

УДК 629.33-77-026.572

Приходько Вячеслав Михайлович, член-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, prikhodko@madi.ru

Симонов Дмитрий Сергеевич, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, dimsimonov94@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности процесса ультразвуковой очистки ответственных деталей автотракторных двигателей от загрязнений технологического и эксплуатационного характера. К ответственным деталям отнесены детали, определяющие энергетические, экономические и экологические характеристики двигателей автотракторной техники. Рассмотрены различные факторы, возникающие в ультразвуковом поле технологической жидкости, влияющие на эффективность ультразвуковой очистки. Особое внимание уделено влиянию конструктивных особенностей очищаемых деталей и виду ультразвуковых колебательных систем (УЗКС), определяющих эффективность ультразвукового способа удаления загрязнений. Даны рекомендации по технологии процесса ультразвуковой очистки в общем комплексе операций, связанных с обеспечением высокого качества чистоты поверхностей очищаемых деталей.

Ключевые слова: ответственные детали, ультразвук, технологические режимы, загрязнения, качество очистки, конструктивные особенности деталей, колебательные системы.

Prikhodko Vyacheslav M., corresponding member of RAS, Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, prikhodko@madi.ru

Simonov Dmitry S., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, dimsimonov94@mail.ru

APPLICATION OF ULTRASOUND FOR CLEANING FROM POLLUTION OF RESPONSIBLE PARTS OF AUTOTRACTOR ENGINEERING

Abstract. In the article, features of process of ultrasonic clearing of responsible details of autotractor engines from pollution of technological and operational character are considered. Responsible details include the details that determine the energy, economic and environmental characteristics of engines of automotive equipment. Various factors that arise

in the ultrasonic field of a process fluid that affect the efficiency of ultrasonic cleaning are considered. Particular attention is paid to the influence of design features of the parts being cleaned and the type of ultrasonic oscillatory systems (UOS) that determine the effectiveness of the ultrasonic method for removing contaminants. Recommendations are given on the technology of the ultrasonic cleaning process in the overall complex of operations associated with ensuring a high quality of the cleanliness of the surfaces of the parts being cleaned.

Key words: critical parts, ultrasound, technological regimes, pollution, quality of cleaning, design features of parts, oscillatory systems.

Введение

В общей схеме технологических процессов изготовления и ремонта автотракторной техники важное место занимают операции по удалению с поверхности деталей загрязнений технологического характера, связанных с технологией изготовления деталей, и эксплуатационных, образующихся на поверхности деталей в процессе их эксплуатации. Общеизвестно [7], что эксплуатационные загрязнения являются наиболее трудноудаляемыми, что связано с процессами горения топлива и трением соприкасающихся деталей, что в обоих случаях сопровождается высокотемпературной полимеризацией топлива и масел, приводящей к образованию нагаров, лаковых и других углеродистых отложений, обладающих высокими адгезионными и когезионными связями.

Очистка деталей, ответственных за экономические, энергетические и экологические показатели автотракторной техники, от технологических и эксплуатационных загрязнений и сегодня представляет до конца нерешенную проблему, что объясняется непрерывным повышением требований к качеству технологий изготовления, обслуживания и ремонта машин.

Известно [1] что, ультразвуковая очистка деталей от загрязнений является одним из наиболее эффективных методов достижения требуемого уровня чистоты поверхности деталей.

Ультразвуковая очистка основана на ряде специфических физико-химических явлений, возникающих в жидкой среде при возбуждении в ней колебаний ультразвуковой частоты, как правило, соответствующей 18000 Гц и выше. К таким эффектам, прежде всего, относят [10] кавитацию и акустические потоки разного масштаба, отличающиеся скоростью перемещения технологической жидкости и ее насыщенностью пузырьками различных размеров – от микронных до миллиметровых.

В общем случае механизм ультразвуковой очистки состоит в разрушении загрязнений, их отделении и уносе с поверхности деталей. Кавитация и акустические потоки возникают при возбуждении в технологической жидкости ультразвуковых колебаний одновременно и проявляют себя в комплексном воздействии как на изделия в целом, так и на загрязнения.

