

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цифровых технологий, электроники и физики
Кафедра вычислительной техники и электроники (ВТиЭ)

Отчёт по научно-исследовательской работе

**РЕКОНСТРУКЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СОСТАВА ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ
СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В
ПРОЦЕССЕ ИХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ**

Выполнил: студент гр. 5.306М:

_____ Лаптев А. В.

Проверил: доц. каф. ВТиЭ

_____ Иордан В. И.

Оценка _____

«_____» _____ 2023 г.

РЕФЕРАТ

Кол-во страниц и так далее

Объектом исследования в данной работе является программный комплекс для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий в процессе их газотермического напыления.

Целью работы является обзор данного комплекса и его недостатков для будущей реконструкции архитектуры комплекса и последующего создания нового программного комплекса для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий в процессе их холодного газодинамического напыления.

В работе рассмотрены методы газотермического напыления и холодного газодинамического напыления, архитектурные недостатки существующего программного комплекса, а также поставлены задачи по реконструированию и доработке существующего программного комплекса.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ВИДЫ НАПЫЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ	5
1. Газотермическое напыление	5
2. Холодное газодинамическое напыление	7
КОНЦЕПЦИЯ РАНЕЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА	9
1. Недостатки разработанного комплекса	9
2. Разбиение программного комплекса на совокупность функциональных подсистем	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	16

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует два наиболее часто применяемых на практике способа для нанесения материала тонким слоем на поверхность – газотермическое напыление и холодное газодинамическое напыление. Каждый из этих методов имеет свои особенности.

Газотермическое напыление – это метод, который основан на использовании тепла для распыления материала на поверхность. Обычно используется тепловой источник, такой как плазма, пламя или электрическая дуга, для нагрева материала до высокой температуры, после чего он распыляется на поверхность.

Холодное газодинамическое напыление – это метод, который основан на использовании сжатого воздуха или газа для распыления материала на поверхность при комнатной температуре. Обычно используется специальное оборудование, такое как газодинамические пистолеты, для создания высокоскоростного потока газа, который ускоряет и направляет частицы материала на поверхность.

Выбор метода зависит от конкретных требований и условий, включая тип поверхности, требуемые свойства напыляемого материала и технические возможности.

Разработанный программный комплекс обладает возможностями для работы с газотермическим напылением для моделирования процессов формирования слоистой структуры функциональных покрытий. Однако, помимо этого, был обнаружен ряд архитектурных решений программного комплекса, которые не являются оптимальными и требуют реконструкции и доработки архитектуры.

ВИДЫ НАПЫЛЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий наиболее широко применяются два метода:

1. газотермическое напыление;
2. холодное газодинамическое напыление.

Далее будет приведено короткое описание и особенности каждого из методов.

1. Газотермическое напыление

Газотермическое напыление – это процесс нагрева, диспергирования и переноса конденсированных частиц распыляемого материала газовым или плазменным потоком для формирования на подложке слоя нужного материала. Под общим названием газотермическое напыление (ГТН) объединяют следующие методы: газопламенное напыление, высокоскоростное газопламенное напыление, детонационное напыление, плазменное напыление, напыление с оплавлением, электродуговая металлизация и активированная электродуговая металлизация [1].

По своей сути газотермическое напыление очень похоже на сварку, отличие заключается в функциональном назначении переносимого материала. Цель сварки — соединение конструктивных элементов сооружений, цель газотермического напыления — защита поверхности от коррозии, износа и т. д.

