

УДК 621.77

Д. В. Усманов (5 курс, БГТУ), К. М. Иванов, д.т.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНЫХ УСЛОВИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ЗАПОЛНЕНИЯ МЕТАЛЛОМ КОНИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ

В качестве объекта исследования взят процесс заполнения металлом конической полости. Рассмотрено два идеализированных варианта реализации процесса: процесс с течением материала от центра деформируемого образца к периферии (проекция векторов перемещения частиц материала на плоскость осевого сечения направлены от оси симметрии образца); процесс комбинированного течения и от центра к периферии и от периферии к центру (деформируемый образец условно можно разделить на две области: область с проекциями векторов перемещения материальных частиц на плоскость осевого сечения, направленными от оси симметрии образца и область с проекциями перемещения направленными к оси симметрии образца). В первом варианте процесса первоначальный контакт образца и матрицы происходит по торцовой поверхности (по плоскости), во втором варианте первоначальный контакт по линии. Задачи решались с помощью метода конечных элементов, в его упругопластической постановке. Геометрическое моделирование, разбиение на конечные элементы, решение и постпроцессорная обработка результатов произведены с помощью конечно-элементного расчётного пакета *ANSYS/Structural*. В качестве основы построения конечноэлементной модели принята теория пластического течения [1].

При решении принято, что материал пуансона и матрицы абсолютно жесткий, вследствие чего при моделировании вместо сплошных тел пуансона и матрицы были использованы лишь поверхности их предполагаемого контакта с деформируемым образцом. За счёт такой идеализации удалось значительно сократить общее число конечных элементов в модели, и, следовательно, уменьшить время расчёта. Также приняты следующие допущения:

1. Напряжённо деформированное состояние материала образца осесимметричное;
2. Реологическая модель поведения материала образца – упругопластическая среда с нелинейным упрочнением. Использована зависимость $\sigma_i - \varepsilon_i$ для латуни Л72, в виде аппроксимирующей формулы полученной по методике Г. А. Смирнова-Аляева и В. М. Розенберг [2], [3]

$$(\sigma_i(\varepsilon_i) = \sigma_{lim} - C_1 e^{-\varepsilon_i} - C_2 e^{-N\varepsilon_i}) \sigma_i = 1078,12 - 916,25 \cdot e^{-\varepsilon_i} - 86,33 \cdot e^{-10 \cdot \varepsilon_i} \text{ МПа};$$

3. Материал считается изотропным и подчиняется закону Гука в упругом состоянии, условию текучести Мизеса и соотношению Прандтля-Рейсса в пластическом состоянии.
4. На поверхностях контакта образца с инструментом, в зависимости от постановки задачи, реализуется либо закон трения Кулона в напряжениях, либо комбинированный закон: если $f \cdot \sigma_k < \tau_{max}$, то $\tau_k = f \cdot \sigma_k$, если $f \cdot \sigma_k > \tau_{max}$, то $\tau_k = \tau_{max}$, где f – коэффициент трения в контакте; σ_k , τ_k – нормальное и касательное напряжения в контакте; τ_{max} – максимальное касательное напряжение, которое считается постоянным для определенного набора контактирующих поверхностей.

При моделировании процесса деформирования образцов по первой схеме для коэффициентов трения в контакте 0 и 0,1 ограничения на контактные касательные напряжения от сил трения не накладывались, принят закон трения Кулона в напряжениях. При моделировании деформирования с коэффициентом трения в контакте 0,3 максимальное значение касательных напряжений установлено в размере $\tau_{max} = 400 \text{ МПа}$. При моделировании деформирования с коэффициентом трения 0,4 максимальное значение

касательных напряжений установлено в размере $\tau_{\max} = 200 \text{ МПа}$. Ограничение по касательным напряжениям в контакте введены только для контактирующей пары пуансон – образец. Касательные напряжения для пары матрица – образец не ограничивались.

Численные расчеты показали, что при отсутствии контактного трения на поверхности пуансона максимальные значения интенсивности деформации в центре приконтактной зоны образца с пуансоном. Наименее деформированная область – приконтактная зона образца с дном матрицы. С увеличением коэффициента контактного трения размер нижней, мало деформированной, области несколько уменьшается. Наиболее деформированная область перемещается от поверхности контакта образца с пуансоном в глубь образца. У поверхности контакта образца с пуансоном в осевой зоне развивается практически не деформированная (заторможенная) зона. Кроме того, наблюдается появления максимума интенсивности деформации в приконтактной зоне образца с пуансоном у кромки. Это объясняется интенсивным течением материала боковой стенки образца под поверхность пуансона, и вызвано такое течение влиянием контактных сил трения.

Вычислены относительные значения усилия деформирования. Снижение относительного значения усилия деформирования для модели с коэффициентом трения 0,4 вызвано ограничением максимальных касательных напряжений в контакте пуансона с образцом. Такая тенденция показывает, что при первой схеме деформирования на усилие существенное влияние оказывает трение в контакте пуансона с образцом, трение в контакте матрицы с образцом существенно на усилие деформирования не влияет. Объясняется это главным образом тем, что перемещение материала образца относительно поверхности матрицы незначительное а, следовательно, и работа, совершаемая силами трения на этих поверхностях не велика.

