

УДК 681.7.069.24 : 621.79.02

**С. И. ПЛАНКОВСКИЙ¹, Е. В. ЦЕГЕЛЬНИК¹, И. И. ГОЛОВИН¹,
П. И. МЕЛЬНИЧУК²**¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*² *ГП «Антонов», Киев, Украина***ПЕРСПЕКТИВЫ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ ПРИ РЕМОНТЕ ГТД**

В работе показаны перспективы применения метода лазерной очистки, в частности отражено, что данный метод лишен большинства недостатков, присущих существующим методам очистки деталей авиационных двигателей, поступающих в ремонт. Среди достоинств данного метода можно отметить такие: возможность работы практически в любых помещениях, а не в специальных боксах; бесконтактность; безабразивность; легкий сбор продуктов очистки; получение практически химически чистой поверхности, отсутствие абразивного износа поверхности и пр. Однако в связи с тем, что загрязнения деталей неоднородны по толщине, существует необходимость в разработке технологий контроля и определения толщины уносимого покрытия для корректировки технологических режимов очистки.

Ключевые слова: лазерная очистка, нагароотложения, ремонт авиационного двигателя, высокотемпературная коррозия.

Введение

Для предотвращения списания летательного аппарата (ЛА), авиационного двигателя (АД) и их агрегатов как морально устаревших необходимо, чтобы сроки их службы до исчерпания ресурса составляли 10 – 15 лет. В связи с этим возникает необходимость более интенсивного использования парка ЛА и АД, т.е. сведения к минимуму всех простоев. Наибольший технический простой авиационной техники наблюдается при её ремонте. Поэтому уменьшение календарного времени нахождения ЛА и АД в ремонте является важной экономической задачей [1].

Технологический процесс ремонта состоит из таких этапов, как приемка в ремонт, предварительная дефектация, демонтаж и разборка, очистка и промывка, дефектация, собственно ремонт, комплектовка, сборка, испытания и сдача отремонтированной техники заказчику.

Очистка, промывка и непосредственно ремонт являются наиболее проблемными этапами технологического процесса.

Авиационный двигатель, как правило, поступает в ремонт, имея наружную консервацию в виде слоя технического вазелина или пушечной смазки. Кроме того, за время эксплуатации на наружной поверхности двигателя отлагается большое количество масляно-пылевых загрязнений. Всё это указывает на необходимость предварительной промывки. Этот этап направлен на повышение культуры ремонта в целом. Основная задача – расконсервация и удаление грязи [2].

Как правило, загрязнениями, подлежащими

обязательному удалению, являются продукты высокотемпературных превращений масел, топлив и рабочих жидкостей – нагароотложения, лаковые отложения, смолы и осадки, деструктурированные (старые) лакокрасочные и специальные неметаллические покрытия, консервирующие материалы, случайные и посторонние частицы различного происхождения. Наиболее трудно удаляются первые две группы загрязнений.

Нагароотложения, в основном, встречаются на стенках камер сгорания, форсунках, клапанах и на других деталях, работающих при высоких температурах. Нагары обладают высокой механической прочностью и хорошей адгезией к поверхности детали.

Лаковые отложения образуются под воздействием кислорода воздуха, высоких температур и катализирующего действия металла. Лаковые отложения неоднородны, их состав зависит от условий образования.

Смолистые отложения – легкоплавкие вещества от темно-коричневого до черного цвета. Основной процесс образования смол происходит в топливной системе двигателя, где высокая скорость жидкофазного окисления непредельных углеводородов обусловлена наличием повышенной температуры и распылением топлива с образованием огромной свободной поверхности [3].

Существующие проблемы очистки

Существующие методы и средства промывки и очистки перечисленных загрязнений довольно разнообразны.

Механические методы основаны на ударном воздействии специальных инструментов или твёрдых частиц на очищаемую поверхность. Широкое применение нашли гидравлические и пневматические методы очистки. Пневматическими или пневмоабразивными методами удаляют нагары, лаки, коррозию на деталях различной конфигурации.

К сожалению, аппараты пневмоабразивной очистки обладают высоким уровнем шума, а качество очистки нестабильно. К тому же возможно засорение внутренних каналов и полостей очищаемой детали, что требует дополнительных работ после очистки.

Существуют так же и широко применяются электролитический метод, метод погружения в щелочные растворы, струйный метод и ультразвуковой метод очистки деталей.

Однако все эти методы имеют свои недостатки. Следует помнить, что участки промывки и очистки относятся к зонам повышенной огнеопасности. Учитывая, что при очистке применяются щелочные растворы, растворители и другие вредные и огнеопасные вещества, к охране труда предъявляются повышенные требования. Работники должны иметь средства индивидуальной защиты (перчатки, очки, респираторы). Места проведения работ оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией. Пол и стены должны быть выполнены из материалов, легко поддающихся очистке (керамическая плитка, шлифованный бетон) [1].

Одним из ярких примеров образования нагароотложений в ГТД являются лопатки турбины. Газовые турбины нередко работают на топливе, содержащем повышенную концентрацию серы, что приводит к постепенному накоплению на поверхности лопаток осадка соли и протеканию сульфидной коррозии.

