

УДК 658.512.011.56: 621.735

ПРОТОКОЛЫ ДЕЙСТВИЙ И РАССУЖДЕНИЙ В САПР ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ

Канюков С.И., Коновалов А.В.

Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: avk@imach.uran.ru

Автоматизированное проектирование технологииковки различных видов поковок является достаточно сложным, трудоемким и трудно настраиваемым на реальные условия производства процессом. В статье на примере проектирования технологииковки валов предложена методика разработки протоколов действий и рассуждений программ – агентов, действующих в условиях слабой формализации задач проектирования технологических процессовковки, определены состав и полномочия агентов и общая стратегия их действий, разработан протокол коммуникации пары взаимосвязанных агентов с разными или равными статусами, описанный с использованием аппарата математической логики. Предложенный подход к разработке САПР технологииковки является пионерским в рассматриваемой предметной области, а полученные результаты – оригинальными, которые существенно облегчают настройку САПР на конкретные условия производства и могут быть использованы для разработки алгоритмов и программ автоматизированного проектирования технологииковки других видов поковок.

Ключевые слова: САПР технологииковки, агент, протокол действий, полномочия, коммуникация

ACTION MODELS AND REASONING PROTOCOLS IN CAPP FOR FORGING

Kanyukov S.I., Konovalov A.V.

Institute of Engineering Science, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, e-mail: avk@imach.uran.ru

The computer-aided design of forging different kinds of products is a process that is rather complex, labor consuming and hard to accommodate to the real conditions of production. The paper proposes a technique for developing action models and reasoning protocols of agent programs for poorly formalizable forging design problems with shaft forging design taken as an example. The paper determines the list of the agents, their authorities and the total strategy of their behavior and it develops a communication protocol for coupled agents with different or equal statuses described with the use of mathematical logic. The proposed approach to the development of CAPP for forging is pioneering in the subject area and the results obtained are original. They considerably simplify the setting of CAPP to the specific conditions of production and can be used to develop algorithms and software for computer-aided design of manufacturing other types of forgings.

Keywords: CAPP for forging, agent, action models authorities, communication, protocol

Результаты проектирования в САПР технологических процессов (ТП)ковки на молотах и прессах представляют собой набор значений технологических параметров, полученных либо в процессе решения технологических задач по заложенным в систему алгоритмам, либо в результате обработки воздействий пользователя. И в том, и в другом случае значения всех параметров должны находиться в определенных пределах, оговариваемых правилами проектирования технологииковки.

За значение каждого параметра и пределы этих значений отвечают соответствующие программы, которые в теории разработки мультиагентных систем принято называть агентами [2, 4].

В работе [4] агент определяется как элемент сообщества, который может воспринимать аспекты своего окружения и взаимодействовать с этим окружением. Под окружением в рассматриваемой предметной области следует понимать информацию о ковке, для которой проектируется технологический процесс, технологических правил проекти-

рования, действующих в условиях производства конкретного предприятия, и само сообщество агентов. Такое окружение называют динамичным (не стационарным) [2].

Каждый агент наделяется набором его возможных действий, из которых он должен выбрать, при отсутствии воздействия пользователя на этого агента, наиболее рациональное исходя из меры полезности этого действия для решения общей задачи.

Общей стратегией действий агента в момент времени t называют функцию f , отображающую набор пар наблюдение-действие до момента времени t в оптимальное действие y_t [2]:

$$f(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{t-1}, y_{t-1}, x_t) = y_t, \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_{t-1} – наблюдения агента за окружением в прошлом; y_1, y_2, \dots, y_{t-1} – действия агента в прошлом; x_t – наблюдения агента в момент времени t .

Цель настоящей работы состоит в определении состава и полномочий сообщества агентов, а также стратегии их действий в САПР ТПковки.

Протокол рассуждений и общая стратегия действий

В рассматриваемой предметной области приведенные выше общие рассуждения интерпретируются следующим образом. Допустим, что пользователь в какой-то момент времени t решил через соответствующего агента внести изменение в уже спроектированную в момент времени $t - 1$ карту технологического процесса $ТП_{t-1}$. Тогда рассуждения и действия, применяемые при реализации этого решения, можно представить в виде следующего протокола.

