

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ МЕТОДОМ ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ

Дюжев Алексей Михайлович, Гладков Юрий Анатольевич

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки металлов давлением»,

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Ю. А. Гладков,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»

На рынке профессионального моделирования процессов обработки давлением (ковка, объемная штамповка) существует большое количество программных решений. Большинство из них [3] базируется на применении в процессе расчета методов конечных элементов (МКЭ) и конечных объемов (МКО). Это делает моделирование алгоритмизируемым, автоматизируемым и менее зависимым от представлений пользователя-технолога об исследуемом процессе. Отрицательной стороной применения таких программных комплексов являются высокие системные требования, длительное время расчета, большая стоимость, несистемный подход к параметризации расчета и направленному поиску технологического решения.

В данной работе предлагается вариант алгоритмизации процесса моделирования некоторый процессов обработки давлением, в частности,ковки и объемной штамповки, на основе использования метода верхней оценки [1, 4].

Метод верхней оценки (МВО) основывается на применении теоремы о верхней оценке и принципа минимума полной мощности. Существует две разновидности метода, в одной из которых течение металла моделируется деформируемыми, а в другом – жесткими блоками. Поскольку использование второй разновидности ограничивает применение метода до плоского деформированного состояния, в дальнейшем рассмотрении ограничимся МВО с использованием деформируемых областей.

Постановка задачи МВО состоит в разделении поковки на области очага пластической деформации и недеформируемые области. В очаге выбираются зоны, в каждой из которых на основе граничных условий назначается кинематически возможное поле скоростей. На границах контакта поковки с инструментами назначаются параметры сил трения. На основе совокупного поля скоростей производится расчет компонент выражения теоремы о верхней оценке [1]:

$$\int_{F_v} p_i v_{0i} dF_v \leq \int_V \dot{\epsilon}_i^{**} dV + \int_{f_s} \Delta v_{\tau_s}^{**} df_s - \int_{F_p} p_{0i} v_i^{**} dF_p,$$

где $\int_{F_v} p_i v_{0i} dF_v$ – мощность неизвестных внешних сил,

$$\int_V \dot{\varepsilon}_i^{**} dV - \text{мощность внутренних сил в очаге пластической деформации,}$$

$$\int_{f_s} \Delta v_{\tau_s}^{**} df_s - \text{мощность известных внешних сил,}$$

$$\int_{F_p} p_{0i} v_i^{**} dF_p - \text{мощность удельных сил сдвига на поверхностях разрыва скоростей,}$$

p_{0i}, v_{0i} – силовые и кинематические граничные условия,
 p_i – поле неизвестных напряжений,
 v_i^{**} – кинематически возможное поле скоростей,
 $\dot{\varepsilon}_i^{**}$ – кинематически возможное поле скоростей деформаций,
 $\Delta v_{\tau_s}^{**}$ – относительная скорость разрыва на границе зон.

Таким образом, в случае очага деформации с фиксированным размером наибольшую сложность алгоритма представляет параметризация назначаемого поля скоростей, дальнейший расчет особой сложности не представляет.

Постановка размеров очага в зависимость от некоторой переменной (или нескольких) вносит серьезные изменения в аналитическое решение задачи. Расчет усложняется тем сильнее, чем больше переменных задают размеры объектов. Однако параметрическое рассмотрение очага пластической деформации позволяет найти лучшую оценку деформирующей силы, нежели полученную при одновариантном расчете. Это достигается применением принципа минимума полной мощности, согласно которому полная мощность поля скоростей, наиболее близкого к действительному, наименьшая.

Очевидна необходимость введения в постановку задачи параметризации. Постановка размеров очага пластической деформации в зависимость от расчетных переменных повышает точность расчета. Кроме того, параметризация размеров поковки и инструментов может расширить диапазон применения программы, например, в сторону поиска лучшей конфигурации заготовки и промежуточных переходов штамповки.

В качестве возможного решения вместо создания полноценной программы предлагается использование САД-системы в качестве графической и интерфейсной платформы для подключаемого программного модуля, реализующего расчетные функции. Этот подход позволит перенести работу проектировщика по созданию расчетной геометрии в привычную для него среду, снизив порог вхождения для пользователя и сократить объем программного кода (уменьшив число ошибок и сократив сроки реализации проекта). Однако стоит обратить внимание на такие факторы как распространенность САД-системы, ее стоимость, интерфейсные возможности, наличие API и качество его поддержки.

Рассмотрим простой маршрут пользователя в предполагаемой программной среде на примере расчета задачи прямого выдавливания, представленной на рис. 1. На рис. 2 показан один из вариантов разделения области поковки на зоны, позволяющих решить задачу.

Подготовленная геометрия задачи находится в рабочей области программы и представляет собой набор кривых или плоских областей. В режиме подготовки

геометрии пользователь может выбрать одну из замкнутых областей соответствующим способом и указать ее принадлежность к одному из двух типов: инструмент и деформируемый материал (поковка).

