

3. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 1985. – 416 с.
4. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. – Изд. 3-е. – М. : Высш. шк., 1966. – Ч. 1. – 439 с.
5. Перель Л. Я., Филатов А. А. Подшипники качения : справочник. – М. : Машиностроение, 1992.
6. Р 50-83-88. Рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Расчеты на прочность валов и осей. – Введ. 01.07.89. – URL : <http://www.opengost.ru/1998-r-50-83-88-rekomendacii-raschety-i-ispytaniya-na-prochnost.-raschety-na-prochnost-valov-i-osey.html> (дата обращения: 01.12.11).

\*\*\*

V. Yu. Puzanov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

E. V. Lukin, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

#### **The Worm Bearing Design Features for Spiroid and Nonorthogonal Worm Gearboxes Used in Pipeline Valves**

*Technical requirements for pipeline valve drives are given, design constraints and advantages/disadvantages of the typical designs for worm bearings are specified. Basic peculiarities considered when calculating forces and designing worm bearings are outlined.*

**Keywords:** designing, bearings, pipeline valve gearboxes

Получено: 02.11.11

УДК 658.512.2.001.56:681.3.06

С. А. Морозов, кандидат технических наук, доцент

О. В. Малина, доктор технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет

#### **РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

*Анализ множества существующих процессов обработки металлов давлением позволяет сделать вывод о том, что класс данных процессов по числу характеризующих его параметров и критериев может быть отнесен к сложно структурированным процессам. Развитие теории характеристического анализа позволяет построить модель процесса синтеза на основе оптимизированного комбинаторного перебора, в рамках которой уменьшается влияние человека на процесс проектирования, повышается уровень автоматизации интеллектуальной деятельности проектировщика.*

**Ключевые слова:** автоматизированное проектирование, ОМД, структурный синтез, комбинаторный перебор, разрешенные фигуры

Современное машиностроение невозможно без автоматизации всех проектных работ, включая разработку конструкции изделия и проектирование технологии его изготовления. Автоматизация проектирования позволяет добиться сокращения времени на разработку и изготовление нового изделия, повышения его качества,

снижения трудоемкости изготовления и себестоимости изделия и, как следствие, быстрого обновления номенклатуры изделий с учетом требования рынка.

Особенно остро задача автоматизации ставится при проектировании технологии изготовления, поскольку сама задача многопараметрическая и многокритериальная, а ее решение многовариантно. Оценить влияние множества параметров и критериев на выбор технологии специалисту без помощи ЭВМ трудно, а зачастую невозможно. Это и обуславливает актуальность задачи автоматизации технологической подготовки производства.

Одним из основных и наиболее перспективных способов производства заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей в заготовительном производстве является обработка металлов давлением (ОМД). Основными процессами обработки металлов давлением являются прокатка, прессование, волочение, ковка и штамповка [1]. При дальнейшей детализации рассмотрения любого процесса ОМД выявляется дополнительное множество параметров и критериев, которые в рамках формализации и автоматизации проектирования технологии становятся факторами влияния, определяющими структуру и содержание технологического процесса. В качестве примера, демонстрирующего многообразие факторов влияния, приведем процесс горячей объемной штамповки (рис. 1).



Рис. 1. Часть параметров и критериев, определяющих горячую объемную штамповку

Подобный и более подробный анализ большого числа технологических процессов ОМД [2, 3, 4, 5] позволяет сделать вывод о том, что в процессе автоматизации должен быть учтен очень широкий перечень факторов при низком уровне формализации, отсутствии сквозных методик и алгоритмов проектирования.

При автоматизированном проектировании технологических процессов в основном применяются три основные методики: метод прямого проектирования (активный документ); метод анализа (адресации, аналога) и метод синтеза.

