

УДК 621.77.01

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ-ПРЕССОВАНИЯ

Мамаев Михаил Владимирович

*Аспирант 3 года обучения,
кафедра «Обработка материалов давлением»,
ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая
академия имени П.А. Соловьёва»*

*Научный руководитель: А. С. Матвеев
доктор технических наук, профессор кафедры «Обработка материалов
давлением»*

В различных областях машиностроения находят широкое применение различные детали, полученные при помощи выдавливания-прессования, надёжность работы которых при эксплуатации в значительной мере определяется технологией их изготовления. При этом качество и надёжность закладываются уже на начальных стадиях их производства – изготовлении заготовок горячим выдавливанием.

Следует отметить, что производственный опыт изготовления подобных заготовок показывает, что сбой технологического процесса выдавливания, выражающийся в возникновении факторов нарушающих оптимальные условия деформирования исходной заготовки, приводит, в отдельных случаях, к снижению усталостной прочности готовых изделий.

Имеющиеся математические модели и рекомендации не позволяют прогнозировать результаты и управлять процессом, поэтому в данной работе предложена одна из моделей, позволяющая избавиться от указанных выше недостатков, а также управлять процессом за счет изменения и оптимального подбора технологических параметров.

Данная модель должна позволить исследовать деформированное состояние и проводить его анализ в комплексе с напряженным состоянием. Это, в конечном итоге, позволит повысить механические, а, следовательно, и служебные свойства заготовок лопаток получаемых выдавливанием. Поэтому разработка и исследование математической модели процесса выдавливания, оптимизация его технологических параметров при изготовлении заготовок горячим выдавливанием является актуальной.

Общей же целью проводимых исследований является создание базы для компьютерных программ на основе математического моделирования процессов выдавливания-прессования, позволяющих решать вопросы отмеченные выше.

Для оценки качества продукции получаемой в заготовительном производстве методами обработки металлов давлением, в частности,

механических или других свойств материала заготовки, необходимо знать их величину и характер распределения в определенных сечениях или по всему объему заготовки, то есть, в конечном счете, в каждой конкретной требуемой точке.

Прогнозирование этих свойств возможно на основании знаний исходных данных и анализа напряженного состояния, например, с помощью показателей предлагаемых различными авторами.

Показатель напряженного состояния в точке по В. Л. Колмогорову оценивается безразмерной величиной – отношением σ / T .

Величину σ , составленную из линейного инварианта, и входящую в отношение σ / T , называют средним нормальным напряжением в точке и определяют по следующей формуле:

$$\sigma = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3. \quad (1)$$

Среднее нормальное напряжение – инвариантная величина – характеризует уровень нормальных напряжений в некоторой точке деформируемого тела.

Величину T , составленную из второго инварианта девиатора напряжений, и входящую в отношение σ / T , называют интенсивностью касательных напряжений и определяют по следующей формуле:

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{I_2(D_\sigma)} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, для определения показателя σ/T , который некоторые исследователи называют коэффициентом жесткости схемы напряженного состояния, может быть определен если известны все нормальные и касательные компоненты напряжений.

Поэтому была предложена математическая модель прямого осесимметричного выдавливания через плоскую ступенчатую матрицу, т.е. без конических, торообразных или других сложных поверхностей.

На рис. 1 представлена схема и принятые обозначения при прямом прессовании-выдавливании через плоскую ступенчатую матрицу.

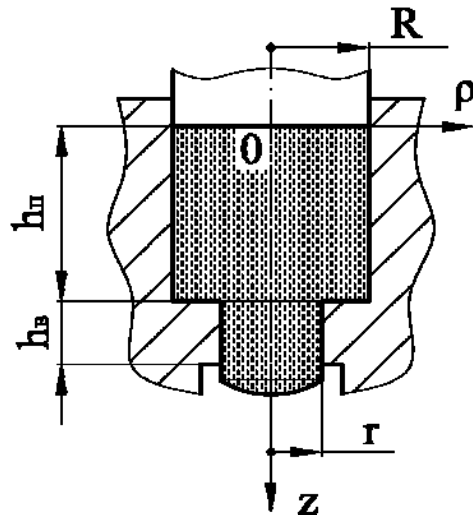


Рис. 1. Схема прямого осесимметричного выдавливания-прессования через плоскую ступенчатую матрицу и принятые обозначения

