

УДК 621.777.24

Мороз Б. С.
Пасхалов А. С.
Гунин А. В.

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ УСЛОВИЙ И НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТРЕНИЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГОТОВКИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ОБРАТНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

Известно позитивное влияние действия активных сил трения на процессы пластического формоизменения, особенно в процессах горячего прессования алюминиевых сплавов [1] и холодного выдавливания полых изделий [2–3]. В ряде работ [2–3 и др.] показано, что наибольший эффект снижения силы деформирования при холодном обратном выдавливании имеет место при скорости смещения матрицы в направлении истечения металла относительно скорости истечения не менее 1,2 (при кинематическом коэффициенте $K_V \geq 1,2$). Снижение силы деформирования, силы воспринимаемой пуансоном, объясняется изменением направления силы трения между заготовкой и матрицей.

В работе [4] обоснована возможность использования математического моделирования обратного выдавливания с помощью программного комплекса QForm для анализа напряженного состояния деформируемой заготовки и приведены сравнительные данные математического моделирования горячего обычного обратного выдавливания со смазкой стакана из сплава АК6 и выдавливания с активным трением при $K_V = 1,2$. Впервые приведены данные о влиянии силы трения активного действия на напряженное состояние деформируемой заготовки, свидетельствующие о существенном снижении всех компонент тензора напряжений и, как следствие, силы деформирования.

Так как при обратном выдавливании с активным трением в штампах увеличение скорости смещения матрицы относительно деформируемой заготовки приводит к увеличению штампового пространства, представляет интерес исследование влияния силы активного трения при K_V равном единице, когда скорость матрицы равна скорости истечения металла.

Целью настоящей работы является анализ напряженного состояния деформируемой заготовки на примере выдавливания детали типа стакан с отростком в донной части с использованием САМ системы QForm двумя способами: выдавливанием обычным обратным способом (при $K_V = 1,0$) и выдавливанием с активным действием сил трения при $K_V = 1,0$.

Математическое моделирование процессов проводили в следующих условиях:

- материал заготовки – сплав АК6;
- размеры заготовки $d_3 \times h_3 = 81 \times 100$ мм;
- диаметр матрицы $D_M = 82$ мм;
- диаметр пуансона с плоско-конусным торцом $d_{П} = 50$ мм;
- диаметр плоской части пуансона 25 мм;
- угол наклона конусной части пуансона к оси 85° ;
- высота рабочего пояса пуансона 7 мм;
- радиус скругления конусной части с пояском 5 мм;
- температура заготовки 450 C° , матрицы - 350 C° ;
- скорость перемещения пуансона - $V_{П} = 10$ мм/с, матрицы - $V_M = 4,2$ мм/с;
- смазка заготовки – графит в эмульсии (фактор трения $m = 0,5$);
- технологическое оборудование – гидравлический пресс силой 6,3 МН.

Принятые размеры заготовки для моделирования процессов обусловлены тем, что в промышленности чаще всего полые изделия из алюминиевых сплавов изготавливают с наружным диаметром более 100 мм.

Моделирование выдавливания выполнено в два перехода (рис 1). Первый переход – обратное выдавливание до заполнения металлом полости отростка в донной части изделия, второй переход – выдавливание с активным действием силы трения.

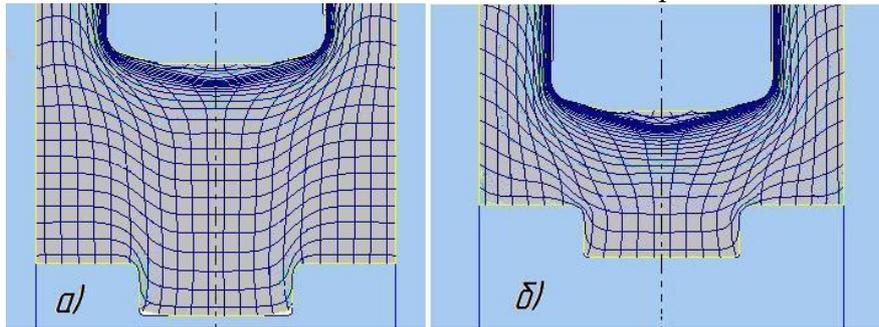


Рис. 1. Характер течения металла: а - обратное выдавливание; б – обратное выдавливание с активным действием сил трения

Для анализа напряжений на стационарной стадии обратного выдавливания выбрана часть процесса во временном диапазоне от 4-х до 5 секунд, а для процесса обратного выдавливания с активным действием сил трения – в диапазоне от 2-х до 2,5 секунд. На этих участках имеют место почти неизменные величины составляющих сил деформирования, а рассматриваемые величины хода процессов отмечены на графиках маркерами.

