

А.Н. Михайлов, Е.А. Михайлова, Д.А. Михайлов
Донецкий национальный технический университет

ОСНОВЫ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

© Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А., 2011

Разработаны общие основы синтеза композиционных технологий. Они базируются на композиции основных особенностей и принципов синтеза комбинированных (гибридных). макро-, микро- и нанотехнологий, функционально-ориентированных технологий. Эти технологии относятся к новому классу организационно-технологических форм технологий. На базе этих технологий обеспечивается качественно новая совокупность свойств изделий.

In presented work is designed general bases of the syntheses special technology. They are based on compositions of the main particularities and principle of the syntheses multifunction (hybrid); macro-, micro- and nanotechnology; function-oriented technology. These technologies pertain to new class organizing-technological forms technology. On the base these technology is provided qualitative new collection characteristic product.

Введение. С развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к качеству изделий машиностроения. Это обусловлено тем, что в настоящее время постоянно возрастает нагруженность изделий, повышаются скоростные характеристики машин, увеличивается количество действующих на изделие эксплуатационных функций и расширяются условия их эксплуатации при одновременном выполнении принципов компактности и минимизации элементов их структуры. Поэтому для решения этих проблем необходимо выполнять дальнейшее повышение свойств изделий, обеспечивать нетрадиционные свойства и реализовывать качественно новую совокупность свойств машин. Для этого широко используются различные технологии и методы обработки изделий [1–7]. При этом для существенного повышения свойств изделий необходимы нетрадиционные технологии, которые позволяли бы решать вопросы обеспечения свойств как для всего изделия в целом изделий [3, 4], так и для его элементов [5, 7], в том числе на макро-, микро – и наноуровнях [6, 8]. Причем эти свойства, в ряде случаев, необходимо выполнять изменяющимися в пространстве и/или во времени – в зависимости от особенностей эксплуатации изделий в машине или технологической системе [5, 7, 8]. Это становится возможным при управлении параметрами технологических воздействий орудий и средств обработки на изделия и его элементы при применении специальных технологий [9], которые позволили решать вопросы обеспечения свойств изделий как в “ширь” – по структуре технологического процесса [3, 4], так и в “глубь” – на каждой операции на макро-, микро – и наноуровнях [6] при одновременном управлении свойствами изделия и его функциональных элементов в пространстве и/или времени [7]. Эти вопросы эффективно решаются на базе применения композиционных технологий [9].

Целью данной работы является повышение качества изделий машиностроения на основе специальных композиционных технологий, путем разработки общего подхода их создания, базирующегося на композиции особенностей синтеза различных вариантов технологий, в которой количество направлений повышения качества изделий определяется числом вариантов технологий, входящих в состав композиционной технологии.

В соответствии с поставленной целью в данной работе определены следующие задачи: разработать общий теоретический подход создания специальных композиционных технологий;

разработать элементную базу обеспечения композиционных технологий; установить основные закономерности и связи между элементами структуры композиционных технологий; разработать конкретные варианты технологических процессов базирующихся на основных принципах синтеза композиционных технологиях. Эти задачи и решаются в данной работе.

Общий подход создания композиционных технологий. Композиционная технология это специальная технология, базирующаяся на композиции принципов и особенностей синтеза различных вариантов технологий, которая позволяет управлять свойствами изделия и обеспечивать повышение параметров его качества по направлениям состава композиции вариантов технологий. В