1. Карта $ТП_{t-1}$ уже содержит в себе всю историю наблюдений и действий всех агентов в прошлом.

2. Результатом реализации общей стратегии действий агента является не какое-то определенное действие, а множество Y_t его возможных действий.

3. Множеству возможных действий агента Y_t , если оно не пустое, соответствует множество Y_t^* значений параметра, за который данный агент отвечает и которые определяются по соответствующему алгоритму $\psi(Y_t)$. Множества Y_t и Y_t^* являются, таким образом, полномочиями агента, в пределах которых он обязан действовать.

4. Из множества Y_t^* агент по заложенной в него закономерности $\varphi(Y_t^*)$ или по команде пользователя выбирает конкретный результат y_t^* .

Таким образом, в САПР ТПковки общее выражение стратегии действий (1) принимает вид (2)

$$\begin{aligned} f(ТП_{t-1}, x_t) &= Y_t \neq \emptyset \Rightarrow \\ \Rightarrow \psi(Y_t) &= Y_t^* \Rightarrow \varphi(Y_t^*) = y_t^*, \end{aligned} \quad (2)$$

где x_t – наблюдения агента в момент времени t . При этом область наблюдений включает в себя технологические правила решения задачи, за которую данный агент отвечает и которые в общем случае зависят от $ТП_{t-1}$.

Если стратегия поведения агента в момент времени t зависит только от текущего наблюдения x_t , то такую стратегию называют реактивной, или стратегией без памяти [2]:

$$f(x_t) = Y_t \neq \emptyset \Rightarrow \psi(Y_t) = Y_t^* \Rightarrow \varphi(Y_t^*) = y_t^*. \quad (3)$$

В перечне задач, которые необходимо решать в САПР ТПковки, немалая доля приходится на так называемые трудно формализуемые задачи, которые опытный технолог при обычном (ручном) способе проектирования решает достаточно легко, а разработчики САПР вынуждены закладывать в систему приближенные алгорит-

мы и предлагать пользователям-технологам вносить свои исправления в полученные решения в режиме активного диалога. Для автоматизированного решения таких задач предусмотрены агенты с общей стратегией (2), основанной на применении:

– гибридного подхода, когда осуществляется поиск подходящих решений в базе данных уже спроектированных техпроцессов [3];

– генетических алгоритмов [4], способных по мере накопления опыта в процессе эксплуатации системы к самоусовершенствованию.

Подводя итог приведенным выше рассуждениям, сформулируем общие положения протокола выбора и действий агентов, управляющих САПР ТПковки.

1. Агентом является программа, решающая поставленную технологическую задачу в момент времени t , т.е. в конечном счете определяющая значение y_t^* технологического параметра y_t , за который данный агент отвечает, и способная изменять это решение под воздействием пользователя. Для удобства в дальнейшем агентам будем присваивать имена параметров, за которые они отвечают.

2. Состав всего сообщества агентов и стратегию их действий (2) или (3) определяет разработчик системы. Состав сообщества агентов определяется из условия достаточности этого сообщества, гарантирующего пользователю получение приемлемых решений в любых практических ситуациях. Стратегия действий агента выбирается в зависимости от степени формализации технологической задачи, которую этот агент решает, и меры полезности этих действий для решения общей задачи.

3. На первой стадии решения технологической задачи в момент времени t устанавливаются полномочия агента y_t в этот момент, т.е. определяется множество его возможных действий Y_t и, как следствие, множество результатов этих действий Y_t^* . Основой для определения этих множеств являются технологические ограничения в рассматриваемой предметной области, оговоренные в соответствующих инструкциях.

4. На следующей стадии из множества Y_t^* выбирается конкретное значение y_t^* параметра, за который агент отвечает. Такой выбор, если он не сделан пользователем, производится по соответствующим алгоритмам с учетом целей (меры полезности), преследуемых в процессе решения общей задачи проектирования технологического процесса.

Состав сообщества, полномочия и коммуникация агентов

Технологический процессковки в общем случае включает в себя три этапа [1, 5].

