

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВА БрБ2 ПО СХЕМЕ ПОДВИЖНОГО КОНТЕЙНЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ DEFORM-2D

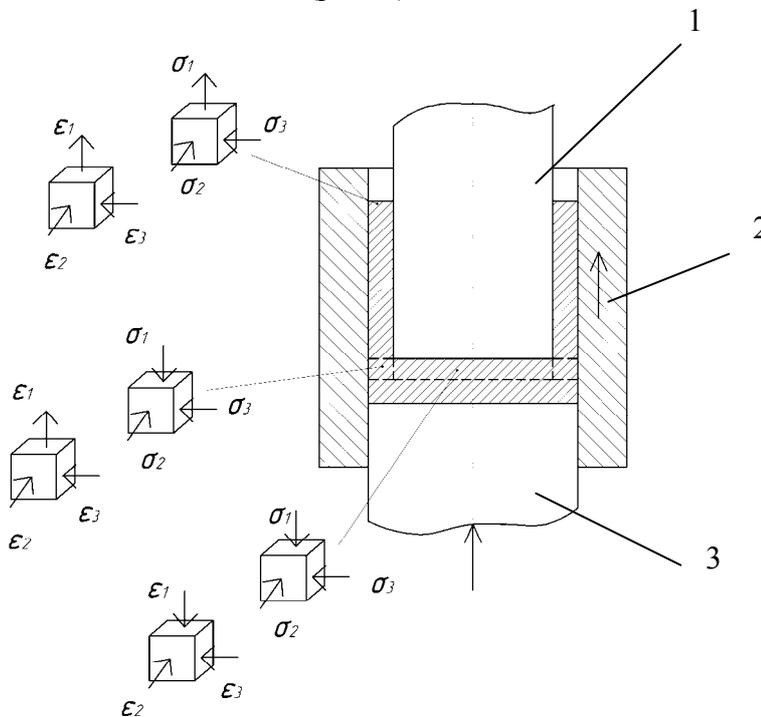
Мезенцева О.М., Гуренко Д.А.

Самарский Государственный Аэрокосмический Университет
Кафедра "Обработка металлов давлением"
Научный руководитель: д.т.н., проф. Михеев В.А.

Процесс обратного выдавливания с активными силами трения получил широкое применение при изготовлении полуфабрикатов. Активные силы трения создаются в результате движения контейнера в сторону истечения металла.

Возникновение активных сил трения позволяет получать выдавливанием более качественные изделия. Материал заготовки, выдавливаемый из-под торца пуансона, течет в зазор между пуансоном и контейнером. Если относительная скорость контейнера возрастает, то силы трения, приложенные к заготовке, также возрастают. Обратное выдавливание с активными силами трения при различных скоростях контейнера позволяет снизить силы деформирования до 30%. Если же контейнер не закреплен и под действием сил трения, вызванных течением металла деформируемой заготовки, перемещается в направлении течения, то возможно снижение силы выдавливания только до 8% по сравнению с обычным выдавливанием [1].

При обратном выдавливании наблюдается сложное напряженное состояние. Напряжения изменяются от одноименной схемы всестороннего сжатия до разноименной схемы с преобладающими напряжениями растяжения вблизи зоны свободного течения металла (рис. 1).



1 - пуансон, 2 - контейнер, 3 - выталкиватель

Рис. 1 -Механическая схема напряженно-деформированного состояния процесса обратного выдавливания по схеме подвижного контейнера

Сложный характер распределения по объему заготовки имеет также и деформация. Наибольшую деформацию получают зоны заготовки, лежащие вблизи поверхности инструмента, передающего давление на полуфабрикат. Различные зоны заготовки претерпевают различную деформацию, как по величине, так и по направлению.

Величина неравномерности деформации по диаметральному сечению детали больше при малых степенях обжатия. В зонах вблизи поверхности инструмента, передающего давление, и в очаге интенсивной деформации наблюдается значительная неравномерность деформации. Остальной объем заготовки проталкивается в формообразующую полость инструмента, практически не деформируясь.