Вычислены значения гидростатического давления по отношению к максимальному положительному и максимальному отрицательному значениям гидростатического давления, для случая деформирования образца по первой схеме без трения. Установлено, что положительное гидростатическое давление возрастает с ростом коэффициента трения. В тоже время растёт и величина отрицательного гидростатического давления, растут и размеры области с отрицательным гидростатическим давлением. Отклонение от такой тенденции для коэффициента трения 0,4 связано с ограничением трения в контакте образец инструмент. Этот факт показывает, что на гидростатическое давление при первой схеме деформирования трение в контакте образец-матрица существенного влияния на гидростатическое давление не оказывает. Отрицательные значения гидростатического давления соответствуют области близ свободной поверхности образца. Увеличение зоны с отрицательными значениями гидростатического давления не благоприятно сказывается на технологических возможностях процессов ОМД схема деформирования, для которых близка к описываемой первой схеме. Область с отрицательными значениями гидростатического давления является зоной вероятного разрушения материала образца.

При моделировании деформирования по второй схеме ограничения на касательные напряжения не накладывались, по всем поверхностям контакта принят закон трения Кулона в напряжениях. По картине искажённой деформацией конечно-элементной сетки в зависимости от коэффициента трения в контакте можно заключить, что помимо искривления свободной поверхности образца с ростом трения ещё и затруднено заполнение конической полости. При коэффициентах трения 0,3 и 0,4 заполнение при указанных условиях практически не возможно. Материалу выгоднее течь в поперечном направлении в зазор между пуансоном и матрицей. Также как и для первой схемы деформирования при увеличении коэффициента трения материал из области кромки образца вблизи свободной поверхности затекает под поверхность пуансона.

В этом случае при значении коэффициента трения 0 максимальные значения интенсивности деформации сосредоточены в осевой зоне образца вблизи поверхности пуансона, кроме того, имеется локальный максимум в зоне перехода конической части матрицы в дно. Практически не деформированная область располагается в осевой зоне

конической части деформированного образца. При увеличении коэффициента трения у поверхности пуансона развивается не деформированная область. Также недеформированная область охватывает большую часть осевой зоны у нижнего торца образца. Возникают локальные максимумы в зоне кромки и в зоне перехода конической поверхности матрицы на наружную поверхность матрицы.

Вычислены относительные значения усилия деформирования. Установлено, что в целом рост относительного усилия деформирования для второй схемы не такой интенсивный, как для первой схемы, хотя для второй схемы ограничения на максимальные силы трения в контакте не накладывались. Такая ситуация связана с увеличенным отношением свободной поверхности к контактной образцу в случае второй схемы при не заполнении конической полости.

Вычислены значения гидростатического давления по отношению к максимальному положительному и максимальному отрицательному значениям гидростатического давления, для случая деформирования образца по второй схеме без трения.

Сопоставлены значения максимальных окружных растягивающих напряжений при деформировании по обеим из указанных схем. Сравнение показало, что во втором случае интенсивность роста максимальных растягивающих окружных напряжений в зависимости от увеличения коэффициента трения выше, чем в первом. Но по абсолютным значениям в первом случае значения максимальных растягивающих окружных напряжений приближенно в два раза больше.

Выводы по работе.

1. Влияние трения на силовые параметры рассмотренных моделей процессов деформирования не однозначно. Трение способно качественно изменить характер течения материала и за счёт изменения характера течения изменить соотношение свободной и контактной поверхностей образца.
2. С точки зрения качественного заполнения полости материалом преимущество следует отдать модели деформирования по первой схеме. С точки зрения прочности материала образца предпочтение следует отдать модели деформирования по второй схеме. Так как растягивающие окружные напряжения вблизи свободной боковой поверхности образца у модели деформирования по второй схеме значительно меньше, чем у модели деформирования по первой схеме. Это тем более важно, потому что у моделей деформирования по первой схеме с коэффициентами трения в контакте $0,3$ и $0,4$ были ограничены максимальные касательные напряжения в контакте образец-пуансон.
3. Установлено, что для модели деформирования по первой схеме на силовые параметры процесса существенное влияние оказывает трение в контакте образец-пуансон. Кроме того, с увеличением трения в указанной паре возрастает величина растягивающих окружных напряжений материала образца. Трение в контакте образец-матрица, для модели деформирования по указанной схеме, существенного влияния на силовые параметры процесса не оказывает.
4. Для модели деформирования по второй схеме влияние трения в контактах образец-пуансон и образец-матрица практически равнозначно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванов К. М., Шевченко В. С., Юргенсон Э. Е., Метод конечных элементов в технологических задачах: Учебное пособие – СПб. Издательство ПИМаш, 2000. –224с.
2. Лясников А. В., Агеев Н. П., Кузнецов Д. П., Данилин Г. А., Иванов К. М. и др. Сопrotивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением. / Под ред. А. В. Лясникова.-С.-Петербург: ВНЕШТОРГИЗДАТ.1995.-527 с.
3. Смирнов-Аляев Г. А. Сопrotивление материалов пластическому деформированию. Л.: Машиностроение, 1978. 367 с.