

УДК 621.777.4

### ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**В. В. Драгобецкий, О. В. Троцко, Е. С. Серeda**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Предложен подход к обоснованию использования существующих и новых методов физико-химического воздействия на обрабатываемый материал, что позволит существенно увеличить долговечность и эксплуатационную надежность машиностроительных деталей. Показано, что применение эвристических методов и метода морфологического анализа позволило систематизировать методику выбора метода упрочняющей обработки машиностроительных деталей и выявить наиболее эффективные методы совершенствования альтернативных экологически безопасных методов. Системное изучение возможных комбинаций решений проблемы привело не только к решению задачи, но и к новому комбинированному способу упрочняющей обработки.

**Ключевые слова:** напыление, покрытие, морфологический анализ, эвристический метод.

### ЗАСТОСУВАННЯ ЕВРИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

**В. В. Драгобецький, О. В. Троцко, О. С. Серeda**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

Запропоновано підхід щодо обґрунтування використання існуючих і нових методів фізико-хімічного впливу на оброблюваний матеріал, що дозволить істотно збільшити довговічність і експлуатаційну надійність машинобудівних деталей. Показано, що застосування евристичних методів і методу морфологічного аналізу дозволило систематизувати методику вибору методу обробки, що зміцнює машинобудівні деталі і виявити найбільш ефективні методи вдосконалювання альтернативних екологічно безпечних методів. Системне вивчення можливих комбінацій рішень проблеми призвело не тільки до вирішення завдання, але й до нового комбінованого способу обробки для зміцнення деталей.

**Ключові слова:** напилування, покриття, морфологічний аналіз, евристичний метод.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Современные технологии напыления защитных покрытий позволяют решать комплекс вопросов в производстве и ремонте машиностроительных деталей, связанных с обеспечением существенного увеличения долговечности и эксплуатационной надежности. Следует отметить, что наиболее эффективными методами напыления являются газодетонационные [1].

Характеристики детонационных покрытий значительно превосходят соответствующие характеристики плазменных и газопламенных покрытий. В условиях возрастающей конкуренции себестоимость и эффективность этого метода напыления не имеет равных. Однако шумовые показатели процесса ограничивают его применение. Зарубежные специалисты отдают предпочтение методам холодного газодинамического напыления. Последний по экономическим показателям превосходит детонационное напыление, но значительно уступает по техническим.

Анализ состояния и направлений развития технологий упрочнения деталей машиностроения показал, что наиболее перспективным, обеспечивающим 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, 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. Метод позволяет наиболее рациональным образом войти в суть исследуемой проблемы и расширить область поиска [2].

Целью данной работы является обоснование применения эвристических методов для выбора технологии нанесения защитных покрытий методами обработки металлов давлением.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** По стратегии обобщенных эвристических методов в дополнение к таблицам морфологического анализа необходимо добавить классификацию методов упрочнения [2], указатель физических, химических, геометрических, экологических и технических эффектов, фонды изобретений, сущность освоенных технологических процессов упрочнения и эвристических приемов. Указатель физико-технических и химических эффектов необходимо дополнить перечнем законов, принципов и эффектов, присущих процессам упрочнения, по аналогии с рекомендациями И.С. Алиева относительно процессов обработки металлов давлением [1].

В этот перечень необходимо включить:

– законы течения и газодинамики 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 остаточных напряжений в системе покрытие-подложка [3];
- законы ударного взаимодействия и проникновения частиц в подложку;
- экологические ограничения на процессы упрочнения;
- законы внутреннего трения;
- теорема об упругой разгрузке;
- эффекты упрочнения и разупрочнения;
- эффекты влияния скорости и степени деформации на сопротивление деформации;
- вибропластический эффект;

– законы адгезии, когезии, кристаллизации и диффузии.

Для прогнозирования и поиска технологии напыления, позволяющей устранить недостатки детонационного и холодного газодинамического напыления, 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 выявляются возможные варианты решения  $V_j^i$ .

Совокупность аспектов проблемы представим в виде системы матриц представленной в табл. 1.

Таблица 1 – Система матриц

Аспекты проблемы	Характеристика $F_i$	Вариант решения $V_j^i$							
Нанесение одного вещества на поверхность другого	$F1$	$V_1^1$	$V_2^1$	$V_3^1$	$V_4^1$	$V_5^1$	$V_6^1$	$V_7^1$	
Получение давлений	$F2$	$V_1^2$	$V_2^2$	$V_3^2$	$V_4^2$	$V_5^2$	$V_6^2$		
Ввод тепловой энергии	$F3$	$V_1^3$	$V_2^3$	$V_3^3$	$V_4^3$	$V_5^3$	$V_6^3$	$V_7^3$	$V_8^3$
Энергетическое воздействие на наносимое вещество	$F4$	$V_1^4$	$V_2^4$	$V_3^4$	$V_4^4$	$V_5^4$	$V_6^4$	$V_7^4$	$V_8^4$
Способы сообщения высоких скоростей	$F5$	$V_1^5$	$V_2^5$	$V_3^5$					
Вредное воздействие на человека	$F6$	$V_1^6$	$V_2^6$	$V_3^6$	$V_4^6$	$V_5^6$			
Материалы покрытий	$F7$	$V_1^7$	$V_2^7$	$V_3^7$					
Материалы основы	$F8$	$V_1^8$	$V_2^8$	$V_3^8$	$V_4^8$	$V_5^8$	$V_6^8$	$V_7^8$	$V_8^8$
Структуры	$F9$	$V_1^9$	$V_2^9$	$V_3^9$	$V_4^9$	$V_5^9$			
Свойства	$F10$	$V_1^{10}$	$V_2^{10}$	$V_3^{10}$	$V_4^{10}$				

Способы нанесения одного вещества на поверхность другого  $F1$ :  $V_1^1$  – транспортные реакции;  $V_1^2$  – соединение взаимоактивных веществ;  $V_1^3$  – окисление, восстановление;  $V_1^4$  – молекулярная самосборка;  $V_1^5$  –

гидрофильность – гидрофобность;  $V_1^6$  – жидкие мембраны;  $V_1^7$  – напыление и т.д.

