

УДК 621.7

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ***д-р техн. наук, доц. В.Ю. БЛЮМЕНШТЕЙН**(Кузбасский государственный технический университет, Кемерово, Россия)*

Представлены результаты исследований технологического наследования параметров качества поверхностного слоя деталей в виде информационной системы знаний и закономерностей. Научной основой модели является совокупность знаний в виде механики технологического наследования, которая базируется на представлениях о жизненном цикле и непрерывности процессов накопления деформаций и истощения запаса пластичности металла в поверхностном слое деталей машин при механической обработке и последующей эксплуатации.

На этапе физической реализации результатов проведено преобразование комплекса аналитических моделей в структурные модели и алгоритмы, приемлемые для технологического проектирования. Это позволило использовать модели для разработки базы данных и решения задач автоматизации проектирования технологий упрочняющей механической обработки с учетом технологического наследования.

Разработка информационной системы (ИС) обеспечения качества поверхностного слоя и долговечности деталей на основе учета явления технологического наследования проводилась с использованием CALS-технологий, что позволило:

1) разработать стратегию повышения эффективности упрочняющих технологических процессов (ТП) на всех стадиях жизненного цикла изделия за счет информационной интеграции и преемственности информации;

2) разработать набор интегрированных информационных моделей как жизненного цикла (ЖЦ) изделия, так и выполняемых в его ходе процессов изготовления и эксплуатации, производственной и эксплуатационной среды и пр.;

3) использовать для описания ЖЦ феноменологический подход, предполагающий непрерывность накопления повреждений и истощения запаса пластичности по ходу технологического процесса изготовления и эксплуатации детали;

4) всесторонне описать явление технологического наследования (ТН) с феноменологических позиций и предложить новую методологию проектирования упрочняющих технологических процессов;

5) обеспечить условия для решения задач автоматизации проектирования технологических процессов за счет стандартизации описания моделей.

Научной основой ИС является совокупность знаний, представленная в виде механики технологического наследования, которая базируется на представлениях о жизненном цикле и непрерывности процессов накопления деформаций и истощения запаса пластичности металла в поверхностном слое деталей машин при механической обработке и эксплуатации [1]. При этом каждая операция механической обработки или последующей эксплуатации выделяется как стадия нагружения; каждая стадия приводит к возникновению очага деформации (ОД), который формируется под воздействием режима нагружения, а его состояние адекватно описывает состояние поверхностного слоя. Очаг деформации идентифицируется на каждой стадии нагружения и является носителем наследственной информации; его форма, размеры и состояние полностью и адекватно определяются ранее накопленными (наследуемыми) свойствами. Стадии нагружения разбиваются на ряд этапов квазимонотонной деформации, которые определяют закономерности накопления и заживления дефектов в металле поверхностного слоя детали.

На производственных и эксплуатационных стадиях ЖЦ, включая резание, поверхностное пластическое деформирование (ППД) и эксплуатационное нагружение в условиях приложения циклических нагрузок, происходит непрерывное накопление пластических деформаций, постепенное истощение запаса пластичности, возникают и трансформируются остаточные напряжения и формируется поверхностный слой с определенными наследуемыми свойствами. При накоплении предельных деформаций и полном истощении запаса пластичности металла в поверхностном слое детали возникает несплошность в виде трещины, поведение которой в дальнейшем описывается в категориях механики разрушения.

Интенсивность протекания этих явлений зависит от программ нагружения металла (ПН), представляющих собой зависимость степени деформации сдвига Λ от показателя схемы напряженного состояния Π в виде $\Lambda = \Lambda(\Pi)$ [2]. Оценка ПН проводится на основе расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) очага деформации. Программа нагружения зависит от истории процесса пластической деформации, которая описывается в категориях ПН в предшествующие временные периоды в виде $\Lambda = \Lambda(\Pi(t))$ и определяется режимами обработки и эксплуатации деталей машин.

Технологическое наследование представляется в категориях ненаследуемой (залечиваемой, непереносимой, обратимой) и наследуемой (незалечиваемой, переносимой, необратимой) поврежденности или в категориях степени исчерпанного и остаточного запаса пластичности Ψ .

