

Ситуационное управление процессом автоматизированного проектирования технологии ковки

*С.И. Канюков,
с.н.с., к.т.н., доц., ksi@imach.uran.ru,
А.В. Коновалов,
зав. лаб., д.т.н., проф., avk@imach.uran.ru,
О.Ю. Му́земнек,
с.н.с., к.т.н., olga@imach.uran.ru,
А.С. Партин,
с.н.с., к.т.н., lmd@imach.uran.ru,
Ю.В. Халевицкий,
м.н.с., me@dijkstra.ru,
ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург*

В работе описываются принципы построения системы ситуационного управления процессом проектирования в САПР технологических процессов ковки на примере ковки валов на прессах. Разработана система классификации корректируемых технологических параметров и управляющих воздействий на них и определена взаимосвязь параметров управления и управляющих воздействий. Для описания использован аппарат математической логики.

Полученные результаты позволяют повысить устойчивость работы системы в изменяющихся производственных условиях, что значительно упрощает ее внедрение на различных предприятиях, а также создают предпосылки для разработки генетических алгоритмов проектирования технологии ковки, когда по мере накопления в процессе эксплуатации системы результатов проектирования оказанные управляющие воздействия систематизируются и автоматически используются системой для уточнения соответствующих алгоритмов.

The work presents main development principles of a situational design control system in an computer-aided process planning software for forging technological processes. In the scope of this work press forging of shafts is considered as the example. A classification for the adjustable process parameters and control effects on these parameters is developed. The relationship of control parameters and control effects is defined with the use of the mathematical logic theory.

Obtained results allow one to increase the stability of system operation under changing manufacturing conditions, which greatly simplifies the implementation of the system in various enterprises. The results create conditions for the development of genetic algorithms for forging technology design. In this case, the design results are accumulated during the system operation. Control effects that cause these design results are systematized and then automatically used to refine appropriate algorithms.

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) ковки различных видов поковок на молотах и прессах [1–3] предусматривают возможность внесения пользователями корректировок в результаты проектирования, полученные в автоматическом режиме. Результаты проектирования заносятся в карту технологического процесса ковки и взаимосвязаны между собой. Корректировка любого из них, как правило, требует повторного перепроектирования всего технологического процесса в уже определенной ситуации, т.е. с учетом внесенных ранее корректировок.

В данной работе рассматриваются принципиальные вопросы ситуационного управления [4-6] САПР ТП ковки на примере ковки валов на прессах, связанные с организацией активного диалога пользователя с системой, когда объектом управления является процесс проектирования технологии ковки, который всегда происходит в определенных производственных условиях, т.е. в конкретной среде проектирования.

В качестве модели объекта управления выступает карта технологического процесса ковки, которая отражает все особенности спроектированного технологического процесса и является одним из возможных решений поставленной задачи. Моделью среды является база нормативно-справочной информации (НСИ), включающая в себя данные о номенклатуре слитков, основном и вспомогательном оборудовании, инструментах, режимах нагрева и охлаждения, нормы на угары и уковы по выносам и др. Цель управления объектом состоит в получении технологии изготовления качественной поковки с минимальными материальными и энергетическими затратами.

Первоначально на основе моделей поковки и среды осуществляется проектирование технологического процесса ковки в автоматическом режиме, которое выполняется пакетом проектирующих программ САПР ТП ковки в блоке реализации решений.

Если полученное решение (модель объекта управления) удовлетворяет требованиям, предъявляемым пользователем, то поставленная цель достигнута. Если же цель не достигается, то необходимо произвести корректировку решения, реализуя некоторое управляющее воздействие (в дальнейшем воздействие) на модель объекта управления. Это воздействие выбирается пользователем на основе физических представлений о предметной области, моделей среды и объекта управления и передается в блок принятия решений, который реализован пакетом контролирующих программ САПР ТП ковки.