Анализ результатов исследования

Как показывают многочисленные исследования [2, 4, 8, 9], эффективность ультразвуковой очистки в основном определяется:

- 1) ультразвуковым оборудованием и его акустическими характеристиками;
- 2) конструктивными особенностями очищаемых деталей;
- 3) видом загрязнения и его характеристиками;
- 4) используемыми технологическими жидкостями.

В предлагаемой работе рассматриваются в основном особенности ультразвуковой очистки деталей автотракторной техники, в наибольшей степени отвечающие за ее экономические, энергетические и экологические характеристики. Примеры таких деталей представлены на рис. 1: форсунки и распылители дизельных двигателей, инжекторы бензиновых двигателей, выпускные и впускные клапаны и др.



а – форсунки дизельного двигателя;

б – инжекторы бензинового двигателя;



в – выпускные клапаны

Рис. 1

Большое значение для эффективности ультразвуковой очистки имеет выбор ультразвуковой колебательной системы (УЗКС). В практике предприятий, как основного производства, так и ремонтно-восстановительных предприятий, участков, специализированных мастерских, получили распространение УЗКС [3], представленные на рис. 2, где показаны стержневые колебательные системы (рис. 2, а), цилиндрические (рис. 2, б) и плоскостные (рис. 2, в).

Стержневые УЗКС являются одними из самых эффективных, поскольку их конструкция позволяет регулировать излучающую мощность в широких пределах – от 1–1,5 Вт/см² до 50 Вт/см² и выше. С точки зрения назначения оптимальных режимов такие УЗКС наиболее выгодны. Их основной недостаток – относительно небольшая площадь рабочей поверхности излучателя.