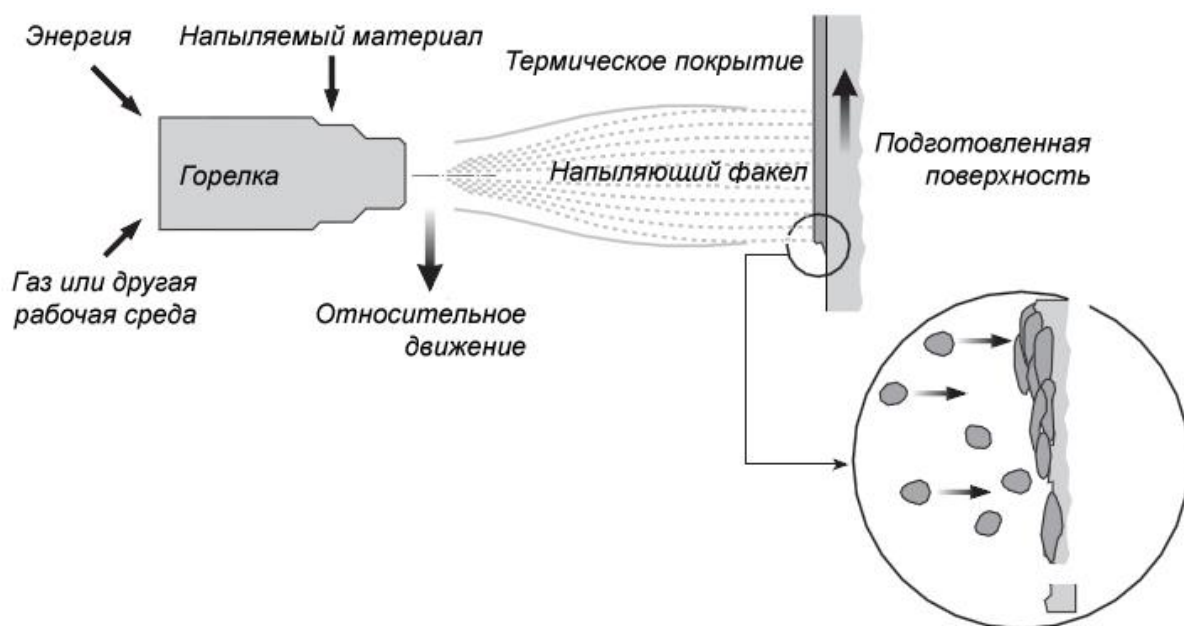


Рис. 1 Схема процесса газотермического напыления [2].

Сравнение используемых методов газотермического напыления:

1. высокоскоростное газопламенное напыление – широко применяется для создания плотных металлических и металлокерамических покрытий;
2. детонационное напыление – в силу дискретного характера напыления и малой производительности наиболее подходит для напыления покрытий для защиты и восстановления небольших участков поверхности;
3. распыление с помощью плазмы обычно называют плазменным напылением – энергозатратный метод, наиболее оправдано его применение для создания керамических покрытий из тугоплавких материалов;
4. электродуговая металлизация – энергетически более выгодна, однако позволяет напылять только металлические материалы, как правило, используется для напыления антикоррозионных металлических покрытий на больших площадях (примером может служить защита опор ЛЭП);
5. газопламенное напыление – недорогой во внедрении и эксплуатации метод, широко используемый для восстановления геометрии деталей и защиты от коррозии крупных объектов;
6. напыление с оплавлением – метод, обеспечивающий металлургическую связь покрытия с основой. Применяется, если высокий

нагрев при оплавлении не ведёт к риску термических повреждений детали либо такой риск считается оправданным.

2. Холодное газодинамическое напыление

Холодное газодинамическое напыление (ХГН) – быстроразвивающийся метод порошкового нанесения покрытий [3], в котором частицы с характерным размером 10–150 мкм ускоряются в сверхзвуковом потоке газа до скоростей 400–1200 м/с и при ударе о подложку закрепляются на ней без фазовых переходов.

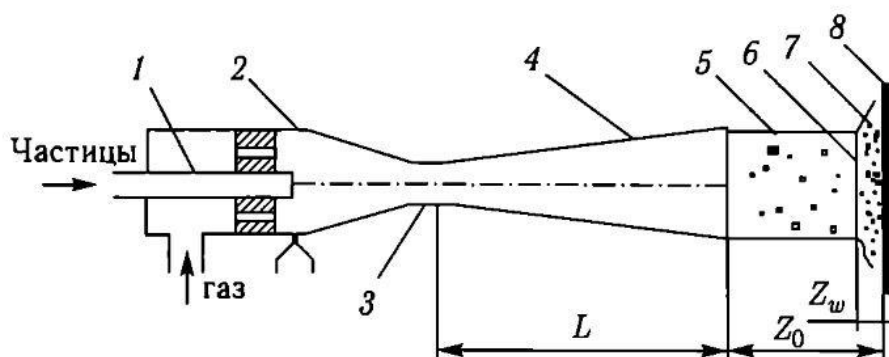


Рис. 2 Схема газодинамического тракта ускорения частиц в сверхзвуковом сопле, движения их в свободной струе и торможения в сжатом слое [4].

