

УДК. 621.793.7

А. В. ШОРИНОВ, С. Е. МАРКОВИЧ, А. И. ДОЛМАТОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ХОЛОДНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Разработан типовой технологический процесс восстановления корпусных деталей авиационной техники холодным газодинамическим напылением низкого давления на примере корпуса агрегата из магниевого сплава со следами значительного коррозионного разрушения. Формирование коррозионностойкого восстановительного алюминиевого покрытия выполнено на установке холодного газодинамического напыления ДИМЕТ-405. Показано, что энерго- и ресурсосберегающая технология холодного газодинамического напыления является эффективной и многообещающей технологией при ремонте и восстановлении деталей авиационной техники.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, технологический процесс восстановления, защитные и восстановительные покрытия

Введение

Мировые тенденции в области машиностроения, а также при производстве и эксплуатации транспортных средств, связаны с развитием энерго- и ресурсосберегающих технологий, одной из которых является восстановление деталей в следствии износа, коррозии, механических повреждений и т.п. Использование в процессе ремонта восстановленных деталей позволяет значительно снизить стоимость ремонта. Стоимость восстановления деталей значительно ниже стоимости их изготовления и составляют 10...50 % стоимости новых деталей. При этом чем сложнее деталь и, следовательно, чем дороже она в изготовлении, тем ниже относительные затраты на ее восстановление [1].

Технология холодного газодинамического напыления является эффективной и перспективной технологией для ремонта и восстановления деталей авиационной, автомобильной и других отраслей промышленности [2, 3].

Целью данной работы является разработка технологического процесса восстановления корпусных деталей авиационной техники (АТ) холодным газодинамическим напылением низкого давления на примере корпуса агрегата из магниевого сплава в результате коррозионного разрушения.

1. Постановка задачи

Задачей восстановительного ремонта деталей и узлов является восстановление их первоначаль-

ных характеристик и обеспечение работоспособности в течение межремонтного цикла. Восстановительный ремонт объектов экономически и технологически наиболее целесообразен в условиях специализированного производства или специализированных участках (цехов) ремонтных организаций.

Технологический процесс (ТП) восстановления деталей – это процесс, содержащий целенаправленные действия по изменению определенного состояния детали с целью восстановления ее эксплуатационных свойств.

Исходными данными для разработки технологических процессов являются:

1) рабочий чертеж детали и сборочный чертеж сборочной единицы, в состав которой входят детали;

2) конкретные условия производства, имеющиеся технологическое оборудование, мощности по проектированию и производству специальных приспособлений и инструментов;

3) технологический процесс производства детали (для обеспечения преемственности процесс изготовления и восстановления деталей).

Возможна разработка единичного ТП для восстановления отдельных деталей, создание типового ТП для восстановления сходных по конструкции деталей. При создании производственных мощностей по восстановлению деталей, следует ориентироваться на использование типовых ТП, так как это обеспечивает широкую номенклатуру восстанавливаемых деталей, и, следовательно, более высокую экономическую эффективность производства.

Номенклатура восстанавливаемых деталей систематизируется по классам [4]: I - корпусные; II - круглые стержни; III - полые цилиндры; IV - диски; V - не круглые стержни.

Корпусные детали чаще всего изготавливаются из чугунов, алюминиевых и магниевых сплавов. К этому классу деталей относятся блоки, картеры, головки, крышки, корпуса, кронштейны и т.п. Наиболее распространенными дефектами деталей этого класса являются: износ внутренних посадочных поверхностей под подшипники качения, вкладыши, гильзы; отклонения в правильности взаимного положения посадочных поверхностей; различного рода трещины, сколы; коррозионные повреждения и д.р.

Технологические способы восстановления деталей можно представить в виде двух групп: способы наращивания и способы обработки. При выборе способа ремонта деталей учитывают условия работы и величину износа деталей, форму, размеры, материал детали и возможность термической обработки, производственные возможности предприятия, себестоимость ремонта.

Таким образом, учитывая вышеуказанные факторы для восстановления корпусных деталей авиационной техники, предлагается технология холодного газодинамического напыления низкого давления. Разработка технологического процесса представлена на примере восстановления корпуса агрегата из магниевого сплава.

2. Технология холодного газодинамического напыления

Технология холодного газодинамического напыления (ХГН) является относительно новой направлением среди процессов газотермического напыления. Принцип ХГН основан на ускорении металлических частиц порошка сверхзвуковым газовым потоком в сопле Лавалья с последующим соударением о подложку и формированием покрытия. Процесс характеризуется отсутствием плавления частиц порошка [2], в результате чего уменьшается окисление покрытия, отсутствуют фазовые изменения материала и значительный нагрев подложки.