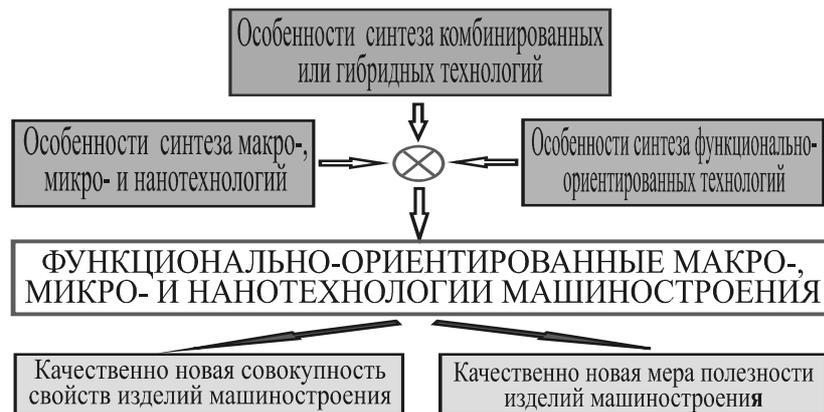


Рис. 1. Схема композиции особенностей синтеза технологий

ципов синтеза макро-, микро- и нанотехнологий; принципов синтеза функционально-ориентированных технологий; и принципов синтеза других технологий. Эти технологии позволяют вести управление свойствами изделий на различных уровнях глубины технологии и обеспечивают реализацию изменяющихся свойств для всего изделия, на макро-, микро- и наноуровнях. Это дает возможность обеспечивать качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения.

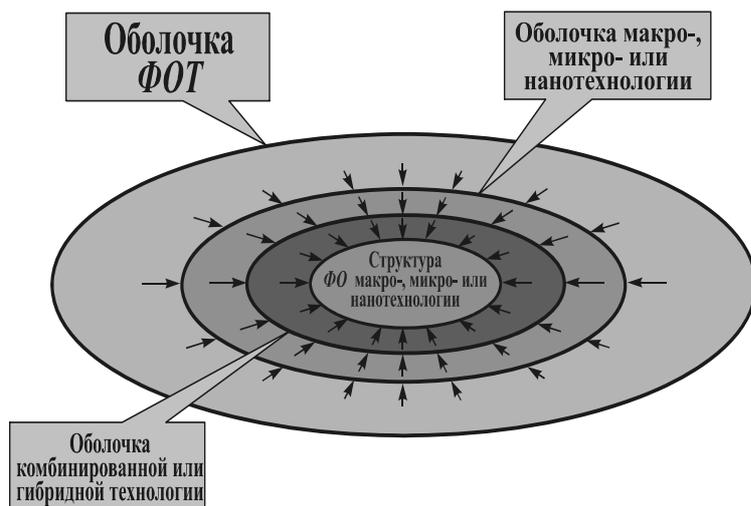


Рис. 2. Многоуровневый синтез композиционных технологий в оболочках 3-х уровней

технологического процесса на базе всех этапов композиционных технологий, во вторых – производить возврат процесса проектирования на предыдущие этапы и корректировать разработанную ранее структуру технологического процесса, и в третьих – при синтезе технологии

этой технологии количество направлений повышения качества изделий определяется числом вариантов технологий, входящих в состав композиционной технологии. Связи между этапами проектирования в этих технологиях выполняются итерационные и рекуррентные.

Особенно перспективной композиционной технологией является технология [8, 9], базирующаяся на особенностях синтеза принципов (рис. 1) комбинированных (гибридных); принципов

Общий подход в создании композиционных технологий базируется на многоуровневом проектировании структуры технологии в оболочках нескольких уровней (рис. 2) [8, 9]. Между оболочками действуют итерационные и рекуррентные связи, что позволяет синтезировать и корректировать структуру технологического процесса на базе принципов комбинированных технологий; принципов макро-, микро- и нанотехнологий; принципов функционально-ориентированных технологий; и других технологий. Итерационные и рекуррентные связи между отдельными этапами проектирования технологий позволяют, во первых – последовательно выполнять синтез структуры

обходить отдельные этапы проектирования как в прямом, так и в обратном направлениях. Этот подход дает возможность синтезировать и корректировать композиционную технологию.

