

УДК 621.787

В.В. ДРАГОБЕЦКИЙ, Е.В. ХАРЛАМОВА, В.М. ШМАНДИЙ

Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ХОЛОДНОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С точки зрения обеспечения экологической безопасности рассмотрены проблемы усовершенствования технологий упрочнения деталей авиационных двигателей. Проведен морфологический анализ выбора технологий упрочнения деталей авиационных двигателей и технологического оснащения для их изготовления. Альтернативными вариантами являются технологии детонационного и холодного динамического напыления. Экологически более безопасен процесс холодного газодинамического напыления. Эвристические методы дали возможность выявить пути повышения эффективности процесса газодинамического напыления. Отмечено, что рациональным вариантом упрочнения штамповой оснастки для изготовления деталей авиационных двигателей является кавитационное упрочнение.

Ключевые слова: экологическая безопасность, напыление, покрытия, упрочнение, морфологический анализ, эвристические методы, авиационные двигатели.

Введение

Современные технологии напыления защитных покрытий позволяет решать комплекс вопросов в производстве и ремонте авиационных двигателей, связанных с обеспечением долговечности, эксплуатационной надежности и экологической безопасности. Следует отметить, что наиболее эффективными методами напыления являются газодетонационные. Характеристики детонационных покрытий значительно превосходят соответствующие параметры плазменных и газопламенных покрытий. В условиях возрастающей конкуренции себестоимость и эффективность этого метода напыления не имеет равных. Но при этом формируется экологическая опасность техногенного класса, связанная с шумовым загрязнением, что ограничивают его применение.

Зарубежные специалисты отдают предпочтение методам холодного газодинамического напыления. Последний по показателям экологической безопасности превосходит детонационное напыление, а по техническим характеристикам значительно уступает ему.

Анализ состояния и направлений развития технологий упрочнения деталей двигателей летательных аппаратов показал, что наиболее перспективным, сулящим значительные экономические выгоды методом решения актуальных задач повышения эффективности, расширения возможностей и конкурентной способности на мировом рынке является поиск и освоение новых методов физико-химического воздействия на обрабатываемый материал.

Нахождение оригинальных технических решений наиболее рационально выполнять с использованием обобщенного эвристического метода (ОЭМ), который предполагает наличие систематизированного фонда и классификации известных и новых технических решений, фондов физико-технических эффектов, эвристических приемов и законов развития технических систем.

Систематизация, классификация, обзор и анализ всех возможных методов решения сложных многоплановых проблем возможны при использовании морфологического анализа. Этот метод позволяет наиболее рациональным образом войти в суть исследуемой проблемы и расширить область поиска [1].

По стратегии ОЭМ в дополнение к таблицам морфологического анализа необходимо добавить классификацию методов упрочнения [2], указать физические, химические, геометрические, экологические и технические эффекты, фонды изобретений, освоенные технологические процессы упрочнения и эвристические приемы. Физико-технические и химические эффекты необходимо дополнить перечнем законов, принципов и эффектов, присущих процессам упрочнения, по аналогии с рекомендациями И.С. Алиева относительно процессов обработки металлов давлением [1].

Если используются процессы упрочнения методами физического воздействия конденсированной высокой энергией, то в этот перечень необходимо включить:

– законы течения и гидродинамики многофазных сред;

- уравнения состояния рабочей смеси с учетом диссоциации молекул;
- законы самоорганизации процессов деформирования в системе покрытие-подложка;
- законы термодинамики для определения степени влияния температурного поля на процесс формирования растягивающих напряжений в системе покрытие-подложка [3];
- законы ударного взаимодействия и проникновения частиц в подложку;
- экологические ограничения на процесс упрочнения;
- законы внутреннего трения;
- теорему об упругой разгрузке;
- эффекты влияния скорости и степени деформации на сопротивление деформации;
- вибропластический эффект;

– законы адгезии и когезии, кристаллизации, диффузии.

Анализ полученных результатов

Для прогнозирования и поиска технологии напыления, позволяющих устранить недостатки технологии детонационного и холодного газодинамического, воспользуемся методом морфологического анализа.

На первом этапе выделим наиболее важные аспекты, характеризующие объект исследования, которые впоследствии выступают в качестве основания деления F_i .

После этого для каждого i -го аспекта проблемы предоставляем в виде системы матриц, показанной в табл. 1.