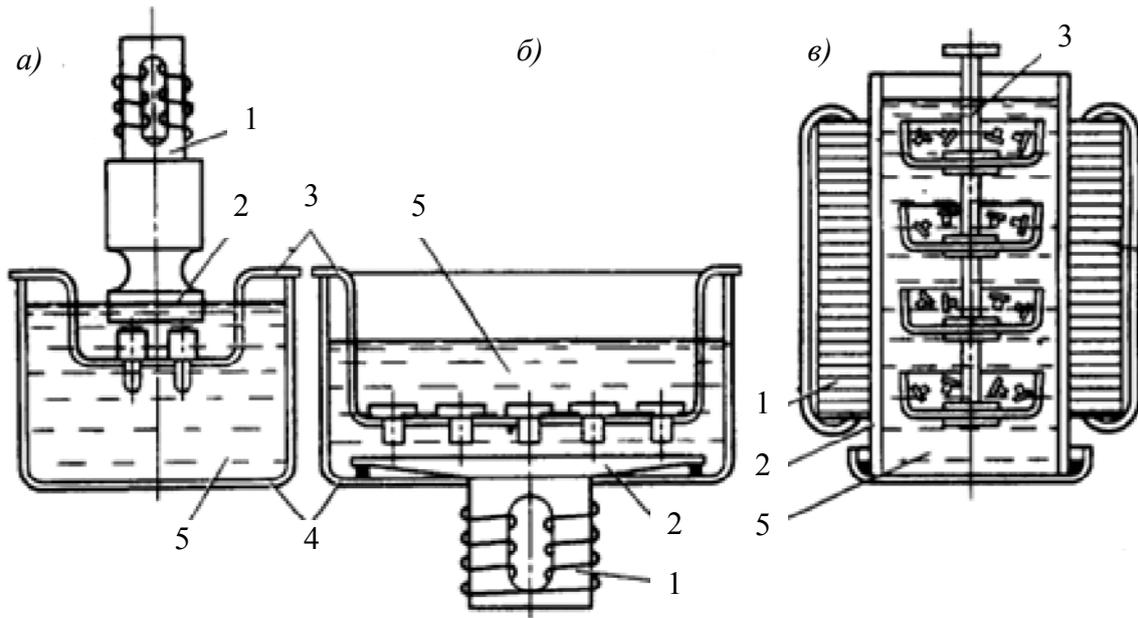


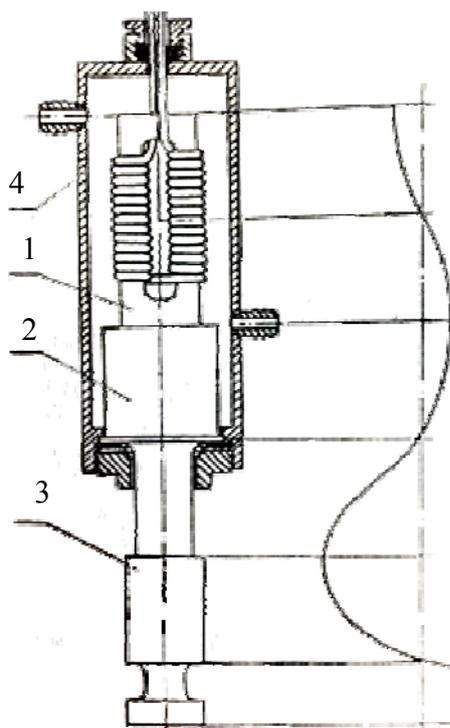
Рис. 2. Схема ультразвуковых установок: 1 – источник ультразвуковых колебаний (преобразователь); 2 – излучатель; 3 – кассета с деталями; 4 – ванна; 5 – технологическая жидкость

Цилиндрические УЗКС обладают высокой удельной акустической мощностью. Их основной недостаток – сложность организации технологического процесса очистки, поскольку эффективная часть объема цилиндрической УЗКС располагается строго по центру рабочего цилиндра и необходимо перемешивание очищаемых объектов в объеме технологической жидкости, что недопустимо при обработке прецизионных изделий вследствие высокого риска повреждений поверхности деталей.

Плоскостные УЗКС (рис. 2, в) обладают преимуществами по производительности вследствие большой площади излучающей поверхности, но применение таких колебательных систем ограничивается неравномерностью амплитуды колебаний излучающей поверхности – от 7–10 мкм в центре излучателя до 1–1,5 мкм на периферии. Это обстоятельство не гарантирует равное высокое качество очистки деталей, размещенных в кассетах.

Учитывая опыт разработчиков ультразвуковых установок для очистки прецизионных деталей топливной аппаратуры [6], в своих

исследованиях по подбору оптимальных режимов ультразвуковой очистки мы использовали в основном стержневые УЗКС (рис. 3). Такие УЗКС являются наиболее технологичными, поскольку позволяют не только регулировать излучаемую мощность в широких пределах, но благодаря сменяемости излучателя (позиция 3 на рис. 3) выбирать такие формы излучающей поверхности, которые позволяют приближать источник ультразвука в максимальной степени к объекту обработки (очистки). При этом излучающая поверхность может копировать форму загрязненной поверхности деталей.



*Рис. 3. Ультразвуковая колебательная система:
1 – двигатель-магнитоистриктор; 2 – волновод; 3 – излучатель; 4 – кожух охлаждения*

Важным технологическим приемом, позволяющим обеспечивать очистку нескольких деталей, размещенных в специальной кассете, является возможность относительного перемещения УЗКС и деталей, что создает дополнительные условия по интенсификации процесса за счет активного перемешивания технологической жидкости и создания условий для выноса загрязнений из труднодоступных мест очищаемых деталей.

Конструктивные особенности ответственных деталей состоят, прежде всего, в сложной форме внутренних отверстий и полостей для подачи топлива и масел к рабочим поверхностям, которые характеризуются высокими требованиями к точности и шероховатости, вследствие чего такие детали относят к классу прецизионных (высокоточных).

Как уже упоминалось выше, большое влияние на продолжительность и качество ультразвуковой очистки оказывает **вид загрязнений**.

