагрева.

Исследование температурного поля заусенца до оплавления – первая фаза процесса. Необходимо учитывать следующий этап – изменение агрегатного состояния материала (плавление). Следует отметить, что для процесса зачистки заусенцев достаточно найти приближенные значения величины затрат энергии на плавление заусенцев, но которые гарантировали бы зачистку и сохранение тонкостенных элементов. В этом случае достаточно

оценить долю тепла, расходуемого на изменение агрегатного состояния материала. На рис. 1 показан импульсный нагрев элементов детали разной толщины во времени источником тепла одинаковой мощности. Время прогрева этих элементов отличается в несколько раз, что позволяет формировать условия обработки с учетом загрузки рабочей камеры. На рис. 2 показана осциллограмма процесса во времени при термоимпульсной обработке модели детали, где интенсивный нагрев модели соответствует резкому падению давления продуктов сгорания. При использовании импульсного источника тепла осуществимо регулирование процесса как по мощности источника, так и по времени его действия.

Известно, что температура плавления и удельная теплота плавления материалов уменьшаются с увеличением доли примесей или легирующих элементов в сплаве по сравнению с чистыми материалами (основой сплава) [1]. Другими словами, энергетические затраты на плавление чистых материалов являются пороговыми или максимальными для сплавов, созданных на основе этих металлов.

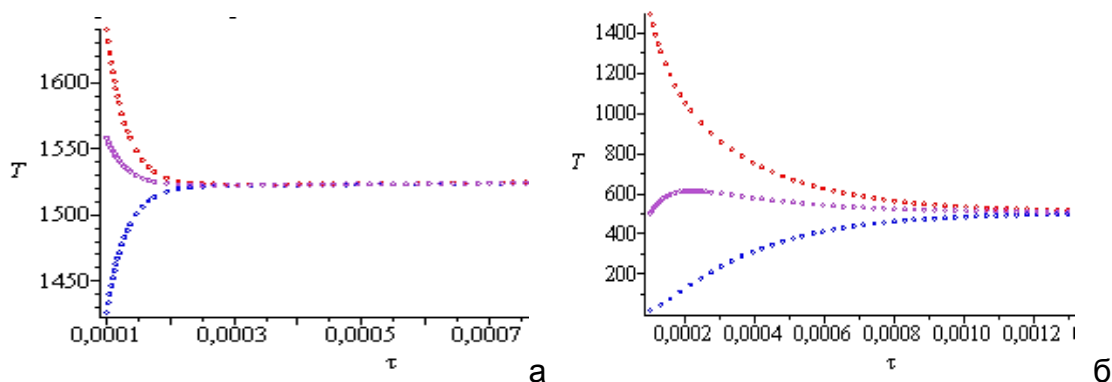


Рис.1. Изменение температуры пластин, разных по толщине (а –  $1 \times 10^{-4}$  м, б –  $3 \times 10^{-4}$  м) при импульсном нагреве

В табл. приведены теплофизические свойства, относительная энергоёмкость и доля тепла, идущая на плавление, в общем балансе затрат энергии для наиболее распространённых основ (чистых металлов) для сплавов, применяемых в агрегатостроении.

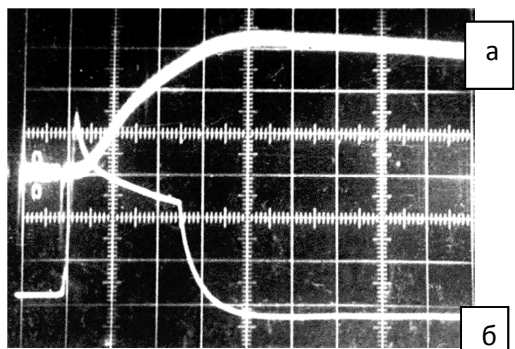


Рис.2. а – изменение температуры образца детали; б – изменение давления газов

Установленные теоретически закономерности распределения температурных полей в элементах деталей, а также физические законы, которым подчиняются процессы детонационного сгорания, позволяют реализовать саморегулируемые процессы обработки за счёт научно обоснованного выбора условий, влияющих на характеристики импульсного источника тепловой энергии. Использование импульсной фазы подвода тепла расширило область применения детонирующих газовых смесей для очистки деталей после финишных видов обработки.

Сравнение затрат тепла на плавление наиболее применяемых  
основ металлов для сплавов

Материал	$T_{пл}$ , °C	°C, кДж/кг, град	$P$ , кг/дм	$Q_{уд}$ , %	$Q^*$
Магний	650	1,060	1,70	40,1	1,00
Цинк	420	0,384	7,13	35,0	1,07
Алюминий	660	0,880	2,70	40,1	1,47
Медь	1083	0,339	8,96	32,0	3,18
Титан	1680	0,	4,50	30,0	3,15
Железо	1535	0,427	7,87	30,0	4,10
Никель	1453	0,450	8,90	32,0	4,73
Хром	1900	0,482	7,19	24,0	4,80

$Q^*$  – относительная энергоёмкость оплавления заусенцев

Установленные теоретически закономерности распределения температурных полей в элементах деталей, а также физические законы, которым подчиняются процессы детонационного сгорания, позволяют реализовать саморегулируемые процессы обработки путем научно обоснованного выбора условий, влияющих на характеристики импульсного источника тепловой энергии. Использование импульсной фазы подвода тепла расширило область применения детонирующих газовых смесей для очистки деталей после финишных видов механической обработки, включая золотниковые и плунжерные пары, клапаны гидравлики, детали приборов типа часовых механизмов и других, из различных металлов и сплавов.

Знание закономерностей изменения температурных полей в ликвидах и элементах детали позволяет оптимизировать характеристики технологического процесса с учетом теплофизических свойств материалов, особенностей конструкции деталей, потребной мощности источника тепла и многих других факторов, влияющих на качество обработки.

### Выводы

1. Энергоёмкость процессов термоимпульсной обработки зависит от теплофизических свойств материала, геометрических размеров удаляемых элементов.
2. Зачистку поверхностей деталей целесообразно проводить в импульсном режиме при минимальной мощности источника тепла.
3. Характеристика источника тепла должна формироваться в соответствии с требованиями к конструктивным особенностям деталей (величины шероховатости, чистоте поверхностей, с учетом наличия разностенности, размеров пересекающихся каналов и др.).
4. Разработанная физико-математическая модель процесса нагрева поверхностей деталей позволяет моделировать режимы нагрева при изменении характеристики источника тепла (детонирующих газовых смесей), теплофизических свойств материалов, времени теплового воздействия и толщины нагреваемых элементов.
5. При разработке физико-математических моделей использованы экспериментальные данные: характеристики источника тепла, теплофизические свойства материалов, а также учтены аддитивные свойства тепловой энергии.

### Список использованных источников

1. Лосев, А.В. Повышение эффективности зачистки деталей пневматических и гидротопливных систем при использовании термоимпульсного метода: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Лосев Алексей Васильевич. – Харьков., 1995. – 210 с.
2. Божко, В.П. Основы технології зачистки деталей авіаційного виробництва високоемпературними газовими імпульсами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.07.04./ Божко Валерій Павлович. – Харків.– 1993. – 35 с.
3. Жданов, А.А. Технологии термоимпульсной отделки поверхностей прецизионных деталей в авиационной промышленности и численные исследования / А.А. Жданов, А.В. Лосев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: – Сб. науч. трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2003 – Вып. 19. – С. 174 – 183.
4. Сломинская, Е.Н. Задача оптимизации режимов термоимпульсной отделки поверхностей деталей и пути ее решения / Е.Н. Сломинская, А.В. Лосев // Авиационная промышленность. – 2000. - №2. – С. 21-23.
5. Лосев, А.В. Импульсный нагрев монолитной детали и расчет её температурного поля при тепловом удалении заусенцев / А.В.Лосев, С.А. Мещеряков, Е.Н. Сломинская // Авиационная промышленность. – 1991. – №9. – С.32–34.
6. Пак, Н.И. Численное моделирование процесса термического удаления заусенцев концентрированным потоком энергии / Н. И. Пак, С.А. Шикунов // Обработка материалов импульсными нагрузками. – Новосибирск, 1990. – С. 168–175.
7. Дыбский, П.А. Параметры МКЭ модели для термоимпульсной очистки поверхностей металлических деталей / П.А. Дыбский, А.А. Жданов, Лосев А.А. // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2002. – №19. – С. 146-152.
8. Адонин, С.М., О теплопередаче продуктов детонации газовой смеси в камере / С. М. Адонин, В. И. Манжалей // Динамика сплошной среды. – Новосибирск, 1986. – Вып.74. – С. 3–10.
9. Манжалей, В.И. Экспериментальные исследования затухания ударных волн и теплопередачи телам после детонации газа в камерах / В. И. Манжалей // Механика реагирующих сред и ее приложение. – Новосибирск, 1989. – С. 123 – 132.
10. Разработка опытно-промышленной установки термического удаления облоя: Отчет о НИР (промежуточный) / Днепропетровский металлургический институт; руководитель Попов Е.Г., исполнитель Гаек А.В. – Днепропетровск, 1981. – 42 с. - № ГР 80019962. – Инв. №02827004337.
11. Лосев, А.В. Обработка кромок деталей термоимпульсным методом // к.т.н. А.В. Лосев, О.А. Лосева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2009. – Вып. 42 – С. 120–126.
12. Лосев, А.В. Обработка кромок деталей термоимпульсным методом / А.В. Лосев, О.А. Лосева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2009. – Вып. 42 – С. 120–126.

### References

1. Losev, A.V. Improving the efficiency of stripping parts of pneumatic and hydro fuel systems using the thermo-impulse method: dis. ... cand. tech. sciences: 05.02.08 / Losev Aleksey Vasilevich. - Kharkov., 1995. - 210 p.
2. Bozhko, V.P. The main technologies of stripping of parts of aviatsiyного virobnitstva high-temperature gas impulses: author. dis. ... dr. techn. sciences: 05.07.04.



Bozhko Valeriy Pavlovich. - Kharkiv. – 1993. - 35 p.

3. Zhdanov, A.A. Technologies of thermopulse surface finish of precision parts in the aviation industry and numerical studies / A.A. Zhdanov, A.V. Losev // Open information and computer integrated technologies: - sat. scientific proceedings of the National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute». - 2003 - Vol. 19. - p. 174 - 183.

4. Slominskaya, E.N. The task of optimizing the modes of thermo-impulsive separation of the surfaces of parts and ways to solve it / E.N. Slominskaya, A.V. Losev // Aviation industry. - 2000. - №2. - С. 21-23.

5. Losev, A.V. Pulsed heating of a monolithic part and calculation of its temperature field during thermal removal of burrs / A.V. Losev, S.A. Meshcheryakov, E.N. Slominskaya // Aviation industry. - 1991. - №9. - pp. 32–34.

6. Pak, N.I. Numerical simulation of the process of thermal removal of za-tuffs by a concentrated energy flow / N. I. Pak, S.A. Shikunov // Processing materials with impulse loads. - Novosibirsk, 1990. - p. 168-175.

7. Dybsky, P.A. Parameters of the FEM model for thermo-impulse cleaning of metal parts / P.A. Dybsky, A.A. Zhdanov, Losev A.A. // Bulletin of the National Technical University "KPI". - 2002. - №19. -С. 146-152.

8. Adonin, S.M., 0 to heat transfer of products of detonation of a gas mixture in a chamber / S. M. Adonin, V. I. Manzhaley // Dynamics of a continuous medium. - Novosibirsk, 1986. - Vol.74. - С. 3–10.

9. Manzhaley, V. I. Experimental studies of the attenuation of shock waves and heat transfer to bodies after detonation of gas in chambers / V.I. Manzhaley // Mechanics of reacting media and its application. - Novosibirsk, 1989. - p. 123 - 132.

10. Development of a pilot industrial thermal waste removal system: Research Report (interim) / Dnipropetrovsk Metallurgical Institute; leader Popov EG, artist Gayek A.V. - Dnepropetrovsk, 1981. - 42 p. - GR No. 80019962. - Inv. № 02827004337.

11. Losev, A.V. Edge processing of parts using the thermo-impulse method"/ Ph.D. A.V. Losev, O.A. Losev // Open information and computer integrated technologies: sat. scientific papers of the National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute». – 2009. - Vol. 42 - Pp. 120–126.

12. Losev, A.V. Edge processing of parts using the thermal pulse method / A.V. Losev, O.A. Losev // Open information and computer integrated technologies: Sat. scientific papers of the National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute». - 2009. - Vol. 42 -Pp. 120–126.

Поступила в редакцию 20.12.2018, рассмотрена на редколлегии 21.12.2018.

## **Особливості термоімпульсного очищення поверхонь і кромки деталей від забруднень після механічної обробки**

Вимоги, що пред'являються до якості авіаційної техніки, є визначальними при створенні технологічних систем, що забезпечують промислову чистоту виробів. Але важлива і вартісна складова обробно-зачисних технологій, величина якою залежить від обраного методу видалення ліквідів, наприклад з гідравлічних агрегатів літальних апаратів.

Надійне і економічне виготовлення деталей з певними геометричними і технологічними властивостями – основна мета промислового виробництва. В умовах ринкової економіки виробництва конкурентоспроможної продукції є необхідністю, а це завжди вибір раціонального, стабільного співвідношення ціни та якості.

Якість продукції машинобудування — багатофакторна проблема, що залежить від комплексу системних організаційних і технологічних заходів. У виробництві авіаційної техніки забезпечення якості пов'язано з безвідмовністю та гарантованим

ресурсом, які життєво необхідні в силу специфічних умов експлуатації. Одним найбільш важливим заходів щодо забезпечення безвідмовності і гарантованого ресурсу авіаційних виробів є забезпечення промислової чистоти. Очищення від мікрочастинок, макро- і мікрозадирок поверхонь і кромок деталей після механічних видів обробки входить в комплекс цих заходів. Найбільш проблематична очищення корпусних деталей зі складною конфігурацією зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Необхідність видалення ліквідів та інших технологічних забруднень пояснюють функціональними, ергономічними і естетичними причинами. Якщо ергономічні та естетичні чинники не впливають на технічні характеристики виробів, то функціональні безпосередньо пов'язані з працездатністю машин і механізмів. Функціональні причини – це запобігання відмовам гідравлічних розподільчих і регулюючих пристроїв, а також запобігання підвищеного зносу відповідальних деталей, що відбувається при попаданні в зазори третьових пар твердих металевих частинок, труднощі при складанні та позиціонуванні, зниження втомної міцності і так далі. Задирки викликають завихрення в потоці газу або рідини, порушуючи рівномірність потоку. Очевидно, що взаємовпливаючі процеси, що відбуваються в гідравлічних системах машин, при порушенні умов роботи призводять до посилення негативних явищ.

Особливість застосування очисних технологій полягає в необхідності видалення ліквідів зі 100% деталей, що входять в автономну систему механізмів. Якщо залишається неочищеної хоча б одна деталь, то робоча рідина при контакті із забрудненими поверхнями змиває ці забруднення і розносить їх по всій системі, при цьому пошкоджуються найбільш чутливі елементи.

Наведено причини, за якими необхідно очищати поверхні і кромки деталей від технологічних забруднень. Виконано короткий огляд результатів моделювання і досліджень з видалення задирок в середовищі детонуючих газових сумішей. Розглянуто особливості термоімпульсного процесу і наведені результати чисельних і експериментальних досліджень. Показаний порівняльний аналіз енергоємності видалення задирок різних металів.

**Ключові слова:** якість, ліквідний, задирки, скругление крайок, термоімпульсний процес, температурне поле, теплофізичні властивості матеріалів, задирки.

## **Features of thermopulse cleaning of surfaces and edges of parts from contamination after machining**

The requirements for the quality of aviation technology are decisive in the creation of technological systems that ensure the industrial purity of products. But the cost component of the finishing and stripping technologies is also important, the value of which depends on the chosen method of removing liquids, for example, from hydraulic units of aircraft.