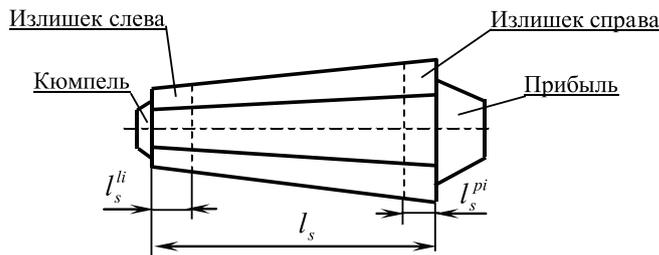
1. Выбор слитка – состоит в подборе слитка минимального веса, позволяющего изготовить из него требуемую поковку с учетом неизбежных технологических потерь.

2. Предварительная обработка слитка – в общем случае включает в себя сбитие граней с выбранного слитка (билетировку слитка) для удаления окалины, закатку цапфы

под захват манипулятора и обрубку излишков с прибыльной и донной частей, осадку слитка и его последующую протяжку в цилиндрическую заготовку (протянутый круг) с целью улучшения структуры металла.

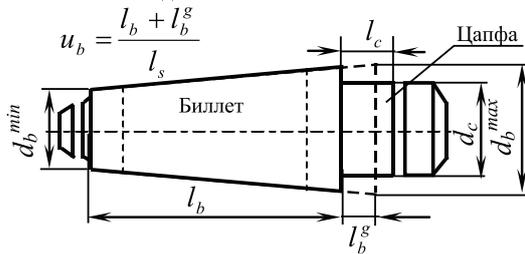
3. Окончательная обработка – заключается в последовательном преобразовании полученной заготовки (протянутого круга) в конечную поковку. Процесс формоизменения заготовки обычно производится за несколько нагревов (выносов). В каждом выносе может быть выполнено несколько операций формоизменения.

ИСХОДНЫЙ СЛИТОК

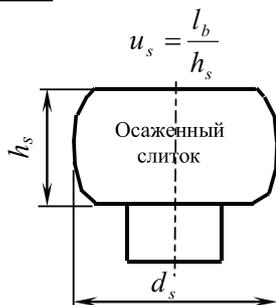


ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

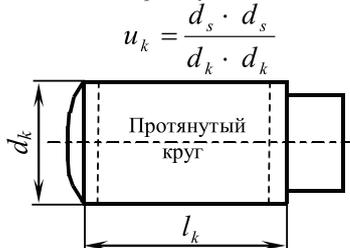
- I. Вынос**
1. Билетировать
 2. Закатать цапфу, отрубить излишек
 3. Отдавить кюмпель



- II. Вынос**
4. Осадить билет

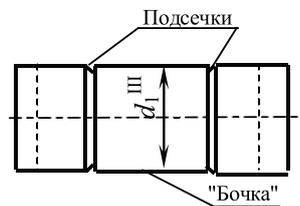


5. Протянуть

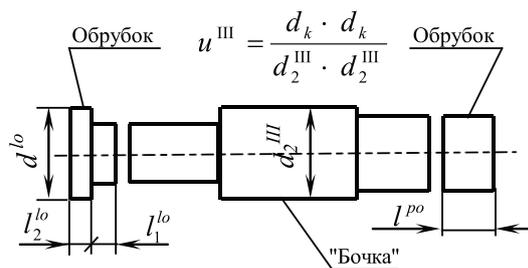


ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ

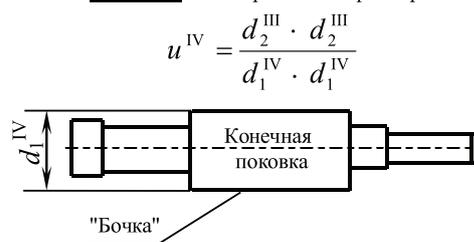
- III. Вынос**
6. Протянуть
 7. Разметить
 8. Подсечь уголок



9. Проковать ступени
10. Отрубить излишки



- IV. Вынос**
11. Проковать в размеры



Фрагмент ТПковки валов на прессах

На рисунке в качестве примера приведен фрагмент технологического процессаковки валов, где выносы пронумерованы римскими цифрами, а операции формоизменения – арабскими, все технологические операцииковки условно разбиты на две группы: подготовительные и основные, и в каждой последней операции выноса указывается значение уклона u – характеристики степени деформации заготовки в выносе.