Оценка степени исчерпания запаса пластичности (СИЗП) металла проводится с помощью различных феноменологических критериев поврежденности, деформируемости или пластичности, общим для которых является представление их в виде интегрального соотношения накопленных и предельных свойств.

Анализ показал, что задачам технологического наследования в наибольшей мере отвечает критерий, предложенный Ю.Г. Калпиным и Ю.К. Филипповым; при этом данный критерий учитывает историю нагружения металла [3]. В неупрочненном металле $\Psi = 0$, а при полном исчерпании запаса пластичности $\Psi = 1$.

Механика ТН представлена в виде комплекса структурных, аналитических, функциональных и статистических моделей процессов и состояний:

- функциональной модели механики технологического наследования [4];
- модели процесса исчерпания запаса пластичности на стадиях жизненного цикла изделия [5];
- онтологической модели технологической наследственности с позиций программ нагружения очагов деформации на стадиях резания и поверхностного пластического деформирования;
- модели состояний поверхностного слоя в категориях механики технологического наследования и сигналов акустической эмиссии и других.

На этапе физической реализации результатов исследований требуется преобразование комплекса научных моделей в структурные модели и алгоритмы, приемлемые для технологического проектирования. С этой целью функциональная модель механики технологического наследования [4] была расширена и описана в терминах и категориях технологии машиностроения. При этом модель механики ТН является составной частью или подфункцией функции более высокого уровня.

Главная цель этапа физической реализации - обеспечить требуемую долговечность изделия на стадиях механической обработки и в процессе эксплуатации. Поэтому описание выглядит следующим образом (рис. 1):

1. Контекстная функция - «Разработать технологический процесс (ТП) упрочняющей обработки, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя (ПС) изделия с учетом ТН», - включает анализируемые стадии жизненного цикла изделия, включая усталостное нагружение и возможные технологии по частичному восстановлению запаса пластичности.

2. Ресурс - «Базовая информация», под которой понимают информацию, содержащуюся в конструкторских документах на изделие (чертежи деталей, спецификации, технические требования, технические условия приемки изделия, описания конструкции изделия и его служебного назначения), и программу выпуска (определяет тип производства и форму его организации).

3. Продукт - «Технологический процесс, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя детали с учетом технологической наследственности». Четыре стрелки означают оценку этого состояния после выполнения различных этапов эксплуатационного (усталостного) нагружения.

4. Управляющее воздействие - «РИ» и «ИН». Руководящая информация (РИ) включает данные, содержащиеся в стандартах всех уровней на технологические процессы и методы управления ими, оборудование и оснастку (ГОСТ, ЕСТПП, ЕСТД, ССБТ, СРПП и др.), документации на перспективные ТП и производственных инструкциях. История нагружения (ИН), - информация, представленная в различных категориях и отражающая состояния объекта в предшествующие периоды времени.

5. Механизм реализации функции - «Разработчик» и «Режим». Это следует понимать так: технологический процесс механической обработки и эксплуатации формирует исполнитель, а обеспечивает выполнение этой технологии выбранный (назначенный, рассчитанный) режим нагружения поверхностного слоя изделия.

6. Вызов (запрос) - «БДТН» (база данных технологической наследственности, представляющая собой электронное хранилище данных, содержащее информацию о правилах формирования очагов деформации, наследственных программах нагружения, режимах резания, ППД и усталостного нагружения, средствах технологического оснащения и др.).

Итогом выполнения анализируемой функции является получение поверхностного слоя с требуемыми параметрами, обеспечивающего получение заданной долговечности изделия на стадии усталостного нагружения с учетом технологического наследования.

Проведена декомпозиция контекстной функции, выделены те блоки, которые представляют интерес с позиций обеспечения долговечности (рис. 2). При этом имеется в виду, что методология проектирования

технологического процесса хорошо разработана и ее рассмотрение выходит за рамки данного исследования. Поэтому здесь представлены только те блоки, которые позволяют оценить роль ТН в проектировании технологии (таблица).