На основании теоретического анализа напряженного состояния получены результаты позволяющие оценивать влияние коэффициента контактного трения μ , геометрического параметра h_b / r , то есть условий на выходном участке матрицы, а также стадии протекания процесса на локализацию области интенсивного пластического течения в процессах прямого осесимметричного выдавливания-прессования, как это показано на рис. 2 (для малого значения коэффициента трения μ) и рис. 3 (для различных значений коэффициента трения μ).

Показано, что относительная высота выходного участка h_b / r в равной мере, но в тоже время в еще больших пределах может оказывать (также как и коэффициент контактного трения μ) основное и весьма значительное влияние на величину и соотношение в очаге интенсивного пластического течения зон скольжения и застоя (прилипания), то есть на картину и неравномерность течения деформируемого металла, а, следовательно, на все силовые характеристики.

Получены формулы для определения компонентов тензора напряжений – σ_z , σ_ρ , $\tau_{\rho z} = \tau_{z\rho}$, таким образом при подстановке в формулы (1) и (2) при замене $z = z$ и $x = \rho$ возможно вычисление показателя напряженного состояния σ / T в любой точке зоны интенсивного пластического течения.

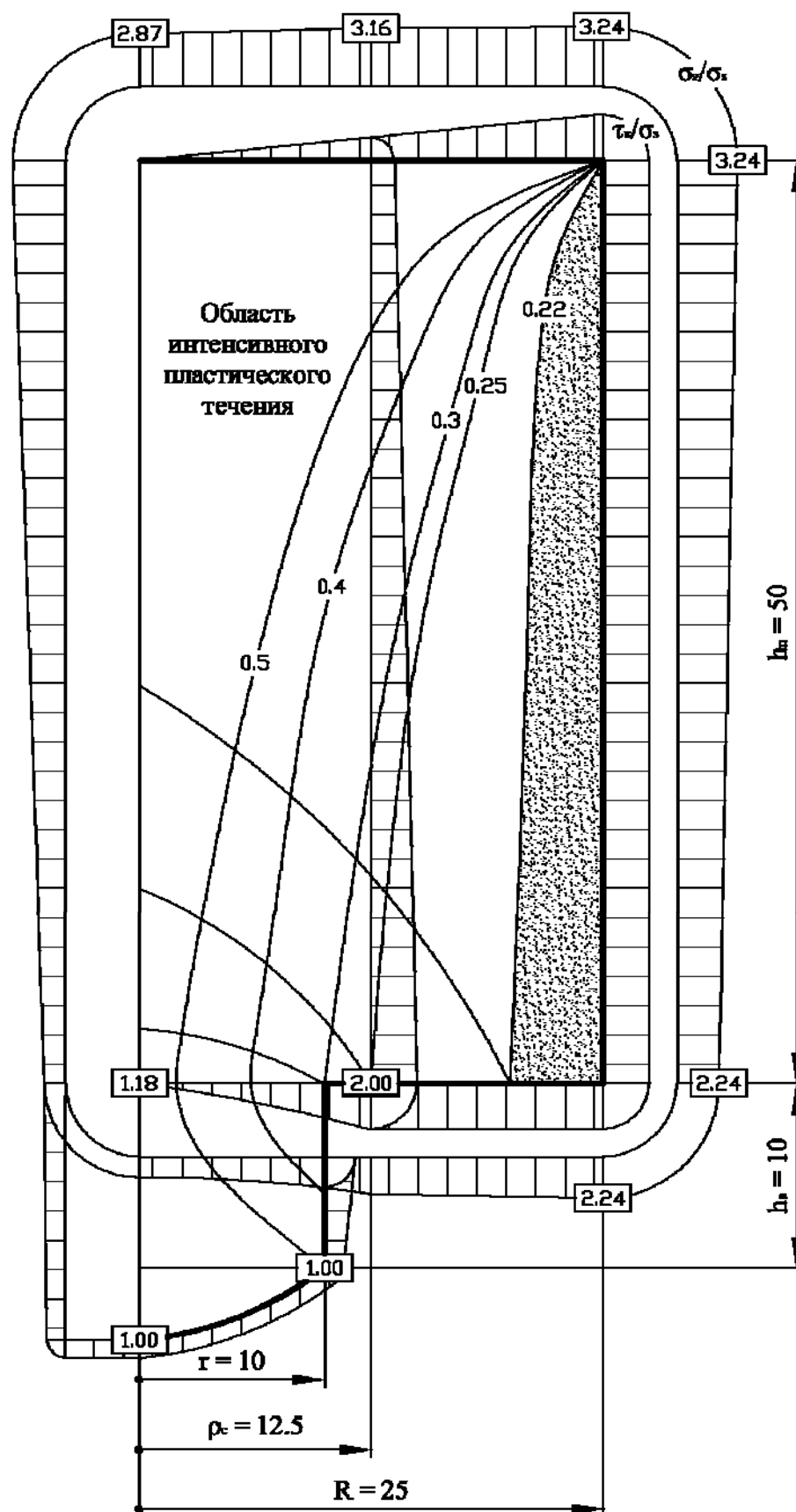


Рис. 2. Эпюры относительного напряжения σ_z/σ_s , построенные расчетным путем при $\mu = 0,17$; $r = 10$ мм; $R = 25$ мм; $h_b = 10$ мм; $h_n = 50$ мм