Каждая технологическая операция, спроектированная в момент времени t , характеризуется конечными множествами Y_t^* значений Y_t параметров y_t . Для упрощения записей математических выражений индекс t в дальнейшем будем опускать.

Состав, протоколы полномочий и действий основных агентов технологического процессаковки валов в подготовительных операциях приведены в таблице.

В состав полномочий агента «Группа стали» включены: m_1 – углеродистые и низколегированные стали, m_2 – легированные и высоколегированные стали, m_3 – высокоуглеродистые, нержавеющей, жаропрочные и др. специальные стали.

Список возможных полномочий агента «Количество основных выносов» также определен заранее (0 – означает, что конечная поковка куется в подготовительном выносе, 5 – максимально возможное количество основных выносов).

Агент «Вес слитка» в технологииковки является наиболее важным, поскольку слиток определяет последующие решения всех технологических задач. Действия этого агента заключаются в выборе слитка исходя из номенклатуры слитков предприятия, веса исходной поковки и возможности проектирования техпроцесса для слитка выбранного веса. Заведомо не подходящие слитки отбрасываются, и из оставшихся слитков (множество Y^*) выбирается слиток минимального веса (экономия металла). Выбор слитка заканчивается расчетом отходов слева l_s^{li} и справа l_s^{pi} . Поскольку качество металла уменьшается от кюмпеля к прибыли, то мера полезности состоит в минимизации отходов со стороны кюмпеля.

Действия агента «Ковочная машина», групп агентов «Биллет», «Цапфа», «Осаженный слиток», «Протянутый круг» и агента «Обрубка кюмпеля» понятны из таблицы.

Состав, протоколы полномочий и действий агентов в основных операциях определяются аналогично.

Поскольку все параметры технологического процесса связаны между собой, изменение значений большинства из них после воздействий пользователя требует, как правило, повторного перепроектирования всего техпроцесса либо его части с учетом оказанных ранее воздействий [5].

Агенты в подготовительных операциях

Агент	Протокол полномочий Y^*	Протокол действий $\varphi(Y^*)$
Группа стали	$\{m_1, m_2, m_3\}$	Выбор по марке стали
Количество основных выносов	$\{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$	Расчет с применением гибридного подхода [3]
Вес слитка	$\{\text{номенклатура слитков}\}$	Выбор из номенклатуры слитков
Излишки l_s^{li}, l_s^{pi}	$[y_{\min}^*, y_{\max}^*]$	$l_s^{li} = y_{\min}^*, l_s^{pi} = y_{\max}^*$
Ковочная машина	$\{\text{список ковочных машин}\}$	Выбор из списка
Биллет Форма биллета $d_b^{\max}, l_b, l_b^g, u_b$	$[y_{\min}^*, y_{\max}^*]$	Выбор из списка Расчет по алгоритму
Обрубка кюмпеля	$\{\text{есть, нет}\}$	Расчет по алгоритму
Цапфа Наличие цапфы l_c, d_c	$\{\text{есть, нет}\}$ $\{\text{список цапф}\}$	Расчет по алгоритму Выбор из списка
Осаженный слиток Наличие осадки d_s, h_s, u_s	$\{\text{есть, нет}\}$ $[y_{\min}^*, y_{\max}^*]$	Решение по технологическим инструкциям с применением генетического алгоритма
Протянутый круг Операция протяжки d_k, l_k, u_k	$\{\text{есть, нет}\}$ $[y_{\min}^*, y_{\max}^*]$	Решение по технологическим инструкциям с применением генетического алгоритма

Рассмотрим пару взаимосвязанных агентов y_1 и y_2 . Допустим, пользователь оказал воздействие $V(y_2)$ на агента y_2 , т.е. изменил значение параметра, за который этот агент отвечает, и это воздействие вошло в противоречие в процессе перепроектирования с его воздействием $V(y_1)$ на другого агента y_1 , уже оказанного ранее. Чтобы решить, какое действие должен в этом случае выполнить агент y_2 , отвергнуть предыдущее и принять последнее воздействие $\bar{V}(y_1) \vee V(y_2)$ или оставить его и отменить последнее воздействие $V(y_1) \vee \bar{V}(y_2)$, необходимо для каждого агента определить его статус $S(y_1), S(y_2)$ (числовой показатель его значимости в сообществе агентов) и установить его взаимосвязи с другими агентами. По существу, речь идет о коммуникации (кооперации) агентов [2] в мультиагентной САПР ТПковки, когда каждый из агентов решает свою частную задачу (с учетом планов и возможностей других агентов) во имя решения общей задачи, получаемого (R) или не получаемого (\bar{R}) после интеграции частных решений.