С ростом степени деформации зона наибольших деформаций уменьшается, но увеличивается величина деформации остального объема заготовки. Неравномерность деформаций по сечению снижается, а в конечной стадии процесса практически исчезает. Очагом пластической деформации охватывается не вся заготовка, а лишь зоны, прилегающие к формообразующим полостям инструмента.

Применение закона трения Амонтона-Кулона при анализе процессов выдавливания приводит к неудовлетворительным результатам, особенно при анализе объемных процессов деформирования. Это связано с наличием значительных нормальных напряжений, в результате чего происходит пластическая деформация контактной поверхности и потерю линейной зависимости силы трения от нормальной нагрузки [2]. Поэтому в теоретических исследованиях процессов выдавливания желательнее использовать закон постоянного трения (закон Зибеля).

Согласно теории пластичности величина предельного касательного напряжения не может превышать $0,5\beta \cdot \sigma_s$. Из этого следует, что максимальное значение коэффициента трения равно 0,5, что подтверждает факт прилипания материала к инструменту с последующим его срезом в зоне контакта. Кроме этого, в приведенных выше работах принимали ряд допущений математического характера.

Штамповку выдавливанием стремятся применять для изготовления поковок из труднодеформируемых металлов и сплавов, напряжение текучести которых более 700 МПа. Удельная сила деформирования, приложенная к торцу пуансона, при выдавливании таких материалов может быть высокой. В этом случае трудно ожидать удовлетворительной стойкости рабочих элементов штамповой оснастки.

В связи с указанным целесообразно выбирать такие схемы деформирования при штамповке выдавливанием, которые можно осуществить при приложении меньших удельных сил деформирования. В работах [1], [2] указано, что изменение характера приложения внешних сил, в частности сил трения, приводит к изменению схемы напряженного состояния и к уменьшению удельных сил деформирования на контактных поверхностях заготовки и рабочего инструмента.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выбор наиболее удачной схемы деформирования способствует повышению стойкости рабочего инструмента. В частности, выбор схемы деформирования заготовки при таких внешних силах пластические деформации будут равномерны в объеме заготовки. В этом случае направление касательных напряжений на боковой поверхности заготовки и течение материала совпадают.

Ниже приведем выражения основных параметров процесса обратного выдавливания, т. е. удельной силы деформирования и относительной высоты очага пластической деформации, полученных Овчинниковым А.Г. и Дмитриевым А.М в работах [1], [2].

$$\begin{aligned}
 \text{У Овчинникова А.Г.: } \bar{q}_a &= - \left[\frac{1}{2} + \mu_{\Pi} + \frac{(1 - 2\mu_{\kappa} \bar{R}) \bar{h}_y}{2(\bar{R}^2 - 1)} + \frac{\bar{R}^2 + 3}{\sqrt{3} \sqrt{\bar{R}^4 + 3}} + 0,82 \right]; \\
 \bar{h}_y &= \sqrt{\frac{(\bar{R}^2 - 1) \left(\frac{1}{2} + \mu_{\Pi} \right)}{2(1 - 2\mu_{\kappa} \bar{R})}} \left[1 + k_y (1 - 0,2e^{-\bar{s}} - 0,8e^{-5\bar{s}}) \right], \\
 \text{у} & \hspace{10em} \text{Дмитриева} \hspace{10em} \text{А.М.:} \\
 \bar{q}_a &= 1,1 \cdot \left[2 + \ln \bar{R} + \frac{1 - 2 \cdot \mu \cdot \bar{R} \cdot (1 - \bar{q}_{Ta})}{2 \cdot (\bar{R}^2 - 1)} \cdot \bar{h}_y + \frac{0,5 + \mu_1}{4 \cdot \bar{h}_y} - \bar{q}_{Ta} \right]; \\
 \bar{h}_y &= \bar{h}_a \left[1 + k_y \cdot (1 - 0,2 \cdot e^{-\bar{s}} - 0,8 \cdot e^{-5\bar{s}}) \right],
 \end{aligned}$$

где $\bar{R} = R/r$ - относительный радиус контейнера, e - основание натурального логарифма, \bar{s} - относительная величина рабочего хода выталкивателя, отнесенная к радиусу пуансона, k_y - коэффициент упрочнения, учитывающий влияние среднего угла наклона кривой упрочнения на высоту очага пластической деформации, \bar{h}_a - начальная высота очага пластической деформации, μ_{κ} - коэффициент трения по контейнеру, μ_{Π} - коэффициент трения по пуансону.