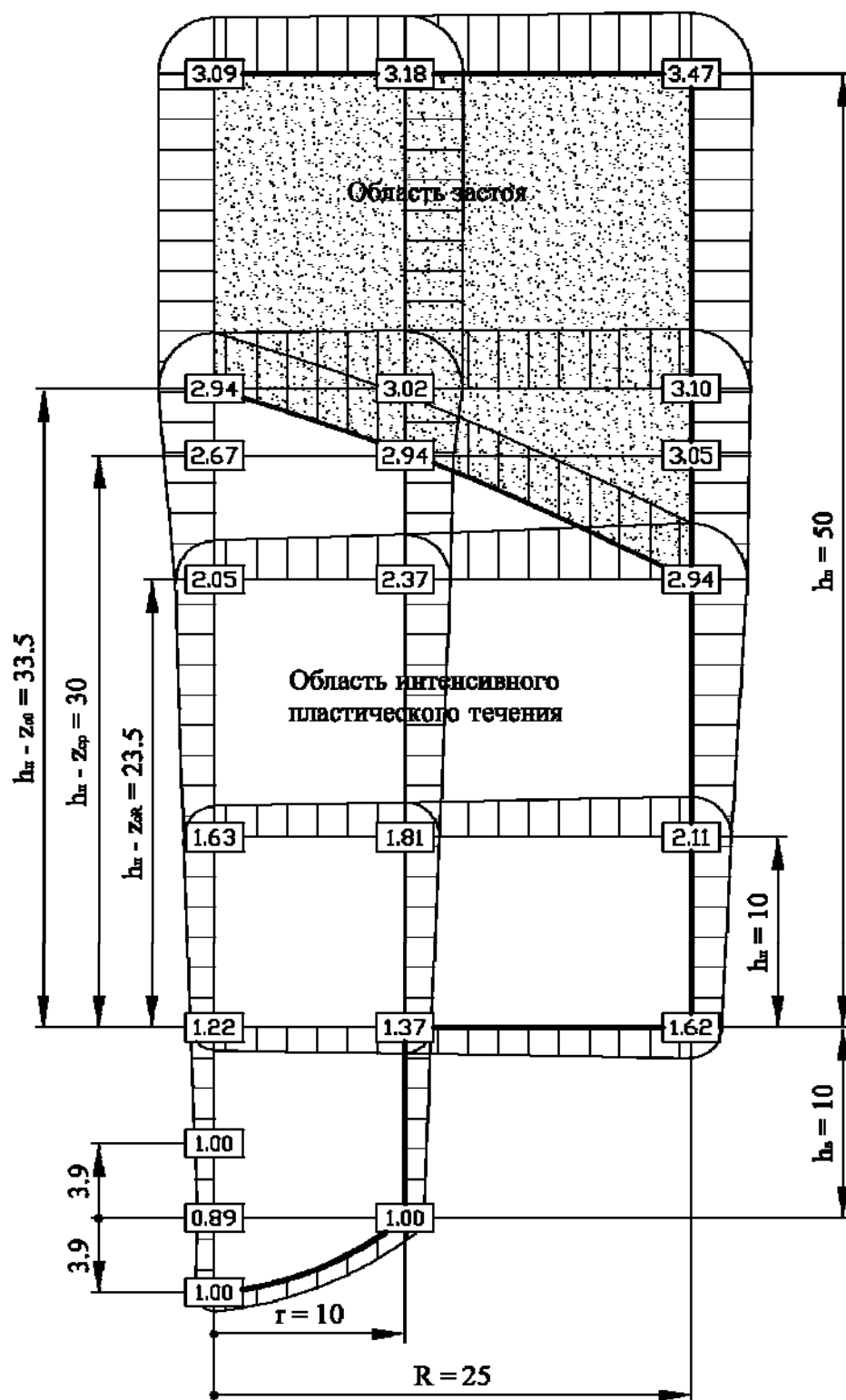


Рис. 3. Эпюры относительных напряжений τ_k/σ_s ; σ_z/σ_s и область очага интенсивной пластической деформации, построенные расчетным путем при $r = 10$ мм; $R = 25$ мм; $h_b = 10$ мм; $h_n = 50$ мм; $\mu > 0,2$

Таким образом, предложенная математическая модель учитывает влияние на характер протекания, а также на результат процесса выдавливания, целого ряда следующих основных факторов:

- трения на поверхностях контакта металла с инструментом;
- степени деформации;
- формы и размеров канала матрицы.

На основании перечисленного выше стало возможно создание программного продукта (рис. 4), где в качестве исходных данных вводятся следующие параметры: коэффициент контактного трения μ и геометрические параметры инструмента (h_v ; h_n ; R ; r).