Заметим, что в оболочке первого уровня (рис. 2) выполняется синтез структуры технологического процесса на базе принципов комбинированных технологий [3, 4]. Применение комбинированных (гибридных) методов или технологий обусловлено тем, что традиционные методы обработки уже исчерпали свои возможности в направлении существенного повышения качества изделий. Поэтому применение этих технологий позволяет обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделий машиностроения. При этом комбинированные технологии дают возможность решать вопросы повышения качества изделий за счет структуры технологического процесса, условно этот процесс можно представить как повышение качества изделия “вширь” по структуре технологического процесса.

В оболочке второго уровня (рис. 2) выполняется синтез и корректирование структуры разработанной ранее технологии на базе принципов макро-, микро- и нанотехнологий [8, 9]. Здесь необходимо корректировать и дополнять разработанную ранее структуру технологии новыми операциями. Это обусловлено тем, что макро-, микро- и нанотехнологии должны содержать ряд дополнительных операций. Например, нанотехнологии включают дополнительные операции: обеспечение особых состояний вещества, синтез нового материала, размельчение материала, компактирование материала, сохранение дисперсности материала, управление свойствами материала изделия.

С помощью макро-, микро- и нанотехнологий решаются вопросы обеспечения заданных свойств изделий на каждой операции комбинированного метода или с помощью комбинированных методов технологических воздействий, то есть условно можно представить как повышение качества изделия “вглубь”. В этом случае дальнейшее повышение качества изделий машиностроения реализуется более тонко и прецизионно уже на макро-, микро- и наноуровнях. На основании этого, преобразование свойств изделий должны выполняться с помощью макро-, микро- и нанотехнологий.

В оболочке третьего уровня (рис. 2) также выполняется синтез и корректирование структуры разработанной технологии на базе принципов функционально-ориентированных технологий [7, 8, 9]. Эти технологии дают возможность вести управление свойствами изделий на различных уровнях функциональных элементов, а также позволяют полностью адаптировать изделия при изготовлении к особенностям их эксплуатации в машине или технологической системе и обеспечить заданный, требуемый или предельный их эксплуатационный потенциал. Особенностью этих технологий является то, что они позволяют решать вопросы повышения качества изделий машиностроения как на обычных уровнях, так и на макро-, микро- и наноуровнях.

На рис. 3 представлен алгоритм синтеза композиционных технологий, базирующийся на итерационных и рекуррентных связях. Процесс проектирования этих технологий основывается на следующих этапах:

- анализ изделия;
- синтез структуры технологического процесса и технологического обеспечения комбинированной или гибридной технологии;
- корректирование и синтез структуры технологии на базе принципов макро-, микро- и нанотехнологий;
- корректировка и синтез структуры технологии на базе принципов функционально-ориентированных технологий;
- обеспечение заданных, требуемых или предельных свойств изделия в зависимости от особенностей его эксплуатации в машине или технологической системе.

Этот алгоритм базируется на базе следующего:

- принципов синтеза комбинированных и гибридных технологий;
- принципов синтеза макро-, микро- и нанотехнологий;
- принципов синтеза функционально-ориентированных технологий.