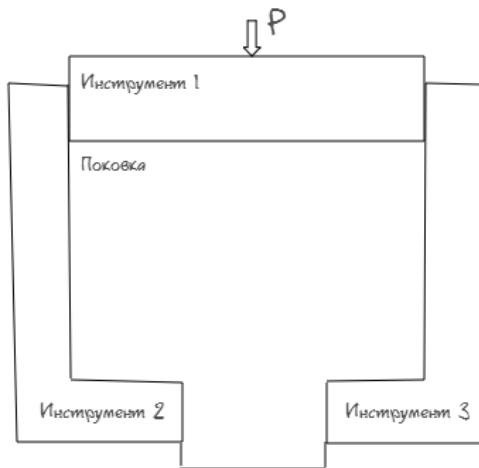


Рис. 1. Пример расчетной задачи.

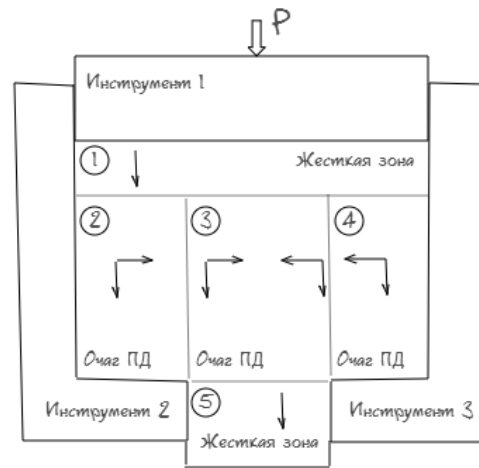


Рис. 2. Пример разделения на зоны.

При создании инструмента указывается его скорость. В целях упрощения работы пользователя предлагается рассмотреть варианты задания вектора скорости как в проекциях, так и абсолютной величиной и углом (см. рис. 3).

Рис. 3. Параметризация инструмента

При выделении областей поковки необходимо различать зоны очага пластических деформаций и жесткие зоны. Последние, кроме задания типа, особой параметризации не имеют, однако необходимо предусмотреть проверку области на соответствие граничным условиям: вектор скорости жесткой зоны во всех точках контакта с инструментами должен быть неизменным (не допускается «сжатие» жесткой зоны инструментами (см. рис. 4).

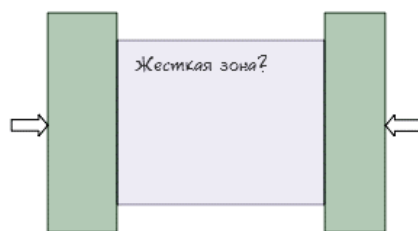


Рис. 4. Пример ошибочного назначения жесткой зоны.

В качестве возможного варианта интерфейса задания поля скоростей предлагается выбор типа и дополнительных параметров функции, интерполирующей поле скоростей в заданном направлении для каждой из координатных осей. При этом одна из функций должна оставаться зависимой так, чтобы хотя бы одно из ребер зоны, граничащее с соседними зонами или выходящее на свободную поверхность, являлось определяемым из условия постоянства объема этой области. Например, для выделенной на рис. 5 области в вертикальном направлении задан линейный тип интерполирующей функции, что позволяет однозначно определить вертикальную составляющую скорости в этой зоне на основе значений скорости в двух граничных точках (одна – на границе с жесткой зоной, движущейся со скоростью 1 инструмента, вторая – на 3 инструменте). Установка расчета горизонтальной составляющей поля скоростей в положение «зависимая» предполагает получение значения горизонтальной проекции вектора скорости в точке интегрированием горизонтальной составляющей поля ускорений с применением граничного условия в точке контакта с 3 инструментом.