На рис. 1 представлена схема газодинамического тракта ускорения частиц в сверхзвуковом сопле, движения их в свободной струе и торможения в сжатом слое, где 1 – трубка ввода частиц в форкамеру, 2 – форкамера, 3 – критическое сечение, 4 – сверхзвуковая часть сопла, 5 – участок свободной струи, 6 – головная ударная волна, 7 – сжатый слой, 8 – преграда.

Отсутствие высоких температур позволяет существенно расширить возможности методов нанесения покрытий порошковыми материалами и обеспечивает ряд важных преимуществ метода ХГН перед известными газотермическими методами, включая:

1. возможность использования для напыления порошков с размером менее 30–50 мкм, в том числе ультрадисперсных, что приводит к улучшению качества покрытия;

2. отсутствие существенного нагрева частиц и связанных с ним процессов высокотемпературного окисления, фазовых переходов и т.д., что позволяет получать покрытия со свойствами, близкими к свойствам материала исходных частиц, а также композиционные покрытия из механической смеси порошков, значительно различающихся по физико-термическим свойствам;

3. отсутствие существенного термического воздействия на изделие, что позволяет наносить покрытия на подложки из нетермостойких материалов;

4. простота технической реализации и улучшение безопасности работ в связи с отсутствием высокотемпературных струй, а также огнеопасных и взрывоопасных газов.

КОНЦЕПЦИЯ РАНЕЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Реконструкция ранее разработанного программного комплекса продиктована необходимостью качественного улучшения набора характеристик имеющегося программного комплекса (производительность вычислений, оптимизация архитектуры и состава компонент-подсистем, расширение функциональных возможностей комплекса и т.д.), так как улучшенная версия существующего комплекса будет взята за основу для последующей разработки нового программного комплекса, предназначенного для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий в процессе их «холодного газодинамического напыления (ХГН)».

1. Недостатки разработанного комплекса

На текущий момент существующий комплекс имеет ряд недостатков:

1. самый важный недостаток — не совсем корректная организационная структура комплекса. В структуре комплекса разделение на подсистемы носит условный характер, так как они жестко связаны порядком работы и не допускают варианта отдельного использования. Практика показала, что это неудобно и не способствует принципу автоматизации работы всего комплекса. В первую очередь, необходимо разделить на независимые компоненты процедуры визуализации данных и вычислительные процедуры. Такой подход позволит резко повысить вычислительную эффективность всего комплекса, т.е. независимые вычислительные модули комплекса можно будет запускать на высокопроизводительных узлах (ПК) в конфигурации распределенных (параллельных) вычислений с сохранением основных результатов слоистой структуры покрытий на жестком диске (или на нескольких дисках), что позволит круглосуточно в течении нескольких дней (недель) не прерывать работу многопроцессорной конфигурации и выполнять большие серии

вычислительных экспериментов для моделирования целого класса покрытий для различных режимов их формирования (напыления). Оператору нет смысла каждый раз ожидать окончания вычислений одного вычислительного эксперимента, чтобы запустить следующий расчет. Поэтому интерфейсная компонента не должна быть встроенной в вычислительные модули. Процедуры построения графиков и анализа результатов также должны быть отделены и запускаться по необходимости в режимах, позволяющих сэкономить время на анализе. Подсистема визуализации должна быть отделена и располагаться на рабочей ПК оператора (исследователя), а вычислительные ресурсы этого ПК не должны использоваться для основных вычислений, а должны использоваться на отображение результатов, что также требует определенных ресурсов;

2. возникла потребность в реализации новой подсистемы: планировщика заданий. Данная подсистема нужна для проведения комплексных исследований влияния различных режимов напыления (различных наборов параметров) на свойства покрытий. Данная подсистема должна будет формировать очередь заданий для выполнения серии экспериментов моделирования, запускать некоторое число независимых подсистем формирования покрытия, отслеживать окончание их работы и запускать следующие задания из очереди;

3. практика показала, что результаты вычислительных экспериментов занимают очень много места на жестком диске, но хорошо сжимаются архиваторами. Имеет смысл разработать подсистему, которая бы объединяла все результаты вычислительных экспериментов в единый архив (единое хранилище данных) для продолжительного хранения;