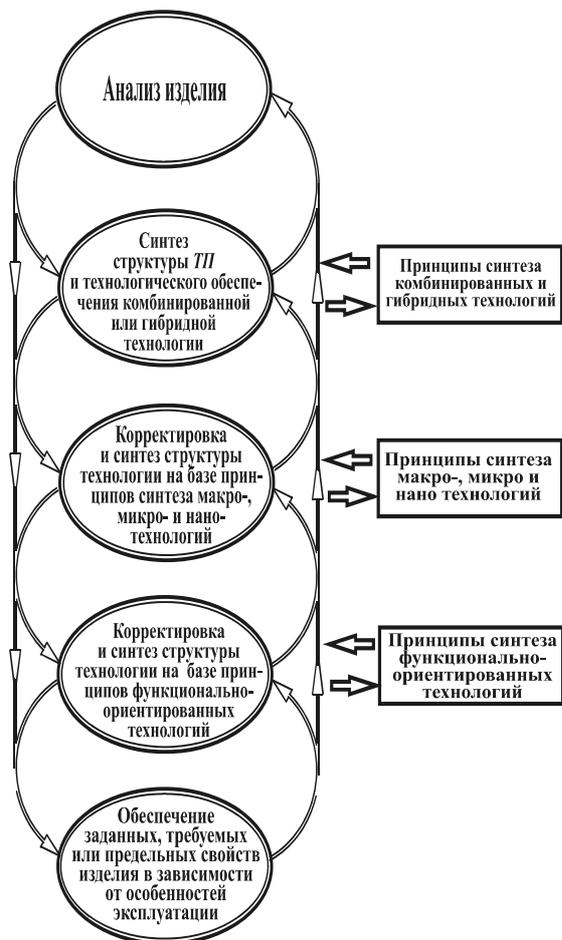


Рис. 3. Алгоритм синтеза композиционных технологий, базирующийся на итерационных и рекуррентных связях

В этом алгоритме на базе итерационных и рекуррентных связей выполняется последовательных синтез и корректировка структуры технологического процесса по соответствующим этапам (рис. 3). На этапе функционально-ориентированных технологий выполняется синтез и корректирование структуры на основе принципов функционально-ориентированного подхода [7–9]. Этот подход позволяет вести управление свойствами изделия в зависимости от особенностей его эксплуатации в машине, что дает возможность адаптировать изделие при изготовлении к особенностям эксплуатации, при этом обеспечить заданный, требуемый или предельный эксплуатационный потенциал изделия.

Можно отметить, что возможно применение оболочек и других уровней. Увеличивая количество оболочек можно увеличить мощность многообразия направлений повышения качества изделий машиностроения.

Эти оболочки позволяют учитывать особенности синтеза других технологий и увеличить многогранность направлений повышения качества изделий.

Таким образом, в представленной работе разработан общий подход синтеза композиционных технологий. Этот подход дает возможность последовательно на базе итерационных и рекуррентных связей создавать технологии нового класса по организационно-технологическим формам.

Однако для широко использования этого подхода необходима разработка элементной базы обеспечения композиционных технологий.

Элементная база обеспечения композиционных технологий. В работе даны некоторые понятия и определения, связанные с комбинированными и гибридными технологиями.

Комбинированный метод обработки – это процесс преобразования свойств изделия на базе действия не менее двух различных вариантов простых методов технологических воздействий орудий и средств обработки материального, энергетического и информационного характеров, выполняемые последовательно и/или параллельно во времени и/или в пространстве на функциональные элементы изделия.

Комбинированный технологический процесс – это процесс последовательной реализации не менее двух различных вариантов простых методов технологических воздействий и/или комбинированных методов обработки изделий, предназначенный для преобразования начальных в конечные свойства изделий и обеспечения заданных показателей их качества.

Комбинированная технология – это совокупность комбинированного технологического процесса и необходимого обеспечения.

Гибридный метод обработки – это помесь не менее двух одновременно действующих различных типов технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров, оказывающих взаимное влияние друг на друга, усиливающих действие каждого из них и выполняемых новыми методами, производящих преобразование свойств изделий нетрадиционными принципами, которые позволяют обеспечивать качественно новую совокупность свойств и меру полезности изделий машиностроения.

Гибридный технологический процесс – это процесс последовательной реализации гибридных методов обработки изделий.

Гибридная технология – это совокупность гибридного технологического процесса и необходимого обеспечения.

Гибридные методы обработки имеют некоторые особенности и характеристики их создания, основные из них следующие: основные признаки, особенности объединения, особенности реализации технологических воздействий, особенности выполнения технологических преобразований, особенности использования технологического обеспечения, свойства изделий.

Можно отметить, что синтез гибридных технологий базируется не на сумме известных принципов создания технологий, а на пересечении этих принципов и образовании качественно новых свойств изделий (рис. 4). На рис. 4 показана диаграмма образования новых принципов синтеза гибридных технологий. Здесь новые принципы синтеза гибридных технологий определяются на базе следующего выражения:

$$S = R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_n,$$

где S – новые принципы реализации гибридных технологий; R_i – i -е множество известных принципов реализации технологий; n – общее количество множеств известных принципов реализации технологий.