Однако при изучении вопроса получения втулок из сплава БрБ2 были выявлены факторы, которые влияют на технологические параметры процесса. В совокупности их влияние может оказаться большим. В результате образуется сложная многофакторная модель. Полный факторный анализ возможен на конечно-элементной модели процесса с применением программы Deform -2D. Изучив функциональные возможности программы Deform-2d, были выявлены введенные в нее допущения, например, закон трения по Кулону вместо Зибеля. Не смотря на это, конечно-элементный анализ позволяет обеспечить высокую степень дискретности расчетов, т.е. каждый конечный элемент может иметь свои значения нормальных и касательных напряжений. Это положение, наверняка, сглаживает результаты расчета и позволяет получить допустимую точность. Особенно это удобно при автоматизированном расчете с применением ЭВМ.

В программу DEFORM-2D механические свойства материала БрБ2 были заданы из диаграммы растяжения, полученной в результате проведения механических испытаний в лаборатории. Для восьми точек заданы значения напряжений и деформаций и занесены в табличном виде в программу (Рис. 2) В программе DEFORM-2D было запущено несколько задач. Все задачи проводились для полуфабриката диаметром 60 мм.

При осуществлении моделирования процесса обратного выдавливания по схеме подвижного контейнера считалось, что выталкиватель перемещается со скоростью равной 27мм/с, при неподвижном пуансоне. Контейнер также перемещается в направлении движения течения металла с постоянной скоростью 100 мм/с. Коэффициенты трения задавались для всех вариантов задач и полуфабриката заданного диаметра, равными 0,18 и 0,09. В качестве сравнения толщина дна полуфабриката бралась 2 мм и 5 мм.

Результаты расчета выборочно представлены в виде графиков, приведенных в данной статье.

