

## Использование координатной обработки для интенсификации процесса ультразвуковой очистки

В. М. Приходько, А. Е. Шеина, Е. Г. Юдаков\*

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
кафедра «Технология конструкционных материалов»,  
лаборатория электрофизических методов обработки,  
Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64*  
(Статья поступила 06.11.2014; Подписана в печать)

В двигателях внутреннего сгорания загрязнениям подвергаются детали различных размеров, формы и конструкции. Особую сложность представляет очистка от загрязнений корпусных изделий, что объясняется их крупными габаритами, наличием большого количества отверстий, карманов и других труднодоступных мест. Одним из наиболее эффективных способов очистки деталей является ультразвуковой. В статье рассмотрены технология и оборудование для автоматизированной ультразвуковой очистки корпусных деталей перемещающимся излучателем.

PACS: 62.30.+d

УДК: 534-8

Ключевые слова: загрязнения, ультразвуковая очистка.

### ВВЕДЕНИЕ

Конкурентоспособность автотракторной техники напрямую зависит от срока службы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). От качества их изготовления и обслуживания зависят надежность, экономичность, минимизация негативных экологических последствий эксплуатации. Наиболее дорогостоящими узлами ДВС с точки зрения изготовления и материалоемкости являются корпусные изделия. Для них, как и для других деталей двигателя, наряду с требованиями точности не менее важными являются требования промышленной чистоты.

В процессе изготовления корпусные детали ДВС подвергаются различным видам технологических операций, при выполнении которых возникают различные загрязнения: пленка эмульсии смазочно-охлаждающих средств, остатки доводочных и притирочных паст, шаржирование поверхности при выполнении финишных отделочных операций. Остатки технологических загрязнений ухудшают качество сборки изделия и в последствии оказывают существенное влияние на срок его службы.

Условия работы ДВС в целом и корпусных деталей в частности приводят к образованию эксплуатационных загрязнений, которые представляют собой сложные продукты взаимодействия как органических, так и неорганических соединений, различных по природе образования и условиям формирования: лаки, нагары, накипь, осадки и др. Образующиеся в процессе эксплуатации загрязнения приводят к ухудшению эксплуатационных свойств, повышенному износу трущихся сопряжений, а при поступлении детали в ремонт они препятствуют качественному выполнению операций дефектовки и восстановления.

Экономически эффективны и востребованы технологии, позволяющие продлить срок службы или вернуть в повторную эксплуатацию корпусные детали ДВС. В процессе изготовления новых и восстановления изношенных корпусных деталей ДВС исключительную роль играют моечно-очистные технологии. Особую сложность представляет очистка от загрязнений корпусных изделий, что объясняется их большими размерами, конструктивной сложностью, наличием большого количества различных сквозных и глухих отверстий и других труднодоступных мест.

Анализ применяемых технологий и оборудования выявил технологическую и экономическую эффективность применения ультразвуковой очистки для корпусных деталей ДВС. При ультразвуковой очистке за счет возникновения ряда специфических эффектов, таких как кавитация, акустические течения разного масштаба, ускорение протекания химических процессов происходит разрушение, отслоение, растворение и удаление пленки загрязнений с поверхности деталей.

### 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

С учетом конструктивных особенностей корпусных деталей ДВС для выбора ультразвукового оборудования, проведены исследования эффективности применения различных типов излучателей [1].

Цилиндрические излучатели ЦМС-8 обладают высокой эрозионной активностью ультразвукового поля в области, сконцентрированной вблизи оси излучателя. Однако, небольшой диаметр излучателя, конструктивно связанный с резонансной частотой, не позволяет использовать цилиндрические преобразователи для очистки корпусных деталей ДВС, обладающих, как правило, большими размерами.

Исследование топографии кавитационной области пластинчатого излучателя ПМС-2,5-18 выявило нерав-

\*E-mail: e.g.yudakov@gmail.ru

номерность распределения эрозии по площади излучающей пластины. Максимальная эрозионная активность наблюдается в непосредственной близости к излучающей пластине и уменьшается при отдалении тест-объекта. Потребляемая мощность преобразователя ПМС-2,5-18 составляет  $N = 2,5$  кВт, при этом удельная акустическая мощность  $N_{уд}$  не превышает  $3$  Вт/см<sup>2</sup>. Обеспечить равномерное воздействие кавитации при очистке плоскостными излучателями возможно за счет перемещения поверхности очистки относительно излучателя. Подобная схема приведет к увеличению требуемого эффективного объема технологической ванны, повышению энергозатрат и продолжительности очистки.

