

УДК 621.81.004.67

МОДУЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

канд. техн. наук, доц. А.П. КАСТРЮК, д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ
(Полоцкий государственный университет)

Определены конструкторские и технологические модули восстанавливаемых деталей на основании классификации их элементов. Приведено содержание технологических модулей, обеспечивающих восстановление геометрических параметров и эксплуатационных свойств конструктивных элементов деталей. Показан состав технологического процесса восстановления детали из технологических модулей и обоснована эффективность предложенной концепции.

Введение. Повышение мобильности и эффективности ремонтного производства с обеспечением нормативного качества продукции требует разработки новых форм его организации. Мобильность производства предполагает освоение ремонта машин и агрегатов новых видов в кратчайшее время за счет уменьшения объема подготовки производства (в том числе количества создаваемых средств технологического оснащения). Эффективность производства связана с уменьшением расхода производственных ресурсов в основном при восстановлении деталей. Нормативное качество ремонта машин обусловлено обеспечением в заданных пределах всех показателей технической документации.

При рассмотрении применяемых классификаций частей машин видно, что последние структурные элементы в них – это детали. Соответственно этим классификациям в машиностроении действуют процессы изготовления деталей: единичные, типовые и групповые. Учитывая специфику ремонта машин, дополнительно применяют подефектные и маршрутные процессы восстановления деталей [1; 2]. Заводы и участки, выпускающие многономенклатурную продукцию, не могут готовить производство для восстановления деталей каждого наименования по единичным технологическим процессам. Техническое противоречие может быть разрешено использованием модульных процессов и, соответственно, средств технологического оснащения модульного строения.

Цель данной работы состоит в повышении эффективности ремонтного производства за счет разработки и применения модульных процессов восстановления деталей.

Основная часть. В ранее представленной нами работе [3] предложена многомерная система отношений между деталями, их элементами и процессами восстановления этих элементов с выделением конструкторских и технологических модулей.

Конструкторский модуль детали – многократно повторяющийся элемент различных деталей (сходной формы, но с изменяющимися размерами), выполняющий одну и ту же элементарную служебную функцию. Анализ деталей ремонтного фонда показал, что при переходе от детали к детали конструктивные элементы повторяются: число восстанавливаемых конструктивных элементов деталей существенно меньше множества самих деталей. Например, при значительном разнообразии корпусных деталей они содержат такие конструкторские модули: стенки, стыки, направляющие элементы (плоские или цилиндрические), отверстия под подшипники и резьбовые отверстия. Каждому виду элементов деталей характерны свои условия работы, природа повреждений и восстанавливаемые свойства. Рассматривают такое число конструкторских модулей, чтобы из них можно было составить любую деталь машины (агрегата).

Восстанавливаемые детали $D^{(1)}, D^{(2)}, \dots, D^{(i)}, \dots, D^{(n)}$ (где $i = 1, \dots, n$) ремонтируемого агрегата включены в качестве элементов в левый столбец матрицы вида:

$$\begin{bmatrix} D^{(1)} \\ D^{(2)} \\ \dots \\ D^{(i)} \\ \dots \\ D^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1^{(1)} & K_2^{(1)} & \dots & K_j^{(1)} & \dots & K_m^{(1)} \\ K_1^{(2)} & K_2^{(2)} & \dots & K_j^{(2)} & \dots & K_m^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_1^{(i)} & K_2^{(i)} & \dots & K_j^{(i)} & \dots & K_m^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_1^{(n)} & K_2^{(n)} & \dots & K_j^{(n)} & \dots & K_m^{(n)} \end{bmatrix}$$

Каждая деталь включает конструкторские модули $K_j^{(i)}$ (элементы столбцов правой матрицы), число которых достигает m . Рассматривают только те конструкторские модули, которые имеют повреждения и подлежат восстановлению. Техническое состояние конструкторских модулей характеризуется геометрическими параметрами и эксплуатационными свойствами (таблица), при этом параметры и свойства обеспечиваются не во всем объеме деталей, а в некоторых их элементах.