4. подсистему визуализации в виде 2D- и 3D-изображений покрытий и их сечений (компьютерных шрифтов) следует выделить в отдельное приложение, предназначенное для просмотра результатов по мере необходимости, а не только в момент проведения вычислительного эксперимента;

5. подсистему визуализации поверхности покрытия и ее сечений (шлифов) следует дополнить возможностью выделения контуров сплэтов (окантовки) разными цветами – для более эффективного анализа структуры покрытий (структуры пористости и слоистости покрытия);

6. справочную подсистему «База данных», хранящую различные физические свойства материалов (используемых при напылении), следует дополнить функцией автоматического добавления данных о свойствах различных химических соединений, полученных в результате моделирования программным комплексом. В существующей версии комплекса эта возможность пока отсутствует. Поэтому пока приходится в «Базу данных» добавлять новые данные вручную;

7. переход на платформу x64. Комплекс закладывался во времена, когда большинство операционных систем были x32, а также стоимость оперативной памяти была высокой. Большие объемы памяти не поддерживались системами и были дорогими в цене. Сейчас ситуация изменилась: поддержка ОС x32 сворачивается, все компьютеры изначально идут на ОС x64. Стоимость оперативной памяти значительно уменьшилась, сейчас объемы ОП в 16 Гб являются обычными. Поэтому крайне важно перейти на новую платформу (без совместимости с x32), чтобы обеспечить доступ к большому объему оперативной памяти. Это позволит быстрее обрабатывать покрытие и как можно меньше использовать жесткий диск для подкачки памяти. На сегодняшний момент, необходимость использования жесткого диска - это одна из самых затратных по времени операций, на нее расходуется приблизительно 1/3 всего времени работы. Если удастся его сократить, то это будет качественный прорыв в быстродействии;

8. сейчас остается много свободного места по краям моделируемого покрытия, это съедает ресурсы, но необходимо для нормальной работы Специфика реализованного алгоритма моделирования укладки сплэта на подложку определенного размера требует оставлять не занятой периферию подложки. Требуется одна из доработок: либо закольцевать покрытие так,

чтобы сплэт, выходящий за пределы слева, появлялся с правой стороны (периодические условия), либо доработать алгоритм укладки так, чтобы корректно производилась обрезка покрытия по размеру подложки, если сплэт попал на край моделируемого покрытия;

9. следует доработать подсистему моделирования покрытия с учетом реализации сложных движений сопла напыления. Это позволит подбирать алгоритмы движения сопла для получения более равномерного покрытия и исследовать влияния движения на пористость и шероховатость;

10. следует доработать функцию построения картинок в векторном формате. Сейчас шлифы строятся в векторном формате svg. Необходимо доработать его (улучшить отображение осей, увеличить подписи), а также реализовать возможность построения горизонтальных шлифов в формате svg. Также будет полезна функция формирования обрезанной картинки. Это связано с тем, что соотношение сторон (ширины к высоте) очень большое, и не подходит для печати (получается сильно вытянутое и не высокое), поэтому будет востребована возможность формирования сечений (шлифов) в указанной области;

11. для реализации моделирования многослойных покрытий необходимо реализовать функцию загрузки результата моделирования предыдущего слоя для продолжения моделирования всего многослойного покрытия. Сейчас все слои моделируются последовательно, в процессе единого эксперимента. Необходимо доработать подсистемы так, чтобы можно было промоделировать один слой, сохранить, а потом несколько раз отдельно загружать его и накладывать дополнительные слои с разными характеристиками. Это позволит сэкономить время на моделировании первого слоя в случае, если он остается одинаковым;

12. необходимо проработать возможность использования СУБД для организации хранения данных во время работы. Сейчас используется специальный алгоритм кэширования данных, на жесткий диск для экономии памяти. Необходимо проверить целесообразность перехода на кэш в виде

современной СУБД. Использование СУБД может дать дополнительное преимущество при распараллеливании работы между программами, находящимися на различных ПК в сети;

13. необходимо переработать код подсистемы «Покрытие». Отдельные этапы укладки сплэта оформить отдельными функциями. Это позволит в будущем сделать ряд сложных ветвлений кода при разных способах напыления, например, при реализации возможности моделирования метода «холодного газодинамического напыления» (ХГН). Сейчас порядок этапов работы строго определен: вычисление координат/размеров, укладка ядра, укладка периферии, добавление толщины. Необходима более гибкая парадигма, чтобы можно было дополнять другие функции (функция отскока частицы, активации подложки и т.д.).