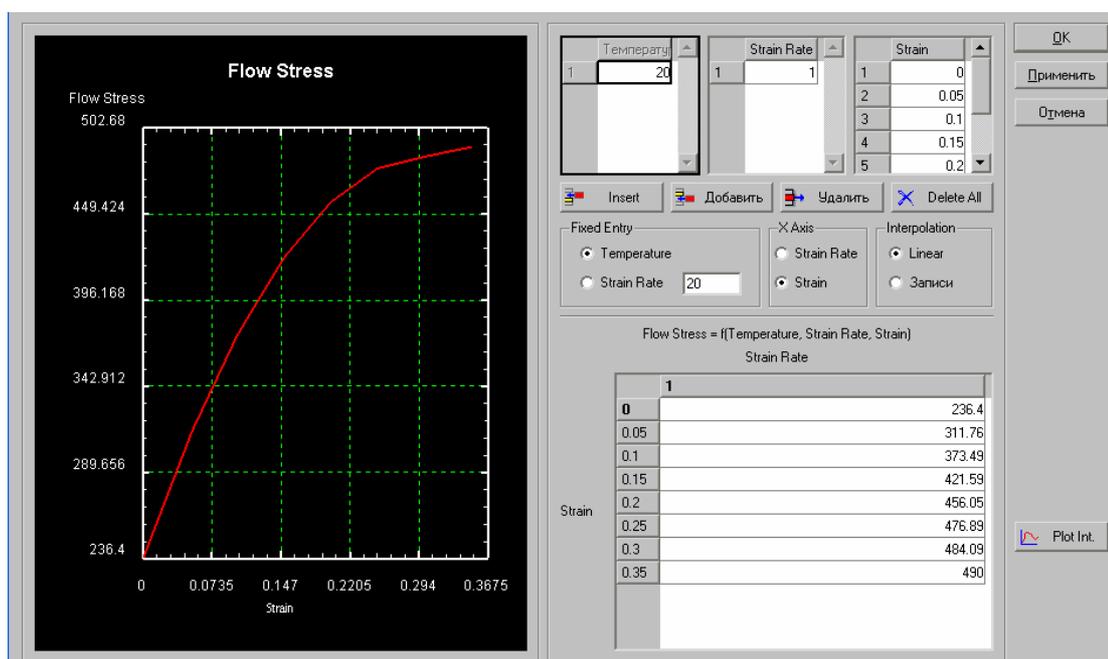


Рис. 2 - Панель задания свойств материала при задании свойств сплава БрБ2

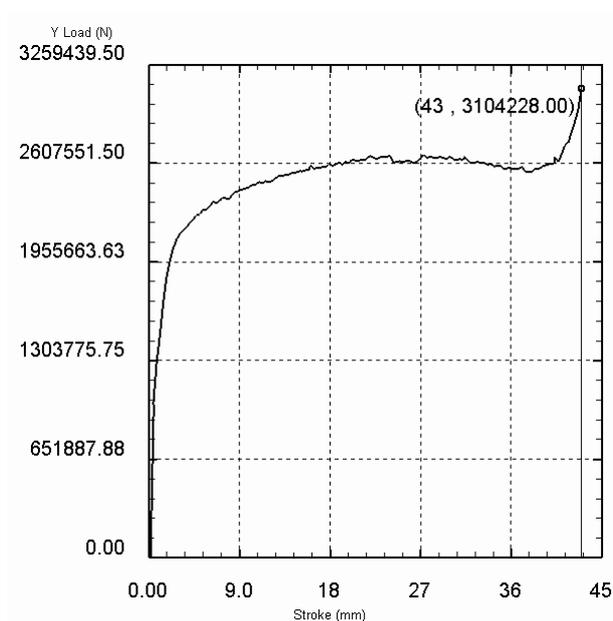


Рис. 2.10 - График зависимости усилия процесса от перемещения инструмента при обратном выдавливании с активным действием сил трения, с диаметром заготовки 60 мм и коэффициентом трения между заготовкой и деформирующим инструментом 0,09 (толщина дна 2 мм)

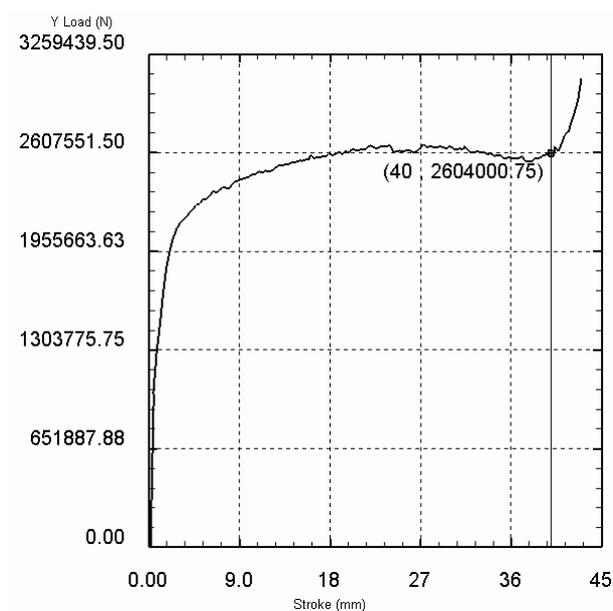


Рис. 2.11 - График зависимости усилия процесса от перемещения инструмента при обратном выдавливании с активным действием сил трения, с диаметром заготовки 60 мм и коэффициентом трения между заготовкой и деформирующим инструментом 0,09 (толщина дна 5 мм)

