

за ходом процесса обработки осуществляется посредством программируемого контроллера.

За достаточно короткое время выдержки на изделиях обеспечивается формирование диффузионного слоя глубиной 0,3 – 0,5 мм с заданной твёрдостью. Эти характеристики слоя обеспечиваются выбором режима обработки по давлению в камере, концентрации азота в газовой смеси, параметрами разряда и алгоритмом изменения концентрации азота в ходе процесса и автоматизированным контролем режимом обработки.

УДК 658. 512: 621. 923

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА И ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЯ

А.С. Васильев<sup>1</sup>, А.И. Кондаков<sup>1</sup>, С.А. Клименко<sup>2</sup>,  
Л. Танович<sup>3</sup>, М.Л. Хейфец<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup>Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев

<sup>3</sup>Белградский университет, Сербия

<sup>4</sup>Президиум НАН Беларуси, Минск

*Рассмотрены методы технологического управления наследованием эксплуатационных свойств деталей, включающие: измерения параметров наиболее ответственных деталей; определение механизмов технологического наследования на основе коэффициентов передачи и взаимовлияния эксплуатационных свойств; анализ технологических барьеров при интенсивных воздействиях потоками энергии, разработку мероприятий по управлению технологическими процессами.*

**Введение.** Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе и при эксплуатации, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов.

В технологической цепочке и на стадии эксплуатации существуют своего рода «барьеры». Некоторые технологические факторы преодолеть эти «барьеры» не могут и в таком случае их влияние на конечные свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие «барьеры» проходят, но при этом зна-

чительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо. Следовательно, процессом технологического и эксплуатационного наследования можно управлять, с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно – ликвидировать в его начале.

Многообразие свойств изделий, каждое из которых характеризуется соответствующим множеством показателей качества, является проявлением многосвязности технологических факторов при формировании качества изделия. Технические трудности, связанные с описанием многосвязных взаимодействий, при формировании множества показателей качества при обработке и упрочнении поверхностей изделия, а также в процессе его эксплуатации, могут быть преодолены на основе применения методологии принятия проектных решений.

Таким образом, понижение размерности при описании передачи свойств изделий в технологических и эксплуатационных процессах производится путем выделения параметров порядка и определения режимов состояния системы. После этого на каждом из режимов целесообразно рассмотреть взаимосвязи основных показателей качества изделия с определяющим параметром порядка и условия их устойчивого формирования.

**Структура взаимосвязей наследуемых свойств.** Функциональные модели многосвязных технологических сред позволяют в зависимости от постановки решаемой задачи осуществлять снижение ее размерности путем выделения множества существенных связей и подавления несущественных при сохранении корректности и адекватности.

Снижение чувствительности технологических и эксплуатационных сред к изменению условий реализации режимов производства и применения изделий позволяет с наименьшими затратами осуществлять направленное формирование показателей качества в жизненном цикле изделий машиностроения.

Технологический процесс изготовления и эксплуатации детали может быть представлен в виде графа, выделяющего заготовительные, черновые операции, чистовые и отделочные операции, а так же стадии эксплуатации. Граф, как правило, является ориентированным, а параметры качества взаимосвязаны между собой. Начальная вершина графа, при описании технологического процесса представляет собой заготовку. Конечная вершина – готовая деталь в эксплуатации. Ориентированные ребра графа показывают передачу эксплуатационных свойств детали при обработке. Передача ребра описывается коэффициентом наследования  $K$ , показывающим количественное изменение свойства и равным отношению предыдущих  $S_j$  и последующих  $S_{j+1}$  значений свойства:  $K = S_j/S_{j+1}$ .

Помимо прямой передачи свойств при технологическом наследовании целесообразно оценивать их взаимовлияние. Общую структуру про-

цессов можно представить как сложную многомерную систему, в виде последовательности изменения основных параметров качества детали. На вход технологической системы обработки поступают различные характеристики заготовки, а на её выходе обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик для готовой детали. Эти изменения определяются действием совокупности технологических факторов для каждой операции технологического процесса.

**Основные наследуемые показатели качества.** Для выявления основных наследуемых в эксплуатации показателей качества, посредством контроля которых целесообразно управлять технологическим процессом, проводится ABC-анализ, выделяющий по степени важности группы причин изменения в процессе эксплуатации начальных геометрических параметров поверхности и физико-механических характеристик материала.

ABC-анализ показал, что в большинстве случаев, уже в период обработки существенно меняется шероховатость и структура поверхностного рельефа. Волнистость и структура поверхностных слоев изменяются при установившемся изнашивании. Точность размеров и геометрическая форма поверхности остаются в пределах допустимых значений даже в начале стадии катастрофического изнашивания. Только остаточные напряжения и структура основного материала могут сохраняться до полного разрушения трущихся поверхностей.

Поэтому для изучения наследования выбираются оперативно и наименее трудоемко контролируемые физико-механические и геометрические показатели качества из начальной и конечной групп. При этом особое внимание уделяется показателям, претерпевающим существенные изменения в начале катастрофического изнашивания, связанного как с физико-механическими характеристиками материала, так и с геометрическими параметрами рельефа поверхности.