Условно принято разделять загрязнения на технологические и эксплуатационные. Технологические загрязнения образуются на поверхности деталей в процессе их изготовления в условиях основного производства – к таким загрязнениям относятся стружка, лаковые и углеродистые отложения. Эксплуатационные загрязнения являются наиболее трудноудаляемыми, и их очистка требует создания таких акустических режимов, при которых возникает мощная кавитация. При ней загрязнения подвергаются значительным динамическим нагрузкам, возникающим от давлений при схлопывании кавитационных пузырьков, достигающих 1000 и более МПа.

Эффективность процесса ультразвуковой очистки во многом определяется также **видом используемого моющего раствора** или, как его еще называют, технологической жидкости. Характеристики очистки (скорость и качество) зависят от химического состава моющей композиции. При ультразвуковой очистке применяются как органические растворители, так и щелочные моющие средства, к которым добавляются поверхностно-активные вещества.

В качестве рабочих жидкостей широкое применение находят хлорированные углеводороды. Сочетание высокой растворяющей способности с пожаро- и взрывобезопасностью делает эти растворители эффективными при ультразвуковой очистке.

Наибольшее распространение на предприятиях нашли щелочные моющие растворы с добавками ПАВ. Преимущества, которые имеют щелочные моющие средства перед органическими растворителями, следующие:

- 1) низкая стоимость;
- 2) большая физическая и химическая стабильность;
- 3) моющая способность при малых концентрациях;
- 4) пожаробезопасность;
- 5) простота составления композиций.

Выводы

Анализируя влияние различных факторов на основные параметры ультразвуковой очистки, продолжительность процесса и качество очистки, мы приходим к выводу, что основными факторами являются:

- 1) амплитуда смещения излучателя УЗКС (определяется видом УЗКС), мкм;
- 2) вид технологической жидкости и концентрация химических компонентов в моющей жидкости, K , г/л;
- 3) температура моющего раствора (технологической жидкости), °С.

Оптимальные значения перечисленных факторов, как правило, определяются проведением многофакторного планирования эксперимента [5], получение математической модели процесса ультразвуковой очистки и на ее основе расчета оптимальных значений факторов, определяющих оптимальные режимы ультразвуковой очистки:

– при очистке от эксплуатационных трудноудаляемых загрязнений $\xi = 12$ мкм; $t = 56,6^\circ\text{C}$ и $K = 28,7$ г/л;

– при очистке от технологических загрязнений с относительно слабой адгезией $\xi = 37$ мкм; $t = 67^\circ\text{C}$; $K = 30$ г/л.

Необходимо отметить, что достижения заданных параметров ультразвуковой очистки в полной мере обеспечиваются в том случае, если ультразвуковая очистка является не единственной технологической операцией, а является частью комплексного технологического процесса, включающего и такие операции, как:

- 1) *предварительное замачивание* загрязненных деталей выполняется с целью удаления основной массы загрязнения, которая, как правило, обладает невысокой адгезией и когезией;
- 2) собственно *операция ультразвуковой очистки*;
- 3) *пассивация* чрезвычайно важна для защиты очищенной поверхности от коррозии; эта операция может быть совмещена с операцией ультразвуковой очистки путем добавки в моющий раствор пассивирующих компонентов;
- 4) *сушка* с целью удаления с поверхности деталей остатков моющего и пассивирующего растворов.

Реализация комплексного технологического процесса зависит от требований, предъявляемых к основным параметрам ультразвуковой очистки, продолжительности и чистоты поверхности деталей, а также допустимых экономических затрат.

Список литературы

1. Агранат, Б.А. Ультразвуковая очистка / Б.А. Агранат, В.И. Башкиров, Ю.И. Китайгородский // Физические основы ультразвуковой технологии. – М., 1970. – С. 165–253.
2. Агранат, Б.А. Ультразвуковая технология / Б.А. Агранат. – М.: Металлургия, 1974. – С. 239–254.
3. Афанасиков, Ю.И. Проектирование моечно-очистного оборудования авторемонтных предприятий / Ю.И. Афанасиков. – М.: Транспорт, 1987. – 174 с.