При методе прямого проектирования подготовка проектного документа (технологической карты) возлагается на самого пользователя, выбирающего типовые решения различного уровня из базы данных в диалоговом режиме. Заранее создается

и заполняется технологическая база данных, включающая в себя информацию об имеющихся на предприятии заготовках, оборудовании, приспособлениях, инструментах и т. д. Выбранная пользователем из базы данных информация автоматически заносится в графы и строки шаблона технологической карты. По такому принципу, например, организована система «КОМПАС-АВТОПРОЕКТ» компании «Аскон» (Санкт-Петербург). Данный уровень автоматизации проектирования фактически автоматизирует процесс подготовки технологической документации, тогда как разработка технологий осуществляется человеком. Таким образом, качество созданной технологии зависти от уровня квалификации технолога.

Метод анализа основан на выборе типовых решений. Структура индивидуального технологического процесса не создается заново, а определяется составом и структурой соответствующего типового или группового технологического процесса. Далее осуществляется анализ необходимости каждой операции и перехода с последующим уточнением всех решений на уровнях декомпозиции «сверху – вниз». Использование данного метода на этапе разработки и адаптации САПР ТП к условиям конкретного предприятия предполагает большую подготовительную работу и оправдан для гибких производственных систем [6]. Примером таких систем являются САПР «ТехноПро», T-FLEX ОАО «Топ Системы» (Москва). При данном подходе автоматизации проектирования технологий за специалистом остается функция анализа предложенных технологических решений и возможность их корректировки. Качество проектирования опять определяется уровнем квалификации технолога.

В основе метода синтеза лежит автоматизация интеллектуальной деятельности человека по проектированию технологического процесса. В настоящее время системы САПР, использующие метод синтеза, характеризуются высокой степенью интеллектуализации процессов проектирования за счет программирования функциональных зависимостей предметной области [7, 8, 9]. Все эти системы различаются разнообразием методик проектирования технологий, принятых на различных предприятиях. Адаптация такой системы на другом предприятии связана, по существу, с изменением модели процесса синтеза системы, т. е. с написанием нового расчетного модуля системы, учитывающего методики проектирования технологий данного производства. Метод синтеза технологических процессов является наиболее перспективным направлением, если будут разработаны подходы к созданию универсальной системы проектирования.

В чем сложность создания универсальной системы автоматизированного проектирования технологий ОМД, реализующий метод синтеза? Во-первых, это отсутствие единых для всех предприятий методик проектирования технологии, во-вторых, отсутствие методик проектирования, позволяющих решать задачу синтеза в любой постановке, в-третьих, отсутствие модели процесса синтеза, инвариантной по отношению к зависимостям предметной области. Фактически это означает, что создаваемые САПР, как правило, имеют жестко заданный набор исходных данных и набор результатов, а методики, ориентированные на особенности конкретного предприятия, определяют последовательность вычислений и составляют, по сути, модель процесса синтеза технологии.

Решение данной задачи в указанной постановке возможно, если в качестве аппарата синтеза использовать переборные алгоритмы на множестве признаков, характеризующих технологии ОМД [10, 11]. Однако реализация данного подхода на ЭВМ сталкивается с проблемой проклятия размерности, суть которой состоит в том, что решение задачи требует нереальных затрат памяти для хранения вариан-

тов и затрат времени на процесс получения полного множества вариантов и на процесс анализа. Необходимым условием реализации данного подхода становится его оптимизация.

Оптимизация может быть осуществлена за счет управления процессом порождения новых вариантов, своевременным анализом и предотвращением получения запрещенных вариантов. Для реализации данного подхода введем ряд понятий и определений.

Причина нереализуемости уже сформированного варианта или любого промежуточного набора значений признаков (невозможное сочетание значений признаков, либо функцией) – запрещенная фигура. Устойчивые сочетания значений признаков, которые могут участвовать в переборе наравне с отдельными значениями – разрешенная фигура. Пока на множество вариантов, полученных путем комбинаторного перебора на множестве признаков, не наложены исходные ограничения, в анализе принимают участие абсолютно запрещенные фигуры, а в синтезе – относительно разрешенные. Наложение исходных ограничений фактически означает введение новых относительно запрещенных фигур и возможное сокращение разрешенных. Разрешенные фигуры, оставшиеся после наложения исходных ограничений, называются абсолютно разрешенными. Таким образом,  $Z = Z_{ab} \cup Z_{rel}$ , где  $Z_{ab}$  – множество абсолютно запрещенных фигур;  $Z_{rel}$  – множество относительно запрещенных фигур;  $R = R_{ab} \cap R_{rel}$ , где  $R_{ab}$  – множество абсолютно разрешенных и  $R_{rel}$  – множество относительно разрешенных фигур.