Технология холодного напыления разделяется на 2 вида: холодное газодинамическое напыление высокого давления ХГНВД и холодное газодинамическое напыление низкого давления. Как видно из названия, процессы отличаются рабочим давлением газа – 2,5...5,0 МПа для ХГНВД и 0,5...1,0 МПа для ХГННД [5]. Схематическое изображение процесса и установки ХГННД ДИМЕТ-405, используемой в данной работе, представлены на рис. 1 и 2.

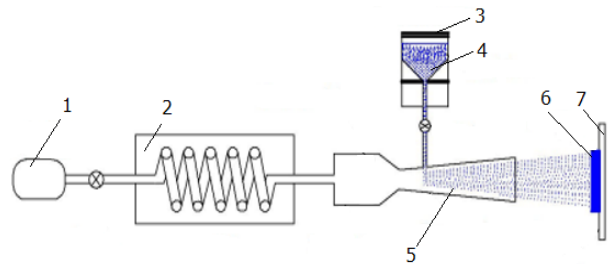


Рис. 1. Схематическое изображение процесса ХГННД [5]:

1 – источник сжатого воздуха; 2 – нагреватель воздуха; 3 – порошковый питатель; 4 – порошок; 5 – сопло Лавалья; 6 – покрытие; 7 – подложка



Рис. 2. Установка ХГННД ДИМЕТ-405

3. Разработка ТП восстановления корпусных деталей методом ХГН

Технологическая схема нанесения покрытий ХГН представлена на рис. 3 и состоит из следующих основных операций: контроль и подготовка порошка, контроль и подготовка поверхности, наладка оборудования, нанесение покрытия, дополнительная обработка покрытий, контроль напыленного изделия.

Согласно технологической схеме (рис. 3) был разработан типовой технологический процесс восстановления и защиты корпусных деталей АТ на примере корпуса агрегата из магниевого сплава. На рис. 4 представлен корпус агрегата с большими очагами коррозионного повреждения в местах болтового соединения.

ТП включает в себя устранение методом ХГН поврежденных поверхностей коррозией, а также других дефектов, а именно износы рабочих поверхностей, царапины, задиры, риски и т.п.

При восстановлении геометрических размеров детали в следствии коррозии, обеспечивается не только первоначальная геометрия поверхностей, но также и коррозионная защита основного металла в

местах контакта магниевых сплавов с другими металлами.

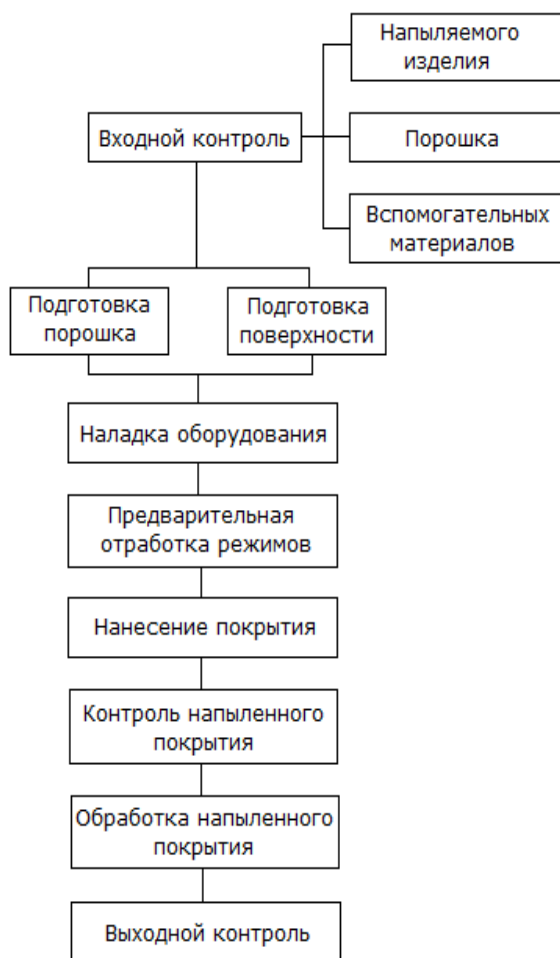


Рис. 3. Технологическая схема напыления покрытий ХГН

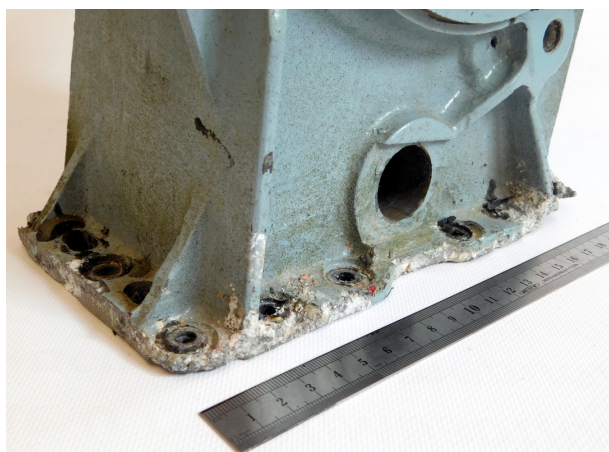


Рис. 4. Коррозия корпуса агрегата из магниевого сплава

В процессе разработки технологического процесса были отработаны режимы нанесения восстановительных покрытий ХГН, а также операции обработки полученных покрытий.

