

УДК 621.777.4

Косенко М. В.  
Еремина А. А.**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СХЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ОБРАТНО-ПРЯМОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА**

Анализ способов изготовления полых конических деталей позволил выявить способ, представленный на рис. 1, преимуществом которого является простота получения заготовки, простота конструкции деформирующего инструмента и равномерность распределения механических свойств по сечению заготовки [1].

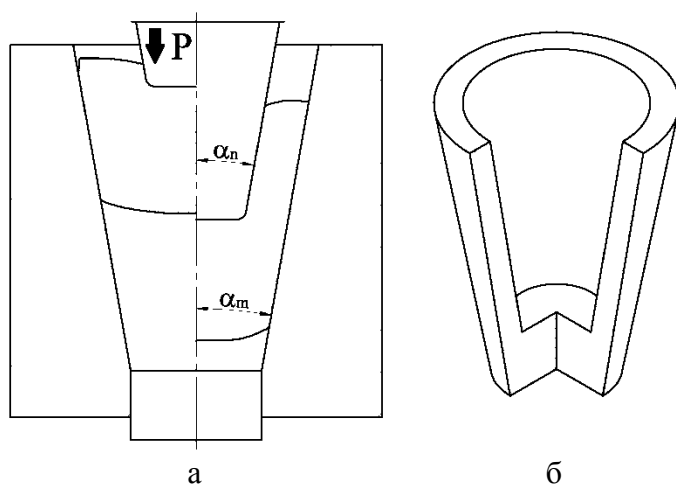


Рис. 1. Схема процесса обратного-прямого выдавливания (а) и получаемая деталь (б)

В ходе проведенных исследований процесса комбинированного обратного-прямого выдавливания было установлено, что изменение силы выдавливания происходит по закону, представленному графически на рис. 2. На графике можно выделить три основные стадии процесса выдавливания. На первой стадии происходит увеличение силы выдавливания за счет не стационарной стадии. На второй стадии процесс можно считать установившимся и изменение силы выдавливания не значительное. Третья стадия, которая наступает, когда нижний торец полуфабриката касается торца противоположного, характеризуется резким скачком силовых параметров за счет наступившего процесса обратного выдавливания.

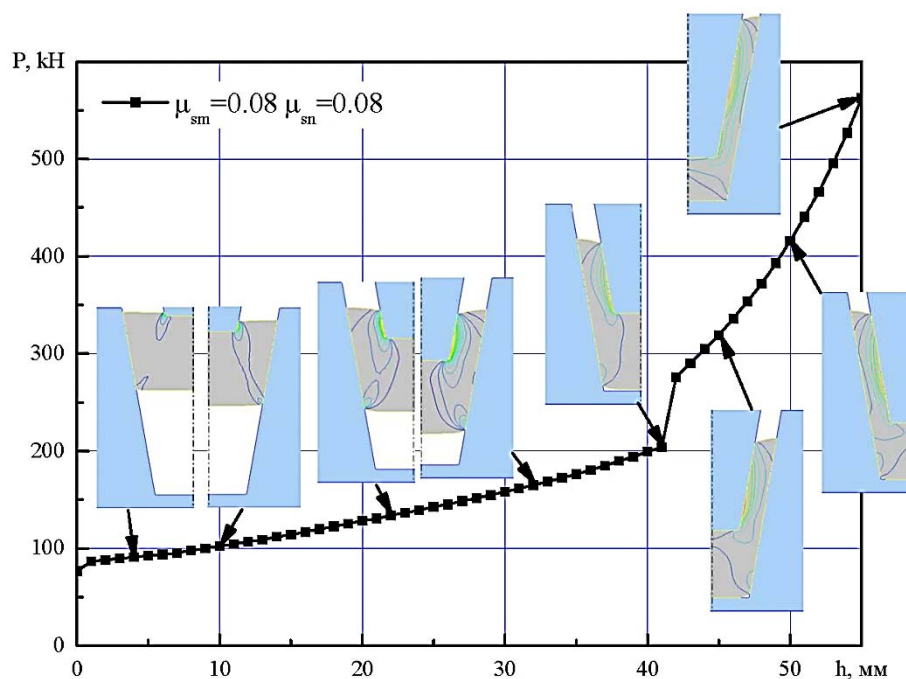


Рис. 2. Общий характер изменения силы выдавливания по ходу протекания процесса деформирования