Задача блока принятия решений состоит в проверке оказанного воздействия на корректность в двух аспектах. Во-первых, необходимо выполнить проверку на синтаксис, когда воздействие представляет собой значение, набранное пользователем, а не выбранное из предложенного системой списка. Во-вторых, требуется проверить воздействие на попадание в соответствующий ему доверительный интервал своих значений. Под доверительным интервалом здесь понимаются границы значений, в которых должно находиться каждое воздействие в соответствии с технологическими инструкциями на проектирование. Если оказанное воздействие в результате проверки является корректным, то информация о воздействии передается в блок реализации решений, который осуществляет перепроектирование технологического процесса с учетом всех оказанных на данный момент воздействий. В

противном случае воздействие отвергается. При этом, если последнее воздействие не вступает в противоречие в процессе перепроектирования с воздействиями, оказанными ранее, то оно признается технологичным и модель объекта управления переводится в новое состояние. Пользователь может оценить это, наблюдая модель объекта управления и сравнивая ее с целью проектирования. Результат такого наблюдения и сравнения инициирует либо новые воздействия на модель объекта управления в случае, когда цель не достигается, либо завершение работы в случае, когда цель достигнута.

Если же последнее воздействие при всей совокупности предыдущих воздействий не позволяет спроектировать модель объекта управления, то в данный момент оно признается не технологичным и здесь возможны варианты для принятия дальнейших решений.

В первом варианте, опираясь на правило: система "не имеет права" самостоятельно исключать уже принятые технологичные воздействия пользователя, последнее воздействие следует отвергнуть. Однако, у этого варианта имеется существенный недостаток, поскольку, если последнее отвергнутое воздействие с точки зрения пользователя является более важным по сравнению с предыдущими, то, чтобы его реализовать, самому пользователю придется последовательно исключать все предыдущие воздействия и каждый раз пытаться перепроектировать технологический процесс с этим новым воздействием, что не вполне логично.

Поясним это примере. На рис.1 приведена упрощенная типовая схема последовательности основных операций ковки вала на прессе.