Здесь гибридные методы обработки изделий могут подразделяться следующим образом: по составу методов, по структуре методов, по особенностям взаимного влияния методов, по характеру реализации технологических воздействий, по составу методов, по свойству изделий.

К гибридным методам обработки можно отнести следующие виды обработки изделий: механическую обработку изделий в поле ультразвуковых колебаний инструмента, электрохимическое полирование, магнитоабразивную обработку, вибрационную механохимико-термическую обработку и другие виды.

Гибридные методы обработки изделий и соответственно технологии их изготовления позволяют обеспечивать новые нетрадиционные свойства изделиям. Поэтому следует заметить, что для синтеза макро-, микро- и наноматериалов со свойствами определяемыми в зависимости от особенностей эксплуатации изделий наиболее эффективно и рационально применение комбинированных и гибридных методы. Эти методы благодаря комплексному совместному действию различных видов технологических воздействий обеспечивают заданные свойства материала изделия, размельчение его структуры до заданных размеров и компактирование структуры с необходимыми свойствами и параметрами.

Структура комбинированных методов и/или технологических процессов определяется:

$$\varphi: \{C_H\} \rightarrow \{C_K\},$$

где $\{C_H\}$ – множество начальных свойств заготовки; $\{C_K\}$ – множество конечных свойств изделия; φ – отображение образа в прообраз свойств.

Отображение φ определяется зависимостью:

$$\varphi = f(\text{Str}\{KTP_i\}),$$

где $f(\text{Str}\{KTP_i\})$ – функциональная зависимость отображения φ от структуры комбинированного технологического процесса.

С помощью комбинированных и гибридных методов обработки предварительно составляется структура технологического процесса.

В работе также даны некоторые определения связанные с макро-, микро- и нанотехнологиями.

Макротехнология – это совокупность операций и обеспечения, образованная для выполнения заданного алгоритма технологического воздействий, которая позволяет синтезировать

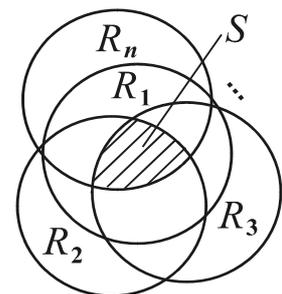


Рис. 4. Диаграмма образования новых принципов синтеза гибридных технологий

материал изделия и его свойства, выполнять заданные технологические воздействия, размельчать зерна материала и управлять его свойствами в зависимости от состава, структуры, размеров и связей зерен в пределах макроразмеров (более 300 нм) функциональных элементов изделия.

Микротехнология – это совокупность операций и обеспечения, образованная для выполнения заданного алгоритма технологического воздействия, которая позволяет синтезировать, размельчать зерна материала в пределах микроразмеров (в пределах 100 ... 300 нм), компактировать и управлять его свойствами в зависимости от состава, структуры, размеров и связей зерен.

Нанотехнология – это совокупность комбинированных процессов и обеспечения, образованная для выполнения заданного алгоритма технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров, которая позволяет одновременно синтезировать, размельчать и компактировать структуру материала в пределах наноразмеров, а также управлять его свойствами в зависимости от структуры, размеров и связей наноэлементов (до 40 .. 100 нм).

В работе разработана универсальная структура технологического процесса синтеза макро-, микро- и нанокристаллического материала. Здесь каждый этап этого технологического процесса имеет определенные особенности, а именно (рис. 5):

1. Выполняется композиция процесса синтеза материала и его размельчения.
2. На всех этапах применяются комбинированные и гибридные процессы.
3. Обеспечивается управление процессом на базе функционально-ориентированного подхода (ФОП). Это обеспечивает возможность получения функционально-ориентированных свойств (ФОС) изделий.