На рис. 5 представлены фотографии корпуса на разных этапах процесса восстановления.

Подготовка поверхностей перед напылением включает пескоструйную обработку поврежденных поверхностей электрокорундом. После удаления продуктов коррозии, проводится визуальный контроль. Наличие окисленного металла не допускается, при необходимости операцию пескоструйной обработки повторить.

Следующий этап – это придание поврежденным коррозией поверхностям формы, предотвращающей образование внутренних пустот при напылении. Подготовка поверхности проводилась механической обработкой путем разделки дефектов. Время после пескоструйной обработки до начала напыления не должно превышать 2 часов. В другом случае, пескоструйную обработку повторяют. Поверхность фланца после пескоструйной обработки и разделки дефектов представлена на рис. 5 б и 5 в.

Следующий этап ТП – непосредственно напыление покрытия. В качестве материала порошка был выбран порошковый материал на основе алюминия $Al+Zn+Al_2O_3$. Размер частиц порошка 18...22 мкм. Технологические рекомендации по напылению коррозионностойкого восстановительного алюминиевого покрытия на детали из магниевых сплавов были подобраны с целью достижения максимальной плотности покрытий, что обеспечит надежную защиту основного металла от коррозии.

Напыление восстановительного покрытия выполнялось на установке холодного газодинамического напыления низкого давления ДИМЕТ-405 (рис. 2) со следующими режимами: давление торможения 0,8 МПа, температурный режим №5, расход порошка 5 г/с, дистанция напыления 15 мм. Физико-механические свойства полученных покрытий удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Механическая обработка полученных покрытий включала в себя придание фланцу корпуса необходимой формы, геометрии и шероховатости. Обработку покрытия выполняют шлифованием, фрезерованием, а также допускается обработка ручным гравером с использованием бор-фрез. При обработке в случае обнаружения в покрытии образовавшихся пустот, операции разделки данного дефекта с последующим напылением необходимо повторить.

Фланец корпуса с напыленным покрытием и после механической обработки, представлен на рис. 5 г и 5 д.

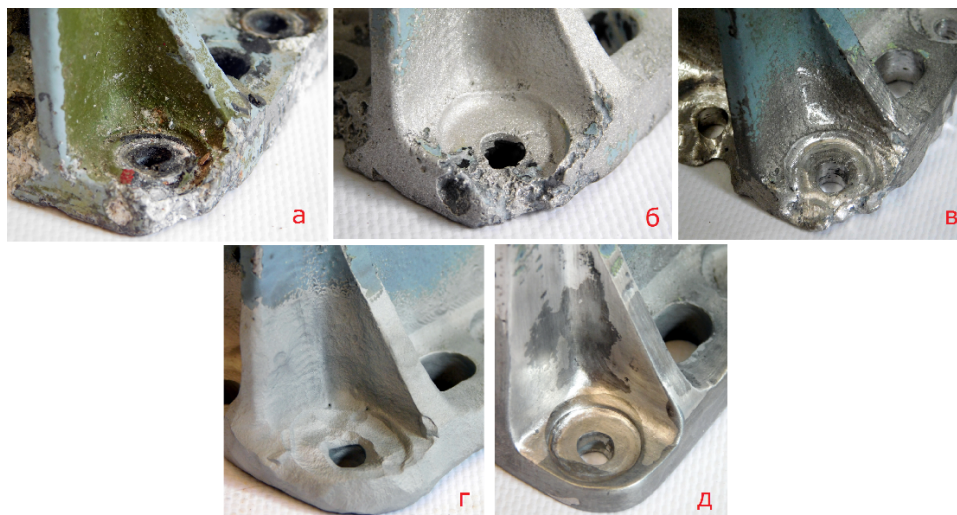


Рис. 5. Этапы восстановления корпуса:
 а – коррозия фланца; б – после пескоструйной обработки; в – разделка дефектов;
 г – напыленное покрытие; д – после механической обработки

Заключение

В настоящее время развитие современного ремонтного производства в направлении универсальных мобильных технологий восстановления деталей, реализованных в условиях как производств, с разнообразной номенклатурой и наименованием восстанавливаемых деталей, так и «полевых» условий, подразумевает использование недорогого мобильного технологического оборудования для нанесения покрытий, энерго- и ресурсосберегающая технология холодного газодинамического напыления является многообещающей для этих целей.