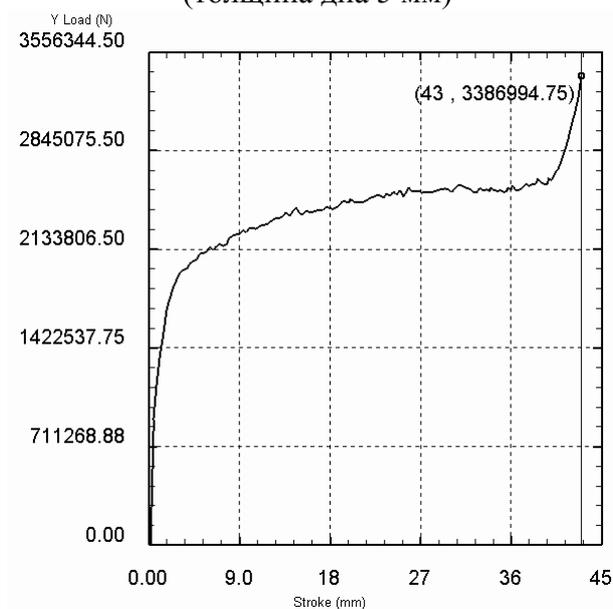


Рис.2.12 - График зависимости усилия процесса от перемещения инструмента при обратном выдавливании с активным действием сил трения, с диаметром заготовки 60 мм и коэффициентом трения между заготовкой и деформирующим инструментом 0,18 (толщина дна 2 мм)

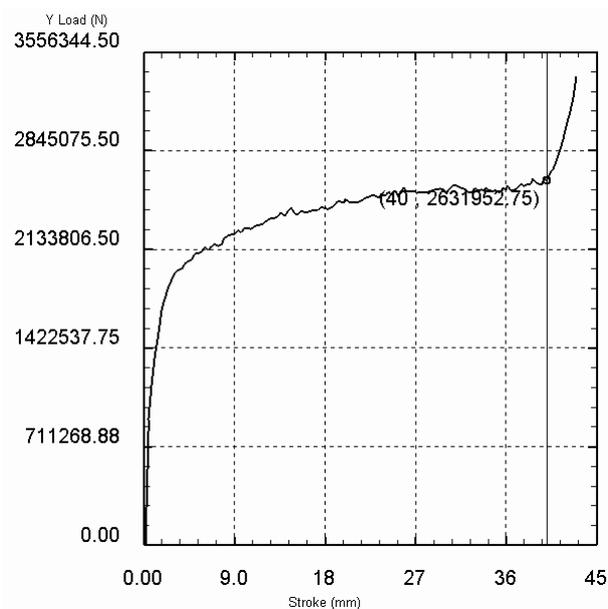


Рис. 2.13 - График зависимости усилия процесса от перемещения инструмента при обратном выдавливании с активным действием сил трения, с диаметром заготовки 60 мм и коэффициентом трения между заготовкой и деформирующим инструментом 0,18 (толщина дна 5 мм)

В конечном итоге результаты расчетов усилия были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Методы расчета усилий и отклонение (Δ ,%) расчетных значений от значений полученных в программе DEFORM-2D

Метод расчета усилий	Значения усилий P, Н							
	Диаметр полуфабриката 36 мм				Диаметр полуфабриката 60 мм			
	$\mu=0,09$	Δ , %	$\mu=0,18$	Δ , %	$\mu=0,09$	Δ , %	$\mu=0,18$	Δ , %
Метод Овчинникова	487208,5	-16	471032	-20	2329312	-10	2264458	-14
Метод Дмитриева	635902	+9	595560	+1	2741884,5	+5	2597280	-1
Усилия, рассчитанные в программе DEFORM-2D	580415,7	-	589087,4	-	2604000,8	-	2631952,8	-

Результаты расчета, полученные в Deform-2D, близки к результатам Дмитриева А.М в работе [2] в пределах (1...9) % в зависимости от коэффициента трения. Такое сближение результатов расчета связано с учетом тянущей силы подвижного контейнера.

Результаты расчетов, полученные в Deform-2D, позволят быстрее подойти к отладке процесса изготовления втулок из бериллиевой бронзы на специализированном прессе с подвижным контейнером и установить оптимальные силовые параметры. Из

втулок получают кольцевые детали подшипников шарошечных долот. В этих исследованиях заинтересованно передовое Самарское предприятия "ВолгаБурМаш".

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Овчинников, А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах [Текст]: учебное пособие для вузов/А.Г.Овчинников. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
2. Дмитриев, А.М. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1: Объемная штамповка выдавливанием [Текст]: учебное пособие для вузов/ А.М. Дмитриев, А.Л. Воронцов. – М.: Высшая школа, 2002. – 400 с.