Наличие стадии обратного выдавливания в некой мере сводит на «нет» все положительные особенности схемы комбинированного обратно-прямого выдавливания полых конических деталей. Для реализации варианта исследуемого процесса без стадии обратного выдавливания необходимо более точно регулировать основными технологическими параметрами данного процесса. Основными влияющими параметрами данного процесса являются условия контактного трения на матрице и пуансоне, а так же в меньшей мере форма заготовки и положение ее в матрице [2, 3].

Целью статьи является определение возможности реализации процесса комбинированного обратно-прямого выдавливания без стадии обратного выдавливания с выявлением количественных значений основных технологических параметров процесса и оценки полученной формы изделия.

Для теоретического анализа возможности реализации поставленной задачи воспользуемся методом конечного элемента, который реализован в программе Qform 2D. Данный программный продукт нашел свое применение при моделировании процессов обработки металлов давлением, неоднократно подтверждая сходимость результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований [4].

Граничные условия для проведения конечно-элементного анализа представлены в виде табл. 1. Термин «не моделируется» применен для деформирующего инструмента для пояснения, что он не разбивается на конечные элементы, необходимы для определения напряжений, возникающих в инструменте в процессе деформирования, используется как жесткое тело. Для описания поведения заготовки в процессе деформирования используется вязкопластическая среда. Условия контактного трения заданы по закону А. Н. Леванова.

В качестве основных управляющих параметров были приняты коэффициенты трения на матрице и пуансоне, впоследствии можно проследить влияние расположения заготовки в матрице. За базовый вариант технологического процесса принят вариант с расположением заготовки в верхней части матрицы (рис. 1) и коэффициенты трения равные 0,08 на матрице и пуансоне по закону Зибеля.

Выявление коэффициентов трения, которые приведут к исключению конечной стадии обратного выдавливания при выбранной схеме проведения технологического процесса, происходит при последовательном их переборе с визуальной оценкой конечного формоизменения и анализом графика изменения силы выдавливания по ходу процесса.

Таблица 1

Граничные условия для конечно-элементного анализа

Объект	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона,	Кривая упрочнения	Температура
Пуансон	не моделируется				
Матрица	не моделируется				
Заготовка:					
АД1	2700	69000	0,34	Задается таблично	20 °С

Анализ графической зависимости изменения силы выдавливания в процессе обратно-прямого выдавливания полых конических деталей (рис. 3) показал, что даже при увеличении коэффициента трения на матрице до 0,36 конечное значение силы выдавливания будет меньше, чем при коэффициенте трения на матрице 0,08, это объясняется отсутствием конечной стадии – обратного выдавливания.

Формирование очага пластической деформации (рис. 4) при значениях коэффициентов трения на матрице 0,36 и 0,08 на пуансоне в значительной мере аналогично очагу деформации для процесса внедрения, описанного авторами [5].

Анализ формоизменения показал, что протекание такого процесса возможно (рис. 4). В процессе деформирования видно, как наружная стенка за счет сил трения залипает на стенке матрицы, в результате чего нижний торец полуфабриката принимает округлые формы, и толщина дна постепенно уменьшается.