Среди существующих методов очистки поверхности лопаток турбины можно выделить: очистка внутренних поверхностей ГТД при помощи смеси измельченного замороженного диоксида и сухого льда, промывка проточной части газотурбинного двигателя водным раствором сульфата гидроксидов, метод автоклавной щелочной гидротермической обработки (ГТО), метод автоклавной щелочной термохимической обработки (ТХО), метод ультразвуковой очистки, восстановительная термообработка деталей в водородной атмосфере с последующим травлением в растворах кислот, метод фторуглеродной очистки фирмы Dayton Process B.V. [4].

Но как было указано выше, всем этим методам присущи свои недостатки. В большинстве случаев очистка поверхности лопаток турбин производится с применением жидких химических реагентов, тре-

бующих материальных затрат, дальнейшей утилизации и загрязняющих окружающую среду. Обслуживающий персонал, осуществляющий текущий ремонт и очистку поверхности лопатки турбины подвергается дополнительной опасности при работе с указанными жидкими химическими реагентами.

Применение лазерной очистки при ремонте ГТД

Как уже было отмечено ранее в работах В. Н. Смирнова [5, 6] применение лазерного излучения для очистки поверхности дает возможность получить метод очистки, лишённый всех недостатков, присущих классическим методам.

Схема процесса лазерной очистки (рис. 1) предельно проста – излучение импульсного лазера фокусируется на поверхности детали. Причем размер пятна должен быть таким, чтобы плотность мощности излучения за время импульса приводила к быстрому повышению температуры поверхностного слоя до температуры его разрушения (испарения или сублимации). Ориентировочная величина такой плотности мощности составляет $10^7 - 10^{10}$ Вт/см² и более. При фокусировке излучения в пятно диаметром порядка 0,2 мм для достижения такой плотности мощности достаточно использовать импульсный волоконный лазер со средней мощностью всего 10 Вт [7].

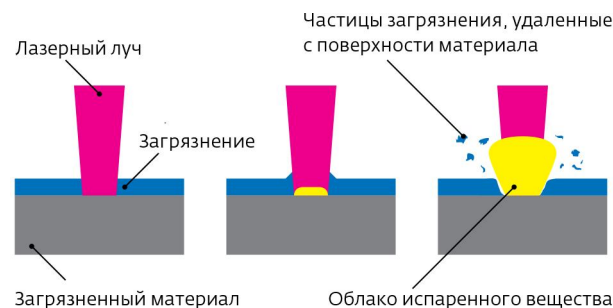


Рис. 1. Механизм лазерной очистки

Чаще всего метод лазерной очистки применяется для: удаления лакокрасочных покрытий; удаления гальванических покрытий; удаления эксплуатационных загрязнений; удаления биологических загрязнений; предварительной обработке поверхности перед склеиванием или нанесением каких-либо функциональных покрытий для увеличения ее адгезионных свойств; удаления СОЖ; удаления следов коррозии; удаления консервационных покрытий и комбинированных загрязнений.

Импульсный высококонцентрированный световой пучок способен так быстро нагревать тонкий поверхностный слой материала, что тот просто испаряется без заметного действия на расположенные ниже слои, при этом в ряде случаев даже не проис-

ходит термического разложения материала покрытия с образованием нежелательных токсичных веществ.

Существуют и дополнительные эффекты, связанные с генерацией в приповерхностном слое термоупругих напряжений и ударных акустических волн, за счёт этих явлений загрязнения могут дополнительно “отрываться” от поверхности.

В работах В. О. Попова [8] была экспериментально доказана возможность очистки поверхности деталей от глубоких коррозионных повреждений. Применяя импульсный волоконный лазер YLR-150/1500-QCW-AC (мощность в импульсе до 1500 Вт) автор добился восстановления металлической поверхности, находившейся под слоем ржавчины (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид металлизированной поверхности

По результатам металлографии видно (рис. 3), что на поверхности ржавчины наблюдается металлизация её верхних слоев, при этом она как бы закручивается в бесформенные клубки на поверхности металлических образований, перемещаясь к краю обрабатываемой поверхности. Эти образования не имеют серьёзной адгезии с металлом и легко удаляются.



Рис. 3. Металлизированная ржавчина после лазерной обработки поверхности:

а – мелкие и крупные образования восстановленной ржавчины; б – кусочки металлизированной ржавчины, снятой с поверхности

В работе [9] были проведены поисковый эксперименты по возможности удаления продуктов высокотемпературной коррозии с поверхности пера лопатки турбины при помощи лазерного воздействия (рис. 4).



Рис. 4. Следы высокотемпературной коррозии и результат её удаления с поверхности лопатки турбины лазерным методом

Однако среди проблем, связанных с применением метода лазерной очистки, необходимо отметить вопрос определения толщины уносимого слоя загрязнения, особенно в условиях, когда неизвестны свойства слоя. В работе [10] предложена теоретическая методика лазерной фототермической диагностики, которая позволяет бесконтактно, дистанционно и бескалибровочно измерять толщину однородного слоя (покрытия) с неизвестными теплофизическими характеристиками вне зависимости от того, на какой подложке он находится.