4. Иванова, Т.Н. Из опыта разработки технологии и оборудования для ультразвуковой высокоамплитудной очистки / Т.Н. Иванова, В.М. Приходько, А.П. Панов // Оптимизация и интенсификация технологических процессов в приборостроении: тез. докл. науч.-техн. конф. – М.: МИНХ, 1978. – С. 18.
5. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 151 с.
6. Панов, А.П. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей / А.П. Панов. – М.: Машиностроение, 1984. – 88 с.
7. Папок, К.К. Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях / К.К. Папок, А.Б. Виппер. – М.: Машгиз, 1956. – 156 с.
8. Приходько, В.М. Опыт внедрения технологий и оборудования для ультразвуковой очистки в основном и ремонтном производстве / В.М. Приходько, Б.А. Кудряшов, И.В. Багров // Международная научно-техническая конференция «Ультразвук в технологии машиностроения – 91». – Архангельск: Севмашвтуз, 1991. – С. 229–232.
9. Приходько, В.М. Применение ультразвуковых колебаний для совершенствования разборочно-моечных операций при ремонте топливной аппаратуры автотракторных двигателей / В.М. Приходько // Совершенствование технической эксплуатации автомобилей: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 1986. – С. 61–66.
10. Приходько, В.М. Ультразвуковые технологии при производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники / В.М. Приходько. – М.: Техполиграфцентр, 2003. – С. 24.

References

1. Agranat B.A., Bashkirov V.I., Kitajgorodskij Yu.I. *Ul'trazvukovaya ochildka, Fizicheskie osnovy ul'trazvukovoj tekhnologii* (Ultrasonic cleaned, Physical bases of ultrasonic technology), Moscow, 1970, pp. 165–253.

2. Agranat B.A. *Ul'trazvukovaya tekhnologiya* (Ultrasonic technology), Moscow, Metallurgiya, 1974, pp. 239–254.
3. Afanasikov Yu.I. *Proektirovanie moechno-ochistnogo oborudovaniya avtoremontnyh predpriyatij* (The design of the washing-cleaning equipment auto repair companies), Moscow, Transport, 1987, 174 p.
4. Ivanova T.N., Prihod'ko V.M., Panov A.P. *Optimizaciya i intensivifikaciya tekhnologicheskikh processov v priborostroenii*, Tezisy dokladov, Moscow, MINH, 1978, p. 18.
5. Nalimov V.V., Chernova N.A. *Statisticheskie metody planirovaniya ehksperimentov* (Statistical methods of planning experiments), Moscow, Nauka, 1965, 151 p.
6. Panov A.P. *Ul'trazvukovaya ochistka precizionnyh detalej* (Ultrasonic cleaning of precision parts), Moscow, Mashinostroenie, 1984, 88 p.
7. Papok K.K., Vipiper A.B. *Nagary, lakovye otlozheniya i osadki v avtomobil'nyh dvigatelyah* (The carbon Deposits, varnish deposits and sludge in the engine), Moscow, Mashgiz, 1956, 156 p.
8. Prihod'ko V.M., Kudryashov B.A., Bagrov I.V. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Ul'trazvuk v tekhnologii mashinostroeniya – 91»*, Arhangel'sk, Sevmashvtuz, 1991, pp. 229–232.
9. Prihod'ko V.M. *Sovershenstvovanie tekhnicheskoy ehkspluatacii avtomobilej*, Sbornik nauchnyh trudov, Moscow, MADI, 1986, pp. 61–66.
10. Prihod'ko V.M. *Ul'trazvukovye tekhnologii pri proizvodstve, ehkspluatacii i remonte transportnoj tekhniki* (Ultrasonic technologies in the production, operation and repair of transport equipment), Moscow, Tekhpoligrafcentr, 2003, p. 24.