Разработанный типовой технологический процесс восстановления корпусных деталей авиационной техники на примере корпуса агрегата из магниевого сплава, обеспечивает широкую номенклатуру восстанавливаемых деталей, и, следовательно, более высокую экономическую эффективность производства.

Литература

1. Казацкий, А. В. Оборудование и технологии восстановительного ремонта [Текст] : учеб. пособие / А. В. Казацкий, В. С. Смольская. – Минск : Изд-во Белорус. нац. техн. ун-та, 2012. – 88 с.
2. Papyrin, A. Cold Spray Technology [Text] / A. Papyrin // *Advanced Materials & Processes*. – 2001. – № 160 (3). – P. 49–51.

3. Champagne, V. K. The repair of magnesium rotorcraft components by cold spray [Text] / V. K. Champagne // *Journal of Failure Analysis and Prevention*. – 2008. – № 8 (2). – P. 164–175.

4. Масино, М. А. Организация восстановления автомобильных деталей [Текст] / М. А. Масино. – М. : Транспорт, 1981. – 176 с.

5. Davis, R. Handbook of Thermal Spray Technology [Text] / R. Davis // *ASM International and the Thermal Spray Society*. – 2004. – 332 с.

References

1. Kazatsky, A. V., Smol'skaya, V. S. *Oborudovaniye u tekhnolohyy vosstanovitel'noho remonta : ucheb. posobyie* [Machines and technologies of reconstructive maintenance]. Minsk, Belarus nat. techn. univ. Publ., 2012. 88 p.
2. Papyrin, A. Cold Spray Technology. *Advanced Materials & Processes*, 2001, no. 160 (3), pp. 49–51.
3. Champagne, V. K. The repair of magnesium rotorcraft components by cold spray. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 2008, no. 8 (2), pp. 164–175.
4. Masyno, M. A. *Orhanyzatsyya vosstanovlenyya avtomobyl'nykh detaley* [Organization of automobile part repairing]. Moscow, Transport Publ., 1981. 332 p.
5. Davis, R. Handbook of Thermal Spray Technology. *ASM International and the Thermal Spray Society*, 2004. 332 p.

Поступила в редакцию 8.04.2017, рассмотрена на редколлегии 12.06.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. технологий производства авиационных двигателей В. Ф. Сорокин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ХОЛОДНИМ ГАЗОДИНАМІЧНИМ НАПИЛЮВАННЯМ

О. В. Шорінов, С. Є. Маркович, А. І. Долматов

Розроблено типовий технологічний процес відновлення корпусних деталей авіаційної техніки холодним газодинамічним напилюванням низького тиску на прикладі корпусу агрегатів з магнієвого сплаву зі слідами значного корозійного пошкодження. Формування корозійностійкого відновлювального алюмінієвого покриття виконано за допомогою установки холодного напилювання ДИМЕТ-405. Показано, що енергота ресурсозберігаюча технологія холодного газодинамічного напилювання є ефективною та багатообіцяючою при ремонті та відновленні деталей авіаційної техніки.

Ключові слова: холодне газодинамічне напилювання, технологічний процес відновлення, захисні та відновлювальні покриття

DESIGN OF AERONAUTICAL UNITS CASE-SHAPED PART RESTORATION PROCESS USING COLD SPRAYING

O. V. Shorinov, S. E. Markovych, A. I. Dolmatov

Typical restoration process of aeronautical units case-shaped part using cold spraying is developed: the case study of magnesium housing assembly repair due to corrosion. Restorative and corrosion-resistant aluminum coating is deposited by DYMET-405 cold spraying equipment. It is shown that energy and resource-saving cold spraying technology is effective and advanced technology for repairing and recovering of aeronautical engineering.

Keywords: cold spraying, restoration process, protective and restorative coatings

Шорінов Александр Владимирович – аспірант кафедри технологій виробництва авіаційних двигателів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: shorinov1@gmail.com.

Маркович Сергей Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедри технологій виробництва авіаційних двигателів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: motor.khai@gmail.com.

Долматов Анатолий Иванович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологій виробництва авіаційних двигателів, Національний аэрокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Shorinov Aleksandr Vladimirovich – postgraduate student of Dept. of aircraft engine manufacturing technologies, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: shorinov1@gmail.com.

Markovych Sergey Evgenievich – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of aircraft engine manufacturing technologies, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine, e-mail: motor.khai@gmail.com.

Dolmatov Anatoliy Ivanovich – Doctor of Technical Science, professor, Head of Dept. of aircraft engine manufacturing technologies, National Aerospace University Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine.