

## **НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИГЛЫ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК**

*Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева*

**ГОУ ВПО «УГТУ – УПИ**

Как известно, инструмент для прессования металлов работает в чрезвычайно тяжелых условиях. Для некоторых видов прессовой оснастки коэффициенты запаса близки к единице. Поэтому актуальным вопросом является уточнение методик расчета прессового инструмента. Данная статья посвящена рассмотре-

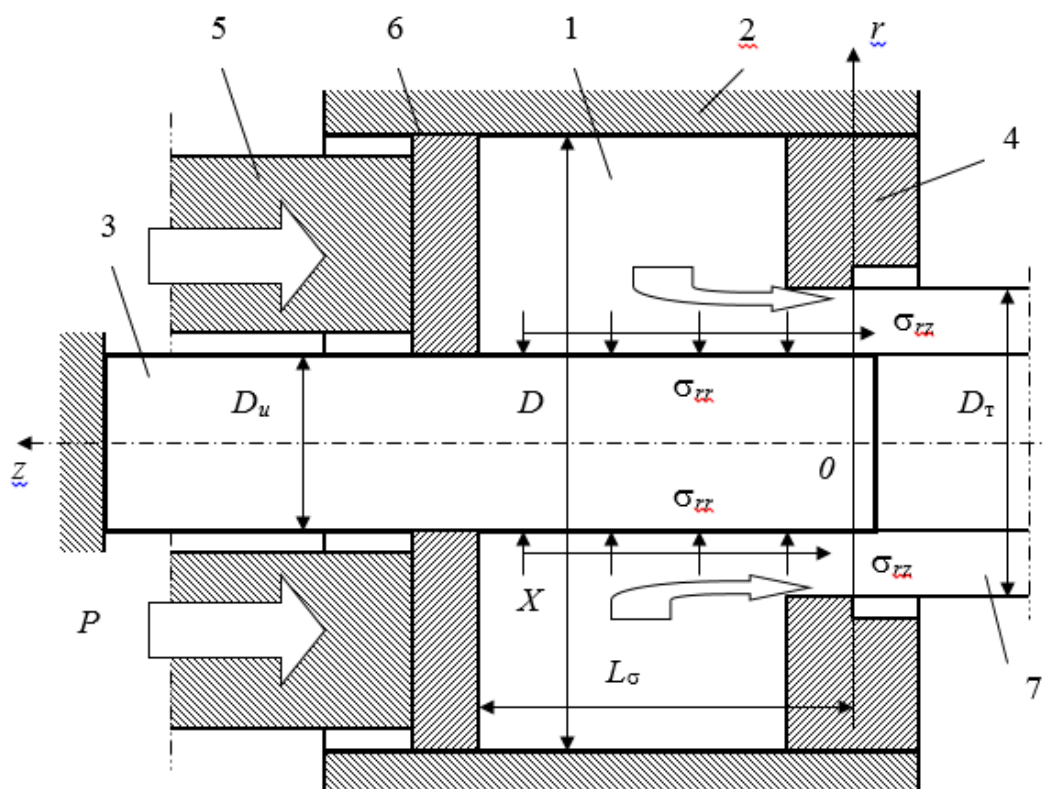


Рис.1. Расчетная схема нагружения иглы прессовой установки (обозначения в тексте)

нию вопроса распределения напряжений вокруг и внутри игл прессовых установок.

Существующие методики расчета игл прессовых установок [1] обладают тем недостатком, что не учитывают реального распределения напряжений, действующих на иглу со стороны деформируемого металла. Кроме того, обычно не учитывается влияние на работоспособность иглы прессовой установки температурных полей, циклически изменяющиеся во времени [2,3].

Здесь не будут рассматриваться схемы прошивки слитка, характерные для обработки тяжелых цветных металлов. Рассмотрим напряженное состояние иглы прессовой установки в режиме прессования на основе следующей схемы деформации.

Полый слиток 1 (рис. 1) размещен в контейнере 2 прессовой установки. В полости слитка расположена игла 3, передний конец которой выступает за пределы матрицы 4. Движением пуансона 5 через пресс-шайбу 6 сила прессования передается на слиток, благодаря чему через матрицу 4 выдавливаются трубная заготовка 7 наружным диаметром  $D_T$ .

Схема может быть реализована в вариантах с закрепленной и с подвижной иглой. В первом случае игла удерживается устройством фиксации иглы, во втором случае игла может перемещаться под воздействием металла, вытекающего через отверстие матрицы и имеющего скорость в диапазоне от скорости перемещения пуансона до скорости истечения металла.

На различных участках иглы действуют различные напряжения, их характер и схема воздействия определяют работоспособность иглы. Часть иглы, выступающая за пределы плоскости выхода металла из матрицы, испытывает малый уровень напряжений, возникающих на этом участке вследствие трения отпрессованной заготовки об эту часть иглы. Допустим, что на этой части иглы не создается значимых напряжений, влияющих на напряженное состояние иглы в целом.

Часть иглы, примыкающая к иглодержателю и размещенная вне очага деформации, передает напряжения от очага деформации на иглодержатель, но в этой части дополнительных напряжений не возникает. Вместе с тем, в этой части иглы могут быть выявлены опасные сечения, в которых возможно разрушение тела иглы. Это связано, большей частью с концентраторами напряжений около винтовой нарезки, соединяющей иглу с иглодержателем.

В зоне воздействия деформируемого металла на поверхность иглы возникает сложное напряженное состояние. Его можно представить в виде действия напряжений сжатия  $\sigma_{rr}|_{r=D_H/2}$  и напряжений трения  $\sigma_{rz}|_{r=D_H/2}$  со стороны металла слитка. Величина этих напряжений переменна и зависит от параметров прессования. Напряжениями сжатия в расчетах иногда пренебрегают, считая, что они действуют ортогонально оси прессования и что они не создают вектор силы, направленной на разрыв иглы. Вместе с тем, величина напряжений сжатия намного больше величины напряжений трения и при оценке эквивалентного напряжения вклад напряжений сжатия окажется большим.

Для оценки напряжений на игле поставлена краевая задача прессования трубной заготовки сплава АД31, имеющей наружный диаметр 120 мм, внутренний диаметр 80 мм из полого слитка диаметром 370 мм. Задача решалась методом конечных элементов с помощью программного модуля РАПИД–2d, разработанного в Уральском государственном техническом университете – УПИ (Copyright © Полищук Е.Г., Жиров Д.С. 2000-2004) для решения задач пластического формоизменения вязких сред в осесимметричной постановке[4].

Характер воздействия на поверхность иглы напряжений зависит от степени упрочнения металла, которое можно оценить степенью деформации сдвига  $\Lambda$ . Если учитывать только изменение формы заготовки, то эта величина оценивается простой формулой вида

$$\Lambda_0 = \sqrt{3} \ln \frac{D^2 - D_{\text{и}}^2}{D_{\text{т}}^2 - D_{\text{и}}^2}. \quad (1)$$

В условиях решенной задачи коэффициент вытяжки равен 16,3 и степень деформации сдвига  $\Lambda_0=2,8$ . В решении задачи получены несколько большие величины: на выходе из матрицы в стенке трубной заготовки степень деформации сдвига имеет значение в среднем 5,2, что объясняется учетом дополнительных сдвигов, характерных для прессования. Распределение степени деформации сдвига внутри очага деформации представлено на рис. 2. Анализ полученных данных показывает, что степень деформации сдвига вдоль поверхности иглы увеличивается от нуля до максимального значения, что нужно учитывать при определении напряжений трения на игле.