Эрозионная активность стержневого преобразователя максимальна в непосредственной близости к излучающей поверхности и сосредоточена в пределах эффективной площади излучателя. Стержневая ультразвуковая колебательная система (УЗКС) позволяет вести обработку на низкоамплитудном и высокоамплитудном режимах излучения, обладает удельной мощностью излучения  $N_{уд}$  до  $50$  Вт/см<sup>2</sup> при потребляемой мощности  $N = 1,5$  кВт. Также одним из преимуществ стержневых УЗКС является возможность использовать сменные инструменты, позволяющие осуществлять специальные технологические операции, к примеру, очистки отверстий. Основным недостатком использования стержневой УЗКС для очистки корпусных деталей двигателя является небольшая площадь излучателя. Для устранения этого недостатка и очистки корпусных деталей ДВС предлагается использовать динамический режим обработки, когда стержневая УЗКС перемещается относительно поверхности очистки. Для определения рациональных акустико-технологических параметров очистки перемещающейся стержневой УЗКС проведены экспериментальные исследования площади эрозионных повреждений тест-объектов из алюминиевой фольги в акустическом поле по схеме, представленной на рис. 1.

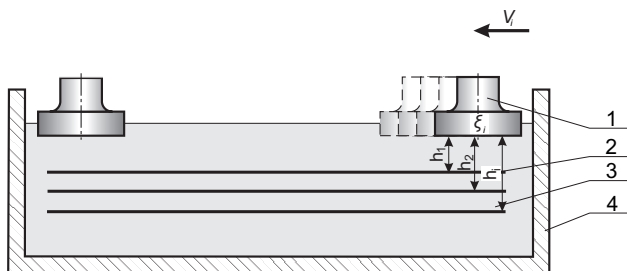


Рис. 1: Схема проведения эксперимента по исследованию эрозионной активности перемещающегося излучателя: 1 — излучатель и УЗКС; 2 — эрозионный тест; 3 — технологическая среда; 4 — ванна

Исследования проводились при различных амплитудах ультразвуковых колебаний  $\xi$  (мкм), скоростях перемещения УЗКС  $V$  (мм/с) и расстояниях от излучающей

щей до обрабатываемой поверхности  $h$  (мм).

Обработка экспериментальных данных позволила выявить, что применение высокоамплитудного режима на исследуемых скоростях перемещения излучателя позволяет существенно, в некоторые моменты более чем в 4 раза, увеличить кавитационные повреждения фольги по сравнению с низкоамплитудным режимом (рис. 2). Происходит это из-за большого количества пульсирующих и схлопывающихся пузырьков, находящихся в мощном акустическом потоке при высокоамплитудном режиме обработки.

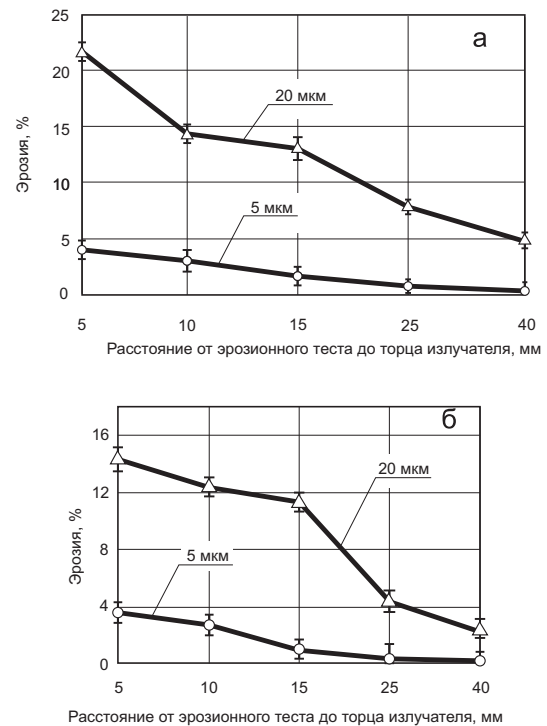


Рис. 2: Зависимость эрозионной активности от режима обработки и расстояния до образца при скорости перемещения излучателя а)  $V = 6$  мм/с; б)  $V = 18$  мм/с