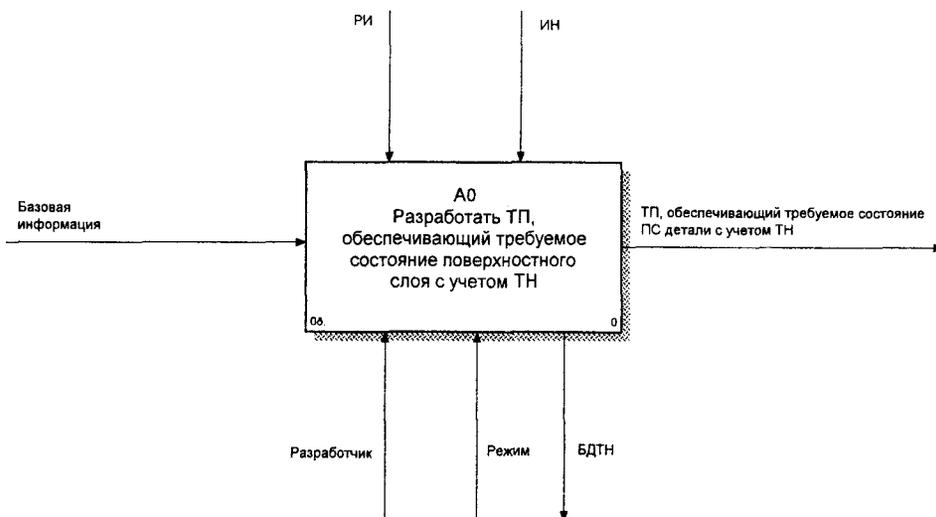


Рис. 1. Функциональная модель формирования поверхностного слоя АО уровня. Родительский блок (ярлыки и семантика названий)

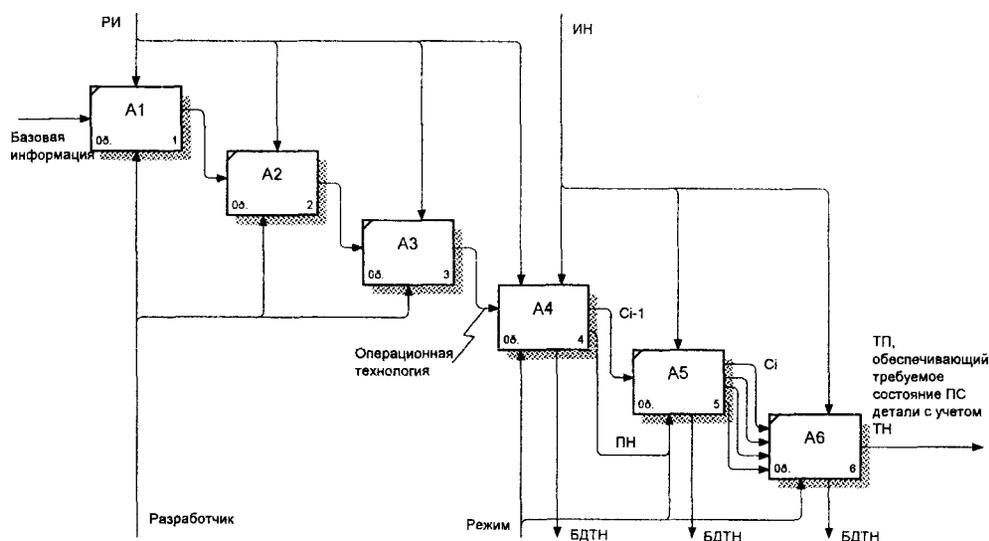


Рис. 2. Декомпозиция функциональной модели АО уровня

Схема индексации узлов

Индекс узла	Семантика узлов
АО	Разработать технологический процесс упрочняющей обработки, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя с учетом технологического наследования
A1, A2, A3, A4, A5, A6	Блоки-потомки, детализирующие родительский блок АО
A1	Выполнить анализ служебного назначения изделия, организационных и экономических условий его изготовления и эксплуатации
A2	Выполнить маршрутное описание технологического процесса
A3	Выполнить операционное описание технологического процесса
A4	Выполнить описание очага деформации (идентифицировать очаг деформации)
A5	Изменить состояние поверхностного слоя в очаге деформации
A6	Выполнить контроль технологического процесса

После формирования технологического процесса и назначения режимов обработки и эксплуатации по стадиям (операциям) проводится оценка их влияния на формирование очага деформации. Для успешного описания и анализа технологического наследования и его влияния на долговечность изделия проведена декомпозиция блока А4 (рис. 3).