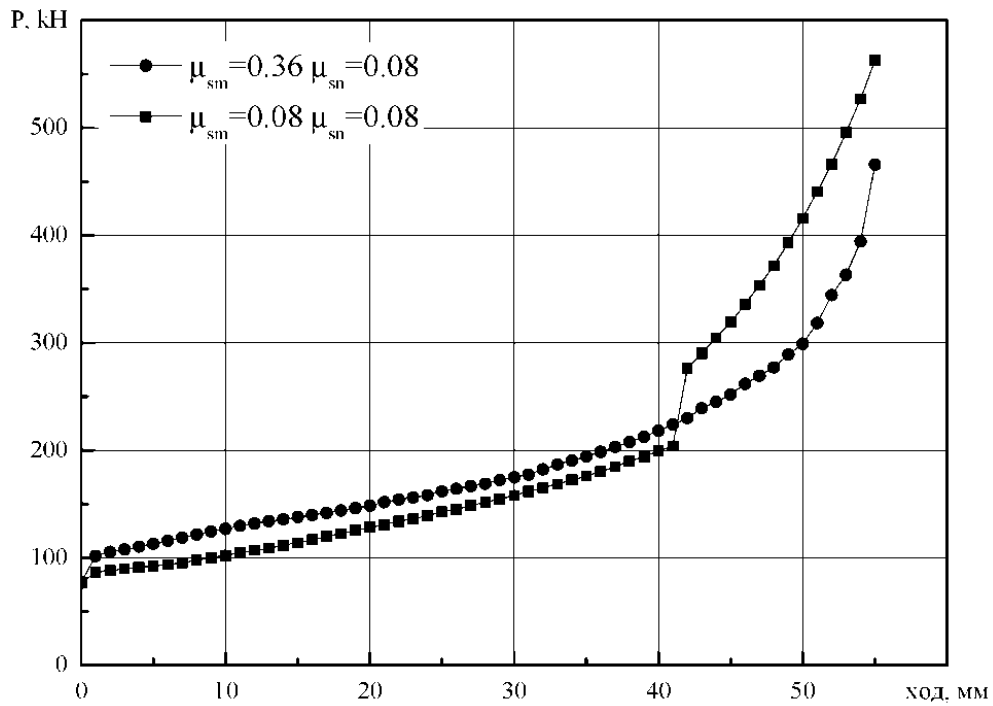


Рис. 3. График изменения силы выдавливания по ходу процесса деформирования в зависимости от влияния условий контактного трения

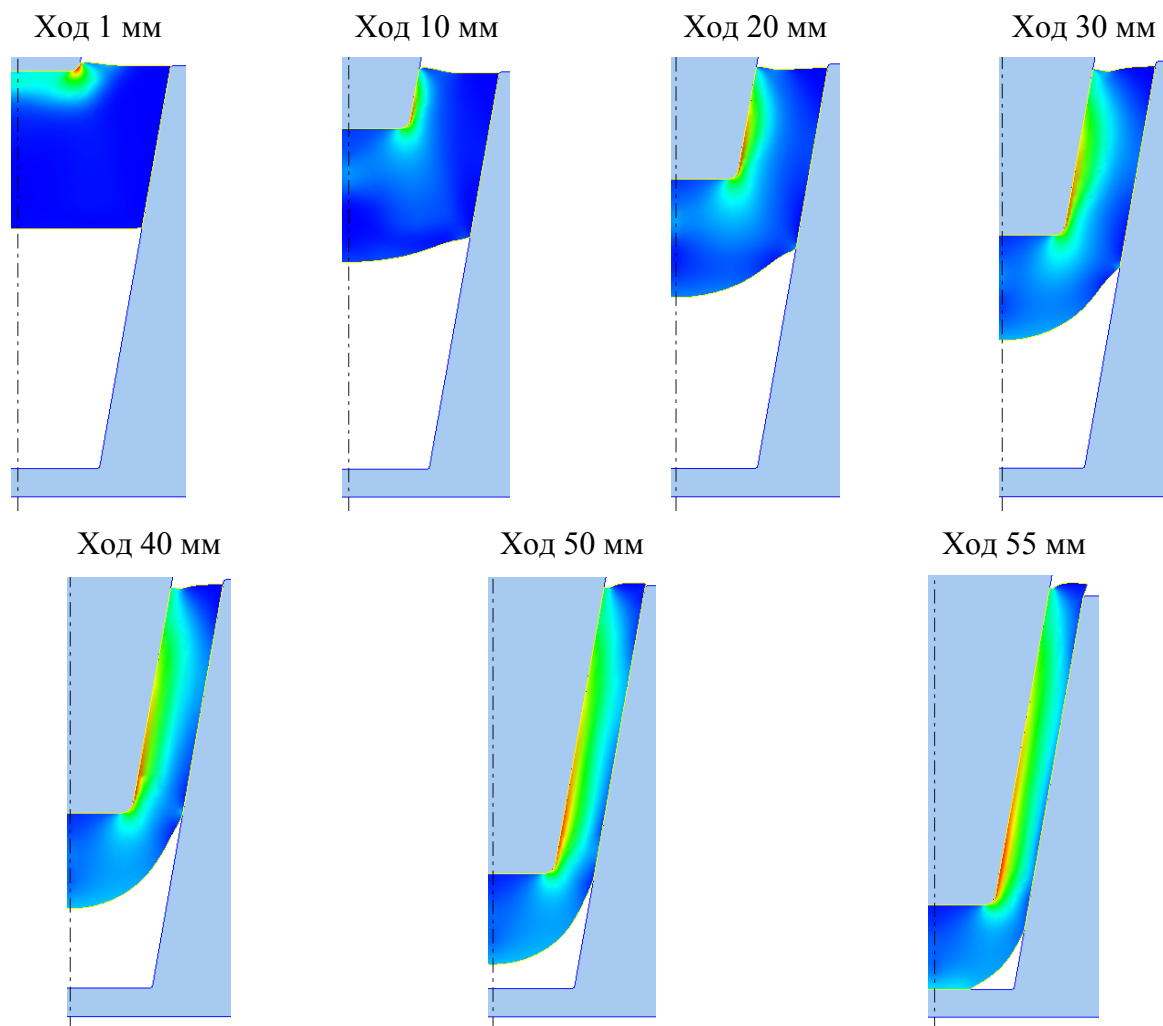


Рис. 4. Постадийное формоизменение процесса комбинированного обратного-прямого выдавливания полых конических деталей

В результате протекания процесса получается деталь с неравномерностью распределения деформации по сечению заготовки, так же можно заметить наличие дефектов в виде незаполнения нижнего угла формы матрицы (рис. 5, б, в), а металл, необходимый для закрытия данного дефекта, переместился в верхнюю часть детали, что способствовало образованию заусенца на стенках стакана.

Для устранения полученного дефекта было принято решение уменьшить высоту заготовки с увеличением высоты матрицы. Принят вариант, при котором высота заготовки равна к толщине дна (рис. 5, г). Поскольку длина образующей больше, чем в первом варианте (рис. 5, а), то значения коэффициентов трения были приняты равными по 0,08 как для поверхности матрицы, так и для пуансона. Анализируя результаты моделирования, было установлено, что более проработанной частью детали оказалась стенка стакана (рис. 5, д). Дефект в виде незаполнения угла матрицы остался (рис. 5, е), однако по размерам он оказался меньше, чем в первом варианте. Максимальное значение силы выдавливания при таком варианте составило 405 кН, при прочих равных значениях геометрических параметрах получаемой детали и материала заготовки.