Общий алгоритм универсального технологического процесса синтеза наноматериалов, состоит из следующих основных этапов (рис. 5):

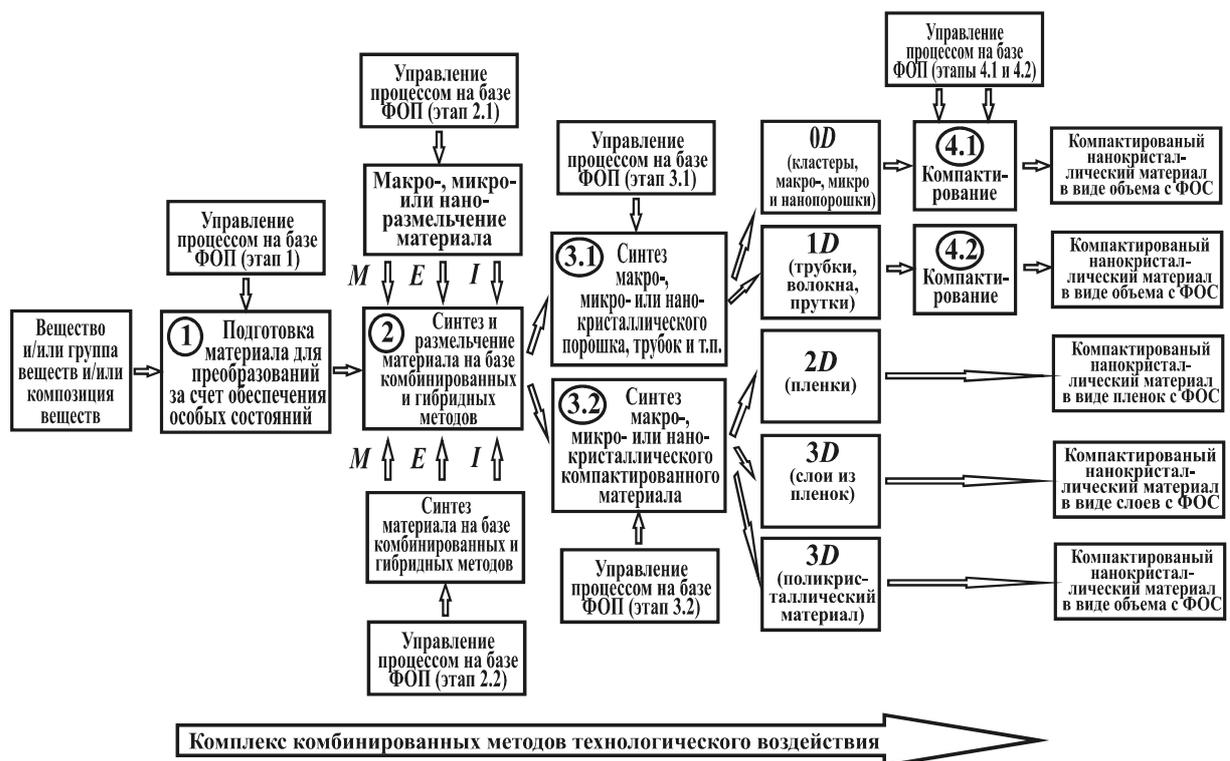


Рис. 5. Универсальная структура функционально-ориентированного процесса для макро-, микро- и нанотехнологий

1. Подготовка материала для преобразований за счет обеспечения особых состояний.
2. Синтез и управляемое размельчение материала на базе комбинированных и гибридных методов.

3. Синтез макро-, микро- и нанокристаллического порошка, трубок и т.п. (подэтап 3.1), синтез макро-, микро- и нанокристаллического компактированного материала (подэтап 3.2). На этом этапе необходимо обеспечить сохранение наноразмеров размельченного материала.

4. Для макро-, микро- и нанокристаллического порошка, трубок и т.п. необходимо обеспечить компактирование объемного материала.