Заключение

Активное развитие лазерных технологий дало толчок к их внедрению и пересмотру многих существующих технологий, в том числе и процессов очистки. Метод лазерной очистки лишен большинства недостатков, присущих существующим методам очистки деталей авиационных двигателей. Экспериментальные исследования показали достаточно убедительные результаты для применения данного метода в качестве основного. Однако для более широкого применения необходимо решение вопроса контроля и определения толщины уносимого слоя.

Литература

1. *Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов, К. А. Малиновский [и др.]*. – М. : Высш. шк., 2002. – 355 с.
2. *Гареев, А. М. Основы технологии ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей [Электронный ресурс] : электрон. курс лекций / А. М. Гареев*. – 80 Min / 700Mb. – Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац.

исслед. ун-т), 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

3. Доценко, Г. И. Разработка принципов очистки деталей авиационной техники от нагароподобных загрязнений биотехнологическим методом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.14 / Доценко Галина Ивановна. – М., 2000. – 206 с.

4. Планковский, С. И. Анализ существующих технологий методов очистки поверхности лопаток турбин в газотурбинных двигателях [Текст] / С. И. Планковский, И. И. Головин, Ф. Ф. Сиренко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 6 (103). – С. 8 – 14.

5. Смирнов, В. Н. Очистка лазерным излучением [Текст] / В. Н. Смирнов, А. И. Скрипченко, В. М. Медвецкий // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2008. – № 3 (33). – С. 64 – 66.

6. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении [Текст] : учеб. пособие / В. П. Вейко, В. Н. Смирнов, А. М. Чирков, Е. А. Шахно. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.

7. Лазерная очистка и лазерный наклеп – технологии улучшения свойств поверхности [Текст] / М. Волков, А. Кишалов, Н. Орлов [и др.] // Фотоника. – 2014. – № 3 (45). – С. 34 – 44.

8. Попов, В. О. Лазерная очистка глубоких повреждений [Текст] / В. О. Попов, Д. Э. Сейфуллин, В. С. Федоров // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – 2012. – № 2 (70). – С. 30 – 31.

9. Вибір джерела лазерного випромінювання для цілей промислового очищення деталей авіаційної техніки [Текст] / С. І. Планковський, Є. В. Цегельник, І. І. Головін, П. І. Мельничук // Наукоємні технології. – 2014. – № 4 (24). – С. 503 – 507.

10. Мелюков, Д. В. Технология бескалибровочной лазерной фототермической диагностики тонких слоев и покрытий [Текст] / Д. В. Мелюков, А. Г. Григорьянц // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 5. – С. 104 – 115.

Поступила в редакцию 12.05.2015, рассмотрена на редколлегии 23.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедры А. И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ПЕРСПЕКТИВИ ЛАЗЕРНОЇ ОЧИСТКИ ПРИ РЕМОНТІ ГТД

С. І. Планковський, Є. В. Цегельник, І. І. Головін, П. І. Мельничук

У роботі показані перспективи застосування методу лазерної очистки, зокрема відображено, що даний метод позбавлений більшості недоліків, властивих існуючим методам очистки деталей авіаційних двигунів, що надходять в ремонт. Серед переваг даного методу можна відзначити такі: можливість роботи практично в будь-яких приміщеннях, а не в спеціальних боксах; безконтактність; безабразивних; легкий збір продуктів очищення; отримання практично хімічно чистої поверхні, відсутність абразивного зносу поверхні тощо. Однак у зв'язку з тим, що забруднення деталей неоднорідні по товщині, існує необхідність у розробці технологій контролю та визначення товщини покриття, яке видаляється, для коригування технологічних режимів очистки.

Ключові слова: лазерна очистка, нагаровідкладення, ремонт авіаційного двигуна, високотемпературна корозія

PROSPECTS FOR LASER CLEANING DURING REPAIR GTE

S. I. Plankovskyy, Ye. V. Tsegelnyk, I. I. Golovin, P. I. Melnychuk

The paper are shown prospects for applying the method of laser cleaning in particular reflected that this method does not have most of the disadvantages of existing methods of cleaning of aircraft engine parts received in for repair. Among the advantages of this method possible to note are: the ability to work in almost any environment and not in special boxes; contactless; non-abrasive; easy to collect cleaning products; obtain almost chemically pure surface, no surface abrasion and so on. However, due to the fact that contamination of parts has variable thickness, there is a need to develop technologies of control and determining the thickness of the removed coating to adjust the technological regimes of cleaning.

Key words: laser cleaning, carbon deposits, repair aircraft engine, high temperature corrosion.

Планковский Сергей Игоревич – д-р техн. наук, проф., проф. каф. технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: sergplank@gmail.com.

Цегельник Евгений Владимирович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: y.tsegelnyk@gmail.com.

Головин Иван Иванович – аспирант каф. технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Мельничук Петр Иванович – заместитель генерального директора ГП «Антонов», Киев, Украина.