С удалением объекта обработки от излучателя происходит уменьшение кавитационных повреждений. При высокоамплитудном режиме озвучивания в жидкости возникает две области: эрозионная, в которой сильно проявляются кавитационные эффекты и безэрозионная, в которой существуют лишь пульсирующие, незахлопывающиеся пузырьки [2]. Максимальное повреждение эрозионного тест-объекта возникает в непосредственной близости к излучающей поверхности источника колебаний. На определенном расстоянии, в нашем случае более 15 мм, возникает граница, при переходе через которую схлопывания не наблюдается и все пузырьки пульсируют. В результате чего на фольге отсутствуют сквозные повреждения.

В работе [3] рекомендуется относительную скорость перемещения излучателя и/или объекта очистки выбирать не более 50 мм/с. Для выявления масштаба повре-

ждений алюминиевой фольги в зависимости от различных скоростей перемещения излучателя и расстояния от излучателя до очищаемой поверхности на высокоамплитудном режиме обработки с амплитудой  $\xi = 20$  мкм (рис. 3).

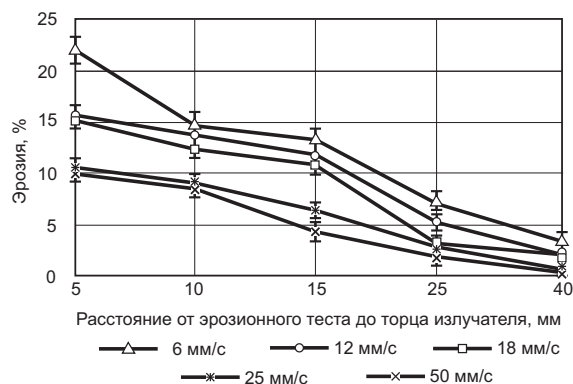


Рис. 3: Зависимость повреждений эрозионного тест-объекта при амплитуде  $\xi = 20$  мкм от скорости перемещения излучателя  $V$  и расстояния  $h$

## 2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСТАНОВКИ

Анализ зависимости (рис. 3) позволил выявить необходимость поддержания рационального технологического зазора  $h$  между излучающей и обрабатываемой поверхностями, а также скорости перемещения УЗКС  $V$  при разработке установки очистки корпусных деталей ДВС.

В основу конструкции установки положен принцип точного позиционирования инструмента — излучателя относительно очищаемой поверхности, который используется при разработке металлорежущего оборудования с числовым-программным управлением. Для этого установка должна включать механизмы перемещения инструмента, шаговые двигатели, электронные компоненты для их управления, а также технологическую ванну с нагревательными элементами мощного раствора (рис 4).

Корпусные детали ДВС имеют сложную форму поверхности очистки и «ручное» управление перемещением УЗКС не позволяет обеспечить требуемую величину технологического зазора, а также существенно увеличивает трудоемкость написания управляющей программы очистки. Решить эту задачу позволяет ис-

пользование специализированных программ технологической подготовки производства, к примеру GeMMы-3D (рис. 5). По заранее подготовленной трехмерной модели очищаемого изделия создается управляющая программа очистки, по которой излучатель перемещается по эквидистантной очищаемой плоскости поверхности.

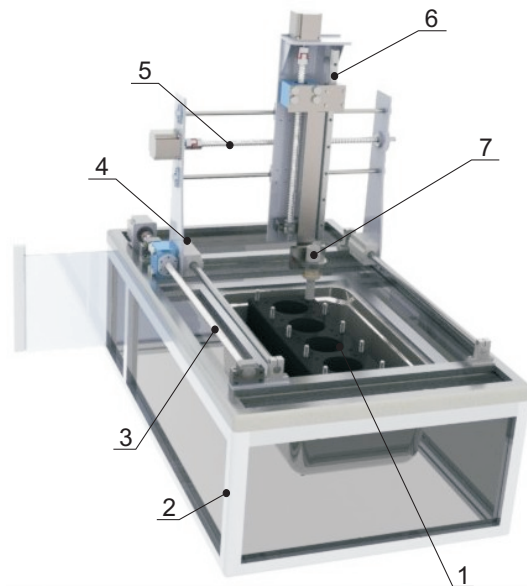


Рис. 4: Установка координатной ультразвуковой очистки: 1 — объект очистки и технологическая ванна; 2 — каркас нижнего блока установки; 3 — каркас верхнего блока установки; 4 — привод продольного перемещения излучателя; 5 — привод поперечного перемещения излучателя; 6 — привод вертикального перемещения излучателя; 7 — ультразвуковая колебательная система