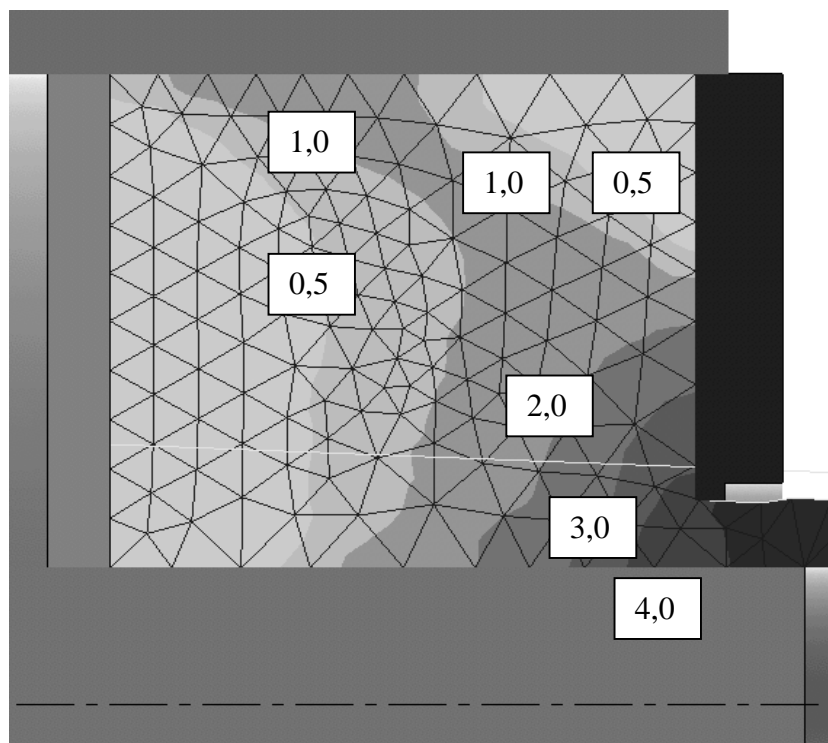


Рис. 2. Сетка конечных элементов и распределение степени деформации сдвига в очаге деформации (числа в прямоугольных рамках)

Действительно, при прессовании принято оценивать напряжения трения по закону Зибеля, а не Амонтона, поскольку нормальные напряжения слишком велики. В соответствии с законом Зибеля напряжения трения зависят от сопротивления деформации, а оно, в свою очередь, от степени деформации. Поэтому распределение степени деформации вдоль поверхности иглы имеет значение. В соответствии с полученными данными степень деформации в направлении выхода металла из матрицы увеличивается, что должно приводить к увеличению напряжений трения.

Одна из главных целей, сформулированных в постановке задачи, – определение характера распределения напряжений нормальных по отношению к боковой поверхности иглы. Решение осуществлялось пошаговым методом. Довольно значительный объем вычислений пришелся на начальную нестационарную стадию прессования. О наступлении стационарности судили по выравниванию характеристик деформированного состояния вдоль оси трубной заготовки.

На рис. 3 изображено полученное в решении распределение напряжений сжатия  $\sigma_{rr}|_{r=D_w/2}$  при достижении конфигурации очага деформации соотношения  $L/D=0,5$ , где  $L$  – длина слитка, ос-