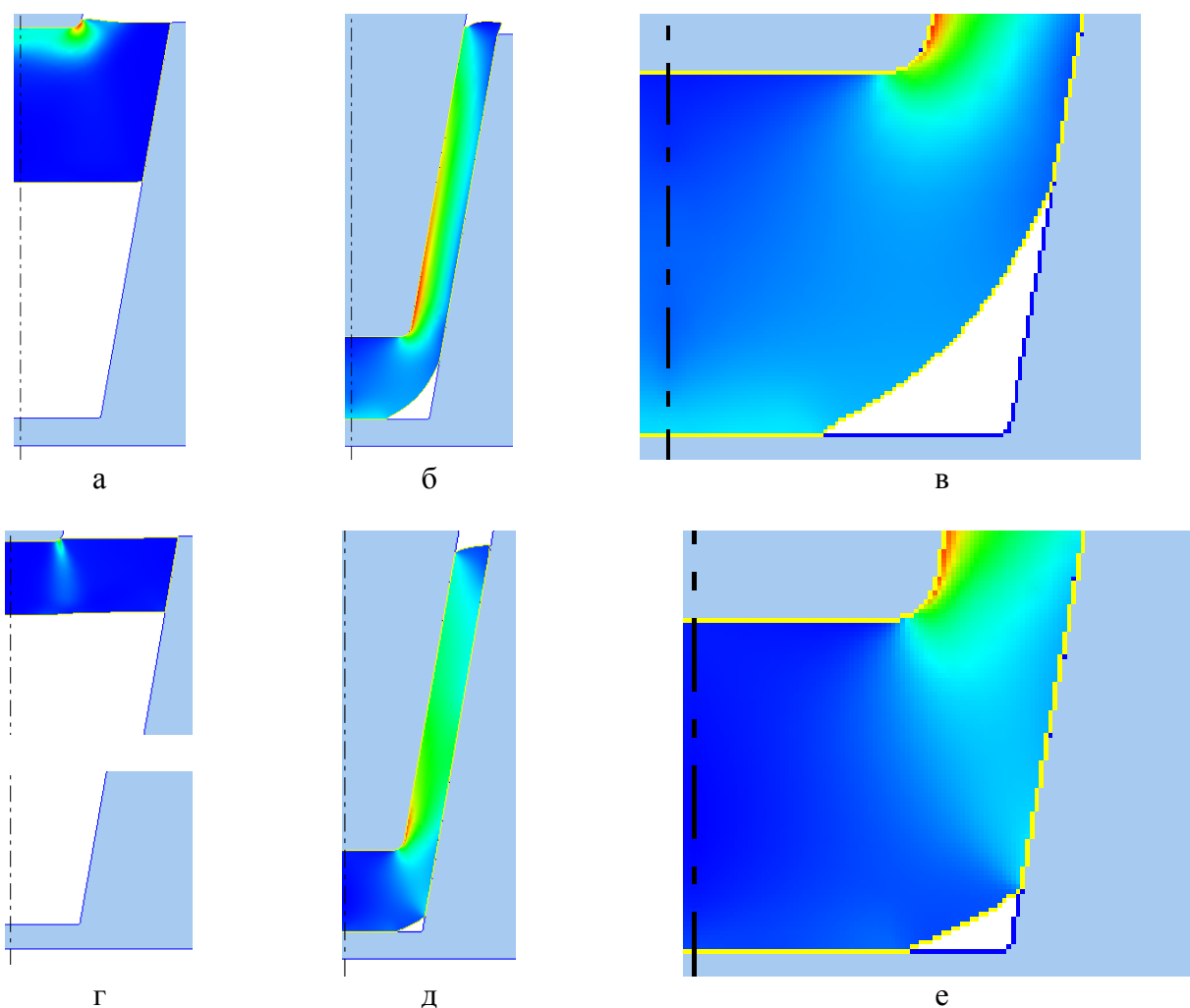


Рис. 5. Дефектообразование при комбинированном обратном-прямом выдавливании

При малых коэффициентах трения на матрице и пуансоне течение металла является преобладающим в прямом направлении, то есть происходит увеличение толщины дна. Увеличение длины наклонной образующей на матрице также влияет на течение металла. Чем меньше длина линии контакта заготовки с образующей матрицы, тем больше процесс выдавливания ставится похожим на процесс вытяжки, который характеризуется втягиванием заготовки в полость матрицы без изменения толщины дна заготовки.

В третьей исследуемой схеме выдавливания была принята высота заготовки меньше толщины дна выдавленной детали (рис. 6, а). Данный вариант показал наименьшие энергосиловые параметры, что составило 315 кН, но основная часть накопленной деформации сосредоточена в стенке стакана, что может отрицательно повлиять на время эксплуатации изготовленной детали. Еще одним недостатком является незаполнение формы матрицы, соответственно объем металла, который предназначался для ее заполнения, перераспределился в стенку стакана, увеличивая ее высоту.