Таблица 1

Морфологическая модель упрочняющей обработки деталей

Аспекты проблемы	F_i	Варианты решения V_j^i									
Нанесение одного вещества на поверхность другого	F_1	V_1^1	V_2^1	V_3^1	V_4^1	V_5^1	V_6^1				
Получение давлений	F_2	V_1^2	V_2^2	V_3^2	V_4^2	V_5^2	V_6^2				
Ввод тепловой энергии	F_3	V_1^3	V_2^3	V_3^3	V_4^3	V_5^3	V_6^3	V_7^3	V_8^3		
Энергетическое воздействие на носимое вещество	F_4	V_1^4	V_2^4	V_3^4	V_4^4	V_5^4	V_6^4	V_7^4	V_8^4	V_9^4	
Способы сообщения высоких скоростей	F_5	V_1^5	V_2^5	V_3^5							
Вредное воздействие на человека	F_6	V_1^6	V_2^6	V_3^6	V_4^6	V_5^6					
Материалы покрытий	F_7	V_1^7	V_2^7	V_3^7							
Материалы основы	F_8	V_1^8	V_2^8	V_3^8	V_4^8	V_5^8	V_6^8	V_7^8	V_8^8		
Структура	F_9	V_1^9	V_2^9	V_3^9	V_4^9	V_5^9					
Свойства	F_{10}	V_1^{10}	V_2^{10}	V_3^{10}	V_4^{10}						

Анализ данной модели показывает, что имеется как минимум

$$6 \times 6 \times 8 \times 9 \times 3 \times 5 \times 3 \times 5 \times 3 \times 8 \times 5 \times 4 = 279936000$$

вариантов упрочнения.

Использование сочетаний

$$V_6^1 V_6^2 V_7^3 V_9^4 V_1^5 V_1^6 V_2^6 V_4^6 V_1^7 V_3^7$$

соответствует методу детонационного напыления. Процесс выгодно отличается от методов плазменного напыления, методов термического напыления тем, что ввод тепловой энергии в систему, получение механического давления и разгон частиц осуществляется при взрыве детонирующей смеси газов (горючего и окислителя). Альтернативный метод газодинамического холодного напыления, предпочтение которому отдают зарубежные специалисты, по его экологическим преимуществам (нет вредных и агрессивных газов, веществ, излучений и др. опасных факторов) представлен сочетание

$$V_6^1 V_8^3 V_7^4 V_3^5 V_5^6 V_7^2,$$

которое соответствует этому методу. Довести скорости частиц до их скоростей при детонационном напылении вероятнее всего возможно при использовании дополнительных ускоряющих воздействий.

Способы нанесения одного вещества на поверхность другого F_1 :

- V_1^1 – транспортные реакции;
- V_2^1 – соединение взаимоактивных веществ;
- V_3^1 – окисление восстановление;
- V_4^1 – молекулярная самосборка;
- V_5^1 – гидрофильность – гидрофобность;
- V_5^1 – жидкие мембраны;
- V_6^1 – напыление и др.

Получение давлений F_2 :

- V_1^2 – разложение газогидратов;
- V_2^2 – расположение гидридов;
- V_3^2 – розупрочнение металлов при наводороживании;
- V_4^2 – разбухание металлов;
- V_5^2 – разложение жидкого озона;
- V_6^2 – тепловой взрыв;
- V_7^2 – кавитация.

Ввод тепловой энергии F_3 :

- V_1^3 – эндотермические реакции;
- V_2^3 – сжигание газовых гидратов;
- V_3^3 – использование энергоемких веществ;
- V_4^3 – использование сильных окислителей;
- V_5^3 – самораспространяющийся высокотемпературный синтез;

- V_6^3 – разложение озона.

Энергетическое воздействие на наносимое вещество F_4 :

- V_1^4 – коронный разряд;
- V_2^4 – радиоактивное излучение;
- V_3^4 – кавитация;
- V_4^4 – УФ-свет;

- V_5^4 – электрическое поле;
- V_6^4 – электромагнитное поле;
- V_7^4 – ИК-свет;
- V_8^4 – СВИ разряд;
- V_9^4 – тепловая энергия.

Способы сообщения высоких скоростей F_5 могут быть:

- V_1^5 – детонационные смеси газов;
- V_2^5 – электрический разряд;
- V_3^5 – сжатие газа.

Формирование экологической опасности F_6 :

- V_1^6 – шумовое воздействие;
- V_2^6 – вредные выбросы;
- V_3^6 – радиоактивное излучение;
- V_4^6 – вибрация.

Материалы покрытий F_7 :

- V_1^7 – твердые;
- V_2^7 – мягкие;
- V_3^7 – многослойные.

Материалы основы F_8 :

- V_1^8 – металлы и сплавы;
- V_2^8 – стекло;
- V_3^8 – керамика;
- V_4^8 – ситаллы;
- V_5^8 – гранит;
- V_6^8 – бетон.

Структура F_9 :

- V_1^9 – наличие четкой границы между покрытием и подложкой;
- V_2^9 – наличие зон механического перемешивания;
- V_3^9 – наличие зон оплавления;
- V_4^9 – наличие пустот и трещин в приграничных участках;
- V_5^9 – наличие зон оплавления.