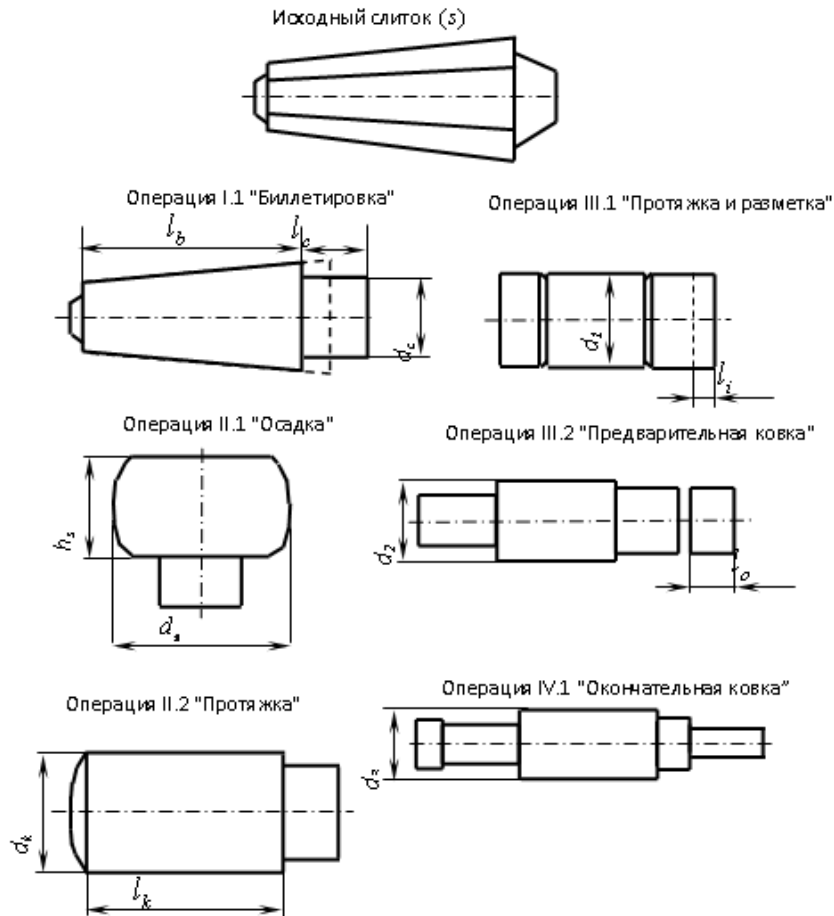


рис. 1. Упрощённая схема основных операций ковки вала на прессе

Все технологические операции ковки можно условно разбить на две группы: подготовительные (операции I.1, II.1, II.2) и основные (операции III.1, III.2, IV.1). К подготовительным отнесем операции, применяемые при ковке слитка: биллетировка исходного слитка (сбитие граней) и закатка цапфы, осадка сбиллетированного слитка (биллета), протяжка осажённого слитка в цилиндрическую заготовку, к основным – операции, во время которых происходит непосредственное формирование конечной поковки (в операции III.1 пунктиром обозначен излишек металла со стороны цапфы, в операции III.2 – соответствующий обрубок).

Допустим, что пользователь начал корректировку модели объекта управления с того, что изменил (или зафиксировал) некоторые размеры заготовок в подготовительных операциях, например в операции II.1 размеры осажённого слитка (h_s, d_s), при которых система успешно построила модель объекта управления, а затем решил произвести замену исходного слитка и это воздействие оказалось не технологичным, вступив в противоречие с зафиксированными размерами. Как известно, выбор слитка является определяющим этапом проектирования технологического процесса, от которого зависят практически все параметры модели объекта управления, и его замена – действие гораздо более значимое по сравнению с определением размеров заготовок по операциям. В этом случае нелогично предлагать пользователю самому исключать уже оказанные воздействия на размеры h_s и d_s . Правильнее будет при возникновении противоречий автоматически исключать менее значимые воздействия, но для этого требуется разработка системы классификации множества возможных воздействий и определение статуса (значимости) каждого воздействия.

В этом заключается суть логики управления САПР ТП ковки валов на прессах. Основная идея, озвученная в работе [7], заключается в "подмене" сложной математической модели реального процесса на логико-лингвистическую модель управления этим процессом. В рамках данного подхода предполагается использовать опыт пользователя, управляющего этим процессом. Стратегия управления, используемая пользователем, является по существу набором правил, которые можно выполнить человеку, но трудно формализовать, используя обычные алгоритмы.

Пусть $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n\}$ – множество технологических параметров, которые характеризуют модель объекта управления, полученную после реализации множества воздействий $\mathbf{V} = \{\mathbf{v}_\alpha, \mathbf{v}_\beta, \dots, \mathbf{v}_\chi\}$. На каждый параметр $\mathbf{x}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ может быть оказано несколько последовательных воздействий, но, поскольку каждое следующее воздействие на \mathbf{x}_i заменяет предыдущее, то индекс при \mathbf{v} соответствует индексу при \mathbf{x} .

Допустим, что на параметр технологического процесса $\mathbf{x}_j (1 \leq j \leq n)$ оказывается новое воздействие $\mathbf{v}_j(\mathbf{x}_j)$ (или просто \mathbf{v}_j), более значимое по сравнению с воздействиями множества \mathbf{V} . Отметим, что каждое воздействие пользователя \mathbf{v}_j может представлять собой только одно из трех событий:

А: изменить параметр \mathbf{x}_j ; (1)

В: зафиксировать параметр \mathbf{x}_j ;

С: отменить ранее оказанное воздействие на параметр \mathbf{x}_j .

При описании логики управления САПР ТП ковки валов удобно использовать аппарат математической логики, основным понятием которой является понятие "простых и сложных высказываний", каждое из которых может быть либо истинным, либо ложным.