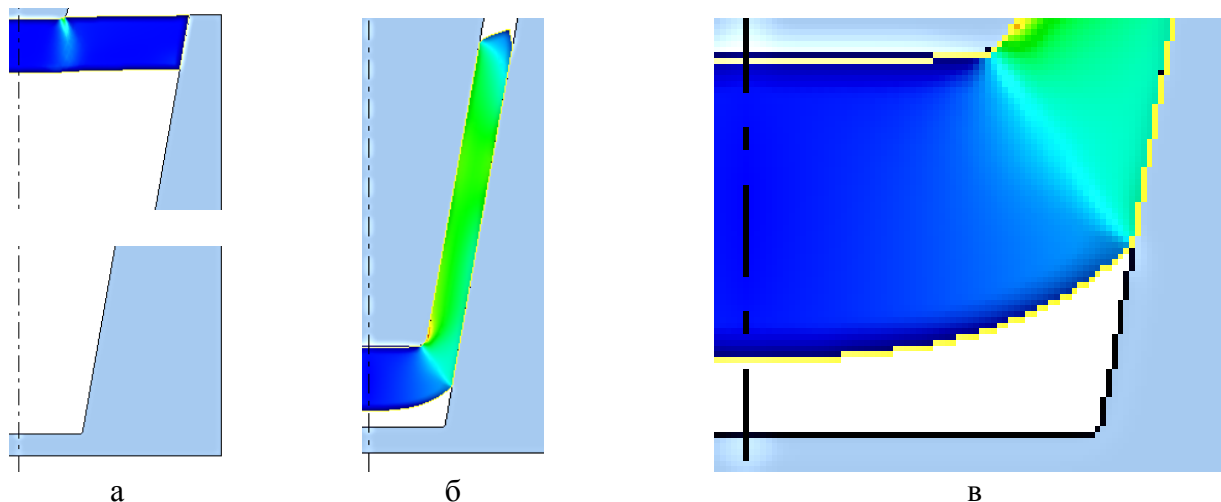


Рис. 6. Дефектообразование при комбинированном обратном-прямом выдавливании

Одним из параметров, который способствует увеличению преобладающего течения металла в прямом направлении, является увеличение значения соотношения радиуса пуансона к радиусу матрицы. Соотношение радиуса пуансона к радиусу матрицы было увеличено со значения 0,75 до 0,9 (рис. 7, а). Высота заготовки принята равной толщине дна.