Помимо этого множество разрешенных фигур делится на два подмножества. Четкие разрешенные фигуры – это сочетание значений ( $R_{and} = \{r_{and}\}$ , где  $r_{and} = \{a_i\}$ ), нечеткие – это сочетание значений и признаков ( $R_{or} = \{r_{or}\}$ , где  $r_{or} = \{a_i\} \cup \{p_j\}$ ,  $i = \overline{1..N_{a_{or}}}$ ,  $j = \overline{1..N_{p_{or}}}$ ,  $N_{a_{or}}$  – число значений нечеткой разрешенной фигуры,  $N_{p_{or}}$  – число признаков нечеткой разрешенной фигуры). Возникновение второго типа разрешенных фигур связано с тем, что существуют признаки, значения которых однозначно определяют присутствие в исходном множестве синтеза подмножества других признаков. К таким признакам относятся признаки, определяющие наличие некоторого этапа в создаваемой технологии. Нечеткие разрешенные фигуры получили свое название в силу того, что они не определяют устойчивое сочетание значений признаков, характеризующее структуру объекта рассматриваемого класса, а конкретизируют множество признаков, подключаемых к процессу синтеза в том случае, если синтезируемый вариант содержит некоторое значение или группу значений, получивших название ключевых. К ключевым значениям признаков  $a_{key_i} \in A_{key}$  (где  $A_{key}$  – множество ключевых значений) относятся существенные значения признаков, сформулированных как «НАЛИЧИЕ (вид) структурообразующего модуля, имеющего собственную внутреннюю структуру». Следует отметить, что нечеткие разрешенные фигуры имеют причинно-следственный характер:  $\forall a_i (a_i \in A_{key}) \Rightarrow \exists P_j (P_j = \{p_e\}, P_j \subset P)$ , причем

$$\{a_i\} \cup P_j = r_{or_k}, (r_{or_k} \in R_{or}).$$

Таким образом, нечеткие разрешенные фигуры формируют кластеры в зависимости от значения некоторого признака – ключевого значения признака. Сами по

себе они не могут являться фрагментом какой-либо структуры, однако они сужают мощность множества признаков, участвующих в переборе, и конкретизируют его.

Кроме того, разрешенные фигуры разделяются на эмпирические и функциональные. Функциональные разрешенные фигуры – это одно из возможных проявлений реализации в процессе синтеза имеющихся в предметной области функциональных зависимостей. В сложно структурированных объектах одна и та же функциональная зависимость может выполнять и роль запрещенной, и роль разрешенной фигуры. Это будет зависеть от порядка следования признаков в процессе комбинаторного перебора. Если значения признаков, составляющие множество исходных данных рассматриваемой функциональной зависимости, будут определены и включены в перебор до признаков, составляющих множество результата, то признаки результата могут не включаться в переборный процесс, т. к. их значения будут вычислены по функциональной зависимости, т. е. сформирована разрешенная фигура. В тех случаях, когда значение признака, представляющего результат, сформировалось раньше, чем значение признаков – исходных данных (например, когда результат функциональной зависимости задан проектировщиком в качестве исходного параметра на проектирование структуры), функциональная зависимость преобразуется и выступает в роли функциональной запрещенной фигуры – критерия, по которому проверяется расчетное значение результата заданному. Все остальные разрешенные фигуры являются эмпирическими.

Удобным и наиболее оптимальным с точки зрения сокращения временных и аппаратных затрат на автоматизацию синтеза является метод [12], основанный на использовании запрещенных фигур. Суть его заключается в предотвращении появления запрещенных вариантов.