Введем следующие высказывания:

1. высказывание \mathbf{k}_j : "воздействие \mathbf{v}_j корректно"; (2)

2. высказывание \mathbf{r}_j : "решение при воздействии \mathbf{v}_j получено"
(модель объекта управления успешно построена);

3. высказывание \mathbf{p}_j : "воздействие \mathbf{v}_j принимается".

В соответствии с логикой управления САПР ТП ковки, когда истинность высказывания \mathbf{k}_j проверяет блок принятия решений, а истинность высказывания \mathbf{r}_j – блок реализации решений, связь между высказываниями (2) можно описать выражениями:

$$\overline{\mathbf{k}_j} \Rightarrow \overline{\mathbf{p}_j}, \quad (3)$$

$$\mathbf{k}_j \wedge \mathbf{r}_j \Rightarrow \mathbf{p}_j, \quad (4)$$

$$\mathbf{k}_j \wedge \overline{\mathbf{r}_j} \Rightarrow \overline{\mathbf{p}_\alpha} \wedge \overline{\mathbf{p}_\beta} \wedge \dots \wedge \overline{\mathbf{p}_\chi} \wedge \mathbf{p}_j. \quad (5)$$

Выражения (3–5) интерпретируются соответственно следующим образом:

– \mathbf{v}_j не корректно $\Rightarrow \mathbf{v}_j$ отвергается,

– \mathbf{v}_j корректно и решение получено $\Rightarrow \mathbf{v}_j$ принимается,

– \mathbf{v}_j корректно и решение не получено \Rightarrow исключаются менее значимые воздействия $\mathbf{v}_\alpha, \mathbf{v}_\beta, \dots, \mathbf{v}_\chi$ и \mathbf{v}_j принимается.

В последнем случае информация об оставшихся воздействиях передается в блок реализации решений и проектирование выполняется заново.

Очевидно, что при наступлении событий В или С (1) всегда справедливо соотношение (4).

Относительная значимость каждого воздействия на соответствующий ему корректируемый параметр устанавливается на основе физических представлений о предметной области. Например, для упрощенной схемы основных операций ковки вала на рис.1 множество корректируемых параметров может быть представлено выражением:

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{s}, \mathbf{l}_b, \mathbf{l}_c, \mathbf{d}_c, \mathbf{h}_s, \mathbf{d}_s, \mathbf{d}_k, \mathbf{l}_k, \mathbf{d}_1, \mathbf{l}_j, \mathbf{d}_2, \mathbf{l}_o\}. \quad (6)$$

Отметим, что параметр \mathbf{d}_3 (см. рис. 2) не входит в выражение (6), т.к. является размером конечной поковки и естественно не корректируется.

Взаимосвязь относительной значимости воздействий \mathbf{v} на корректируемые параметры в выражении (6) схематично отражена на рис. 2.

Как видно из рис.2, относительная значимость воздействий уменьшается слева направо (по направлению стрелок) в порядке, соответствующем последовательности решения задач проектирования технологического процесса. Наиболее значимым воздействием является замена слитка $\mathbf{v}(\mathbf{s})$. Параметры осаженого слитка \mathbf{h}_s и \mathbf{d}_s , также как и протянутой цилиндрической заготовки \mathbf{d}_k и \mathbf{l}_k , взаимосвязаны через условие постоянства объема, и поэтому корректировка одного из них влечёт за собой однозначное изменение другого.

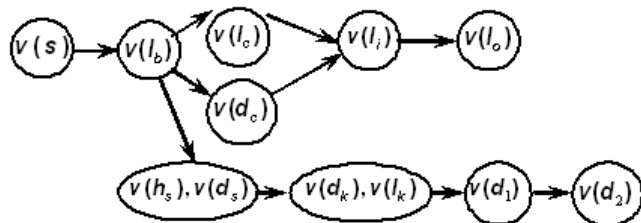


рис.2. Взаимосвязь относительной значимости воздействий на корректируемые параметры

Параметры цапфы l_c и d_c между собой непосредственно не связаны и корректировка любого из них влияет только на размер излишка l_i и обрубка l_o . В общем случае все корректируемые параметры проектирования в САПР ТПковки валов на прессах и предусмотренные воздействия на них разбиты на три группы по уровням значимости: генеральные, глобальные и локальные: (рис. 3).