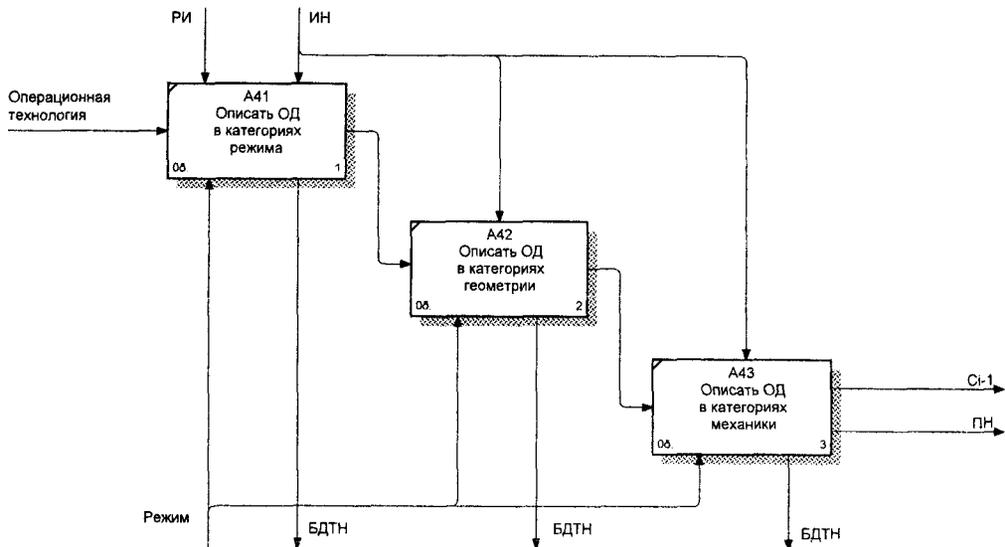


Рис. 3. Декомпозиция блока А4. Описание формирования очага деформации (идентификация очага деформации)

Задачи механики деформирования в наследственной постановке решены на аналитическом и эмпирическом уровнях с использованием методов делительных сеток, конечных элементов (МКЭ), линий скольжения, твердости и микротвердости и др. Таким образом, выходом блока А4 являются программы нагружения и состояния поверхностного слоя, описанные в категориях технологических и механических параметров.

В свою очередь, программы нагружения (ПН) используются блоком А5 в качестве механизма реализации функции по изменению состояния поверхностного слоя в очаге деформации с формированием представлений о запасе пластичности на каждой стадии нагружения. Итогом выполнения блока А5 является получение новых представлений о механике ТН, выраженных в категориях программ нагружения и показателя истощения запаса пластичности.

Блок А6 предполагает использование таких методов контроля, как акустическая эмиссия (АЭ) и ультразвуковая дефектоскопия. Применение этих методов обусловлено наличием тесных взаимосвязей параметров сигналов АЭ и ультразвуковой дефектоскопии с механическими параметрами очага деформации и поверхностного слоя, таких как степень деформации сдвига, показатель истощения запаса пластичности и др.

Особенностью рассматриваемой функциональной модели является возможность ее дальнейшего расширения и дополнения, например:

- по результатам проектирования ТП выявлена необходимость разработки новых методов механической обработки с вполне определенными возможностями в плане создания программ нагружения. Использование расчетных моделей позволяет сформулировать комплекс требований и совокупность технологических параметров. Тогда функциональная модель может быть декомпозирована, а информация уточнена до требуемого уровня детализации; система обратных связей позволяет уточнить правила ТН и внести уточнения в модели, учитывающие историю нагружения;

- появляется необходимость учета стадии ремонта детали, предполагающего частичное или полное восстановление запаса пластичности металла. Тогда, после выполнения функции контроля, вводится подфункция ремонта с соответствующей системой обратных связей и т.д.