Геометрические параметры и эксплуатационные свойства
восстанавливаемых деталей и способы их обеспечения

Параметры, свойства		Способы обеспечения
наименование	размерность	
Линейный размер	мм	Выбором металлорежущего оборудования на основе согласования допуска на размер детали с ценой деления лимба или точностью позиционирования дискретной системы ЧПУ
Угловой размер	градус угловой	
Форма элементов детали	мм	Ориентированием (базированием) заготовки относительно главного движения. Прямолинейностью направляющих станка. Жесткостью и точностью оборудования, выбором инструмента и режимов обработки
Взаимное расположение поверхностей	мм, градус; мм/мм	Ориентированием (базированием) заготовки относительно движения подачи. Правкой заготовки
Шероховатость поверхностей	$Ra; Rz$	Выбором инструмента, вида и режима обработки
Вид кривой опорной поверхности	v, b – параметры степенной аппроксимации опорной кривой	Приработкой трущихся поверхностей
Износостойкость трущихся поверхностей	мкм/ч, мкм/1000 км	Необходимым химическим, структурным и фазовым составом материала трущегося поверхностного слоя детали за счет выбора исходного материала покрытия, определения видов и режимов их нанесения, термической и механической обработки и использования приработочных материалов
Статическая прочность	МПа (предел прочности)	Восстановлением размеров поперечных сечений детали. Заделкой пробоин. Сваркой аварийных трещин
Усталостная прочность	МПа (предел выносливости)	Уменьшением влияния концентраторов напряжений (конструктивных элементов и шероховатости поверхности). Обеспечением необходимой дислокационной структуры материала Удалением материала с усталостными трещинами. Упрочнением материала в зоне технологических трещин. Созданием остаточных сжимающих напряжений
Жесткость	кН/мм, Нм/градус угловой	Повышением модуля упругости материала заготовки путем его объемного пластического деформирования
Дисбаланс	г·см	Распределением массы детали относительно осей вращения и инерции

Под *технологическим модулем* восстановления элемента детали подразумеваем множество технологических операций, необходимых для восстановления одного параметра или свойства геометрического модуля. Каждому конструкторскому модулю ставится в соответствие один или несколько технологических модулей в зависимости от числа восстанавливаемых геометрических параметров и эксплуатационных свойств:

$$[K_j^{(i)}] = [T\Gamma_1^{(i)}, T\Gamma_2^{(i)}, T\Gamma_3^{(i)}, T\Gamma_4^{(i)}, T\mathcal{E}_1^{(i)}, T\mathcal{E}_2^{(i)}, \dots, T\mathcal{E}_k^{(i)}], \quad (1)$$

где $T\Gamma_1^{(i)}, T\Gamma_2^{(i)}, T\Gamma_3^{(i)}$ и $T\Gamma_4^{(i)}$ – технологические модули соответственно для восстановления геометрического параметра (расположения, формы, размера и шероховатости) j -го конструкторского модуля i -й детали; $T\mathcal{E}_1^{(i)}, T\mathcal{E}_2^{(i)}, \dots$, и $T\mathcal{E}_k^{(i)}$ – технологические модули соответственно для восстановления 1-го, 2-го, ..., k -го эксплуатационного свойства указанного конструкторского модуля.

Количество видов технологических модулей намного меньше числа конструкторских модулей. Каждый технологический модуль в свою очередь требует для своей реализации применения различного оборудования, приспособлений и инструментов с затратами труда, материалов и энергии. Виды используемых средств технологического оснащения, а также виды и объемы потребления производственных ресурсов вариативны, зависят от видов восстанавливаемых элементов деталей, их размеров, требований к надежности и подлежат оптимизации.

Оптимизация технологических модулей. Технологический модуль состоит из ряда операций (рис. 1), каждая из которых может быть представлена различными видами. Например, операция типа «нанесение покрытия» может быть представлена такими ее видами: наплавка, напыление, химическое или электрохимическое нанесение и др. Учитывают лишь те операции, которые обеспечивают установленные ограничения по качеству и производительности. Связное подмножество разнотипных операций определяет один вариант технологического процесса. Наилучшее подмножество их определяют с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана [4], используя свойство аддитивности целевой функции по составным частям процесса.

Решают рекуррентное уравнение

$$Z_{i+1} = \min (\text{по всем вершинам графа}) [Z_{(i+1)-1} + Z_i], \tag{2}$$

где i – шаги решения; Z_i – затраты на выполнение i операций при условии, что они выбраны оптимальным образом; Z_{i+1} – затраты, отнесенные к $i+1$ операциям; $Z_{(i+1)-1}$ – затраты, отнесенные к присоединению $(i+1)$ -й операции процесса к i его операциям.