При синтезе макро-, микро- и нанокристаллического порошка на подэтапе 3.1 возможно два варианта дисперсного материала, а именно: $0D$ – кластеры, $1D$ – трубки, волокна, прутки). В этом случае, для создания компактного материала – порошки необходимо компактировать, в результате получается кристаллический материал в виде объемов.

При синтезе макро-, микро- и нанокристаллического компактированного материала на подэтапе 3.2 может реализовываться его варианты в следующих видах:

- в виде пленок $2D$,
- в виде слоев из пленок $3D^0$,
- в виде объемов $3D$.

С помощью разработанного универсального технологического процесса синтеза макро-, микро- и нанокристаллического материала можно создавать различные варианты материалов изделий. При этом с помощью ФОП выполняется управление процессом на всех этапах технологического процесса, и обеспечиваются ФОС изделий.

В целом для создания макро-, микро- и нанотехнологий необходимы комбинированные методы обработки материала и изделий. Без этих технологий не возможно создание макро-, микро- и нанотехнологий, так как необходимо комплексно решать вопросы синтеза, размельчения и компактирования материала изделий.

Далее, в работе представлены особенности синтеза функционально-ориентированных технологий.

Функционально-ориентированная технология – это специальная наукоемкая технология, базирующаяся на функционально-ориентированном технологическом процессе и обеспечении, которые позволяют ориентировать технологические воздействия и управлять свойствами изделия при изготовлении в зависимости от функциональных особенностей его эксплуатации в технической системе, выполняемые на основе группы особых принципов ориентации по уровням “глубины” технологии.

Функционально-ориентированный подход дает возможность вести управление процессом на всех этапах универсального технологического процесса. При этом он дает возможность вести синтез свойств материала изделия в зависимости от особенностей его эксплуатации в технологической системе.

Рассмотрим некоторые особенности синтеза функционально-ориентированных технологий [7, 8, 9].

На рис. 6 показаны основные этапы синтеза функционально-ориентированных технологических процессов. Здесь методика проектирования функционально-ориентированных технологических процессов не является отдельным монолитным этапом. Она представляет собой один из шагов на пути последовательной итеративной разработки технологического процесса. При этом последовательность и методология базируется на замкнутой рекуррентной структуре. Основные этапы синтеза функционально-ориентированных технологических процессов следующие:



Рис. 6. Основные этапы синтеза функционально-ориентированных технологических процессов

1. Анализ эксплуатационных особенностей изделия и составление структуры функций.
2. Деление изделия на функциональные элементы по уровням “глубины технологии” и их классификация.
3. Формирование структуры или маршрута технологического процесса на базе особых принципов ориентации.

На первом этапе выполняется анализ эксплуатационных функций, действующих на изделие в машине или технологической системе. При этом составляется структура эксплуатационных функций.

На втором этапе, в соответствии с действующими эксплуатационными функциями на изделие, выполняется деление изделия на функциональные элементы по уровням “глубины технологии”. На этом этапе составляется структура функциональных элементов изделия по следующим иерархическим уровням:

1. Уровень всей детали.
2. Уровень функциональных частей.
3. Уровень функциональных элементов.
4. Уровень функциональных зон.
5. Уровень макрозон.
6. Уровень микрозон.
7. Уровень нанозон.

После деления изделия на функциональные элементы выполняется их классификация по следующим параметрам: форма функциональных элементов, их габаритные размеры, необходимая точность, требуемая шероховатость, свойства материала и тому подобные параметры.

На третьем этапе синтеза функционально-ориентированных технологических процессов формируется структура или маршрут технологического процесса на базе группы особых принципов ориентации [7, 8]. При реализации функционально-ориентированных технологий, технологические воздействия орудий и средств обработки на изделия выполняются на местных уровнях.

Процесс изготовления изделий машиностроения на базе функционально-ориентированных технологий обеспечивает полную адаптацию свойств изделия при изготовлении к особенностям его эксплуатации в технологической системе. При этом реализуются заданные, требуемые или предельные свойства изделий.