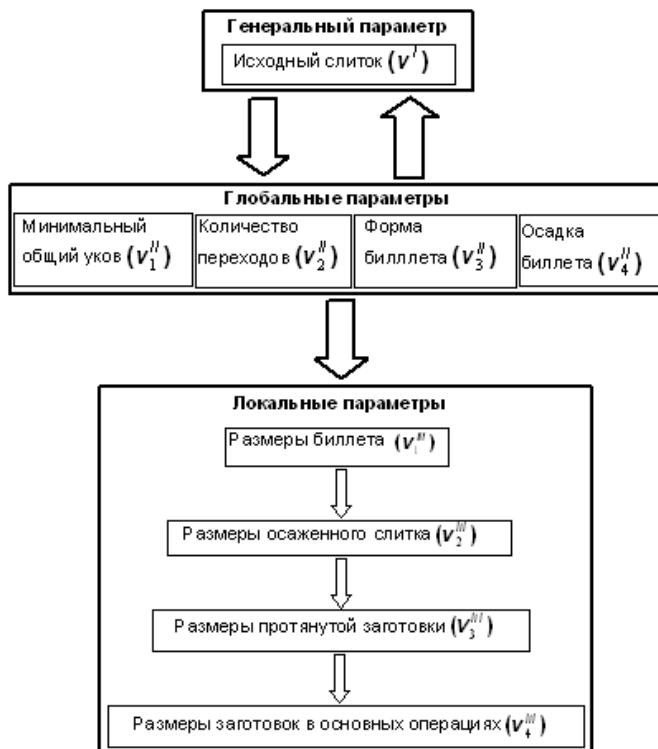


рис. 3. Классификация и взаимовлияние корректируемых параметров

Рядом с названием корректируемых параметров на рис. 3 в скобках указано обозначение соответствующих воздействий на эти параметры. Верхний индекс при v обозначает групповой уровень значимости воздействия. Стрелки отражают взаимовлияние корректируемых параметров.

Генеральное воздействие v^I предусматривает замену выбранного слитка и обладает наибольшей относительной значимостью. По аналогии, пользуясь системой обозначений (2), можно записать:

$$k^I \wedge r^I \Rightarrow (p_i^{II}, i = 1, \dots, n^{II} \wedge p_j^{III}, j = 1, \dots, n^{III}) \wedge p^I,$$

где n^{II}, n^{III} – соответственно количество глобальных и локальных корректируемых параметров, на которые оказываются воздействия.

Последнее выражение интерпретируется следующим образом. Если воздействие v^I корректно, т.е. выбранный на замену слиток соответствует весу исходной поковки, и решение не получено, то все оказанные ранее менее значимые воздействия отвергаются, воздействие v^I принимается, после чего проектирование выполняется заново.

В состав глобальных параметров входят (см. рис. 3) минимальный общий уков, количество переходов, форма биллета и осадка биллета.

Минимальный общий уков это минимально допустимая степень деформации поковки за весь процессковки. Рекомендации по расчету общего укова и определению его минимального значения приведены в работах [8, 9]. Отметим только, что увеличение минимального значения общего укова может потребовать увеличения размеров исходной заготовки (например, на рис.1 привести к увеличению диаметра d_s осаженого слитка), что, в свою очередь, может привести к замене исходного слитка.

Переходом при ковке на прессах называют группу кузнечных операций, выполняемых за один нагрев (вынос). Например, на рис.1 к первому переходу относится операция I.1, ко второму – операции II.1 и II.2, к третьему – операции III.1 и III.2, в последнем четвертом переходе осуществляется окончательнаяковка. К каждому переходу предъявляются определенные технологические требования, связанные в основном с минимальными уковами за переход. Естественно, чем больше количество переходов, тем больших размеров требуется исходная заготовка.