Использование рассмотренного метода для синтеза объектов средней степени сложности давало хороший эффект, однако для сложных объектов, в структуре которых альтернативная составляющая существенно превышает обязательную компоненту, его использование ведет к необоснованно возрастающему количеству запрещенных фигур, количеству пустых значений и количеству операций синтеза. Для исключения данного эффекта предлагается разбить все множество признаков на кластеры, соответствующие нечетким разрешенным фигурам, при этом не исключена операция вхождения одного кластера в другой. Такой подход позволяет определять помимо альтернативных значений признаков и альтернативные кластеры, одновременное присутствие которых в рамках одного варианта не представляется возможным. Формализовать данное действие не составит труда при совместном анализе множества признаков и обобщенного «И-ИЛИ» графа, на основании которого данные признаки были получены.

Получив подмножества признаков, соответствующих некоторым значениям, представим процесс создания системы и ее дальнейшее функционирование набором следующих этапов: формирование обобщенной графовой модели, множества признаков, нечетких разрешенных фигур-кластеров, множества относительно запрещенных фигур путем задания исходных ограничений; упорядочение значений признаков внутри кластера [13]; синтез наборов на множестве признаков каждого кластера; синтез наборов на множестве кластеров, не являющихся альтернативными.

Предложенный подход к построению системы автоматизации проектирования, по сути, является подходом, реализующим метод синтеза. Математическая модель процесса синтеза – комбинаторный перебор, знания предметной области, оформленные в виде функциональных зависимостей и статистических или иных данных,

полученных эмпирически (элементы информационной базы системы). Первоначальная настройка системы является достаточно трудоемким процессом наполнения информационной базы, последующая модернизация системы, настройка ее под конкретное производство, дополнение или исключение отдельных расчетов – это тоже лишь изменение информационной базы. Данные действия не приводят к необходимости изменения модели системы, переписыванию текстов программ.

#### Библиографические ссылки

1. Брюханов А. Н. Ковка и объемная штамповка. – М. : Машиностроение, 1975. – 408 с.
2. Там же.
3. Гибкие технологические системы холодной штамповки / С. П. Митрофанов [и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение, 1987. – 287 с.
4. Алиев Ч. А., Тетерин Г. П. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
5. Морозов С. А. Системы автоматизированного проектирования процессов ОМД // Заготовительное производство в машиностроении. – 2004. – № 11. – С. 26–29.
6. Гибкие технологические системы холодной штамповки.
7. Там же.
8. Алиев Ч. А., Тетерин Г. П. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки.
9. Морозов С. А. Системы автоматизированного проектирования процессов ОМД.
10. Левин М. Ш. Применение оптимизационных комбинаторных моделей в автоматизированных системах. – М., 1986. – 64 с.
11. Горбатов В. А. Характеризация. Исчисление семантик. Искусственный интеллект // Логическое управление с использованием ЭВМ : тез. докл. 13-го Всесоюз. симпоз. – М., 1990. – С. 3–7.
12. Малина О. В. Математическая модель процесса структурного синтеза объектов на дискретных структурах, исключающая порождение запрещенных вариантов / О. В. Малина, Н. А. Уржумов // Информационная математика. – 2005. – № 1(5). – С. 114–120.
13. Малина О. В. Оптимизация процесса структурного синтеза объектов средней степени сложности / О. В. Малина, Н. А. Уржумов // Вестник ИжГТУ. 2007. – № 1 (33). – С. 144–150.

\*\*\*

S. A. Morozov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

O. V. Malina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

#### Development of Approaches to Computer-Aided Design for Metal Deformation Processes

*Analysis of the variety of existing pressure metal forming processes carries inference that these processes can be related to complex structured processes according to the number of its characterizing parameters and criteria. Development of the theory of characterization analysis allows creation of the synthesis process model on the basis of an optimized combinatorial search, where the human influence on the design process is reduced and the automation level of the designer's intellectual activity is increased.*

**Key words:** computer-aided design, pressure metal forming, structural synthesis, combinatorial search, allowed figures

Получено: 01.12.11