Расчетные деформированные лагранжевые сетки, приведенные на рис. 1, и анализ напряженного состояния заготовки и силовых параметров процессов выполнен в положениях инструмента, которым соответствуют время течения процессов, отмеченное на графиках сил (рис. 2 и 3) маркером.

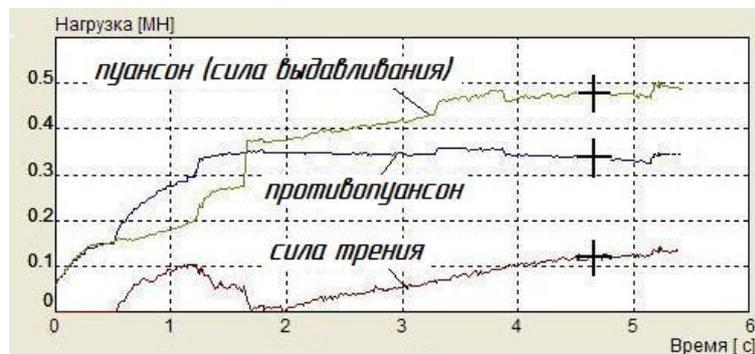


Рис. 2. Графики изменения сил обратного выдавливания

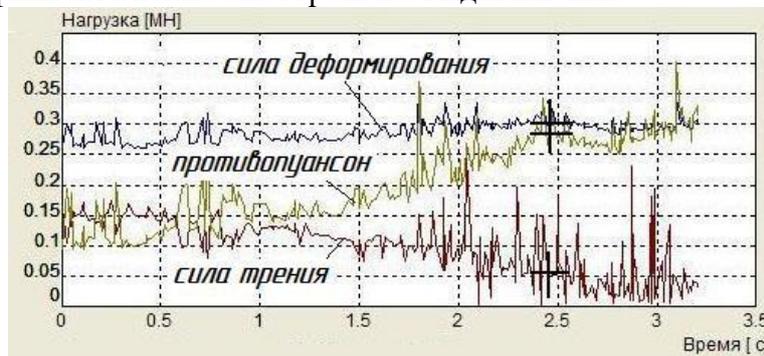


Рис. 3. Графики изменения сил обратного выдавливания при активном действии силы трения

Распределение напряжений в поперечном сечении заготовки рассмотрено в горизонтальной плоскости, отстоящей на расстоянии 1/3 диаметра пуансона от его торцевой поверхности в сторону очага интенсивной пластической деформации, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Величины напряжений в зависимости от радиуса заготовки при обратном выдавливании

Напряжения, МПа	Радиус заготовки, мм								
	0	6	11	16	21	26	31	36	41
σ_{cp}	-134,1	-134,3	-130,5	-119,1	-108,9	-94,5	-80,6	-78,2	-78,6
σ_{xx}	-121,2	-119,5	-117,2	-114,3	-110,8	-106,8	-104,1	-103,1	-99,2
σ_{yy}	-162,9	-163,3	-154,8	-132,7	-114,5	-89,9	-63,2	-54,9	-61,1
σ_{zz}	-119,9	-119,2	-116,4	-109,5	-101,1	-87,7	-75,1	-75,9	-79,2
τ_{xy}	2,7	10,7	17,3	24,8	27,8	27,7	20,2	7,9	-7,3

Таблица 2

Величины напряжений в зависимости от радиуса заготовки при обратном выдавливании с активным действием сил трения

Напряжения, МПа	Радиус заготовки, мм								
	0	6	11	16	21	26	31	36	41
σ_{cp}	-116,8	-110,1	-98,6	-80,2	-69,1	-50,9	-25,8	-19,4	-30,9
σ_{xx}	-99,4	-92,1	-82,5	-71,	-66,6	-63	-56	-55,5	-59,3
σ_{yy}	-149,5	-142	-126,2	-107	-88,8	-68	-26,4	3,9	-2,4
σ_{zz}	-99,4	-96,2	-85,7	-64,7	-49,6	-24,3	-7	-6,1	-22,2
τ_{xy}	1,6	7,2	11,9	14,3	16,7	18,8	17,3	17,7	14,6