Получение давлений  $F2$ :  $V_1^2$  – разложение газогидратов;  $V_2^2$  – разложение гидридов;  $V_3^2$  – разупрочнение металлов при наводораживании;  $V_4^2$  – разбухание ме-

таллов;  $V_5^2$  – разложение жидкого озона;  $V_6^2$  – тепловой взрыв.

*Ввод тепловой энергии F3:*  $V_1^3$  – 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;  $V_7^3$  – тепловой взрыв;  $V_8^3$  – тепловентилятор.

*Энергетическое воздействие на наносимое вещество F4:*  $V_1^4$  – коронный разряд;  $V_2^4$  – радиоактивное излучение;  $V_3^4$  – кавитация;  $V_4^4$  – ультрафиолетовое излучение;  $V_5^4$  – электрическое поле;  $V_6^4$  – электромагнитное поле;  $V_7^4$  – инфракрасное излучение;  $V_8^4$  – СВЧ разряд;  $V_9^4$  – тепловой взрыв.

*Способы сообщения высоких скоростей F5* могут быть:  $V_1^5$  – детонация смеси газов;  $V_2^5$  – электрический разряд;  $V_3^5$  – сжатие газа.

*Вредное воздействие на человека F6:*  $V_1^6$  – шумовое воздействие;  $V_2^6$  – вредные выбросы;  $V_3^6$  – радиационное излучение;  $V_4^6$  – вибрация;  $V_5^6$  – отсутствует.

*Материалы покрытий F7:*  $V_1^7$  – твердые;  $V_2^7$  – мягкие;  $V_3^7$  – многослойные.

*Материалы основы F8:*  $V_1^8$  – металлы и сплавы;  $V_2^8$  – стекло;  $V_3^8$  – керамика;  $V_4^8$  – ситаллы;  $V_5^8$  – гранит;  $V_6^8$  – бетон.

*Структура F9:*  $V_1^9$  – 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 F10:*  $V_1^{10}$  – адгезия к подложке;  $V_2^{10}$  – пористость;  $V_3^{10}$  – газопроницаемость;  $V_4^{10}$  – эксплуатационные характеристики.

Анализ данной модели показывает, что имеется как минимум  $6 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 4 = 279\,936\,000$

вариантов упрочнения с использованием методов физического воздействия.

Сочетание  $V_6^1 V_6^2 V_7^3 V_4^4 V_1^5 V_1^6 V_2^6 V_4^6 V_1^7 V_3^7 \dots$  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).

Сочетание  $V_6^1 V_8^3 V_7^4 V_3^5 V_5^6 V_7^2$  соответствует альтернативному методу – методу газодинамического холодного напыления, предпочтение которому отдают зарубежные специалисты по его экологическим преимуществам (отсутствие вредных и агрессивных газов, веществ, излучений и других опасных факторов). Довести скорости частиц до их скоростей при детонационном напылении, вероятнее всего, возможно при использовании дополнительных ускоряющих воздействий.

По материалам основы, структуре и свойствам эти методы практически равноценны.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долматов А.И., Маркович С.Е. Проблемы автоматизации и перспективы развития процессов детонационно-газового напыления защитных покрытий // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 11 (47). – С. 52–61.
2. Алиев И.С. Эвристические приемы поиска новых технологических решений в области штамповки // *Удосконалення процесів та обладнання роботи тиском у металургії і машинобудуванні*: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2001. – С. 217–221.
3. Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н. *Технология упрочнения машиностроительных материалов*: уч. пособие / Под ред. д.т.н., проф. В.Д. Евдокимова. – К.: ИД «Профессионал», 2006. – 352 с.

#### APPLICATION OF HEURISTIC METHODS FOR COATING APPLYING TECHNOLOGY CHOOSING OF IN MECHANICAL ENGINEERING

V. Dragobetskyi, O. Trotsko, Ye. Sereda

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

An approach of the use grounding of the existing methods and new ones of physical and chemical impact on the material treated, that allows to increase essentially durability and operational reliability of machine-building parts, is offered. It is shown that application of heuristic methods and morphological analysis method allows to systematize choosing technique of the method of strengthening treatment of machine-building parts and reveal the most effective methods of improvement of alternative non-polluting methods. The system study of the solutions combinations possible not only lays to the problem solution, but also shows the new combined way of strengthening treatment.

**Key words:** spraying, coating, morphological analysis, heuristic method.

#### REFERENCES

1. Dolmatov A.I., Markovich S. E. Problems of automation and perspectives of the development of the processes of the detonated gas coatings // *Aerospace equipment and technology*. – 2007. – № 11 (47). – PP. 52–61. [in Russian]
2. Aliev I.S. Heuristic methods of search of new technological solutions in the field of stamping // *Improvement of the processes and equipment for treatment by pressure in metallurgy and mechanical engineering: The collection of scientific works*. – Kramatorsk, 2001. – PP. 217–221. [in Russian]

3. Yevdokimov V.D., Klimenko L.P., Yevdokimova A.N. *Technology of hardening of machine-building materials: the manual* / Under edit. of DSc (Eng), prof. V.D. Yevdokimov. – K.: PD “Professional”, 2006. – 352 p. [in Russian]

Стаття надійшла 18.06.2012.

Рекомендовано до друку  
д.т.н., проф. Саленком О.Ф.