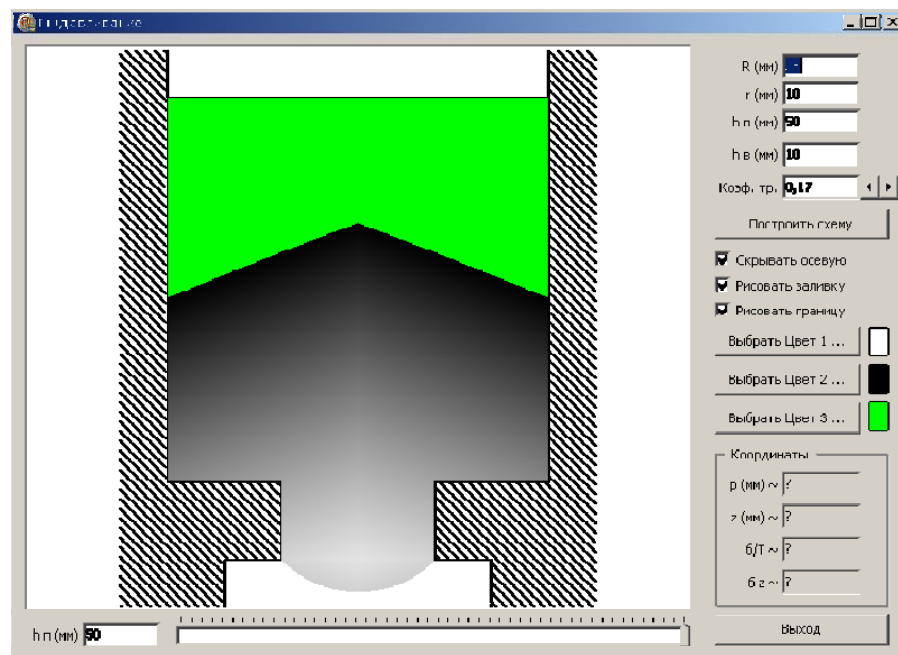


Рис. 4. Внешний вид основного окна программы по расчету напряженного состояния

В качестве выходных получаем следующие данные:

- значение величины напряжения σ_z в любой точке области пластической деформации, а, следовательно, при необходимости и остальные компоненты тензора напряжений – σ_p и $\tau_{pz} = \tau_{zp}$;
- значение величины показателя напряженного состояния σ / T в любой точке области пластической деформации;
- графическое представление границы между областью пластического течения и застойной областью;
- распределение показателя напряженного состояния σ / T в графическом виде, то есть соответствующим цветовым переходом от меньшего значения показателя к большему (для области пластического течения металла).

На рис. 5 показаны результаты моделирования при $\mu = 0,17$; $r = 10$ мм; $R = 25$ мм; $h_b = 10$ мм, которые ставили целью проанализировать влияние высоты пресс-остатка на изменение напряженного состояния.

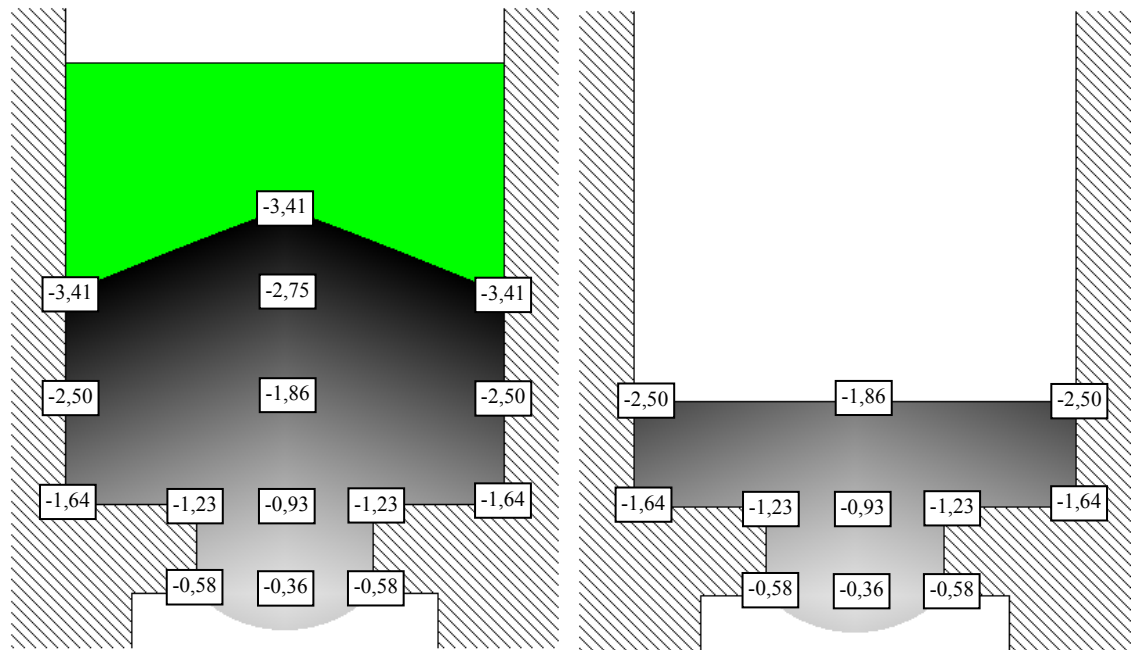


Рис. 5. Распределение показателя напряженного состояния σ / T по объему прессуемого изделия ($h_n = 50$ мм и $h_n = 12$ мм)

Анализ показывает, что при $h_n = 12$ мм (что соответствует среднему значению высоты зоны пластического течения для случая, где $h_n = 50$ мм) напряженное состояние во всех характерных точках осталось прежним, несмотря на то, что весь объем приемника охвачен пластической деформацией, а застойная зона отсутствует.

Кроме того, на рис. 5 видно, что распределение показателя σ / T по объему прессуемого изделия является весьма неравномерным – при принятых входных параметрах разница составила примерно в 10 раз.

Анализ полученных данных и тональная картина изменения показателя позволяет выделить крестообразную зону, образованную пересечением центральной оси z с плоскостью проходящей через нижнюю границу калибрующего пояска матрицы, где показатель σ / T имеет минимальное значение.