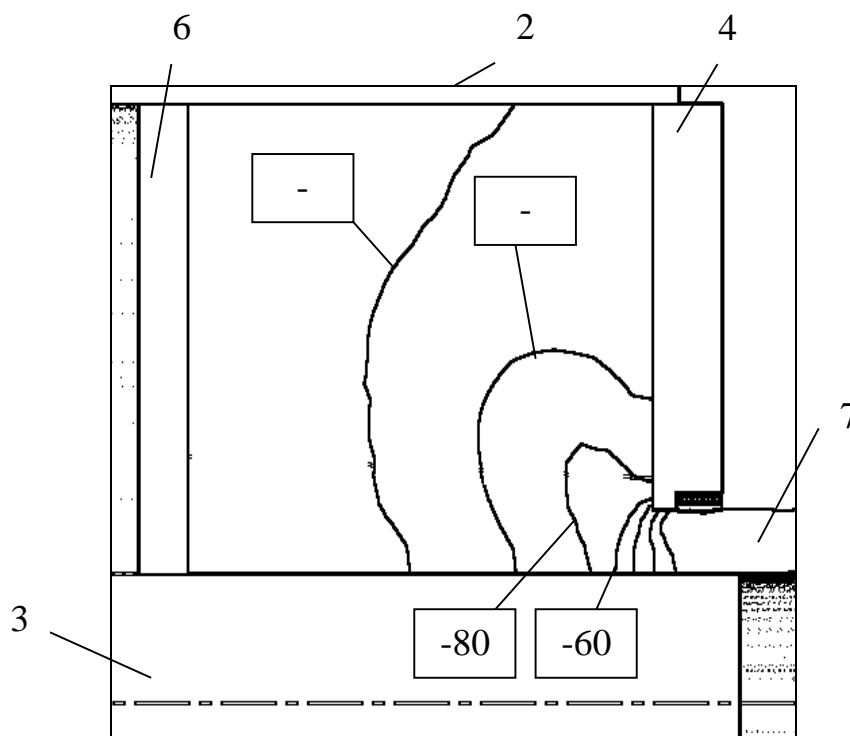
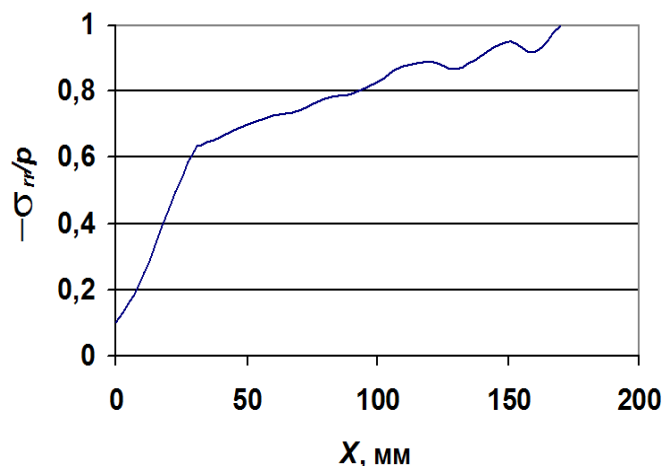


Рис. 3. Линии равного уровня для напряжений  $\sigma_{rr}$ , МПа (значения – в прямоугольных рамках) в очаге деформации при прессовании трубной заготовки 120x80 мм из слитка диаметром 370 мм сплава АД31, обозначения в тексте

Рис. 4. Эпюра распределения относительного радиального напряжения, действующего на поверхность иглы вдоль координаты  $X$ , отсчитываемой от сечения выхода металла из матрицы



тавшегося в контейнере,  $D$  — диаметр контейнера. Как видно из рисунка, радиальные напряжения уменьшаются в осевом направлении от пресс-шайбы к матрице, в радиальном направлении характер их распределения имеет тенденцию к возрастанию при приближении к контактными поверхностям стенки контейнера и иглы.

Распределение радиальных напряжений, действующих на поверхности иглы и отнесенных к давлению прессования, показано на рис.4. Некоторая немонотонность зависимости связана с влиянием размеров конечных элементов на результаты решения: на уровне матрицы на малой толщине стенки трубной заготовки количество элементов оказывается слишком небольшим, что ухудшает точность вычислений.

Для оценки радиальных напряжений, действующих при прессовании на стенки контейнера, иногда прибегают к понятию коэффициента бокового давления, который показывает, во сколько раз радиальные напряжения оказываются меньше осевых, иногда в качестве осевого напряжения используют давление прессования  $p$ . При расчете контейнеров это отношение принимают в пределах 0,60...0,90. В решении задачи были получены отношения  $\frac{\sigma_{rr}|_{r=D_{и}/2}}{p}$  по модулю в пределах 0,15...1, причем большие значения

относятся к областям, примыкающим к пресс-шайбе, а меньшие — к областям, примыкающим к матрице.

Неоднородный характер распределения радиальных напряжений может быть объяснен различиями условий нагружения металла внутри контейнера: вблизи пресс-шайбы металл находится в стесненном состоянии и его поведение подобно поведению жидкости, подчиняющейся закону Паскаля, поэтому значения радиальных и осевых напряжений сближаются. По мере приближения к

матрице возрастает влияние свободной поверхности, и отличие свойств металла от свойств жидкости начинает превалировать.

Если на игле нет более тонких участков, чем ее рабочая часть, то опасным сечением является сечение, проходящее через плоскость с координатой  $L_\sigma$  (рис.1). Его опасность может быть обусловлена тем, что левее расположенные сечения, нагреты до меньшей температуры, и поэтому материал здесь обладает большими прочностными характеристиками.