Изучение и управление технологическим и эксплуатационным наследованием предложенным методом контроля параметров качества проводится для деталей, отвечающих за ресурс изделия.

На основании расчетных результатов определяются коэффициенты передачи наследования и коэффициенты взаимовлияния технологического наследования.

Для оценки наследования по технологическому маршруту рассчитываются результирующие коэффициенты  $K_p$ , равные произведению соответствующих коэффициентов для эксплуатационных параметров качества по всей последовательности операций. Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях рассчитываются коэффициенты сравнения  $K_c$ , равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях.

**Технологические барьеры при передаче свойств.** Изучение последовательности воздействий концентрированными потоками энергии на операциях комбинированной обработки и анализ формируемых параметров качества поверхностей сопровождаются исследованием технологической наследственности диссипативных структур образующихся в процессах интенсивной обработки.

Формирование структур в процессах физико-химической обработки исследуется с позиций технологической наследственности, устойчивости параметров качества и производительности обработки.

Воздействия потоками энергии и вещества сообщают обрабатываемой поверхности импульсы, при этом скорость и ускорение их распространения фиксируются на всех участках прохождения импульсов. Так о скорости распространения энергии можно судить по распределению значений параметров упрочнения, а вещества по концентрации легирующих элементов по глубине поверхностного слоя. Величина энергии импульса пропорциональна площади, расположенной под кривой упрочнения, которую можно определить графическим интегрированием. Ускорение, то есть первая производная от скорости, получаемая графическим дифференцированием, характеризует величину и положение силы сопротивления проникновению импульса энергии в поверхностный слой. Поэтому вторую производную от импульса энергии по глубине поверхностного слоя  $\partial^2(P\tau)/\partial H^2$  можно рассматривать как технологический барьер.

Изучение технологических барьеров показывает, что они достаточно точно описываются нормальным законом распределения с различными величинами дисперсий. При упрочнении и разупрочнении барьеры располагаются по разные стороны от оси координат. При достаточной близости технологических барьеров совместное действие механических и тепловых потоков приводит к совмещению барьеров и термомеханическому упрочнению по всей глубине комбинированных воздействий. В результате нагрева увеличивается пластичность поверхностного слоя и деформации проникают на большую глубину. Увеличение зоны и степени деформации, сопровождающееся усилением поглощения тепла, препятствует прохождению и приближает границу распространения теплового потока к поверхности. Совместное действие механических и тепловых потоков приводит к совмещению технологических барьеров и по всей глубине воздействия происходят термомеханические процессы.

**Заключение.** Технологическое наследование эксплуатационных свойств в процессах изготовления деталей машин целесообразно описывать графом, отражающим коэффициенты передачи и взаимовлияния физико-механических и геометрических параметров. Для расчета коэффициентов наследования по степени значимости влияния рекомендуется последовательность параметров: твердость, отклонение формы, точность размеров и шероховатость рельефа поверхности детали.

Методы технологического управления и контроля наследованием эксплуатационных свойств деталей, включают: измерения физико-механических и геометрических параметров наиболее ответственных деталей; определение механизмов технологического наследования на основе коэффициентов передачи и взаимовлияния эксплуатационных свойств; анализ технологических барьеров при интенсивных воздействиях потоками энергии; разработку мероприятий для технологического управления технологическими процессами.

*Исследования частично поддержаны грантами БРФФИ: белорусско-российским T14P-198 и белорусско-сербским T14CPB-010.*

**УДК 629.033**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРИСАДОК ДЛЯ ПРИРАБОТКИ ТРУЩИХСЯ СОЕДИНЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ**

**А.Н. Васькович**

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

*Одним из наиболее перспективных направлений оптимизации процесса приработки являются эксплуатационные мероприятия, которые обеспечивают высокую интенсивность изнашивания, формирование оптимальной микрогеометрии поверхности деталей во время холодной обкатки с последующим максимальным снижением интенсивности изнашивания при горячей обкатке.*

В течение последних 20 лет из-за ликвидации специализированных ремонтных предприятий фактически все виды ремонтов двигателей и агрегатов трансмиссий выполняются в центральных ремонтных мастерских, несмотря на то, что ресурс при этом в 3-5 раз ниже ресурса, установленного нормативными требованиями.

Анализ данных по послеремонтному ресурсу отремонтированных двигателей показывает, что из-за неизбежных дефектов при ремонте, использования некачественных запасных частей, использования низкого качества топливо-смазочных материалов, большое количество отказов происходит в период эксплуатационной обкатки, а предельные значения износов деталей и зазоров в ресурсных сопряжениях наступают значительно раньше нормативных сроков. Таким образом, актуальность в изыскании способов сокращения послеремонтных отказов и повышения послеремонтного ресурса машин является [1].

Одним из способов решения указанной проблемы является разработка ускоренной обкатки ДВС применением рациональных наноматериалов, исключая образование задиров и заедания на поверхностях деталей особенно во время эксплуатационной обкатки. Необходимо отметить, что