Свойства F_{10} : V_1^{10} – адгезия к подложке; V_2^{10} – пористость;

- V_3^{10} – газопроницаемость;
- V_4^{10} – эксплуатационные характеристики.

В дополнении следует заметить, что для повышения производительности труда и качества выпускаемых деталей авиационных двигателей широко используют методы листовой штамповки взрывом. В настоящее время освоено производство около двухсот наименований деталей типа патрубков, кожух, улитка и др. Одной из проблем при производстве этих деталей является низкая стойкость технологической оснастки. Решить эту проблему непосредственно на этом же участке возможно с использованием тех же технологий взрывного упрочнения, а именно модернизированного метода кавитационного упрочнения. Ему соответствует

$$V_1^1 V_6^2 V_7^2 V_3^4 V_3^5 V_1^7 V_1^8 V_1^9 V_4^{10}.$$

При оптимальных параметрах процесса, можно добиться десятикратного повышения стойкости оснастки.

Заключение

Применение эвристических методов и метода морфологического анализа позволило систематизировать методику выбора метода упрочняющей обработки деталей двигателей летательных аппаратов и выявить наиболее эффективные методы совершенствования альтернативных экологически более чистых методов упрочняющей обработки. Системное изучение возможных комбинаций решений проблемы не только к решению задачи, но и к новому комбинированному способу упрочняющей обработки.

Литература

1. Долматов, А.И. Проблемы автоматизации и перспективы развития процессов детационо-газового напыления защитных покрытий [Текст] / А.И. Долматов, С.Е. Маркович // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 11(47). – С. 52-61.

2. Алиев, И.С. Эвристические приемы поиска новых технологических решений в области штамповки [Текст] / И.С. Алиев // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр.* – К., 2001. – С. 217-221.

3. Евдокимов, В.Д. *Технология упрочнения машиностроительных материалов [Текст]: учеб. пособие справочник* / В.Д. Евдокимов, Л.П. Клименко, А.Н. Евдокимова; под ред. д.т.н. проф. В.Д. Евдокимова. – К.: ИД «Профестонол», 2006. – 352 с.

Поступила в редакцию 22.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедры БЖД В.Н. Чебенко, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Кременчуг, Украина.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ХОЛОДНОГО НАПИЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В.В. Драгобецький, О.В. Харламова, В.М. Шмандій

З точки зору забезпечення екологічної безпеки розглянуті проблеми удосконалення технологій зміцнення деталей авіаційних двигунів. Проведений морфологічний аналіз вибору технологій зміцнення деталей авіаційних двигунів і технологічного оснащення для їх виготовлення. Альтернативними варіантами є технології детонаційного і холодного динамічного напилення. Екологічно безпечнішим є процес холодного газодинамічного напилення. Евристичні методи дали можливість виявити шляхи підвищення ефективності процесу газодинамічного напилення. Відмічено, що раціональним варіантом зміцнення штампового оснащення для виготовлення деталей авіаційних двигунів є кавітаційне зміцнення.

Ключові слова: екологічна безпека, напилення, покриття, зміцнення, морфологічний аналіз, евристичні методи, авіаційні двигуни.

DM OF ECOLOGICAL SAFETY DURING REALIZATION OF TECHNOLOGIES OF COLD SPRAYING OF DETAILS OF TURBO-ENGINES OF LETELNYKH VEHICLES

V.V. Dragobetsky, O.V. Kharlamova, V.M. Shmandiy

From point of providing of ecological safety the problems of improvement of technologies of work-hardening of details of aviation engines are considered. The morphological analysis of choice of technologies of work-hardening of details of aviation engines and technological equipment is conducted for their making. Technologies of detonation and cold dynamic are the alternative variants of technologies. The process of cold is more safe ecologically. Heuristic methods enabled to expose the ways of increase of efficiency of process. It is marked that for making of details of aviation engines the work-hardening is the rational variant of work-hardening of the stamp rigging.

Key words: ecological safety, spraying, coverages, work-hardening, morphological analysis, heuristic methods aviation engines.

Драгобецький Владислав Владимирович – д-р техн. наук, професор, заведуючий кафедри технології машиностроєння Кременчугського національного університету ім. М. Остроградського, Кременчуг, Україна, e-mail: ecol@kdu.edu.ua.

Харламова Елена Владимировна – асистент кафедри екологічної безпеки та організації природопользования Кременчугського національного університету ім. М. Остроградського, Кременчуг, Україна, e-mail: ecol@kdu.edu.ua.

Шмандій Владимир Михайлович – д-р техн. наук, професор, заведуючий кафедри екологічної безпеки та організації природопользования Кременчугського національного університету ім. М. Остроградського, Кременчуг, Україна, e-mail: ecol@kdu.edu.ua.