Reliable and cost-effective manufacture of parts with specific geometric and technological properties is the main goal of industrial production. In a market economy, the production of competitive products is a necessity, and it is always the choice of a rational, stable price-quality ratio.

The quality of engineering products is a multifactorial problem, depending on the complex of systemic organizational and technological measures. In the production of aircraft technology, quality assurance is associated with dependability and a guaranteed resource that is vital due to specific operating conditions. One of the most important measures to ensure the reliability and guaranteed life of aviation products is to ensure industrial cleanliness. Cleaning from microparticles, macro- and micro-hauler surfaces and edges of parts after mechanical types of processing is included in the complex of these measures. The most problematic is the cleaning of body parts with a complex configuration of external and internal surfaces. The need to remove liquids and other technological pollution is explained by functional, ergonomic and aesthetic reasons. If ergonomic and

aesthetic factors do not affect the technical characteristics of products, then the functional ones are directly related to the operability of machines and mechanisms. Functional causes are the prevention of failures of hydraulic distribution and control devices, as well as the prevention of increased wear of critical parts occurring when friction pairs of solid metal particles enter the gaps, difficulties in assembling and positioning, reducing fatigue strength and so on. Burrs cause turbulence in the flow of gas or liquid, disrupting the flow uniformity. It is obvious that the mutually influencing processes occurring in the hydraulic systems of machines, in violation of working conditions, lead to an increase in negative phenomena.

The peculiarity of the use of purification technologies is the need to remove liquids from 100% of the parts included in the autonomous system of mechanisms. If at least one detail is left untreated, then the working fluid, when in contact with contaminated surfaces, washes away these contaminants and spreads them throughout the system, while the most sensitive elements are damaged.

The reasons for the need to clean the surface and edges of parts from technological contamination are given. A brief review of the results of modeling and research on the removal of burrs in the environment of detonating gas mixtures has been performed. The features of the thermopulse process are considered and the results of numerical and experimental studies are presented. A comparative analysis of the energy intensity of removing burrs of various metals is shown.

**Keywords:** quality, liquidation, burrs, rounding of edges, thermo-impulse process, temperature field, thermal physical properties of materials, burrs.

#### **Сведения об авторах:**

**Лосев Алексей Васильевич** – кандидат технических наук, с.н.с. каф. 104 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: [a\\_losev\\_khai@ukr.net](mailto:a_losev_khai@ukr.net), ORCID: 0000-0003-1530-1642.

**Бычков Игорь Валерьевич** – доктор технических наук, с.н.с., заведующий кафедрой 104 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: [i.bychkov@gmail.com](mailto:i.bychkov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-4819-5826.

**Коллеров Вячеслав Викторович** – кандидат технических наук, с.н.с., доцент каф. 104 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: [khai134@ukr.net](mailto:khai134@ukr.net), ORCID: 0000-0002-2578-918.

**Селезнева Анна Сергеевна** – старший преподаватель каф. 104 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: [anna\\_revenko@ukr.net](mailto:anna_revenko@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2235-585X.

#### **Information about authors:**

**Alexey Losev** – candidate of technical sciences, senior scientist of the department 104 National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [a\\_losev\\_khai@ukr.net](mailto:a_losev_khai@ukr.net), ORCID: 0000-0003-1530-1642.

**Igor Bychkov** – doctor of technical sciences, senior researcher, head of department 104 of the National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [i.bychkov@gmail.com](mailto:i.bychkov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-4819-5826.

**Vyacheslav Kollerov** – candidate of technical sciences, senior scientist of the department 104 National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [khai134@ukr.net](mailto:khai134@ukr.net), ORCID: 0000-0002-2578-918.

**Selezneva Anna** – senior lecturer of the department 104 National Aerospace University named after M. Y. Zhukovsky «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [anna\\_revenko@ukr.net](mailto:anna_revenko@ukr.net), ORCID: 0000-0003-2235-585X.