Возможны следующие значения параметра "форма биллета" в САПР ТП ковки валов на прессах: "усеченный конус" (как на рис.1), "цилиндр", "вогнутая бочка", "выпуклая бочка" и "слиток" (когда операция биллетировки исключена и в качестве "биллета" используется исходный слиток).

Параметр "осадка биллета" принимает только два значения: "да" – когда осадка предусмотрена (операция II.1 на рис.1) и "нет" – когда операция осадки исключена из технологического процесса ковки.

Глобальные воздействия V_1'' , V_2'' , V_3'' , V_4'' обладают одинаковой относительной значимостью в том смысле, что ни одно глобальное воздействие не может отменить другое, при этом любое глобальное воздействие может привести к замене не зафиксированного слитка.

В отличие от глобальных локальные параметры корректируются в пределах выбранного слитка и взаимосвязаны, поэтому относительная значимость соответствующих воздействий характеризуется двумя показателями: групповой уровень значимости (верхний индекс при V) и уровень значимости внутри группы (нижний индекс при V), который соответствует порядку определения этих параметров в процессе проектирования.

Локальное воздействие всегда находится в рамках, которые определяются значениями более значимых параметров. Например, если оказывается локальное воздействие на размеры осаженного слитка (V_2''' на рис.3), то для его корректности необходимо чтобы оно находилось в технологических границах, соответствующих уже определенным к этому моменту генеральному и глобальным параметрам, а также размерам биллета (V_1''').

Таким образом, САПР ТП ковки валов на прессах строится в древовидной форме с выделением точек (узлов) возможных воздействий пользователя. После реализации автоматического режима проектирования пользователь анализирует полученную модель объекта управления и при необходимости последовательно вносит управляющие корректировки в результаты проектирования, которые обрабатываются системой в соответствии с изложенными принципами.

Рассмотренная схема ситуационного управления САПР технологии ковки валов на прессах позволяет получать приемлемые решения даже при существенном изменении условий производства, что значительно упрощает ее внедрение на различных предприятиях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-07-00597_а в части разработки принципов ситуационного управления процессом проектирования и в рамках Комплексной программы УрО РАН, проект №15-7-1-9, в части методологии поддержки принятия решений пользователем с использованием аппарата математической логики.

Литература

1. Коновалов А.В., Арзамасцев С.В., Шалягин С.Д., Муйземнек О.Ю., Гагарин П.Ю.. Интеллектуальная САПР технологических процессов ковки валов на молотах // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 1. С. 20–23.
2. Чесноков В.С., Каплунов Б.Г., Возмищев Н.Е. и др. Разработка и применение программного обеспечения для автоматизированного проектирования и моделирования процессов ковки и горячей штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2008. № 9. С. 36–44.
3. Канюков С.И., Арзамасцев С.В. Система автоматизированного проектирования технологии ковки ступенчатых валов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 1995. № 9. С. 13-14.
4. Смирнов С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // Онтология проектирования. 2012. № 2. С. 16-24.
5. Виттих В.А. Ситуационное управление с позиций постнеклассической науки // Онтология проектирования. 2012. № 2. С. 7-15.
6. Скобелев П.О. Ситуационное управление и мультиагентные технологии: коллективный поиск согласованных решений в диалоге // Онтология проектирования. 2013. № 2. С. 26-48
7. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог – МГУ, 1998. 75 с.
8. Антрошенко А.П., Федоров В.И. Металло-сберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. Л.: Машиностроение, 1990. 279 с.
9. Трубин В.Н., Макаров В.И., Орлов С.Н., Шипицин А.А., Трубин Ю.В., Лебедев В. А.. Система управления качеством проектирования технологических процессов ковки. М.: Машиностроение, 1984. 184 с.