2. Разбиение программного комплекса на совокупность функциональных подсистем

Для последующей реконструкции необходимо разбить всю систему программного комплекса на блоки (подсистемы), что позволит решить самую большую проблему из перечисленных выше.

Структура программного комплекса в виде подсистем должна выглядеть так:

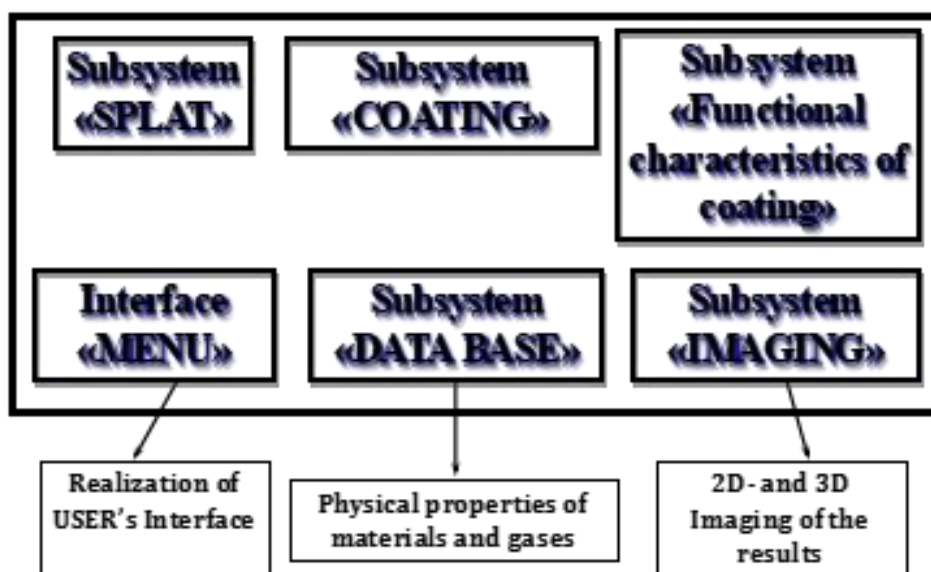


Рис. 3 Подсистемы (блоки) программного комплекса.

Как видно из схемы, система программного комплекса была разбита на следующие подсистемы:

1. «СПЛЭТ»;
2. «ПОКРЫТИЕ»;
3. «Функциональные характеристики покрытий» (пористость, шероховатость, адгезионная прочность сцепления покрытия с подложкой и т.п.);
4. «Интерфейсное меню»;
5. справочная система «База данных» (физические свойства напыляемых материалов);
6. «Визуализация результатов» (2D- и 3D-изображения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были подробно рассмотрены методы газотермического и холодного газодинамического напыления, которые представляют собой основные технологии нанесения материала тонким слоем на поверхность. Анализ преимуществ и недостатков каждого из этих методов позволяет определить их области применения и выбрать наиболее подходящий в конкретной ситуации.

Кроме того, в рамках исследования были рассмотрены архитектурные недостатки существующего программного комплекса для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий в процессе их газотермического напыления. Это позволило выявить необходимость реконструкции и доработки архитектуры комплекса с целью повышения его эффективности и функциональности.

На основании проведенного анализа был сформулирован ряд задач для реконструкции и доработки архитектуры программного комплекса.

Дальнейшее решение поставленных задач позволит оптимизировать существующий программный комплекс и в дальнейшем использовать его как основу для создания программного комплекса для моделирования формирования слоистой структуры функциональных покрытий в процессе их холодного газодинамического напыления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газотермическое напыление [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Газотермическое_напыление.
2. Процессы газотермического напыления покрытий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sabaros.ru/sulzermetco/processes>.
3. С.В. Клинков, В.Ф. Косарев, А.С. Желнина Нанесение методом холодного газодинамического напыления композиционных (металл – металл) покрытий // Аэрокосмическая техника. – 2016. – № 47. - С. 135-153.
4. Обработка металлических конструкций, газодинамическое (холодное) напыление [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/o/b/501859439188378085/>.