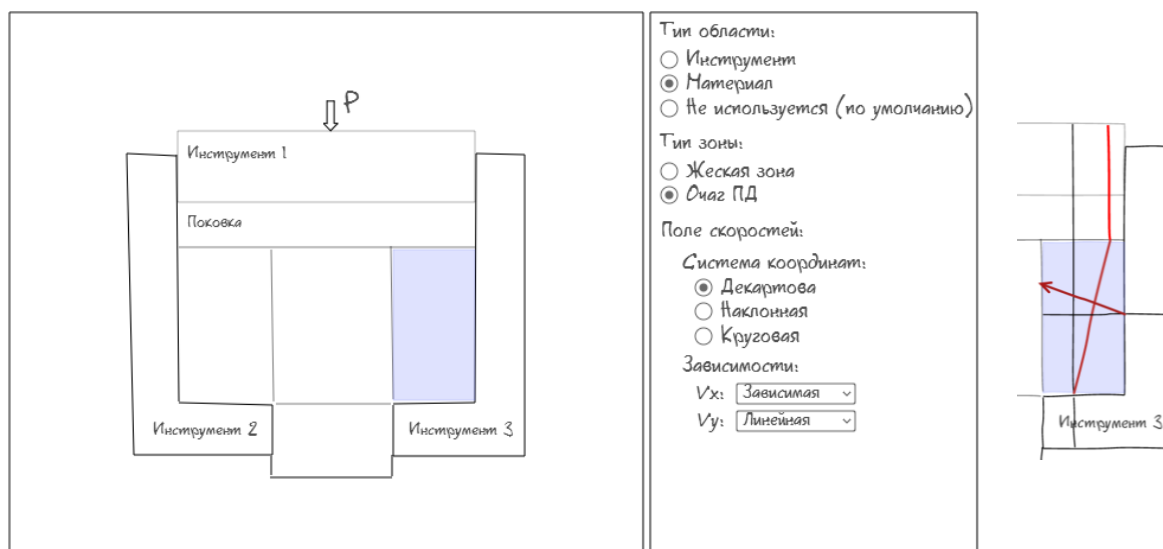


Рис. 5. Параметризация поковки

В процессе установки параметров расчета в фоновом режиме может проверяться валидность этой параметризации: скоростные граничные условия жестких блоков, однозначная определимость скоростей течения материала в любой точке поковки (что следует из правильной расстановки функциональных зависимостей поля скоростей).

В случае, если подготовленная задача удовлетворяет условиям проведения расчета (в частности, назначены деформируемые области, хотя бы один из инструментов – подвижный, установлены свойства материала и параметры трения), пользователь может выполнить моделирование, результатом которого, исходя из

возможностей метода верхней оценки, является сила, воздействующая на подвижный инструмент, а также удельная сила на инструменте.

Использование описанного подхода не ограничивает круг решаемых задач плоским деформированным состоянием. Аналогичные по сути интерфейсные решения делают ненамного более сложным моделирование осесимметричной или объемной штамповки. Более того, поскольку изложенный подход предполагает единое графическое пространство для работы как с плоским, так и с объемным деформированным состоянием, видится возможным проектирование работы исключительно с объемной геометрией, что может послужить целям унификации пользовательского интерфейса при сохранении простоты работы.

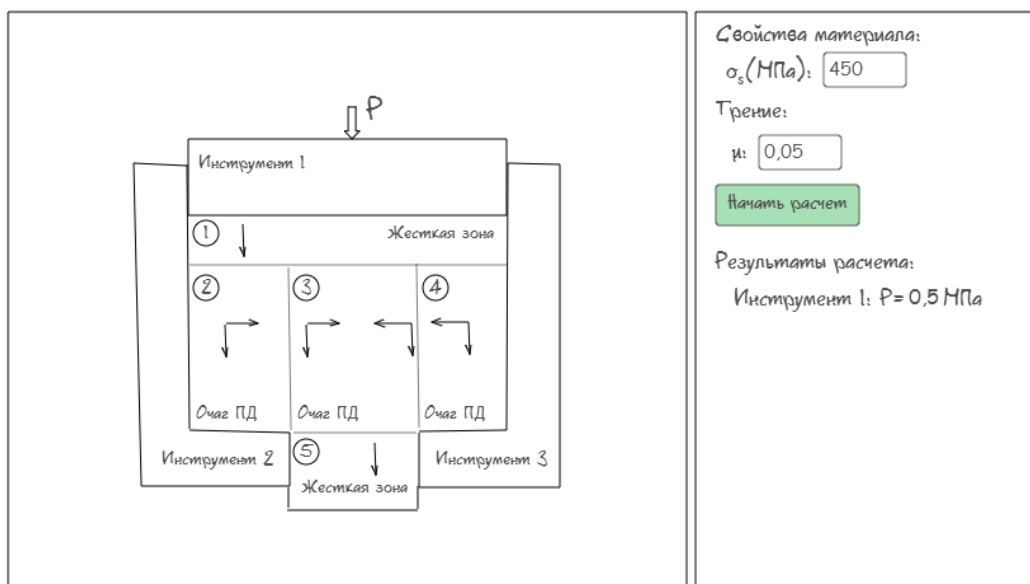


Рис. 6. Расчет и вывод результатов

Использование системы расчета, основанной на методе верхней оценки, разумеется, не может дать полное представление о течении металла и качестве поковки, однако представляется возможным применение системы для:

1. предварительной оценки силы до моделирования (на этапе проектирования оснастки);
2. параметрической оптимизации геометрии заготовки и инструмента с целью минимизации силы деформирования.

Кроме того, принципы параметризации базовой расчетной геометрии могут быть использованы и в разработке более сложных систем моделирования процессов обработки давлением, особенно с разработкой или привлечением стороннего оптимизатора.

Литература

1. Власов А. В. Теория обработки металлов давлением.
2. Колмогоров В. Л. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. - 688 с.
3. Белевич А.В., Бабин Д.М., Гладков Ю.А. и др. Моделирование и исследование технологических процессов обработки металлов давлением: монография. - Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 181 с.

4. Абдуллаев Ф.С. Разработка методик расчета энергосиловых параметров технологических процессов холодной штамповки на основе метода верхней оценки: Дисс. ... докт. техн. наук. - М., 1993.