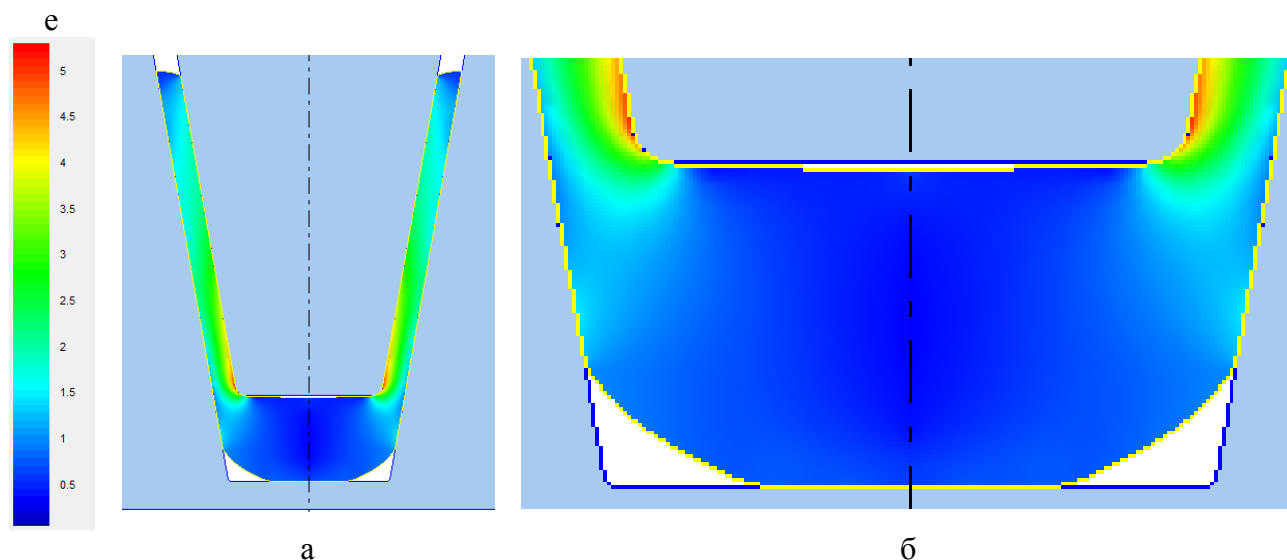


Рис. 7. Дефект в виде отставания металла

Одним из технологических факторов, влияющих на формоизменение, является значение коэффициента трения на пуансоне. При соотношении радиуса пуансона к радиусу матрицы в диапазоне от 0,4 до 0,8 увеличение значения коэффициента трения на пуансоне в большей степени влияет на силу выдавливания, при значениях, не входящих в данный диапазон еще и на формоизменение. При значениях отношения радиусов менее 0,4 влияние на

формоизменение выражается в дефекте в виде небольшого наплыва металла вокруг пуансона. При значениях отношения радиусов более 0,8 происходит влияние сил трения как со стороны пуансона, так и со стороны матрицы, что способствует более интенсивному течению металла в прямом направлении.

В исследуемом варианте, когда толщина стенки стакана достигла определенной величины, а значения коэффициентов трения на матрице и пуансоне способствуют более интенсивному течению металла в прямом направлении, то на конечной стадии выдавливания в стенке стакана образуется линия раздела течения металла. Влияние линии раздела на формоизменение выражается в появлении дефекта в виде отставания металла от торца пуансона (рис. 7, а, б).

### ВЫВОДЫ

В результате анализа было установлено, что возможна реализация процесса комбинированного обратного-прямого выдавливания без конечной стадии обратного выдавливания. Реализация данного процесса возможна при следующих технологических параметрах: условие контактного трения на матрице 0,36, на пуансоне 0,08; углы наклона образующей на матрице и пуансоне равны по 10 градусов. Обобщить полученные данные и привести их к некоторым зависимостям пока не представляется возможным в связи многовариантным решением задачи при большом числе варьируемых параметров.

При анализе конечного формообразования было установлено, что полученная исследуемым способом деталь имеет дефекты в виде незаполнения углов (рис. 5, в). Наличие данного типа дефекта можно использовать как положительную особенность данного процесса для получения деталей со сферическим дном без применения специализированной оснастки. Также наблюдается появление такого дефекта как отставание металла от торца пуансона (рис. 7, б), которое может происходить как по ходу протекания процесса, так и в его конце.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косенко М. В. *Выдавливание полых конических деталей* / М. В. Косенко, П. Абхари // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2004. – С. 350–352.*
2. Косенко М. В. *Оптимальное положение заготовки в матрице при выдавливании полых конических деталей* / М. В. Косенко // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 81–85.*
3. Косенко М. В. *Моделирование процессов выдавливания полых конических деталей* / М. В. Косенко // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 125–127.*
4. Косенко М. В. *Деформированное состояние полых конических деталей при комбинированном выдавливании [Электронный ресурс]* / М. В. Косенко, И. С. Алиев, И. В. Нагорская // *Вісник ДДМА : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – № 3Е (14). – С. 105–110 – Режим доступа: [www.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/17.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/17.pdf).*
5. Косенко М. В. *Исследование начальной стадии выдавливания полых конических деталей* / М. В. Косенко, И. В. Нагорская, О. В. Гулькова // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21). – С. 61–65.*

Косенко М. В. – ассистент кафедры ОМД ДГМА;

Еремина А. А. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [omd@dgma.donetsk.ua](mailto:omd@dgma.donetsk.ua)