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования по определению рациональных режимов обработки перемещающейся УЗКС загрязненных поверхностей корпусных деталей ДВС, а также изготовленная оригинальная технологическая установка с числовым-программным управлением, в которой инструмент перемещается по трем координатным осям в автоматической режиме, позволяют создать современную технологию очистки, которая обеспечивает производительность процесса, качество операции, снижение энергетических затрат, трудоемкости и повышает номенклатуру очищаемых изделий.

[1] Бабченко Н.В., Титков В.Д., Юдаков Е.Г. Научно-технические новшества в машиностроении. № 6. С. 44. 2013.  
 [2] Сиротюк, М.Г. Акустическая кавитация. / Тихоокеан. океанол. ин-т им. В. И. Ильичева ДВО РАН. (М.: Наука.

2008).  
 [3] Панов, А. П., Пискунов Ю. Ф. Высокоамплитудная ультразвуковая очистка. (М.: Машиностроение. 1980).

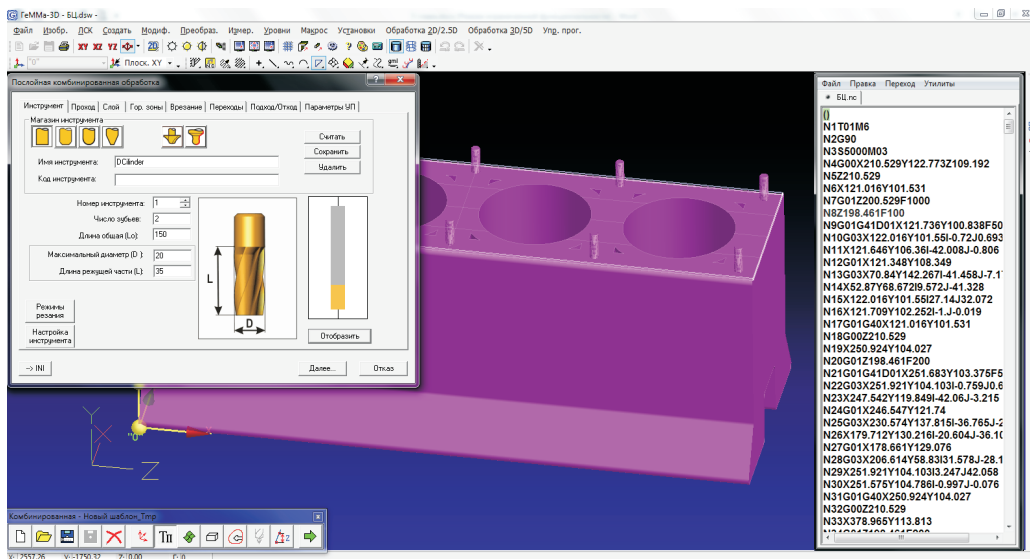


Рис. 5: Разработка управляющей программы очистки

## Using axis machining for intensification ultrasonic cleaning process

V. M. Prihod'ko, A. E. Sheina, E. G. Yudakov<sup>a</sup>

*The Moscow state automobile & road technical university, Moscow 125319, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>e.g.yudakov@gmail.ru*

In internal combustion engines pollution exposed parts of different sizes, shapes and designs. Of particular difficulty is the removal of contaminants case products, due to their large size, the presence of a large number of holes, pockets and other hard to reach places. One of the most effective ways to clean parts is ultrasound. The article describes the technology and equipment for automated ultrasonic cleaning of body parts moving emitter.

PACS: 62.30.+d

Keywords: pollution, ultrasonic cleaning.

Received 06.11.2014.

### Сведения об авторах

1. Приходько Вячеслав Михайлович — докт. техн. наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68.
2. Шеина Анна Евгеньевна — аспирант кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68.
3. Юдаков Евгений Геннадьевич — канд. техн. наук, ассистент кафедры «Технология конструкционных материалов»; тел. 8-499-155-08-68, e-mail: e.g.yudakov@gmail.ru.