На рис. 4–8 приведены графики величин и закономерностей изменения компонент напряженного состояния деформируемых заготовок σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , τ_{xy} и σ_{cp} при обратном выдавливании и обратном выдавливании с активным действием сил трения. Сравнение полученных расчетных данных о распределении напряжений в выбранных поперечных сечениях заготовки для анализируемых процессов качественно согласуются с результатами, представленными в работе [4] и работах [5,6], в которых напряженное состояние заготовки при обратном выдавливании исследовано экспериментально-теоретическим методом на основе анализа деформированной координатной сетки. Этот факт позволяет считать достоверными полученные в настоящей работе математическим моделированием данные о напряженном состоянии заготовки.



Рис. 4. Изменение напряжений (σ_{xx}) в поперечном сечении заготовки (1 – обратное выдавливание с активным действием сил трения; 2 – обратное выдавливание)



Рис. 5. Изменение напряжений (σ_{yy}) в поперечном сечении заготовки (1 – обратное выдавливание с активным действием сил трения; 2 – обратное выдавливание)



Рис. 6. Изменение напряжений (σ_{zz}) в поперечном сечении заготовки (1 – обратное выдавливание с активным действием сил трения; 2 – обратное выдавливание)



Рис. 7. Изменение средних напряжений (σ_{cp}) в поперечном сечении заготовки (1 – обратное выдавливание с активным действием сил трения; 2 – обратное выдавливание)



Рис. 8. Изменение касательных напряжений (τ_{xy}) в поперечном сечении заготовки (1 – обратное выдавливание с активным действием сил трения; 2 – обратное выдавливание)

Все значения рассчитанных компонентов нормальных напряжений тензора напряжений в деформируемых заготовках в обоих случаях выдавливания отрицательны (сжимающие напряжения), что соответствует схеме всестороннего неравномерного сжатия и подтверждает данные, приведенные в работе [4]. Это свидетельствует и о том, что активное действие сил трения не изменяет схему напряженного состояния деформируемой заготовки при обратном выдавливании.

Закономерности изменения сжимающих напряжений в обоих процессах одинаковы, но значения всех напряжений σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} , σ_{cp} , (рис. 4-7) при обратном выдавливании с активным действием сил трения существенно ниже, чем при обычном обратном выдавливании. Наибольшие значения имеют осевые напряжения (σ_{yy}), а наименьшие – тангенциальные (σ_{xx}).

Максимальная величина всех нормальных напряжений имеет место на оси деформируемой заготовки, но при выдавливании с активным трением величина осевых напряжений на 8 %, радиальных – на 18%, а тангенциальных – на 17% меньше, чем при обычном обратном выдавливании. Максимальная величина средних напряжений при выдавливании с активным действием сил трения на 13% меньше, чем при обратном выдавливании.

Касательные напряжения τ_{xy} (рис. 8) при обратном выдавливании с активным действием сил трения имеют положительные значения по всему сечению заготовки, в отличие от обратного выдавливания, для которого на периферийной части заготовки шириной 3-4мм они отрицательны. Такой характер распределения касательных напряжений при активном действии сил трения способствует течению материала периферийной части деформируемой заготовки в стенку получаемого изделия, что существенно снижает неравномерность распределения напряжений и уменьшает неравномерность деформации в стенке получаемого изделия [2].

Из приведенных данных следует, что активное действие сил трения при выдавливании со смазкой заготовки даже при небольшой ее высоте и значении $K_v=1,0$ снижает напряженное состояние деформируемой заготовки, следствием которого является уменьшение силы деформирования, приложенной к пуансону.

Так, согласно расчетам (см. рис. 2, 3), сила формоизменения, приложенная к пуансону, совершающая работу деформации и преодолевающая силы трения, на рассмотренной стадии обратного выдавливания составляет 0,47 МН. При выдавливании же с активным трением сила формоизменения, приложенная к пуансону, составляет 0,31 МН, что 34% меньше чем при обратном выдавливании. Сила активного трения в этом случае является частью деформирующей силы, которая должна иметь отдельный привод.