В этом сечении могут быть определены: радиальное напряжение  $\sigma_{rri}$  и тангенциальное напряжение  $\sigma_{\phi\phi i}$ , действующие со стороны сжатого в контейнере металла, а также осевое напряжение  $\sigma_{zzi}$  возникающее от действия напряжений трения на поверхности иглы. Последнее напряжение может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{zzi} = \frac{4}{D_{и}} \int_0^{L_\sigma} \sigma_{rz}(z) dz \quad (2)$$

Как было выявлено в результате расчета методом конечных элементов, вблизи пресс-шайбы, в отличие от окрестностей матрицы, радиальные, тангенциальные и осевые напряжения в деформируемом металле практически совпадают. Радиальные напряжения  $\sigma_{rri}$  и тангенциальные напряжения  $\sigma_{\phi\phi i}$ , создаваемые в игле, равны радиальным  $\sigma_{rr}$  и тангенциальным  $\sigma_{\phi\phi}$  напряжениям, действующим со стороны деформируемого металла. Поэтому можно считать, что  $\sigma_{rri} = \sigma_{\phi\phi i} = -p$ .

Из четвертого условия прочности, известного из теории упругости, следует

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2]} < [\sigma], \quad (3)$$

где  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$ ,  $[\sigma]$  – главные напряжения и допускаемое напряжение соответственно. Допустим, что напряжения  $\sigma_{rri}$ ,  $\sigma_{\phi\phi i}$ ,  $\sigma_{zzi}$  являются главными. Тогда последнее условие преобразуется к виду

$$|\sigma_{zzi} + p| < [\sigma] \quad (4)$$

или

$$\left| \frac{4}{D_{и}} \int_0^{L_\sigma} \sigma_{rz}(z) dz + p \right| < [\sigma] \quad (5)$$

Вид функции  $\sigma_{rz}(z)$  зависит от условий прессования. Значения  $\sigma_{rz}$  в направлении от пресс-шайбы к матрице могут уменьшаться, если в этом направлении происходят значительный разогрев металла и связанное с этим уменьшение сопротивления деформации, но могут и увеличиваться по двум причинам:

- если разогрев незначителен, или даже происходит отдача тепла в сторону более холодной матрицы;
- если металл подвергается значительной степенной и скоростной нагартовке.

В частном случае  $\sigma_{rz} = \text{const}$ . Тогда формула (5) упрощается:

$$\left| \frac{4}{D_{\text{и}}} \sigma_{rz} L_{\sigma} + p \right| < [\sigma] \quad (6)$$

Если на контактной поверхности касательные напряжения подчиняются закону трения Мизеса  $\sigma_{rz} = \psi \sigma_s / \sqrt{3}$  ( $\psi$  - показатель трения), то последняя формула преобразуется к виду

$$\left| \frac{4}{\sqrt{3} D_{\text{и}}} \psi \sigma_s L_{\sigma} + p \right| < [\sigma] \quad (7)$$

Структурно полученная формула (7) соответствует формуле, приведенной в книге [1]. Однако представленная в более общем виде формула (6) позволяет учесть влияние характера распределения контактных напряжений трения на работоспособность иглы прессовой установки. В известной формуле перед величиной  $p$  приведен коэффициент 0,6, который может иметь место, но только при рассмотрении зоны металла вблизи матрицы. Тем самым в известной методике занижается уровень действующих на иглу напряжений. Это позволяет объяснить довольно частые случаи обрыва игл при прессовании в производственной практике.

### Библиографический список

1. Жолобов В.В., Зверев Г.И. Инструмент для горячего прессования металлов. М.Л.: Машиностроение, 1965. 164 с.
2. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф. Проблемы применения игл при прессовании трубных заготовок. Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. Днепропетровськ: Системні технології, 2005. С. 529-532.



3. *Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф.* Термоупругое изменение размеров иглы при прессовании. Кузнечно-штамповочное производство, 2005. №8. С.9-12.
4. *Логинов Ю.Н., Мякошин В.И., Семенов А.П.* Влияние процессов контактной теплопередачи на кинематику процесса прессования латуней. В сб.тр. 1 Росс. конф. «Кузнецы Урала-2005», Екатеринбург, 2005. С.187-194.