В САПР ТПковки принято следующее правило коммуникации для пары взаимосвязанных агентов: из двух взаимоисключающих воздействий принимается воздействие на агента, статус которого выше, при равенстве статусов агентов принимается последнее оказанное воздействие.

Таким образом, протокол коммуникации пары взаимосвязанных агентов можно записать с использованием аппарата математической логики.

$$\begin{aligned} V(y_1) \vee V(y_2) \vee R &\Rightarrow V(y_1) \vee V(y_2); \\ V(y_1) \vee V(y_2) \vee \bar{R} \vee S(y_1) > S(y_2) &\Rightarrow \\ &\Rightarrow V(y_1) \vee \bar{V}(y_2); \\ V(y_1) \vee V(y_2) \vee \bar{R} \vee S(y_1) \leq S(y_2) &\Rightarrow \\ \Rightarrow \bar{V}(y_1) \vee V(y_2) \vee R &\Rightarrow \bar{V}(y_1) \vee V(y_2); \\ V(y_1) \vee V(y_2) \vee \bar{R} \vee S(y_1) \leq S(y_2) &\Rightarrow \\ \Rightarrow \bar{V}(y_1) \vee V(y_2) \vee \bar{R} &\Rightarrow V(y_1) \vee \bar{V}(y_2). \end{aligned}$$

Заключение

Автоматизированное проектирование технологииковки является достаточно сложным, трудоемким и трудно настраиваемым на реальные условия производства процессом. Описанная в настоящей статье методика разработки протоколов действий и рассуждений прошла апробацию на при-

мерах проектирования реальных технологических процессовковки валов и может быть использована для разработки алгоритмов и программ автоматизированного проектирования технологииковки других видовпоковок.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований УрО РАН № 7, проект 15-7-1-9 и при поддержке гранта РФФИ № 13-07-00531-А.

Список литературы

1. Антрошенко А.П., Федоров В.И. Металло-сберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. – Л.: Машиностроение, 1990. – 279 с.
2. Гуревич Л.А., Вахитов А.Н. Мультиагентные системы // Введение в Computer Science. – 2005. – С. 116–139.
3. Канюков С.И., Арзамасцев С.В., Коновалов А.В. Применение гибридного подхода в автоматизированном моделировании переходовковки валов на прессах // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – № 2. – С. 35–40.
4. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: пер. с англ. – 4-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
5. Трубин В.Н., Макаров В.И., Орлов С.Н., Шипицин А.А., Трубин Ю.В., Лебедев В.А. Система управления качеством проектирования технологических процессовковки. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.

References

1. Antroshenko A.P., Fedorov V.I. Metallo-sberegajushhie tehnologii kuznechno-shtampovochного proizvodstva. L.: Mashinostroenie, 1990. 279 p.
2. Gurevich L.A., Vahitov A.N. Multiagentnye sistemy // Vvedenie v Computer Science. 2005. 116–139 p.
3. Kanjukov S.I., Arzamascev S.V., Konovalov A.V. Primenenie gibridnogo podhoda v avtomatizirovannom modelirovanii perehodov kovki valov na pressah // Kuznechno-shtampovoechnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. 2013. no. 2. pp. 35–40.
4. Ljoger D. F. Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody reshenija slozhnyh problem, 4-e izdanie. Per. s angl. M.: Izdatel'skij dom «Viljams», 2003. 864 p.
5. Trubin V.N., Makarov V.I., Orlov S.N., Shipicyn A.A., Trubin Ju.V., Lebedev V. A.. Sistema upravlenija kachestvom proektirovanija tehnologicheskikh processov kovki. M.: Mashinostroenie, 1984. 184 p.

Рецензенты:

Петунин А.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования, заместитель директора по научной работе механико-машиностроительного института, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург;

Суханов В.И., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой программных средств и систем факультета уксоренного обучения, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 10.04.2015.