Наиболее эффективны функционально-ориентированные технологии в условиях реализации комбинированных и гибридных методов обработки. При этом функционально-ориентированные технологии универсальны и могут применяться для синтеза макро-, микро и нанотехнологий.

Разработанная элементная база обеспечения композиционных технологий дает возможность проектировать различные варианты технологических процессов для конкретных изделий машиностроения.

Технологическое обеспечение композиционных технологий. В данной работе для реализации композиционных технологий разработано некоторое структурное и технологическое обеспечение. Можно отметить, что для каждого конкретного изделия и особенностей выполнения свойств разрабатывается свое технологическое обеспечение.

Можно перечислить это технологическое обеспечение, разработанное на кафедре “Технология машиностроения” ДонНТУ:

- установка для синтеза изделий с изменяющимися в пространстве свойствами (патент Украины на винахід №94197, патент Украины на корисну модель № 57611);
- способ электроискрового функционально-ориентированного комплексного легирования поверхности изделия и устройство для его осуществления;
- специальное оборудования кафедры “Технология машиностроения” для реализации композиционных технологий (пневмоструо-абразивная установка, ультразвуковая установка, вакуумная ионно-плазменная установка и другие системы);

– разработанные технологии для ремонта и восстановления лопаток газотурбинного двигателя вертолета ТВЗ-117, выполняемые на базе композиционных технологий.

Выводы: 1. В представленной работе разработан общий подход создания специальных композиционных технологий, базирующийся на композиции принципов и особенностей синтеза технологий различных типов. В основе процесса синтеза лежит многоуровневый процесс, базирующийся на оболочках 3-х уровней с итерационными и рекуррентными связями. Этот подход позволяет вести решение вопросов повышения качества изделий машиностроения по структуре технологического процесса и на каждой операции. При этом на базе функционально-ориентированного подхода обеспечивается возможность управления свойствами изделия и его элементов в зависимости от особенностей эксплуатации изделий.

2. Выполненные исследования позволили разработать элементную базу обеспечения композиционных технологий. Элементная база композиционных технологий основывается на принципах синтеза комбинированных (гибридных) технологий; принципов макро-, микро- и нанотехнологий; принципов функционально-ориентированных технологий. В работе выполнен анализ этих этапов и представлены некоторые особенности их синтеза.

3. В работе установлены основные закономерности и связи между элементами структуры композиционных технологий, которые выполняются на базе итерационных и рекуррентных связей.

4. Предложены конкретные варианты технологических процессов, базирующихся на основных принципах синтеза композиционных технологиях.

1. Базров Б.М. *Модульные технологии*. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. 2. Суслов А.Г. *Технология машиностроения: учеб. для студ. машиностроит. спец. вузов*. – М.: Машиностроение, 2004. – 400 с. 3. Хейфец М.Л. *Проектирование процессов комбинированной обработки*. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с. 4. *Физико-технологические основы методов обработки / под ред. А.П. Бабичева*. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 409 с. 5. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. *Методика и основные принципы синтеза функционально-ориентированных вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия*. – М.: Машиностроение, 2005. – №7. – С. 3 – 9. 6. Гусев А.И. *Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии*. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с. 7. Михайлов А.Н. *Основы синтеза функционально-ориентированных технологий*. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. 8. Михайлов А.Н. *Общий подход в создании функционально-ориентированных макро-, микро- и нанотехнологий для изделий машиностроения / Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12–17 сентября 2011 г.: в 4 т.* – Донецк: ДонНТУ, 2011. – Т. 2. – С. 209 – 217. 9. Mikhailov A.N. *Synthèse des macro-, micro- et nanotechnologies dans des constructions mécaniques / Les problèmes contemporains de la technosphère et de la formation des cadres d'ingénieurs // Recueil des exposés des participants de la V Conférence internationale scientifique et méthodique à Tabarka du 06 au 15 octobre 2011*. – Donetsk: UNTD, 2011. – P. 27–33.