Таким образом, снижение силы деформирования при обратном выдавливании с активным действием сил трения объясняется снижением всех компонентов тензора напряжений.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты математического моделирования обратного выдавливания полого изделия с острым концом в донной части изделия позволяют сделать следующие выводы:

- закономерности и соотношения распределения напряжений в поперечном сечении заготовки, полученные математическим моделированием процессов обратного выдавливания и обратного выдавливания с активным действием сил трения (при $K_v=1,0$), согласуются с закономерностями, приведенными в литературных источниках;

- при обратном выдавливании с активным действием сил трения при малой скорости смещения матрицы относительно заготовки неравномерность напряженно-деформированного состояния заготовки значительно ниже, чем при обычном обратном выдавливании;

- уменьшение силы деформирования воспринимаемой пуансоном при активном действии силы трения по сравнению с обратным выдавливанием объясняется снижением напряженного состояния заготовки;

- горячее обратное выдавливание с активным действием сил трения со смазкой заготовки целесообразно использовать при изготовлении относительно больших размеров выдавливаемых изделий из трудно деформируемых алюминиевых сплавов при относительной скорости смещения пары «заготовка - матрица», равной скорости истечения металла в зазор между пуансоном и матрицей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щерба В.Н. Прессование алюминиевых сплавов / В. Н. Щерба. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 768 с.
2. Овчинников А.Г. Основы штамповки выдавливания на прессах / А. Г. Овчинников. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
3. Дмитриев А.М. Технологияковки и объемной штамповки. Ч. 1. Объемная штамповка выдавливанием / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов. – М.: Высшая школа, 2002. – С. 360–368.
4. Мороз Б.С. Влияние сил трения активного действия на напряженное состояние заготовки при горячем обратном выдавливании полых изделий / Б.С. Мороз // Заготовительные производства в машиностроении. – 2017. – Том 15. – № 1. – С. 33–38.
5. Кузнецов Д.П. Напряженно-деформированное состояние заготовок при обратном выдавливании полых цилиндрических изделий / Д.П. Кузнецов // Технология машиностроения. Обработка металлов давлением. – 1959. – № 2. – С. 40–44.
6. Смиров-Аляев Г.А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г. А. Смиров-Аляев, В. П. Чикидовский. – Л.: Машиностроение, 1972. – С. 273–284.

REFERENCES

1. Shherba V.N. Pressovanie aljuminievyh splavov / V. N. Shherba. – M.: Intermet Inzhiniring, 2001. – 768 s.
2. Ovchinnikov A.G. Osnovy shtampovki vydavlivanija na pressah / A. G. Ovchinnikov. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 200 s.
3. Dmitriev A.M. Tehnologija kovki i ob#emnoj shtampovki. Ch. 1. Ob#emnaja shtampovka vydavlivaniem / A. M. Dmitriev, A. L. Voroncov. – M.: Vysshaja shkola, 2002. – S. 360–368.
4. Moroz B.S. Vlijanie sil trenija aktivnogo dejstvija na naprjazhennoe sostojanie zagotovki pri gorjachem obratnom vydavlivanii polyh izdelij / B.S. Moroz // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. – 2017. – Tom 15. – № 1. – S. 33–38.
5. Kuznecov D.P. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie zagotovok pri obratnom vydavlivanii polyh cilindricheskikh izdelij / D.P. Kuznecov // Tehnologija mashinostroenija. Obrabotka metallov davleniem. –1959. – № 2. – S. 40–44.
6. Smirov-Aljaev G.A. Jeksperimental'nye issledovanija v obrabotke metallov davleniem / G. A. Smirov-Aljaev, V. P. Chikidovskij. – L.: Mashinostroenie, 1972. – S. 273–284.

Мороз Б. С. – д-р техн. наук, проф. каф. ТФиХОМ ДГТУ
Пасхалов А. С. – канд. техн. наук, доц. каф. ТФиХОМ ДГТУ
Гунин А. В. – доц. каф. ТФиХОМ ДГТУ

ДГТУ – Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, РФ

E-mail: bmoroz@donstu.ru

Статья поступила в редакцию 27.02.2017 г.