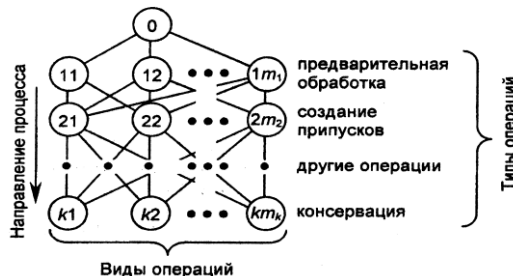


Рис. 1. Граф вариантов технологического процесса восстановления детали:
1, 2, ..., k – типы операций; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов операций каждого типа

Принцип оптимальности заключается в том, что, каково бы ни было состояние системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.

Из технологических модулей восстановления всех параметров и свойств детали составляют процесс ее восстановления (рис. 2).



Рис. 2. Схема технологического процесса восстановления детали

При этом технологические модули пройдут декомпозицию, а образовавшиеся их части в виде операций будут включены в блоки общего технологического процесса восстановления детали. Таким образом, однотипные операции (термической и механической обработки и др.) при обеспечении различных свойств детали объединяют в блоки операций и выполняют вместе. Однако технологический процесс восстановления деталей не простая сумма технологических модулей, а их система. Меньший объем работ обусловлен совмещением ряда механических и термических операций с сокращением числа установок заготовки.

Последовательность блоков технологического процесса подчинена уточнению геометрических параметров детали, а также накоплению и усилению необходимых ее свойств под влиянием вложенных материалов и энергии в ремонтную заготовку. Начальный блок операций включает предварительную обработку резанием элементов заготовки под установку дополнительных ремонтных деталей (ДРД), напыление и нанесение гальванических покрытий. Следующий блок операций включает нанесение восстановительных покрытий и установку ДРД. Если наносят покрытия наплавкой с большим вложением тепла в материал заготовки, то этот блок операций отделяют от остальной части процесса термической обработкой (отжигом), которая служит технологическим «барьером» для внутренних напряжений, роста зерна материала и деформации детали. Последующие блоки операций включают черновую обработку резанием, упрочняющую термическую (химико-термическую) обработку, поверхностное пластическое деформирование материала, чистовую обработку резанием и отделку. В заключительную часть общего процесса восстановления детали включают балансировку и восстановление ее массы, очистку от технологических загрязнений и контроль. Каждый из технологических модулей после оптимизации оформляют в виде типового технологического процесса операционного описания.

Сопоставлялись затраты на разработку технологической документации и средств технологического оснащения, связанных с подготовкой единичных и модульных процессов восстановления деталей типа валов. При малых объемах подготовки производства затраты на разработку модульных процессов и средств превышают затраты на разработку единичных процессов и средств. При росте объемов подготовки производства соотношение затрат изменяется в пользу модульных процессов и средств.

Системный эффект от применения предлагаемой организации выражается в уменьшении трудоемкости технологической подготовки ремонтного производства. Основной методологический принцип в организации работ заключается в применении ограниченного числа технологических модулей к восстановлению неограниченного количества деталей. Модульные процессы сводят к минимуму разнообразие технологической документации и средств технологического оснащения, исключают дублирование работ в области технологической подготовки ремонтного производства, позволяют повысить его серийность и организовать поточную организацию труда при меньших объемах выпуска продукции.

Заключение. Использование классификации конструктивных элементов восстанавливаемых деталей позволяет сократить объем подготовки ремонтного производства, выраженный количеством технологических документов и исполнительных агрегатов технологических машин. Определено содержание технологических модулей восстановления геометрических параметров и эксплуатационных свойств отдельных конструктивных элементов различных деталей. Эффект от использования предложенной концепции выражается в обеспечении нормативного качества восстанавливаемых деталей при меньших затратах на подготовку производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология авторемонтного производства: учебник / А.И. Асриянц [и др.]; под ред. К.Т. Кошкина. – М.: Транспорт, 1969. – 568 с.
2. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов: учебник / Б.С. Васильев [и др.]; под ред. В.А. Зорина. – М.: Мастерство, 2001. – 512 с.
3. Иванов, В.П. Новая концепция восстановления деталей / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2010. – № 8. – С. 3 – 10.
4. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман; пер. с англ. – М.: Иностран. лит., 1960. – 400 с.

Поступила 01.06.2012

MODULE PROCESSES OF COMPONENT RESTORATION IN REPAIR PRODUCTION

A. KASTRYUK, V. IVANOV

Design and technological modules of recoverable components are defined on the basis of classification of their elements. The content of technological modules is given, which provide restoration of geometric parameters and operating properties of the structural elements of components. The structure of the technological process of a component restoration from technological modules is shown and the efficiency of the proposed conception is justified.