На этапе внедрения научных разработок возможно расширение контекста и использование таких важных подфункций, как предпроектное обследование производства, экономическое обоснование привлекательности инвестиций в предлагаемую технологию, уточнение дополнительных организационных и технологических факторов, передача готового продукта заказчику и др.

Преобразование совокупности функциональных моделей в модель данных позволяет использовать их для решения задач автоматизации проектирования технологий упрочняющей механической обработки и усталостного нагружения, в частности разработки базы данных технологического наследования (БДТН) [6].

База данных технологической наследственности состоит из двух взаимосвязанных логических блоков.

Первый блок служит для ввода исходных данных, описывающих:

- материал, химический состав и механические свойства, включая кривую течения и диаграмму пластичности;

- исходную заготовку (точность, качество поверхностного слоя и др.);

- инструмент (вид, материал рабочей части, геометрия и др.);

- средства оснащения (оборудование, оснастка, средства механизации и автоматизации технологического процесса и др.);

- вид и режим нагружения поверхностного слоя;

- содержание каждой операции (каждой стадии нагружения);

- состояние очага деформации на каждой стадии нагружения;

- пооперационное состояние поверхностного слоя с учетом технологического наследования;

- пооперационное (постадийное) исчерпание запаса пластичности.

Второй блок является расчетным, позволяющим решать задачи в различных постановках:

- по заданной технологии определять перенос свойств с предшествующих операций на последующие и соответствующую накопленным свойствам долговечность изделия;

- по заданной долговечности формировать структуру технологического процесса обработки и эксплуатации;

- рационально распределять запас пластичности по стадиям нагружения с целью обеспечения максимальной долговечности;

- проектировать отдельные операции, обеспечивая требуемые параметры (например, при максимально возможной глубине упрочнения обеспечить «мягкие» эпюры тензора остаточных напряжений и максимально возможный остаточный запас пластичности).

База данных технологического наследования позволяет накапливать и систематизировать исходные данные в виде таблиц, текстов, графиков, диаграмм, аналитических моделей и др., преобразовывать их в формы, требуемые для проведения расчетов, сохранять результаты расчетов и др.

Использование БДТН обеспечивает условия для решения задач автоматизированного проектирования технологических процессов, разработки экспертных систем и систем автоматизации научных исследований.

Система обеспечения качества поверхностного слоя изделия рассматривается нами как подсистема более общей структуры - системы обеспечения качества продукции на машиностроительном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюменштейн В.Ю. Повышение качества изделий машиностроения на основе принципов механики технологического наследования // Проблемы повышения качества промышленной продукции: Сб. тр. 3-й междунар. науч.-техн. конф. - Брянск, 1998. - С. 126 - 128.
2. Смелянский В.М., Блюменштейн В.Ю. Трансформация программ нагружения и исчерпание ресурса пластичности поверхностного слоя деталей на стадиях механической обработки // Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением: Сб. науч. тр. Ч. 2. - Тула: ТГУ, 2001. - С. 62-69.
3. Филиппов Ю.К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой // Кузнечно-штамповочное производство. - 1999. - № 2. - С. 3 - 9.
4. Смелянский В.М., Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Информационная поддержка жизненного цикла упрочненных поверхностной пластической деформацией деталей машин. Функциональная модель механики технологического наследования // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005. - № 1. - С. 14-23.
5. Блюменштейн В.Ю. Информационная поддержка жизненного цикла упрочненных поверхностной пластической деформацией деталей машин. Модель процесса исчерпания запаса пластичности металла на стадиях жизненного цикла детали // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2005. - № 2. - С. 17-22.
6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002620152. База данных технологического наследования (БДТН) / В.Ю. Блюменштейн, А.В. Журавлев; Заявка № 2002620126; Дата поступления 17 июля 2002 г.; Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2002 г.